EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA

Subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio-Venadillo, Sabandija, Lagunilla, Gualí y Guarinó

FASE 1

Producto A19: Informe Final Evaluación Regional del Agua del Departamento del Tolima Fase 1

ERA 2021

CORTOLIMA

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

CONVENIO INTERADMINISTRAIVO 495-2020

Tabla de Contenido

TABLA DE CONTENIDO I

LISTA DE TABLAS XXVI

LISTA DE FIGURAS LV

CAPÍTULO OFERTA HÍDRICA 1

1. IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS HIDROLÓGICOS 1

2. SELECCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO 3

2.1. MÉTODO DE ANÁLISIS MULTICRITERIO – AHP 3
2.2. SELECCIÓN DE MODELOS CANDIDATOS 5
2.3. DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN 10
2.4. ESCALAS DE VALORACIÓN Y PONDERACIÓN DE LOS MODELOS CANDIDATOS 13
2.5. MODELO HIDROLÓGICO SELECCIONADO 17
2.5.1. *Modelo Hidrológico Distribuido TETIS* *17*

3. INFORMACIÓN BASE PARA LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA 18

3.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA HISTÓRICA 19
3.1.1. *Red de Estaciones Meteorológicas del IDEAM* *21*
3.1.2. *Red de Estaciones Meteorológicas de Otras Entidades* *24*
3.1.2.1. Estaciones CENICAFÉ 24
3.1.2.2. Estaciones CORTOLIMA 25
3.1.2.3. Estaciones Electraguas 26
3.1.2.4. Estaciones INCORA 26
3.1.2.5. Estaciones CHEC 26
3.1.2.6. Estaciones CORPOCALDAS 26
3.1.2.7. Estaciones FEDEARROZ 26
3.1.3. *Información Satelital y de Radar* *26*
3.2. INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA HISTÓRICA 38
3.2.1. *Selección de estaciones para la calibración y validación* *41*
3.3. INFORMACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MODELOS 43
3.3.1. *Coberturas y Usos de la Tierra* *43*
3.3.2. *Mapa de Suelos y Capacidad de Uso de la Tierra* *43*

3.3.3. Información Geológica 44
3.3.4. Modelo de Elevación Digital 44
3.3.5. Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) 45
3.3.6. Parámetros de los modelos hidrológicos implementados 45
3.4. Esquematización Conceptual del Sistema Hidrológico por Subzona Evaluada 45
3.4.1. Subzona Hidrográfica de Río Coello 47
3.4.2. Subzona Hidrográfica de Río Opia 50
3.4.3. Subzona Hidrográfica de Río Totare 52
3.4.4. Subzona Hidrográfica de Río Recio 54
3.4.5. Subzona Hidrográfica de Río Lagunilla 56
3.4.6. Subzona Hidrográfica de Río Sabandija 58
3.4.7. Subzona Hidrográfica de Río Gualí 60
3.4.8. Subzona Hidrográfica de Río Guarinó 62
4. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS 64
4.1. Parámetros Hidráulicos del Suelo y del Estrato Rocoso 64
4.1.1. Valores modales de conductividad hidráulica saturada de suelo (Ks – Kss) 64
4.1.2. Valores modales de conductividad hidráulica saturada del estrato rocoso del suelo (Kp – Ksa) 68
4.1.3. Valores modales de Almacenamiento Estático (Hu) 72
4.2. Parámetros de Propagación del Flujo en Cauces 76
4.3. Parámetros de Evapotranspiración 77
4.3.1. Evapotranspiración de Referencia (ETo) 77
4.3.2. Índices de vegetación 78
4.4. Capacidad de Intercepción 80
4.5. Parámetros Derivados de la Topografía 80
4.5.1. Streamburning: Quemado de Corrientes 83
4.5.2. Corrección del Flujo Superficial 85
4.5.3. Estimación de Parámetros Topográficos 89
5. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS 94
5.1. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Coello 97
5.2. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Opia 99
5.3. Calibración: Modelo Hidrológico del río Totare 101
5.4. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico ríos Recio-Venadillo 102
5.5. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Lagunilla 104
5.6. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Sabandija 106
5.7. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Gualí 108
5.8. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Guarinó 110
6. OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL Y DISPONIBLE 113

6.1. Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS) 113
6.2. Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD) 113

7. OHTS y OHTD en la subzona hidrográfica del río Coello 114

7.1. Unidad de Análisis: quebrada Chagualá 114
7.2. Unidad de Análisis: quebrada Gualanday 116
7.3. Unidad de Análisis: río Anaime 118
7.4. Unidad de Análisis: río Bermellón 1 120
7.5. Unidad de Análisis: río Bermellón 2 122
7.6. Unidad de Análisis: río Cocora 124
7.7. Unidad de Análisis: río Coello 1 126
7.8. Unidad de Análisis: río Coello 2 128
7.9. Unidad de Análisis: río Coello 3 130
7.10. Unidad de Análisis: río Coello 4 132
7.11. Unidad de Análisis: río Coello 5 134
7.12. Unidad de Análisis: río Coello 6 136
7.13. Unidad de Análisis: río Combeima 1 138
7.14. Unidad de Análisis: río Combeima 2 140
7.15. Unidad de Análisis: río Combeima 3 142
7.16. Unidad de Análisis: río Combeima 4 144
7.17. Unidad de Análisis: río Toche 146

8. OHTS y OHTD en la subzona hidrográfica del río Totare 148

8.1. Unidad de Análisis: río Alvarado 1 148
8.2. Unidad de Análisis: río Alvarado 2 150
8.3. Unidad de Análisis: río Chipalo 1 152
8.4. Unidad de Análisis: río Chipalo 2 154
8.5. Unidad de Análisis: río Frío 156
8.6. Unidad de Análisis: río La China 1 158
8.7. Unidad de Análisis: río La China 2 160
8.8. Unidad de Análisis: río La China 3 162
8.9. Unidad de Análisis: río La China 4 164
8.10. Unidad de Análisis: río San Romualdo 166
8.11. Unidad de Análisis: río Totare 1 168
8.12. Unidad de Análisis: río Totare 2 170
8.13. Unidad de Análisis: río Totare 3 172
8.14. Unidad de Análisis: río Totare 4 174
8.15. Unidad de Análisis: río Totare 5 176
8.16. Unidad de Análisis: río Totarito 178
8.17. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Totare 180

9. OHTS Y OHTD EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 182

9.1. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA DOIMA 182
9.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO OPIA 1 184
9.3. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO OPIA 2 186
9.4. UNIDAD DE ANÁLISIS: DRENAJES DIRECTOS AL MAGDALENA SZH RÍO OPIA 188

10. OHTS Y OHTD EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO 190

10.1. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA SANTA ROSA 190
10.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA TAUTAU 192
10.3. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO AZUL 194
10.4. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO RECIO 1 196
10.5. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO RECIO 2 198
10.6. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO RECIO 3 200
10.7. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO RECIO 4 202
10.8. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO RECIO 5 204
10.9. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO RECIO 6 206
10.10. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO VENADILLO 1 208
10.11. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO VENADILLO 2 210
10.12. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LA YUCA 212
10.13. UNIDAD DE ANÁLISIS: DRENAJES DIRECTOS AL MAGDALENA SZH RÍO RECIO-VENADILLO 214

11. OHTS Y OHTD EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 216

11.1. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA LA JOYA 216
11.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA PALMAS 218
11.3. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO AZUFRADO 220
11.4. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO BLEDO 222
11.5. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 1 224
11.6. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 2 226
11.7. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 3 228
11.8. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 4 230
11.9. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 5 232
11.10. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 6 234
11.11. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO LAGUNILLA 7 236
11.12. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO VALLECITOS 238
11.13. UNIDAD DE ANÁLISIS: DRENAJES DIRECTOS AL MAGDALENA SZH RÍO LAGUNILLA 240

12. OHTS Y OHTD EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 242

12.1. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA SECA 242
12.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO CUAMO 244
12.3. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO SABANDIJA 1 246

12.4. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO SABANDIJA 2 248
12.5. UNIDAD DE ANÁLISIS: DRENAJES DIRECTOS AL MAGDALENA SZH RÍO SABANDIJA 250

13. OHTS Y OHTD EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ 252

13.1. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA AGUA DE DIOS 252
13.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA EL GUARUMO 254
13.3. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA NICÚA 256
13.4. UNIDAD DE ANÁLISIS: QUEBRADA SAN JOSÉ 258
13.5. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO AGUACATAL 260
13.6. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO CAJONES 262
13.7. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 1 264
13.8. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 2 266
13.9. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 3 268
13.10. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 4 270
13.11. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 5 272
13.12. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 6 274
13.13. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 7 276
13.14. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 8 278
13.15. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUALÍ 9 280
13.16. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO MEDINA 282
13.17. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO SUCIO 284
13.18. UNIDAD DE ANÁLISIS: DRENAJES DIRECTOS AL MAGDALENA SZH RÍO GUALÍ 286

14. OHTS Y OHTD EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ 288

14.1. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 1 288
14.2. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 2 290
14.3. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 3 292
14.4. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 4 294
14.5. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 5 296
14.6. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 6 298
14.7. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO GUARINÓ 7 300
14.8. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO HONDO 302
14.9. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO PERRILLO 304
14.10. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO SAN JUAN 306
14.11. UNIDAD DE ANÁLISIS: RÍO SANTO DOMINGO 308

15. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO 310

15.1. CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS 311
15.2. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL TOLIMA 314
15.3. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO 320
15.3.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Toche 320*

15.3.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 1 .....321*
15.3.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Bermellon 1..... .....322*
15.3.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Anaime.....323*
15.3.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Bermellon 2..... .....324*
15.3.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 2 .....325*
15.3.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Cocora.....326*
15.3.5. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 3 .....327*
15.3.6. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 1..... .....328*
15.3.7. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 2..... .....329*
15.3.8. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 3..... .....330*
15.3.9. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 4..... .....331*
15.3.10. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 4 .....332*
15.3.11. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Gualanday 333*
15.3.12. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 5 .....334*
15.3.13. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Chaguala.. .....335*
15.3.14. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 6 .....336*
15.4. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE 337
15.4.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 1 .....337*
15.4.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totarito.....338*
15.4.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 2 .....339*
15.4.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 3 .....340*
15.4.5. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Alvarado 1.....341*
15.4.6. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 1 .....342*
15.4.7. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio San Romualdo..... .....343*
15.4.8. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 2 .....344*
15.4.9. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Frio.....345*
15.4.10. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 3 .....346*
15.4.11. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 4 .....347*
15.4.12. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Alvarado 2.....348*
15.4.13. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 4 .....349*
15.4.14. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Chipalo 1.....350*

15.4.15. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Chipalo 2 .....351*
15.4.16. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 5 .....352*
15.5. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 353
15.5.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Opia 1 .....353*
15.5.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Doima 354*
15.5.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Opia 2 .....355*
15.6. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO 356
15.6.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 1 .....356*
15.6.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Azul 357*
15.6.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 2 .....358*
15.6.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Santa Rosa 359*
15.6.5. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 3 .....360*
15.6.6. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Río Yuca 361*
15.6.7. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 4 .....362*
15.6.8. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 5 .....363*
15.6.9. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 6 .....364*
15.6.10. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Venadillo 1 ....365*
15.6.11. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Venadillo 2 ....366*
15.6.12. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Tautau..... .....367*
15.7. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 368
15.7.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 1 ....368*
15.7.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Vallecitos 369*
15.7.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 2 ....370*
15.7.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Azufrado 371*
15.7.5. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 3 ....372*
15.7.6. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 4 ....373*
15.7.7. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Bledo 374*
15.7.8. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 5 ....375*
15.7.9. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Palmas 376*
15.7.10. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 6 ....377*
15.7.11. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada La Joya 378*
15.7.12. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 7 ....379*
15.8. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 380
15.8.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Sabandija 1 ...380*

15.8.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Río Cuamo.....381*
15.8.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Sabandija 2 ...382*
15.8.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Seca....383*
15.9. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ 384
15.9.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 1.....384*
15.9.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Cajones 385*
15.9.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 2.....386*
15.9.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Aguacatal.....387*
15.9.5. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 3.....388*
15.9.6. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada El Guarumo 389*
15.9.7. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Agua de Dios 390*
15.9.8. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 4.....391*
15.9.9. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 5.....392*
15.9.10. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada San Jose ... .393*
15.9.11. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 6.....394*
15.9.12. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Nicua..... .....395*
15.9.13. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 7.....396*
15.9.14. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Sucio 397*
15.9.15. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 8.....398*
15.9.16. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Medina.....399*
15.9.17. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 9.....400*
15.10. OFERTA HÍDRICA EN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ.....401
15.10.1. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 1 .....401*
15.10.2. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Hondo 402*
15.10.3. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 2 .....403*
15.10.4. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Perrillo 404*
15.10.5. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 3 .....405*
15.10.6. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Santo Domingo ... .406*
15.10.7. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 4 .....407*
15.10.8. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio San Juan.....408*
15.10.9. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 5 .....409*
15.10.10. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 6.....410*
15.10.11. *Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 7.....411*

16. CONCLUSIONES DE OFERTA HÍDRICA.....412

16.1. SZH DEL RÍO COELLO 413
16.2. SZH DEL RÍO TOTARE 414
16.3. SZH DEL RÍO OPIA 415
16.4. SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO 415
16.5. SZH DEL RÍO LAGUNILLA 416
16.6. SZH DEL RÍO SABANDIJA 417
16.7. SZH DEL RÍO GUALÍ 417
16.8. SZH DEL RÍO GUARINÓ 418

17. REFERENCIAS 419

CAPÍTULO DEMANDA HÍDRICA 425

18. MARCO CONCEPTUAL 425

19. MARCO METODOLÓGICO 427

19.1. SECTORES USUARIOS 428
19.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE 429
19.3. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA 431
19.4. CAUDALES DE RETORNO 436
19.5. PROYECCIONES POR SECTOR 438
19.6. ESPACIALIZACIÓN DE LA DEMANDA HÍDRICA 439
19.7. PRODUCTOS 440
19.8. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN EXISTENTES 440
19.8.1. Estado de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas 441
19.8.2. Reglamentación de corrientes 441
19.9. INFORMACIÓN DE DEMANDA HÍDRICA DE LÍNEA BASE 442
19.9.1. Subzona Hidrográfica del río Coello 443
19.9.2. Subzona Hidrográfica del río Opia 446
19.9.3. Subzona Hidrográfica del río Totare 446
19.9.4. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 449
19.9.5. Subzona Hidrográfica del río Sabandija 451
19.9.6. Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 452
19.9.7. Subzona Hidrográfica del río Guarinó 453
19.9.8. Subzona Hidrográfica del río Gualí 456
19.10. BASES DE DATOS DE CONCESIONES HÍDRICAS 458
19.10.1. Bases de datos revisadas 458
19.10.2. Análisis exploratorio de la información concesiones hídricas 458
19.10.3. Subzona Hidrográfica del río Coello 460
19.10.4. Subzona Hidrográfica del río Opia 461
19.10.5. Subzona Hidrográfica del río Totare 462

19.10.6. *Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo* 463
19.10.7. *Subzona Hidrográfica del río Sabandija* 464
19.10.8. *Subzona Hidrográfica del río Lagunilla* 465
19.10.9. *Subzona Hidrográfica del río Guarinó* 466
19.10.10. *Subzona Hidrográfica del río Gualí* 467
19.10.11. *Análisis exploratorio de la Información de permisos de captación expedidos por el ANLA* ...468
19.10.11.1. Subzona Hidrográfica del río Coello 471
19.10.11.2. Subzona Hidrográfica del río Opia 472
19.10.11.3. Subzona Hidrográfica del río Totare 473
19.10.11.4. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 473
19.10.11.5. Subzona Hidrográfica del río Sabandija 474
19.10.12. *Registro de Puntos de Aguas Subterránea Consolidado por la Autoridad Ambiental* 474
19.10.12.1. Plan de Manejo Ambiental Acuífero de Ibagué 475

20. DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL 479

20.1. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO 479
20.1.1. *Uso Agrícola* 488
20.1.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 493
20.1.3. *Uso Generación de Energía* 500
20.1.4. *Uso Industrial* 502
20.1.5. *Uso Pecuario* 504
20.1.6. *Uso Piscícola* 508
20.1.7. *Uso Recreativo* 510
20.2. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 512
20.2.1. *Uso Agrícola* 516
20.2.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 518
20.2.3. *Uso Preservación de Flora y Fauna* 520
20.2.4. *Uso Industrial* 522
20.2.5. *Uso Pecuario* 524
20.2.6. *Uso Piscícola* 526
20.3. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE 528
20.3.1. *Uso Agrícola* 534
20.3.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 536
20.3.3. *Uso Generación de Energía* 540
20.3.4. *Uso Industrial* 542
20.3.5. *Uso Minería* 544
20.3.6. *Uso Pecuario* 546
20.3.7. *Uso Piscícola* 548
20.3.8. *Uso Recreativo* 550
20.4. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO Y VENADILLO 552

20.4.1. *Uso Agrícola* 556
20.4.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 558
20.4.3. *Uso Industrial* 561
20.4.4. *Uso Pecuario* 563
20.4.5. *Uso Piscícola* 565
20.4.6. *Uso Recreativo* 567
20.5. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 569
20.5.1. *Uso Agrícola* 574
20.5.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 577
20.5.3. *Uso Industrial* 580
20.5.4. *Uso Minería* 581
20.5.5. *Uso Pecuario* 583
20.5.6. *Uso Piscícola* 585
20.6. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 587
20.6.1. *Uso Agrícola* 592
20.6.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 594
20.6.3. *Uso Industrial* 597
20.6.4. *Uso Minería* 599
20.6.5. *Uso Pecuario* 600
20.6.6. *Uso Piscícola* 602
20.7. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ 604
20.7.1. *Uso Agrícola* 609
20.7.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 612
20.7.3. *Uso Generación de Energía* 615
20.7.4. *Uso Industrial* 616
20.7.5. *Uso Minería* 619
20.7.6. *Uso Pecuario* 622
20.8. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ 625
20.8.1. *Uso Agrícola* 629
20.8.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 632
20.8.3. *Uso Industrial* 635
20.8.4. *Uso Minería* 637
20.8.5. *Uso Pecuario* 639
20.8.6. *Uso Piscícola* 641

21. DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÁNEA 643

21.1. POZOS SUBTERRÁNEOS ABANICO DE IBAGUÉ 643
21.1.1. *Uso Agrícola* 645
21.1.2. *Uso Consumo Humano y Doméstico* 646
21.1.3. *Uso Industrial* 647

21.1.4. Uso Pecuario 648
21.1.5. Uso Piscícola 649
21.1.6. Uso Recreativo 650
21.2. Pozos Subterráneos Acuífero Norte 651
21.2.1. Uso Agrícola 653
21.2.2. Uso Consumo Humano y Doméstico 654
21.2.3. Uso Industrial 655
21.2.4. Uso Pecuario 656
21.2.5. Uso Piscícola 657
21.2.6. Uso Recreativo 658
22. CÁLCULO DE PROYECCIONES DE DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL 659
22.1. Demanda Hídrica Agrícola 661
22.1.1. Cálculo de la demanda hídrica 661
22.1.2. Proyección de la demanda hídrica agrícola 711
22.2. Demanda Hídrica Consumo Humano y Doméstico 752
22.2.1. Proyecciones de población 752
22.2.2. Proyecciones de la demanda hídrica para consumo humano y doméstico 758
22.3. Demanda Hídrica Pecuaria 765
22.3.1. Cálculo de la demanda hídrica 765
22.3.2. Proyección de la demanda hídrica 765
23. CONCLUSIONES DE DEMANDA HÍDRICA 771
24. REFERENCIAS 773
CAPÍTULO CALIDAD DEL AGUA 776
25. MARCO METODOLÓGICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES 776
25.1. Procesos de Alteración – Factores de Contaminación 776
25.1.1. Carga Contaminante 776
25.1.2. Tasa Retributiva 777
25.1.3. Metas de Carga Contaminante 777
25.1.3.1. Meta global de carga contaminante. 777
25.1.3.2. Metas individuales y grupales. 778
26. DETERMINACIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES 778
26.1. Estimación Cargas Aportadas por el Sector Municipal 784
26.2. Estimación Cargas Aportadas por los Rellenos Sanitarios 784
26.3. Estimación Cargas Aportadas por el Sector de Beneficio Animal 785
26.4. Estimación Cargas Aportadas por el Sector Industrial 786
26.5. Estimación de Cargas aportadas por el Beneficio del Café 786

26.5.1. *Determinación de la Oferta hídrica 790*

27. PROCESOS DE ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA: CARGAS CONTAMINANTES 790

27.1. DETERMINACIÓN DE CARGAS APORTANTES 790

27.1.1. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Coello 790*

27.1.2. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Opia 798*

27.1.3. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Totare 801*

27.1.4. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Recio - Venadillo 808*

27.1.5. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Lagunilla 814*

27.1.6. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Sabandija 821*

27.1.7. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Gualí 825*

27.1.8. *Determinación de Cargas para la Cuenca del río Guarinó 833*

28. MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL 838

28.1. PROCESOS DE ALTERACIÓN – FACTORES DE CONTAMINACIÓN 839

29. MARCO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL 839

29.1. APRESTAMIENTO 842

29.1.1. *Definición del horizonte espacial para el análisis de la calidad del agua 842*

29.1.1.1. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Coello 844

29.1.1.2. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Opia 845

29.1.1.3. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Totare 846

29.1.1.4. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca de los ríos Recio - Venadillo 847

29.1.1.5. Tramos y Sectores para el análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Sabandija 848

29.1.1.6. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Lagunilla 848

29.1.1.7. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Gualí 849

29.1.1.8. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Guarinó 850

29.2. REVISIÓN Y DISEÑO DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA 850

29.2.1. *Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Coello 852*

29.2.2. *Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Opia 854*

29.2.3. *Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Totare 855*

29.2.4. *Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca de los ríos Recio- Venadillo 857*

29.2.5. *Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Sabandija 859*

29.2.6. *Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la cuenca del río Lagunilla 860*

29.2.7. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Gualí. 861
29.2.8. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Guarinó 863
29.2.9. Definición de los determinantes de calidad del agua a medir 864
29.2.9.1. Determinantes a medir en Aguas Superficiales 864
29.2.9.2. Determinantes a medir en Aguas Residuales 867
29.3. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA -ICA 870
29.3.1.1. Construcción de las Curvas Funcionales 871
29.3.1.2. Determinación del ICA 875
29.3.1.3. Asignación d descriptores del ICA 876
29.4. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - IACAL ...876
30. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA 878
30.1. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA 878
30.1.1. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Coello 878
30.1.2. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Opia 881
30.1.3. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Totare 882
30.1.4. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Recio - Venadillo 884
30.1.5. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Lagunilla 886
30.1.6. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Sabandija 888
30.1.7. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Gualí 890
30.1.8. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Guarinó 893
31. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA - IACAL 895
31.1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO COELLO 896
31.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO OPIA 901
31.3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO TOTARE 904
31.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO RECIO VENADILLO 910
31.5. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO LAGUNILLA 916
31.6. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO SABANDIJA 921
31.7. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO GUALÍ 925
31.8. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA – IACAL PARA LA CUENCA DEL RÍO GUARINÓ 931

32. CONCLUSIONES SOBRE LA CALIDAD FÍSICO QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA 935

- *Río Coello* *936*
- *Río Opia* *936*
- *Río Totare* *936*
- *Río Recio - Venadillo* *937*
- *Río Lagunilla:* *937*
- *Río Sabandija* *937*
- *Río Gualí* *938*
- *Río Guarinó* *938*

33. ESTUDIO HIDROBIOLÓGICO. 939

33.1. ÁREA DE ESTUDIO 940
33.2. ESTACIONES DE MONITOREO 942
33.2.1. *Subzona Hidrográfica Río Coello* *942*
33.2.2. *Subzona Hidrográfica Río Totare* *945*
33.2.3. *Subzona Hidrográfica Río Opia* *948*
33.2.4. *Subzona Hidrográfica Río Recio* *950*
33.2.5. *Subzona Hidrográfica Río Lagunilla* *953*
33.2.6. *Subzona Hidrográfica Río Sabandija* *954*
33.2.7. *Subzona Hidrográfica Río Gualí* *956*
33.2.8. *Subzona Hidrográfica Río Guarinó* *957*

34. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO 959

34.1. PERIFITON 959
34.1.1. *Colecta en campo* *959*
34.1.2. *Métodos de laboratorio* *960*
34.1.3. *Análisis de datos* *960*
34.2. MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS 962
34.2.1. *Colecta de campo* *962*
34.2.2. *Métodos de laboratorio* *962*
34.2.3. *Ingreso del material a colección biológica de referencia* *963*
34.2.4. *Análisis de datos* *963*
34.3. ICTIOFAUNA 965
34.3.1. *Colecta en campo* *965*
34.3.2. *Métodos de laboratorio* *966*
34.3.3. *Análisis de datos* *966*

35. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO 968

35.1. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO 968
35.1.1. *Perifiton* *968*

35.1.1.1. Representatividad 968
35.1.1.2. Composición 969
35.1.1.3. Distribución espacial 971
35.1.1.4. Distribución temporal 973
35.1.1.5. Diversidad 974
35.1.1.6. Ensamblaje 975
35.1.1.7. Relación con variables fisicoquímicas 976
35.1.1.8. Índice diatómico genérico (IDG) 977
35.1.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *978*
35.1.2.1. Representatividad 978
35.1.2.2. Composición 979
35.1.2.3. Distribución espacial 982
35.1.2.4. Distribución temporal 985
35.1.2.5. Diversidad 988
35.1.2.6. Ensamblaje 989
35.1.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 990
35.1.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 992
35.1.2.9. Gremios tróficos 993
35.1.3. *Ictiofauna* *994*
35.1.3.1. Representatividad 994
35.1.3.2. Composición 995
35.1.3.3. Distribución espacial 996
35.1.3.4. Distribución temporal 998
35.1.3.5. Diversidad 999
35.1.3.6. Ensamblaje 1000
35.1.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1001
35.1.3.8. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud peso 1004
35.1.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1006
35.1.3.10. Especies de interés y categorías de amenaza y consideraciones 1008
35.2. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE 1011
35.2.1. *Perifiton* *1011*
35.2.1.1. Representatividad 1011
35.2.1.2. Composición 1012
35.2.1.3. Distribución espacial 1014
35.2.1.4. Distribución temporal 1015
35.2.1.5. Diversidad 1017
35.2.1.6. Ensamblaje 1018
35.2.1.7. Relación con variables fisicoquímicas 1019
35.2.1.8. Índice diatómico genérico (IDG) 1020
35.2.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *1021*

35.2.2.1. Representatividad 1021
35.2.2.2. Composición 1022
35.2.2.3. Distribución espacial 1026
35.2.2.4. Distribución temporal 1029
35.2.2.5. Diversidad 1033
35.2.2.6. Ensamblaje 1034
35.2.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 1035
35.2.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 1037
35.2.2.9. Gremios tróficos 1038
35.2.3. *Ictiofauna* *1039*
35.2.3.1. Representatividad 1039
35.2.3.2. Composición 1040
35.2.3.3. Distribución espacial 1042
35.2.3.4. Distribución temporal 1044
35.2.3.5. Diversidad 1048
35.2.3.6. Ensamblaje 1050
35.2.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1051
35.2.3.8. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud peso 1054
35.2.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1056
35.2.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones 1058
35.3. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 1062
35.3.1. *Perifiton* *1062*
35.3.1.1. Representatividad 1062
35.3.1.2. Composición 1063
35.3.1.3. Distribución espacial 1065
35.3.1.4. Distribución temporal 1066
35.3.1.5. Diversidad 1068
35.3.1.5.1. Ensamblaje 1068
35.3.1.6. Relación con variables fisicoquímicas 1069
35.3.1.7. Índice Diatómico genérico (IDG) 1070
35.3.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *1071*
35.3.2.1. Representatividad 1071
35.3.2.2. Composición 1072
35.3.2.3. Distribución espacial 1075
35.3.2.4. Distribución temporal 1078
35.3.2.5. Diversidad 1081
35.3.2.6. Ensamblaje 1083
35.3.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 1084
35.3.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 1085
35.3.2.9. Gremios tróficos 1086

35.3.3. Ictiofauna 1087
35.3.3.1. Representatividad 1087
35.3.3.2. Composición 1088
35.3.3.3. Distribución espacial 1089
35.3.3.4. Distribución temporal 1091
35.3.3.5. Diversidad 1093
35.3.3.6. Ensamblaje 1094
35.3.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1095
35.3.3.8. Distribución de frecuencias de talla y relación lontigud-peso 1097
35.3.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1100
35.3.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones 1101
35.4. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1105
35.4.1. Perifiton 1105
35.4.1.1. Representatividad 1105
35.4.1.2. Composición 1106
35.4.1.3. Distribución espacial 1110
35.4.1.4. Distribución temporal 1113
35.4.1.5. Diversidad 1116
35.4.1.5.1. Ensamblaje 1117
35.4.1.6. Relación con variables fisicoquímicas 1119
35.4.1.7. Índice diatómico genérico (IDG) 1120
35.4.2. Macroinvertebrados acuáticos 1121
35.4.2.1. Representatividad 1121
35.4.2.2. Composición 1122
35.4.2.3. Distribución espacial 1125
35.4.2.4. Distribución temporal 1128
35.4.2.5. Diversidad 1131
35.4.2.6. Ensamblaje 1132
35.4.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 1133
35.4.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col. 1134
35.4.2.9. Gremios tróficos 1135
35.4.3. Ictiofauna 1136
35.4.3.1. Representatividad (Rio Recio) 1136
35.4.3.2. Composición (Rio Recio) 1137
35.4.3.3. Distribución espacial (Rio Recio) 1139
35.4.3.4. Distribución temporal (Rio Recio) 1140
35.4.3.5. Diversidad (Rio Recio) 1143
35.4.3.6. Ensamblaje (Rio Recio) 1145
35.4.3.7. Relaciones fisicoquímicas (Rio Recio) 1145
35.4.3.8. Distribución de tallas y relación longitud-peso (Rio Recio) 1148

35.4.3.9. Análisis trófico y reproductivo (Rio Recio) 1150
35.4.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones (Rio Recio) 1152
35.4.3.11. Representatividad (Río Venadillo) 1156
35.4.3.12. Composición (Río Venadillo) 1157
35.4.3.13. Distribución espacial (Río Venadillo) 1159
35.4.3.14. Distribución temporal (Río Venadillo) 1161
35.4.3.15. Diversidad (Río Venadillo) 1162
35.4.3.16. Ensamblaje (Río Venadillo) 1163
35.4.3.17. Relación con variables fisicoquímicas (Río Venadillo). 1164
35.4.3.18. Distribución de frecuencias de talla y relación longitud-peso (Río Venadillo) 1164
35.4.3.19. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones (Río Venadillo) 1166
35.5. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 1169
35.5.1. *Perifiton* *1169*
35.5.1.1. Representatividad 1169
35.5.1.2. Composición 1170
35.5.1.3. Distribución espacial 1172
35.5.1.4. Distribución temporal 1173
35.5.1.5. Diversidad 1174
35.5.1.6. Ensamblaje 1175
35.5.1.7. Relación con variables fisicoquímicas 1176
35.5.1.8. Índice diatómico genérico (IDG) 1177
35.5.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *1178*
35.5.2.1. Representatividad 1178
35.5.2.2. Composición 1179
35.5.2.3. Distribución espacial 1182
35.5.2.4. Distribución temporal 1184
35.5.2.5. Diversidad 1186
35.5.2.6. Ensamblaje 1188
35.5.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 1190
35.5.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 1192
35.5.2.9. Gremios tróficos 1192
35.5.3. *Ictiofauna* *1193*
35.5.3.1. Representatividad 1193
35.5.3.2. Composición 1194
35.5.3.3. Distribución espacial 1196
35.5.3.4. Distribución temporal 1198
35.5.3.5. Diversidad 1200
35.5.3.6. Ensamblaje 1201
35.5.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1202
35.5.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso 1204

35.5.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1207
35.5.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones 1209
35.6. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1212
35.6.1. *Perifiton* *1212*
35.6.1.1. Representatividad 1212
35.6.1.2. Composición 1213
35.6.1.3. Distribución espacial 1215
35.6.1.4. Distribución temporal 1217
35.6.1.5. Diversidad 1218
35.6.1.6. Ensamblaje 1219
35.6.1.7. Relación con variables fisicoquímicas 1220
35.6.1.8. Índice diatómico genérico (IDG) 1221
35.6.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *1222*
35.6.2.1. Representatividad 1222
35.6.2.2. Composición 1223
35.6.2.3. Distribución espacial 1226
35.6.2.4. Distribución temporal 1228
35.6.2.5. Diversidad 1231
35.6.2.6. Ensamblaje 1232
35.6.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 1234
35.6.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 1235
35.6.2.9. Gremios tróficos 1235
35.6.3. *Ictiofauna* *1236*
35.6.3.1. Representatividad 1236
35.6.3.2. Composición 1237
35.6.3.3. Distribución espacial 1239
35.6.3.4. Distribución temporal 1241
35.6.3.5. Diversidad 1243
35.6.3.6. Ensamblaje 1245
35.6.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1246
35.6.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso 1248
35.6.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1251
35.6.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones 1252
35.7. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1256
35.7.1. *Perifiton* *1256*
35.7.1.1. Representatividad 1256
35.7.1.2. Composición 1257
35.7.1.3. Distribución espacial 1259
35.7.1.4. Distribución temporal 1261
35.7.1.5. Diversidad 1262

35.7.1.6. Ensamblaje 1263
35.7.1.7. Relación con variables fisicoquímicas 1264
35.7.1.8. Índice diatómico genérico (IDG) 1265
35.7.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *1266*
35.7.2.1. Representatividad 1266
35.7.2.2. Composición 1267
35.7.2.3. Distribución espacial 1270
35.7.2.4. Distribución temporal 1272
35.7.2.5. Diversidad 1275
35.7.2.6. Ensamblaje 1276
35.7.2.7. Relación con variables fisicoquímicas 1278
35.7.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 1279
35.7.2.9. Gremios tróficos 1280
35.7.3. *Ictiofauna* *1281*
35.7.3.1. Representatividad 1281
35.7.3.2. Composición 1282
35.7.3.3. Distribución espacial 1283
35.7.3.4. Distribución temporal 1285
35.7.3.5. Diversidad 1288
35.7.3.6. Ensamblaje 1289
35.7.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1289
35.7.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso 1292
35.7.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1294
35.7.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones 1296
35.8. SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINO. 1299
35.8.1. *Perifiton* *1299*
35.8.1.1. Representatividad 1299
35.8.1.2. Composición 1300
35.8.1.3. Distribución espacial 1302
35.8.1.4. Distribución temporal 1303
35.8.1.5. Diversidad 1305
35.8.1.6. Ensamblaje 1305
35.8.1.7. Relación con variables fisicoquímicas 1306
35.8.1.8. Índice diatómico genérico (IDG) 1306
35.8.2. *Macroinvertebrados acuáticos* *1307*
35.8.2.1. Representatividad 1307
35.8.2.2. Distribución espacial 1310
35.8.2.3. Distribución temporal 1312
35.8.2.4. Diversidad 1314
35.8.2.5. Ensamblaje 1315

35.8.2.6. Relación con variables fisicoquímicas 1317
35.8.2.7. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col 1318
35.8.2.8. Gremios tróficos 1318
35.8.3. *Ictiofauna* *1319*
35.8.3.1. Representatividad 1319
35.8.3.2. Composición 1320
35.8.3.3. Distribución espacial 1322
35.8.3.4. Distribución temporal 1324
35.8.3.5. Diversidad 1326
35.8.3.6. Ensamblaje 1327
35.8.3.7. Relación con variables fisicoquímicas 1328
35.8.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso 1328
35.8.3.9. Análisis trófico y reproductivo 1331
35.8.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones 1333

36. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS HIDROBIOLÓGICO. 1337

37. REFERENCIAS 1338

CAPÍTULO INDICADORES DE LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA 1353

38. INDICADORES DEL SISTEMA HÍDRICO NATURAL 1354

38.1. ÍNDICE DE ARIDEZ (IA) 1354
38.1.1. *IA en la subzona hidrográfica del río Coello* *1355*
38.1.2. *IA en la subzona hidrográfica del río Totare* *1359*
38.1.3. *IA en la subzona hidrográfica del río Opia* *1363*
38.1.4. *IA en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1367*
38.1.5. *IA en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1371*
38.1.6. *IA en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1375*
38.1.7. *IA en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1379*
38.1.8. *IA en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1383*
38.2. ÍNDICE DE REGULACIÓN Y RETENCIÓN HÍDRICA (IRH) 1387
38.2.1. *IRH en la subzona hidrográfica del río Coello* *1389*
38.2.2. *IRH en la subzona hidrográfica del río Totare* *1390*
38.2.3. *IRH en la subzona hidrográfica del río Opia* *1391*
38.2.4. *IRH en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1392*
38.2.5. *IRH en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1393*
38.2.6. *IRH en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1394*
38.2.7. *IRH en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1395*
38.2.8. *IRH en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1396*
38.3. ÍNDICE ESTANDARIZADO DE ESCORRENTÍA (SRI) 1397

38.3.1. *SRI en la subzona hidrográfica del río Coello* *1398*
38.3.2. *SRI en la subzona hidrográfica del río Totare* *1398*
38.3.3. *SRI en la subzona hidrográfica del río Opia* *1399*
38.3.4. *SRI en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1400*
38.3.5. *SRI en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1401*
38.3.6. *SRI en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1402*
38.3.7. *SRI en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1403*
38.3.8. *SRI en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1404*
38.4. ÍNDICE DE RENDIMIENTO MEDIO DE SEDIMENTOS (IRS) 1405
38.4.1. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Coello* *1408*
38.4.2. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Totare* *1409*
38.4.3. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Opia* *1409*
38.4.4. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1410*
38.4.5. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1411*
38.4.6. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Sabandija* *1412*
38.4.7. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Gualí* *1413*
38.4.8. *IRS en la Subzona hidrográfica del río Guarinó* *1414*

39. INDICADORES DE PRESIÓN POR USO DEL AGUA 1416

39.1. ÍNDICE DE USO DEL AGUA (IUA) 1416
39.1.1. *IUA en la subzona hidrográfica del río Coello* *1417*
39.1.2. *IUA en la subzona hidrográfica del río Totare* *1420*
39.1.3. *IUA en la subzona hidrográfica del río Opia* *1423*
39.1.4. *IUA en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1426*
39.1.5. *IUA en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1429*
39.1.6. *IUA en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1432*
39.1.7. *IUA en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1435*
39.1.8. *IUA en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1438*
39.2. ÍNDICE DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS (IEAS) 1441
39.3. ÍNDICE DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO (IASAP) 1442

40. INDICADORES DE ESTADO DE CALIDAD Y PRESIÓN POR CONTAMINACIÓN 1445

40.1. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) 1445
40.1.1. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Coello* *1448*
40.1.2. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Totare* *1450*
40.1.3. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Opia* *1451*
40.1.4. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1452*
40.1.5. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1454*
40.1.6. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Sabandija* *1456*
40.1.7. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Gualí* *1458*
40.1.8. *ICA en la Subzona hidrográfica del río Guarinó* *1460*

40.2. ÍNDICE DE ALTERACIÓN POTENCIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL) 1463
40.2.1. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Coello* *1464*
40.2.2. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Totare* *1469*
40.2.3. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Opia* *1475*
40.2.4. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1478*
40.2.5. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1483*
40.2.6. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1488*
40.2.7. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1492*
40.2.8. *IACAL en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1497*
40.3. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS (IMA-BMWP-COL) 1501
40.3.1. *IMA en la subzona hidrográfica del río Coello* *1502*
40.3.2. *IMA en la subzona hidrográfica del río Totare* *1502*
40.3.3. *IMA en la subzona hidrográfica del río Opia* *1503*
40.3.4. *IMA en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1504*
40.3.5. *IMA en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1504*
40.3.6. *IMA en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1505*
40.3.7. *IMA en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1506*
40.3.8. *IMA en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1506*
40.4. ÍNDICE ECOLÓGICO DE CALIDAD DEL AGUA (IDG) 1508
40.4.1. *IDG en la subzona hidrográfica del río Coello* *1509*
40.4.2. *IDG en la subzona hidrográfica del río Totare* *1510*
40.4.3. *IDG en la subzona hidrográfica del río Opia* *1511*
40.4.4. *IDG en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1511*
40.4.5. *IDG en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1512*
40.4.6. *IDG en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1513*
40.4.7. *IDG en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1513*
40.4.8. *IDG en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1514*

41. INDICADORES DE RIESGO EN LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA 1516

41.1. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO (IVH) 1516
41.1.1. *IVH en la subzona hidrográfica del río Coello* *1519*
41.1.2. *IVH en la subzona hidrográfica del río Totare* *1521*
41.1.3. *IVH en la subzona hidrográfica del río Opia* *1523*
41.1.4. *IVH en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1525*
41.1.5. *IVH en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1527*
41.1.6. *IVH en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1529*
41.1.7. *IVH en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1531*
41.1.8. *IVH en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1533*
41.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES (IVET) 1535
41.2.1. *IVET en la subzona hidrográfica del río Coello* *1539*

41.2.2. *IVET en la subzona hidrográfica del río Totare* *1540*
41.2.3. *IVET en la subzona hidrográfica del río Opia* *1541*
41.2.4. *IVET en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo* *1542*
41.2.5. *IVET en la subzona hidrográfica del río Lagunilla* *1543*
41.2.6. *IVET en la subzona hidrográfica del río Sabandija* *1544*
41.2.7. *IVET en la subzona hidrográfica del río Gualí* *1545*
41.2.8. *IVET en la subzona hidrográfica del río Guarinó* *1546*

42. REFERENCIAS 1547

Lista de Tablas

Tabla 1. Escala fundamental de números absolutos. 5
Tabla 2. Modelos hidrológicos candidatos contemplados para la simulación. 8
Tabla 3. Criterios definidos para la selección del modelo hidrológico. 11
Tabla 4. Calificación de los criterios de selección para la modelación hidrológica. 14
Tabla 5. Calificación de los modelos hidrológicos con base a los sus criterios de selección 16
Tabla 6. Tamaño recomendado de series meteorológicas y climatológicas. 20
Tabla 7. Estaciones IDEAM que satisfacen criterios de selección en ERA fase I en el departamento del Tolima 22
Tabla 8. Estaciones Cenicafé para el ERA Tolima -Fase I- 24
Tabla 9. Estaciones CORTOLIMA 25
Tabla 10. Misiones de satélite que realizan mediciones de precipitación 28
Tabla 11. Información lluvia satelital según resolución temporal disponible 34
Tabla 12. Información lluvia satelital según resolución espacial disponible 35
Tabla 13. Estaciones hidrométricas disponibles sobre las Subzonas ERA – F1 39
Tabla 14. Estaciones hidrométricas seleccionadas para la calibración y validación de los modelos hidrológicos en las Subzonas Hidrográficas ERA – F1 41
Tabla 15. Planchas cartográficas geológicas abordadas sobre la zona de estudio. 44
Tabla 16. Definición de elementos que conforman la esquematización conceptual 46
Tabla 17. Valores de referencia de kp en función del tipo de roca 68
Tabla 18. Capacidad de almacenamiento superficial y profundidad de raíz por efecto del tipo de cobertura 73
Tabla 19. Parámetros geomorfológicos adoptados 77
Tabla 20. Índices de vegetación por tipo de cobertura 79
Tabla 21. Valores de capacidad de intercepción máxima por tipo de cobertura 81
Tabla 22. Factores correctores y los respectivos parámetros ajustados 95
Tabla 23. Criterios de evaluación del desempeño de los modelos hidrológicos 95
Tabla 24. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Coello 98
Tabla 25. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Opia 100
Tabla 26. Métricas de rendimiento del modelo en calibración SZH Totare 102
Tabla 27. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Recio-Venadillo 103
Tabla 28. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Lagunilla 105
Tabla 29. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Sabandija 107
Tabla 30. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Gualí 109
Tabla 31. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Guarinó 111

Tabla 32. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Chagualá 114
Tabla 33. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Gualanday 116
Tabla 34. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Anaime 118
Tabla 35. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Bermellón 1 120
Tabla 36. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Bermellón 2 122
Tabla 37. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Cocora 124
Tabla 38. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 1 126
Tabla 39. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 2 128
Tabla 40. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 3 130
Tabla 41. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 4 132
Tabla 42. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 5 134
Tabla 43. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 6 136
Tabla 44. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 1 138
Tabla 45. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 2 140
Tabla 46. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 3 142
Tabla 47. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 4 144
Tabla 48. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Toche 146
Tabla 49. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Alvarado 1 148
Tabla 50. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Alvarado 2 150
Tabla 51. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Chipalo 1 152

Tabla 52. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Chipalo 2.....154
Tabla 53. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Frío.....156
Tabla 54. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 1 158
Tabla 55. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 2 160
Tabla 56. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 3 162
Tabla 57. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 4 164
Tabla 58. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río San Romualdo 166
Tabla 59. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 1.....168
Tabla 60. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 2.....170
Tabla 61. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 3.....172
Tabla 62. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 4.....174
Tabla 63. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 5.....176
Tabla 64. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totarito 178
Tabla 65. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Totare 180
Tabla 66. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Doima 182
Tabla 67. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Opia 1 184
Tabla 68. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Opia 2 186
Tabla 69. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Opia 188
Tabla 70. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Santa Rosa.....190

Tabla 71. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Tautau 192
Tabla 72. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Azul 194
Tabla 73. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 1 196
Tabla 74. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 2 198
Tabla 75. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 3 200
Tabla 76. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 4 202
Tabla 77. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 5 204
Tabla 78. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 6 206
Tabla 79. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Venadillo 1 208
Tabla 80. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Venadillo 2 210
Tabla 81. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La Yuca 212
Tabla 82. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo 214
Tabla 83. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada La Joya 216
Tabla 84. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Palmas 218
Tabla 85. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Azufrado 220
Tabla 86. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Bledo 222
Tabla 87. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 1 224
Tabla 88. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 2 226
Tabla 89. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 3 228

Tabla 90. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 4 230
Tabla 91. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 5 232
Tabla 92. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 6 234
Tabla 93. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 7 236
Tabla 94. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Vallecitos 238
Tabla 95. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Lagunilla 240
Tabla 96. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Seca 242
Tabla 97. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Cuamo 244
Tabla 98. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Sabandija 1 246
Tabla 99. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Sabandija 2 248
Tabla 100. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Sabandija 250
Tabla 101. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Agua de Dios 252
Tabla 102. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada El Guarumo 254
Tabla 103. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Nicúa 256
Tabla 104. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada San José 258
Tabla 105. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Aguacatal 260
Tabla 106. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Cajones 262
Tabla 107. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 1 264
Tabla 108. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 2 266

Tabla 109. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 3 268
Tabla 110. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 4 270
Tabla 111. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 5 272
Tabla 112. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 6 274
Tabla 113. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 7 276
Tabla 114. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 8 278
Tabla 115. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 9 280
Tabla 116. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Medina 282
Tabla 117. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Sucio 284
Tabla 118. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Gualí 286
Tabla 119. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 1 288
Tabla 120. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 2 290
Tabla 121. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 3 292
Tabla 122. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 4 294
Tabla 123. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 5 296
Tabla 124. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 6 298
Tabla 125. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 7 300
Tabla 126. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Hondo 302
Tabla 127. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Perrillo 304

Tabla 128. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río San Juan 306
Tabla 129. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Santo Domingo 308
Tabla 130. Comportamiento del ONI 3.4 periodo seco, húmedo y medio 312
Tabla 131. Estaciones con registros de precipitación 314
Tabla 132. Estaciones con registros de temperatura 316
Tabla 133. Variaciones en temperatura y precipitación media para el departamento del Tolima según RCP y escala temporal 318
Tabla 134. Variaciones en temperatura Máxima y mínima para el departamento del Tolima según RCP y escala temporal 319
Tabla 135. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Toche 320
Tabla 136. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 1 321
Tabla 137. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Bermellon 1 322
Tabla 138. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Anaime 323
Tabla 139. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Bermellon 2 324
Tabla 140. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 2 325
Tabla 141. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Cocora 326
Tabla 142. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 3 327
Tabla 143. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 1 328
Tabla 144. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 2 329
Tabla 145. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 3 330
Tabla 146. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 4 331
Tabla 147. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 4 332
Tabla 148. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Gualanday 333

Tabla 149. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 5 334
Tabla 150. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Chaguala 335
Tabla 151. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 6 336
Tabla 152. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 1 337
Tabla 153. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totarito 338
Tabla 154. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 2 339
Tabla 155. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 3 340
Tabla 156. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Alvarado 1 341
Tabla 157. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 1 342
Tabla 158. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio San Romualdo 343
Tabla 159. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 2 344
Tabla 160. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Frio 345
Tabla 161. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 3 346
Tabla 162. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 4 347
Tabla 163. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Alvarado 2 348
Tabla 164. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 4 349
Tabla 165. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Chipalo 1 350
Tabla 166. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Chipalo 2 351
Tabla 167. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 5 352
Tabla 168. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Opia 1 353

Tabla 169. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Doima 354
Tabla 170. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Opia 2 355
Tabla 171. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 1 356
Tabla 172. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Azul 357
Tabla 173. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 2 358
Tabla 174. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Santa Rosa 359
Tabla 175. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 3 360
Tabla 176. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Yuca 361
Tabla 177. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 4 362
Tabla 178. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 5 363
Tabla 179. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 6 364
Tabla 180. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Venadillo 1 365
Tabla 181. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Venadillo 2 366
Tabla 182. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Tautau 367
Tabla 183. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 1 368
Tabla 184. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Vallecitos 369
Tabla 185. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 2 370
Tabla 186. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Azufrado 371
Tabla 187. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 3 372
Tabla 188. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 4 373

Tabla 189. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Bledo 374
Tabla 190. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 5 375
Tabla 191. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Palmas 376
Tabla 192. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 6 377
Tabla 193. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada La Joya 378
Tabla 194. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 7 379
Tabla 195. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Sabandija 1 380
Tabla 196. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Cuamo 381
Tabla 197. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Sabandija 2 382
Tabla 198. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Seca 383
Tabla 199. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 1 384
Tabla 200. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Cajones 385
Tabla 201. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 2 386
Tabla 202. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Aguacatal 387
Tabla 203. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 3 388
Tabla 204. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada El Guarumo 389
Tabla 205. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Agua de Dios 390
Tabla 206. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 4 391
Tabla 207. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 5 392
Tabla 208. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada San Jose 393

Tabla 209. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 6 394
Tabla 210. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Nicua 395
Tabla 211. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 7 396
Tabla 212. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Sucio 397
Tabla 213. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 8 398
Tabla 214. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Medina 399
Tabla 215. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 9 400
Tabla 216. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 1 401
Tabla 217. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Hondo 402
Tabla 218. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 2 403
Tabla 219. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Perrillo 404
Tabla 220. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 3 405
Tabla 221. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Santo Domingo 406
Tabla 222. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 4 407
Tabla 223. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio San Juan 408
Tabla 224. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 5 409
Tabla 225. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 6 410
Tabla 226. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 7 411
Tabla 227. Categorías de uso del agua (Fuente: Decreto 3930 de 2010) 428
Tabla 228. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar 433
Tabla 229. Leyenda para mapas temáticos de la demanda hídrica. Fuente: IDEAM (2013) 439
Tabla 230. Corrientes hídricas reglamentadas actuales y su vigencia. Fuente: Cortolima (2019) 442

Tabla 231. Caudal concesionado por tipo de uso de agua para la Subzona Hidrográfica del rio Coello 443
Tabla 232. Caudal concesionado por unidad hidrográfica que conforman la Subzona Hidrográfica del rio Coello. Fuente: Cortolima (2019).....444
Tabla 233. Caudal concesionado por tipo de uso de agua para la Subzona Hidrográfica del río Totare 446
Tabla 234. Caudal concesionado por unidad hidrológica que conforma la Subzona Hidrográfica del río Totare. Fuente: Cortolima (2019).....447
Tabla 235. Caudal concesionado por tipo de uso de agua para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 449
Tabla 236. Demanda hídrica total para cada unidad hidrológica que conforma la Subzona Hidrográfica de los ríos Recio y Venadillo. Fuente: Corcuencas (2019) 450
Tabla 237. Demanda hídrica total para cada unidad hidrológica que conforma la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla. Fuente: Cortolima et al, (2010) 452
Tabla 238. Demanda hídrica sectorial y total por cada unidad hidrográfica que conforman la Subzona Hidrográfica del río Guarinó. Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó (2015).....455
Tabla 239. Demanda hídrica por unidad hidrográfica de la Subzona Hidrográfica del río Gualí, según censos PROAGUA (2012) y HTM-GOTTA (2013). Fuente: Cortolima (2014) 456
Tabla 240. Proyección de demanda al año 2023 para las cuencas y subcuencas del Río Gualí según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH). Fuente: Cortolima et al, (2013) 457
Tabla 241. Información registrada en bases de datos analizadas 459
Tabla 242. Usuarios con registro de caudal concesionado de cero (0) l/s 459
Tabla 243. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Coello 460
Tabla 244. Demanda hídrica por usos y usuarios en la Subzona Hidrográfica del río Opia 461
Tabla 245. Demanda hídrica por usuario y tipo de uso de agua en la Subzona Hidrográfica del río Totare.....462
Tabla 246. Demanda hídrica por usuario y tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo.....463
Tabla 247. Demanda hídrica concesionada por usuario y tipo de uso en el Subzona Hidrográfica del río Sabandija.....464
Tabla 248. Demanda hídrica concesionada por usuario y tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 465
Tabla 249. Demanda hídrica concesionada por CORTOLIMA para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó.....466
Tabla 250. Demanda Hídrica concesionada para la Subzona Hidrográfica del río Gualí por usuarios y tipo de uso 467
Tabla 251. Permisos de captación otorgados por la ANLA en el área de estudio 469
Tabla 252. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Coello 471
Tabla 253. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Opia.....472
Tabla 254. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Totare 473
Tabla 255. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 474
Tabla 256. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija.....474
Tabla 257. Puntos de captación subterránea en el Acuífero de Ibagué y Acuífero Norte.....474
Tabla 258. Demanda hídrica subterránea por municipio en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015) 476
Tabla 259. Usos del recurso hídrico del acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015).....477
Tabla 260. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Coello 480
Tabla 261. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Coello.....480

Tabla 262. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 484
Tabla 263. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello 489
Tabla 264. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 490
Tabla 265. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Coello 494
Tabla 266. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 497
Tabla 267. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Coello 500
Tabla 268. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 501
Tabla 269. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Coello 502
Tabla 270. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 503
Tabla 271. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Coello 504
Tabla 272. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 506
Tabla 273. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello 508
Tabla 274. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello 509
Tabla 275. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Coello 511
Tabla 276. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Coello 511
Tabla 277. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Opia 512
Tabla 278. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Opia 513
Tabla 279. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia 514
Tabla 280. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia 516
Tabla 281. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia 517
Tabla 282. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Opia 518

Tabla 283. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia.....519
Tabla 284. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Preservación de Flora y Fauna en la Subzona Hidrográfica del río Opia 521
Tabla 285. Distribución de la demanda hídrica para Preservación de Flora y Fauna por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Opia 521
Tabla 286. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Opia 522
Tabla 287. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia.....523
Tabla 288. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Opia 524
Tabla 289. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia.....525
Tabla 290. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia 527
Tabla 291. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia.....527
Tabla 292. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Totare 528
Tabla 293. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Totare.....529
Tabla 294. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare.....531
Tabla 295. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare.....534
Tabla 296. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del Totare 535
Tabla 297. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Totare.....537
Tabla 298. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare 538
Tabla 299. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Totare 540
Tabla 300. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare.....541
Tabla 301. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Totare.....542
Tabla 302. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare 543
Tabla 303. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Totare 544

Tabla 304. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare 545
Tabla 305. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Totare 546
Tabla 306. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare. 546
Tabla 307. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare 548
Tabla 308. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare 549
Tabla 309. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Totare 550
Tabla 310. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Totare 551
Tabla 311. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 552
Tabla 312. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 553
Tabla 313. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 554
Tabla 314. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 556
Tabla 315. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 557
Tabla 316. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 558
Tabla 317. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 559
Tabla 318. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 561
Tabla 319. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 562
Tabla 320. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 563
Tabla 321. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 564
Tabla 322. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 565
Tabla 323. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 566

Tabla 324. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 567
Tabla 325. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 568
Tabla 326. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 569
Tabla 327. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 570
Tabla 328. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 572
Tabla 329. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 575
Tabla 330. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 575
Tabla 331. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 577
Tabla 332. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 578
Tabla 333. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 580
Tabla 334. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 581
Tabla 335. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 582
Tabla 336. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 582
Tabla 337. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 583
Tabla 338. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 584
Tabla 339. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 585
Tabla 340. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 586
Tabla 341. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 587
Tabla 342. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 588
Tabla 343. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 590
Tabla 344. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 593
Tabla 345. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 593

Tabla 346. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 595
Tabla 347. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla.....596
Tabla 348. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 597
Tabla 349. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla.....598
Tabla 350. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 599
Tabla 351. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 599
Tabla 352. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 600
Tabla 353. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla.....601
Tabla 354. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 602
Tabla 355. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla.....603
Tabla 356. Distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrográfica (UH) definida en el POMCA del río Guarinó 605
Tabla 357. Localización de captaciones sobre el río Guarinó.....606
Tabla 358. Distribución de la demanda hídrica total en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó.....607
Tabla 359. Demanda hídrica para uso Agrícola por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 609
Tabla 360. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 610
Tabla 361. Demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 612
Tabla 362. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 614
Tabla 363. Demanda hídrica para uso Industrial por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó.....616
Tabla 364. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 617
Tabla 365. Demanda hídrica para Minería por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 619
Tabla 366. Distribución de la demanda hídrica para Minería en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 620

Tabla 367. Demanda hídrica para uso Pecuario por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 622
Tabla 368. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 623
Tabla 369. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 625
Tabla 370. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 625
Tabla 371. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí 627
Tabla 372. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 630
Tabla 373. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí 630
Tabla 374. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 632
Tabla 375. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí 633
Tabla 376. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 635
Tabla 377. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí 636
Tabla 378. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Gualí ..637
Tabla 379. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guali 638
Tabla 380. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 639
Tabla 381. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí 640
Tabla 382. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 641
Tabla 383. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guali 642
Tabla 384. Caudal concesionado por tipo de uso en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué 644
Tabla 385. Demanda hídrica para uso Agrícola en el Acuífero Abanico de Ibagué 645
Tabla 386. Demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en el Acuífero Abanico de Ibagué 647
Tabla 387. Demanda hídrica para uso Industrial en el Acuífero Abanico de Ibagué 648
Tabla 388. Demanda hídrica para uso Pecuario en el Acuífero Abanico de Ibagué 649
Tabla 389. Demanda hídrica para uso Piscícola en el Acuífero Abanico de Ibagué 650
Tabla 390. Demanda hídrica para uso Recreativo en el Acuífero Abanico de Ibagué 651
Tabla 391. Caudal concesionado por tipo de uso en los pozos subterráneos del Acuífero Norte 652
Tabla 392. Demanda hídrica para uso Agrícola en el Acuífero Norte 653

Tabla 393. Demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en el Acuífero Norte 654
Tabla 394. Demanda hídrica para uso Industrial en el Acuífero Norte 655
Tabla 395. Demanda hídrica para uso Pecuario en el Acuífero Norte 656
Tabla 396. Demanda hídrica para uso Piscícola en el Acuífero Norte 657
Tabla 397. Demanda hídrica para uso Recreativo el Acuífero Norte 658
Tabla 398. Demanda hídrica del sector agrícola para el año 2021 de cada uno de los municipios con jurisdicción en las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio 662
Tabla 399. Distribución de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cultivo en los municipios que componen las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio para el año 2021 663
Tabla 400. Coberturas asignadas a los cultivos demandantes del recurso hídrico por municipio 668
Tabla 401. Módulos de consumo por cobertura en cada municipio para la espacialización de la demanda hídrica calculada del sector agrícola por Subzona Hidrográfica y Unidad Hidrológica de Análisis para el año 2021 674
Tabla 402. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Coello para el año 2021 677
Tabla 403. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Coello 679
Tabla 404. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Opia para el año 2021 682
Tabla 405. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Opia 683
Tabla 406. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Totare para el año 2021 685
Tabla 407. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Totare 687
Tabla 408. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo para el año 2021 690
Tabla 409. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 691
Tabla 410. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija para el año 2021 .694
Tabla 411. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 695
Tabla 412. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla para el año 2021 .698
Tabla 413. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 699
Tabla 414. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para el año 2021 ...702
Tabla 415. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 704
Tabla 416. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Gualí para el año 2021 706
Tabla 417. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 708
Tabla 418. Distribución de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cultivo en los municipios que componen las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio para el año 2032 713

Tabla 419. Módulos de consumo por cobertura en cada municipio para la espacialización de la demanda hídrica calculada del sector agrícola por Subzona Hidrográfica y Unidad Hidrológica de Análisis para el año 2032 719
Tabla 420. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Coello.....722
Tabla 421. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Coello.....723
Tabla 422. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Opia 727
Tabla 423. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Opia 727
Tabla 424. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Totare.....729
Tabla 425. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Totare.....730
Tabla 426. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo.....733
Tabla 427. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo.....733
Tabla 428. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 737
Tabla 429. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 737
Tabla 430. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 740
Tabla 431. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 740
Tabla 432. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 744
Tabla 433. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 744
Tabla 434. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Gualí.....747
Tabla 435. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Gualí.....748
Tabla 436. Población municipal de los años 1985, 1993, 2005 y 2018 por área geográfica según el DANE.....752
Tabla 437. Estimación de la demanda hídrica actual para consumo humano y doméstico por área geográfica de cada municipio.....759
Tabla 438. Demanda hídrica para consumo humano y doméstico por el total del municipio (escenario I) 763
Tabla 439. Demanda hídrica para consumo humano y doméstico por el total del municipio (escenario II) 764
Tabla 440. Módulos de consumo utilizados para el cálculo de la demanda hídrica pecuaria 765

Tabla 441. Demanda hídrica municipal para consumo de aves (l/s) 766
Tabla 442. Demanda hídrica municipal para consumo de ganado bovino (l/s) 766
Tabla 443. Demanda hídrica municipal para consumo de búfalos (l/s) 767
Tabla 444. Demanda hídrica municipal para consumo de caprinos (l/s) 768
Tabla 445. Demanda hídrica municipal para consumo de equinos (l/s) 768
Tabla 446. Demanda hídrica municipal para consumo de ovinos (l/s) 769
Tabla 447. Demanda hídrica municipal para consumo de porcinos (l/s) 769
Tabla 448. Demanda hídrica municipal del sector pecuario (l/s) 770
Tabla 449 Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en ARD 784
Tabla 450. Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en Rellenos Sanitarios 784
Tabla 451. Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en Beneficio Animal 785
Tabla 452. Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en el Sector Industrial 786
Tabla 453. Rendimiento por municipios (ton Café Verde Equivalente/ ha/ año) 787
Tabla 454. Factores para determinación de la Carga de DBO_5 y SST para el Beneficio de Café 789
Tabla 455. Factores de Conversión utilizados para determinar la carga en el beneficio de Café 789
Tabla 456. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Coello. Valores determinados para el año 2020 794
Tabla 457. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Coello. Meta en Carga para el año 2020 796
Tabla 458. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Opia. Valores determinados para el año 2020 800
Tabla 459. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Opia. Meta en Carga para el año 2020 800
Tabla 460. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Totare. Valores determinados para el año 2020 803
Tabla 461. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Totare. Meta en Carga para el año 2020 805
Tabla 462. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Recio - Venadillo. Valores determinados para el año 2020 809
Tabla 463. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Recio - Venadillo. Meta en Carga para el año 2020 812
Tabla 464. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Lagunilla. Valores determinados para el año 2020 815
Tabla 465. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Lagunilla. Meta en Carga para el año 2020 818
Tabla 466. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Sabandija. Valores determinados para el año 2020 823
Tabla 467. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Sabandija. Meta en Carga para el año 2020 824
Tabla 468. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Gualí. Valores determinados para el año 2020 827
Tabla 469. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Gualí. Meta en Carga para el año 2020 830
Tabla 470. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Guarinó. Valores determinados para el año 2020 835
Tabla 471. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Guarinó. Meta en Carga para el año 2020 837
Tabla 472. Relación de Cuencas en la Zona de estudio. 843
Tabla 473. Tramos o Unidades de Análisis de la calidad del agua en el río Coello 844
Tabla 474. Tramos o Unidades de Análisis Río Opia. 845
Tabla 475. Tramos o Unidades de Análisis Río Totare 846
Tabla 476. Tramos o Unidades de Análisis Río Recio y Río Venadillo 847
Tabla 477. Tramos o Unidades de Análisis Río Sabandija 848
Tabla 478. Tramos o Unidades de Análisis Río Lagunilla 848
Tabla 479 Tramos o Unidades de Análisis Río Gualí 849
Tabla 480. Tramos o Unidades de Análisis Río Guarinó 850

TABLA 481. PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO COELLO. 853
TABLA 482 PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO OPIA. 854
TABLA 483 PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO TOTARE. 856
TABLA 484 PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DE LOS RÍOS RECIO Y VENADILLO. 857
TABLA 485 PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO SABANDIJA. 859
TABLA 486 PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO LAGUNILLA. 860
TABLA 487. PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO GUALÍ. 862
TABLA 488 PUNTOS DE MONITOREO DEFINIDO PARA LA CUENCA DEL RÍO GUARINÓ. 863
TABLA 489. FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA DEFINICIÓN DE LOS DETERMINANTES DE CALIDAD DEL AGUA A MONITOREAR 865
TABLA 490. DETERMINANTES DE CALIDAD DEL AGUA A MEDIR EN AGUAS SUPERFICIALES 865
TABLA 491. RELACIÓN ENTRE LA POBLACIÓN Y LA CARGA DE DBO_5 868
TABLA 492 DETERMINANTES DE CALIDAD DEL AGUA A MEDIR EN AGUAS RESIDUALES 868
TABLA 493. PESOS PARA LAS VARIABLES DEL ICA 871
TABLA 494. DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DEL ÁMBITO NUMÉRICO DEL ICA. 876
TABLA 495 RANGOS DE LOS CATIACALES. 878
TABLA 496 CATEGORIZACIÓN IACAL. 878
TABLA 497. ICA RÍO COELLO 879
TABLA 498. ICA RÍO OPIA 881
TABLA 499. ICA RÍO TOTARE 883
TABLA 500. ICA RÍO RECIO VENADILLO 885
TABLA 501. ICA RÍO LAGUNILLA 887
TABLA 502. ICA RÍO SABANDIJA 889
TABLA 503. ICA RÍO GUALÍ 891
TABLA 504. ICA RÍO GUARINÓ 893
TABLA 505 ESCENARIOS DE OFERTA Y CARGA PARA EL CÁLCULO DEL IACAL 895
TABLA 506. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO COELLO (OHT) 897
TABLA 507. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO OPIA (OHT) 902
TABLA 508. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO TOTARE (OHT) 906
TABLA 509. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO RECIO - VENADILLO (OHT) 912
TABLA 510. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO LAGUNILLA (OHT) 917
TABLA 511. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO SABANDIJA (OHT) 922
TABLA 512. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO GUALÍ (OHT) 927
TABLA 513. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO GUARINÓ (OHT) 932
TABLA 514. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO EN LAS SUBZONAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS COELLO, OPIA, TOTARE, RECIO, SABANDIJA, LAGUNILLA, GUALÍ, Y GUARINÓ. 941
TABLA 515. VALORES E INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO 962
TABLA 516. INTERPRETACIÓN DEL BMWP/COL 965
TABLA 517. COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO. 969
TABLA 518. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 972
TABLA 519. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 974

Tabla 520. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.....978
Tabla 521. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Coello. 980
Tabla 522. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.....984
Tabla 523. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.....987
Tabla 524. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Coello. 992
Tabla 525. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Coello.....995
Tabla 526. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Coello. 997
Tabla 527. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.....999
Tabla 528. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Coello.....1006
Tabla 529. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Coello.....1009
Tabla 530. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Totare. 1013
Tabla 531. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Totare. 1015
Tabla 532. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Totare. ..1016
Tabla 533. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare. 1021
Tabla 534. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Totare. 1022
Tabla 535. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.....1027
Tabla 536. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.....1030
Tabla 537. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare. 1037
Tabla 538. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Totare. 1041
Tabla 539. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Totare. 1043
Tabla 540. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.....1045
Tabla 541. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Totare.....1056
Tabla 542. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Totare. 1059
Tabla 543. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Opia.....1063
Tabla 544. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Opia. 1065
Tabla 545. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Opia. 1067
Tabla 546. Índice Diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.....1070
Tabla 547. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Opia. .1072
Tabla 548. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Opia. 1077
Tabla 549. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Opia. 1080
Tabla 550. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Opia. 1086
Tabla 551. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Opia 1088
Tabla 552. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Opia.....1090

Tabla 553. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Opia. 1092
Tabla 554. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Opia. 1099
Tabla 555. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Opia. 1102
Tabla 556. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Recio. 1107
Tabla 557. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Venadillo. 1109
Tabla 558. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Recio. 1111
Tabla 559. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Venadillo. 1112
Tabla 560. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Recio. 1114
Tabla 561. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Venadillo. 1115
Tabla 562. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio y Venadillo. 1120
Tabla 563. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Recio. 1122
Tabla 564. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Recio. 1127
Tabla 565. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Recio. 1129
Tabla 566. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio. 1134
Tabla 567. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Recio. 1137
Tabla 568. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Recio. 1140
Tabla 569. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Recio. 1141
Tabla 570. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Recio. 1150
Tabla 571. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Recio. 1153
Tabla 572. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Venadillo 1157
Tabla 573. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Venadillo. 1160
Tabla 574. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Venadillo. 1161
Tabla 575. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Venadillo. 1166
Tabla 576. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas. 1170
Tabla 577. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas. 1172
Tabla 578. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas. 1174
Tabla 579. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunilla. 1177
Tabla 580. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla. 1179
Tabla 581. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Recio. 1183
Tabla 582. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla. 1185
Tabla 583. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Lagunilla. .1192
Tabla 584. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla 1194

Tabla 585. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla. 1197
Tabla 586. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla. 1198
Tabla 587. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Lagunilla. 1207
Tabla 588. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Lagunilla. 1209
Tabla 589. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1213
Tabla 590. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1216
Tabla 591. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1217
Tabla 592. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1221
Tabla 593. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija. 1223
Tabla 594. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1227
Tabla 595. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1229
Tabla 596. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Sabandija. .1235
Tabla 597. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Sabandija 1237
Tabla 598. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1240
Tabla 599. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1241
Tabla 600. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1251
Tabla 601. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1254
Tabla 602. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Gualí. 1257
Tabla 603. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Gualí. 1260
Tabla 604. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Gualí. 1261
Tabla 605. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí. 1266
Tabla 606. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Guali. 1267
Tabla 607. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija. 1271
Tabla 608. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Gualí. 1273
Tabla 609. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Gualí. 1280
Tabla 610. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Gualí. 1282
Tabla 611. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Gualí. 1285
Tabla 612. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Gualí. 1294
Tabla 613. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Gualí. 1296
Tabla 614. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Guarinó. 1301
Tabla 615. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Guarinó. ..1302
Tabla 616. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Guarinó. 1304
Tabla 617. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarino. 1306

Tabla 618. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Guarinó. 1308
Tabla 619. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Guarino. 1311
Tabla 620. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Guarinó. 1313
Tabla 621. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Guarinó. ...1318
Tabla 622. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Guarinó 1320
Tabla 623. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Guarinó.....1323
Tabla 624. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río *Guarinó.* 1324
Tabla 625. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Guarinó. 1331
Tabla 626. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Guarinó. 1334
Tabla 627. Categorías del índice de aridez. (Fuente: IDEAM, 2013) 1354
Tabla 628. Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH). (Fuente: IDEAM, 2020a) 1387
Tabla 629. Categorías del Índice Estandarizado de Escorrentía (SRI). (Fuente: Shukla y Wood, 2008) 1397
Tabla 630. Categorías del índice de rendimiento medio de sedimentos. (Fuente: IDEAM, 2018).....1406
Tabla 631. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Coello para el periodo (1990 a 2021) 1408
Tabla 632. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Totare para el periodo (1990 a 2021) 1409
Tabla 633. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Opia para el periodo (1990 a 2021) .1410
Tabla 634. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo para el periodo (1990 a 2021 1411
Tabla 635. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Lagunilla para el periodo (1990 a 2021) 1412
Tabla 636. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Sabandija para el periodo (1990 a 2021) 1413
Tabla 637. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Gualí para el periodo (1990 a 2021)1414
Tabla 638. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Guarinó para el periodo (1990 a 2021) 1415
Tabla 639. Categorías del índice de uso del agua. (Fuente: IDEAM, 2020b) 1416
Tabla 640. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Coello.....1417
Tabla 641. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Totare.....1420
Tabla 642. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Opia 1423
Tabla 643. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo.....1426
Tabla 644. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Lagunilla 1429
Tabla 645. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Sabandija 1432
Tabla 646. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Gualí.....1435
Tabla 647. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Guarinó 1438
Tabla 648. Rangos y categorías utilizados para analizar el Índice de extracción de agua subterránea (IEAS).....1441

TABLA 649. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN EN LA DEMANDA HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO, Y NÚMERO DE HABITANTES POR MUNICIPIO EN EL ACUÍFERO DEL ABANICO DE IBAGUÉ....1443
TABLA 650. PESOS PARA LAS VARIABLES DEL ICA....1446
TABLA 651. DESCRIPTORES DE LA CALIDAD DEL AGUA A PARTIR DEL ÁMBITO NUMÉRICO DEL ICA. (FUENTE: IDEAM, 2013)....1447
TABLA 652. ICA RÍO COELLO....1448
TABLA 653. ICA RÍO TOTARE....1450
TABLA 654. ICA RÍO OPIA....1452
TABLA 655. ICA RÍO RECIO VENADILLO....1453
TABLA 656. ICA RÍO LAGUNILLA....1455
TABLA 657. ICA RÍO SABANDIJA....1457
TABLA 658. ICA RÍO GUALÍ....1459
TABLA 659. ICA RÍO GUARINÓ....1461
TABLA 660 CATEGORIZACIÓN IACAL. (FUENTE: IDEAM, 2013)....1463
TABLA 661. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO COELLO (OHT)....1465
TABLA 662. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO TOTARE (OHT)....1470
TABLA 663. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO OPIA (OHT)....1475
TABLA 664. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO RECIO - VENADILLO (OHT)....1479
TABLA 665. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO LAGUNILLA (OHT)....1484
TABLA 666. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO SABANDIJA (OHT)....1488
TABLA 667. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO GUALÍ (OHT)....1493
TABLA 668. DETERMINACIÓN DEL IACAL EN EL RÍO GUARINÓ (OHT)....1498
TABLA 669. INTERPRETACIÓN DEL BMWP/COL. (FUENTE: IDEAM, 2013)....1501
TABLA 670. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO....1502
TABLA 671. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE....1503
TABLA 672. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA....1504
TABLA 673. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO....1504
TABLA 674. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA....1505
TABLA 675. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA....1505
TABLA 676. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ....1506
TABLA 677. ÍNDICE DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS BMWP-COL EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ....1506
TABLA 678. CATEGORÍAS E INTERPRETACIÓN DEL ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO. (FUENTE: RUMEAU & COSTE, 1988)....1508
TABLA 679. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO....1509
TABLA 680. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE....1510
TABLA 681. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA....1511
TABLA 682. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO Y VENADILLO....1512
TABLA 683. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA....1512
TABLA 684. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA....1513
TABLA 685. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ....1513
TABLA 686. ÍNDICE DIATÓMICO GENÉRICO DE LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINO....1514

TABLA 687. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO. FUENTE: (IDEAM, 2020C) 1516
TABLA 688. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO COELLO 1519
TABLA 689. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO COELLO 1520
TABLA 690. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO TOTARE 1521
TABLA 691. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO TOTARE 1522
TABLA 692. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO OPIA 1523
TABLA 693. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO OPIA 1524
TABLA 694. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1525
TABLA 695. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1526
TABLA 696. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO LAGUNILLA 1527
TABLA 697. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO LAGUNILLA 1528
TABLA 698. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO SABANDIJA 1529
TABLA 699. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO SABANDIJA 1530
TABLA 700. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO GUALÍ 1531
TABLA 701. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO GUALÍ 1532
TABLA 702. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO GUARINÓ 1533
TABLA 703. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO GUARINÓ 1534
TABLA 704. CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A EVENTOS TORRENCIALES. (FUENTE: IDEAM, 2013) 1535
TABLA 705. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD TORRENCIAL POR VARIABILIDAD DE CAUDALES 1535
TABLA 706. CRITERIOS PARA CATEGORIZAR EL ÍNDICE MORFOMÉTRICO 1536
TABLA 707. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE MORFOMÉTRICO (FUENTE: IDEAM, 2013) 1536
TABLA 708. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO COELLO 1539

TABLA 709. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO TOTARE 1540
TABLA 710. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO OPIA 1541
TABLA 711. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1542
TABLA 712. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO LAGUNILLA 1543
TABLA 713. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO SABANDIJA 1544
TABLA 714. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO GUALÍ.....1545
TABLA 715. CLASIFICACIÓN DE LOS ÍNDICES MORFOMÉTRICO DE TORRENCIALIDAD, VARIABILIDAD Y VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SZH DEL RÍO GUARINÓ 1546

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema conceptual de celda del modelo TETIS 18
Figura 2. Estaciones meteorológicas y climatológicas IDEAM en el Tolima. Elaboración Propia. 19
Figura 3. Estaciones meteorológicas y climatológicas IDEAM en el área de estudio del ERA fase I en el Tolima. Elaboración Propia. 19
Figura 4. Proceso de selección fuentes de información climatológica. Elaboración Propia. 21
Figura 5. Red estaciones meteorológicas y climatológicas en la zona de estudio del ERA fase I en el departamento del Tolima a) estaciones reportadas en el catálogo IDEAM; b) estaciones que satisfacen criterios de selección para la ERA-Fase I ubicadas en la zona de estudio. Elaboración Propia. 22
Figura 6. Red estaciones de Cenicafé en el área de estudio del ERA fase I en el departamento del Tolima. Elaboración Propia. 25
Figura 7. Red climatológica a) estaciones IDEAM seleccionada ERAS -Fase I-; b) Información estaciones IDEAM seleccionada ERAS -Fase I y satélite GPM_3IMERGDF_06. Elaboración Propia. 36
Figura 8. Histograma de frecuencias del coeficiente de Pearson para el entrenamiento (izquierda) y validación (derecha) de los modelos XGBOOST de lluvia diaria (periodo 2000-2021) 37
Figura 9. Histograma de frecuencias del coeficiente de Pearson para el entrenamiento (izquierda) y validación (derecha) de los modelos Lineales de temperatura media (periodo 2000-2021) 37
Figura 10. Distribución Espacial de las Estación Hidrométricas sobre la Subzonas Hidrográficas para la ERA - Fase 1. 38
Figura 11. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Coello 49
Figura 12. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Opia 51
Figura 13. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Totare 53
Figura 14. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Recio 55
Figura 15. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Lagunilla 57
Figura 16. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Sabandija 59
Figura 17. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Gualí 61
Figura 18. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Guarinó 63
Figura 19. Mapa de Valores Modales de Conductividad Hidráulica Vertical Saturada del Suelo (Ks) 66

Figura 20. Mapa de Valores Modales de Conductividad Hidráulica Horizontal Saturada del Suelo (Kss) 67
Figura 21. Mapa de valores de Kp y Kps sobre el acuífero del abanico aluvial de Ibagué 69
Figura 22. Mapa de valores modales de conductividad hidráulica vertical saturada del estrato rocoso del suelo (Kp) ..70
Figura 23. Mapa de valores modales de conductividad hidráulica horizontal saturada del estrato rocoso del suelo (Ksa) 71
Figura 24. Mapa de valores modales de almacenamiento estático (Hu) 75
Figura 25. Mapa de capacidad de intercepción por tipo de cobertura 82
Figura 26. Red de Drenaje Vectorizada Empleada en el Proceso de Tallado 84
Figura 27. Modelo de Elevación Digital (MED) 85
Figura 28. Diagrama Metodológico para la Corrección del Flujo Superficial 86
Figura 29. Código de Programación en Python 3 Desarrollado para la Corrección del Flujo 88
Figura 30. Validación del proceso de corrección topográfica a través del mapa de acumulación de flujo resultante 89
Figura 31. Mapa de pendientes (%) para las unidades hidrográficas de análisis 90
Figura 32. Mapa de dirección del flujo para las unidades hidrográficas de análisis 91
Figura 33. Mapa de celdas acumuladas para las unidades hidrográficas de análisis 92
Figura 34. Mapa de velocidad del flujo en ladera (m/s) para las unidades hidrográficas de análisis 93
Figura 35. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21217070 98
Figura 36. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21227010 99
Figura 37. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21247050 101
Figura 38. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21257100 103
Figura 39. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21257120 105
Figura 40. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21257070 107
Figura 41. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 23017030 109
Figura 42. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 23027060 111
Figura 43. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Chagualá 114
Figura 44. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Quebrada Chagualá 115
Figura 45. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Gualanday 116
Figura 46. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Quebrada Gualanday 117
Figura 47. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Anaime 118
Figura 48. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Anaime 119
Figura 49. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 1 120
Figura 50. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 1 121
Figura 51. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 2 122
Figura 52. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 2 123
Figura 53. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Cocora 124

Figura 54. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Cocora 125
Figura 55. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 1.....126
Figura 56. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 1 127
Figura 57. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 2.....128
Figura 58. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 2 129
Figura 59. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 3.....130
Figura 60. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 3 131
Figura 61. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 4.....132
Figura 62. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 4 133
Figura 63. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 5.....134
Figura 64. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 5 135
Figura 65. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 6.....136
Figura 66. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 6 137
Figura 67. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 1.....138
Figura 68. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 1 139
Figura 69. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 2.....140
Figura 70. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 2 141
Figura 71. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 3.....142
Figura 72. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 3 143
Figura 73. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 4.....144
Figura 74. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 4 145
Figura 75. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Toche.....146
Figura 76. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Toche 147
Figura 77. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 1 148
Figura 78. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 1.....149
Figura 79. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 2 150

Figura 80. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 2 151
Figura 81. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 1 152
Figura 82. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 1 153
Figura 83. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 2 154
Figura 84. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 2 155
Figura 85. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Frío 156
Figura 86. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Frio 157
Figura 87. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 1 158
Figura 88. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 1 159
Figura 89. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 2 160
Figura 90. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 2 161
Figura 91. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 3 162
Figura 92. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 3 163
Figura 93. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 4 164
Figura 94. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 4 165
Figura 95. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río San Romualdo 166
Figura 96. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río San Romualdo 167
Figura 97. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 1 168
Figura 98. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 1 169
Figura 99. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 2 170
Figura 100. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 2 171
Figura 101. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 3 172
Figura 102. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 3 173
Figura 103. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 4 174
Figura 104. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 4 175
Figura 105. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 5 176
Figura 106. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 5 177

Figura 107. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totarito 178
Figura 108. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totarito 179
Figura 109. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Totare 180
Figura 110. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Totare 181
Figura 111. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Doima 182
Figura 112. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Doima 183
Figura 113. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 1 184
Figura 114. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 1 185
Figura 115. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 2 186
Figura 116. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 2 187
Figura 117. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Opia 188
Figura 118. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Opia 189
Figura 119. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en quebrada Santa Rosa 190
Figura 120. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Santa Rosa 191
Figura 121. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Tautau 192
Figura 122. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Tautau 193
Figura 123. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Azul 194
Figura 124. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Azul 195
Figura 125. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 1 196
Figura 126. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 1 197
Figura 127. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 2 198
Figura 128. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 2 199
Figura 129. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 3 200
Figura 130. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 3 201
Figura 131. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 4 202
Figura 132. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 4 203
Figura 133. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 5 204

Figura 134. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 5 205
Figura 135. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 6 206
Figura 136. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 6 207
Figura 137. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 1 208
Figura 138. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 1 209
Figura 139. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 2 210
Figura 140. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 2 211
Figura 141. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río la Yuca 212
Figura 142. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Yuca 213
Figura 143. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo 214
Figura 144 Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo 215
Figura 145. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada La Joya 216
Figura 146. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada La Joya 217
Figura 147. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Palmas 218
Figura 148. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada palmas 219
Figura 149. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Azufrado 220
Figura 150. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Azufrado 221
Figura 151. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Bledo 222
Figura 152. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Bledo 223
Figura 153. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 1 224
Figura 154. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 1 225
Figura 155. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 2 226
Figura 156. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 2 227
Figura 157. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 3 228
Figura 158. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 3 229
Figura 159. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 4 230

Figura 160. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 4 231
Figura 161. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 5 232
Figura 162. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 5 233
Figura 163. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 6 234
Figura 164. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 6 235
Figura 165. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 7 236
Figura 166. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 7 237
Figura 167. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Vallecitos 238
Figura 168. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Vallecitos 239
Figura 169. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Lagunilla 240
Figura 170. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Lagunilla 241
Figura 171. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Seca 242
Figura 172. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Seca 243
Figura 173. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Cuamo 244
Figura 174. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Cuamo 245
Figura 175. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 1 246
Figura 176. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 1 247
Figura 177. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 2 248
Figura 178. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 2 249
Figura 179. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Sabandija 250
Figura 180. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Sabandija 251
Figura 181. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Agua de Dios 252
Figura 182. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Agua de Dios 253
Figura 183. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada El Guarumo 254
Figura 184. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada El Guarumo 255
Figura 185. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Nicua 256

Figura 186. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Nicua 257
Figura 187. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada San José 258
Figura 188. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada San José 259
Figura 189. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Aguacatal 260
Figura 190. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Aguacatal 261
Figura 191. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Cajones 262
Figura 192. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Cajones 263
Figura 193. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 1 264
Figura 194. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 1 265
Figura 195. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 2 266
Figura 196. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 2 267
Figura 197. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 3 268
Figura 198. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 3 269
Figura 199. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 4 270
Figura 200. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 4 271
Figura 201. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 5 272
Figura 202. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 5 273
Figura 203. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 6 274
Figura 204. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 6 275
Figura 205. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 7 276
Figura 206. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 7 277
Figura 207. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 8 278
Figura 208. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 8 279
Figura 209. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 9 280
Figura 210. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 9 281
Figura 211. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Medina 282

Figura 212. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Medina 283
Figura 213. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Sucio 284
Figura 214. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Sucio 285
Figura 215. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Gualí 286
Figura 216. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Gualí 287
Figura 217. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 1 288
Figura 218. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 1 289
Figura 219. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 2 290
Figura 220. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 2 291
Figura 221. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 3 292
Figura 222. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 3 293
Figura 223. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 4 294
Figura 224. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 4 295
Figura 225. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 5 296
Figura 226. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 5 297
Figura 227. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 6 298
Figura 228. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 6 299
Figura 229. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 7 300
Figura 230. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 7 301
Figura 231. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Hondo 302
Figura 232. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Hondo 303
Figura 233. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Perrillo 304
Figura 234. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Perrillo 305
Figura 235. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río San Juan 306
Figura 236. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río San Juan 307
Figura 237. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Santo Domingo 308

Figura 238. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Santo Domingo 309
Figura 239. Regiones de monitoreo del Niño. Fuente: (Post et al., 2015) 312
Figura 240. Comportamiento del ONI 3.4 periodo 1950-2021 a partir del reporte de NOAA (2021). 313
Figura 241. Estaciones que monitorean precipitación y áreas de Thiessen 314
Figura 242. Estaciones que reportan temperatura y polígonos de Thiessen 316
Figura 243. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Toche. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 320
Figura 244. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 321
Figura 245. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Bermellon 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 322
Figura 246. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Anaime. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 323
Figura 247. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Bermellon 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 324
Figura 248. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 325
Figura 249. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Cocora. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 326
Figura 250. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 327
Figura 251. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 328
Figura 252. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 329
Figura 253. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 330

Figura 254. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 331
Figura 255. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 332
Figura 256. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Gualanday. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 333
Figura 257. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 334
Figura 258. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Chaguala. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 335
Figura 259. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 336
Figura 260. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 337
Figura 261. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totarito. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 338
Figura 262. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 339
Figura 263. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 340
Figura 264. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Alvarado 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 341
Figura 265. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 342
Figura 266. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio San Romualdo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 343

Figura 267. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 344
Figura 268. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Frio. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 345
Figura 269. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 346
Figura 270. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 347
Figura 271. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Alvarado 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 348
Figura 272. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 349
Figura 273. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Chipalo 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 350
Figura 274. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Chipalo 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 351
Figura 275. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 352
Figura 276. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Opia 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 353
Figura 277. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Doima. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 354
Figura 278. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Opia 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 355
Figura 279. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 356

Figura 280. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Azul. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 357
Figura 281. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 358
Figura 282. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Santa Rosa. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 359
Figura 283. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 360
Figura 284. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Yuca. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 361
Figura 285. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 362
Figura 286. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 363
Figura 287. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 364
Figura 288. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Venadillo 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 365
Figura 289. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Venadillo 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 366
Figura 290. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Tautau. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 367
Figura 291. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 368
Figura 292. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Vallecitos. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 369

Figura 293. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 370
Figura 294. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Azufrado. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 371
Figura 295. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 372
Figura 296. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 373
Figura 297. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Bledo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 374
Figura 298. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 375
Figura 299. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Palmas. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 376
Figura 300. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 377
Figura 301. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada La Joya. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 378
Figura 302. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 7. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 379
Figura 303. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Sabandija 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 380
Figura 304. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Cuamo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 381
Figura 305. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Sabandija 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 382

Figura 306. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Seca. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 383
Figura 307. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 384
Figura 308. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Cajones. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 385
Figura 309. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 386
Figura 310. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Aguacatal. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 387
Figura 311. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 388
Figura 312. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada El Guarumo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 389
Figura 313. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Agua de Dios. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 390
Figura 314. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 391
Figura 315. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 392
Figura 316. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada San Jose. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 393
Figura 317. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 394
Figura 318. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Nicua. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 395

Figura 319. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 7. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 396
Figura 320. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Sucio. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 397
Figura 321. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 8. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 398
Figura 322. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Medina. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 399
Figura 323. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 9. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 400
Figura 324. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 401
Figura 325. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Hondo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 402
Figura 326. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 403
Figura 327. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Perrillo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 404
Figura 328. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 405
Figura 329. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Santo Domingo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 406
Figura 330. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 407
Figura 331. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio San Juan. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 408

Figura 332. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 409
Figura 333. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 410
Figura 334. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 7. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios. 411
Figura 335. Conceptos básicos para definir la demanda hídrica a nivel regional. Fuente: (IDEAM, 2013) 426
Figura 336. Procedimiento para la evaluación de demanda de agua en las regiones. Fuente: (IDEAM, 2013). 428
Figura 337. Procedimiento metodológico para la estimación de la demanda hídrica, superficial y subterránea por tipo de uso y unidad hidrográfica 431
Figura 338. Procedimiento metodológico para el cálculo de la demanda hídrica del consumo humano y doméstico 432
Figura 339. Distribución de la demanda hídrica Total por Subzona Hidrográfica y localización de puntos de retorno .438
Figura 340. Modelamiento espacial para la demanda hídrica. Fuente: IDEAM (2013) 439
Figura 341. Estado de los Planes de Ordenación y Manejo (POMCAS) de las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio 441
Figura 342. Reglamentación de corrientes vigentes de acuerdo con Cortolima (2019) 442
Figura 343. Caudal concesionado por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Coello 444
Figura 344. Distribución de usuarios concesionados y georreferenciados en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Fuente: Cortolima (2019)....445
Figura 345. Demanda hídrica total concesionada en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Fuente: Cortolima (2019) 445
Figura 346. Caudal concesionado por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Totare 447
Figura 347. Distribución de usuarios concesionados y georreferenciados en la Subzona Hidrográfica del río Totare. Fuente: Cortolima (2019)....448
Figura 348. Demanda hídrica total concesionada en la Subzona Hidrográfica del río Totare. Fuente: Cortolima (2019) 449
Figura 349. Caudal concesionado por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 450
Figura 350. Distribución espacial de usuarios concesionados y georreferenciados en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo. Fuente: Corcuencas (2019) 451
Figura 351. Demanda hídrica por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 454
Figura 352. Demanda hídrica concesionada para la Subzona Hidrográfica del río Coello 461
Figura 353. Distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Opia 462
Figura 354. Distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Totare 463
Figura 355. Distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 464
Figura 356. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 465

Figura 357. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 466
Figura 358. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso, de acuerdo con CORTOLIMA, para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 467
Figura 359. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 468
Figura 360. Estado de los permisos de captación otorgados por la ANLA en el área de estudio....470
Figura 361. Distribución de los permisos de captación otorgados por el ANLA en el área de estudio....471
Figura 362. Distribución porcentual del caudal concesionado por tipo de uso del agua 472
Figura 363. Distribución porcentual del caudal concesionado por tipo de uso del agua....473
Figura 364. Distribución de la demanda hídrica subterránea en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015) 476
Figura 365. Distribución de la demanda hídrica subterránea por municipio en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015) 477
Figura 366. Distribución porcentual de la demanda hídrica subterránea por tipo de uso en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015) 478
Figura 367. Distribución de los caudales de extracción de acuerdo con el uso del suelo en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015) 479
Figura 368. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Coello....484
Figura 369. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Coello....488
Figura 370. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello 493
Figura 371. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Coello....500
Figura 372. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Coello 501
Figura 373. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Coello 504
Figura 374. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Coello 508
Figura 375. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello....510
Figura 376. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Coello 512
Figura 377. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Opia 514
Figura 378. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Opia 515
Figura 379. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia....517
Figura 380. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Opia 520
Figura 381. Distribución de la demanda hídrica para Preservación de Flora y Fauna en la Subzona Hidrográfica del río Opia 522
Figura 382. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Opia....524
Figura 383. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Opia....526
Figura 384. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia 528
Figura 385. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Totare....531

Figura 386. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Totare 533
Figura 387. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare 536
Figura 388. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Totare 540
Figura 389. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Totare 542
Figura 390. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Totare 544
Figura 391. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Totare 545
Figura 392. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Totare 548
Figura 393. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare 550
Figura 394. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Totare 551
Figura 395. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 554
Figura 396. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 555
Figura 397. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 558
Figura 398. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 561
Figura 399. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 563
Figura 400. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 565
Figura 401. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 567
Figura 402. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 569
Figura 403. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 572
Figura 404. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 574
Figura 405. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 577
Figura 406. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 580
Figura 407. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 581
Figura 408. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 583
Figura 409. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 585
Figura 410. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 587
Figura 411. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 590
Figura 412. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 592
Figura 413. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 594
Figura 414. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 597

Figura 415. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 598
Figura 416. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 600
Figura 417. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 602
Figura 418. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 604
Figura 419. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 607
Figura 420. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 609
Figura 421. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 612
Figura 422. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 615
Figura 423. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 616
Figura 424. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 619
Figura 425. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 621
Figura 426. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 624
Figura 427. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Gualí 627
Figura 428. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 629
Figura 429. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 631
Figura 430. Distribución de la Demanda Hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 635
Figura 431. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 637
Figura 432. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 638
Figura 433. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 641
Figura 434. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 643
Figura 435. Distribución de la demanda hídrica total en el Abanico de Ibagué 645
Figura 436. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en el Abanico de Ibagué 646
Figura 437. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en el Abanico de Ibagué 647
Figura 438. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en el Abanico de Ibagué 648
Figura 439. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en el Abanico de Ibagué 649
Figura 440. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en el Abanico de Ibagué 650
Figura 441. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en el Abanico de Ibagué 651
Figura 442. Distribución de la demanda hídrica total en el Acuífero Norte 652
Figura 443. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en el Acuífero Norte 654
Figura 444. Distribución de la demanda hídrica para consumo Humano y Doméstico en el Acuífero Norte 655
Figura 445. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en el Acuífero Norte 656
Figura 446. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en el Acuífero Norte 657
Figura 447. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en el Acuífero Norte 658
Figura 448. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en el Acuífero Norte 659
Figura 449. Distribución de la demanda hídrica sectorial en las Subzonas Hidrográficas ERA Fase I 660
Figura 450. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Coello 678

Figura 451. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello para el año 2021 681
*Figura 452. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Opia*682
*Figura 453. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia para el año 2021*684
Figura 454. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Totare 686
Figura 455. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare para el año 2021 689
Figura 456. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo 691
Figura 457. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo para el año 2021 693
Figura 458. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija 695
Figura 459. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija para el año 2021 697
Figura 460. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla 699
Figura 461. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla para el año 2021 702
Figura 462. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó 703
Figura 463. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para el año 2021 705
Figura 464. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí 707
Figura 465. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí para el año 2021 711
Figura 466. Evaluación de modelos de proyección de la demanda hídrica calculada del sector agrícola. Ejemplo: comportamiento de los modelos evaluados en el cultivo de aguacate del municipio de Alvarado 712
Figura 467. Ejemplo de la proyección de la demanda hídrica del cultivo de aguacate del municipio de Alvarado a través del modelo de mejor ajuste (aritmético). 713
Figura 468. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello para el año 2032 726
*Figura 469. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia para el año 2032*728
Figura 470. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare para el año 2032 732
Figura 471. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo para el año 2032 736

Figura 472. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija para el año 2032 739
Figura 473. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla para el año 2032 743
Figura 474. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para el año 2032 746
Figura 475. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí para el año 2032 751
Figura 476. Selección de modelos para proyección de la población. Ejemplo: proyección de la población de la cabecera rural de Alvarado 755
Figura 477. Puntos para la determinación del IACAL río Coello 779
Figura 478. Puntos para la determinación del IACAL río Opia 779
Figura 479. Puntos para la determinación del IACAL río Totare 780
Figura 480. Puntos para la determinación del IACAL río Recio Venadillo 780
Figura 481. Puntos para la determinación del IACAL río Lagunilla 781
Figura 482. Puntos para la determinación del IACAL río Sabandija 781
Figura 483. Puntos para la determinación del IACAL río Gualí 782
Figura 484. Puntos para la determinación del IACAL río Guarinó 782
Figura 485. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Coello 794
Figura 486. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Opia 799
Figura 487. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Totare 803
Figura 488. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Recio - Venadillo 809
Figura 489. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Lagunilla 815
Figura 490. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Sabandija 823
Figura 491. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Gualí 827
Figura 492. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Guarinó 835
Figura 493. Modelo conceptual para la evaluación de la calidad del agua en las regiones 839
Figura 494. Procedimiento para la Evaluación de la Calidad del Agua Superficial 841
Figura 495. Ubicación de las cuencas objeto de estudio. 843
Figura 496. Ubicación puntos de monitoreo ERA. 852
Figura 497. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Coello. 854
Figura 498 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Opia. 855
Figura 499 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Totare. 857
Figura 500. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca de los ríos Recio y Venadillo. 858
Figura 501 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Sabandija. 860
Figura 502. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Lagunilla. 861
Figura 503. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Gualí. 863
Figura 504 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Guarinó. 864
Figura 505. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA río Coello 880
Figura 506. ICA río Opia 882

Figura 507. ICA río Totare 884
Figura 508. ICA río Recio Venadillo 886
Figura 509. ICA río Lagunilla 888
Figura 510. ICA río Sabandija 889
Figura 511. ICA río Gualí. 892
Figura 512. ICA río Guarinó 894
Figura 513. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Coello 899
Figura 514. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Coello 899
Figura 515. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Coello 900
Figura 516. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Coello 900
Figura 517. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Opia 902
Figura 518. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Opia 903
Figura 519. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Opia 903
Figura 520. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Opia 904
Figura 521. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Totare 908
Figura 522. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Totare 908
Figura 523. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Totare 909
Figura 524. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Totare 909
Figura 525. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Recio - Venadillo 914
Figura 526. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Recio - Venadillo 914
Figura 527. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Recio – Venadillo 915
Figura 528. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Recio - Venadillo 915
Figura 529. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Lagunilla 919
Figura 530. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Lagunilla 919
Figura 531. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Lagunilla 920
Figura 532. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Lagunilla 920
Figura 533. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Sabandija 923
Figura 534. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Sabandija 923
Figura 535. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Sabandija 924
Figura 536. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Sabandija 924
Figura 537. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Gualí 929
Figura 538. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Gualí 929
Figura 539. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Gualí 930
Figura 540. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Gualí 930
Figura 541. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Guarinó 933
Figura 542. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Guarinó 934
Figura 543. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Guarinó 934
Figura 544. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Guarinó 935
Figura 545. Ubicación de las estaciones de muestreo para el monitoreo hidrobiológico en las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Gualí, y Guarinó. 940

FIGURA 546. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO 944
FIGURA 547. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO TOTARE. 946
FIGURA 548. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO OPIA 949
FIGURA 549. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO RECIO. 951
FIGURA 550. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO LAGUNILLA. 954
FIGURA 551. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO SABANDIJA. 955
FIGURA 552. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUALÍ 957
FIGURA 553. ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 958
FIGURA 554. PROCESO DE COLECTA Y FIJACIÓN DEL PERIFITON. 959
FIGURA 555. MÉTODO DE COLECTA DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS 963
FIGURA 556. MÉTODO DE ELECTROPESCA PARA FAUNA ÍCTICA. 966
FIGURA 557. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO. 969
FIGURA 558. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 971
FIGURA 559. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 972
FIGURA 560. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 973
FIGURA 561. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 0=RIQUEZA ESPECIFICA, 1= EXPONENTE DE SHANNON Y 2= INVERSO DE SIMPSON 975
FIGURA 562. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 976
FIGURA 563. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO. 977
FIGURA 564. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RIO COELLO. 979
FIGURA 565. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 982
FIGURA 566. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 983
FIGURA 567. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 986
FIGURA 568. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 989
FIGURA 569. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 990
FIGURA 570. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO. 991
FIGURA 571. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 993
FIGURA 572. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO COELLO. 994
FIGURA 573. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 996
FIGURA 574. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 997
FIGURA 575. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 998
FIGURA 576. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 1000
FIGURA 577. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 1001

FIGURA 578. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO. 1002
FIGURA 579. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO COELLO....1003
FIGURA 580. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 1005
FIGURA 581. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE HEMIBRYCON SP., ASTROBLEPUS MICRESCENS, TRICHOMYCTERUS BANNEAUI Y ONCHRHYNCHUS MYKISS. I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO....1007
FIGURA 582. ESPECTRO TRÓFICO DE *HEMIBRYCON* SP.*, ASTROBLEPUS MICRESCENS, TRICHOMYCTERUS BANNEAUI Y ONCHRHYNCHUS MYKISS* EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO. 1008
FIGURA 583. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RÍO TOTARE. 1012
FIGURA 584. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1014
FIGURA 585. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1014
FIGURA 586. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1016
FIGURA 587. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1018
FIGURA 588. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1019
FIGURA 589. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1020
FIGURA 590. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO TOTARE....1022
FIGURA 591. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1025
FIGURA 592. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1026
FIGURA 593. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1030
FIGURA 594. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1033
FIGURA 595. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1034
FIGURA 596. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO TOTARE. 1036
FIGURA 597. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE....1039
FIGURA 598. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO TOTARE. 1040
FIGURA 599. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE....1042
FIGURA 600. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1043
FIGURA 601. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1047
FIGURA 602. DISTRIBUCIÓN DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE....1048
FIGURA 603. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1049

FIGURA 604. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1051
FIGURA 605. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO TOTARE. 1052
FIGURA 606. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO TOTARE. 1053
FIGURA 607. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1055
FIGURA 608. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *PIMELODELLA FLORIDABLANCAENSIS, TRICHOMYCTERUS BANNEAUI Y CHAETOSTOMA CF. FISCHERI.* I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1057
FIGURA 609. ESPECTRO TRÓFICO DE *PIMELODELLA FLORIDABLANCAENSIS, TRICHOMYCTERUS BANNEAUI Y CHAETOSTOMA CF. FISCHERI* DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1058
FIGURA 610. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1062
FIGURA 611. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1064
FIGURA 612. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1065
FIGURA 613. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1066
FIGURA 614. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1068
FIGURA 615. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1069
FIGURA 616. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1070
FIGURA 617. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RIO OPIA. 1071
FIGURA 618. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1074
FIGURA 619. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1075
FIGURA 620. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1078
FIGURA 621. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1081
FIGURA 622. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1083
FIGURA 623. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO OPIA. 1084
FIGURA 624. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE. 1086
FIGURA 625. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO OPIA. 1087
FIGURA 626. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1089
FIGURA 627. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1090
FIGURA 628. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1092
FIGURA 629. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1094
FIGURA 630. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1095

FIGURA 631. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO OPIA. 1095
FIGURA 632. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO OPIA. 1096
FIGURA 633. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. .1097
FIGURA 634. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *POECILIA RETICULATA., CREAGRUTUS AFFINIS Y CREAGRUTUS GUANES*. I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1100
FIGURA 635. ESPECTRO TRÓFICO DE *POECILIA RETICULATA, CREAGRUTUS AFFINIS Y CREAGRUTUS GUANES* DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA. 1101
FIGURA 636. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1105
FIGURA 637. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1106
FIGURA 638. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1108
FIGURA 639. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1110
FIGURA 640. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1110
FIGURA 641. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1112
FIGURA 642. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1113
FIGURA 643. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1115
FIGURA 644. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1116
FIGURA 645. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1117
FIGURA 646. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1117
FIGURA 647. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1118
FIGURA 648. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO Y VENADILLO....1119
FIGURA 649. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RIO RECIO. 1121
FIGURA 650. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1124
FIGURA 651. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1125
FIGURA 652. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1129
FIGURA 653. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1131
FIGURA 654. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1133
FIGURA 655. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO RECIO....1133
FIGURA 656. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1135
FIGURA 657. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO RECIO....1137
FIGURA 658. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1138

FIGURA 659. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1139
FIGURA 660. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1141
FIGURA 661. DISTRIBUCIÓN DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1142
FIGURA 662. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1144
FIGURA 663. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1145
FIGURA 664. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO RECIO. 1146
FIGURA 665. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO RECIO. 1147
FIGURA 666. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1149
FIGURA 667. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *ASTROBLEPUS GRIXALVII, CREAGRUTUS DULIMA, ASTROBLEPUS SP.1, ASTROBLEPUS SP.2, TRICHOMCYTERUS BANNEAUI Y ONCORRHYNCHUS MYKISS*. I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1151
FIGURA 668. ESPECTRO TRÓFICO DE *ASTROBLEPUS GRIXALVII, CREAGRUTUS DULIMA, ASTROBLEPUS SP.1, ASTROBLEPUS SP.2, TRICHOMCYTERUS BANNEAUI Y ONCORRHYNCHUS MYKISS* DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO. 1152
FIGURA 669. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO VENADILLO. 1156
FIGURA 670. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1158
FIGURA 671. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1159
FIGURA 672. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1162
FIGURA 673. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1163
FIGURA 674. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1164
FIGURA 675. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1165
FIGURA 676. ESPECIES DE INTERÉS Y CATEGORÍA DE AMENAZA DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO VENADILLO. 1167
FIGURA 677. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1169
FIGURA 678. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1171
FIGURA 679. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1172
FIGURA 680. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1173
FIGURA 681. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1175
FIGURA 682. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1175
FIGURA 683. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1176
FIGURA 684. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO LAGUNILLA. 1178
FIGURA 685. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1181

FIGURA 686. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1182
FIGURA 687. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1185
FIGURA 688. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1186
FIGURA 689. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1188
FIGURA 690. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO LAGUNILLA. 1191
FIGURA 691. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1193
FIGURA 692. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO LAGUNILLA. 1194
FIGURA 693. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1195
FIGURA 694. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA FAUNA ICTICA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1196
FIGURA 695. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1199
FIGURA 696. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1200
FIGURA 697. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1201
FIGURA 698. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO LAGUNILLA. 1202
FIGURA 699. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO LAGUNILLA. 1203
FIGURA 700. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1205
FIGURA 701. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *ASTYANAX SP., CREAGRUTUS AFFINIS 1 Y ASTROBLEPUS HOMODON*. I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1207
FIGURA 702. ESPECTRO TRÓFICO DE *ASTYANAX SP., CREAGRUTUS AFFINIS 1 Y ASTROBLEPUS HOMODON* DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLAS. 1208
FIGURA 703. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1212
FIGURA 704. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1214
FIGURA 705. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1215
FIGURA 706. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1218
FIGURA 707. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1218
FIGURA 708. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1219
FIGURA 709. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1220
FIGURA 710. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RIO SABANDIJA. 1222
FIGURA 711. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1225
FIGURA 712. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 1226

FIGURA 713. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA. 1228
FIGURA 714. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1231
FIGURA 715. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 1232
FIGURA 716. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO SABANDIJA. 1234
FIGURA 717. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1236
FIGURA 718. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO SABANDIJA. 1237
FIGURA 719. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1239
FIGURA 720. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1240
FIGURA 721. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 1244
FIGURA 722. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1244
FIGURA 723. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1245
FIGURA 724. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO SABANDIJA. 1246
FIGURA 725. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO SABANDIJA. 1247
FIGURA 726. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1249
FIGURA 727. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *TRICHOMYCTERUS BANNEAUI, ASTYANAX SP., OREOCHROMIS SP.* I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1252
FIGURA 728. ESPECTRO TRÓFICO DE POECILIA CAUCANA, TRICHOMYCTERUS BANNEAUI, ASTYANAX SP., OREOCHROMIS SP. DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA. 1253
FIGURA 729. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RÍO GUALÍ. 1256
FIGURA 730. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1259
FIGURA 731. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1259
FIGURA 732. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1262
FIGURA 733. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1262
FIGURA 734. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1263
FIGURA 735. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA REGISTRADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1264
FIGURA 736. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RIO GUALÍ. 1266
FIGURA 737. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1269
FIGURA 738. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1271
FIGURA 739. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1273

FIGURA 740. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1275
FIGURA 741. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1277
FIGURA 742. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUALÍ. 1279
FIGURA 743. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1281
FIGURA 744. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO GUALÍ. 1282
FIGURA 745. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1284
FIGURA 746. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1284
FIGURA 747. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1286
FIGURA 748. DISTRIBUCIÓN DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1287
FIGURA 749. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1288
FIGURA 750. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1289
FIGURA 751. CORRELACIÓN DE SPEARMAN DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUALÍ. 1290
FIGURA 752. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE PECES REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUALÍ.....1290
FIGURA 753. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.1293
FIGURA 754. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *POECILIA CAUCANA, ASTYANAX SP., CREAGRUTUS AFFINIS Y ASTROBLEPUS SP.2*. I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1294
FIGURA 755. ESPECTRO TRÓFICO DE *POECILIA CAUCANA, ASTYANAX SP., CREAGRUTUS AFFINIS Y ASTROBLEPUS SP.2* DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ. 1295
FIGURA 756. CURVA DE ACUMULACIÓN DE LA COMUNIDAD PERIFÍTICA EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1299
FIGURA 757. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1301
FIGURA 758. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1302
FIGURA 759. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1303
FIGURA 760. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1305
FIGURA 761. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ.....1305
FIGURA 762. CURVA DE ACUMULACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRAFICA DEL RIO GUARINÓ. 1307
FIGURA 763. ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS GÉNEROS MÁS ABUNDANTES COLECTADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1310
FIGURA 764. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1310
FIGURA 765. ABUNDANCIA RELATIVA POR MUESTREOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1312
FIGURA 766. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINO. 1314
FIGURA 767. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ.....1315

FIGURA 768. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA ABUNDANCIA DE LOS TAXONES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS REGISTRADOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RIO GUARINÓ. 1317
FIGURA 769. DISTRIBUCIÓN DE LOS GREMIOS TRÓFICOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1319
FIGURA 770. CURVA DE ACUMULACIÓN DE ESPECIES ÍCTICAS EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA RIO GUARINÓ. 1320
FIGURA 771. ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES COLECTADAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1322
FIGURA 772. ABUNDANCIA RELATIVA POR ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1322
FIGURA 773. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA RELATIVA DE LAS ESPECIES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1325
FIGURA 774. DIVERSIDAD ALFA EN LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1326
FIGURA 775. DIAGRAMA DE ORDENACIÓN NMDS PARA LAS ESTACIONES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1328
FIGURA 776. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE TALLA DE LAS ESPECIES DOMINANTES DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1329
FIGURA 777. FRECUENCIA RELATIVA DE LOS EMS PARA HEMBRAS Y MACHOS DE *ASTYANAX SP., ASTROBLEPUS SP.1 Y TRICHOMYCTERUS BANNEAUI.* I=INMADURO, II=MADURANDO, III= MADURO, IV EN REPOSO DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. ..1331
FIGURA 778. ESPECTRO TRÓFICO DE *ASTYANAX SP., ASTROBLEPUS SP.1 Y TRICHOMYCTERUS BANNEAUI* DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ. 1332
FIGURA 779. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO PARA AÑO MEDIO 1356
FIGURA 780. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO PARA AÑO SECO....1357
FIGURA 781. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO PARA AÑO HÚMEDO 1358
FIGURA 782. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE PARA AÑO MEDIO 1360
FIGURA 783. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE PARA AÑO SECO 1361
FIGURA 784. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE PARA AÑO HÚMEDO....1362
FIGURA 785. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA PARA AÑO MEDIO....1364
FIGURA 786. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA PARA AÑO SECO 1365
FIGURA 787. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA PARA AÑO HÚMEDO....1366
FIGURA 788. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO PARA AÑO MEDIO 1368
FIGURA 789. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO PARA AÑO SECO 1369
FIGURA 790. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO PARA AÑO HÚMEDO....1370
FIGURA 791. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA PARA AÑO MEDIO....1372
FIGURA 792. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA PARA AÑO SECO 1373
FIGURA 793. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA PARA AÑO HÚMEDO....1374
FIGURA 794. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA PARA AÑO MEDIO....1376
FIGURA 795. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA PARA AÑO SECO 1377
FIGURA 796. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA PARA AÑO HÚMEDO....1378
FIGURA 797. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ PARA AÑO MEDIO 1380
FIGURA 798. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ PARA AÑO SECO....1381
FIGURA 799. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ PARA AÑO HÚMEDO 1382
FIGURA 800. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ PARA AÑO MEDIO....1384
FIGURA 801. ÍNDICE DE ARIDEZ EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ PARA AÑO SECO 1385

Figura 802. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Guarinó para año húmedo.....1386
Figura 803. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Coello, en el periodo (1990 a 2021).....1389
Figura 804. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Totare, en el periodo (1990 a 2021).....1390
Figura 805. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Opia, en el periodo (1990 a 2021).....1391
Figura 806. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Recio-Vendaillo, en el periodo (1990 a 2021).....1392
Figura 807. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Lagunilla, en el periodo (1990 a 2021).....1393
Figura 808. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Sabandija, en el periodo (1990 a 2021).....1394
Figura 809. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Gualí, en el periodo (1990 a 2021).....1395
Figura 810. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Guarinó, en el periodo (1990 a 2021).....1396
Figura 811. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Coello (punto de cierre).....1398
Figura 812. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Totare (punto de cierre).....1399
Figura 813. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Opia (punto de cierre).....1400
Figura 814. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Recio (punto de cierre).....1401
Figura 815. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Lagunilla (punto de cierre).....1402
Figura 816. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Sabandija (punto de cierre).....1403
Figura 817. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Gualí (punto de cierre).....1404
Figura 818. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Guarinó (punto de cierre).....1405
Figura 819. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Coello para el periodo (1990 a 2021).....1408
Figura 820. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Totare para el periodo (1990 a 2021).....1409
Figura 821. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Opia para el periodo (1990 a 2021).....1410

FIGURA 822. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RENDIMIENTO MEDIO DE SEDIMENTOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO PARA EL PERIODO (1990 A 2021).....1411
FIGURA 823. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RENDIMIENTO MEDIO DE SEDIMENTOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA PARA EL PERIODO (1990 A 2021) 1412
FIGURA 824. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RENDIMIENTO MEDIO DE SEDIMENTOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA PARA EL PERIODO (1990 A 2021) 1413
FIGURA 825. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RENDIMIENTO MEDIO DE SEDIMENTOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ PARA EL PERIODO (1990 A 2021).....1414
FIGURA 826. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RENDIMIENTO MEDIO DE SEDIMENTOS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ PARA EL PERIODO (1990 A 2021) 1415
FIGURA 827. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL ÍNDICE DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO 1418
FIGURA 828. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO.....1419
FIGURA 829. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE.....1421
FIGURA 830. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE.....1422
FIGURA 831. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 1424
FIGURA 832. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 1425
FIGURA 833. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1427
FIGURA 834. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1428
FIGURA 835. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 1430
FIGURA 836. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 1431
FIGURA 837. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 1433
FIGURA 838. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 1434
FIGURA 839. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1436
FIGURA 840. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1437
FIGURA 841. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO MEDIO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ 1439

FIGURA 842. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CATEGORÍAS DEL DE USO DEL AGUA PARA AÑO SECO EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ 1440
FIGURA 843. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL ÍNDICE DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA (IEAS) DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL ABANICO DE IBAGUÉ.....1442
FIGURA 844. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL ÍNDICE DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO CON RESPECTO AL NÚMERO DE HABITANTES (IASAP) DEL SISTEMA ACUÍFERO DEL ABANICO DE IBAGUÉ.....1444
FIGURA 845. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO COELLO.....1449
FIGURA 846. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO T0TARE 1451
FIGURA 847. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO OPIA.....1452
FIGURA 848. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1454
FIGURA 849. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO LAGUNILLA 1456
FIGURA 850. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO SABANDIJA 1458
FIGURA 851. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO GUALÍ 1460
FIGURA 852. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL – ICA EN SZH DEL RÍO GUARINÓ 1462
FIGURA 853. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO COELLO.....1466
FIGURA 854. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO COELLO 1467
FIGURA 855. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO COELLO 1467
FIGURA 856. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO COELLO.....1468
FIGURA 857. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO TOTARE.....1472
FIGURA 858. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO TOTARE 1473
FIGURA 859. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO TOTARE 1473
FIGURA 860. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO TOTARE.....1474
FIGURA 861. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO OPIA 1476
FIGURA 862. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO OPIA.....1476
FIGURA 863. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO OPIA.....1477
FIGURA 864. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO OPIA 1477
FIGURA 865. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO RECIO - VENADILLO 1481
FIGURA 866. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO RECIO - VENADILLO.....1481
FIGURA 867. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO RECIO – VENADILLO.....1482
FIGURA 868. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO RECIO - VENADILLO 1482
FIGURA 869. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO LAGUNILLA 1486
FIGURA 870. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO LAGUNILLA.....1486
FIGURA 871. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO LAGUNILLA.....1487
FIGURA 872. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO LAGUNILLA 1487
FIGURA 873. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO SABANDIJA 1489
FIGURA 874. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO SABANDIJA.....1490
FIGURA 875. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO SABANDIJA.....1490
FIGURA 876. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO SABANDIJA 1491
FIGURA 877. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO GUALÍ.....1495
FIGURA 878. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO GUALÍ 1495

FIGURA 879. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO GUALÍ 1496
FIGURA 880. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO GUALÍ.....1496
FIGURA 881. IACAL OHT AÑO SECO Y META EN CARGA (E1SECO) PARA EL RÍO GUARINÓ 1499
FIGURA 882. IACAL OHT AÑO SECO Y CARGA APORTADA (E2SECO) PARA EL RÍO GUARINÓ.....1499
FIGURA 883. IACAL OHT AÑO MEDIO Y META EN CARGA (E1MEDIO) PARA EL RÍO GUARINÓ.....1500
FIGURA 884. IACAL OHT AÑO MEDIO Y CARGA APORTADA (E2MEDIO) PARA EL RÍO GUARINÓ 1500
FIGURA 885. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO COELLO.....1519
FIGURA 886. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO COELLO 1520
FIGURA 887. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO TOTARE.....1521
FIGURA 888. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO TOTARE.....1522
FIGURA 889. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO OPIA 1523
FIGURA 890. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO OPIA.....1524
FIGURA 891. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO 1525
FIGURA 892. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO RECIO-VENADILLO.1526
FIGURA 893. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO LAGUNILLA 1527
FIGURA 894. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO LAGUNILLA.....1528
FIGURA 895. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO SABANDIJA 1529
FIGURA 896. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO SABANDIJA.....1530
FIGURA 897. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO GUALÍ.....1531
FIGURA 898. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO GUALÍ 1532
FIGURA 899. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO MEDIO EN LA SZH DEL RÍO GUARINÓ 1533
FIGURA 900. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR DESABASTECIMIENTO HÍDRICO PARA AÑO SECO EN LA SZH DEL RÍO GUARINÓ.....1534
FIGURA 901. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO COELLO.....1539
FIGURA 902. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTARE.....1540
FIGURA 903. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO OPIA 1541
FIGURA 904. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO RECIO-VENADILLO.....1542
FIGURA 905. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAGUNILLA 1543
FIGURA 906. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SABANDIJA 1544
FIGURA 907. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUALÍ.....1545
FIGURA 908. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DEL RÍO GUARINÓ 1546

Capítulo Oferta Hídrica

1. Implementación de Modelos Hidrológicos

La Política Nacional para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (PNGIRH) establece como objetivos principales el entendimiento de la dinámica y estado de los recursos hídricos a través del estudio de la oferta y demanda hídrica, la calidad del agua, y los riesgos asociados a su disponibilidad, así como el fortalecimiento institucional y gobernabilidad del recurso hídrico. En esta perspectiva, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia establece que este conocimiento de los recursos hídricos se debe desarrollar principalmente desde el nivel regional mediante las Evaluaciones Regionales del Agua (ERA). Estos estudios facilitan el seguimiento del recurso y mejoran la comprensión de las dinámicas del ciclo hidrológico y su balance hídrico a diferentes niveles dentro de las unidades hidrográficas de análisis.

La evaluación de la oferta hídrica superficial constituye un elemento fundamental para entender la disponibilidad de los recursos hídricos, partiendo de su estado actual en concordancia con los lineamientos conceptuales dispuestos dentro del marco metodológico de evaluación a diferentes escalas espaciotemporales. A escala regional, el nivel de detalle de la información y la resolución tanto espacial como temporal cobra más relevancia por lo que evaluar el estado y dinámica del agua requiere métodos y herramientas más complejas y con mayor grado de especificidad como lo son los modelos hidrológicos.

En el marco de desarrollo de la ERA para el departamento del Tolima se plantea el desarrollo de la modelación hidrológica sobre las 8 subzonas hidrográficas definidas en su primera fase de ejecución, estableciéndose como principal objetivo determinar y analizar su oferta hídrica superficial a través de la caracterización del comportamiento hidrológico mediante la simulación y reconstrucción de los caudales, determinando el estado actual en términos de cantidad del recurso permitiendo definir posibles escenarios de riesgo y vulnerabilidad con base en los resultados de las simulaciones; el establecimiento de indicadores de estado y presión por el uso del agua; y el análisis de la frecuencia e intensidad de eventos hidrológicos extremos en condiciones históricas y de escenarios de cambio climático.

Este documento presenta los procedimientos de selección, calibración y validación de los modelos hidrológicos desarrollados para la simulación de la oferta hídrica a escala diaria en las 8 subzonas hidrográficas de estudio en la fase 1 de la ERA. Inicialmente se preseleccionaron 24 modelos hidrológicos, los cuales fueron valorados a través de 23 criterios de selección que permitieron determinar la aplicación del modelo hidrológico

distribuido TETIS, el cual fue calibrado y validado para su uso en la estimación y simulación de la oferta hídrica total restituida al régimen natural.

Como resultado se brinda a la autoridad ambiental una herramienta de planificación y manejo integral del recurso que puede ser articulada a planes e instrumentos de ordenamiento ambiental del territorio, fortaleciendo la toma de decisiones frente a diversos problemas en el ámbito hidrológico sirviendo de apoyo a la gestión integrada de los recursos hídricos.

2. Selección del Modelo Hidrológico

La elección de un modelo hidrológico orientado a la estimación de la oferta hídrica implica considerar criterios relacionados el grado de representación física de los procesos hidrológicos, tipo de variables de entrada y salida en la simulación, escalas espaciales y temporales de trabajo, grado de complejidad y exigencia de información del modelo para su implementación y el tipo de algoritmos y métricas que use para la calibración y optimización de parámetros (Beven, 2012). Según la Guía de Practicas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) es necesario que un procedimiento de selección de modelos hidrológicos tenga en cuenta factores basados en el objetivo general de la modelación, el tipo de sistema y elemento hidrológico a modelar, las características climáticas y fisiográficas de la unidad hidrográfica, la disponibilidad de los datos, la simplicidad del modelo, la transposición de parámetros y la capacidad de actualización del modelo.

Además de definir unos criterios de selección, es fundamental establecer un mecanismo de ponderación y evaluación de los modelos candidatos para justificar de manera objetiva la elección final del modelo hidrológico a implementar. Una técnica multicriterio que cumple esta condición, es la metodología de selección multicriterio basada en Procesos de Jerarquía Analítica (AHP) y Procesos de Red Analítica (ANP) para medir factores tangibles e intangibles aplicada particularmente en la toma de decisiones, la cual fue desarrollada por Saaty (2013) y ha sido aplicada en el campo de la ingeniería de los recursos hídricos desde varios contextos para resolver problemas ambientales como: la selección de sitios de rellenos sanitarios (Zelenović Vasiljević et al., 2012), resolución de problemas en contexto del manejo de cuencas (Chowdary et al., 2013), evaluación del riesgo de inundaciones (Chen et al., 2011; Stefanidis & Stathis, 2013), monitoreo de la calidad del agua (Do et al., 2013), vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas (Sener & Davraz, 2013) y la selección se sitios para la medición hidrométrica (Peña et al., 2019). Considerando que este enfoque de decisión cumple los principios de objetividad, ponderación multicriterio y antecedentes de aplicabilidad, se empleó en la evaluación regional del agua como instrumento para la selección del modelo hidrológico a implementar.

2.1. Método de Análisis Multicriterio – AHP

Esta metodología de análisis multicriterio se fundamenta en la conformación de un grupo de expertos los cuales emiten juicios individuales sobre el predominio de un criterio o alternativa de selección con respecto a otro, definiendo así su dominancia dentro de los límites de rangos homogéneos previamente definidos (Saaty, 2013). Es a partir de la intensidad del juicio emitido donde el enfoque AHP deriva sus escalas de prioridades, combinándolas en una sola escala a través de un análisis comparativo por

pares entre variables proporcionando un peso relativo mediante la integración numérica probada por Aczél & Saaty (1983).

La definición de priorización relativa de los criterios según la metodología AHP/ANP propuesta por Saaty (2013), es dada bajo la escala fundamental de números absolutos de 1 a 9 de acuerdo con la teoría de estímulo – respuesta (*Tabla 1*). Esta escala define relaciones cuantitativas con una base cualitativa donde "1" corresponde a igualdad de importancia respecto al criterio de comparación, "3" importancia moderada, "5" importancia fuerte, "7" importancia muy fuerte y "9" extrema importancia. Los números enteros intermedios describen la importancia transicional de un nivel a otro. Dentro de la escala de números absolutos, el cero (0) no se toma en cuenta debido a su aplicabilidad a todo el universo de factores no incluidos en la discusión.

Con el fin de ponderar el peso de cada criterio de selección, se construyó una matriz de pesos, en la cual el orden de calificación se da evaluando el criterio de la i-ésima fila con respecto a cada uno de los criterios de la j-ésima columna. En caso donde la importancia de criterios dentro de la comparación pareada se dispone de forma inversa (es decir, el elemento de la j-ésima columna es más influyente respecto al elemento de la i-ésima fila) la valoración para tal caso se da a través del valor recíproco. Para la estimación del "vector de prioridad" se definieron los pesos relativos (**W**) como un vector normalizado a partir de la matriz de comparación pareada de la siguiente manera: a) Cada elemento de la j-ésima columna de la matriz es dividido por la sumatoria de su respectiva columna j, consolidando una nueva matriz normalizada; b) Se define el vector principal (**MV**) como la suma de cada elemento de la i-ésima fila de la matriz normalizada; c) Cada elemento de la i-ésima fila del **MV** es dividido por la sumatoria total de los elementos de **MV**, definiendo así un vector de pesos relativos (**W**) (Peña et al., 2019).

Esta distribución de pesos está en función de los objetivos de la modelación encaminada a determinar la oferta hídrica a través de la simulación y reconstrucción de los caudales caracterizando el comportamiento hidrológico de las subzonas evaluadas en una escala temporal diaria.

Tabla 1. Escala fundamental de números absolutos.

Intensidad de Importancia	Definición	Descripción
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
2	Débil o leve	
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad sobre otra
4	Más moderado	
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
6	Más fuerte	
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Se favorece mucho una actividad sobre otra; su dominio se demuestra en la práctica.
8	Muy, muy fuerte	
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del orden de afirmación más alto posible
Recíprocos de arriba	Si el criterio *i* tiene asignado uno de los números distintos de cero anteriores en comparación con el criterio *j*, entonces *j* tiene el valor recíproco en comparación con *i*.	Ésta es una suposición lógica.

Fuente: The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach (Saaty, 2013)

2.2. Selección de Modelos Candidatos

La variedad de los modelos hidrológicos disponibles en la literatura está representada por diferentes líneas de desarrollo o familias de modelos con diferentes grados de complejidad. Una de las clasificaciones de estos modelos se basa en el grado de representación espacial, considerándose, así como *agregados* o *distribuidos*. Los modelos agregados asumen la cuenca como una sola unidad tomando variables de estado promedio desestimando los patrones espaciales de repuesta hidrológica sobre el área de captación. Por su parte, los modelos distribuidos consideran estos patrones espaciales al subdividir la cuenca en elementos independientes (cuadriculas) resolviendo las respectivas ecuaciones para las diferentes variables de estado, permitiendo tener predicciones que se distribuyen en el espacio (Beven, 2005). Otro tipo de modelos considerados son los modelos *pseudo – distribuidos* aplicados a diferentes subcuencas de forma agregada y enrutando los caudales de salidas a un punto de convergencia mediante un elemento conceptual de enrutamiento de flujo en lámina libre.

La capacidad de los modelos para reproducir los estados de humedad a diferentes intervalos de tiempo determina en gran medida la viabilidad de selección, que

dependiendo del objetivo de modelación es posible considerar modelos de simulación a *escala de eventos,* evaluando el comportamiento del sistema modelado en respuesta a la ocurrencia de crecidas o avenidas torrenciales; o de simulación a *escala continua* abarcando un periodo de registros históricos sobre el cual modelar la oferta hídrica.

Otra clasificación de los modelos hidrológicos se presenta en razón al tipo de ecuaciones utilizadas para generar sus predicciones, siendo estos *deterministas* o *estocásticos*. Los modelos deterministas generan predicciones puntuales en sus variables de salidas como resultado de una simulación con un conjunto de entradas y valores de parámetros. Por otro lado, los modelos estocásticos producen aleatoriedad en sus resultados ocasionados por factores como el grado de incertidumbre en las variables de entrada, las condiciones de frontera o los parámetros del modelo (Beven, 2012).

En los modelos deterministas, las ecuaciones utilizadas para representar los procesos hidrológicos que gobiernan un área de captación presentan dificultades en la disponibilidad de la información ya que gran parte de estos procesos están en función de la respuesta generada bajo la superficie terrestre, respuesta dada por los mecanismos de producción de escorrentía (Beven, 2012). La diversidad y complejidad de estos mecanismos dominantes han conducido a la existencia de diversas ecuaciones capaces de representar en mayor o menor medida esa complejidad, entre ellas se destacan los modelos *conceptuales,* los cuales son capaces de involucrar cierto grado de simplificación en la reproducción de los procesos en la zona saturada como insaturada del perfil del suelo a través de parámetros estimados de forma indirecta; por otro lado, los modelos *físicamente basados* integran ecuaciones que rigen el fenómeno soportado en las leyes de conservación de la masa, el momento y la energía a partir de parámetros medibles directamente.

Es de amplio conocimiento que al introducir complejidad al ejercicio de modelación no necesariamente se tiende a mejorar la capacidad de predicción del modelo, lo cual se debe principalmente al grado de heterogeneidad presente en la estructura del suelo (Blume et al., 2009), añadiendo mayor incertidumbre en la simulación al contemplar parámetros adicionales difícilmente medibles o estimables. Es por lo anterior, que los modelos *conceptuales* y los modelos *definidos por los datos* o los denominados de “caja negra” cobran importancia en la capacidad de resolver problemas de predicción, reconstruir funciones altamente no lineales, realizar clasificaciones, agrupar datos y construir sistemas basados en reglas (Solomatine & Wagener, 2011). Igualmente, con los avances en el desarrollo de tecnologías de aprendizaje automático (machine learning – ML) estos modelos han tomado un auge importante en el campo de la hidrología, pero sin llegar a reemplazar los modelos físicos basados en procesos siendo complementarios al ser herramientas de predicción eficaces (Abrahart et al., 2008).

Dada la gran variedad de modelos hidrológicos basados en las clasificaciones mencionadas anteriormente, se preseleccionó un grupo de 24 modelos candidatos para ser evaluados por el Método de Análisis Multicriterio – AHP Estándar (*Tabla 2*). Estos representan gran parte del espectro de familias de modelos aplicados al campo de la hidrología actual, con base en la revisión literaria de documentación científica aplicada a diferentes regiones, con características biofísicas particulares y bajo diferentes objetivos de modelación. Esta preselección de 24 modelos hidrológicos involucra aquellos con múltiples capacidades de representación espacial (agregados, pseudo – distribuidos, distribuidos). De cada uno de ellos se valoró su respectiva representación conceptual basada en la estructura propia del sistema, así como su documentación de referencia para fines descriptivos entorno a sus componentes de simulación, capacidades de modelado y disponibilidad de uso.

Tabla 2. Modelos hidrológicos candidatos contemplados para la simulación.

Modelos Hidrológicos	Tipo	Escala Espacial	Escala Temporal	Institución	Representación Conceptual del Modelo	Documentación de Referencia
HBV - Light	PD	Unidad de Respuesta Hidrológica	Continua	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	Enlace	Enlace
Topkapi Distribuido	D	Celda	Evento - Continua	Department of Earth and Geo-Environmental Sciences University of Bologna	Enlace	Enlace
Topkapi Agrupado	A	Cuenca	Evento - Continua	Department of Earth and Geo-Environmental Sciences University of Bologna	Enlace	Enlace
HEC-HMS	PD	Subcuenca	Evento - Continua	USACE	Enlace	Enlace
SWAT	PD	Unidad de Respuesta Hidrológica	Continua	USDA, Agricultural Research Service; Texas A&M University	Enlace	Enlace
ABC (Thomas)	A	Cuenca	Continua	Harvard University	Enlace	Enlace
TETIS Distribuido	D	Celda	Evento - Continua	Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia - España	Enlace	Enlace
TETIS agregado	A	Cuenca	Evento - Continua	Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia - España	Enlace	Enlace
SWMM	D/PD	Subcuenca	Evento - Continua	United States Environmental Protection Agency	Enlace	Enlace
SWIM	PD	Unidad de Respuesta Hidrológica	Continua	Potsdam Institute for Climate Impact Research	Enlace	Enlace
MIKE-SHE (MIKE 11)	D/PD	Celda	Continua	DHI Group	Enlace	Enlace
DHSVM	D	Celda	Continua	Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, University of Washington, Seattle, Washington	Enlace	Enlace
HSPF (USGS)	PD	Unidad de Respuesta Hidrológica	Continua	Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency	Enlace	Enlace
TopoFlow	D	Celda	Evento - Continua	CSDMS, INSTAAR, University of Colorado	Enlace	Enlace
WEAP	PD	Cuenca	Continua	Stockholm Environment Institute	Enlace	Enlace

Modelos Hidrológicos	Tipo	Escala Espacial	Escala Temporal	Institución	Representación Conceptual del Modelo	Documentación de Referencia
Hydro-BID	D/PD	Celda	Continua	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Enlace	Enlace
Hydrotel	D/PD	Unidad de Respuesta Hidrológica	Continua	Environment and Climate Change Canada	Enlace	Enlace
TOPMODEL	D/PD	Unidad de Respuesta Hidrológica	Continua	Lancaster University, Department of Environmental Science, Institute of Environmental and Natural Sciences	Enlace	Enlace
VIC	PD	Celda	Continua	University of Washington Computational Hydrology Group.	Enlace	Enlace
GBHM	D	Celda	Evento - Continua	Department of Civil Engineering, University of Tokyo	Enlace	Enlace
HYSTAR Model	D	Celda	Continua	University of Florida	Enlace	Enlace
ARIMA	A	Cuenca	Evento - Continua	-	Enlace	Enlace
ARIMAX	A	Cuenca	Evento - Continua	-	Enlace	Enlace
Redes Neuronales Artificiales (ANNs)	A	Cuenca	Evento - Continua	-	Enlace	Enlace

Tipo: Distribuidos (D), Pseudo – Distribuidos (PD) y Agregados (A).

2.3. Definición de Criterios de Selección

Los criterios definidos para la selección del modelo hidrológico (*Tabla 3*) abarcan características propias del grado de representación de los procesos hidrológicos, como la fusión de nieve (C1), estimación de flujo superficial, subsuperficial y subterráneo (C2 a C5), la capacidad del modelo para representar e involucrar los diferentes flujos y mecanismos de producción de escorrentía en la zona saturada e insaturada del perfil del suelo (C6), la forma en que representa la propagación del flujo horizontal tanto en ladera o cuenca (C7) como en la red de cauces (C8), el grado de agregación espacial (C9) y las diferentes ecuaciones que lo componen.

Así mismo, acorde a los objetivos y el alcance de la modelación dirigida a determinar y analizar la oferta hídrica a partir de la simulación y reconstrucción de los caudales, se toma en consideración la disponibilidad del modelo para simular la producción de sedimentos (C10). Adicionalmente, en consecuencia, a la escala espacial y temporal exigida por el proyecto, se evalúa el tipo de simulación del modelo según el balance de humedad (C11) así como su discretización temporal (C12). La compatibilidad de los datos de entrada del modelo y de los elementos que lo componen con los Sistemas de Información Geográfica SIG (C13), así como la resolución o escala espacial de análisis (C14) a la cual el modelo simula los procesos. Además, la disponibilidad de un interfaz de análisis y preprocesamiento (C15) para valorar el nivel de interacción que pueda tener el usuario con los datos de entrada al modelo previo a la simulación.

Con la consolidación de la información base disponible, es posible generar un diagnóstico del estado actual del sistema a modelar respecto al grado de instrumentación y conocimiento previo de la unidad, por lo que el número de variables de entrada del modelo (C16) juega un papel fundamental en la decisión. Por otro lado, como premisa de todos los enfoques de modelación, la parsimonia del modelo en función del número de parámetros involucrados (C17) resalta su complejidad o simplicidad para representar las abstracciones del sistema hidrológico, parámetros estimados manual o automáticamente mediante algoritmos de optimización (C18) en relación con sus índices de desempeño (C19).

Por último, se añaden criterios relacionados con la aplicabilidad del modelo a nivel global (C20), en Colombia (C21), la capacidad de involucrar elementos artificiales (C22) como captaciones, trasvases, vertimientos, reservorios y el tipo de licencia del software del modelo (C23).

Tabla 3. Criterios definidos para la selección del modelo hidrológico.

Criterio de Selección	Descripción
C1 - Método para estimar la fusión de nieve - glaciar	Método disponible para la integración del proceso de fusión de nieve – glaciar del modelo.
C2 - Método de Estimación de Infiltración	Tipo de ecuaciones incorporadas para la estimación de la infiltración.
C3 - Método de Estimación del Flujo Superficial	Método de propagación y/o almacenamiento para la estimación del flujo superficial empleado por el modelo.
C4 - Método de Estimación del Flujo Subsuperficial	Método de propagación y/o almacenamiento para la estimación del flujo subsuperficial empleado por el modelo.
C5 - Método de Estimación del Flujo Subterráneo	Método de propagación y/o almacenamiento para la estimación del flujo subterráneo empleado por el modelo.
C6 - Mecanismos de Producción de Escorrentía Representados	Respuesta hidrológica en ladera representada por el modelo de acuerdo con la clasificación de mecanismos de producción de escorrentía expuestos en Beven 2012.
C7 - Método de propagación en ladera - cuenca	Método de propagación o transformación del flujo a escala de ladera o cuenca empleada por el modelo.
C8 - Método de propagación del caudal en cauces	Método de propagación del flujo en la red de cauces del sistema hidrológico empleado por el modelo.
C9 - Grado de Agregación Espacial	Grado de agregación espacial para la conceptualización de los procesos hidrológicos.
C10 - Disponibilidad para la Modelación de Producción de Sedimentos	Metodología empleada para la estimación de la producción de sedimentos.
C11 - Tipo de modelación (Evento, Continua)	Capacidad del modelo a simular la dinámica hidrológica a escala de evento o escala continua.
C12 - Escala Temporal de Trabajo	Escala de simulación temporal del modelo (Mensual, Diaria, Horaria, Subhoraria).

Criterio de Selección	Descripción
C13 - Disponibilidad de plugin en SIG	Disponibilidad del modelo a plugin para el acoplamiento a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ej. ArcGIS, QGIS, GrassGis, Kosmos, gvSIG, etc.
C14 - Escala de simulación	Grado de representación espacial adoptado por el modelo para la simulación. Ej. Tamaños de celda (DEM), Unidades de modelación (HRU), Cuenca (modelos agregados), Subcuencas (modelos pseudo distribuidos).
C15 - Disponibilidad de interfaz para preprocesamiento	Disponibilidad de interfaz empleada por el modelo para el preprocesamiento de la información disponible como datos de entrada.
C16 - Número de variables de entrada del modelo	Número de variables incorporadas al modelo necesarias para la simulación.
C17 - Número de parámetros del modelo	Cantidad de parámetros empleados por el modelo para la simulación.
C18 - Algoritmo de Optimización	Tipo de algoritmos de optimización empleado por el modelo para la calibración de parámetros.
C19 - Índices de Desempeño	Índices de desempeño empleados como criterio de evaluación de eficiencia del modelo.
C20 - Frecuencia de utilización del modelo a nivel Global	Referencias científicas y/o técnicas disponibles que documenten la aplicabilidad del modelo en un escenario global.
C21 - Frecuencia de utilización del modelo en Colombia	Referencias científicas y/o técnicas disponibles que documenten la aplicabilidad del modelo en Colombia.
C22 - Representación de elementos artificiales del sistema hidrológico	Disponibilidad del modelo para representar elementos artificiales al sistema tales como captaciones, trasvases, vertimientos, reservorios, sistemas de riego, sistemas de drenaje y alcantarillado urbano, etc.
C23 - Tipo de Licencia de Uso del Software	Disponibilidad del modelo (libre / comercial) y acceso al código de programación.

2.4. Escalas de valoración y ponderación de los Modelos Candidatos

Para evaluar cuantitativamente las características estructurales de los modelos candidatos se definió una escala de calificación por criterio, la cual es homogénea y representativa numéricamente entre el rango de posibilidades para para los 23 criterios de selección, por lo que se consideró una escala de 1 a 9, siendo (1), características de escaso o nulo impacto durante el proceso de selección y (9), características de mayor impacto y relevancia (*Tabla 4*).

Dentro de los criterios de selección destacables en interpretación, para los mecanismos de producción de escorrentía representados (C6) su calificación es generada sobre la capacidad del modelo para representar cada mecanismo. Dado que un modelo tiene la capacidad de representar múltiples mecanismos de producción de escorrentía, estos se han agrupado por orden de importancia asignando una calificación más baja a grupos con menor relevancia respecto a los demás. En cuanto al grado de agregación espacial (C9) se asignó la mayor valoración a los modelos distribuidos debido al tamaño y complejidad de los sistemas a modelar. El número de variables de entrada al modelo (C16) se asocia de acuerdo con sus características y capacidad de simulación, donde modelos hidrológicos básicos en promedio cuentan con 3 o menos variables de entrada, los hidrológicos con mayor nivel de desarrollo conceptual entre 4 – 10, los hidrológicos con representación de sedimentos entre 11 – 15 y los hidrológicos con representación de sedimentos y calidad de aguas más de 15 variables. Así mismo, en cuanto al número de parámetros del modelo (C17), los modelos básicos requieren 5 o menos parámetros, modelos de mayor desarrollo conceptual entre 6 y 10, modelos hidrológicos que incluyen el ciclo de sedimentos entre 11 – 15 y modelos hidrológicos con un módulo de simulación de sedimentos y calidad del agua entre 16 – 21, o mayor de 21 según la estructura y capacidad de simulación.

Una vez establecida la escala de valoración, se aplicó cada criterio a cada modelo candidato con el fin de cuantificar la evaluación de cada criterio en cada uno de ellos según corresponda, en consecuencia, se obtuvo una calificación global representada en la sumatoria de las calificaciones parciales por criterio para cada modelo (Tabla 5). Los modelos que alcanzaron mayor puntaje fueron TETIS distribuido con 153 puntos, MIKE-SHE con 152 puntos y SWAT 149. Para este caso de aplicación, la principal ventaja de TETIS distribuido sobre MIKE-SHE es que tiene más flexibilidad para representar elementos artificiales dentro del sistema hidrológico y el ciclo de sedimentos, así como el tipo de licencia de uso, mientras que la principal ventaja de TETIS distribuido sobre SWAT es en la mejor representación de los mecanismos de producción de escorrentía, especialmente el que se da por exceso de saturación.

Tabla 4. Calificación de los criterios de selección para la modelación hidrológica.

Criterio	Clasificación	Calificación
C1	No incluye	1
	Grado - Día	3
	Balance de energía	6
	Balance de masa y energía	9
C2	No incluye	1
	Ecuación físicamente basada	3
	Ecuación empíricamente basada	6
	Ecuación Empírica y físicamente basada	9
C3	Balance hídrico	1
	Reservorio lineal, Ecuación lineal o Hidrograma sintético	3
	Reservorio no lineal o Ecuación no lineal	6
	Propagación hidráulica	9
C4	No incluye	1
	Almacenamiento lineal	2
	Almacenamiento no lineal	5
	Representación por capas	7
	Propagación hidráulica	8
	Almacenamiento y propagación hidráulica	9
C5	No incluye	1
	Almacenamiento lineal	2
	Almacenamiento no lineal	5
	Representación por capas	7
	Propagación hidráulica	8
	Almacenamiento y propagación hidráulica	9
C6	{A}, {B}	1
	{C}, {D}, {E}, {A, C}	3
	{A, B}, {A, B, C}	5
	{A, B, C, D}	8
	{A, B, C, D, E}	9

Criterio	Clasificación	Calificación
C7	No incluye	1
	Balance hídrico	2
	Reservorio lineal o Hidrograma sintético	3
	Reservorio no lineal	6
	Propagación hidráulica	9
C8	No incluye	1
	Reservorio lineal o Hidrograma sintético	3
	Reservorio no lineal	6
	Propagación hidráulica	9
C9	Agregado	1
	Pseudo - Distribuido	5
	Distribuido	9
C10	No incluye	1
	USLE	3
	RUSLE	6
	MUSLE	9
C11	Estocástico - Evento	1
	Determinístico - Evento	1
	Estocástico - Continuo	5
	Determinístico - Continuo	9
C12	Mensual	1
	Diaria	3
	Horaria	6
	Subhoraria	9
C13	No incluye	3
	Si incluye	9
C14	Cuenca	1
	Subcuenca	3
	Unidad de Respuesta Hidrológica (HRU)	6
	Celda	9

Criterio	Clasificación	Calificación
C15	No incluye	3
	Si incluye	9
C16	≤ 3	1
	4 - 10	3
	11 - 15	6
	> 15	9
C17	≤ 5	1
	6 - 10	3
	11 - 15	5
	16 - 21	7
	> 21	9
C18	Manual (Heurísticos)	1
	Programación lineal y no lineal	3
	Basados y no basados en gradientes	5
	Metaheurísticos (Basados en la población / trayectoria)	9
C19	R2, RMSE, MAE, BIAS	2
	NASH, Error Volumen, AIC, HMLE	6
	Índice de Kling y Gupta	9

Criterio	Clasificación	Calificación
C20	≤ 355	1
	356 - 3,135	3
	3,135 - 12,225	6
	> 12,225	9
C21	≤ 139	1
	140 - 467	3
	468 - 1,400	6
	> 1,400	9
C22	No incluye	1
	Distribución agua potable	2
	Drenaje urbano	3
	Reservorios	6
	Riego	7
	Trasvases	8
	Reservorios, Trasvases y Riego	9
C23	Comercial	1
	Acceso libre	3
	Acceso libre y de código abierto	6
	Software libre y de código abierto	9

C6 – Mecanismos de producción de escorrentía representados: {A} Infiltration Excess Overland Flow (Horton, 1933), {B} Partial Area Infiltration Excess Overland Flow (Betson, 1964), {C} Saturation Excess Overland Flow (Cappus, 1960; Dunne, 1970), {D} Subsurface Stormflow (Hursh, 1936; Hewlett, 1961), {E} Perched Subsurface Stormflow (Weyman, 1970).

Tabla 5. Calificación de los modelos hidrológicos con base a los sus criterios de selección

MODELO CANDIDATO	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	TOTAL
HBV - Light	3	6	3	2	2	3	6	1	5	1	9	3	3	6	3	3	9	9	9	6	9	1	3	105
Topkapi Distribuido	6	3	6	5	5	3	6	9	9	1	9	6	3	9	9	3	3	5	9	3	3	6	1	122
Topkapi Agrupado	1	6	3	5	5	3	9	1	1	1	9	6	3	1	3	3	3	5	9	1	3	1	1	83
HEC-HMS	6	6	9	1	5	5	9	1	5	9	9	6	9	3	9	9	9	5	2	9	6	6	3	141
SWAT	9	6	6	8	2	5	3	3	5	9	9	3	9	6	9	3	9	9	6	9	9	6	6	149
ABC	1	6	1	1	2	3	2	1	1	1	9	1	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1	3	47
TETIS Distribuido	**3**	**9**	**6**	**5**	**5**	**5**	**9**	**9**	**9**	**3**	**9**	**9**	**3**	**9**	**9**	**6**	**9**	**9**	**6**	**3**	**6**	**9**	**3**	**153**
TETIS agregado	1	6	3	2	2	1	2	1	1	1	9	9	3	1	3	1	3	1	6	1	3	1	3	64
SWMM	3	6	6	1	5	5	2	9	9	1	9	6	3	3	9	3	9	9	6	9	6	3	6	128
SWIM	3	6	6	8	2	3	3	3	5	9	9	3	9	6	9	6	9	5	6	9	3	1	6	129
MIKE-SHE (MIKE 11)	3	9	9	9	9	5	9	9	9	1	9	9	3	9	9	6	9	6	6	6	6	1	1	152
DHSVM	9	6	3	2	1	3	9	3	9	6	9	9	3	9	9	3	9	9	6	3	3	1	6	130
HSPF (USGS)	9	6	6	2	2	3	9	9	5	9	9	3	3	6	9	6	9	5	2	6	6	1	6	131
TopoFlow	6	9	9	7	1	1	9	9	9	1	9	6	3	9	9	3	3	1	6	1	1	3	6	121
WEAP	3	1	6	5	5	3	2	1	5	1	9	3	3	1	9	9	3	1	6	6	9	7	3	101
Hydro-BID	3	6	3	1	2	3	6	3	9	9	9	3	9	9	9	3	1	5	6	1	1	1	6	108
Hydrotel	6	3	9	8	2	3	9	9	9	1	9	3	3	6	9	3	7	5	6	3	1	1	6	121
TOPMODEL	3	6	3	5	1	1	6	9	9	1	9	9	9	6	9	3	3	9	6	6	3	1	6	123
VIC	6	6	6	1	5	3	3	9	5	1	9	6	3	9	3	6	9	3	6	9	9	6	6	129
GBHM	3	3	9	2	8	3	9	9	9	1	9	6	3	9	3	6	5	9	6	3	1	1	3	120
HYSTAR Model	1	6	9	1	8	3	6	6	9	3	9	6	3	9	9	9	5	9	6	1	1	1	3	123
ARIMA	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	9	3	3	1	9	1	1	9	9	6	9	1	9	82
ARIMAX	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	9	3	3	1	9	3	1	9	9	3	6	1	9	78
Redes Neuronales Artificiales (ANNs)	1	1	6	1	1	1	1	1	1	1	9	9	3	1	9	3	9	9	9	9	9	1	9	104

2.5. Modelo Hidrológico Seleccionado

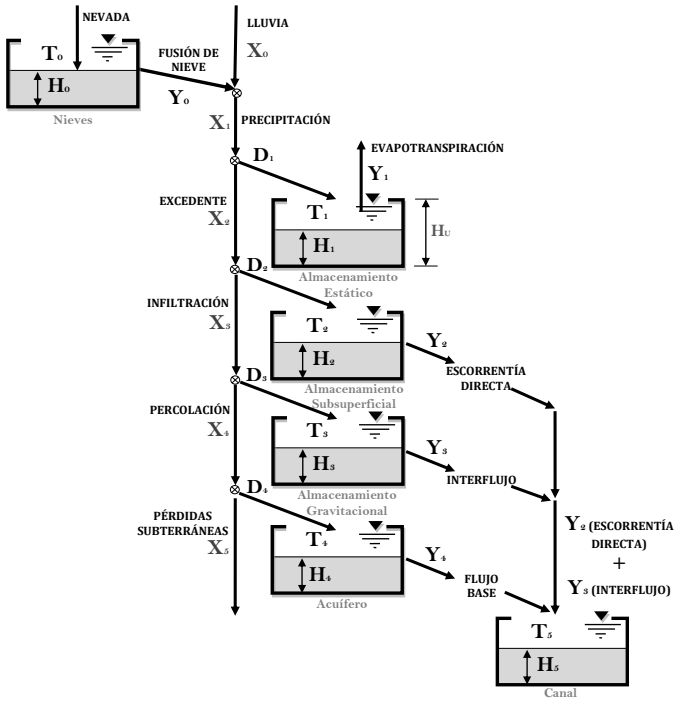
El modelo hidrológico distribuido TETIS ha sido implementado en diferentes regiones del mundo con resultados satisfactorios particularmente en Colombia, empleado para modelar la hidrología de cuencas húmedas de montaña y zonas secas. Dentro de sus principales virtudes se destaca su capacidad para simular mecanismos de producción de escorrentía por exceso de saturación y exceso de infiltración, interacción espacial horizontal y vertical del flujo desde un enfoque de modelación distribuida, lo que permite a este modelo aproximarse de forma razonable a los patrones reales de flujo, e involucrar explícitamente el efecto de la variabilidad y heterogeneidad espacial de variables y parámetros de modelación. Por ser un modelo dinámico, permite realizar simulaciones en la escala diaria, horaria o minutal en forma continua.

2.5.1. Modelo Hidrológico Distribuido TETIS

La generación de la escorrentía se basa en la realización de un balance hídrico en la cuenca, asumiendo que el agua se distribuye en cinco niveles o tanques de almacenamiento conceptual y conectados entre sí. El flujo entre los tanques es función del agua almacenada en ellos, por lo que las variables de estado son los volúmenes almacenados en cada uno de los tanques. La función que relaciona el flujo con estas variables de estado es función del esquema conceptual adoptado, del tipo de tanque y de las características morfológicas de la celda e hidrológicas del suelo en la misma (Figura 26).

Para su aplicación, se utiliza la siguiente información base: Topografía, Cobertura y uso de la tierra, Suelos (estudio general de suelos del departamento del Tolima, incluyendo tipos de suelo y caracterización de éstos, en relación con la textura, profundidad y propiedades de tipo físico e hidráulico), Geología (información espacial de litología, estructura y provincias hidrogeológicas, y estudios hidrogeológicos), Series hidrometeorológica (Información de las estaciones hidrometeorológicas y campañas históricas de aforo realizados en las áreas hidrográficas objeto de estudio).

Figura 1. Esquema conceptual de celda del modelo TETIS



Fuente: Francés, Vélez, & Vélez (2007).

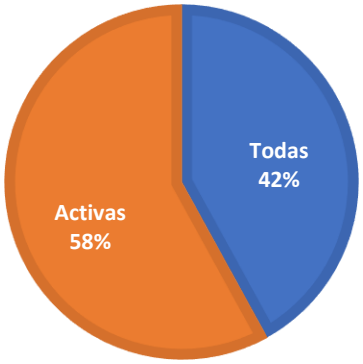
3. Información Base para la Modelación Hidrológica

La información necesaria para desarrollar el proceso de modelación hidrológica en el marco de la Evaluación Regional del Agua involucra las siguientes categorías:

- **Información Hidrometeorológica Histórica**: es necesaria para definir los periodos de calibración y validación de los modelos hidrológicos, y ser usada como datos de entrada a los modelos.
- **Información Cartográfica Temática**: se requiere para desarrollar el proceso de estimación de parámetros de los modelos hidrológicos previo a su calibración y validación.
- **Información de Conexiones Hidráulicas**: se utiliza para restituir los caudales de las estaciones hidrométricas al régimen natural y proceder con su calibración y validación, esta información hace referencia a la identificación de captaciones, vertimientos o retornos y trasvases de caudal en cada subzona hidrográfica objeto de modelación.

3.1. Información Meteorológica Histórica

El Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM reporta la presencia de 337 estaciones climatológicas y meteorológicas en el departamento del Tolima, de las cuales 197 son administradas por el IDEAM y 140 por parte de otras instituciones. No obstante, se encuentran activas 115 estaciones del IDEAM y 39 corresponden a otras instituciones (*Figura 2*).



Tipo Estación	Todas	Activas
Agrometeorológica	2	2
Climática Ordinaria	28	15
Climática Principal	21	18
Meteorológica Especial	13	2
Pluviogoráfica	17	12
Pluviométrica	113	65
Sinóptica Principal	1	0
Sinóptica Secundaria	2	1
Total	197	115

Figura 2. Estaciones meteorológicas y climatológicas IDEAM en el Tolima. Elaboración Propia.

Para el área de estudio del ERA fase I, el Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM, reporta la presencia de 175 estaciones climatológicas y meteorológicas en el departamento del Tolima, de las cuales 101 son administradas por el IDEAM y 74 por parte de otras instituciones. No obstante, se encuentran activas 51 estaciones del IDEAM y 16 corresponden a otras instituciones (*Figura 3*)

Tipo Estación	Todas	Activas
Agrometeorológica	1	
Climática Ordinaria	12	7
Climática Principal	12	10
Meteorológica Especial	11	2
Pluviogoráfica	11	8
Pluviométrica	52	22
Sinóptica Principal	0	0
Sinóptica Secundaria	2	1
Total	101	50

Figura 3. Estaciones meteorológicas y climatológicas IDEAM en el área de estudio del ERA fase I en el Tolima. Elaboración Propia.

En este contexto, fue necesario definir criterios para la selección de la información meteorológica y climatológica que resulte útil para el desarrollo del proyecto. En este sentido, se consultaron instituciones reconocidas a nivel global para definir la longitud del periodo de registro de series temporales de datos climatológicos y meteorológicos para ser utilizados en análisis hidrológicos, de manera que para este proyecto, se definió un periodo mínimo de observaciones de 20 años (*Tabla 6*, (MinAmbiente & UNAL, 2018; USGS, 2015; USGS, 2015; Salas et al., 2014; Westphal et al., 2003; Richard M. Vogel,l Member, ASCE, 1996; World Meteorological Organization, 2008, 2011). Así mismo, la Organización Meteorológica Mundial recomienda que para los análisis es deseable contar con series con más del 80 % de datos de años completos, siendo la resolución apropiada para el análisis en recursos hídricos la escala diaria.

Tabla 6. Tamaño recomendado de series meteorológicas y climatológicas.

Institución	Periodo de registro recomendado
IDEAM	15 años
USGS	20 años
ASCE	20 años
IPCC	100 años
Organización meteorológica mundial	30 años

Con base en lo anteriormente expuesto, en esta fase del proyecto se definieron los siguientes criterios de selección para la información meteorológica y climatológica que será utilizada, de manera que dichos criterios aplican para la información en superficie y la obtenida mediante teledetección:

1) Series con observaciones recientes y periodos de observación mayores iguales a 20 años.
2) Series temporales con más del 80 % de datos completos.
3) Series con datos consecutivos sin faltantes menores a tres años.
4) Estaciones activas por un periodo mayor de 20 años
5) Información con datos de acceso abierto

Finalmente, la *Figura 4*, presenta el proceso de adquisición de la información climatológica y meteorológica, mediante la aplicación de criterios de selección, según la procedencia de la observación.

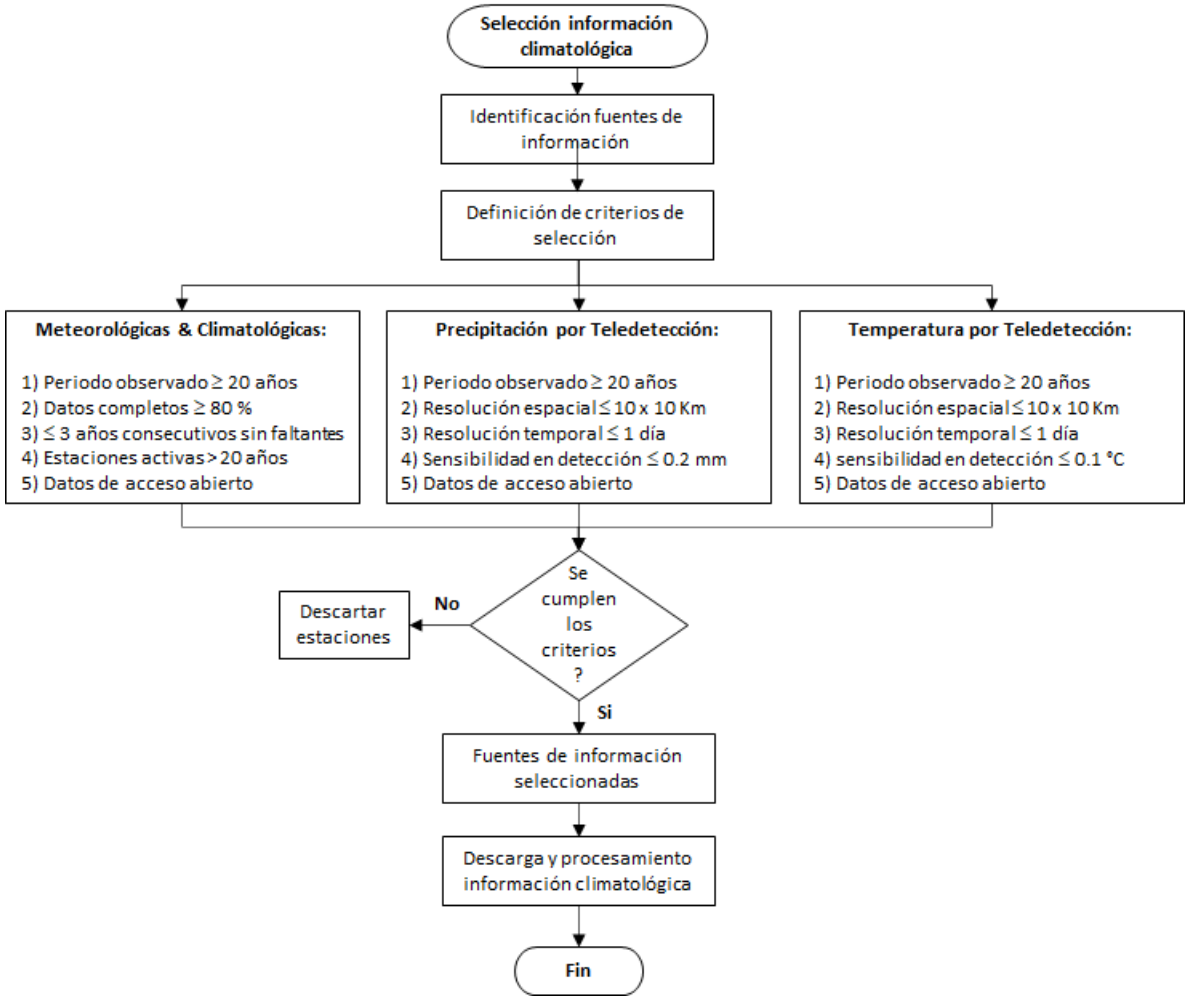


Figura 4. Proceso de selección fuentes de información climatológica. Elaboración Propia.

La información de precipitaciones, temperatura, y evapotranspiración, se encuentra disponible, en donde cada serie temporal corresponde a un vector.

3.1.1. Red de Estaciones Meteorológicas del IDEAM

El IDEAM cuenta con 197 estaciones climatológicas y meteorológicas en el departamento del Tolima, de las cuales 43 cumplen los criterios de selección definidos para este proyecto, estas se presentan en la *Tabla 7* y *Figura 5*, de manera que las series de precipitación, temperatura y humedad relativa de dichas estaciones se encuentran disponibles en el Anexo A.

a) *b)*

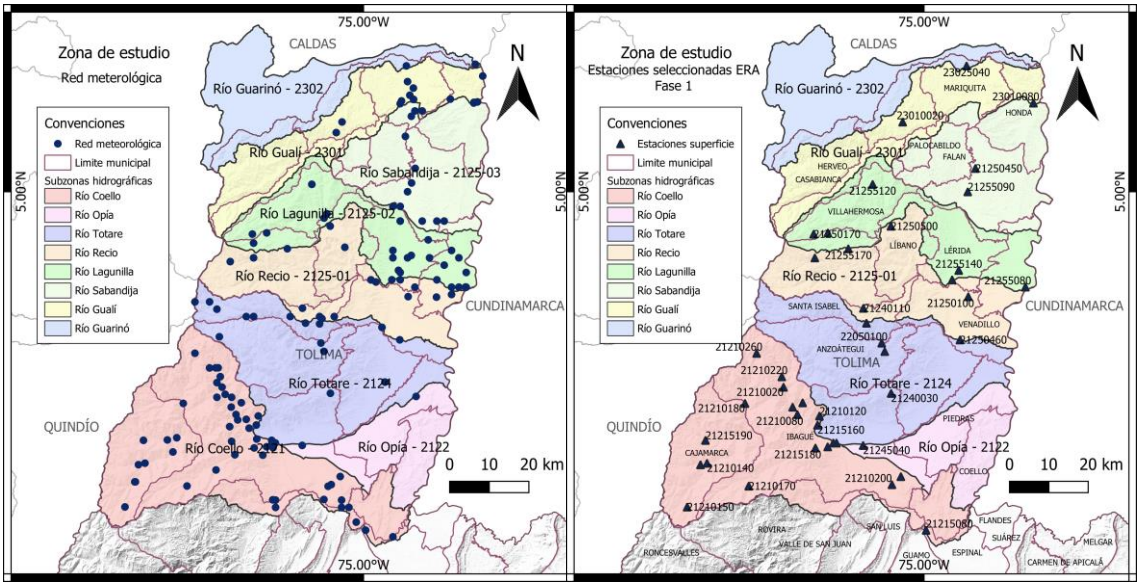


Figura 5. Red estaciones meteorológicas y climatológicas en la zona de estudio del ERA fase I en el departamento del Tolima a) estaciones reportadas en el catálogo IDEAM; b) estaciones que satisfacen criterios de selección para la ERA-Fase I ubicadas en la zona de estudio. Elaboración Propia.

Tabla 7. Estaciones IDEAM que satisfacen criterios de selección en ERA fase I en el departamento del Tolima

Código	Estación	Ubicación	Corriente	Periodo	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m.s.n.m.)
21160040	Aco	Prado	Negro	1959-2020	3.75º	74º	378
23025040	Albania	Mariquita	Guarino	1987-2020	5.29º	74º	788
21130180	Altamira DC HDA	Natagaima	Magdalena	1980-2020	3.45º	75º	500
21135030	Anchique	Natagaima	Anchique	1963-2020	3.57º	75º	415
21240070	Anzoátegui	Anzoátegui	La China	1974-2020	4.64º	75º	1814
21255090	Armero GJA	Armero(Guayabal)	Sabandija	1986-2020	5.00º	74º	3241
22050040	Ataco	Ataco	Saldana	1963-2020	3.93º	75º	468
21250170	Boquerón	Prado	Prado	1986-2020	4.90º	75º	3740
21160080	Boquerón	Villahermosa	Lagunilla	1962-2020	3.75º	74º	337
21210200	Buenos Aires	Ibagué	Coello	1986-2020	4.34º	75º	728
21160200	Bustamante	Villarrica	Cuinde	1951-2020	3.89º	75º	1613
21215100	Cajamarca	Cajamarca	Bermellón	1964-2020	4.44º	75º	1920
21190290	Carmen De Apicalá	CarmenDe Apicalá	Sumapaz	1972-2020	4.16º	74º	321
21215080	Chicoral	Espinal	Coello	1963-2020	4.23º	74º	432
22050030	Colache HDA	Coyaima	Saldana	1951-2020	3.80º	75º	384
21215130	Cucuana HDA	Cajamarca	Anaime	1986-2020	4.34º	75º	2229
21160030	Cunday	Cunday	Cunday	1959-2020	4.07º	74º	454
21210160	Darién El	Ibagué	Qda Corazón	1984-2020	4.47º	75º	1920
22045010	Demostración GJA	Chaparral	Amoya	1964-2020	3.72º	75º	908
21170020	Dos Aguas Las	Suárez	Magdalena	1951-2020	4.26º	74º	3394
21220050	El Aceituno	Ibagué	Opia	1987-2020	4.35º	75º	680
22020070	El Condor	Ataco	Ata	1979-2020	3.33º	75º	755
21210160	El Darién	Ibagué	Qda Corazón	1984-2020	4.47º	75º	1920
23010020	El Edén	Fresno	Gualí	1958-2020	5.16º	75º	1670
21210220	El Palmar	Ibagué	Combeima	1971-2020	4.58º	75º	2200
22060080	El Pando	Chaparral	Amoya	1973-2020	3.77º	75º	976

Código	Estación	Ubicación	Corriente	Periodo	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m.s.n.m.)
21210110	El Placer	Ibagué	Combeima	1983-2020	4.52º	75º	2170
21210140	El Plan	Cajamarca	Anaime	1983-2020	4.38º	75º	3088
21210080	El Secreto	Ibagué	Combeima	1951-2020	4.49º	75º	1482
21160170	Fique El	Prado	Negro	1983-2020	3.71º	74º	1040
22010070	Gaitan	Rioblanco	Anamichu	1955-2020	3.58º	76º	1568
21185030	Guamo	Guamo	Luisa	1953-2020	4.01º	74º	3319
22060110	Guaini	Chaparral	Qda Guaní	1951-2020	3.72º	75º	746
23010080	Idema-Honda	Honda	Gualí	1955-2020	5.20º	75º	2508
21135020	Jabalcón	Saldaña	Chenche	1963-2020	3.86º	75º	332
21210150	La Cascada	Cajamarca	Anaime	1983-2020	4.28º	75º	3280
21210120	La Esmeralda	Ibagué	Qda Cay	1955-2020	4.49º	75º	1965
21250100	La Estrella	Venadillo	Recio	1990-2020	4.76º	74º	331
21190410	La Granja HDA	Melgar	Sumapaz	1983-2020	4.16º	74º	1104
22010010	La Herrera	Rioblanco	Saldana	1951-2020	3.29º	76º	1620
21180120	La Lorena HDA	San Luis	Cucuana	1978-2020	4.03º	75º	450
21210190	La Resaca	San Luis	Luisa	1986-2020	4.27º	75º	1250
21250070	La Sierra	Lérida	Recio	1955-2020	4.80º	74º	472
21140120	Las Cruces	Alpujarra	Cabrera	1974-2020	3.43º	74º	1400
21210130	Las Delicias	Cajamarca	Coello	1984-2020	4.38º	75º	2095
21210020	Las Juntas	Ibagué	Qda Perlas	1951-2020	4.56º	75º	1765
21170040	Las Mesas	Suárez	Magdalena	1983-2020	3.91º	74º	849
21250500	Líbano	Líbano	Recio	1955-2020	4.92º	75º	1649
22045020	Limón El	Chaparral	Qda De Irco	1986-2020	3.65º	75º	1030
21160160	Llanitos	Dolores	Negro	1983-2020	3.62º	74º	1388
22050100	Los Guayabos	Coyaima	Saldana	1988-2020	4.66º	75º	330
21165030	Lozanía	Purificación	Qda La Baja	1972-2020	3.90º	74º	394
21170030	Maporita la DC HDA	Suárez	Magdalena	1979-2020	3.95º	74º	311
22055020	Mesa De Pole	Ataco	Saldana	1968-2020	3.46º	75º	699
22050090	Molino Murra	Saldaña	Saldana	1980-2020	3.92º	75º	324
21250110	Murillo	Murillo	Recio	1955-2020	4.87º	75º	3023
22060090	Olaya Herrera	Ortega	Tetuán	1973-2020	3.82º	75º	450
22060070	Ortega	Ortega	Ortega	1971-2020	3.94º	75º	388
21210170	PaloGrande HDA	Ibagué	Cocora	1986-2020	4.33º	75º	2212
22050080	Pan De Azúcar	Ataco	Saldana	1975-2020	3.38º	75º	1800
21210030	Pastales	Ibagué	Combeima	1958-2020	4.51º	75º	1602
21160130	Penas Blancas	Dolores	Negro	1985-2020	3.65º	74º	1335
2220020	Peña Rica	Planadas	Ata	1951-2020	3.05º	76º	1793
21245010	Perales Hato Opia	Ibagué	Opia	1965-2020	4.43º	75º	826
21220040	Piedras	Piedras	Opia	1974-2020	4.54º	74º	384
22060100	Piedras de Cobre	Saldaña	Saldana	1951-2020	3.91º	75º	3594
21160050	Pinalito HDA	Prado	Negro	1959-2020	3.67º	74º	9217
21250450	Potosí HDA	Armero(Guayabal)	Sabandija	1971-2020	5.05º	74º	3089
21165010	PST De Monta	Prado	Prado	1987-2020	3.79º	74º	321
21160180	Pto Lleras	Villarrica	Cuinde	1983-2020	3.84º	74º	1209
21130010	Purificación	Purificación	Magdalena	1951-2020	3.85º	75º	305
21255140	Quinta La	Lérida	Lagunilla	1983-2020	4.82º	74º	429
22015020	Relator	Rioblanco	Blanco	1986-2020	3.53º	75º	1160
2220060	Rioclaro	Planadas	Claro	1987-2020	3.05º	75º	2326
22075030	Riomanso	Rovira	Manso	1973-2020	4.21º	75º	2053
22070010	Roncesvalles	Roncesvalles	Cucuana	1951-2020	4.01º	76º	2581
21180040	Rovira 2	Rovira	Luisa	1971-2020	4.24º	75º	9394
21255080	Salto El	Ambalema	Magdalena	1968-2020	4.43º	75º	5194
22065040	San Antonio Quinta	San Antonio	Tetuán	1971-2020	3.91º	75º	1448
22050060	San Jose de Hermosa	Chaparral	Amoya	1973-2020	3.90º	75º	2015
21240030	San Juan De China	Ibagué	La China	1986-2020	4.54º	75º	1980
22050070	San Pedro	Ataco	Saldana	1973-2020	3.43º	75º	1679
22020050	Santiago Perez	Ataco	Ata	1975-2020	3.40º	75º	732
21250480	Sta Barbara	Murillo	Lagunilla	1987-2020	4.91º	75º	3371
22070030	Sta Helena	Roncesvalles	Cucuana	1975-2020	4.12º	75º	2606
21255110	Sta Isabel	Santa Isabel	Recio	1975-2020	4.70º	75º	2817
21245140	Sta Isabel	Santa Isabel	Totare	1981-2020	4.71º	75º	2288

Código	Estación	Ubicación	Corriente	Periodo	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m.s.n.m.)
21180160	Suarez	Guamo	Magdalena	1971-2020	4.06º	74º	319
21150030	Tinajas	Natagaima	Magdalena	1975-2020	3.57º	75º	290
21210180	Toche	Ibagué	Coello	1986-2020	4.52º	75º	1991
21185080	Valle De San Juan	Valle De SanJuan	Luisa	1986-2020	4.19º	75º	591
21180210	Valle de San Juan	Valle De SanJuan	Luisa	1971-2020	4.19º	75º	591
21250460	Venadillo	Venadillo	Venadillo	1975-2020	4.66º	74º	430
21255120	Villa Hermosa	Villahermosa	Lagunilla	1975-2020	5.02º	75º	2069
21160070	Villarrica	Villarrica	Cuinde	1959-2020	3.93º	74º	1036

3.1.2. Red de Estaciones Meteorológicas de Otras Entidades

A continuación, se presentan las entidades que se consultaron para la obtención de información climatológica y en las cuales se evaluaron los criterios de selección.

3.1.2.1. Estaciones CENICAFÉ

Para el caso de las estaciones del Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ) para este proyecto en el departamento del Tolima corresponden a las 30 estaciones presentadas en la *Tabla 8*. En la *Figura 6* se presentan las estaciones que se encuentran en la zona de estudio del ERA fase I

Tabla 8. Estaciones Cenicafé para el ERA Tolima -Fase I-

Código	Estación	Ubicación	Corriente	Periodo	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m.s.n.m.)
23010090	Danta La	Casabianca	Qda Guerrero	1991-2020	5.10	75.10	1700
21250470	Palocabildo	Falan	Checua	1955-2020	5.13	74.95	1500
23010100	Cimarrona La	Fresno	Qda Chapinero	1969-2020	5.17	75.03	1400
21215010	Primavera La	Ibagué	Canal La Sala	1991-2020	4.42	75.25	1300
22045030	Irco Dosaguas	Chaparral	Anchicaya	1997-2020	3.67	75.62	1210
23010140	Mesa La	Mariquita	Llano Chiquito	1991-2020	5.18	74.88	1200
22065050	Limon El	Chaparral	Recio	1971-2020	3.72	75.50	1000
22060120	Poco A Poco	Chaparral	Guabas	1991-2020	3.78	75.88	1340
23020110	Progreso El	Herveo	Frio	1984-2020	5.07	75.20	1860
21250420	Eden El	Líbano	Frio	1988-2020	4.97	75.00	1350
21240100	Janiyof	Anzoátegui	Rioseco	1991-2020	4.63	75.10	1700
21240060	Totarito	Alvarado	Fucha	1991-2020	4.67	75.02	1250
21190490	Granja La	Melgar	Chochal	1980-2020	4.15	74.67	1200
21180130	Orisol	Valle De San Juan	Chochal	1958-2020	4.17	75.12	1500
22060130	Meseta La	San Antonio	Calima	1988-2020	3.92	75.48	1600
21250520	Planes	Lérida	Los Andes	1988-2020	4.85	75.00	1200
21165020	Luis Bustamante	Villarrica	Aguaclara	1964-2020	3.93	74.60	1610
21250490	Inciensal El	Murillo	Teusaca	1991-2020	4.88	75.13	2400
21165040	Horizonte El	Cunday	Orinoco	1997-2020	4.07	74.60	1270
22070040	Recreo El	Ortega	Embalse	1991-2020	4.05	75.32	1520
21160140	Reflejo	Cunday	Orinoco	1949-2020	4.07	74.72	1180
21255130	Trinidad La	Líbano	Qda Montecillos	1972-2020	4.92	75.07	1430
21140020	Chircal El	Alpujarra	Fraile	1975-2020	3.40	74.93	1200
22050110	Montefrio	Natagaima	Cali	1982-2020	3.48	75.27	1500
21130090	Montefrio	Natagaima	Cali	1991-2020	3.48	75.27	1500
21240090	Guadualito	Santa Isabel	Canal Cordoba	1991-2020	4.70	75.07	1620
21150020	Ocaso El	Dolores	Anchicaya	1991-2020	3.53	74.88	1000
21155020	Montana La	Dolores	Anchicaya	1954-2020	3.55	74.90	1260
22010050	Encanto El	Rioblanco	Ay Watcaru	1973-2020	3.55	75.70	1530
22020080	Andes Los	Planadas	Paila	1991-2020	3.18	75.65	1500

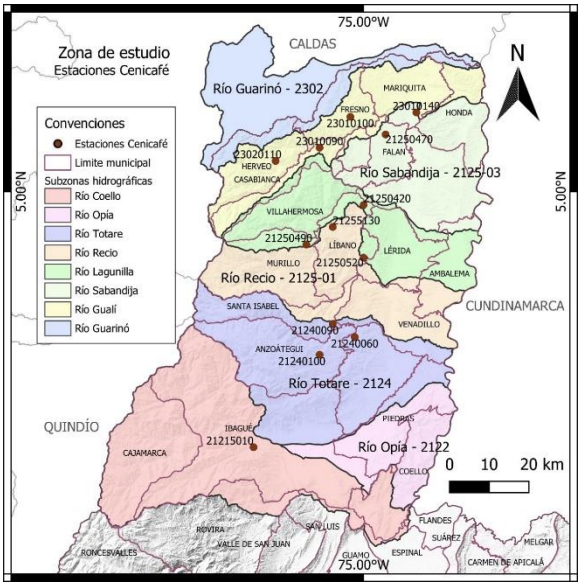


Figura 6. Red estaciones de Cenicafé en el área de estudio del ERA fase I en el departamento del Tolima. Elaboración Propia.

En este caso, se indagó sobre la disponibilidad de la información de las estaciones de CENICAFÉ y se evidenció que los datos no están disponibles en la escala temporal (diaria) definida en la ERA fase I.

3.1.2.2. Estaciones CORTOLIMA

La Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA) tiene instaladas 7 estaciones meteorológicas en el departamento del Tolima. Sin embargo, al evaluar los criterios de selección establecidos en el estudio del ERA fase I, se evidenció que ninguna cumple con dichos criterios (*Tabla 9*).

Tabla 9. Estaciones CORTOLIMA

ID	Nombre de la Estación	Tipo	Municipio, Ubicación	ZSH	Registro de Datos	N	E
M1	Cuenca Q. Guamal - Combeima	Meteorológica	Ibagué Cuenca Combeima	Coello	Jun-29-2019	4.5497	-75.3285
M2	Cuenca Q. El Botadero	Meteorológica	Villarrica - Cuenca Prado	Prado	Jul-9-2019	3.9548	-74.5931
M3	Sede territorial Norte CORTOLIMA	Meteorológica	Lérida - Zona Urbana	Lagunilla	Dic-08-2018	4.8676	-74.9123
M4	Centro de Atención Veterinaria CAV	Meteorológica	Ibagué - Sector Pastales	Coello	Dic-08-2018	4.5006	-75.2907
M5	Sede central CORTOLIMA	Meteorológica	Ibagué - Zona Urbana	Totare	Dic-08-2018	4.4331	-75.2111
M6	Sede territorial Sur oriente CORTOLIMA	Meteorológica	Purificación – Zona Urbana	Saldaña	Ene–27-2021	3.856	-74.9352
P1	Río Cócora	Pluviómetro	Ibagué - sector Laureles	Coello	Dic-08-2018	4.3643	-75.3685

3.1.2.3. Estaciones Electraguas

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (anteriormente Instituto Colombiano De Energía Eléctrica (ELECTRAGUAS)), tiene 8 estaciones en el departamento del Tolima, no obstante, desde la década de los años 60 se encuentran suspendidas.

3.1.2.4. Estaciones INCORA

El Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA), contaba con 6 estaciones en el departamento del Tolima, sin embargo, todas se encuentran suspendidas desde 1972.

3.1.2.5. Estaciones CHEC

La Central Hidroeléctrica De Caldas S.A. (CHEC), reporta 1 estación en la zona limítrofe al departamento del Tolima, esta se encuentra suspendida desde 1968.

3.1.2.6. Estaciones CORPOCALDAS

Una vez consultado con la Corporación Autónoma Regional De Caldas (CORPOCALDAS), se identificó que en la subzona hidrográfica del río Guarinó la entidad tiene instaladas 7 estaciones, sin embargo, ninguna cumple con los criterios de selección ya que fueron instaladas después del 2012.

3.1.2.7. Estaciones FEDEARROZ

La Federación Nacional de Arroceros tiene 8 estaciones ubicadas en la zona de estudio, estas se encuentran instaladas desde el 2012, por tal motivo no cumplen con los criterios de selección establecidos para el estudio ERA Fase I.

3.1.3. Información Satelital y de Radar

El departamento del Tolima no cuenta con instrumentos de radar meteorológico, sin embargo, la cobertura del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá SIATA, cubre parte del norte del Tolima. Por lo tanto, se indagó sobre la disponibilidad obtener información y se encontró que el SIATA no guarda registros de lluvia en dicha zona.

Así mismo, la aeronáutica civil tiene el radar Tablazo, el cual cubre la zona de estudio, sin embargo, los registros han sido tomados a partir del 2015 (Vega Navarro & Jimenez Jaimes, 2018), por lo tanto, no cumple con los criterios de selección de la información establecidos para el estudio del ERA fase I.

Por otra parte, se realizó la búsqueda de información de precipitación y temperatura obtenida mediante teledetección satelital por parte de las siguientes instituciones: National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, Agencia Aeroespacial de los

Estados Unidos -NASA-, El Departamento de Defensa de los Estados Unidos, las agencias aeroespaciales de: Europa -ESA-, Japón -JAXA-, India -ISRO-, Francia CNES, Brasil AEB, con el propósito de recopilar información de precipitación y temperatura en la zona de influencia del ERA fase I. En este sentido, se identificaron 33 satélites que reportan precipitación y cuatro, disponen de información de temperatura (*Tabla 10*). Así mismo, se analizó la información reportada por cada misión de satélite, de manera que los criterios definidos para introducir información satelital en la ERA fase I fueron los siguientes:

1. Periodo de registro mayor de 20 años
2. Resolución espacial menor igual a 10 x 10 Km
3. Resolución temporal diaria en información de precipitación y temperatura
4. Sensibilidad en la detección de la lluvia menor de 0.2 mm
5. Sensibilidad en la detección de la temperatura menor de 0.1 ˚C
6. Acceso abierto a la información.

Tabla 10. Misiones de satélite que realizan mediciones de precipitación

Fuente de la información	Administración Información	Tipo Información	Resolución espacial disponible	Resolución temporal disponible	Periodo de observación	Sensibilidad detección lluvia	Acceso a la información
GPM (Global Precipitation Measurement)	NASA JAXA	Nivel 2:GPM DPR and GMI Combined Precipitation L2B GPM PR and TMI on TRMM Combined Precipitation L2B Nivel 3:GPM IMERG Precipitation L3	Nivel 2: 5 km x 5 km Nivel 3: 11.3km x 11.3km	Nivel 2: 90 min Nivel 3: 30 min Diaria Mensual	Nivel 2: 2014 - Presente 1997 - 2015 Nivel 3: 2000 - 2020	Nivel 2: 0.2 mm/h Nivel 3: 0.2 mm/h	Disponible
TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)	NASA JAXA	*Precipitation Radar (PR) *TRMM Microwave Imager (TMI) *Visible and Infrared Scanner (VIRS) *Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) *Lightening Imaging Sensor (LIS)	Nivel 2: 5 km x 5 km Nivel 3: 27.75km x 27.75km	Nivel 2: *90 min *90 min Nivel 3: *180 min *Diaria	1997 - 2015	Nivel 2: 0.7 mm/h Nivel 3: 0.7 mm/h	Disponible
GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites)	NASA NOAA	*Advanced Baseline Imager (ABI) *Extreme Ultraviolet and X-ray Irradiance Sensors (EXIS) *Solar Ultraviolet Imager (SUVI) *Magnetometer (MAG) *Space Environment In-Situ Suite (SEISS)	2 km x 2 km	Full disk 15 min	1994-presente	1 mm/h	Disponible parcialmente
Nimbus 1	NASA	*Advanced Vidicon Camera System (AVCS) *Automatic Picture Transmission (APT) *High-Resolution Infrared Radiometer (HRIR)	8 km x 8 km	5 min	1964-1974	N/A	No disponible
Nimbus 2	NASA	*Advanced Vidicon Camera System (AVCS) *Automatic Picture Transmission (APT) *High and Medium Resolution Infrared Radiometers (HRIR/MRIR)	8 km x 8 km	5 min	1966-1969	N/A	No disponible
Nimbus 3	NASA	*Satellite infrared spectrometer (SIRS) *Infrared interferometer spectrometer (IRIS) *High- and medium-resolution infrared radiometers (HRIR/MRIR) *Monitor of ultraviolet solar energy (MUSE) *Image dissector camera system (IDCS) *Radioisotope thermoelectric generator (RTG), SNAP-19 *Interrogation, recording and location system (IRLS)	8 km x 8 km	5 min	1969-1972	N/A	No disponible

Fuente de la información	Administración Información	Tipo Información	Resolución espacial disponible	Resolución temporal disponible	Periodo de observación	Sensibilidad detección lluvia	Acceso a la información
Nimbus 4	NASA	*Image Dissector Camera System (IDCS) *Temperature-Humidity Infrared Radiometer (THIR) *Infrared Interferometer Spectrometer (IRIS) *Satellite Infrared Spectrometer (SIRS) *Monitor of Ultraviolet Solar Energy (MUSE) *Backscatter Ultraviolet (BUV) *Filter Wedge Spectrometer (FWS) *Selective Chopper Radiometer (SCR) *Interrogation, Recording, and Location System (IRLS)	8 km x 8 km	5 min	1970-1980	N/A	No disponible
Nimbus 5	NASA	*Infrared Temperature Profile Radiometer (ITPR= *Selective Chopper Radiometer (SCR) *Nimbus E Microwave Spectrometer (NEMS) *Electrically Scanning Microwave Radiometer (ESMR) *Surface Composition Mapping Radiometer (SCMR) *Temperature/Humidity Infrared Radiometer (THIR)	8 km x 8 km	Diaria	1972-1977	N/A	No disponible
Nimbus 6	NASA	*Earth Radiation Budget (ERB) *Electrically Scanning Microwave Radiometer (ESMR) *High-Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS) *Limb Radiance Inversion Radiometer (LRIR) *Pressure Modulated Radiometer (PMR) *Scanning Microwave Spectrometer (SCAMS) *Temperature-Humidity Infrared Radiometer (THIR) *Tropical Wind Energy Conversion and Reference Level Experiment (TWERLE)	8 km x 8 km	Diaria	1975-1983	N/A	No disponible
Nimbus 7	NASA	*Coastal-Zone Color Scanner (CZCS) *Earth Radiation Budget (ERB) *Limb Infrared Monitoring of the Stratosphere (LIMS) *Stratospheric Aerosol Measurement II (SAM II) *Stratospheric and Mesopheric Sounder (SAMS) *Solar Backscatter UV and Total Ozone Mapping Spectrometer (SBUV/TOMS) *Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) *Temperature-Humidity Infrared Radiometer (THIR)	8 km x 8 km	Diaria	1978-1994	N/A	No disponible
Seasat	NASA	*Radar Altimeter (ALT) *Laser Retro-Reflector (LRR) *Synthetic Aperture Radar (SAR) *SeaSat-A Scatterometer System (SASS) *Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) *Visible and Infra Red Radiometer (VIRR)	13km x 15km	N/D	1978-1978	N/A	No disponible

Fuente de la información	Administración Información	Tipo Información	Resolución espacial disponible	Resolución temporal disponible	Periodo de observación	Sensibilidad detección lluvia	Acceso a la información
DMSP F08	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2)	25km x 25km	Diaria	1987-2006	5 mm/h	No disponible
DMSP F09	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2)	25km x 25km	Diaria	1988-1994	5 mm/h	No disponible
DMSP F10	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2)	25km x 25km	Diaria	1990-1997	5 mm/h	No disponible
DMSP F11	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2)	25km x 25km	Diaria	1991-2000	5 mm/h	No disponible
DMSP F12	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer (SEM/SSM)	25km x 25km	Diaria	1994-2008	5 mm/h	No disponible

Fuente de la información	Administración Información	Tipo Información	Resolución espacial disponible	Resolución temporal disponible	Periodo de observación	Sensibilidad detección lluvia	Acceso a la información
DMSP F13	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer (SEM/SSM)	25km x 25km	Diaria	1995-2015	5 mm/h	No disponible
DMSP F14	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer (SEM/SSM)	25km x 25km	Diaria	1997-2017	5 mm/h	No disponible
DMSP F15	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer - Boom (SEM/SSM - Boom)	25km x 25km	Diaria	1999-2021	5 mm/h	No disponible
Coriolis	NASA Department of Defense	*WindSat *Solar Mass Ejection Imager (SMEI)	25km x 25km	*101 min	2003-2021	N/A	Disponible
Aqua (EOS PM-1)	NASA	*Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) *Clouds and the Earths Radiant Energy System (CERES) *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) *Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) *Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) *Humidity Sounder from Brazil (HSB)	10km x 10km	*50min	2012-2021	5 mm/h	Disponible
GCOM-W (Global Change Observation Mission)	JAXA	*Advanced Microwave Scanning Radiometer - 2 (AMSR2)	15km x 15km	Diaria	2012-2021	1 mm/h	Disponible

Fuente de la información	Administración Información	Tipo Información	Resolución espacial disponible	Resolución temporal disponible	Periodo de observación	Sensibilidad detección lluvia	Acceso a la información
Megha-Tropiques	ISRO CNES	*Microwave Analysis & Detection of Rain & Atmospheric Structures (MADRAS) *Radio Occultation Sounder of the Atmosphere (ROSA) *Sondeur Atmospherique du Profil d'Humidite Intertropicale par Radiometrie (SAPHIR) *Scanner for Radiation Budget (ScaRaB)	10km x 16km	Diaria	2011-2013	5 mm/h	Disponible
NOAA 18	NOAA	*Advanced Microwave Sounding Unit - A (AMSU-A) *Advanced Very High Resolution Radiometer / 3 (AVHRR/3) *High-resolution Infra Red Sounder / 4 (HIRS/4) *Microwave Humidity Sounding (MHS) *Search & Rescue Satellite-Aided Tracking System (S&RSAT) *Solar Backscatter Ultraviolet / 2 (SBUV/2) *Data Collection System / 2 (also called "Argos-2") (DCS/2) *SEM / Medium energy proton detector (SEM/MEPED) *SEM / Total Energy Detector (SEM/TED)	10km x 10km	*102 min	2005-2021	N/A	No disponible
NOAA 19	NOAA	*Advanced Data Collection System (also called "Argos-3") (A-DCS) *Advanced Microwave Sounding Unit - A (AMSU-A) *Advanced Very High Resolution Radiometer / 3 (AVHRR/3) *High-resolution Infra Red Sounder / 4 (HIRS/4) *Microwave Humidity Sounding (MHS) *Search & Rescue Satellite-Aided Tracking System (S&RSAT) *Solar Backscatter Ultraviolet / 2 (SBUV/2) *SEM / Medium energy proton detector (SEM/MEPED) *SEM / Total Energy Detector (SEM/TED)	10km x 10km	*102 min	2009-2021	N/A	No disponible
NOAA 20	NOAA	*Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) *Cross-track Infrared Sounder (CrlS) *Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS-nadir) *Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) *Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)	10km x 10km	*101 min	2017-2021	N/A	No disponible
MetOp (Meteorological Operational Satellite Program of Europe)	EUMETSAT	*Advanced Data Collection System (also called "Argos-3") (A-DCS) *Advanced Microwave Sounding Unit - A (AMSU-A) *Advanced Scatterometer (ASCAT) *Advanced Very High Resolution Radiometer / 3 (AVHRR/3) *Global Ozone Monitoring Experiment - 2 (GOME-2) *GNSS Receiver for Atmospheric Sounding (GRAS) *High-resolution Infra Red Sounder / 4 (HIRS/4) *Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI) *Microwave Humidity Sounding (MHS) *Search & Rescue Satellite-Aided Tracking System (S&RSAT) *SEM / Medium energy proton detector (SEM/MEPED) *SEM / Total Energy Detector (SEM/TED)	25km x 25km	*101 min	2012-2021	N/A	No disponible
Suomi NPP	NASA NOAA Department of Defense	*Advanced Technology Microwave Sounder (ATMS) *Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) *Cross-track Infrared Sounder (CrlS) *Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS-limb) *Ozone Mapping and Profiler Suite (OMPS-nadir)	750m x 750m	*101 min	2011-2021	N/A	No disponible

Fuente de la información	Administración Información	Tipo Información	Resolución espacial disponible	Resolución temporal disponible	Periodo de observación	Sensibilidad detección lluvia	Acceso a la información
		*Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS)					
DMSP F19	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer - Boom (SEM/SSM - Boom)	25km x 12.5km	Diaria	2014-2016	5 mm/h	No disponible
DMSP F16	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer - Boom (SEM/SSM - Boom)	25km x 12.5km	Diaria	2003-2019	5 mm/h	No disponible
DMSP F17	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer - Boom (SEM/SSM - Boom)	25km x 12.5km	Diaria	2006-2021	5 mm/h	No disponible
DMSP F18	Department of Defense-Department of the Air Force (United States)	*Operational Linescan Systerm (OLS) *SEM / Special Sensor Gamma/X-ray Detector (SEM/SSB/X-2) *Special Sensor Microwave - Imager (SSM/I) *Special Sensor Microwave - Temperature (SSM/T) *Special Sensor Microwave - Humidity (SSM/T 2) *SEM / Special Sensor Precipitating Electron and Ion Spectrometer - 4 (SEM/SSJ4) *SEM / Special Sensor Ionospheric Plasma Drift/Scintillation Monitor - 2 (SEM/SSI/ES-2) *SESS / Special Sensor Magnetometer - Boom (SEM/SSM - Boom)	25km x 12.5km	Diaria	2009-2021	5 mm/h	No disponible
Meteosat	EUMETSAT ESA	*Data Collection Service (DCS) *Geostationary Search and Rescue (GEOS&R) *Geostationary Earth Radiation Budget (GERB) *Spinning Enhanced Visible Infra-Red Imager (SEVIRI)	30km x 30km	6 horas	2005-2021	5 mm/h	No disponible

Igualmente, fueron considerados los criterios de selección de información meteorológica y climatológica definidos en el numeral 3 *Figura 4*, de manera que se indagó sobre la resolución temporal de la información proveniente de cada una de las misiones de satélite consultadas (*Tabla 11*) y de la misma manera, respecto de la resolución espacial (*Tabla 12*). Por lo tanto, la misión que satisface los criterios de selección definidos para la información de precipitación para la ERA fase I, corresponde a misión Global Precipitation Measurement -GPM- que es conformada por una constelación de nueve satélites (Aeronautics et al., 2014).

Tabla 11. Información lluvia satelital según resolución temporal disponible

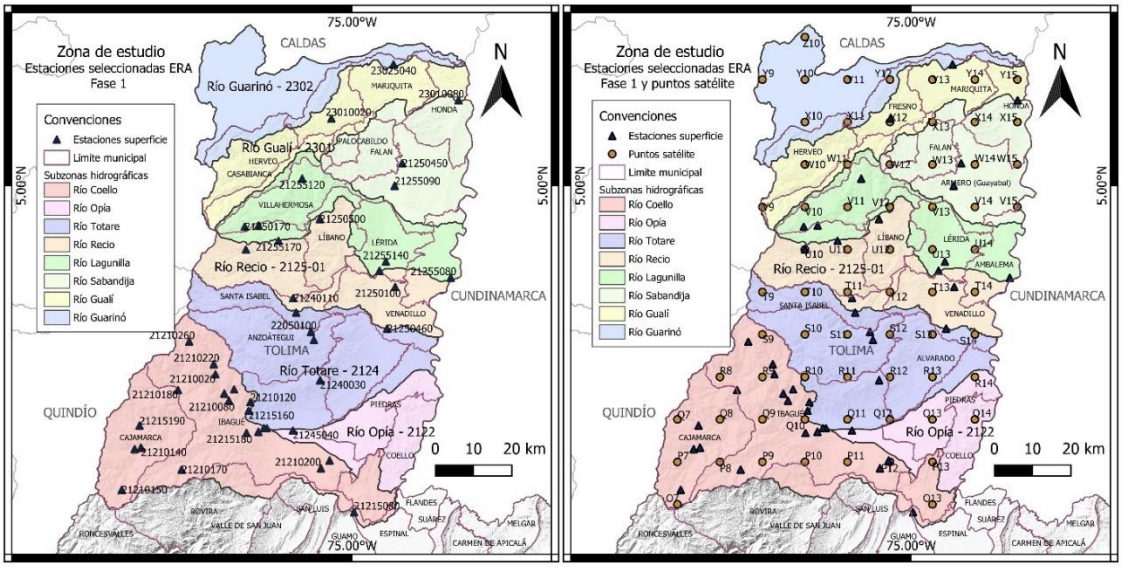
Satélite	Resolución Temporal																																								
	1964	1966	1969	1970	1972	1974	1975	1977	1978	1980	1983	1987	1988	1990	1991	1992	1994	1995	1997	1998	1999	2000	2002	2003	2005	2006	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019	Actual
GPM Nivel 2																			90 min																			
GPM Nivel 3																						30 min - Diaria - Mensual															
TRMM Nivel 2																			90 min																			
TRMM Nivel 3																			180 min - Diaria																			
GOES																	15 min																					
Nimbus 1	5 min																																				
Nimbus 2		5 min																																			
Nimbus 3			5 min																																		
Nimbus 4				5 min																																	
Nimbus 5					Diaria																																
Nimbus 6							Diaria																														
Nimbus 7									Diaria																												
Seasat									N/D																												
DMSP F08												Diaria																									
DMSP F09												Diaria																									
DMSP F10														Diaria																							
DMSP F11															Diaria																						
DMSP F12																	Diaria																				
DMSP F13																		Diaria																			
DMSP F14																			Diaria																		
DMSP F15																					Diaria																
Coriolis																						101 min															
Aqua (EOS PM-1)																														50 min							
GCOM-W																														Diaria							
Megha-Tropiques																													Diaria								
NOAA 18																									102 min												
NOAA 19																												102 min									
NOAA 20																																				101 min	
MetOp																														101 min							
Suomi NPP																													Diaria								
DMSP F19																															Diaria						
DMSP F16																									Diaria												
DMSP F17																										Diaria											
DMSP F18																												Diaria									
Meteosat																									6 horas												

Tabla 12. Información lluvia satelital según resolución espacial disponible

Satélite	Resolución Espacial (km x km)																																				
	1964	1966	1969	1970	1972	1974	1975	1977	1978	1980	1983	1987	1988	1990	1991	1992	1994	1995	1997	1998	1999	2000	2002	2003	2005	2006	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2019	Actual
GPM Nivel 2																			5 x 5																		
GPM Nivel 3																						11.3 x 11.3															
TRMM Nivel 2																			5 x 5																		
TRMM Nivel 3																			27.75 x 27.75																		
GOES																	2 x 2																				
Nimbus 1	8 x 8																																				
Nimbus 2		8 x 8																																			
Nimbus 3			8 x 8																																		
Nimbus 4				8 x 8																																	
Nimbus 5					8 x 8																																
Nimbus 6							8 x 8																														
Nimbus 7									8 x 8																												
Seasat									13 x 15																												
DMSP F08												25 x 25																									
DMSP F09												25 x 25																									
DMSP F10														25 x 25																							
DMSP F11															25 x 25																						
DMSP F12																	25 x 25																				
DMSP F13																		25 x 25																			
DMSP F14																			25 x 25																		
DMSP F15																					25 x 25																
Coriolis																								25 x 25													
Aqua (EOS PM-1)																														10 x 10							
GCOM-W																														15 x 15							
Megha-Tropiques																													10 x 16								
NOAA 18																									10 x 10												
NOAA 19																											10 x 10										
NOAA 20																																				10 x 10	
MetOp																														25 x 25							
Suomi NPP																													0.75 x 0.75								
DMSP F19																																25 x 12.5					
DMSP F16																								25 x 12.5													
DMSP F17																										25 x 12.5											
DMSP F18																											25 x 12.5										
Meteosat																									30 x 30												

Por otra parte, la información del GPM es considerada apropiada para el uso en gestión del riesgo e investigación (Tan & Santo, 2018), dado que las recuperaciones integradas de información proveniente de la constelación de satélites GPM han mejorado su calidad significativamente respecto de la reportada por múltiples satélites de tipo TMPA de la misión TRMM en términos de resolución espacio-temporal (Liu et al., 2017). Así mismo, el acceso a la información no presenta restricciones y, por lo tanto, es posible adquirir series de precipitación de forma sencilla y de forma inmediata.

Con base en lo anteriormente expuesto, se generó una grilla de información satelital con la cual se complementa la información en superficie, tal como se describe en la *Figura 7*. Las series de precipitación provenientes del GPM, se encuentran disponibles en el Anexo B.



(a) *(b)*

Figura 7. Red climatológica a) estaciones IDEAM seleccionada ERAS -Fase I-; b) Información estaciones IDEAM seleccionada ERAS -Fase I y satélite GPM_3IMERGDF_06. Elaboración Propia.

Con el uso de la información meteorológica seleccionada se desarrollaron modelos de interpolación espacial de la lluvia y las temperaturas diarias mínima, media y máxima para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 1990 y el 31 de diciembre de 2021. Lo anterior con el propósito de completar la información meteorológica faltante espacial y temporal, con fin de ser usada en la modelación hidrológica. Para ello se realizó una implementación de modelos de aprendizaje de máquinas empleando como variables auxiliares candidatas la información meteorológica de las estaciones en terreno, la información satelital generada por GPM, y atributos del terreno como: elevación, curvatura del terreno, y pendiente. Para este caso de estudio se establecieron modelos generados a partir de ensamblajes de árboles de regresión aleatorizados (XGBoost) para la lluvia, el cual consiste en un ensamblado secuencial de árboles de decisión, los cuales se agregan secuencialmente con el fin de aprender del ajuste de los árboles previos y reducir el error producido por los mismos, para la temperatura diaria se utilizaron modelos de regresión lineal ajustados diariamente. El código en Python desarrollado y los campos espaciales diarios de lluvia y temperatura se presentan en el Anexo: “Campos Espaciales de Lluvia y Temperatura”.

Con los modelos de interpolación implementados se obtuvieron eficiencias satisfactorias en entrenamiento y en validación, logrando coeficientes de Pearson en entrenamiento superiores a 0.9 y en validación superiores a 0.8 para el caso de la lluvia. Para el caso de la temperatura diaria se encontró que el método de interpolación más adecuado es la regresión lineal y mejora notablemente la predicción en condiciones de extrapolación debido a su fuerte asociación con la elevación, dada la escasa información

disponible en número de estaciones con registros de temperatura (37 estaciones), el método XGBoost no logra captar el patrón espacial de esta variable.

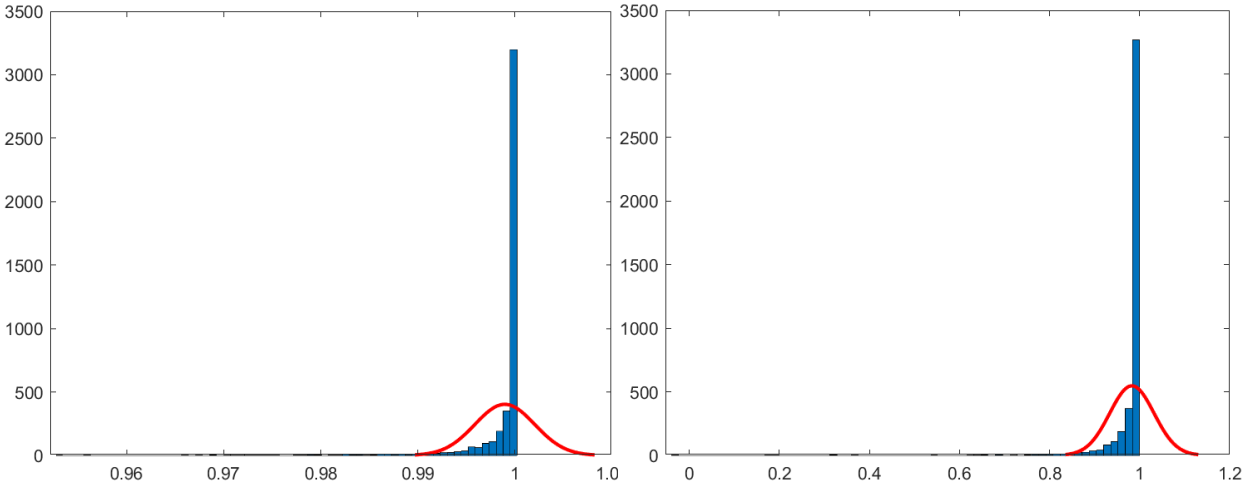


Figura 8. Histograma de frecuencias del coeficiente de Pearson para el entrenamiento (izquierda) y validación (derecha) de los modelos XGBOOST de lluvia diaria (periodo 2000-2021)

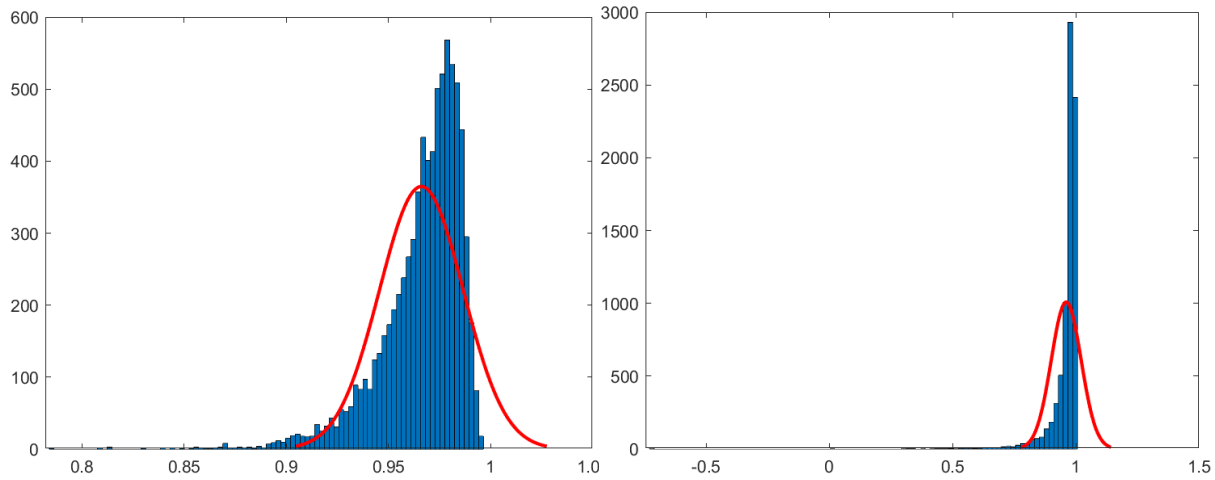


Figura 9. Histograma de frecuencias del coeficiente de Pearson para el entrenamiento (izquierda) y validación (derecha) de los modelos Lineales de temperatura media (periodo 2000-2021)

3.2. Información Hidrométrica Histórica

Se reportan 43 estaciones hidrométricas operadas por IDEAM y ubicadas sobre el área de estudio, 22 de ellas se encuentran localizadas sobre la subzona del río Coello, 8 sobre la subzona del río Gualí, 4 sobre la subzona del río Recio, 3 sobre la subzona del río Lagunilla, 2 sobre la subzona del río Sabandija, 2 sobre la Subzona del río Totare y 1 sobre las subzonas del río Opia y Guarinó, evidenciándose una escasa instrumentación en la medición de caudal sobre la mayoría de las subzonas a estudiar.

Con relación a estaciones hidrométricas pertenecientes a otras entidades se identifican 24 estaciones distribuidas de la siguiente manera: 9 sobre la subzona del río Coello, 6 sobre la subzona del río Recio, 4 sobre la subzona del río Guarinó, 3 sobre la subzona del río Totare, 1 sobre las subzonas de los ríos Lagunilla y Gualí. En cuanto a su administración por entidad se reportan 11 del Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (Electraguas), 6 de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), 5 de la Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. (CHEC) y 2 del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA). En la Figura 10 se observa su distribución espacial y disponibilidad sobre las subzonas hidrográficas objeto de evaluación. Así mismo, en la *Tabla 13* se presenta una breve descripción del listado de estaciones.

Figura 10. Distribución Espacial de las Estación Hidrométricas sobre la Subzonas Hidrográficas para la ERA - Fase 1.

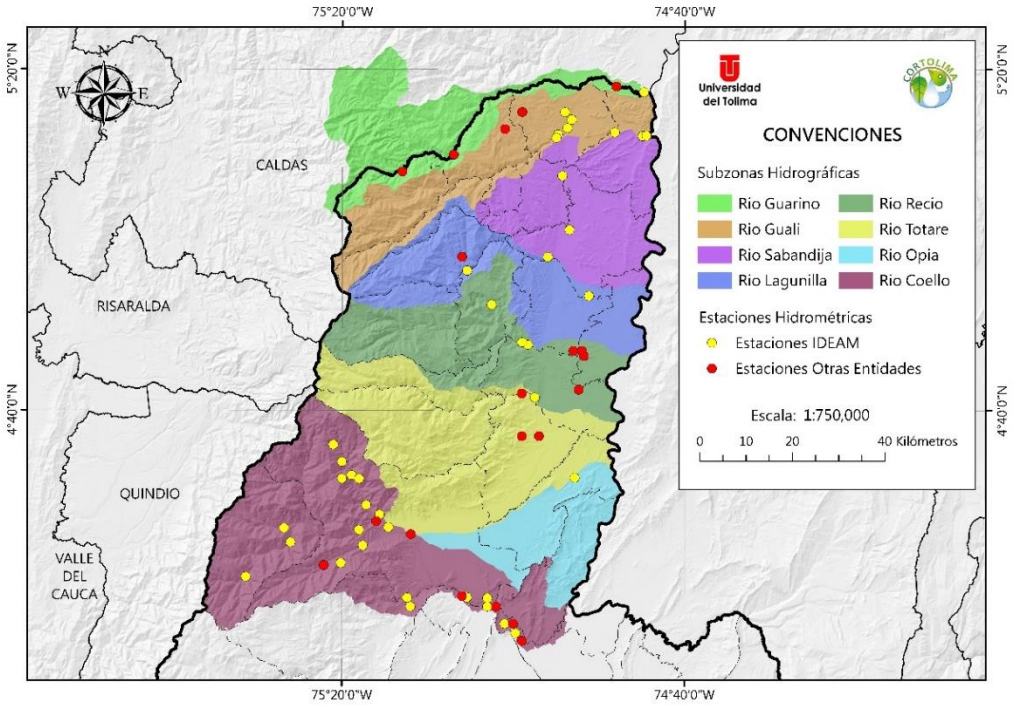


Tabla 13. Estaciones hidrométricas disponibles sobre las Subzonas ERA – F1

Entidad	Código Estación	Nombre Estación	Municipio	Subzona Hidrográfica	Latitud	Longitud
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)	21217180	Montezuma	Ibagué	Rio Coello	4.48206	-75.28606
	21217250	Bocatoma	Ibagué	Rio Coello	4.46314	-75.26017
	21217220	San Vicente Del Combeima	Ibagué	Rio Coello	4.54014	-75.31453
	21217300	Cocora	Ibagué	Rio Coello	4.36842	-75.33542
	22077080	Puente Cucuana	Ortega	Rio Coello	4.28333	-75.20000
	21217170	Vertedero	San Luis	Rio Coello	4.28333	-75.05000
	21217110	Cabuyo 1 El	San Luis	Rio Coello	4.28333	-75.03333
	21217120	Puente Carretera	Ibagué	Rio Coello	4.40286	-75.29253
	21217270	Chuzo El	Cajamarca	Rio Coello	4.40922	-75.43336
	21217160	Cabuyo 2 El	San Luis	Rio Coello	4.30000	-75.05000
	21217200	Carmen El	Rovira	Rio Coello	4.30061	-75.20656
	21217070	Payande	San Luis	Rio Coello	4.30139	-75.09014
	21217140	Puente Luisa	Cajamarca	Rio Coello	4.34136	-75.52008
	21217190	Juntas	Ibagué	Rio Coello	4.60000	-75.35000
	21217280	Puente La Bolívar	Cajamarca	Rio Coello	4.43655	-75.44594
	21217290	Guayabal	Ibagué	Rio Coello	4.43333	-75.30000
	21217260	Yuldaima	Ibagué	Rio Coello	4.43850	-75.24281
	21217210	California	Ibagué	Rio Coello	4.56667	-75.33333
	21217130	Tres Esquinas	Ibagué	Rio Coello	4.53333	-75.33333
	21217230	Bocatoma	Ibagué	Rio Coello	4.53333	-75.30000
	21217010	Chicoral	Espinal	Rio Coello	4.23153	-74.99536
	21217080	Canal Gualanday	Espinal	Rio Coello	4.25000	-75.01667
	23017040	Esperanza La	Mariquita	Rio Gualí	5.20617	-74.91372
	23017050	Mariquita	Mariquita	Rio Gualí	5.20000	-74.91667
	23017020	Bocatoma	Honda	Rio Gualí	5.21028	-74.80276
	23017060	Puente Carretera	Mariquita	Rio Gualí	5.21902	-74.89486
	23017080	Cataratas 2	Mariquita	Rio Gualí	5.23529	-74.88675
	23017090	Puente Variante	Honda	Rio Gualí	5.20292	-74.74917
	23017070	Cataratas	Mariquita	Rio Gualí	5.25000	-74.90000
	23017030	Puente López	Honda	Rio Gualí	5.20389	-74.74111
	21257120	Puente Negro - Aut	Villahermosa	Rio Lagunilla	4.94019	-75.08981
	21257090	La Esmeralda - Aut	Lérida	Rio Lagunilla	4.89078	-74.85314
	21257080	Quinta Cobra	Armero	Rio Lagunilla	4.96667	-74.93333
	21227010	Piedras - Aut	Piedras	Rio Opia	4.53523	-74.88053

Entidad	Código Estación	Nombre Estación	Municipio	Subzona Hidrográfica	Latitud	Longitud
	21257030	Canal Principal	Ambalema	Rio Recio	4.78333	-74.88333
	21257100	La Nueva - Aut	Venadillo	Rio Recio	4.79508	-74.97194
	21257020	Bocatoma	Lérida	Rio Recio	4.80000	-74.98333
	2125700094	Recio 1 - Aut	Líbano	Rio Recio	4.87383	-75.04258
	21257070	Puente San Francisco - Aut	Armero	Rio Sabandija	5.01992	-74.89089
	21257110	Lumbi	Armero	Rio Sabandija	5.12569	-74.90492
	21247050	Bocatoma	Venadillo	Rio Totare	4.69206	-74.95814
	21247040	Bocatoma	Venadillo	Rio Totare	4.69206	-74.95814
	23027060	Puente Carretera	Honda	Río Guarinó	5.28928	-74.74608
Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA)	2121700193	Coello Payande	San Luis	Rio Coello	4.30379	-75.09966
	2121700194	Combeima Mirolindo	Ibagué	Rio Coello	4.42474	-75.19940
	2125700195	Venadillo Pajonales	Venadillo	Rio Recio	4.70764	-74.87290
	2121700196	Cocora Laureles	Ibagué	Rio Coello	4.36426	-75.36851
	H5	Canal Mondongo - Hda. Pajonales	Venadillo	Río Recio	4.70760	-74.87290
	H8	Río Recio	Venadillo - Ambalema	Río Recio	4.77330	-74.86300
Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (Electraguas)	21217020	Pte Carretera	Ibagué	Rio Coello	4.45000	-75.26667
	21217040	Caída IV	Espinal	Rio Coello	4.21667	-74.98333
	21217050	Caída 2a Canal	Espinal	Rio Coello	4.21667	-74.98333
	21217060	Caída 2b Aguas Aba	Espinal	Rio Coello	4.21667	-74.98333
	21257010	Bosque El	Villahermosa	Rio Lagunilla	4.96667	-75.10000
	21257050	Canal Lérida	Ambalema	Rio Recio	4.78333	-74.88333
	21257060	Canal Ambalema	Ambalema	Rio Recio	4.78333	-74.86667
	21257040	Canal Princ Lasier	Ambalema	Rio Recio	4.78333	-74.88333
	21247010	Quinta La	Alvarado	Rio Totare	4.61667	-74.98333
	21247020	Pte Carretera	Alvarado	Rio Totare	4.61667	-74.95000
	21247030	Troncoso	Venadillo	Rio Totare	4.70000	-74.98333
Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA)	21217100	Chicoral	Espinal	Rio Coello	4.25000	-75.00000
	21217030	Garrucha	Espinal	Rio Coello	4.28333	-75.03333
Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. (CHEC)	23017010	Cabana La	Mariquita	Rio Gualí	5.25000	-74.98333
	2302705	Las Playas4-922	Manzanares	Río Guarinó	5.16667	-75.11667
	2302707	Pte. Carretera4157	Victoria	Río Guarinó	5.30000	-74.80000
	2302701	Campo Alegre	Manzanares	Río Guarinó	5.21667	-75.01667
	2302704	La Laguna	Marulanda	Río Guarinó	5.13333	-75.21667

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA) y POMCA del Río Guarinó

3.2.1. Selección de estaciones para la calibración y validación

Consolidada la base de datos hidroclimatológica, se realizó una depuración y análisis de consistencia de la información, con el fin de establecer e identificar errores sistemáticos que provoquen inconsistencia en los datos y así cumplir con los criterios mínimos de control. En dicho proceso se realizaron curvas de masa acumulada caudal – precipitación, análisis de tendencia y priorización de estaciones con menos de un 20% de información mensual faltante, próximas al punto de cierre de cada subzona hidrográfica y mayor longitud de registros en el tiempo, lo cual es necesario para la selección de periodos idóneos de calibración y validación de los modelos hidrológicos. Las estaciones que cumplen con estos criterios de selección y utilizadas para calibrar y validar los modelos se presentan a continuación:

Tabla 14. Estaciones hidrométricas seleccionadas para la calibración y validación de los modelos hidrológicos en las Subzonas Hidrográficas ERA – F1

Código Estación	Nombre Estación	Municipio	Subzona Hidrográfica	Latitud	Longitud
21217070	Payande	San Luis	Rio Coello	4.30139	-75.09014
21227010	Piedras - Aut	Piedras	Rio Opia	4.53523	-74.88053
21247050	Bocatoma	Venadillo	Rio Totare	4.69206	-74.95814
21257100	La Nueva - Aut	Venadillo	Rio Recio	4.79508	-74.97194
21257120	Puente Negro - Aut	Villahermosa	Rio Lagunilla	4.94019	-75.08981
21257070	Puente San Francisco - Aut	Armero	Rio Sabandija	5.01992	-74.89089
23017030	Puente López	Honda	Rio Gualí	5.20389	-74.74111
23027060	Puente Carretera	Honda	Río Guarinó	5.28928	-74.74608

Con el fin de sintetizar la información de las estaciones hidrométricas evaluadas se calcularon los percentiles diarios de caudales y las tendencias históricas de las series mediante la aplicación de la prueba Mann-Kendall (Anexo 2).

El análisis de tendencias de las series temporales hidroclimatológicas es una herramienta importante para la detección de cambios en la distribución de los datos producto de procesos naturales o antropogénicos, causando la no estacionalidad de las series (Castro & Carvajal, 2011). Para ello, se disponen de pruebas paramétricas y no paramétricas, siendo las primeras más estrictas al cumplir con los supuestos de linealidad, independencia y normalidad haciendo más limitado su uso, a diferencia de las pruebas no paramétricas siendo más flexibles al disponer de pocos supuestos en la estructura de los datos y por ende más apropiadas para ser aplicadas en series hidrológicas (Cantor, 2011).

Las series temporales hidrológicas a menudo suelen estar sesgadas y con presencia de valores atípicos en su registro histórico, por lo que las pruebas no paramétricas se convierten en una alternativa viable para su evaluación (Hamed, 2008). Una de las

pruebas más recomendadas en el análisis de tendencias significativas de las series de tiempo en el campo de la hidrología es el test de Mann Kendall, basada en la correlación entre los rangos de una serie y su orden temporal (Hamed, 2009), no viéndose afectada de forma sensible a los valores atípicos (Hamed, 2008).

El test de Mann Kendall esta dado por las siguientes expresiones:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} a_{ij}$$

$$a_{ij} = sign(X_j - X_i) = sign(R_j - R_i) = \begin{cases} 1 & X_i < X_j \\ 0 & X_i = X_j \\ -1 & X_i > X_j \end{cases}$$

Bajo el supuesto de que los datos son independientes e idénticamente distribuidos, la media y la varianza del estadístico S están dadas por:

$$E(S) = 0$$

$$V_0(S) = n(n-1)(2n+5)/18$$

Donde n es el número de observaciones. A medida que la muestra aumenta, la distribución de S tiende a la normalidad (Hamed, 2008). Con esto, la comparación de tendencia con respecto a la variación normal estándar es expresada como:

$$u = \begin{cases} (S-1)/\sqrt{V_0(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ (S+1)/\sqrt{V_0(S)} & S < 0 \end{cases}$$

Para un nivel de significancia dado, para este estudio $\propto = 0.05$, se tiene un valor de z = 1.96, por lo que:

Tabla 1. Descripción de la significancia del test Mann Kendall.

Valor de u	Descripción
0	Sin tendencia
> 1.96	Tendencia significativa creciente
< -1.96	Tendencia significativa decreciente
< 1.96	Tendencia no significativa creciente
> -1.96	Tendencia no significativa decreciente

Fuente: (Alencar da Silva & Silva, 2017)

3.3. Información para la Estimación de Parámetros de los Modelos

La estimación de los parámetros que controlan los umbrales de flujo y almacenamiento en el modelo hidrológico distribuido TETIS, es realizada a partir de la revisión exhaustiva de metodologías enfocadas en la determinación de valores modales de referencia a partir de información secundaria disponible como se presenta a continuación:

3.3.1. Coberturas y Usos de la Tierra

Para la espacialización y análisis de la cubierta vegetal, se consideró información proveniente de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA) dispuesta en su mapa de cobertura y uso de la tierra a escala 1:25.000 generada por CORTOLIMA y Universidad del Tolima proyecto "Análisis de los cambios de cobertura y uso de la tierra para el departamento del Tolima Fase 1 (2020)" convenio 526 - 2018. Así mismo, se utilizó la información cartográfica base resultante del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guarinó (POMCA) a escala 1:25.000, esto con el fin de abordar en su totalidad la distribución espacial de las coberturas y usos de la tierra para esta subzona hidrográfica debido a su condición de unidad hidrográfica en jurisdicción compartida.

En el proceso de modelación hidrológica, la distribución y el estado de la cobertura y uso de la tierra repercuten de forma directa en el comportamiento y dinámica del ciclo hidrológico, involucrando parámetros tales como: la capacidad de intercepción de la lluvia, el almacenamiento superficial y las necesidades vegetativas del cultivo y/o cobertura en términos hídricos.

3.3.2. Mapa de Suelos y Capacidad de Uso de la Tierra

La información concerniente al tipo de suelo y capacidad de uso de la tierra es aportada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en su Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras para el departamento de Tolima y el Estudio General de Suelos para el departamento de Caldas, ambos estudios a escala 1:100.000. Los mapas de suelos y capacidad de uso de las tierras suministran información importante acerca del recurso suelo; a través de la descripción e interpretación de su génesis, características físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas, taxonomía y distribución, como base para la determinación de sus potencialidades, limitaciones de uso y determinación de parámetros hidráulicos del perfil del suelo.

3.3.3. Información Geológica

La información geológica superficial es aportada por el Servicio Geológico Colombia (SGC) a escala 1:100.000, elaborado a partir de la integración y generalización de estudios geológicos publicados por plancha cartográfica cubriendo la zona de estudio (*Tabla 15*). En ella se representan los elementos geológicos que afloran en la superficie como la distribución de las rocas, los materiales superficiales no consolidados y las estructuras que los deforman. Como complemento a la información anterior, se consideraron estudios técnicos a mayor detalle como el "Estudio Hidrogeológico y Caracterización del Acuífero en el Abanico Aluvial Municipio de Ibagué – Tolima" realizado por CORTOLIMA a escala 1:25,000, e información geológica actualizada generada en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) principalmente las de los ríos Gualí y Guarinó presentando un mayor nivel de detalle a escala 1:25.000. Esta información es usada para la estimación de parámetros hidráulicos del estrato rocoso del suelo con base en la caracterización estratigráfica del tipo de material parental bajo la capa de suelo.

Tabla 15. Planchas cartográficas geológicas abordadas sobre la zona de estudio.

No. De Plancha	Nombre de Plancha
187	Plancha Salamina
188	Plancha La Dorada
206	Plancha Manizales
207	Plancha Honda
225	Plancha Nevado del Ruíz
226	Plancha Líbano
243	Plancha Armenia
244	Plancha Ibagué
245	Plancha Girardot
246	Plancha Fusagasugá
262	Plancha Génova
263	Plancha Ortega
264	Plancha Espinal

3.3.4. Modelo de Elevación Digital

En el proyecto se utilizó la información digital del terreno disponible en el repositorio de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), programa Alaska Satellite Facility (ASF), instrumento ALOS PALSAR, siendo uno de los tres mecanismos satelitales de observación avanzada de la tierra-1 (ALOS), proporcionando modelos corregidos radiométricamente (radiometrically terrain-corrected) a resolución de (90 m). Este modelo permitió una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, caracterizando las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, y previamente a su uso fue corregido

hidrológicamente para calcular los parámetros derivado de la topografía para la modelación hidrológica tales como: pendiente, velocidad del flujo, direcciones de flujo y flujo acumulado. El proceso de corrección hidrológica, así como el cálculo de los parámetros del modelo hidrológico se presentan en el "Producto A6. Parámetros Hidrosedimentológicos".

3.3.5. Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS)

Con el fin de conceptualizar los sistemas hidrológicos a modelar se realizó la revisión literaria y cartográfica contenida en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) de las subzonas hidrográficas que disponen de esta herramienta de planificación. Esta conceptualización se basó en la identificación, caracterización y validación de conexiones hidráulicas u elementos artificiales que alteran el régimen natural de las corrientes hídricas a evaluar, esto como parte del proceso de calibración y validación de los modelos hidrológicos generados. Así mismo, para la definición de las Unidades Hidrográficas de Análisis (UHA) por subzona hidrográfica para el proyecto, se tomó a consideración las unidades hidrográficas caracterizadas en los POMCAS, de tal forma que se genere un seguimiento técnico y metodológico a estudios realizados logrando articular la ERA con estos instrumentos de planificación.

3.3.6. Parámetros de los modelos hidrológicos implementados

Los parámetros de los modelos hidrológicos de la ERA fueron calculados de acuerdo con su conceptualización en el modelo, correspondiendo a parámetros hidráulicos del suelo y el sustrato del suelo, parámetros de propagación del flujo de cauces, parámetros de evapotranspiración de referencia, capacidad de intercepción y parámetros derivados de la topografía. De los cuales de describe y presenta su procedimiento de cálculo para las 8 subzonas hidrográficas en el documento: "Producto A6. Parámetros Hidrosedimentológicos".

3.4. Esquematización Conceptual del Sistema Hidrológico por Subzona Evaluada

Conceptualizar los sistemas hidrológicos permiten caracterizar los múltiples elementos de oferta y demanda hídrica superficial sobre un área de captación, permitiendo el entendimiento de diversos problemas entorno a la gestión del agua a partir de sistemas de soporte a la decisión (SSD). Esto favorece la planificación y gestión de cuencas con necesidad de diseño de esquemas básicos y el planteamiento de alternativas de abastecimiento de las demandas ante eventuales cambios en el régimen hidrológico.

Contemplar los diferentes elementos demandantes del recurso permite la restitución de los caudales al régimen natural reconocido como el principal determinante en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y ribereños, que al ser alterados provocan la degradación ambiental de estos ecosistemas (Poff et al., 2010). Así mismo, la restitución de estos caudales servirá de soporte al proceso de calibración de cada modelo hidrológico en las subzonas hidrográficas de análisis.

Por lo anterior, se elaboraron los esquemas conceptuales de conexiones hidráulicas para cada una de las subzonas hidrográficas evaluadas abarcando todos aquellos elementos que artificialmente alteran el régimen natural ya sea para el abastecimiento de acueductos; concesiones agrícolas, piscícolas o industriales; trasvases o captaciones por pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH). Para ello, se consideró la información contenida en el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) de la Corporación, información secundaria proveniente de la revisión de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) de las subzonas que disponen de este y dos mesas de trabajo realizadas con funcionarios de CORTOLIMA.

Para el diseño de los esquemas se empleó la interfaz AQUATOOL+, el cual brinda las herramientas necesarias para la conceptualización de los elementos que componen los sistemas hidrológicos y se generó una capa en formato shp anexa en la cartografía. Dentro de los elementos considerados se tienen las siguientes convenciones:

Tabla 16. Definición de elementos que conforman la esquematización conceptual

Elemento	Descripción
Nudos	Punto significativo de confluencia o inicio de tramos; asignación de embalses; incorporación de aportaciones, retorno o puntos de bombeo; salidas de recarga artificial o tomas de demandas consuntivas; y cambio de características de una conducción.
Conducción Tipo 1	Tramos de ríos, canales de conducción o conexiones del sistema.
Demanda Consuntiva	Elemento de consumo demandado para uso agrícolas, piscícolas o industriales; trasvases o por pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) que toman parte de ella sin retorno al sistema.
Demanda Consuntiva (uso doméstico)	Elemento de consumo demandado para el abastecimiento municipal como bocatomas que toman parte de ella sin retorno al sistema.
Aportaciones	Flujos de agua que se incorporan al sistema, ya sean afluentes o trasvases provenientes de diferentes subzonas.
Elemento de Retorno	Punto de reintegro de agua al sistema proveniente de las demandas consuntivas.

Fuente: Manual de Usuario AQUATOOL+, modulo SimGes.

Para la definición de las demandas consuntivas de uso agrícola, piscícola, industrial, trasvase o pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) se tomaron caudales concesionados iguales o superiores a 50 l/s considerando este límite como un volumen a partir del cual la extracción es significativa. De igual manera, las demandas consuntivas para el abastecimiento de acueductos veredales se consideraron caudales por encima de los 20 l/s, a diferencia de las demandas para acueductos municipales considerándose la totalidad de su demanda. A fin de establecer tramos representativos, se agruparon todas aquellas concesiones cercanas estableciendo focos puntuales de alteración al régimen natural de los caudales para fines de modelación y calibración del modelo hidrológico.

3.4.1. Subzona Hidrográfica de Río Coello

EL primer punto de referencia sobre el Río Coello se encuentra en la confluencia del Río Tochecito al Río Toche de los cuales cada uno generan un aporte de caudal inicial, aunque el aporte del Río Tochecito se ve levemente alterado por la presencia de una de las bocatomas dispuestas para el municipio de Cajamarca sobre la Quebrada Chucali con 23 l/s. La confluencia sobre el cauce principal de Río Coello por parte del Río Bermellón produce un segundo gran aporte principalmente alterado por una segunda bocatoma del municipio de Cajamarca sobre la Quebrada Chorros Blancos con 47 l/s concesionados y por el aporte del Río Anaime, este último con una demanda consuntiva de uso piscícola de 150 l/s sobre la Quebrada Carrizales y un aporte de la Quebrada Potosí.

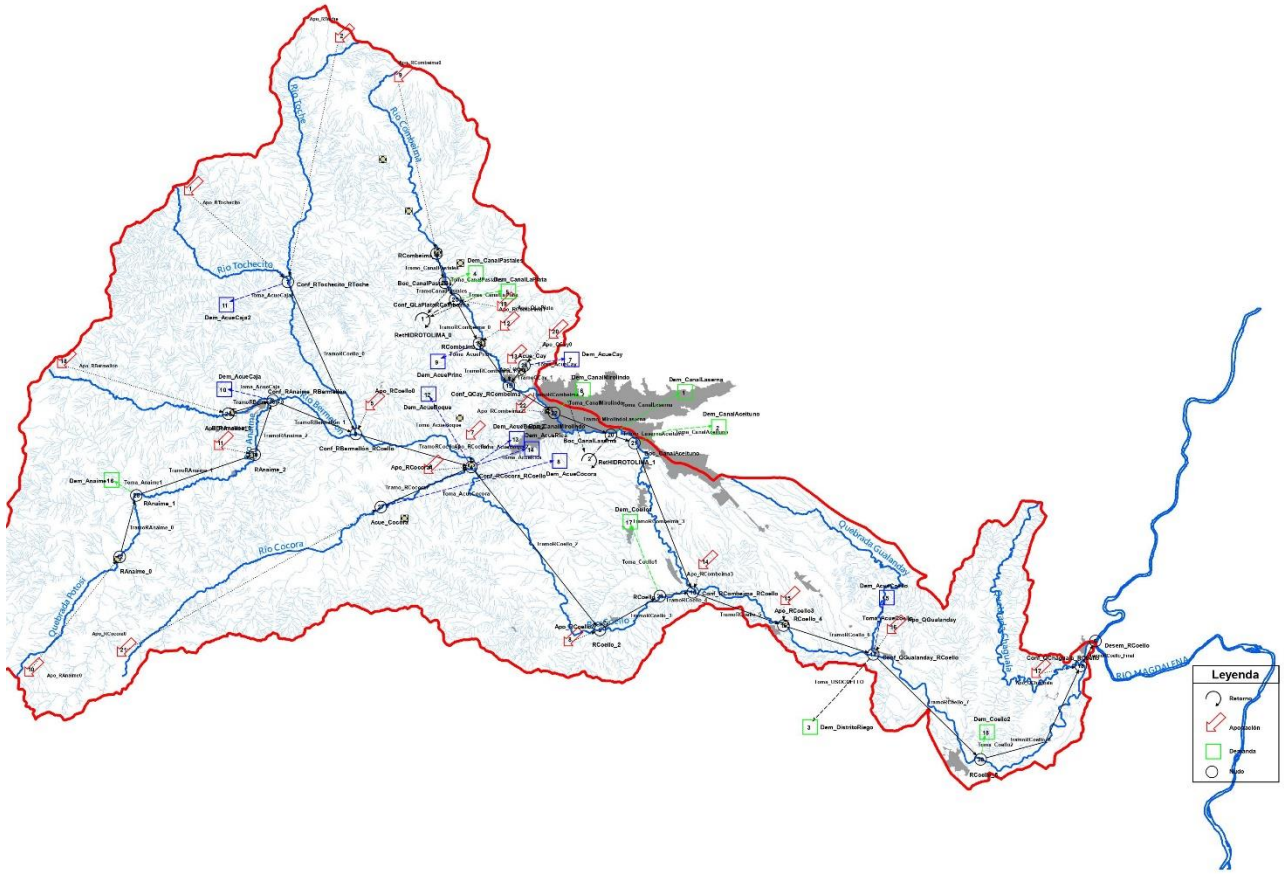
Aguas abajo de la confluencia del Río Bermellón al Río Coello se producen las demandas para el acueducto del barrio Boquerón sobre la Quebrada Palmita (19.81 l/s) y la Quebrada El Tejar (29.5 l/s), sobre esta última corriente también se encuentra situada la bocatoma del acueducto del barrio Ricaurte (24 l/s), lo que alteraría el aporte de dichas quebradas sobre el cauce principal del Río Coello. Sobre el cauce principal de Río Cocora se encuentra situada la bocatoma del acueducto alterno para la ciudad de Ibagué con un caudal de concesión de 1,009 l/s, para aguas abajo confluir al Río Coello. Aguas arriba de la confluencia del Río Combeima se identifica un grupo de concesiones para uso Agrícola, doméstico, pecuario y piscícola con un caudal total de 260.48 l/s en la Quebrada La Montaña.

Sobre el cauce principal del Río Combeima se sitúan las demandas de mayor caudal empezando por los Canales Pastales y La Plata con 3,170 l/s (Río Combeima) y 500 l/s (Quebrada La Plata) respectivamente, para generación eléctrica por parte de HIDROTOLIMA con un retorno sobre la cabecera de la vereda Pastales. En las inmediaciones entre la vereda Llanitos y Tres Esquinas sobre el Río Combeima se encuentra la bocatoma principal del acueducto de la ciudad de Ibagué con un caudal

concesionado de 1,860 l/s, y sobre la Quebrada Cay una tercera bocatoma municipal de 367.5 l/s para abastecer un total de 138,000 suscriptores (POMCA Coello).

Por el paso de Río Combeima sobre la cabecera municipal de Ibagué se sitúa el Canal Mirolindo destinado por HIDROTOLIMA para generación eléctrica con un caudal de 4,827 l/s con retorno aguas abajo de la toma sobre esta misma corriente, y los Canales Laserna y Aceituno para uso agrícola con 2,355.1 y 1,656.49 l/s respectivamente. Estos últimos corresponden a trasvases con destino a la subzona del Río Opia para satisfacer las demandas de cultivos ubicados sobre el abanico de Ibagué. Otro gran trasvase identificado es el Distrito de Riego USOCOELLO con 9,640 l/s concesionados aguas abajo de la confluencia de la Quebrada Gualanday sobre el Río Coello destinados a la irrigación de cultivos sobre la Subzona del Río Luisa. El aporte de la Quebrada Gualanday es alterado por la presencia del acueducto municipal de Coello con 28 l/s. Por último, tenemos una agrupación de demandas agrícolas a la altura de Chicoral con un caudal total asignado de 268.27 l/s y el aporte de la Quebrada Chaguala, en ese mismo tramo se presenta un trasvase de USOCOELLO hacia el río Coello proveniente del río Cucuana con un valor de 10910 l/s (Figura 11).

Figura 11. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Coello



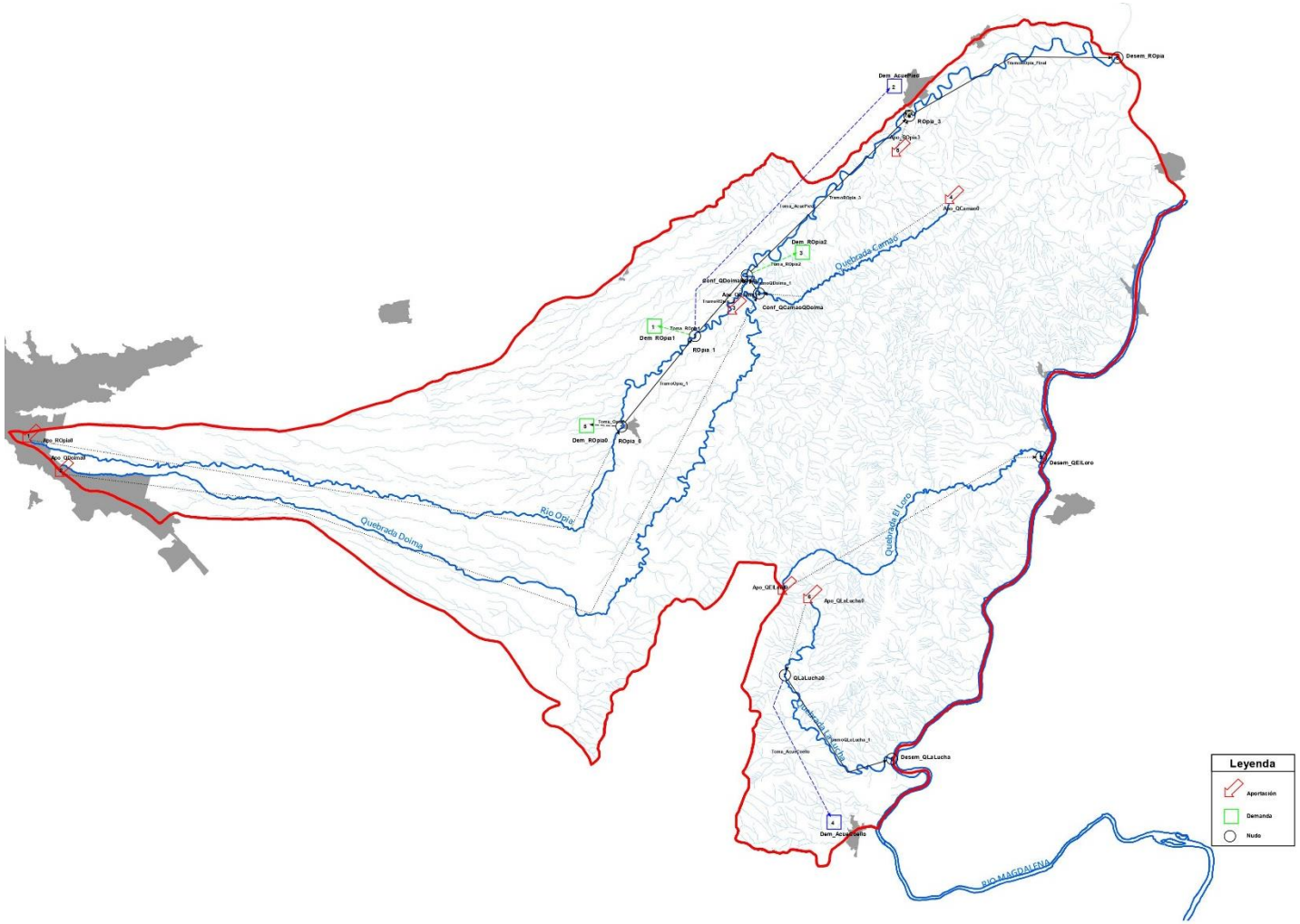
3.4.2. Subzona Hidrográfica de Río Opia

A la altura del centro poblado de Doima se encuentra una confluencia sobre la corriente principal del Río Opia, con un primer aporte correspondiente al área drenante aguas arriba de esta cabecera y un grupo de demandas consuntivas de uso pecuario y agrícola con un caudal total de 135 l/s. Posteriormente se tienen dos importantes demandas, la primera, corresponde al acueducto municipal de Piedras con 16.09 l/s y la segunda, una agrupación de demandas destinadas para uso agrícola sumando un total de 155.5 l/s.

Otro aporte al Río Opia se encuentra situado en la confluencia de la Quebrada Doima, la cual a su vez recibe previamente el aporte de la Quebrada Camao. Sobre este nudo de referencia también se dispone una demanda agrícola con un caudal concesionado de 176.7 l/s situado aguas abajo de dicha confluencia. Por último, se asignó un último nudo sobre la estación automática hidrométrica de Piedras [21227010] como referencia para la calibración del modelo hidrológico.

Sobre el área de influencia de la subzona de Río Opia se tienen afluentes directos al Río Magdalena como lo son la Quebrada El Loro y la Quebrada La Lucha sobre la cual se sitúa la bocatoma para el acueducto municipal de Coello. Estas corrientes fueron igualmente contempladas en la presente esquematización conceptual para su revisión e integración al proceso de modelado (Figura 12).

Figura 12. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Opia



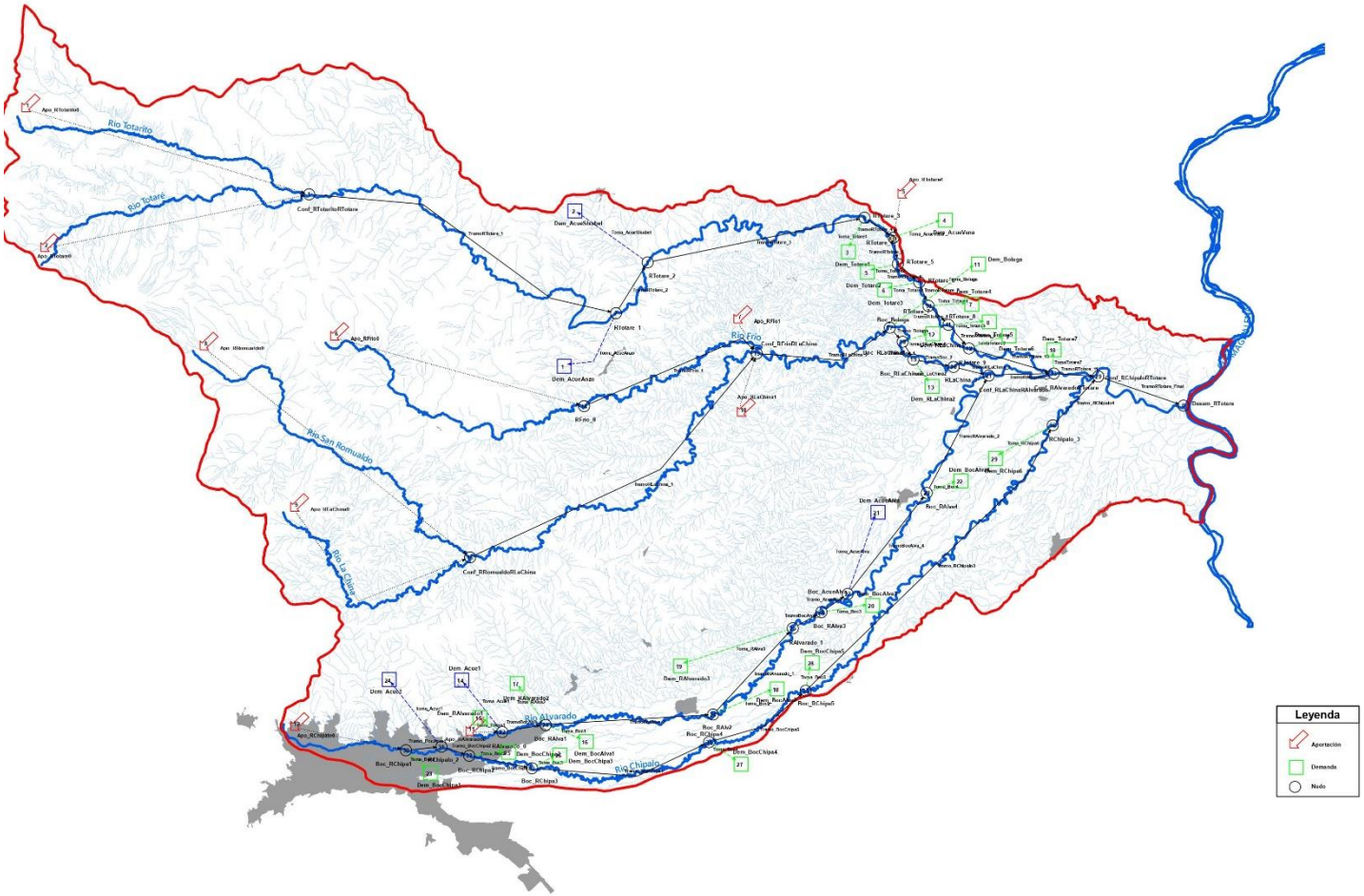
3.4.3. Subzona Hidrográfica de Río Totare

El primer elemento de referencia se encuentra situado en la confluencia del Río Totarito al Río Totare con aportes de cada tramo respecto al área drenante correspondiente. Aguas abajo se encuentran situadas las bocatomas de los acueductos municipales de Anzoátegui (26.4 l/s) sobre la Quebrada Fierro; y Santa Isabel (15.6 l/s) sobre la Quebrada La Rica, ambos afluentes directos al cauce principal. Un grupo de demandas para uso agrícola fueron identificadas sobre la corriente del Río Totare en un tramo no mayor a 16 km aproximadamente, conformado por 7 puntos de extracción del orden de los 54.34; 1,401.32; 330.31; 286.11; 755.3; 213.91 y 228.2 l/s para un total de 3,269.49 l/s sobre dicho tramo situado aguas arriba de la confluencia del Río Alvarado. Cabe destacar la presencia de la bocatoma del acueducto municipal de Venadillo el cual toma 40.44 l/s trasvasados de forma directa a la subzona del Río Recio.

Por su parte, sobre la cuenca alta del Río Alvarado se presentan tres grupos de demandas con caudales concesionados de 68 l/s (uso agrícola), 357.88 l/s (piscícola y generación eléctrica) y 69.8 l/s (acueducto auxiliar Ibagué) sobre la Quebrada Chembe. En la cuenca media se tiene en cercanías al centro poblado Chucuní sobre el Río Alvarado demandas agrícolas de 231.2 l/s, de 74.5 l/s sobre la Quebrada La Chumba y 445.99 l/s aguas arriba de la bocatoma del acueducto del municipio de Alvarado. Este acueducto cuenta con un caudal de 20 l/s concesionados y supone un punto de análisis con respecto a la oferta disponible, ya que como se ha mencionado, aguas arriba se encuentran situadas grandes concesiones que alteran de forma sustancial el régimen natural del río. Sobre la parte baja de la cuenca se presenta una demanda de 94.98 l/s aguas arriba de la desembocadura del Río Frío para luego confluir al Río Totare y servir de aporte al caudal.

El aporte del Río Frío sobre el Río Alvarado es integrado principalmente por la confluencia del Río La China que a su vez recibe aporte del Río San Romualdo; y por las fuertes alteraciones al régimen natural provocado por el trasvase Boluga a la subzona del Río Recio de 1,618.29 l/s y el conjunto de demandas agrícolas de 1,214.67 l/s y 253.39 l/s. En cuanto al trasvase Boluga, la base del SIRH reporta la existencia de diferentes usuarios asociados a un caudal de concesión sobre el punto de localización de la infraestructura reportada en el POMCA, e igualmente usuarios ubicados sobre el área de captación del Río Venadillo (subzona del Río Recio) sin definir una distribución clara del recurso hídrico ni la vinculación de cada usuario con el trasvase.

Figura 13. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Totare



Otro gran aporte al Río Totare es el del Río Chipalo, que en la parte alta de la cuenca dispone de tres demandas de 273.69 l/s (para uso industrial; recreación y deporte; y agrícola), 175.16 l/s (agrícola) y 131.89 l/s (agrícola), además de la presencia del acueducto del barrio Ambala (ACUAMBALA) con 45.2 l/s. En la parte media del tramo sobre el Río Chipalo se tienen dos demandas; la primera, corresponde a un caudal de 245.9 l/s para uso agrícola que con base en el diseño de infraestructuras hidráulicas del POMCA del Río TOTARE corresponde a un trasvase a la subzona del Río Opia; la segunda, corresponde a un grupo de demandas de uso pecuario y agrícola con un caudal concesionado de 349.11 l/s. Por último, sobre la parte baja del Río Chipalo, aguas arriba de su desembocadura al Río Totare, se encuentra una demanda agrícola de 131 l/s (Figura 13).

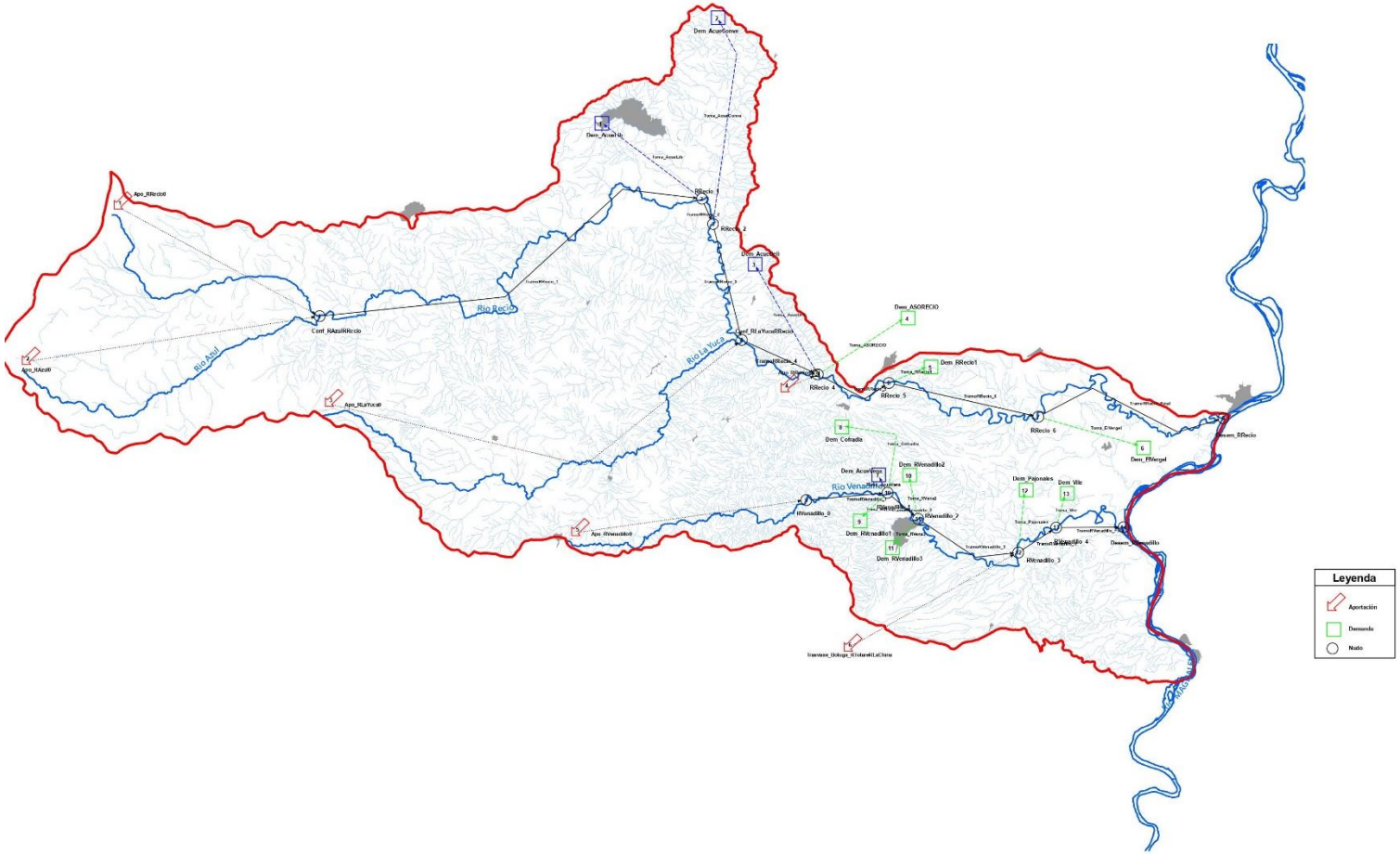
3.4.4. Subzona Hidrográfica de Río Recio

La confluencia del Río Azul sobre el Río Recio establece el punto de partida en la conceptualización del sistema, incluyendo los aportes generados por cada afluente aguas arriba del punto de intercepción. Las primeras demandas corresponden a extracciones para el abastecimiento del municipio del Líbano y el centro poblado Convenio con caudales de 190 l/s y 21.24 l/s concesionados respectivamente. Aguas abajo se encuentra la confluencia del Río La Yuca generando un aporte importante al cauce principal y la demanda para el acueducto del centro poblado Delicias con 0.5 l/s.

Sobre la estación hidrométrica La Nueva [21257100] se dispuso de un nudo de referencia para el proceso de calibración del modelo hidrológico, del cual aguas abajo se ubica un trasvase a la subzona del Río Lagunilla. Seguidamente en cercanías al centro poblado San Francisco de la Sierra se encuentra una demanda agrícola de 216 l/s sobre el Río Recio y otra en la vereda pajonales con 210.6 l/s concesionados.

Otro afluente de interés es el Río Venadillo el cual confluye al Río Magdalena y que en la parte media de su tramo principal sobre la cabecera municipal de Venadillo se encuentran demandas con caudales del orden de los 117.27; 73; 68.06 y 88 l/s para un total de 346.33 l/s, resaltando la bocatoma de acueducto municipal de Venadillo con 10 l/s concesionados sobre el Río Palmar. En la parte baja de la cuenca se tienen las mayores demandas hacia el sector Pajonales, área con gran extensión agrícola con caudales de 2,622 y 175 l/s. Sobre esta unidad hidrográfica se genera un aporte importante proveniente del Río La China (subzona del Río Totare) a través del trasvase Boluga de 1,618.29 l/s.

Figura 14. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Recio



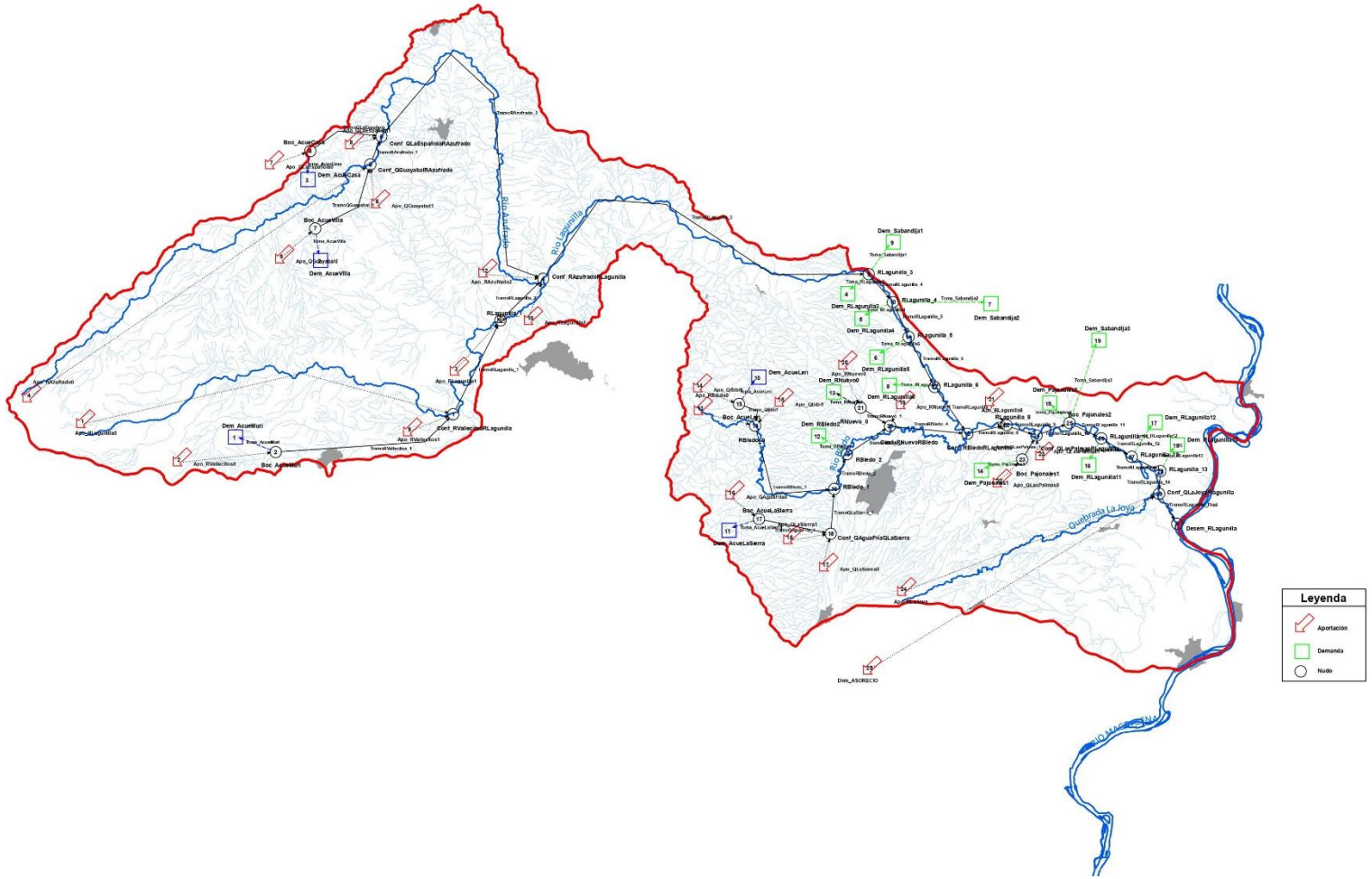
3.4.5. Subzona Hidrográfica de Río Lagunilla

En la parte alta del Río Lagunilla se presenta la confluencia del Río Vallecitos, sobre el cual se sitúa la demanda del acueducto municipal de Murillo aguas arriba de su cabecera municipal alterando ligeramente el régimen natural del flujo superficial de la corriente. Aguas abajo de esta confluencia se dispone de la estación hidrométrica Puente Negro [21257120] sirviendo de referencia a la calibración del modelo para ese tramo de captación, y seguidamente la confluencia del Río Azufrado. Sobre el área de captación del Río Azufrado se presentan las demandas de los acueductos municipales de Villahermosa sobre la Quebrada Guayabal con 33.46 l/s y de Casabianca sobre la Quebrada La Española con 17.25 l/s concesionados.

Aguas abajo de la confluencia del Río Azufrado sobre el Río Lagunilla se precisan importantes grupos de demandas de las cuales 4 son para uso agrícola con caudales de 375.13, 759.63, 567.05 y 194.02 l/s para un total de 1,895.83 l/s, y dos grupos de demandas que por su proyección espacial de usuarios a partir del SIRH son trasvasadas a la subzona del Río Sabandija con caudales de 182.51 y 1,373.19 l/s para uso agrícola. Un tercer punto de referencia sobre el Río Lagunilla se encuentra en la confluencia del Río Bledo, del cual en la parte alta se sitúa la bocatoma municipal de Lérida con 220 l/s concesionados y en la parte baja grupos de concesiones agrícolas de 335 l/s y 204.05 l/s sobre el Río Nuevo (afluente al río Bledo).

El tramo comprendido entre la desembocadura del Río Bledo y la desembocadura del Río Lagunilla al Río Magdalena, se disponen otros 4 grupos de demandas de 112.67 l/s (pecuaria y agrícola), 705.48 l/s (agrícola), 253.91 l/s (pecuaria y agrícola) y 156.45 l/s (agrícola) sobre el Río Lagunilla. De igual manera, se presenta una demanda sobre la Quebrada Las Palmas la cual confluye de forma directa al Río Lagunilla de 715.84 l/s para uso agrícola y múltiples demandas con proyección sobre el Río Sabandija con un caudal total de concesión de 1,013.86 l/s (agrícola). Por último, se cuenta con un aporte aguas arriba de la confluencia del Río Lagunilla por parte de la Quebrada La Joya.

Figura 15. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Lagunilla



3.4.6. Subzona Hidrográfica de Río Sabandija

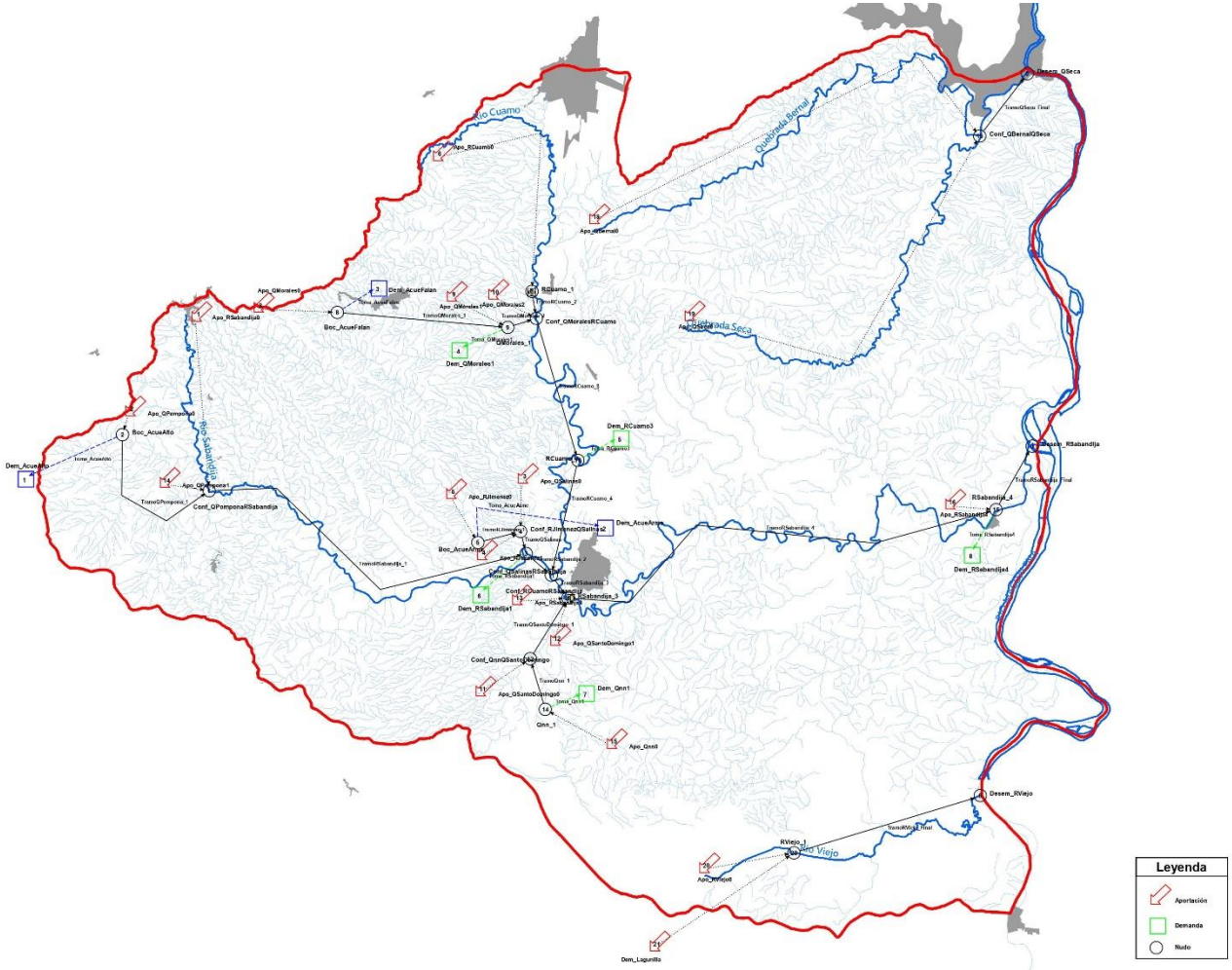
La confluencia de la Quebrada Pompona sobre el Río Sabandija sirve como punto inicial de referencia para la esquematización del sistema hidrológico, considerando los aportes generados aguas arriba de cada corriente. Sobre esta quebrada se sitúa la extracción para el abastecimiento del acueducto de la vereda Alto Bonito. A la altura de la cabecera del municipio de Armero Guayabal se identificaron demandas para uso agrícola con un caudal total de concesión de 200.23 l/s sobre la corriente del Río Sabandija, y la bocatoma para el abastecimiento de la cabecera municipal con un caudal de 45.74 l/s sobre el Río Jiménez, situado aguas arriba de la confluencia del Rio Cuamo sobre el Río Sabandija.

La Quebrada Morales sirve de abastecimiento al acueducto municipal de Falan con 11.05 l/s y una demanda agrícola de 120 l/s en concesión. Así mismo, en la parte baja del Río Cuamo se sitúa una demanda consuntiva de uso agrícola con un caudal de 102 l/s.

Aguas abajo de la confluencia del Río Cuamo sobre el Río Sabandija, confluye el Río Santo Domingo. Allí se localiza una demanda de uso piscícola y agrícola con un caudal de concesión de 50 l/s. En la parte final del tramo del Río Sabandija en cercanías al centro poblado Méndez, es demandado un caudal de 150 l/s para uso agrícola sobre la corriente principal del río.

Por último, se consideraron los afluentes principales que convergen sobre el Río Magdalena como lo son la Quebrada Seca y su aportante la Quebrada Bernal; y el Río Viejo, al cual dada la proyección espacial de las demandas por parte del POMCA del Río Lagunilla, aportan al régimen al natural el caudal concesionado para la producción agrícola.

Figura 16. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Sabandija



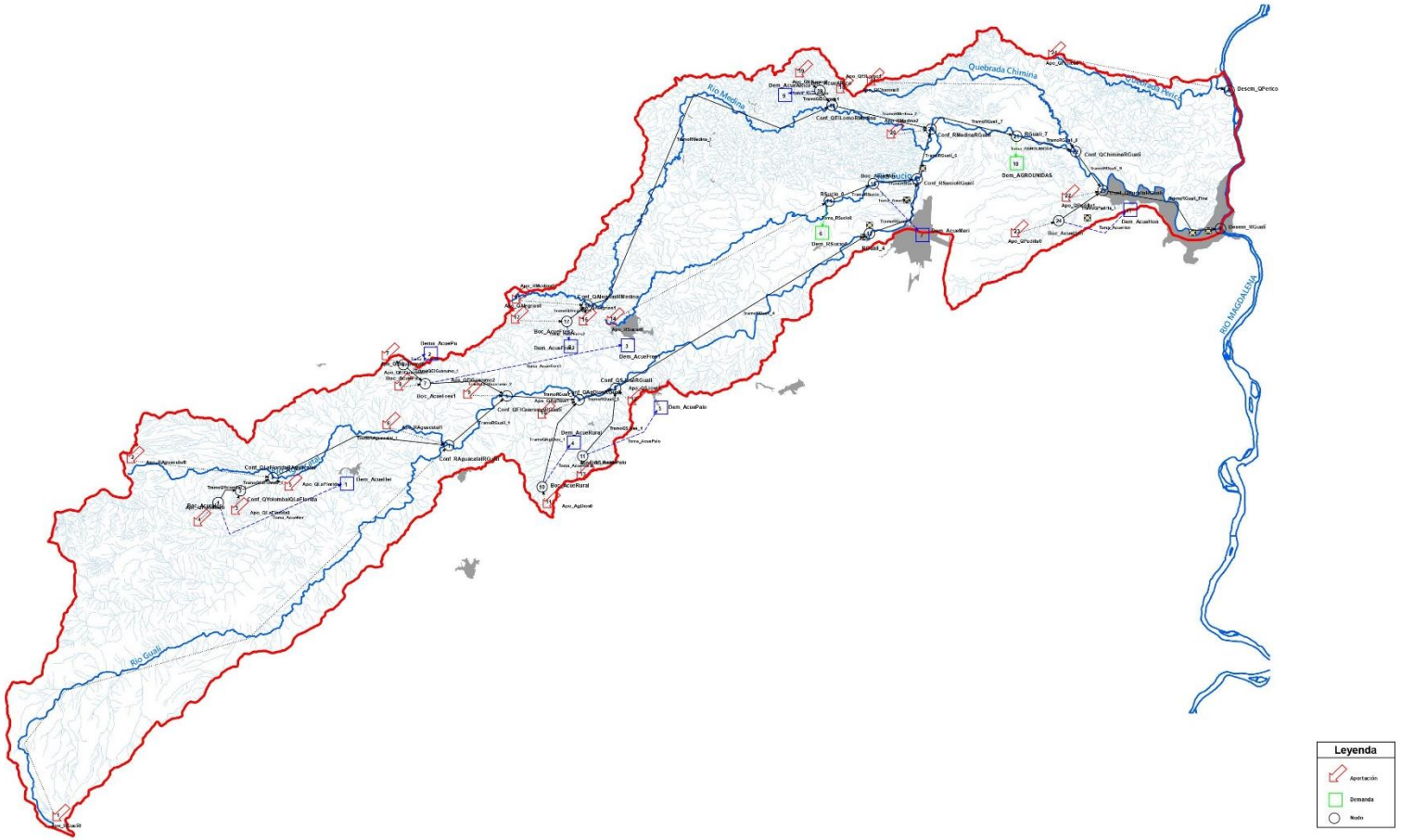
3.4.7. Subzona Hidrográfica de Río Gualí

El primer gran aporte que recibe el Río Gualí es el del Río Aguacuatal en su punto de confluencia a la altura del municipio de Casabianca. En la parte media del Río Aguacatal tenemos la confluencia de la Quebrada La Florida que a vez le confluye la Quebrada Yolombal, siendo esta última la fuente para el abastecimiento del acueducto municipal de Herrera. Aguas abajo de la cabecera municipal de Casabianca sobre el Río Gualí, confluyen tres quebradas importantes como lo son la Quebrada Guarumo, sobre la cual en la parte alta del afluente sirve de abastecimiento a los acueductos de la vereda Padua (16.24 l/s) y de la cabecera municipal de Fresno (40 l/s); la Quebrada Agua de Dios con el abastecimiento doméstico rural del centro poblado San Jerónimo (19.32 l/s); y la Quebrada San José, abastecedora del acueducto principal de Palocabildo (21.99 l/s).

Otros grandes aportes al caudal del Río Gualí son el Río Sucio y el Río Medina. Sobre el primero, se identificaron demandas de uso piscícola con un caudal de concesión de 2,006 l/s y aguas abajo, la demanda para el abastecimiento municipal de Mariquita con un caudal de 180 l/s sobre el cauce principal de río. Para el segundo, se cuenta con una segunda bocatoma para el municipio de Fresno con 40.37 l/s sobre la Quebrada Alegrías, y el abastecimiento del acueducto de la vereda Alto Rico. Sobre esta última concesión, los registros del SIRH mencionan un caudal de concesión de 0.37 l/s.

Sobre el tramo final del Río Gualí, se cuenta con: un grupo de demandas de uso agrícola con un caudal de concesión de 144.5 l/s, el aporte al cauce principal de la Quebrada Chimina, y la bocatoma para el abastecimiento municipal de Honda sobre la Quebrada Padilla con un caudal de 187.32 l/s. Es de mencionar la incorporación a la conceptualización de la Quebrada Perico la cual confluye de forma directa al Río Magdalena para efecto de modelación.

Figura 17. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Gualí

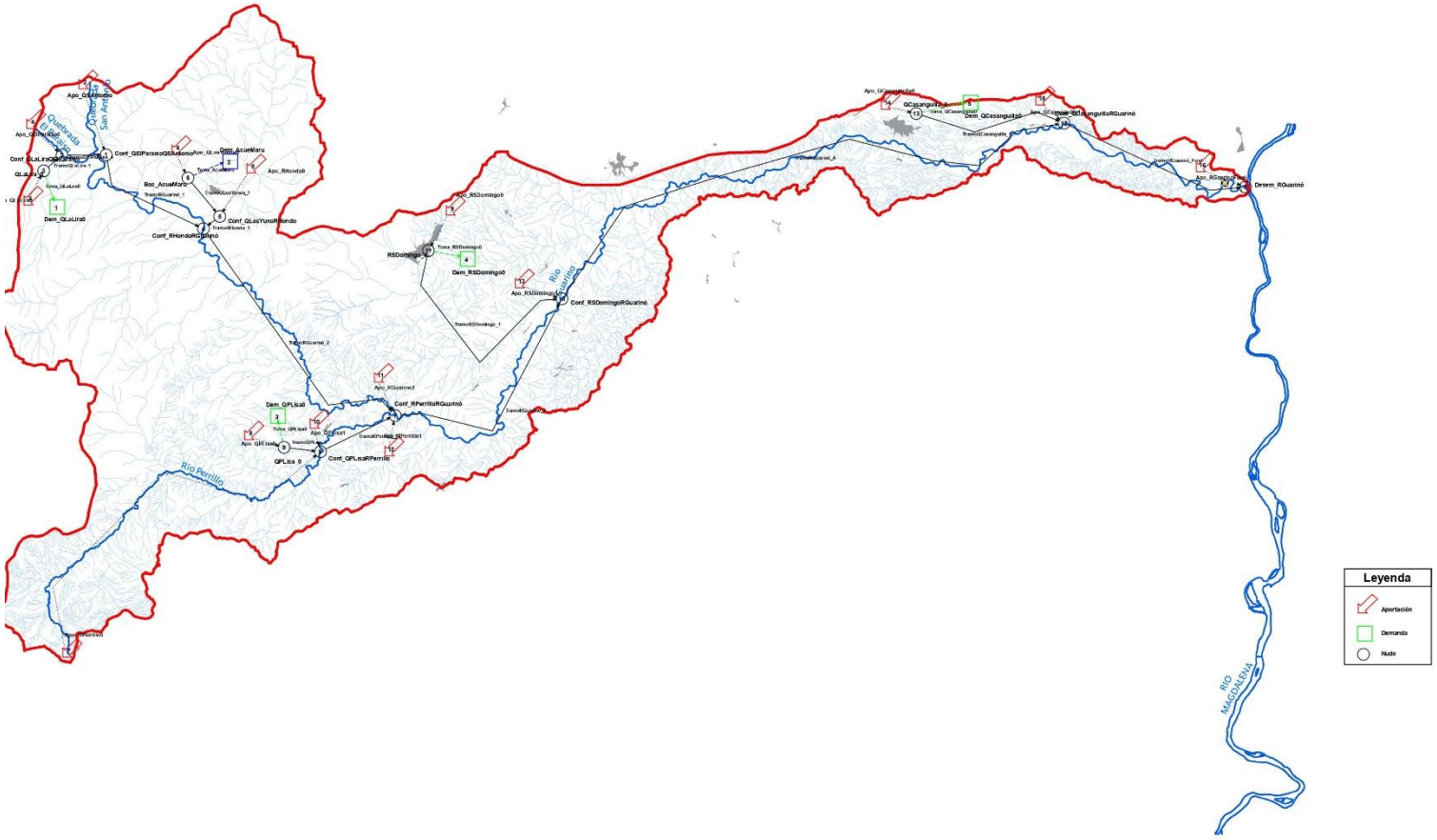


3.4.8. Subzona Hidrográfica de Río Guarinó

En la parte alta de la subzona del Río Guarino sobre el cauce de la Quebrada El Paraíso, confluye la Quebrada La Lira de la cual se concesionan según el POMCA del Río Guarinó 5000 l/s sin reportar de forma clara algún uso en particular. De la confluencia entre la Quebrada El Paraíso y la Quebrada San Antonio nace el Río Guarinó sobre la vereda El Páramo, municipio de Marulanda (Departamento de Caldas), ubicándose allí un nudo de referencia al sistema hidrológico. Aguas abajo de dicha confluencia confluye el Río Hondo al que a su vez le confluye la Quebrada Los Yunos sobre la cual se encuentra situada la bocatoma del acueducto municipal de Marulanda con un caudal concesionado de 66.7 l/s.

Un segundo punto de referencia sobre el Río Guarino se encuentra en la confluencia del Río Perrillo del cual se ve ligeramente alterado su régimen natural debido a la demanda de 4,960 l/s efectuada sobre la Quebrada Peña Lisa (afluente del Río Perrillo) según datos del POMCA del Río Guarinó. Seguidamente se tiene la confluencia del Río Santo Domingo sirviendo de aporte al cauce principal del Río Guarinó y del cual se captan 83 l/s (sin uso reportado) a la altura del centro poblado del municipio de Manzanares (Departamento de Caldas). Por último, en la parte baja de la subzona, se presenta la confluencia de la Quebrada Casanguilla, que en la parte alta de su tramo se demandan 50 l/s en cercanías a la cabecera municipal Victoria (Departamento de Caldas).

Figura 18. Esquematización conceptual de la estructura del sistema hidrológico para la Subzona Hidrográfica del Río Guarinó



4. Estimación de Parámetros Hidrosedimentológicos

La estimación de los parámetros que controlan los umbrales de flujo y almacenamiento en el modelo hidrológico distribuido TETIS, es realizada a partir de la revisión exhaustiva de metodologías enfocadas en la determinación de valores modales de referencia a partir de información secundaria disponible. Estos parámetros son descritos de acuerdo con su derivación como lo son: parámetros hidráulicos del suelo y el sustrato del suelo, parámetros de propagación del flujo de cauces, parámetros de evapotranspiración de referencia, capacidad de intercepción y parámetros derivados de la topografía.

4.1. Parámetros Hidráulicos del Suelo y del Estrato Rocoso

Conceptualmente, el flujo de agua y el estado de humedad en el suelo en el modelo hidrológico TETIS, es controlado por la capacidad de almacenamiento capilar (Hu) y por la conductividad hidráulica vertical (Ks) y horizontal (Kss) saturada del suelo. Del mismo modo, el flujo a través del estrato rocoso está regulado por la conductividad hidráulica vertical (Kp) y horizontal (Ksa). Caracterizar adecuadamente las diferentes tasas de filtración del agua tanto vertical como horizontal sobre los estratos superficiales y profundos del suelo, implica disponer de información detallada dada la alta variabilidad espacial que a menudo se presentan en los valores de conductividad hidráulica en suelos naturales (Chapuis, 2012). La escasa información disponible que represente dicha variabilidad sobre las unidades hidrográficas evaluadas hace necesario emplear métodos para predecir la conductividad hidráulica saturada a través de funciones de pedotransferencia, que relacionen propiedades físicas del suelo con sus propiedades hidráulicas.

4.1.1. Valores modales de conductividad hidráulica saturada de suelo (Ks – Kss)

La conductividad hidráulica vertical saturada del suelo (Ks) es estimada a partir de las ecuaciones desarrolladas por Saxton & Rawls (2006), involucrando variables fácilmente disponibles de la textura del suelo y el contenido de materia orgánica (%), proporcionando estimaciones precisas en la definición de los efectos hidrológicos del agua en el suelo.

El Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Tolima a escala 1:100.000 (IGAC, 1997), reporta la descripción de perfiles de suelo de referencia

para las diferentes unidades cartográficas de suelo presentes en las unidades hidrográficas evaluadas, por lo que se ha utilizado la información de textura del suelo y profundidad de este por cada horizonte y se ha estimado un valor de ks ponderado por perfil, y por unidad cartográfica de suelo respecto a la proporción que este representa en cada unidad. Para el caso de la unidad hidrográfica del Río Guarino dada su condición de cuenca compartida, se abordaron estos valores de acuerdo con el Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas a escala 1:100.000 (IGAC, 1998).

Para la estimación de la conductividad hidráulica horizontal saturada del suelo (Kss) se ha inferido a partir de los valores estimados de conductividad hidráulica vertical saturada del suelo (Ks) y el espesor de cada horizonte respecto a la profundidad total del perfil. Así mismo, los valores de Kss para cada unidad cartográfica de suelo son estimados en relación con la proporción que representa cada perfil en cada unidad.

Ecuación 1

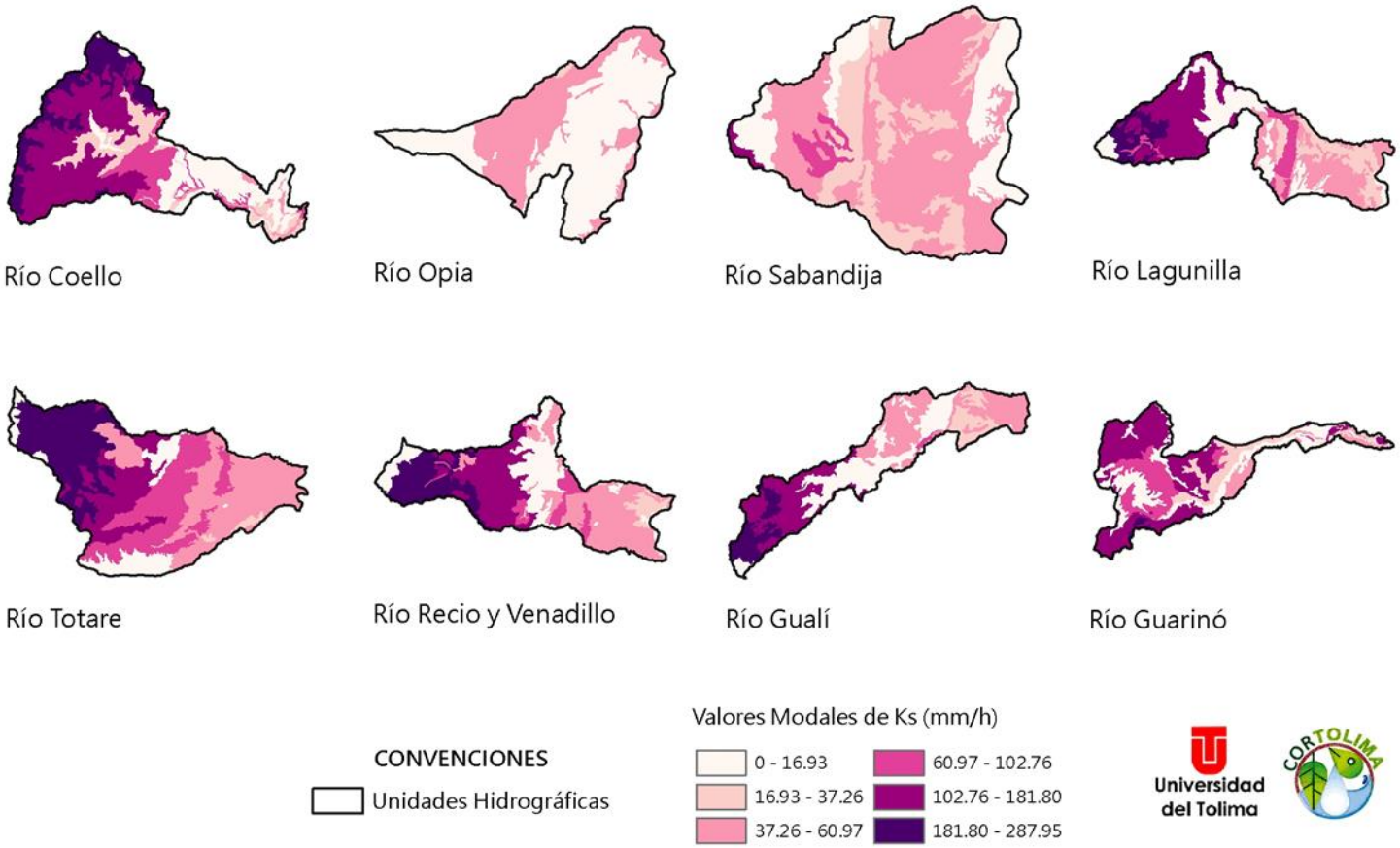
$$Kss = 1/\sum_{i}^{n} 1/Ks_i * Prh_i/Prp$$

Donde:

Ks_i es la conductividad hidráulica vertical saturada del i-ésimo horizonte del perfil del suelo (mm/h), Prh_i es la profundidad del i-ésimo horizonte del perfil del suelo (m) y Prp es la profundidad total del perfil del suelo (m).

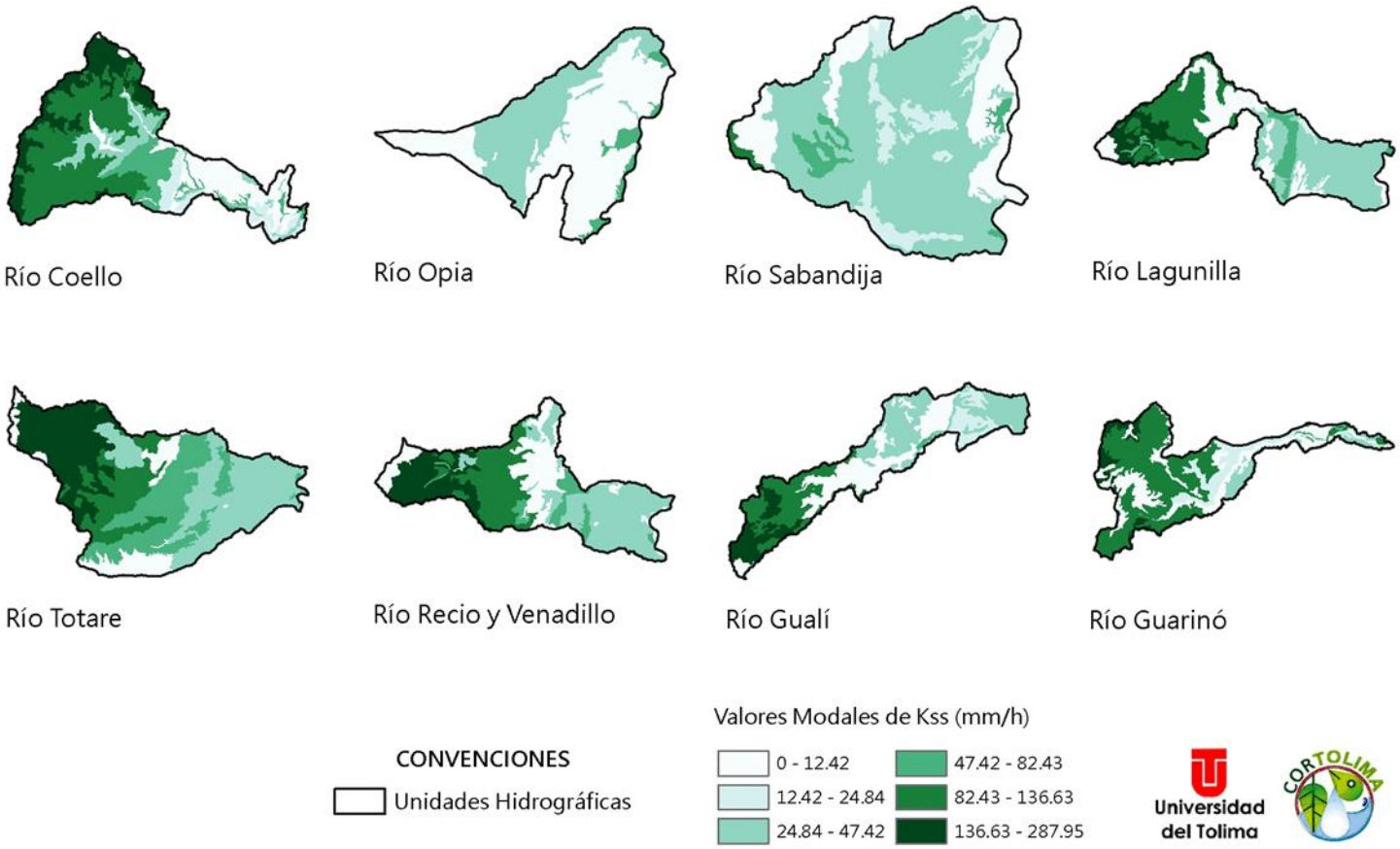
Como resultado del proceso de cálculo se obtiene los mapas de conductividades hidráulicas saturadas verticales (Ks) y horizontales (Kss) para cada una de las unidades hidrográficas evaluadas representando espacialmente la variabilidad del gradiente de flujo superficial y subsuperficial en el suelo (*Figura 19* y *Figura 20*).

Figura 19. Mapa de Valores Modales de Conductividad Hidráulica Vertical Saturada del Suelo (Ks)



Fuente: Presente proyecto

Figura 20. Mapa de Valores Modales de Conductividad Hidráulica Horizontal Saturada del Suelo (Kss)



Fuente: Presente proyecto

4.1.2. Valores modales de conductividad hidráulica saturada del estrato rocoso del suelo (Kp – Ksa)

Los valores de conductividad hidráulica vertical saturada del estrato rocoso del suelo (Kp) se tomaron de los rangos presentados por Chilton (1996) en función del tipo de material parental que se encuentra bajo la capa de suelo. El valor de referencia se tomó como el valor medio de los rangos consultados en la literatura (*Tabla 17*)

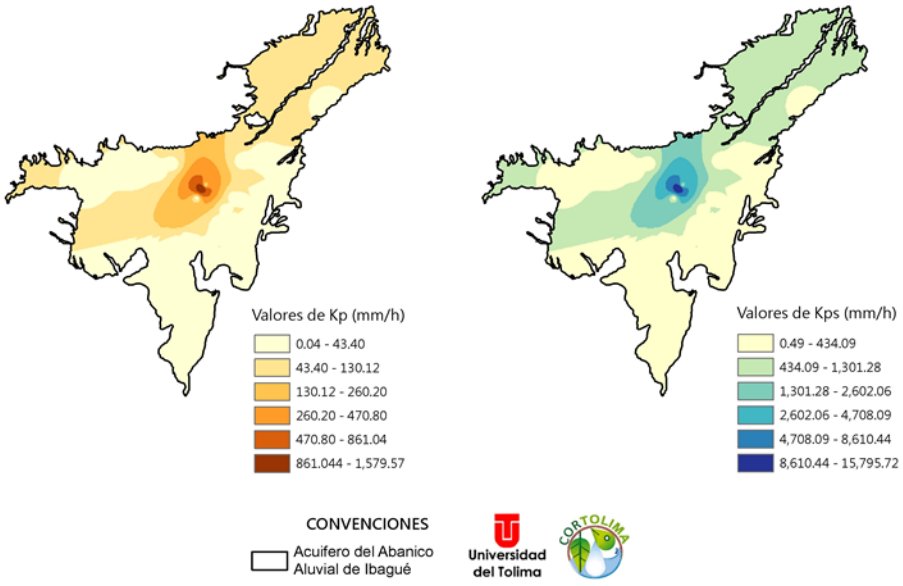
Tabla 17. Valores de referencia de k_p en función del tipo de roca

	Materiales Geológicos	Conductividad Hidráulica (mm/h)
Depósitos no consolidados	Gravas finas a gruesas	262500
	Arenas y gravas	4167
	Arenas gruesas	2083
	Arenas finas	66.7
	Arenas limosas	25.0
	Limos y loess	0.83
	Depósitos glaciales	0.250
	Arcillas	0.000104
Rocas consolidadas	Rocas ígneas y metamórficas masivas	0.0000166
	Esquistos	0.000263
	Areniscas laminadas	0.0042
	Areniscas cementadas, no unidas	0.0125
	Areniscas cristalinas, no unidas	0.1042
	Tobas volcánicas	0.667
	Granitos y neises fracturados y / o erosionados	2.625
	Areniscas articuladas	16.7
	Dolomitas	333
	Basaltos vesiculares	1316.7
	Calizas kársticas	16583

Fuente: Chilton (1996)

Para determinar la disposición litológica sobre cada unidad hidrográfica, se tomó como referencia los Mapas Geológicos de Colombia a escala 1:100.000 desarrollados por el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), hoy Servicio Geológico Colombiano (SGC), dispuestos en planchas cartográficas cubriendo las zonas de estudio. Adicionalmente, con el fin de tener un mejor nivel de detalle de la geología, se consideraron los valores de conductividades hidráulicas verticales (Kp) y horizontales (Ksa) estimadas en el Estudio Hidrogeológico y Caracterización del Acuífero en el Abanico Aluvial del Municipio de Ibagué (CORTOLIMA, 2013), e igualmente referenciados en el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero de Ibagué (CORTOLIMA, 2016).

Figura 21. Mapa de valores de Kp y Kps sobre el acuífero del abanico aluvial de Ibagué

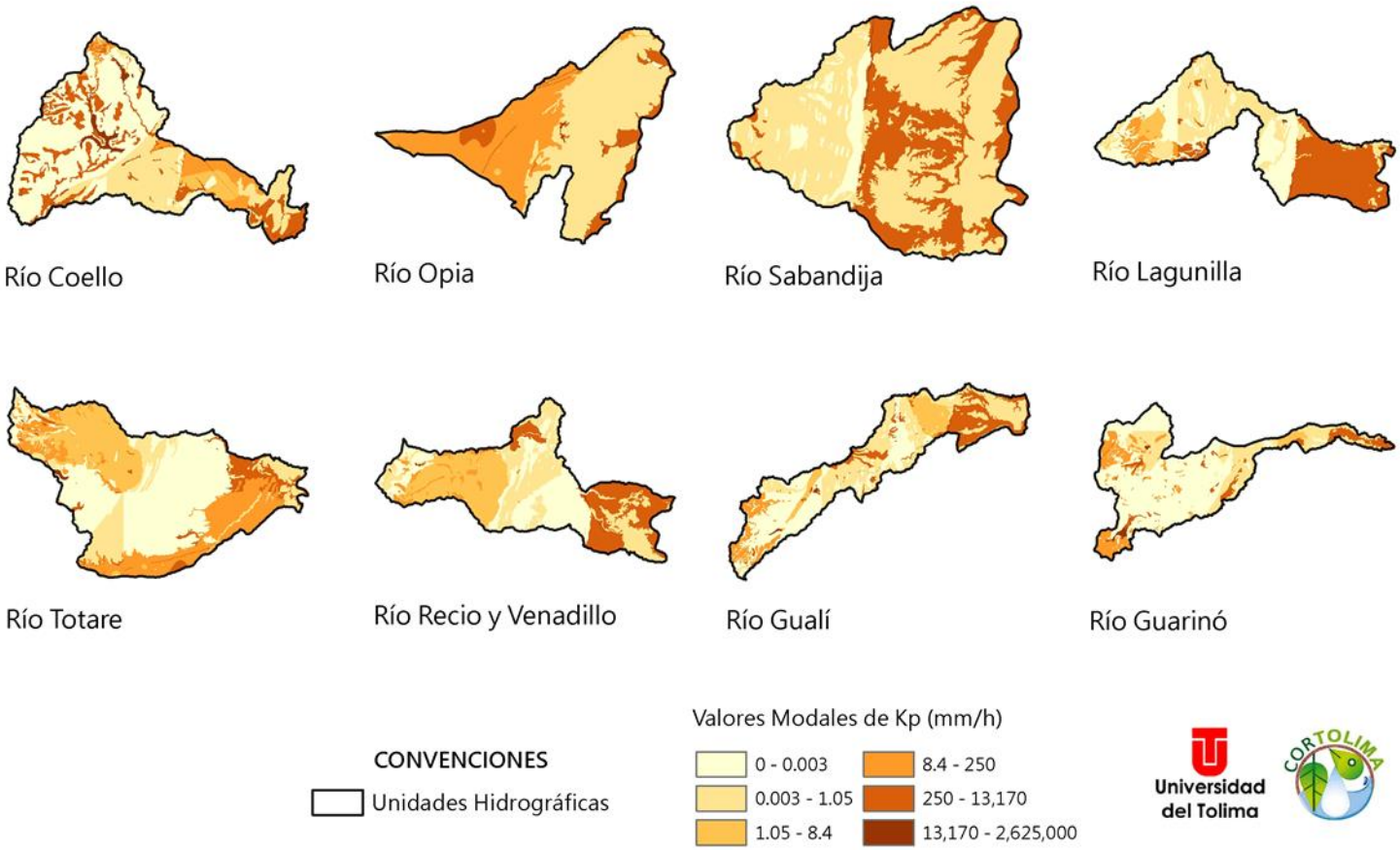


Fuente: Presente proyecto

Otro aspecto relevante para tener en cuenta en la estimación de las tasas de flujo del agua en el estrato rocoso del suelo es la distribución geológica estructural sobre las unidades hidrográficas, las cuales afectan directamente los valores de conductividad hidráulica de referencia (Mayer et al., 2007). Considerando este efecto del fracturamiento de la roca en el flujo subterráneo, se aumentaron los valores modales de Kp en un orden de magnitud (Kp*10) dado el múltiple direccionamiento del flujo por rutas preferenciales en un sentido vertical (Bense & van Balen, 2003), y se disminuyeron en un orden de magnitud los valores modales de Ksa (Ksa/10) el cual dificulta el flujo de agua en los materiales porosos en contacto con fallas en un sentido horizontal (Mayer et al., 2007).

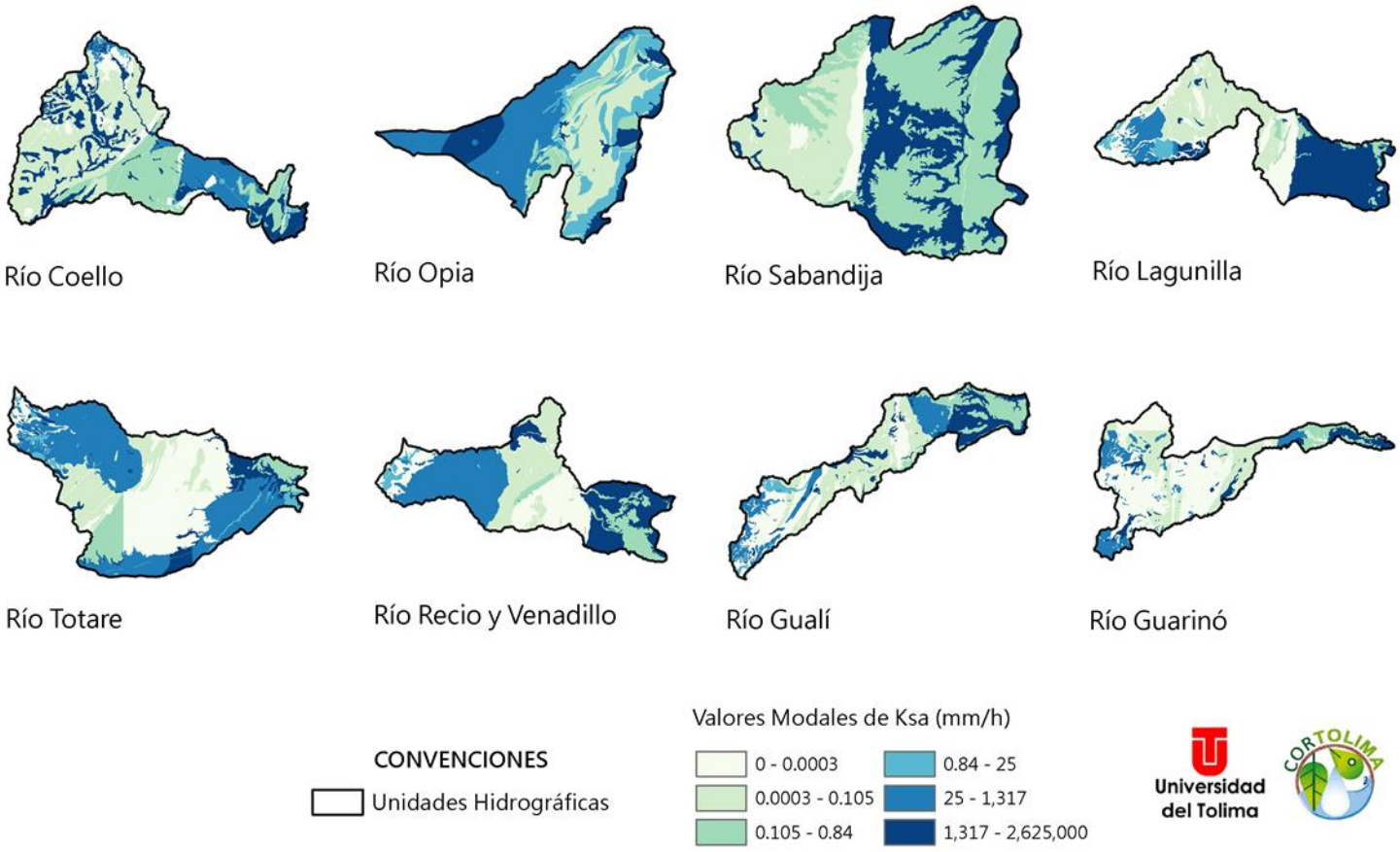
Teniendo en cuenta la escasa información de valores de conductividades a partir de estudios hidrogeológicos sobre las unidades hidrográficas, asumir valores de referencia de forma indirecta es razonable, aun así, los valores aquí propuestos serán ajustados en la fase de calibración del modelo hidrológico.

Figura 22. Mapa de valores modales de conductividad hidráulica vertical saturada del estrato rocoso del suelo (Kp)



Fuente: Presente proyecto

Figura 23. Mapa de valores modales de conductividad hidráulica horizontal saturada del estrato rocoso del suelo (Ksa)



Fuente: Presente proyecto

4.1.3. Valores modales de Almacenamiento Estático (Hu)

La capacidad de almacenamiento estático (Hu) representa la capacidad de almacenamiento capilar del suelo más el almacenamiento superficial por efecto de la rugosidad del terreno. El almacenamiento capilar máximo del suelo está en función del contenido de humedad a capacidad de campo, el contenido de humedad en el punto de marchitez permanente, la densidad aparente del suelo y la profundidad de este. Su estimación está dada por la siguiente expresión:

Ecuación 2

$$H_u = (\rho_b * p * AW)/(\rho_w * 100) + A_s$$

Donde:

Hu es el contenido de agua útil más el almacenamiento superficial (mm), ρb es la densidad aparente del perfil de suelo (gr/cm3), ρw es la densidad del agua (gr/cm3), p es el valor mínimo entre el espesor del suelo y la profundidad efectiva de raíces (m), AW es el agua disponible para las plantas en el perfil de suelo en %, As es el almacenamiento superficial de agua (mm).

Mediante las ecuaciones expuestas en Saxton & Rawls (2006), es posible estimar la densidad aparente del suelo (ρb), el contenido de humedad a capacidad de campo (θ_{33}, %) y el contenido de humedad en el punto de marchitez (θ_{1500}, %) a partir de información fácilmente disponible como la textura del perfil del suelo (contenidos de arenas, limos, arcillas) y el contenido de materia orgánica. Los estudios generales de suelos de los departamentos del Tolima y Caldas ofrecen una descripción detallada de las propiedades físicas de cada perfil de referencia para las unidades cartográficas de suelo.

Para el cálculo del agua disponible para las plantas (AW) se considera como:

Ecuación 3

$$AW = \theta_{33} - \theta_{1500}$$

Los valores estimados de ρb, θ_{33} y θ_{1500} son ponderados en función de de la profundidad de cada horizonte y la proporción del perfil por cada unidad cartográfica de suelo.

Tabla 18. Capacidad de almacenamiento superficial y profundidad de raíz por efecto del tipo de cobertura

Tipo de Cobertura	Capacidad de Almacenamiento (mm)*	Profundidad de Raíz (m)**
Tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, red vial y obras hidráulicas	0.5	0
Tejido urbano discontinuo y construcciones rurales	0.5	0
Zonas de extracción minera y zonas verdes urbanas	0.5	0
Instalaciones recreativas	0.5	0
Otros cultivos transitorios	1	1
Cereales	1	1.2
Oleaginosas y leguminosas	1	0.97
Hortalizas	1	0.5
Tubérculos	1	0.67
Cultivos permanentes herbáceos	1	1.2
Cultivos permanentes arbustivos	1	1.07
Cultivos permanentes arbóreos	1	1.13
Cultivos agroforestales y confinados	2	1
Pastos limpios	2	0.5
Pastos arbolados	2	0.5
Pastos enmalezados	6	0.5
Mosaico de cultivos	2	1
Mosaico de pastos y cultivos	2	0.8
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.5	0.7
Mosaico de pastos con espacios naturales	2.5	0.4
Mosaico de cultivos con espacios naturales	2.5	0.6
Bosque denso y bosque abierto	4.5	2
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	4.5	2
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.5	2
Bosque de galería y ripario	4.5	2
Plantación forestal	3	1.8
Herbazal denso de tierra firme	1.16	0.56
Arracachal	2	0.5
Herbazal abierto	0.25	0.35
Arbustal denso	1.5	0.6
Arbustal abierto	1.25	0.55
Vegetación secundaria o en transición	2	0.7
Zonas arenosas naturales, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas	0	0
Afloramientos rocosos	0	0
Zonas glaciares y nivales	0	0
Humedales y zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	30	0
Ríos	0	0
Canales	0	0

Fuente: *(UPV, 2011; URA, 2003), **FAO (2006)

La profundidad efectiva de raíces (*Pr*) es considerada como la máxima profundidad a la cual la matriz del suelo es afectada por el sistema radicular. En FAO (2006) se estandarizan estos valores con base a un cultivo determinado, siendo esta una referencia inicial para establecer la profundidad efectiva del suelo en la capa superficial.

Los mapas de coberturas y uso de la tierra a escala 1:25:000 y 1:100.000 desarrollados por CORTOLIMA para el año 2019 y 2015 respectivamente, brindan este importante insumo que permite espacializar en las unidades hidrográficas, el tipo de cobertura dominante sobre la superficie del suelo. En la *Tabla 18*, se establece la profundidad de raíz (m) en función de la cobertura, estableciendo valores de referencia consultados en la literatura (FAO, 2006).

Para la estimación del espesor del suelo (*Es*), se implementó la metodología expuesta en Patton et al. (2018), la cual relaciona el espesor del suelo con la función de curvatura del terreno. Con esto, la profundidad del suelo (*p*) es determinada como:

Ecuación 4

$$p = \min(Pr, Es)$$

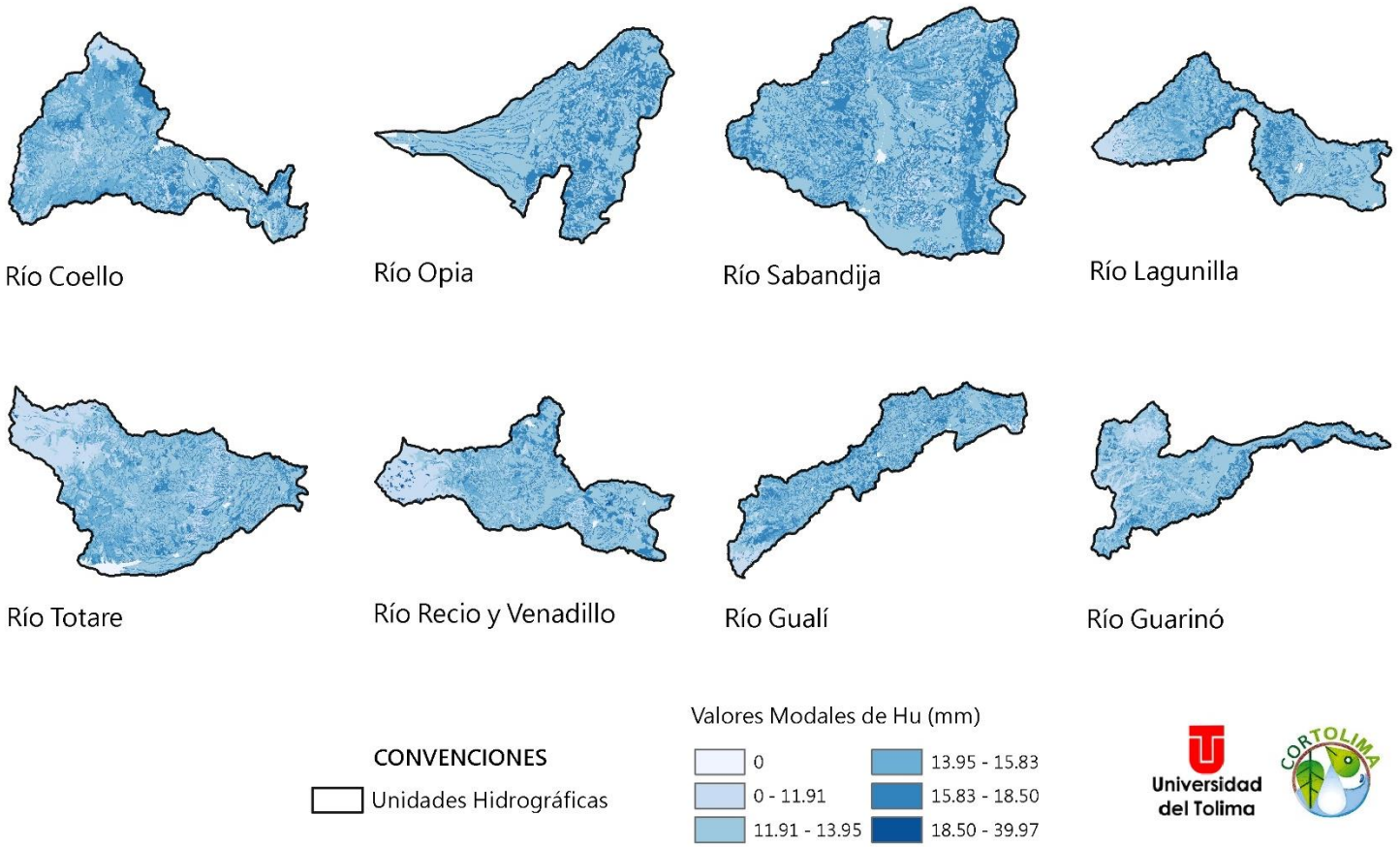
Por último, el almacenamiento superficial de agua (*As*) representa el agua retenida en la superficie del terreno por efecto de su rugosidad. Los factores que más afectan dicha rugosidad son la clase de cobertura y la pendiente topográfica de la superficie. A medida que la pendiente aumenta, hay menor probabilidad de almacenar agua en depresiones, por ello se ha asumido una relación lineal entre capacidad de almacenamiento superficial por pendiente y la pendiente del terreno (*SO*):

Ecuación 5

$$A_s\ por\ pendiente = -1.29 * S0 + 9.98$$

El almacenamiento por efecto de la cobertura es considerado a partir de estudios de modelación aplicada (UPV, 2011; URA, 2003) tomando como referencia el tipo de cobertura del suelo. En la *Tabla 18* se determinan los valores de capacidad de almacenamiento (mm) según el tipo de cobertura encontrado sobre las unidades hidrográficas.

Figura 24. Mapa de valores modales de almacenamiento estático (Hu)



Fuente: Presente proyecto

4.2. Parámetros de Propagación del Flujo en Cauces

La propagación del flujo en cauces en el modelo hidrológico TETIS se realiza empleando el concepto de onda cinemática geomorfológica (Francés et al., 2007), y emplea nueve parámetros geomorfológicos relacionados mediante las siguientes expresiones potenciales:

Ecuación 6

$$\Lambda = \mathrm{k} * Q_b^{\varphi} \qquad d = C_d * (ys_0)^{\theta}$$

$$W_b = a_1 * Q_b^{a1} \qquad n = C_n * d^{\xi}$$

$$W = Q^{a2}$$

Donde:

Λ es el área acumulada de la cuenca, Q_b es el caudal a sección llena, W_b es el ancho de la sección transversal a sección llena, W es el ancho de la sección transversal, Q es el caudal que circula por el cauce en un instante determinado, d es el diámetro de sedimentos, y la profundidad del flujo, S_0 la pendiente topográfica del cauce.

Los coeficientes y los exponentes de las ecuaciones anteriores pueden estimarse utilizando regresiones lineales a partir de un número pequeño de secciones transversales medidas en campo para cada región geomorfológica homogénea. Dado que sobre las unidades hidrográficas no se cuenta con un estudio geomorfológico detallado, Francés et al. (2007) recomienda utilizar valores medios recomendados para las distintas regiones homogéneas en las que se distribuye el área de estudio. Los valores recomendados y adoptados para el presente estudio se enuncian en la *Tabla 19*.

El modelo TETIS, en su parte hidrológica, utiliza una estructura de parámetros efectivos separada en dos partes (Francés, et. al., 2007):

- Las características físicas del medio natural, estimadas según la información disponible y medida a una escala espacial definida.
- Los factores correctores.

Tabla 19. Parámetros geomorfológicos adoptados

Parámetro de Propagación	Rango	Adoptado
Coeficiente (K)	0.5 – 0.75	0.6
Exponente (φ)	0.65 – 0.8	0.75
Coeficiente (C_1)	0.5 – 5.75	3.26
Exponente (α_1)	0.34 – 0.55	0.5
Exponente (α_2)	0.05 – 0.2	0.2
Coeficiente (C_d)	0.5 – 50	20
Exponente (θ)	0.5 – 2.75	1
Coeficiente (C_n)	0.025 – 0.07	0.047
Exponente (ξ)	0.125 – 0.18	0.1667

Fuente: (Francés et al., 2007)

4.3. Parámetros de Evapotranspiración

La evapotranspiración es uno de los procesos de más difícil medición y/o estimación y uno de los que más afecta el balance de los recursos hídricos (URA, 2003). Debido a que son procesos separados (evaporación y transpiración), pero de ocurrencia simultánea, es difícil considerarlos de forma independiente por lo que comúnmente son tomados de forma conjunta. En suelos cultivados, la evapotranspiración depende principalmente de factores climatológicos como la temperatura, la humedad atmosférica, la velocidad del viento y la radiación solar sobre la superficie, que dependiente del ciclo del cultivo, varía a medida que el dosel del cultivo interfiere con la radiación sobre el suelo (FAO, 2006).

Actualmente existen diversos métodos para la estimación de la evapotranspiración según el tipo de pérdidas que se podrían asumir dentro del complejo suelo – planta. Para el presente estudio de modelación, se toma el concepto de evapotranspiración de referencia (ETo) para representar de forma más precisa, las pérdidas en espacios que presentan algún tipo de cobertura vegetal, incorporando los índices de vegetación correspondientes.

4.3.1. Evapotranspiración de Referencia (ETo)

El método para la estimación de la ETo empleado es el FAO Penman Monteith, ampliamente reconocido como el método estándar único para el cálculo de la ETo a

partir de un cultivo de referencia. Uno de los principales inconvenientes para su aplicación es el elevado número de variables y/o datos climatológicos a emplear, que por lo general son de difícil disposición en cuencas poco instrumentadas o con algún grado de ausencia de información en las series de tiempo.

FAO (2006) incluye métodos para la estimación de la ETo a partir pocas variables climatológicas como la temperatura máxima y mínima, y de información geoespacial como la latitud y la altitud. De igual manera, esta metodología ha sido adoptada por el IDEAM para su reproducción y aplicación (Gómez & Cadena, 2017). La espacialización de la ETo para efectos de implementación del proceso de modelación hidrológica, es aportado por el componente de hidrología del presente estudio.

4.3.2. Índices de vegetación

Para modelar el efecto de la dinámica del desarrollo de la vegetación en la variabilidad temporal de la evapotranspiración se definen índices de cobertura, los cuales representan a escala mensual la variabilidad de los procesos de evaporación en un ciclo anual. Dichos índices relacionan la evapotranspiración de referencia (ETo) con la evapotranspiración máxima para cada tipo de cobertura de la tierra.

En términos prácticos las coberturas se han dividido en categorías relevantes desde un punto de vista hidrológico, y a cada categoría se asigna un factor de evapotranspiración, según el grado de desarrollo y la capacidad de transpiración para cada cobertura. Los índices de vegetación para cada tipo de cobertura fueron tomados de FAO (2006) para los valores de referencia en suelos agrícolas y de SGC & EAFIT (2016) para territorios artificializados, bosques y áreas seminaturales, áreas húmedas y superficies de agua (*Tabla 20*).

Tabla 20. Índices de vegetación por tipo de cobertura

Cobertura	Índice de Vegetación (Kc)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, red vial y obras hidráulicas	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Tejido urbano discontinuo y construcciones rurales	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Zonas de extracción minera y zonas verdes urbanas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Instalaciones recreativas	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Otros cultivos transitorios	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Cereales	0.6	0.6	1.15	1.15	0.92	0.77	0.6	0.6	1.15	0.92	0.77	1.02
Oleaginosas y leguminosas	1.03	0.63	0.43	0.84	1.11	1.11	0.75	1	1	0.75	0.75	1.03
Hortalizas	1	1	1	1	0.7	1	1.05	1.05	0.95	1	1	1
Tubérculos	1.08	1.08	1.08	1.08	0.88	0.88	1.08	1.08	1.08	1.08	0.88	0.88
Cultivos permanentes herbáceos	1.12	1.13	1.13	1.14	1.12	1.12	1.13	1.1	1.08	1.1	1.16	1.15
Cultivos permanentes arbustivos	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	0.9	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Cultivos permanentes arbóreos	0.69	0.69	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73
Cultivos agroforestales y confinados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pastos limpios	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Pastos arbolados	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.8
Pastos enmalezados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mosaico de cultivos	0.9	0.85	0.89	0.95	0.89	0.91	0.88	0.91	0.96	0.91	0.88	0.94
Mosaico de pastos y cultivos	1	1	1	1	1	1	1.05	1.05	1	1	1	1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.83	0.82	0.83	0.85	0.83	0.84	0.83	0.84	0.89	0.87	0.86	0.85
Mosaico de pastos con espacios naturales	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.85	0.8
Mosaico de cultivos con espacios naturales	0.75	0.73	0.75	0.78	0.75	0.76	0.74	0.76	0.78	0.76	0.74	0.77
Bosque denso y bosque abierto	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0.86	0.84	0.86	0.88	0.86	0.86	0.85	0.86	0.91	0.9	0.89	0.87
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Bosque de galería y ripario	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Plantación forestal	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Herbazal denso de tierra firme	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	1.1	1.1	1
Arracachal	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Herbazal abierto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Arbustal denso	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Arbustal abierto	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Vegetación secundaria o en transición	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Zonas arenosas naturales, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Afloramientos rocosos	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zonas glaciares y nivales	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Humedales y zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	1.15	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.15
Ríos	1.15	1.15	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Canales	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: (FAO, 2006; SGC & EAFIT, 2016)

4.4. Capacidad de Intercepción

La intercepción es un proceso que afecta la disposición del agua en el ciclo hidrológico, considerándose como la captura, almacenamiento y disposición de agua en el follaje de la vegetación (Zinke, 1966) o como el proceso de redistribución aérea de la precipitación por la vegetación (Collins, 1970). Estudios tales como (Helvey, 1967; Helvey & Patric, 1965; Zinke, 1966), disponen de información concerniente a la capacidad de intercepción de la lluvia para coberturas arbóreas, así como (Tromble, 1988) para arbustos de pastizales áridos y semiáridos. En los procesos de modelación hidrológica, modelos como WetSpa cuentan con valores de intercepción máxima y mínima por determinada clase de cobertura (Verbeiren et al., 2016), al igual que en (UPV, 2011; URA, 2003) proporcionan valores argumentados bajo la experticia del modelador y la revisión de literatura para su asignación.

Los valores adoptados para las diferentes clases de cobertura se presentan en la *Tabla 21*, así como su respectiva distribución espacial (*Figura 25*) para efectos de la modelación hidrológica.

4.5. Parámetros Derivados de la Topografía

La distribución espacial de algunos parámetros del modelo hidrológico TETIS, especialmente los que se derivan de la topografía, son resultado de operaciones computacionales a partir de información base disponible. La calidad de la estimación de los parámetros calculados con base en la topografía del terreno depende principalmente de la calidad de la información topográfica de partida. En hidrología espacial, los MED permiten analizar de forma rápida los atributos topográficos en cuencas de gran tamaño (Zhang & Montgomery, 1994), además de su utilización para la derivación de redes de drenajes utilizando la información del gradiente local y la orientación para modelar patrones espaciales de dirección del flujo (O'Callaghan & Mark, 1984).

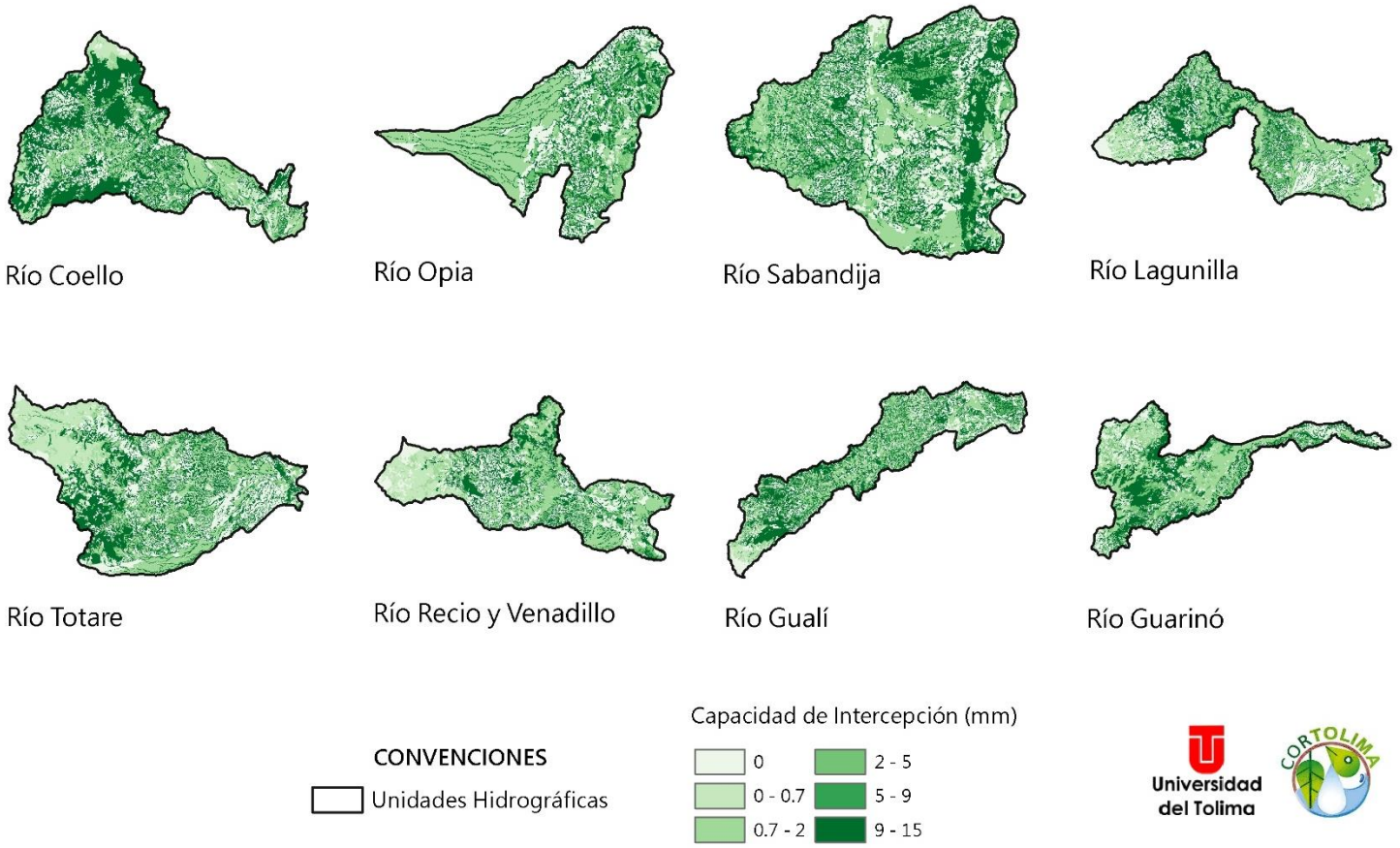
Estos MED en su forma original presentan múltiples errores limitando su utilidad en el modelado de rutas de flujo debido a depresiones topográficas y áreas planas, para lo cual se han desarrollado técnicas de control para su corrección mejorando los patrones de drenaje local (Barnes et al., 2014; Lindsay & Creed, 2005; Martz & Garbrecht, 1998; Planchon & Darboux, 2002; Yong-He et al., 2009).

Tabla 21. Valores de capacidad de intercepción máxima por tipo de cobertura

Cobertura	Capacidad de Intercepción (mm)
Tejido urbano continuo, zonas industriales o comerciales, red vial y obras hidráulicas	0
Tejido urbano discontinuo y construcciones rurales	0
Zonas de extracción minera y zonas verdes urbanas	0
Instalaciones recreativas	0
Otros cultivos transitorios	1
Cereales	1
Oleaginosas y leguminosas	1
Hortalizas	1
Tubérculos	1
Cultivos permanentes herbáceos	1
Cultivos permanentes arbustivos	1
Cultivos permanentes arbóreos	1
Cultivos agroforestales y confinados	5
Pastos limpios	0
Pastos arbolados	0
Pastos enmalezados	4
Mosaico de cultivos	5
Mosaico de pastos y cultivos	1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2
Mosaico de pastos con espacios naturales	0.5
Mosaico de cultivos con espacios naturales	1
Bosque denso y bosque abierto	15
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	15
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	15
Bosque de galería y ripario	15
Plantación forestal	9
Herbazal denso de tierra firme	0.3
Arracachal	1
Herbazal abierto	0
Arbustal denso	1
Arbustal abierto	0.75
Vegetación secundaria o en transición	4
Zonas arenosas naturales, tierras desnudas y degradadas, zonas quemadas	0
Afloramientos rocosos	0
Zonas glaciares y nivales	0
Humedales y zonas pantanosas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, Cuerpos de agua artificiales	0
Ríos	0
Canales	0

Fuente: (Helvey, 1967; Helvey & Patric, 1965; Tromble, 1988; UPV, 2011; URA, 2003; Verbeiren et al., 2016; Zinke, 1966)

Figura 25. Mapa de capacidad de intercepción por tipo de cobertura



Fuente: Presente proyecto

Otro problema asociado a los MED se presenta al no coincidir espacialmente la red de drenajes derivada con el mapa fotogramétrico, generalmente dispuesto como capa de hidrografía vectorial (Mizgalewicz & Maidment, 1996). A menudo, estas discrepancias son corregidas a través de rutinas de interpolación especializadas (Hutchinson, 1989) o con métodos conocidos como "*Streamburning*" (Saunders, 1999), del cual se ha abordado como método de corrección topográfica a partir del redireccionamiento de las líneas de flujo vectorizadas.

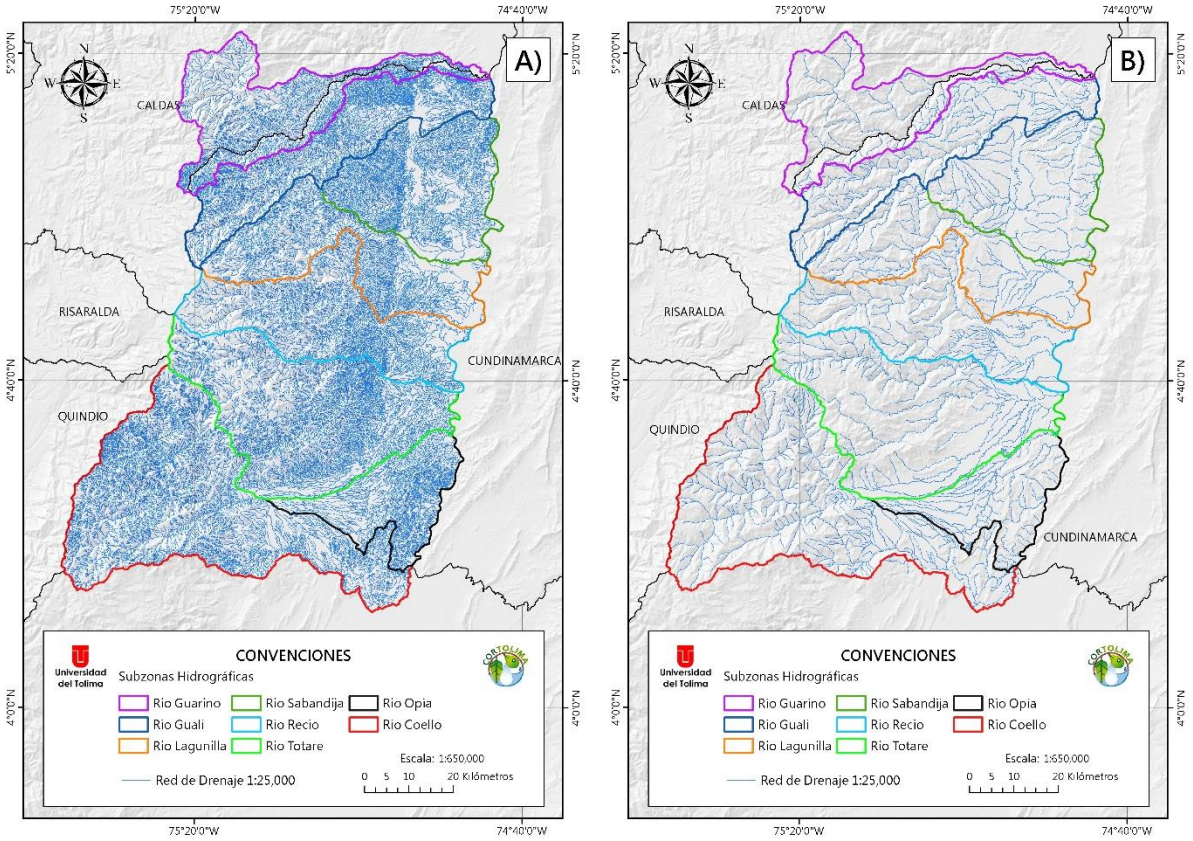
4.5.1. Streamburning: Quemado de Corrientes

El método de Streamburning o "Quemado de corrientes", es una técnica de control del flujo el cual ajusta los valores de elevación de las celdas del MED que coinciden con las características de la capa vectorial (Lindsay, 2016). Este es un proceso de tallado de la capa vectorial sobre la capa rasterizada del MED disminuyendo las elevaciones de cada celda o, por el contrario, aumentando las celdas vecinas de no flujo (Maidment & Saunders, 1996), permitiendo un redireccionamiento del drenaje local hacia los canales previamente tallados.

Para este proceso de tallado, se dispuso de una red de drenaje vectorial obtenida del Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Corporación a escala 1:25.000 con cobertura espacial a cada Subzona Hidrográfica a evaluar. Un aspecto importante es la edición cuidadosa de la capa vectorial ya que a menudo se presentan errores topológicos que dificultan disponer de características continuas las cuales se deberán eliminar o digitalizar. Es por ello por lo que se realizó un análisis topológico exhaustivo del vector eliminando posibles trenzados de arroyos; influencia de lagos y humedales; y cauces anchos con de doble orilla evitando posibles bucles en la red (Saunders, 1999).

Adicionalmente, dado el nivel de detalle de la capa de hidrografía mapeada, es conveniente eliminar drenajes de menor orden, minimizando el grado de error en el modelado de los patrones de drenaje (Lindsay, 2016). Estos errores comúnmente son ocasionados por la adyacencia de artefactos en las corrientes, colisiones de drenajes y cortes de un único enlace de flujo consigo mismo en meandros estrechos, provocando errores en la red de flujo rasterizada y en la dirección del flujo extraída del MED. Por lo anterior, se seleccionaron los drenajes de mayor orden correspondiente a corrientes principales de cada Subzona incluyendo tramos identificados, caracterizados y codificados por parte de CORTOLIMA, y CORPOCALDAS para el caso de la Subzona Hidrográfica del Río Guarinó por su condición de doble Jurisdicción (*Figura 26*).

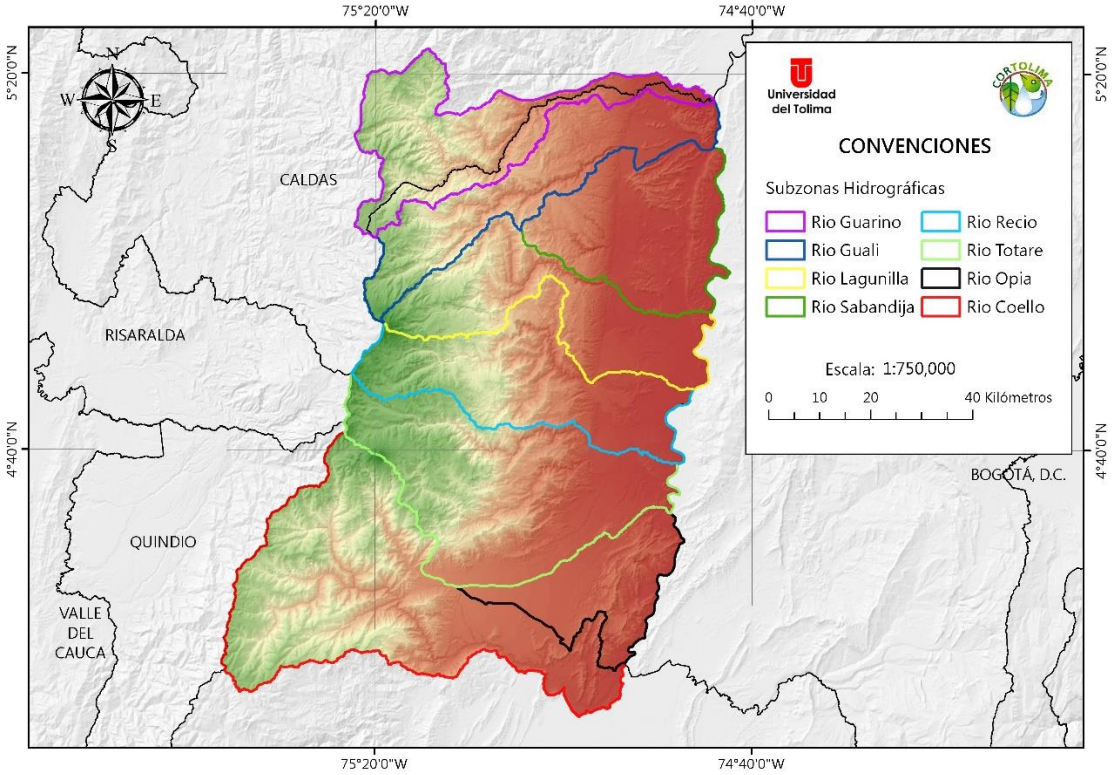
Figura 26. Red de Drenaje Vectorizada Empleada en el Proceso de Tallado



Fuente: Presente proyecto. A) Red de drenaje inicial disponible sobre el área de estudio. B) Red de drenaje resultante del proceso de de selección de corrientes principales y codificadas por parte de CORTOLIMA y CORPOCALDAS.

El proceso de corrección topográfica se realizó con base a MED disponibles en los repositorios de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) en su programa de datos científicos de la tierra (EARTHDATA – Powered by EOSDIS), misión Alos Palsar (ASF – Alaska Satellite Facility) con corrección radiométrica a una resolución de 12.5 m (*Figura 27*). El disponer de un MED de gran resolución favorece a menores adyacencias de flujos inadvertidos y colisiones de flujo, ya que la resolución de la cuadricula rasterizada de la capa vectorial de drenajes depende principalmente de la resolución del MED (Saunders, 1999). Esta adyacencia ocurre particularmente en corrientes separadas por distancias cortas, limitando al MED a representar espacialmente estas variaciones en las direcciones del flujo.

Figura 27. Modelo de Elevación Digital (MED)



Fuente: Presente proyecto

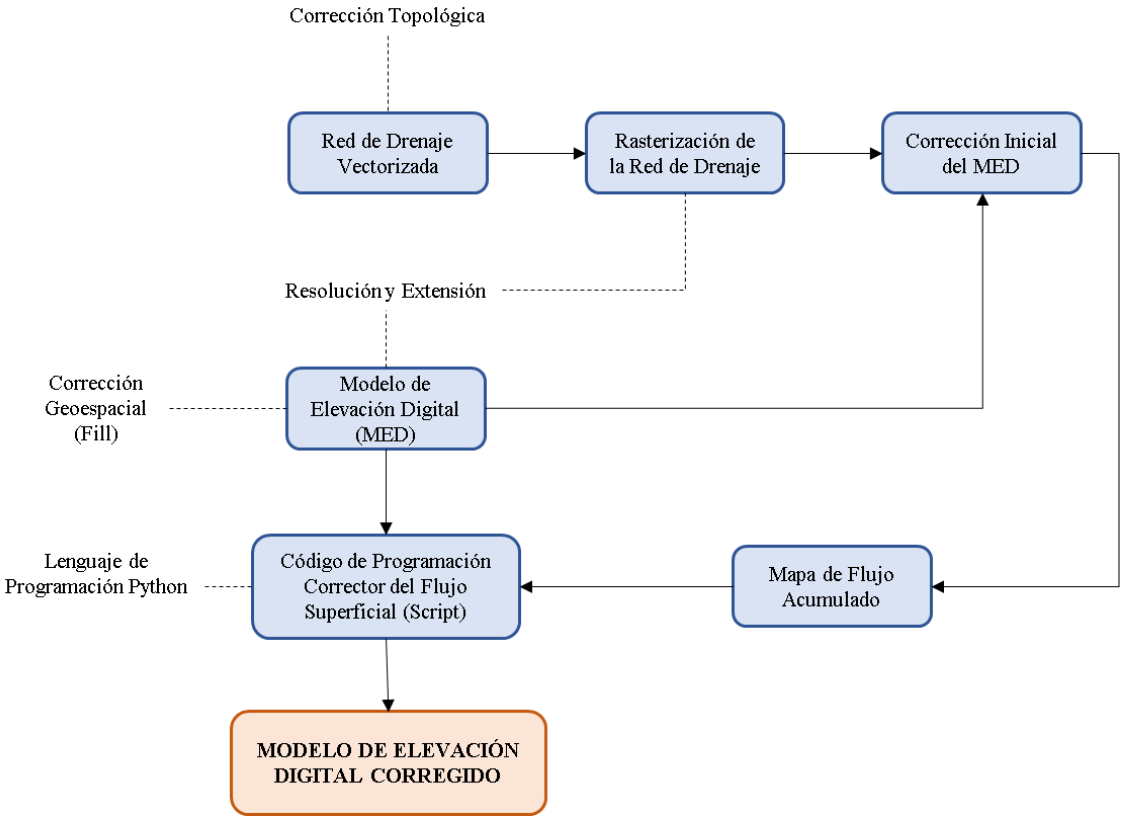
4.5.2. Corrección del Flujo Superficial

El proceso corrector del flujo superficial del MED a partir de la capa vectorial de la red de drenaje, requiere la implementación de múltiples herramientas geoespaciales y estadísticas disponibles en diferentes plataformas de procesamiento. Es por ello, que se desarrolló un flujo metodológico detallado ilustrado en la *Figura 28* representando cada procesamiento aplicado. Con la corrección topológica a la red de drenaje previamente descrita, se realiza una inspección a los valores de elevación del MED en busca de posibles depresiones topográficas y áreas planas que dificulten el modelado de las rutas de flujo. Para ello, se realizó una corrección al MED mediante el algoritmo expuesto en Planchon & Darboux (2002), disponible en los diferentes SIG.

La rasterización de la red de flujo digitalizada depende en gran medida de la resolución y extensión espacial del MED, garantizado así una modificación puntual de los valores de elevación, conservando el centro de celda y la extensión de la capa de procesamiento inicial. Con la rasterización, la información topológica contenida en la

capa de hidrografía vectorial se pierde, por lo que estas corrientes representan de forma booleana la existencia e inexistencia de la red de flujo, sin almacenar información de la conectividad entre cedas (Lindsay, 2016). Turcotte et al. (2001)expone la necesidad de incorporar un valor de identificador de enlace en lugar de una representación booleana.

Figura 28. Diagrama Metodológico para la Corrección del Flujo Superficial



Fuente: Presente proyecto

La capa de flujo acumulado derivada de los MED, proporcionan esa conectividad y priorización del flujo al determinar por acumulación el peso de todas las celdas que fluyen en dirección a una única celda pendiente descendente. Una alternativa de asignación de valores de flujo acumulado a la red rasterizada de drenajes es el forzamiento al MED provocado por una abrupta modificación de los valores de elevación a cada celda pareada definida por la red. Con esta modificación definida como "Corrección Inicial del MED", es posible generar un mapa de flujo acumulado forzado, que al parearlo espacialmente con la red rasterizada, permite la asignación de valores

de flujo, la conectividad entre celdas y la priorización del tallado durante el proceso de acondicionamiento del MED.

El implementar este tipo de correcciones, conlleva a diversos problemas vinculados. Uno de ellos es la asignación de los valores de elevación a compensar. Normalmente esta compensación está dada de forma constante previniendo que los valores de elevación para cada pixel que ocupa la red vectorial presenten elevaciones inferiores a la superficie circundante, obligando al flujo a redireccionarse. Estos valores a menudo son de gran magnitud, ocasionando cambios de elevación bruscos que alteran significativamente los atributos del terreno derivados del MED (Callow et al., 2007; Saunders, 1999; Turcotte et al., 2001). El método de compensación implementado es el de "*excavación normalizada*", basado en la metodología propuesta por Baker et al. (2006) asignando valores de elevación mínima dentro del vecindario local para cada celda ocupada por el drenaje vectorial y ejerciendo una pequeña reducción en la unidades de elevación para garantizar el desplazamiento del flujo (Lindsay, 2016).

El procesamiento y corrección del MED es ejecutado a través de un "Código de Programación Corrector del Flujo Superficial", desarrollado en lenguaje de programación Python 3, incorporando librerías para el importe de información espacial en formato matricial, fácilmente editable y exportable para su acople a los SIG (*Figura 29*). Como producto resultante del proceso de corrección se obtiene un MED con modificaciones en sus valores de elevación de acuerdo con la capa de hidrografía vectorial.

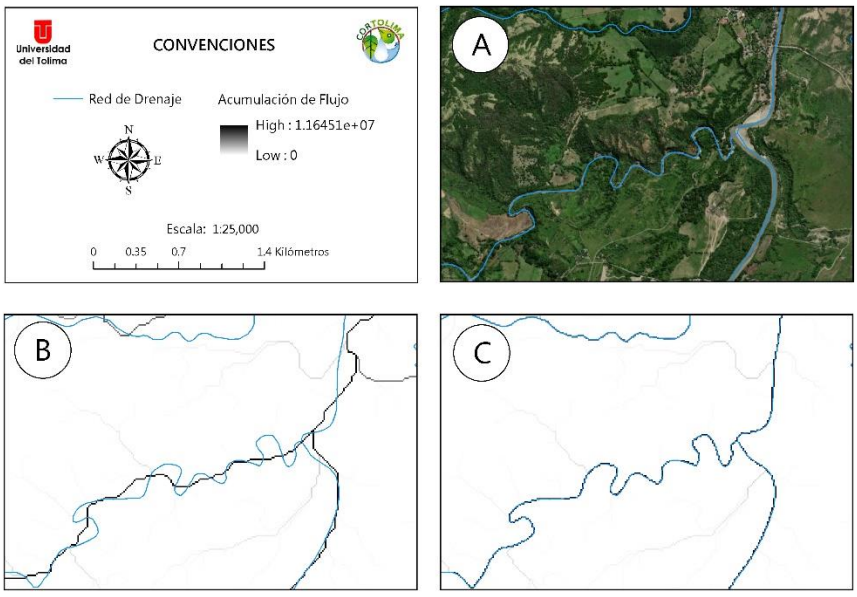
Implementado las correcciones sobre el MED, se obtienen direcciones de flujo más ajustadas y concordantes espacialmente con la red de hidrografía vectorial disponible (*Figura 30*). A menudo, el MED resultante del proceso corrector no es implementado en la caracterización morfométrica de las unidades hidrográficas evaluadas, por lo que optan por acoger el MED en su versión original. Lo anterior, es sustentado en las fuertes modificaciones que sufre los valores de elevación en el procesos de acondicionamiento, representando parámetros morfométricos sobre ajustados. Otros argumentos igualmente validos sobre el uso de lo MED corregidos, se basan en el grado de precisión vertical que presenta cada modelo, que en contraste con el rango de variaciones en la elevación provocada por el proceso corrector, no presentas diferencias significativas, por lo que estimar estos parámetros morfométricos a partir del MED corregido es técnicamente válido.

Figura 29. Código de Programación en Python 3 Desarrollado para la Corrección del Flujo

```
# Importe de librerías
from osgeo import gdal
import numpy as np
import pandas as pd
import time

# Carga raster MED formato en dataset
DEM = gdal.Open("Ruta Raster del MED")
gt = DEM.GetGeoTransform()
proj = DEM.GetProjection()
Band_DEM = DEM.GetRasterBand(1)
Array_DEM = Band_DEM.ReadAsArray()
del DEM, Band_DEM

# Carga raster Flujo Acumulado en dataset
DrenajeSIG = gdal.Open("Ruta del Raster de Flujo Acumulado")
Band_DrenajeSIG = DrenajeSIG.GetRasterBand(1)
Array_DrenajeSIG = Band_DrenajeSIG.ReadAsArray()
Array_DrenajeSIG = Array_DrenajeSIG.astype(int)
del DrenajeSIG, Band_DrenajeSIG

# Crea un np.array del DEM para su quemado
DEM_BurnStream = np.array(Array_DEM).astype(np.float64)

# Función que extrae los valores vecinos de las celdas a modificar
def prueba(matrix, ind):
    vecinos = np.array([[matrix[ind[0]-1, ind[1]-1]],[matrix[ind[0]-1, ind[1]]],
                        [matrix[ind[0]-1, ind[1]+1]],[matrix[ind[0], ind[1]-1]],
                        [matrix[ind[0], ind[1]+1]],[matrix[ind[0]+1, ind[1]-1]],
                        [matrix[ind[0]+1, ind[1]]],[matrix[ind[0]+1, ind[1]+1]]])
    return vecinos

# Definición de rango de valores de flujo acumulado a iterar
FlowAcum = 100
values_FA = Array_DrenajeSIG.ravel()
values_FlowAcum = values_FA[values_FA > FlowAcum]
set_values = sorted(set(values_FlowAcum))
del FlowAcum, values_FA, values_FlowAcum

# Proceso de quemado del DEM
start = time.time()
cont = 0
for i in set_values:
    indices = np.argwhere(Array_DrenajeSIG == i)
    serie_indice = pd.Series(indices.tolist())
    serie_vecinos = pd.Series(serie_indice.map(lambda x: prueba(DEM_BurnStream, x)))
    valmin = serie_vecinos.map(lambda y: min(y))
    DEM_BurnStream[indices[:,0], indices[:,1]] = valmin - 0.001
    cont = cont + 1
    print (str(cont) + " de " + str(len(set_values)))
end = time.time()
print(end - start)
del valmin, start, serie_vecinos, serie_indice, indices, i, end, set_values

# Crea un Backup del proceso y establece tipo de dato
Backup = np.array(DEM_BurnStream)
DEM_BurnStream = DEM_BurnStream.astype(np.int16)

# Crea una capa proyectada del DEM quemado para su importe al SIG
driver = gdal.GetDriverByName("GTiff")
driver.Register()
outds = driver.Create("DEM_BurnStream.tif", xsize = DEM_BurnStream.shape[1],
                      ysize = DEM_BurnStream.shape[0], bands = 1,
                      eType = gdal.GDT_Int16)
outds.SetGeoTransform(gt)
outds.SetProjection(proj)
outband = outds.GetRasterBand(1)
outband.WriteArray(DEM_BurnStream)
outband.SetNoDataValue(np.nan)
outband.FlushCache()
outband = None
outds = None
```

Fuente: Presente proyecto

Figura 30. Validación del proceso de corrección topográfica a través del mapa de acumulación de flujo resultante



Fuente: Presente proyecto. A) Confluencia del Río Coello sobre el Río Magdalena, verificación satelital del flujo, B) Flujo Acumulado derivado del MED en su versión original, C) Flujo Acumulado derivado del MED corregido.

4.5.3. Estimación de Parámetros Topográficos

Como resultado del proceso de corrección topográfica de los modelos de elevación digital (MED) a partir de la red de drenaje vectorial, se calcula los parámetros asociados a la topografía tales como: pendientes del terreno (%), direcciones de flujo, flujo acumulado y velocidad del flujo en ladera (m/s).

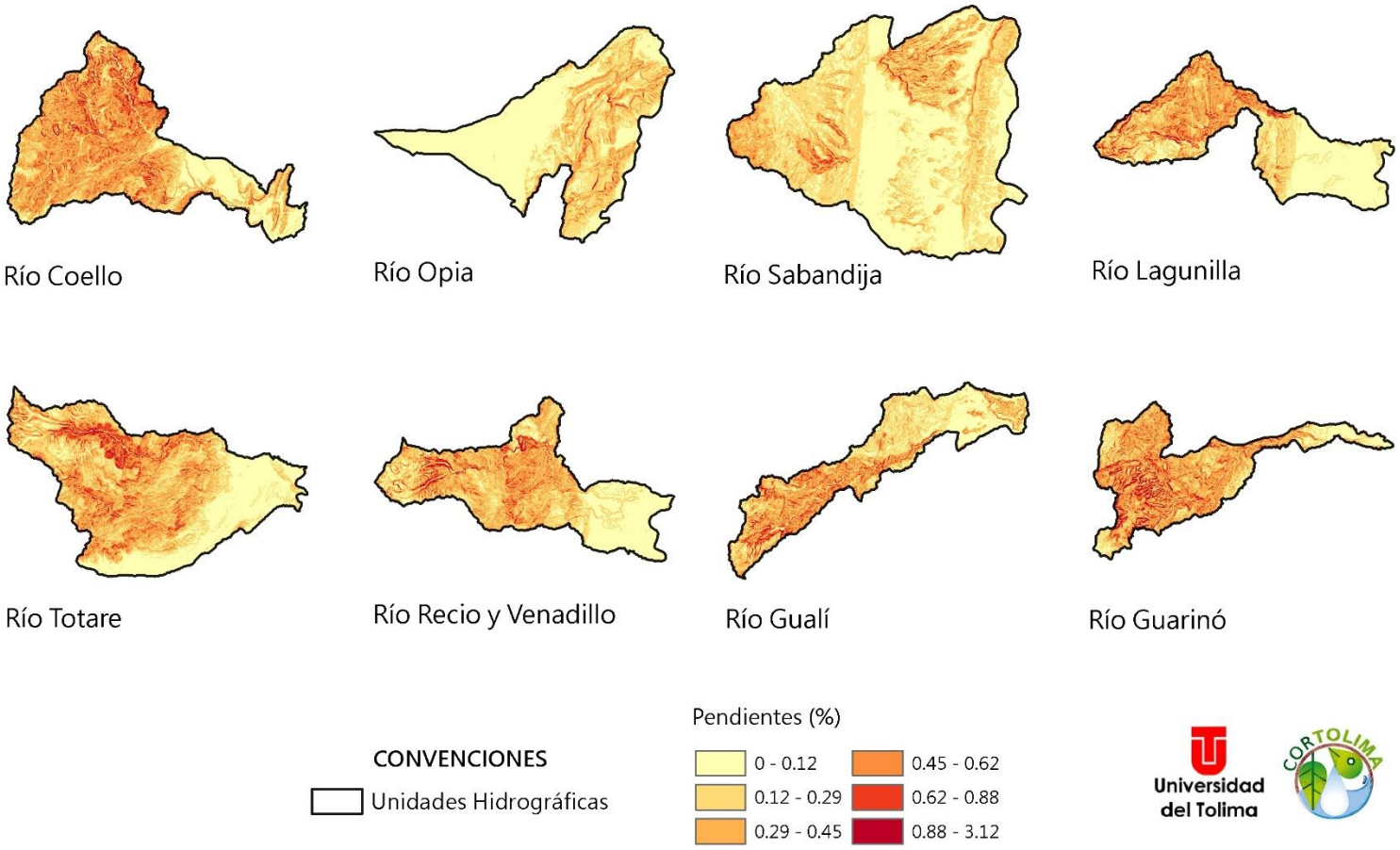
Para la estimación de la velocidad del flujo, se consideró la ecuación de desplazamiento del flujo laminar, el cual conceptualmente se convierte en flujo concentrado poco profundo después de determinada distancia (USACE, 2000). Esta ecuación integra la rugosidad de las coberturas para su aplicación de acuerdo con:

Ecuación 7

$$V = 4.9164 * \sqrt{S}\ para\ superficies\ permeables$$

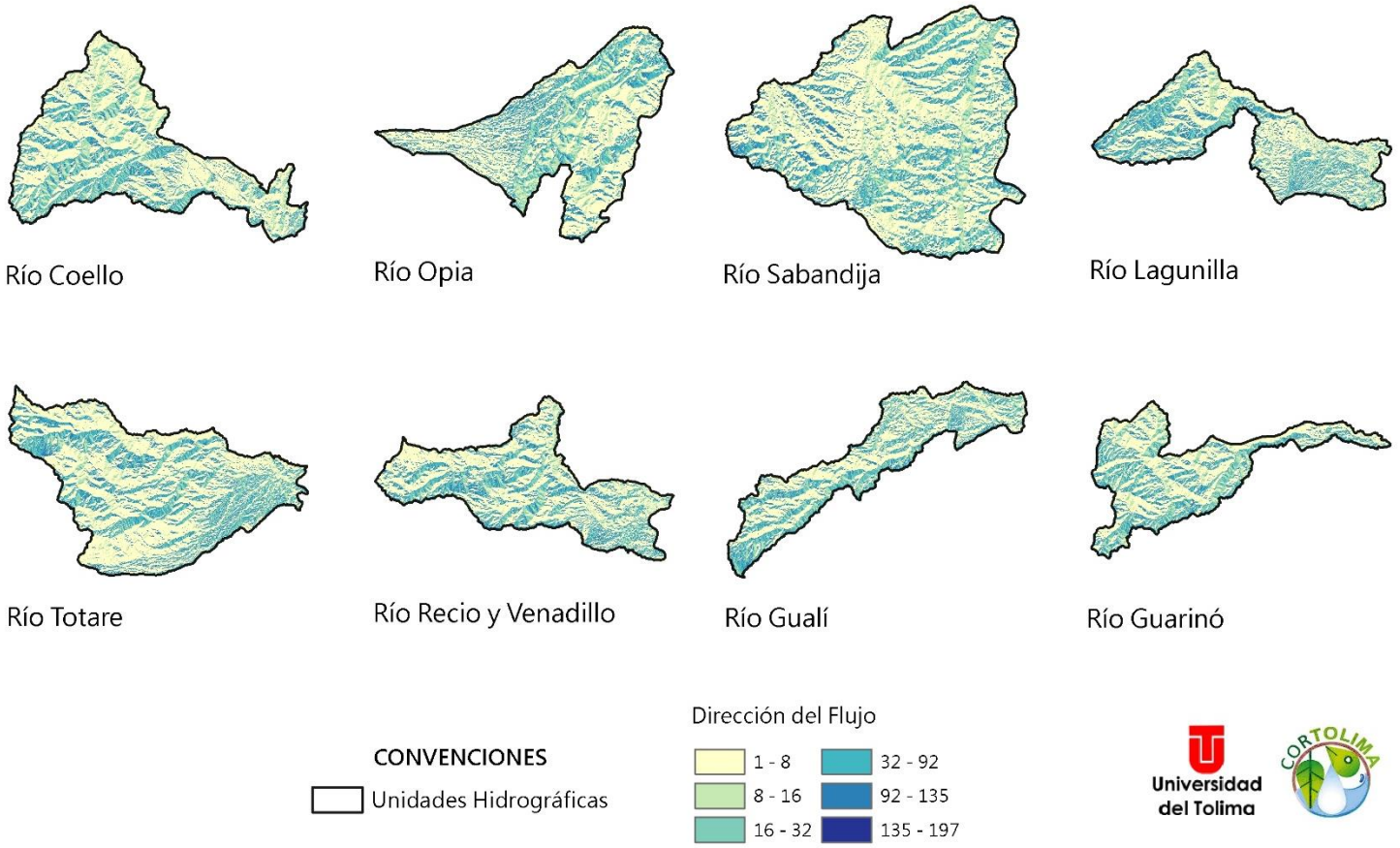
$$V = 6.1935 * \sqrt{S}\ para\ superficies\ impermeables$$

Figura 31. Mapa de pendientes (%) para las unidades hidrográficas de análisis



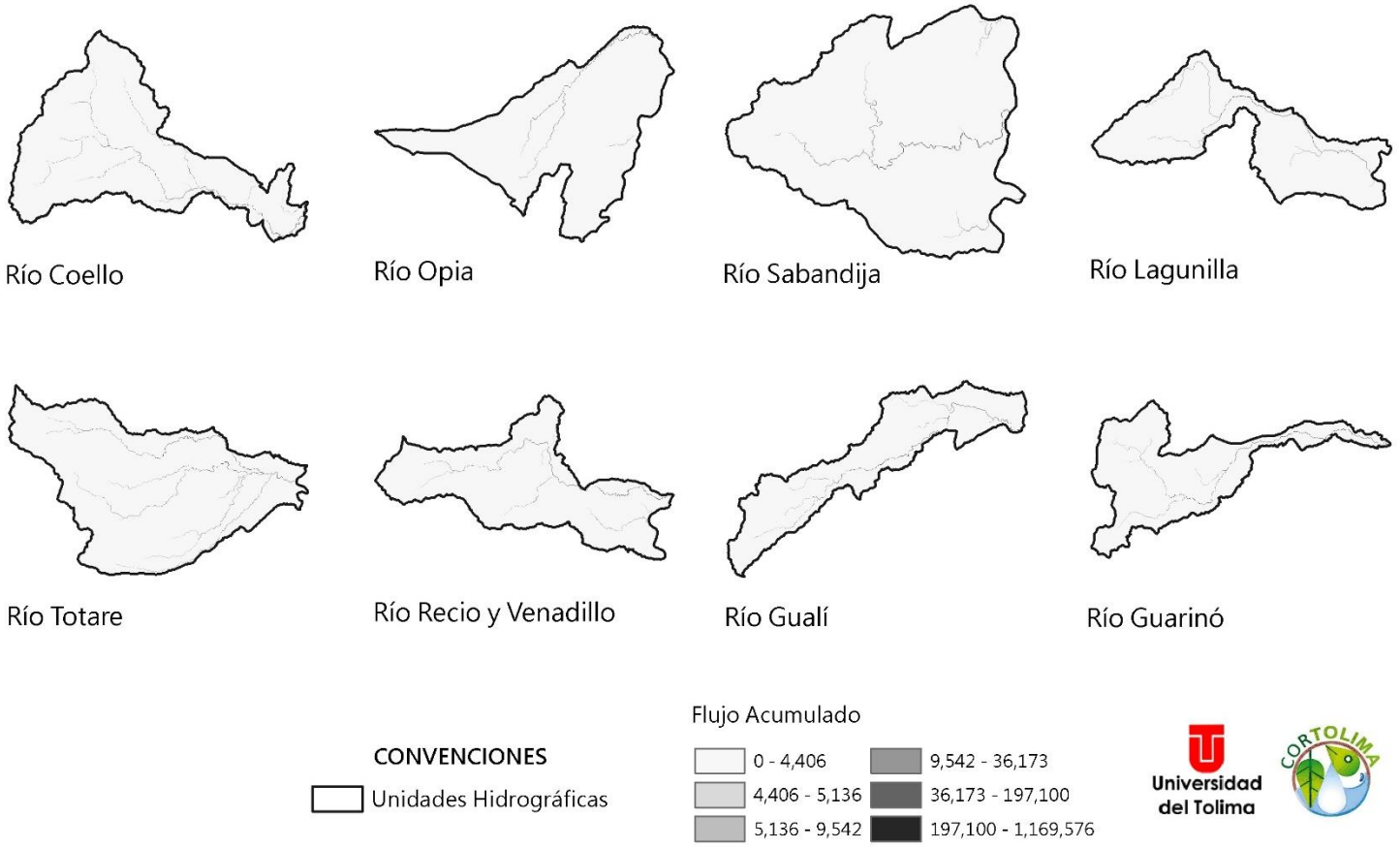
Fuente: Presente proyecto

Figura 32. Mapa de dirección del flujo para las unidades hidrográficas de análisis



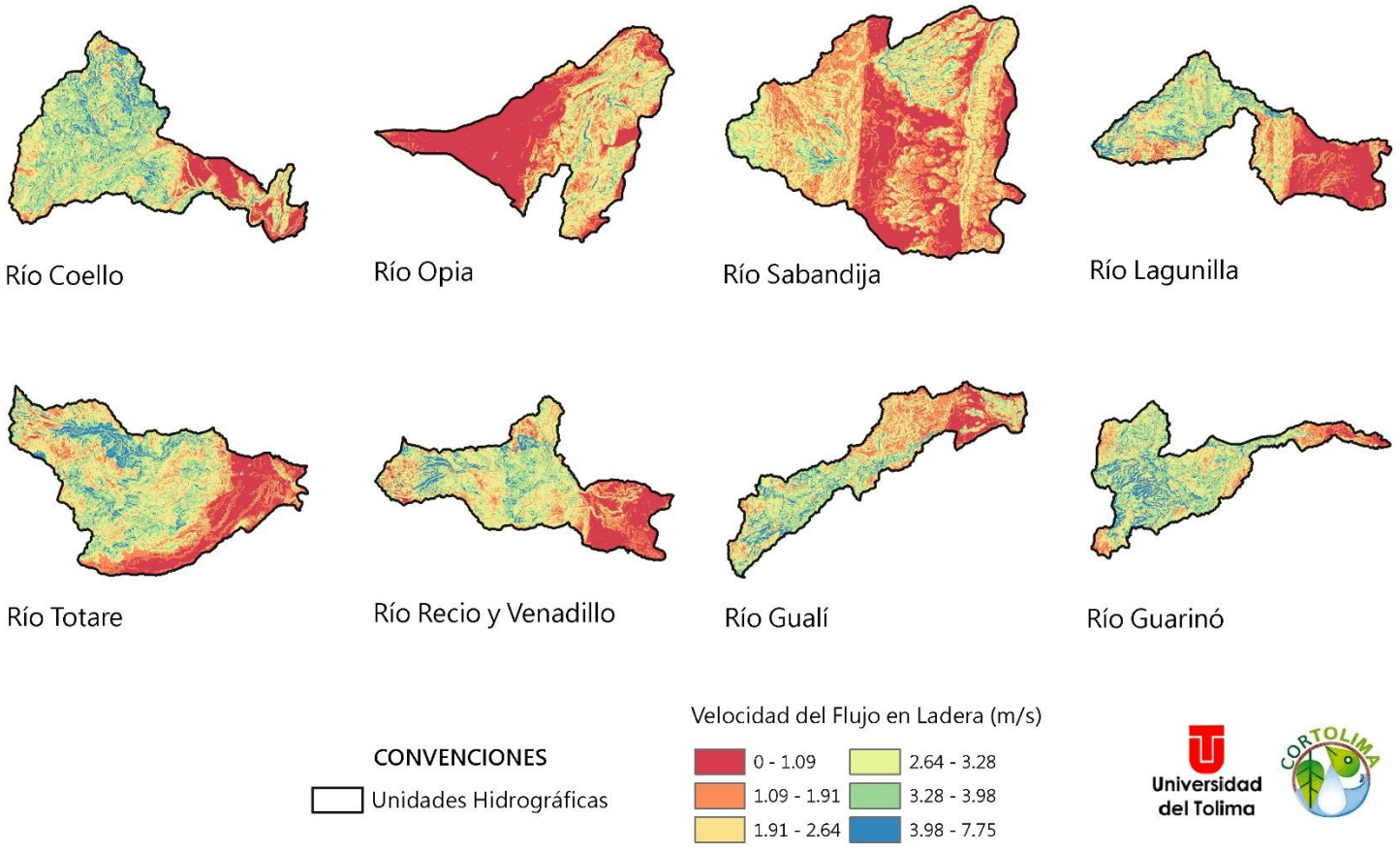
Fuente: Presente proyecto

Figura 33. Mapa de celdas acumuladas para las unidades hidrográficas de análisis



Fuente: Presente proyecto

Figura 34. Mapa de velocidad del flujo en ladera (m/s) para las unidades hidrográficas de análisis



Fuente: Presente proyecto

5. Calibración y Validación de los Modelos Hidrológicos

El método de calibración automático del modelo TETIS contempla una estructuración de parámetros a partir de factores correctores. Los factores correctores absorben los errores provenientes de todas las fuentes antes citadas. Es razonable suponer que el factor corrector sea común para todas las zonas de la cuenca, o al menos para un número limitado de regiones dentro de la cuenca. Además, siendo todas las celdas del mismo tamaño, los efectos de escala son iguales para toda la cuenca. La ecuación que describe la estructura separada del parámetro efectivo es la siguiente:

Ecuación 8

$$\theta^*_{i,j} = R_i \theta_{i,j}, \qquad j = 1,...,n \qquad i = 1,...,p$$

Donde:

$\theta^*_{i,j}$ es el parámetro efectivo *i*-enésimo para la celda *j*, *Ri* es el factor corrector del parámetro *i*, común para todas las celdas, $\theta_{i,j}$ es el parámetro estimado para la celda *j*, *n* es el número total de celdas y *p* es el número total de parámetros por celda.

La ventaja principal de esta estructura del parámetro es que, en la fase de calibración, se reduce notablemente el número de variables que deben ser ajustadas, siendo sólo necesario calibrar los p factores correctores, en vez de np valores (número de parámetros por número de celdas). De este modo, el modelo hidrológico TETIS fue calibrado a través del ajuste de 9 factores correctores (*Tabla 22*) en cada subzona hidrográfica. En cada modelo se utilizó un procedimiento de calibración automática empleando el algoritmo de optimización Shuffled Complex Evolution (SCE-UA), el cual fue implementado en el modelo TETIS por Vélez (2003). La calibración se realizó a escala diaria tomando como condiciones iniciales de humedad los valores simulados al final del periodo analizado.

Para verificar la eficiencia de los modelos, valorar su robustez en condiciones de simulación hidrológica y definir su potencial de aplicación para estimar la oferta hídrica, se calculó su desempeño en simulación en los periodos de calibración y validación respecto a los caudales medios diarios, medios mensuales y reproducción de métricas representativas de la curva de duración de caudales en el punto de salida de la unidad hidrográfica modelada. De acuerdo con la longitud y calidad de datos disponibles en cada subzona hidrográfica se definió una submuestra para calibrar el modelo y otra para validarlo. La calibración se realizó estableciendo el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe como función objetivo del

error de la respuesta hidrológica simulada, cuya ecuación se presenta en la *Tabla 23*.

Tabla 22. Factores correctores y los respectivos parámetros ajustados

Factor Corrector (R_i)	Parámetro $\theta^*_{i,j}$	Símbolo
FC1	Capacidad de almacenamiento estático	H_u
FC2	Índice de cobertura de vegetación	λ
FC3	Capacidad de infiltración	K_s
FC4	Velocidad del flujo superficial	U
FC5	Capacidad de percolación	K_p
FC6	Velocidad de interflujo	K_{ss}
FC7	Capacidad de percolación profunda	K_{ps}
FC8	Velocidad del flujo base	K_{sa}
FC9	Velocidad del flujo en canal	V

Para evaluar el desempeño global de los modelos en los periodos de calibración y validación, se utilizaron los siguientes índices: el sesgo relativo, el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), la raíz cuadrada del error cuadrático medio, el coeficiente de determinación, el índice de eficiencia de Kling-Gupta (KGE), y el porcentaje de sesgo en la pendiente del segmento medio de la curva de duración de caudales (CDC), cuyas expresiones y rangos de referencia se presentan en la Tabla 18. Además de estas métricas de evaluación, se calcularon los índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe, la Eficiencia de Kling-Gupta y el RMSE para los caudales característicos de la CDC entre Q20 y Q90, ya que estos caudales representan índices de flujo relacionados con la conectividad ecohidrológica transversal (Q20) y la conectividad ecohidrológica longitudinal (Q90).

Tabla 23. Criterios de evaluación del desempeño de los modelos hidrológicos

Criterio	Ecuación	Rangos de valoración
Sesgo relativo % (P-Bias)	$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs})}\right] * 100$	Satisfactorio: < 10% Bueno: 10 – 15% Aceptable: 15 – 25% Bajo desempeño: > 25%
Eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE)	$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y^{mean})^2}\right]$	Satisfactorio: 0,75 – 1,00 Bueno:0,65 – 0,75 Aceptable: 0,50 – 0,65 Bajo desempeño: < 0,5
Error cuadrático medio (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{n}}$	NA

Criterio	Ecuación	Rangos de valoración
Coeficiente de correlación (R)	$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{sim} - Y_{mean}^{sim}) * (Y_i^{sim} - Y_{mean}^{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i^{obs} - Y_{mean}^{obs})^2 * \sum_{i=1}^{n}(Y_i^{sim} - Y_{mean}^{sim})^2}}$	Satisfactorio: 0,75 – 1,00 Bueno: 0,65 – 0,75 Aceptable: 0,50 – 0,65 Bajo desempeño: < 0,5
Sesgo en la pendiente del segmento medio de la CDC	$\%BiasFMS = \left\lvert \frac{[log(QS_{0.2}) - log(QS_{0.7})] - [log(QO_{0.2}) - log(QO_{0.7})]}{[log(QO_{0.2}) - log(QO_{0.7})]} \right\rvert \cdot 100$	Satisfactorio: < 10% Bueno: 10 – 15% Aceptable: 15 – 25% Bajo desempeño: > 25%
Eficiencia de Kling–Gupta (KGE)	$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2}$	Satisfactorio: >0,75 Bueno: 0,5 – 0,75 Aceptable: 0 – 0,5 Bajo desempeño: < 0
Error en Volumen (%)	$E_Vol = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(V_i^{obs} - V_i^{sim})}{\sum_{i=1}^{n}(V_i^{obs})}\right] * 100$	Satisfactorio: < 10% Bueno: 10 – 15% Aceptable: 15 – 25% Bajo desempeño: > 25%

Una vez realizado todo el procedimiento de estimación de los parámetros de modelación y restituidos los caudales al régimen natural a partir de la información de las diferentes conexiones hidráulicas dispuestas sobre las subzonas hidrográficas objeto de evaluación, se procedió a seleccionar los periodos de calibración, validación, y realización de la calibración, validación y evaluación de cada modelo hidrológico, cuyos resultados se presentan para cada uno en las siguientes subsecciones del documento y en el Anexo digital "Modelos Hidrológicos" se encuentran los ocho proyectos de modelación incluyendo los resultados de calibración, validación y las simulaciones de oferta hídrica diaria para el periodo comprendido entre el 01-01-1990 al 31-12-2021.

5.1. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Coello

El periodo de calibración seleccionado está comprendido entre el 01-01-2008 al 31-08-2011 en la estación Payandé (21217070), y el periodo de validación se estableció entre el 01-08-2005 y el 28-02-2007 (*Figura 35*). En la escala diaria se obtuvo un desempeño aceptable en calibración y bajo en validación según el NSE, aceptable en ambas condiciones según el KGE, y satisfactorio según el sesgo relativo (*Tabla 24*). En relación con la representación de la curva de duración de caudales se encontró una eficiencia satisfactoria en el modelo en ambos periodos de evaluación según las métricas NSE y KGE. Al observar el rendimiento del modelo en validación para la escala mensual se encontró un ajuste satisfactorio con índices NSE y KGE de 0.73 y 0.76 respectivamente, lo cual indica que el modelo logra representar de forma satisfactoria el comportamiento de la oferta hídrica para los caudales medios y los índices de distribución de caudales que ocurren durante el 60% del tiempo, rango de valores de caudal (Q20 y Q90) que es de principal interés en perspectiva de la evaluación de los recursos hídricos en el marco de la Evaluación Regional del Agua.

Los rasgos del hidrograma que el modelo no logra representar de forma satisfactoria corresponden a los caudales máximos extraordinarios, lo cual es atribuible a que en ese tipo de eventos extremos las variaciones cinemáticas del flujo ocurren en una escala temporal (horaria o minutal) inferior a la escala de simulación del modelo (diaria), además, un refinamiento en la eficiencia del modelo requeriría generar información espacial de suelos y geología más detallados no solo en el plano geográfico horizontal sino también en el vertical, así como estudios específicos de conexión hidráulica entre los sistemas acuíferos y el cuerpo de agua superficial modelado.

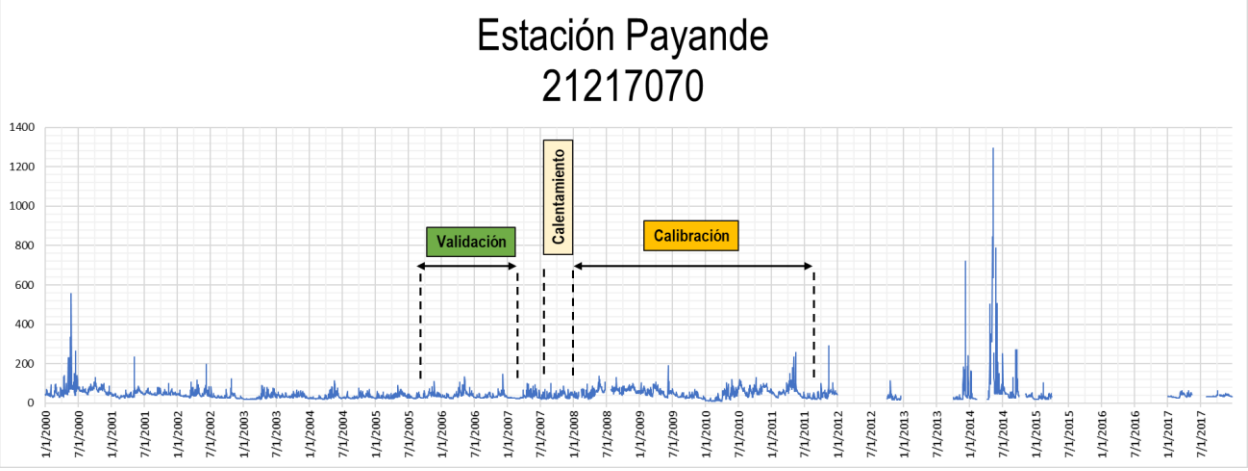
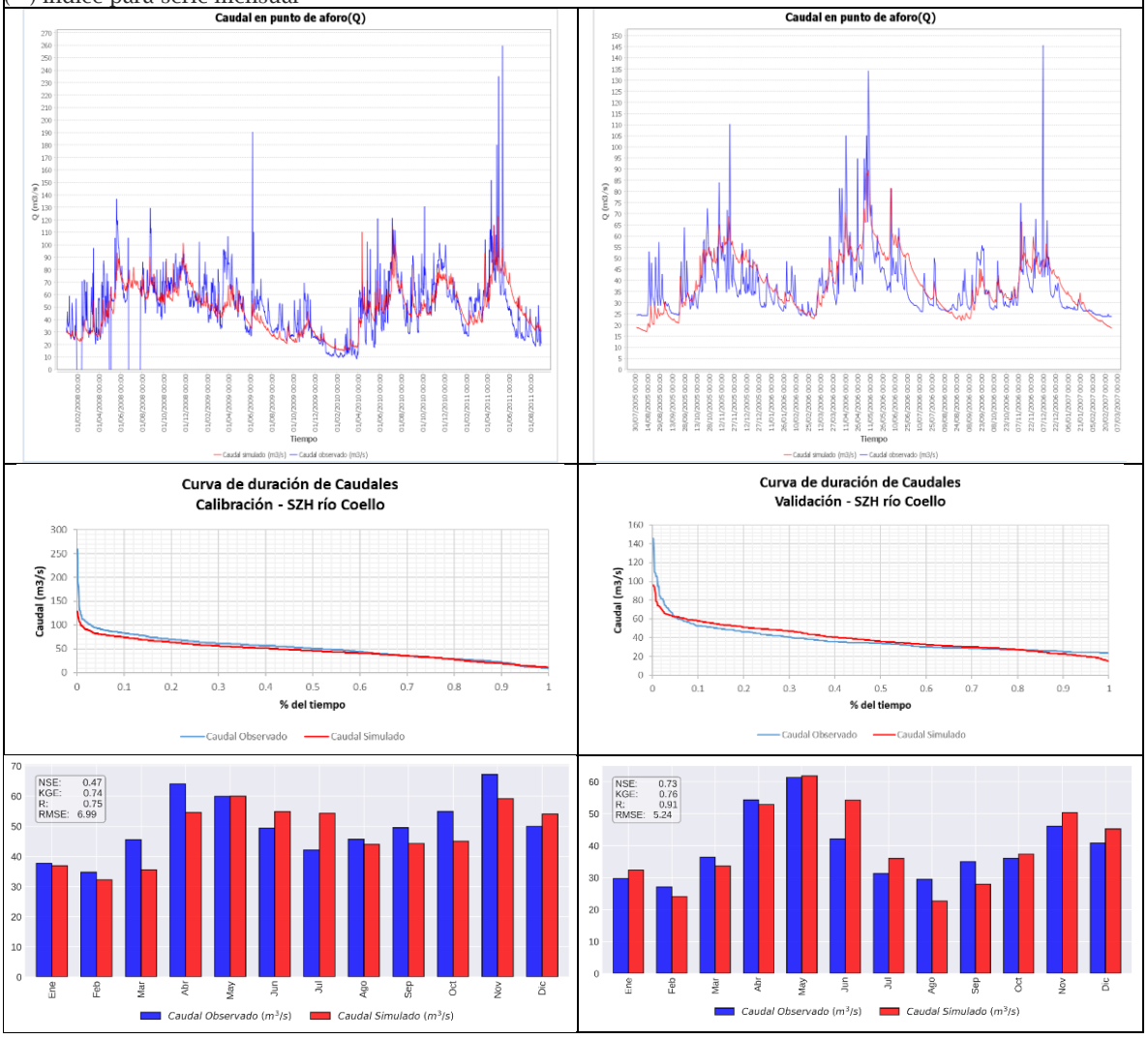


Figura 35. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21217070

Tabla 24. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Coello

CALIBRACIÓN				VALIDACIÓN			
01-01-2008 a 31-08-2011				01-08-2005 a 28-02-2007			
PBIAS	8.31			PBIAS	0.69		
NSE	0.53	0.88*	0.47**	NSE	0.45	0.84*	0.73**
RMSE	17.29	3.84*	6.99**	RMSE	10.85	3.32*	5.24**
KGE	0.54	0.79*	0.74**	KGE	0.69	0.68*	0.76**
Bias-FMS	16.01			Bias-FMS	10.02		
Error en Vol	-8.32			Error en Vol	-0.696		
R	0.64			R	0.7		

(*) índice para $CDC_{Q20-Q90}$
(**) índice para serie mensual



5.2. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Opia

El periodo de calibración se definió entre el 01-01-2010 y el 31-12-2010 en la estación Piedras (21227010), y el periodo de validación se estableció entre el 01-01-2008 y el 31-12-2008 (Figura 36), se seleccionaron ambos periodos de un año cada uno dada la poca disponibilidad de información hidrológica consistente en esta subzona hidrográfica. Para el caso de la escala diaria se obtuvo un rendimiento bajo del modelo en calibración y en validación según el NSE, aceptable en ambas condiciones según el KGE, y satisfactorio según el sesgo relativo (Tabla 25). Al observar las métricas que definen el grado de representación que hace el modelo de la curva de duración de caudales, se encontró una eficiencia satisfactoria en ambos periodos de evaluación según el NSE y buena según la métrica KGE (0.73 y 0.66). En la escala mensual se encontró un ajuste satisfactorio con índices NSE y KGE de 0.87 y 0.93 respectivamente en el periodo de calibración. Sin embargo, para el periodo de validación su ajuste es bajo con respecto al NSE (0.2) y bueno según KGE (0.62), a pesar de esta reducción en su rendimiento para esta submuestra, el sesgo relativo se mantiene por debajo de un 10% demostrando la estabilidad temporal del error en el modelo y aplicable en simulación de recursos hídricos en el marco de la Evaluación Regional del Agua.

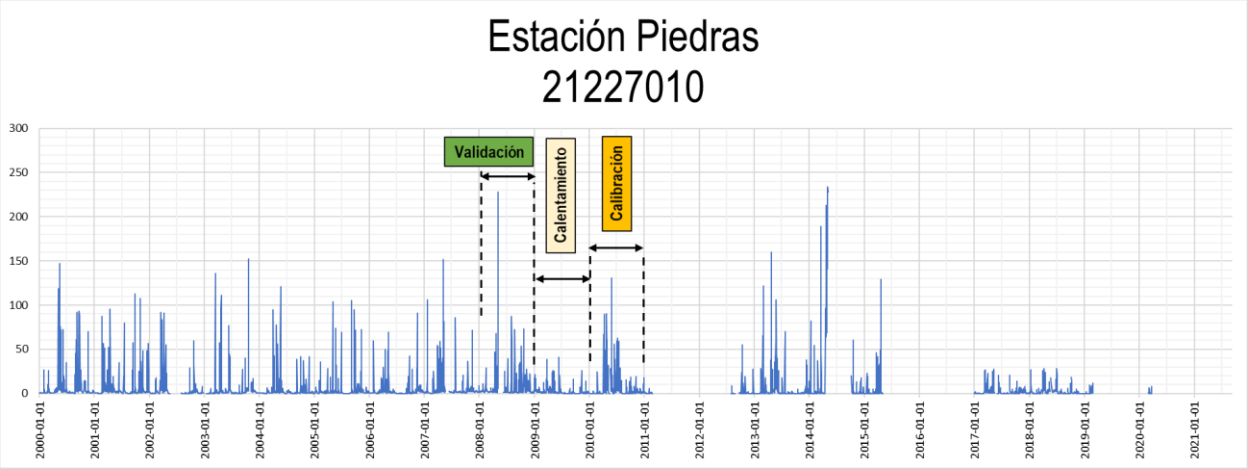


Figura 36. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21227010

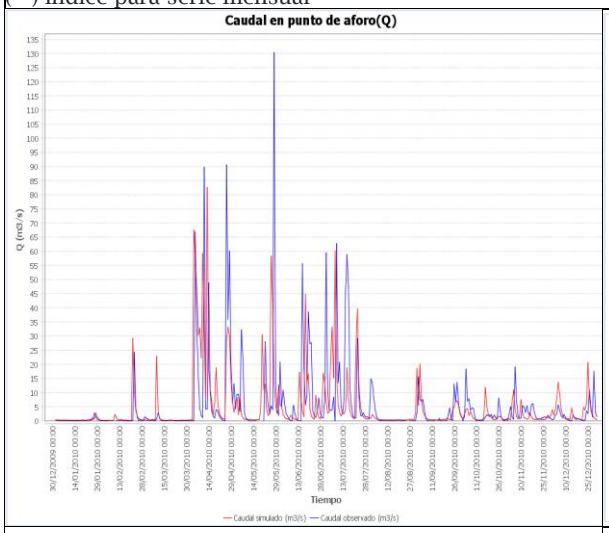
Un aspecto que contribuiría sustancialmente a mejorar el rendimiento del modelo en futuros estudios hidrológicos es fortalecer y repotenciar el monitoreo continuo sobre las estructuras hidráulicas del cauce principal del río Opia, para involucrar el efecto de la variabilidad temporal de los caudales que se trasiegan y se distribuyen desde los volúmenes trasvasados del río Combeima y los sobrantes

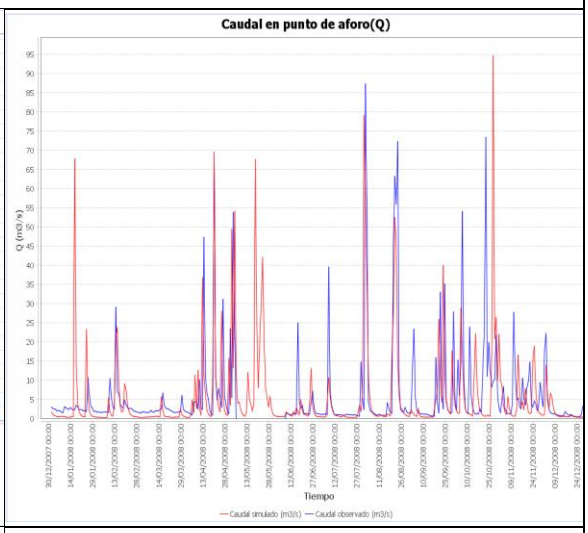
que ingresan desde el río Chipalo, ya que en la actualidad no se encuentran monitoreados de forma sistemática.

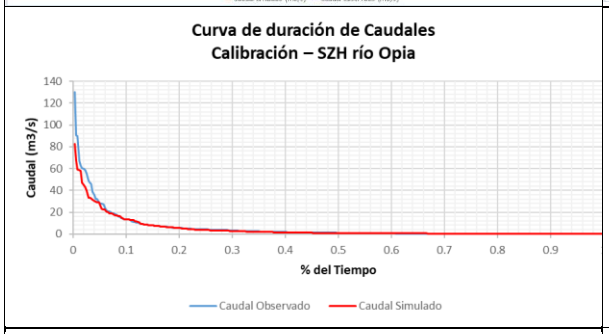
Tabla 25. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Opia

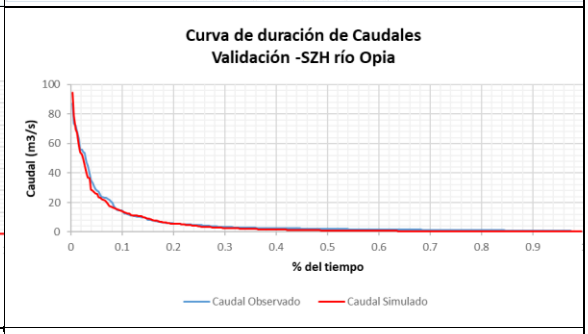
CALIBRACIÓN				VALIDACIÓN			
01-01-2010 a 31-12-2010				01-01-2008 a 31-12-2008			
PBIAS	7.90			PBIAS	9.05		
NSE	-0.02	0.89*	0.87**	NSE	-0.08	0.79*	0.2**
RMSE	14.09	0.39*	1.97**	RMSE	12.54	0.59*	3.53**
KGE	0.31	0.73*	0.93**	KGE	0.39	0.66*	0.62**
Bias-FMS	54.0			Bias-FMS	44.6		
Error en Vol	-13.09			Error en Vol	-13.66		
R	0.34			R	0.4		

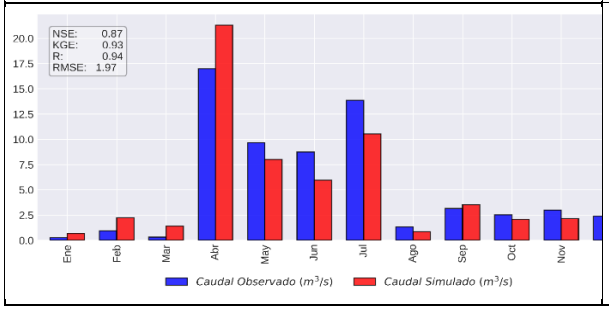
(*) índice para $CDC_{Q20-Q90}$
(**) índice para serie mensual

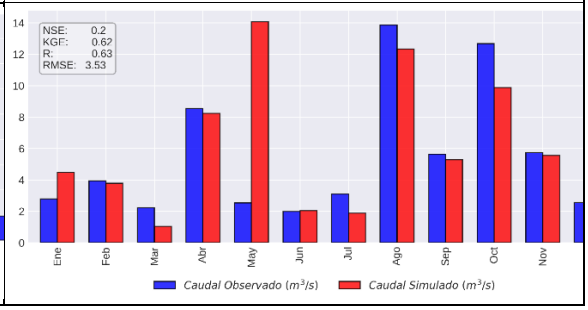












5.3. Calibración: Modelo Hidrológico del río Totare

La serie de datos histórica disponible para implementar el modelo hidrológico en esta subzona hidrográfica es deficiente en cuanto a la extensión temporal y calidad de los datos, ya que se observan comportamientos inusuales con periodos de caudales constantes y cambios abruptos de magnitud de caudal injustificados desde un punto de vista hidrológico. A pesar de ello, se logró seleccionar un periodo de calibración aceptable entre el 01-02-2007 y el 31-02-2008 en la estación Bocatoma (21247050), sin ser posible definir un periodo de validación (Figura 37). Como resultado de la calibración realizada, se encontró que en la escala diaria el desempeño del modelo es aceptable según el NSE, el KGE y el sesgo relativo (Tabla 26), al obtener valores de 0.57, 0.27 y 15.73% respectivamente. En cuanto al grado de representación que hace el modelo de la curva de duración de caudales, se obtuvo un rendimiento satisfactorio con las métricas NSE, KGE y sesgo de la pendiente del segmento medio de la CDC (0.66, 0.8 y 5.11% respectivamente). Por otro lado, en la escala mensual el ajuste fue bueno según el índice NSE (0.55) y satisfactorio según el KGE (0.76). Como se observa en estos resultados, la relativa coincidencia encontrada entre las métricas evaluadas hacia una clasificación del ajuste como bueno y satisfactorio en la mayoría de ellas, permite concluir que el modelo es aplicable en simulación para la Evaluación Regional del Agua.

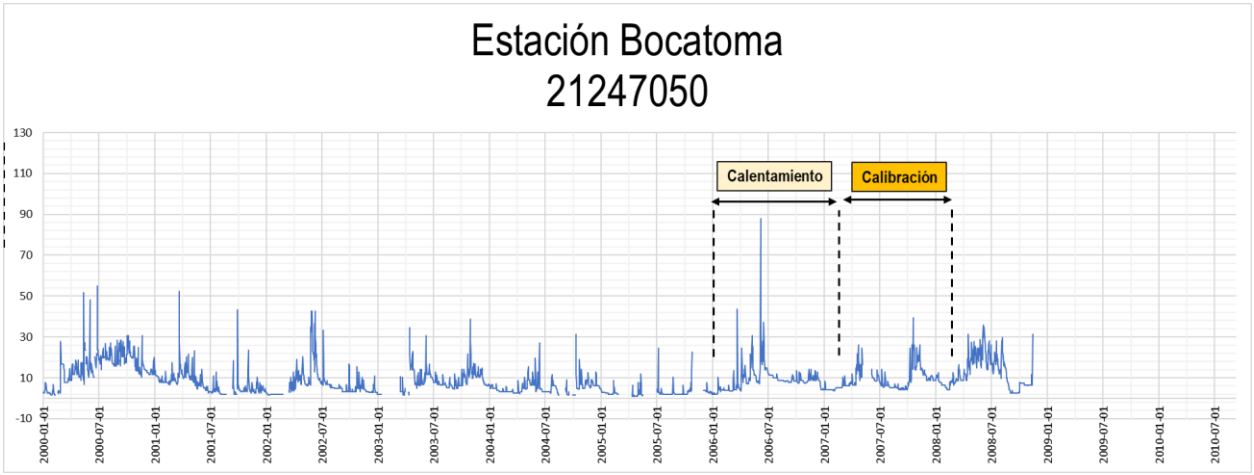


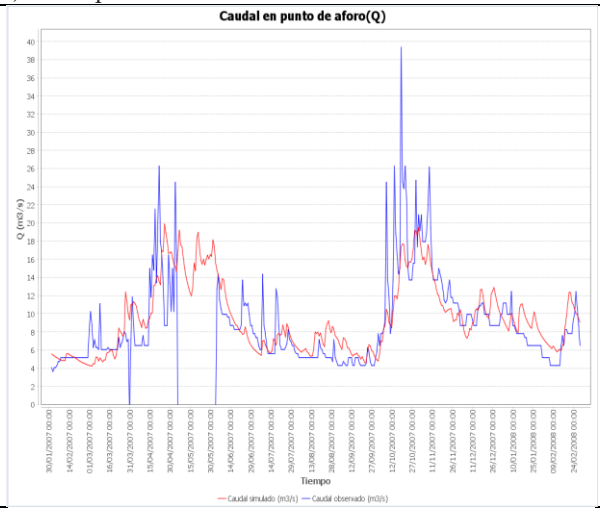
Figura 37. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21247050

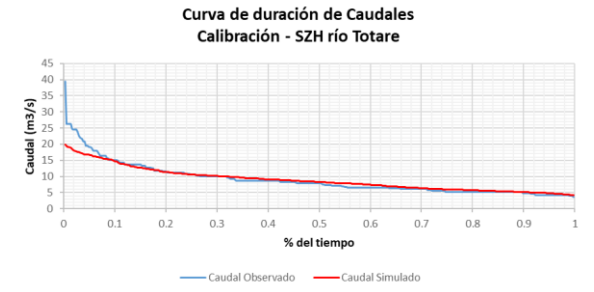
Como se evidencia en el documento "Diseño de Red Hidroclimatológica", la subzona hidrográfica que requiere mayor inversión en monitoreo hidrométrico es la del río Totare, ya para mejorar el conocimiento de su régimen hidrológico y el rendimiento del modelo hidrológico resulta imprescindible el monitoreo sistemático de niveles y caudales en sus principales afluentes (río La China, río Alvarado, y río Chipalo).

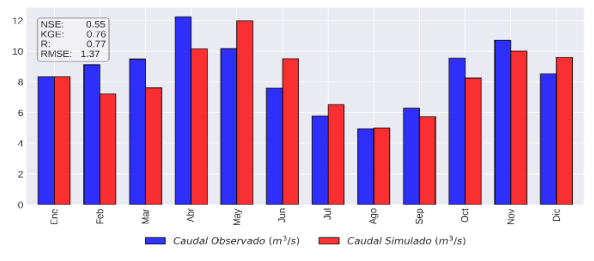
Tabla 26. Métricas de rendimiento del modelo en calibración SZH Totare

CALIBRACIÓN			
01-02-2007 a 31-02-2008			
PBIAS	15.73		
NSE	0.579	0.66*	0.55**
RMSE	3.14	0.97*	1.37**
KGE	0.27	0.80*	0.76**
Bias-FMS	5.11		
Error en Vol	0.241		
R	0.49		

(*) índice para CDCQ20-Q90
(**) índice para serie mensual







5.4. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico ríos Recio-Venadillo

La estación que cumple las condiciones para calibrar y validar el modelo hidrológico de la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo se denomina La

Nueva (21257100), en la cual se selección el periodo entre el 01-07-2011 y el 31-12-2013 para calibración y el periodo entre 01-08-2007 y 31-12-2008 para validación (Figura 38). En la escala diaria el desempeño del modelo calibrado es bajo según el NSE y bueno según el KGE y el sesgo relativo (Tabla 27), reportándose valores de 0.357, 0.65 y 10.5% respectivamente, esta valoración de su comportamiento se mantiene para el periodo de validación. A su vez, el modelo presenta un rendimiento aceptable (según NSE y sesgo relativo), bueno (según KGE) y satisfactorio (según el sesgo de la pendiente del segmento medio de la CDC) para la curva de duración de caudales en calibración. Para el periodo de validación, su desempeño se reduce a bajo según NSE y el Bias-FMS, pero se mantiene como satisfactorio en relación con la métrica KGE. Por otro lado, en la escala mensual el ajuste fue aceptable y bajo según el índice NSE pero satisfactorio y bueno según el KGE (0.76). Considerando que el ajuste tiende a ser clasificado como "bueno" según la mayoría de los índices evaluados y el modelo es capaz de representar con un buen desempeño los volúmenes de escorrentía, se concluye que es aplicable para estimar la oferta hídrica.

Para refinar el rendimiento obtenido con el modelo hidrológico, es recomendable fortalecer la instrumentación meteorológica en su parte alta, media y baja, con la ubicación de al menos tres (3) estaciones como se indica en el documento "Diseño de red hidrometeorológica". Dada la necesidad de mejorar el monitoreo de los aportes de caudal en la parte media y baja del río Venadillo, es prioritario establecer un monitoreo hidrométrico sistemático en su cauce principal.

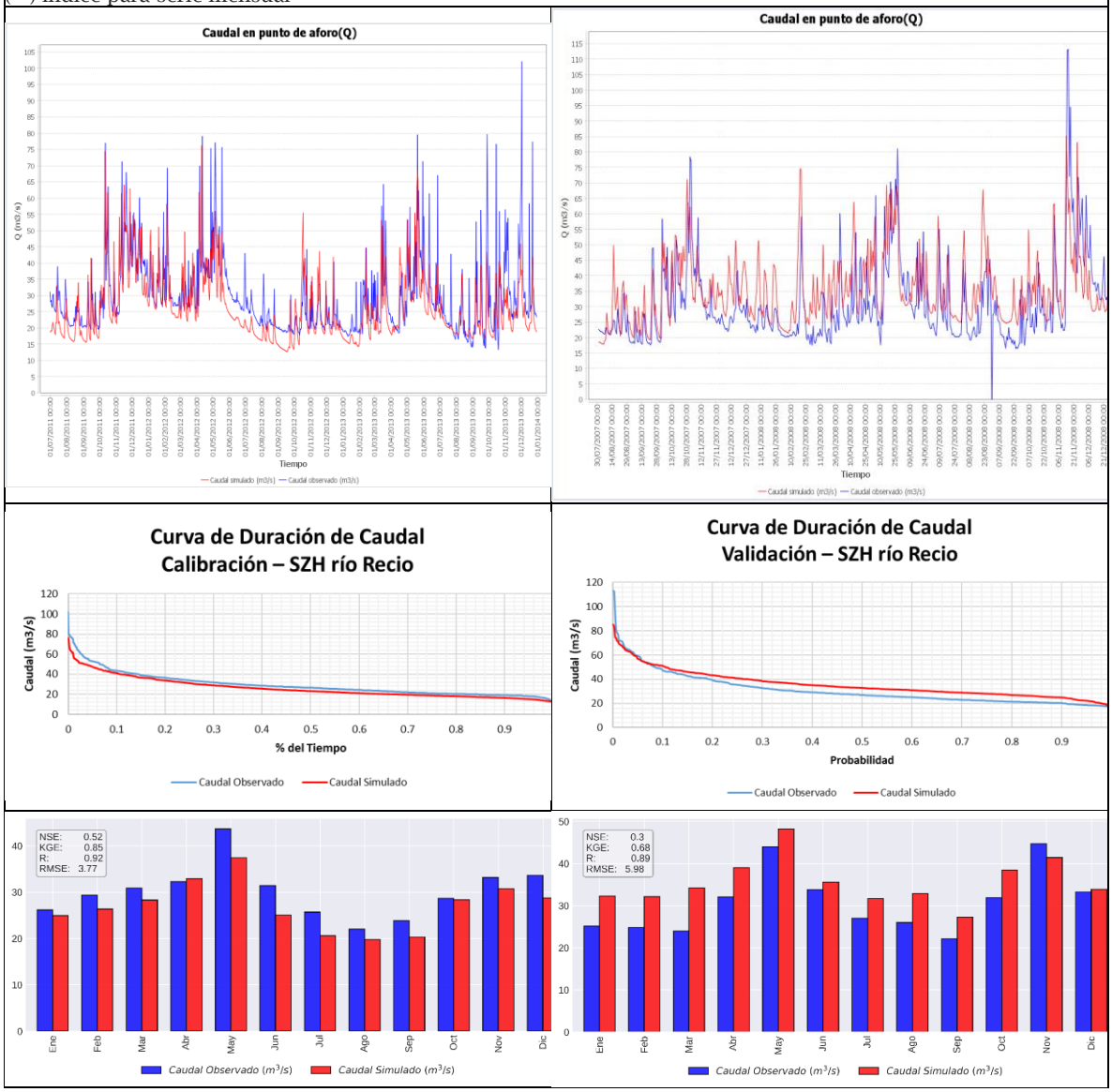
Figura 38. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21257100

Tabla 27. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Recio-Venadillo

CALIBRACIÓN	VALIDACIÓN
01-07-2011 a 31-12-2013	01-08-2007 a 31-12-2008

PBIAS	10.5			PBIAS	13.96		
NSE	0.357	0.60*	0.52**	NSE	0.253	-0.34*	0.3**
RMSE	9.24	2.85*	3.77**	RMSE	11.50	5.64*	5.98**
KGE	0.65	0.87*	0.85**	KGE	0.57	0.82*	0.68**
Bias-FMS	7.18			Bias-FMS	24.13		
Error en Vol	-10.98			Error en Vol	13.96		
R	0.68			R	0.63		

(*) índice para $CDC_{Q20\text{-}Q90}$
(**) índice para serie mensual



5.5. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Lagunilla

El periodo de calibración está definido entre el 01-03-2010 y el 31-08-2011 y el de validación entre el 01-01-2008 a 31-08-2009 (*Figura 39*), que corresponde con el periodo más consistente con el patrón de lluvia histórica observado en la curva de

doble masa. El modelo calibrado presenta un rendimiento aceptable según la métrica NSE, bueno según el índice KGE, y satisfactorio según los valores de sesgo relativo y Bias-FMS (valores de 0.51, 0.68, 4.8% y 5.01% respectivamente), dicha clasificación tiende a mantenerse con el evento de validación (*Tabla 28*). En cuanto a su rendimiento para representar la curva de duración de caudales se evalúa como satisfactorio tanto en calibración como en validación para las métricas NSE, KGE y Bias-FMS, con valores de 0.79 y 0.93 para NSE, 0.79 y 0.86 para KGE, y 5.01% y 2.37% para Bias-FMS en calibración y validación respectivamente. En la escala mensual, el ajuste fue satisfactorio con ambas submuestras, con valores de NSE = 0.82 y KGE = 0.87 en calibración, y valores de NSE = 0.76 y KGE = 0.77 en validación. Debido a estos resultados, destacando la estabilidad del error entre submuestras se considera que el ajuste del modelo es satisfactorio para la simulación de la oferta hídrica.

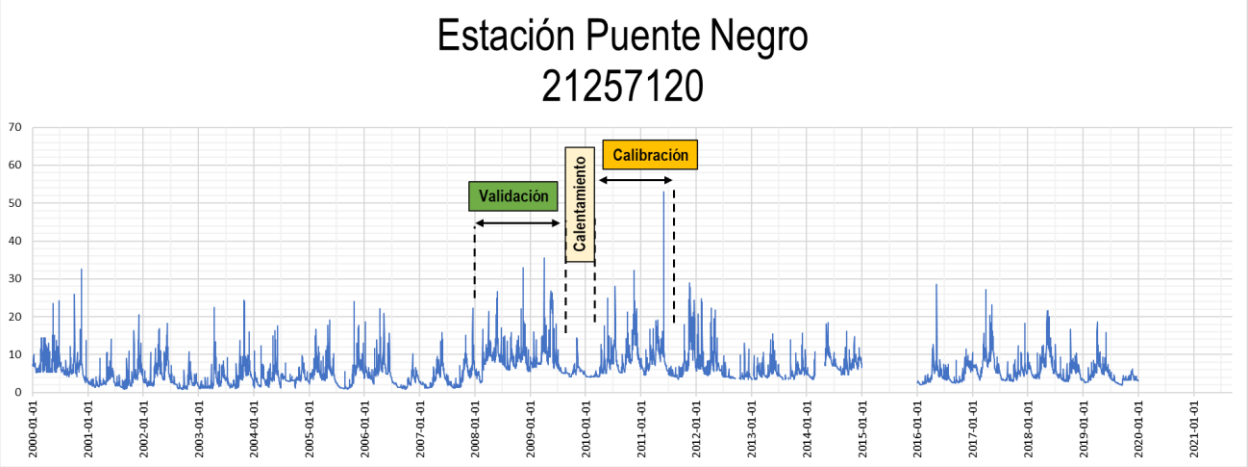


Figura 39. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21257120

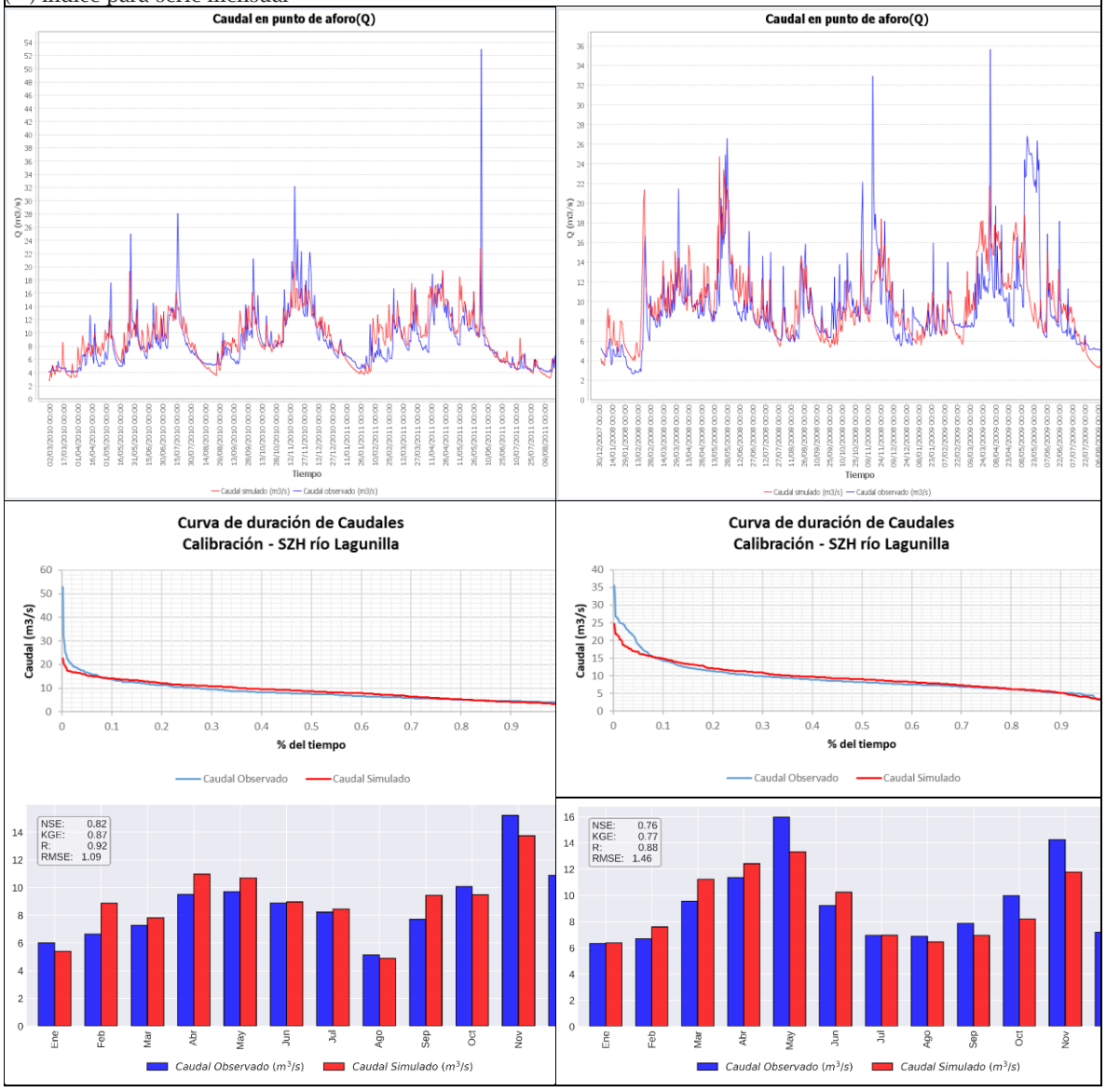
Con el fin de mejorar la calidad y consistencia de la información hidrológica resultante del monitoreo en la estación La Esmeralda (21257090) para futuras modelaciones hidrológicas, especialmente para realizar su restitución al régimen natural de forma más precisa, es recomendable establecer el monitoreo hidrométrico sistemático y continuo desde la red hidrométrica de la entidad en las captaciones: Bocatoma el Coso, Canal Asocoras, Canal el Triunfo – Asotriunfo, Canal Pindal – Asopindal, Canal Montalvo, y Canal San José Bledonia.

Tabla 28. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Lagunilla

CALIBRACIÓN				**VALIDACIÓN**			
01-03-2010 a 31-08-2011				01-01-2008 a 31-08-2009			
PBIAS	4.8			PBIAS	0.23		
NSE	0.509	0.79*	0.82**	NSE	0.298	0.93*	0.76**
RMSE	3.09	0.99*	1.09**	RMSE	3.784	0.44*	1.46**

KGE	0.68	0.79*	0.87**	KGE	0.57	0.86*	0.77**
Bias-FMS	5.01			Bias-FMS	2.37		
Error en Vol	4.8			Error en Vol	-0.234		
R	0.73			R	0.6		

(*) índice para $CDC_{Q20-Q90}$
(**) índice para serie mensual



5.6. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Sabandija

La estación Puente San Francisco (21257070) presenta los periodos de tiempo con información histórica más consistente para la implementación del modelo hidrológico, la calibración se ejecutó en el rango entre el 01-01-2014 y el 31-12-2016, y la validación comprende entre el 01-01-2006 a 31-12-2007 (*Figura 40*). El desempeño del modelo en calibración y en validación es bajo según el índice de

eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), aceptable según la eficiencia de Kling-Gupta (KGE), y satisfactorio de acuerdo con el índice de sesgo relativo (*Tabla 29*). En cuanto a su rendimiento para simular la curva de duración de caudales se encontró que el modelo es satisfactorio, ya que las métricas NSE y KGE tiene valores superiores a 0.75 en calibración y en validación. El desempeño fue clasificado de aceptable a satisfactorio para ambos periodos de evaluación en la simulación de caudales medios mensuales, con valores de NSE = 0.55 y KGE = 0.76 en calibración, y valores de NSE = 0.6 y KGE = 0.78 en validación. Por otra parte, el error en volumen se mantiene bajo en los dos periodos evaluados, demostrando un ajuste clasificado como satisfactorio por tener valores inferiores a un 10%, permitiendo evidenciar que el modelo puede ser aplicado para la simulación de oferta hídrica en la subzona estudiada.

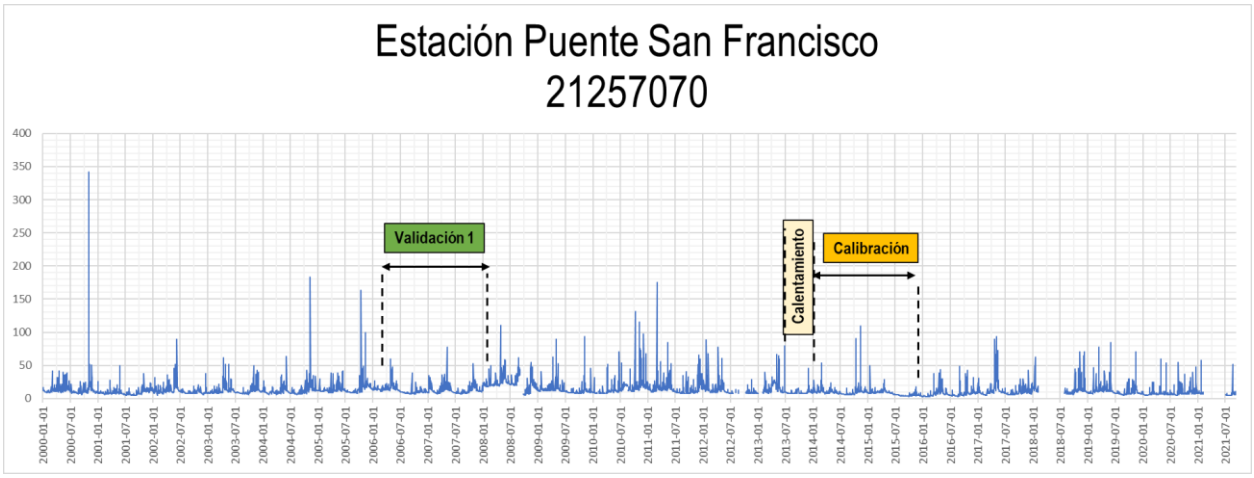


Figura 40. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 21257070

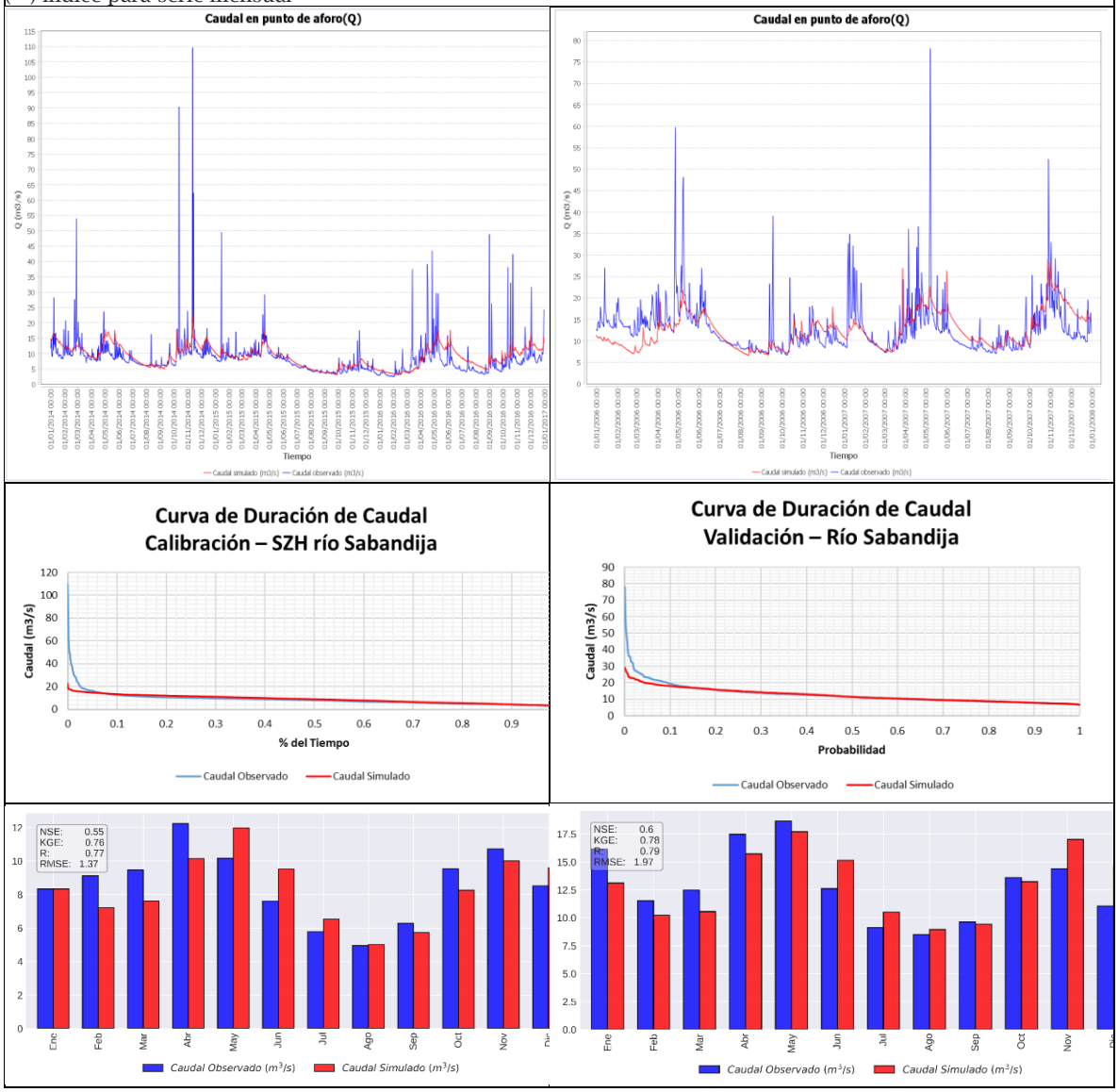
A pesar del excelente rendimiento del modelo para simular los caudales medios e incluso los caudales que ocurren al menos el 60% del tiempo, su habilidad para representar caudales máximos de eventos extraordinarios es bastante limitada. Lo cual se debe a la escala temporal utilizada en la modelación, cuyo propósito es la simulación de caudales medios y no representar la cinemática y dinámica asociada a las ondas de crecida en la escala temporal subhoraria.

Tabla 29. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Sabandija

CALIBRACIÓN				**VALIDACIÓN**			
01-01-2014 a 31-12-2016				01-01-2006 a 31-12-2007			
PBIAS	2.56			PBIAS	0.64		
NSE	0.24	0.9*	0.55**	NSE	0.309	0.8*	0.6**
RMSE	5.73	0.64*	1.37**	RMSE	5.18	0.94*	1.97**
KGE	0.27	0.89*	0.76**	KGE	0.4	0.92*	0.78**
Bias-FMS	4.71			Bias-FMS	16.07		
Error en Vol	-2.56			Error en Vol	0.642		

R	0.49	R	0.56

(*) índice para $CDC_{Q20-Q90}$
(**) índice para serie mensual



5.7. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Gualí

La estación seleccionada para la calibración y validación es Puente López (23017030), en la que se definió el periodo del 01-07-2001 al 31-12-2002 para calibrar, y del 01-09-2003 al 28-02-2005 para validar el modelo, del cual se obtuvo un rendimiento aceptable en los dos periodos de tiempo de acuerdo con el NSE (0.52 y 0.5 respectivamente), bueno según el KGE (0.64 y 0.71) y satisfactorio según el sesgo relativo (6.2% y 4.6%). En relación con la capacidad del modelo para representar la distribución de caudales en el tiempo (CDC), se encontró un desempeño satisfactorio en calibración y en validación, evidenciado mediante los

índices NSE, KGE y el sesgo en la pendiente del segmento medio de la CDC (Tabla 30). Con referencia a la habilidad del modelo para reproducir los caudales medios, se obtuvo un rendimiento bueno según el NSE y el KGE, destacando que la eficiencia del modelo es satisfactoria para representar los volúmenes de escorrentía ya que en ambos periodos de evaluación se encontraron valores de error en volumen inferiores a un 10%.

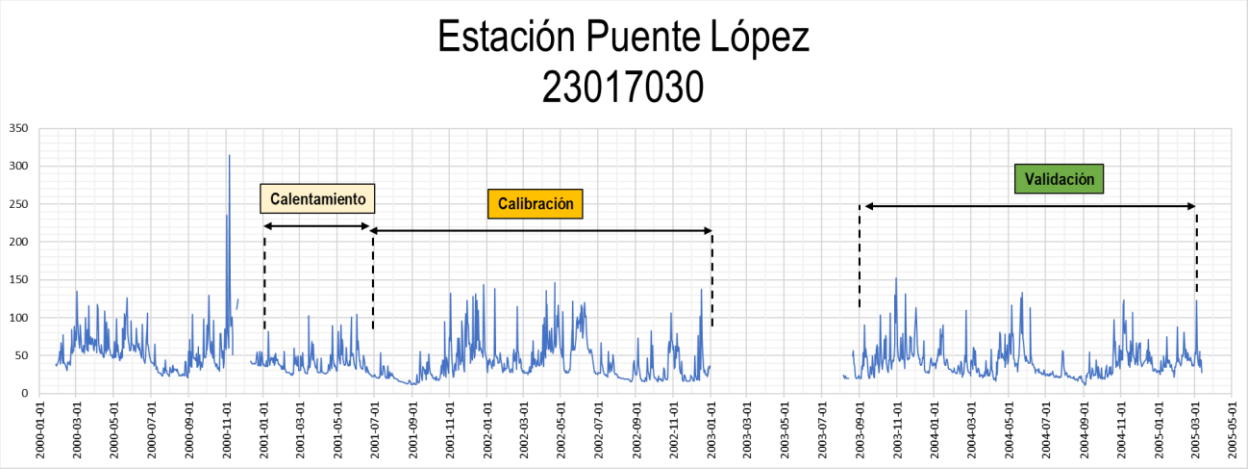
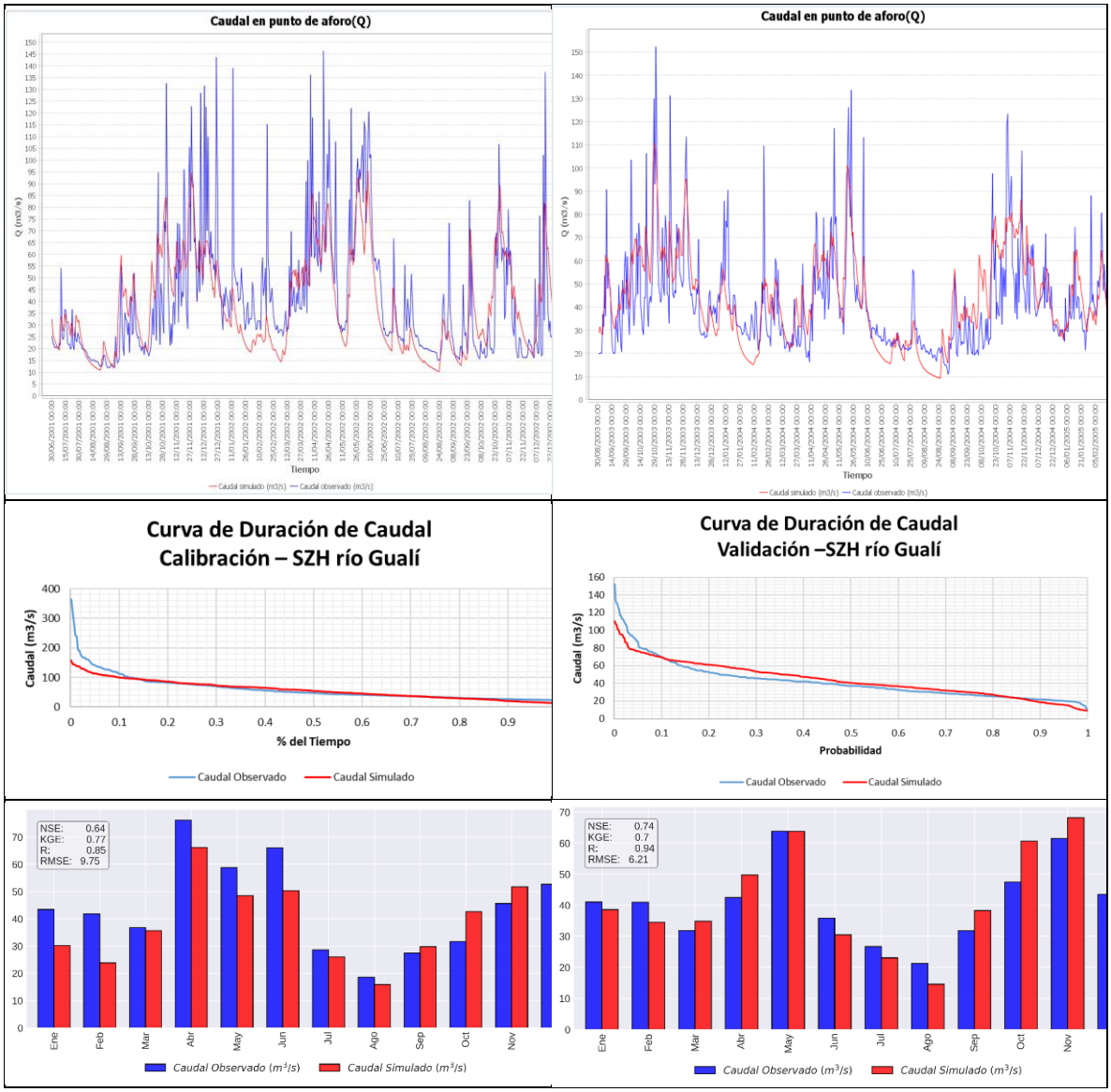


Figura 41. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 23017030

La restitución de caudales al régimen natural en la estación Puente López podrá realizarse de una forma más precisa en la medida que se disponga de información hidrométrica continua sobre los caudales captados aguas arriba, especialmente en el afluente río Sucio, del cual se derivan captaciones para la piscícola La Carolina con caudales concesionados del orden de 2006 LPS. Por lo anterior, es recomendable realizar un seguimiento hidrométrico desde la red de monitoreo de la Autoridad Ambiental a estos usos y contar a futuro con información detallada de la variabilidad intranual de los caudales en este tramo de la Unidad Hidrográfica.

Tabla 30. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Gualí

CALIBRACIÓN				**VALIDACIÓN**			
01-07-2001 a 31-12-2002				01-09-2003 a 28-02-2005			
PBIAS	6.2			PBIAS	4.6		
NSE	0.525	0.99*	0.64**	NSE	0.50	0.78*	0.74**
RMSE	18.2	1.17*	9.75**	RMSE	15.09	5.21*	6.21**
KGE	0.64	0.94*	0.77**	KGE	0.71	0.73*	0.7**
Bias-FMS	0.02			Bias-FMS	5.32		
Error en Vol	-6.21			Error en Vol	4.67		
R	0.73			R	0.73		
(*) índice para $CDC_{Q20\text{-}Q90}$ (**) índice para serie mensual							



5.8. Calibración y Validación: Modelo Hidrológico del río Guarinó

El periodo de calibración se definió entre el 01-11-2009 y el 31-10-2010, mientras que la validación corresponde al periodo del 01-01-2017 al 31-05-2018, estos periodos de tiempo son los más consistentes con el patrón de lluvia histórica de la zona de estudio identificados para la estación Puente Carretera (23027060, *Figura 42*). El rendimiento del modelo en la escala de simulación diaria es bajo en calibración y validación de acuerdo con el NSE (0.34 y 0.36), es aceptable según los valores del índice KGE (0.41 y 0.47) y satisfactorio al observar el sesgo relativo (valores de 1.28% y 3.14%, *Tabla 31*). En relación con su rendimiento para simular la curva de duración de caudales, se encontró un desempeño satisfactorio tanto en calibración como en validación para las métricas NSE y KGE, con valores de 0.73 y

0.99 para NSE,0.86 y 0.96 para KGE. En relación con el índice sesgo en la pendiente del segmento medio de la CDC se encontró un ajuste aceptable en calibración (16.01%) y bueno en validación (10.02%). El desempeño en la escala mensual alcanzó eficiencias clasificadas como buenas y satisfactorias según los índices NSE y KGE, con valores de 0.67 y 0.79 para NSE, y valores de 0.76 y 0.73 para KGE, finalmente, el ajuste del modelo en cuanto a los volúmenes de escorrentía es satisfactorio para ambos periodos, con valores de sesgo de -1.28% y 4.58%. Por lo que a pesar de no simular de forma correcta los caudales máximos, el modelo si logra representar los caudales que caracterizan la oferta hídrica en la subzona hidrográfica.

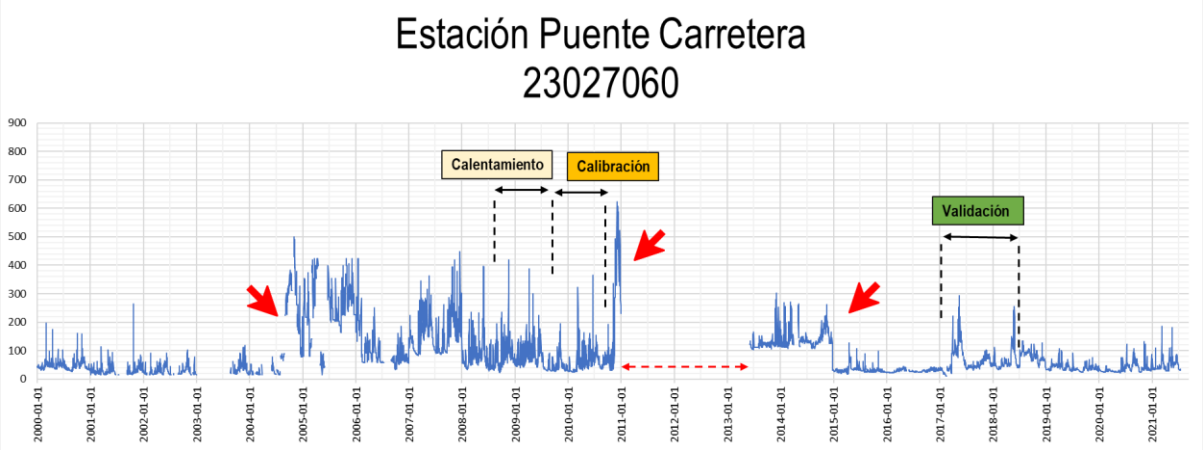
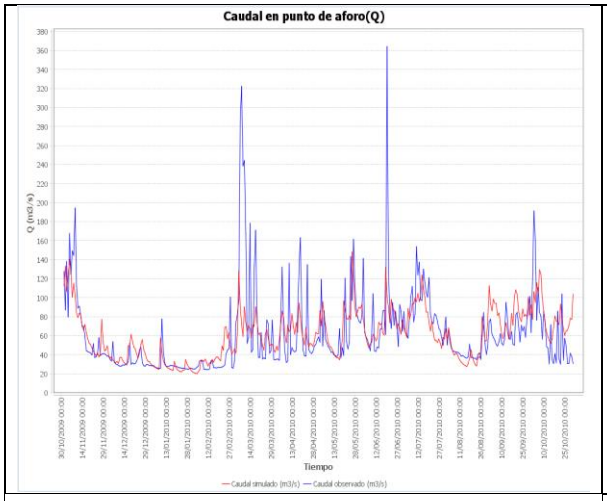


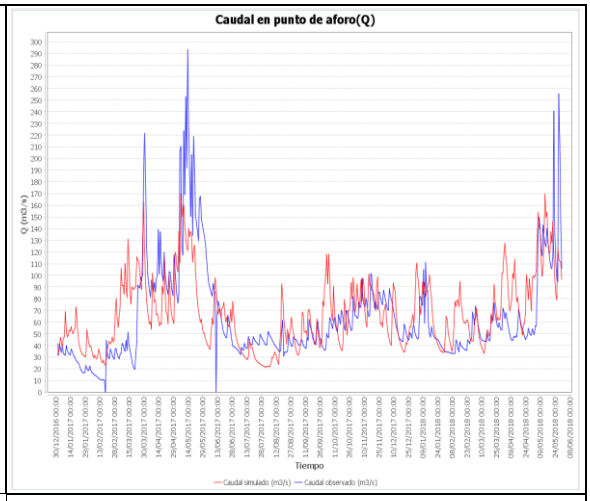
Figura 42. Serie histórica de caudales observados en la estación de calibración 23027060

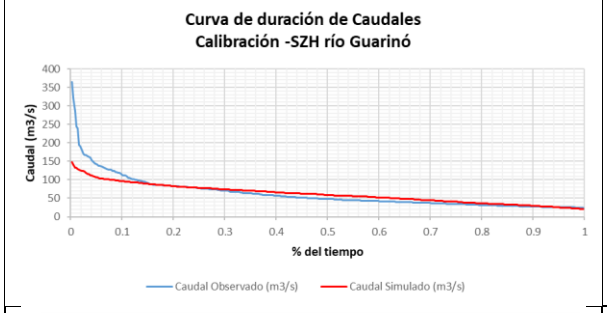
Para mejorar la representación de caudales máximos con el modelo en esta subzona hidrográfica en futuros estudios hidrológicos, será necesario disponer de información hidrométrica y meteorológica con una resolución subdiaria.

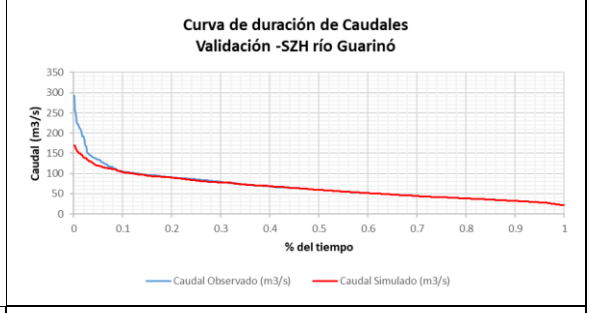
Tabla 31. Métricas de rendimiento del modelo en calibración y validación SZH Guarinó

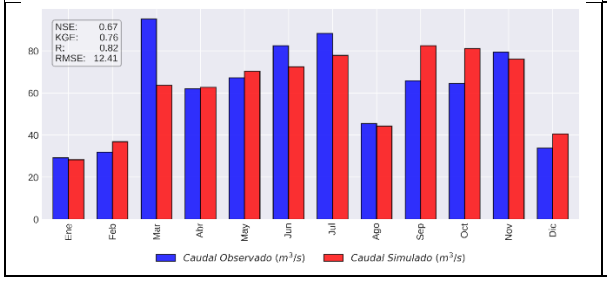
CALIBRACIÓN				VALIDACIÓN			
01-11-2009 a 31-10-2010				01-01-2017 a 31-05-2018			
PBIAS	1.28			PBIAS	3.14		
NSE	0.342	0.73*	0.67**	NSE	0.357	0.99*	0.79**
RMSE	35.31	7.79*	12.41**	RMSE	33.38	1.52*	12.83**
KGE	0.41	0.86*	0.76**	KGE	0.47	0.96*	0.73**
Bias-FMS	16.01			Bias-FMS	10.02		
Error en Vol	-1.28			Error en Vol	4.58		
R^2	0.58			R^2	0.52		
(*) índice para $CDC_{Q20-Q90}$ (**) índice para serie mensual							

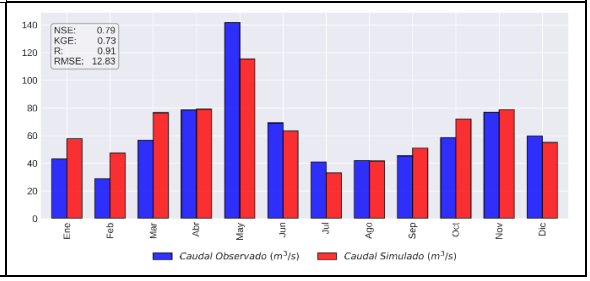

Caudal en punto de aforo(Q)
Q (m3/s)
Tiempo
Caudal simulado (m3/s)
Caudal observado (m3/s)


Caudal en punto de aforo(Q)
Q (m3/s)
Tiempo
Caudal simulado (m3/s)
Caudal observado (m3/s)


Curva de duración de Caudales
Calibración -SZH río Guarinó
Caudal (m3/s)
% del tiempo
Caudal Observado (m3/s)
Caudal Simulado (m3/s)


Curva de duración de Caudales
Validación -SZH río Guarinó
Caudal (m3/s)
% del tiempo
Caudal Observado (m3/s)
Caudal Simulado (m3/s)


NSE: 0.67
KGE: 0.76
R: 0.82
RMSE: 12.41
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
Caudal Observado (m3/s)
Caudal Simulado (m3/s)


NSE: 0.79
KGE: 0.73
R: 0.91
RMSE: 12.83
Ene
Feb
Mar
Abr
May
Jun
Jul
Ago
Sep
Oct
Nov
Dic
Caudal Observado (m3/s)
Caudal Simulado (m3/s)

6. Oferta Hídrica Superficial y Disponible

6.1. Oferta Hídrica Total Superficial (OHTS)

La Oferta hídrica total superficial (OHTS) se define como el volumen de agua por unidad de tiempo que drena por la superficie y que no se infiltra o evapotranspira. En la Evaluación Regional del Agua se determinó a partir de simulación hidrológica a escala diaria en el periodo 1990 a 2021, calculada mediante los modelos hidrológicos distribuidos que fueron implementados en las 8 subzonas hidrográficas. La OHTS se expresa en términos de caudal (m^3/s), escorrentía (mm), y rendimiento hídrico ($l/s/km^2$).

Para caracterizar y sintetizar la variabilidad y tendencia de la oferta hídrica, se calculó para cada unidad de análisis el diagrama de percentiles mensuales de caudal que expresa una representación gráfica de la distribución interanual de los caudales medios diarios cada mes del año hidrológico, y se aplicó la prueba de Mann-Kendall (Hussain et al.; 2019) para las series anuales de caudales medios, máximos y mínimos diarios.

6.2. Oferta Hídrica Total Disponible (OHTD)

La oferta hídrica total disponible se define como el resultado de sustraer el caudal ambiental a la oferta hídrica total superficial. Con el fin de mantener una coherencia metodológica con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2018), el caudal ambiental (CA) se estableció como el caudal característico Q85 de la curva de duración de caudales diarios, en las unidades de análisis con índice de regulación hídrica (IRH) mayor o igual a 0.70, y se definió como el caudal característico Q75 de la curva de duración de caudales diarios para las unidades hidrográficas de análisis con IRH menor a 0.70.

El año hidrológico medio corresponde a los caudales medios mensuales del periodo 1990 a 2021, el año hidrológico seco corresponde al episodio histórico de la fase cálida del fenómeno ENSO más severo del que se tiene registro (Año hidrológico 2015/2016), y el año hidrológico húmedo fue definido como un episodio extremo de la fase fría del fenómeno ENSO (Año hidrológico 2010/2011).

A continuación, se presentan los valores de OHTS y OHTD para cada unidad hidrográfica de análisis en las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Totare, Opia, Recio-Venadillo, Lagunilla, Sabandija, Gualí y Guarinó para el periodo histórico 1990 a 2021.

7. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Coello

7.1. Unidad de Análisis: quebrada Chagualá

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 28.5, 39.0 y 23.9 l/s/km^2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 155.4 % de aumento, un 212.8 % de aumento, y un 130.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.7, 10.9 y 8.5 l/s/km^2, respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 69.3, 59.3 y 46.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 43*). La escorrentía anual es de 577.8 mm, con valores máximos mensuales de 75.1, 101.0, y 61.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 44*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.63	**0.86**	**0.77**	**1.70**	**0.86**	**0.84**	**1.23**	**0.77**	**0.46**

Tabla 32. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Chagualá

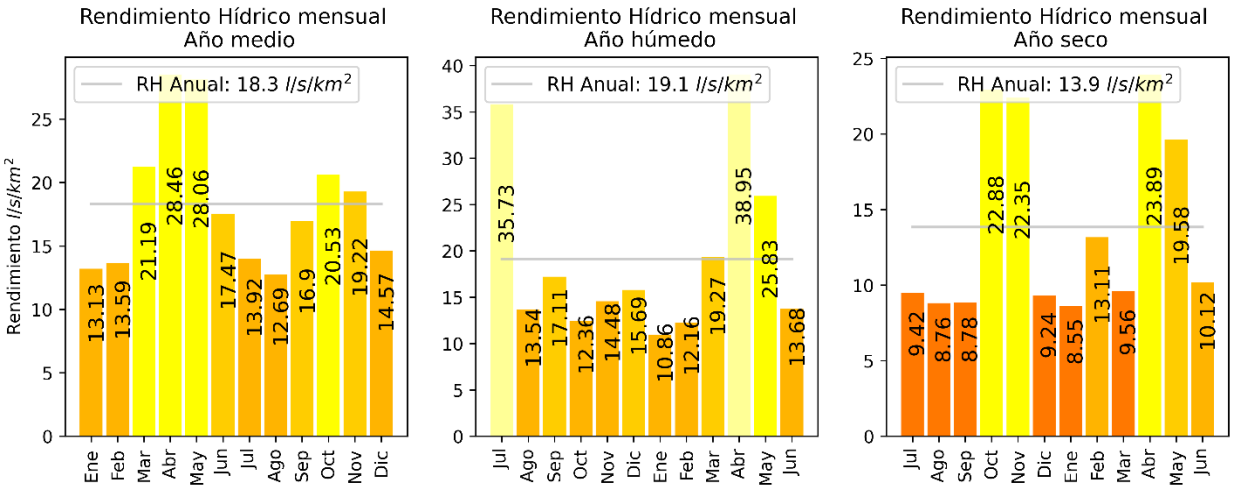


Figura 43. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Chagualá

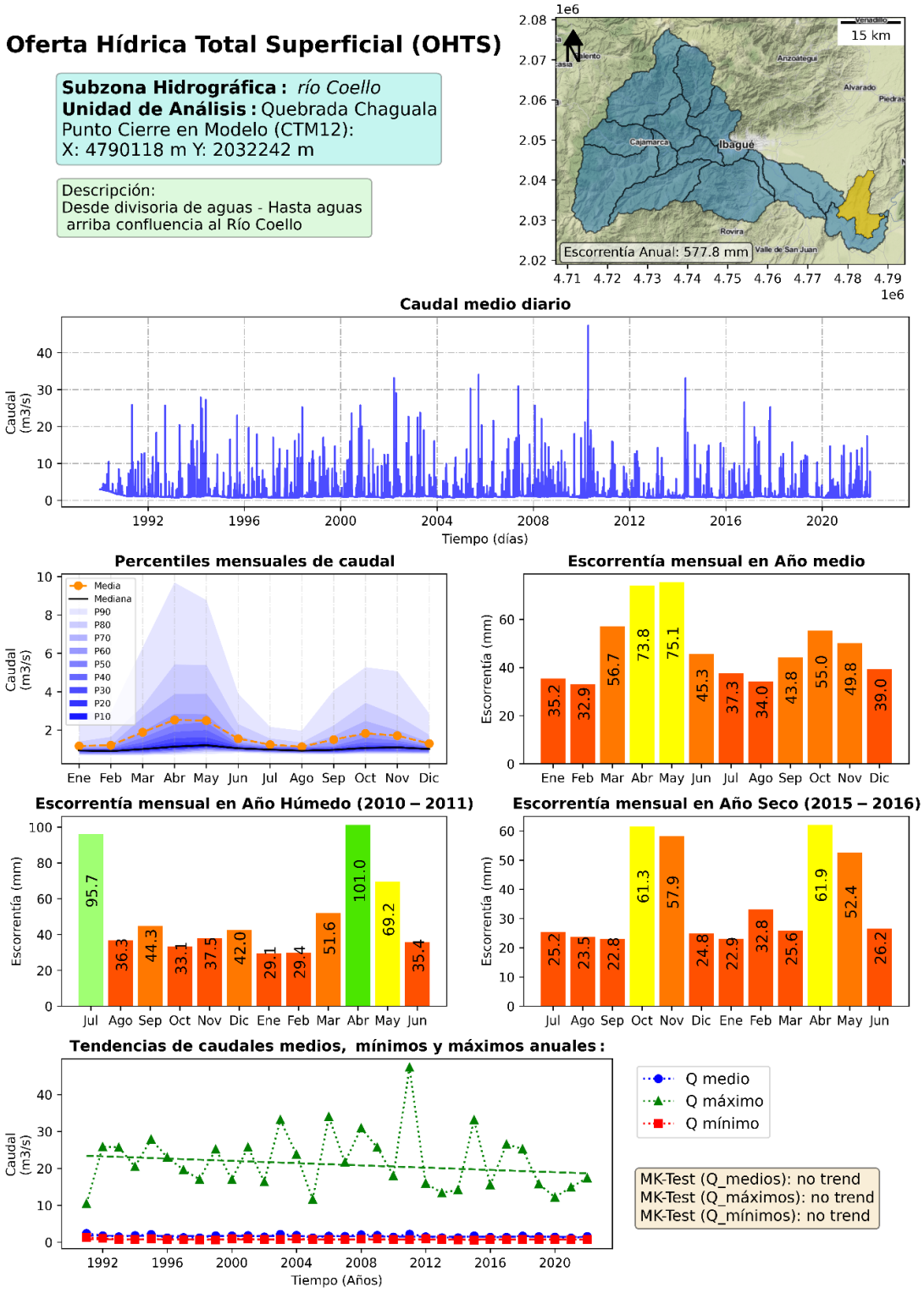


Figura 44. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Quebrada Chagualá

7.2. Unidad de Análisis: quebrada Gualanday

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 33.9, 58.6 y 36.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 209.9 % de aumento, un 363.2 % de aumento, y un 224.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 6.3, 1.8 y 1.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 38.8, 11.3 y 8.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 45*). La escorrentía anual es de 509.0 mm, con valores máximos mensuales de 90.7, 156.9, y 96.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 46*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.35	**0.12**	**1.23**	**1.53**	**0.12**	**1.41**	**1.16**	**0.12**	**1.04**

Tabla 33. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Gualanday

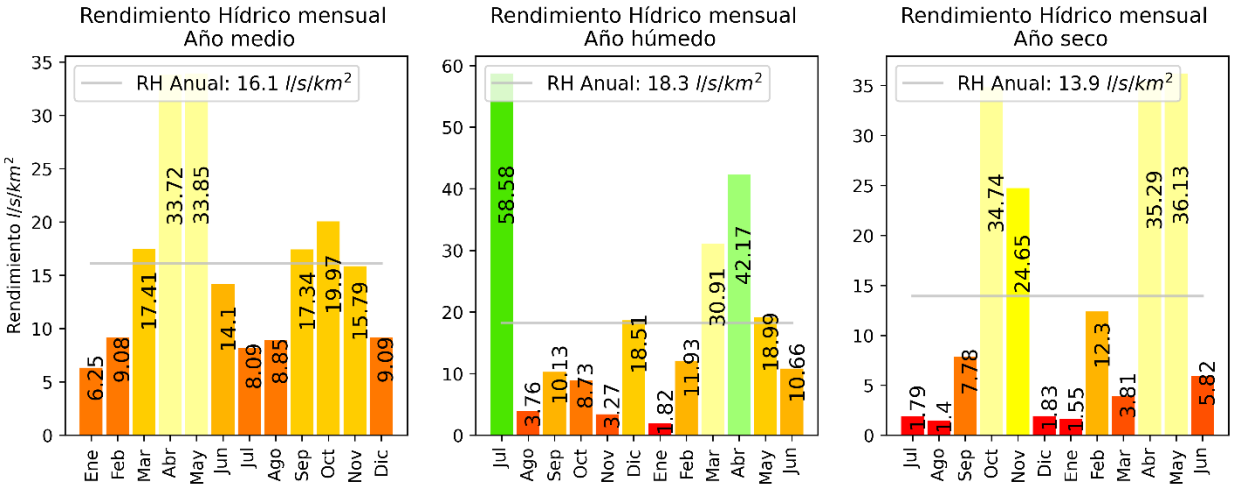


Figura 45. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Gualanday

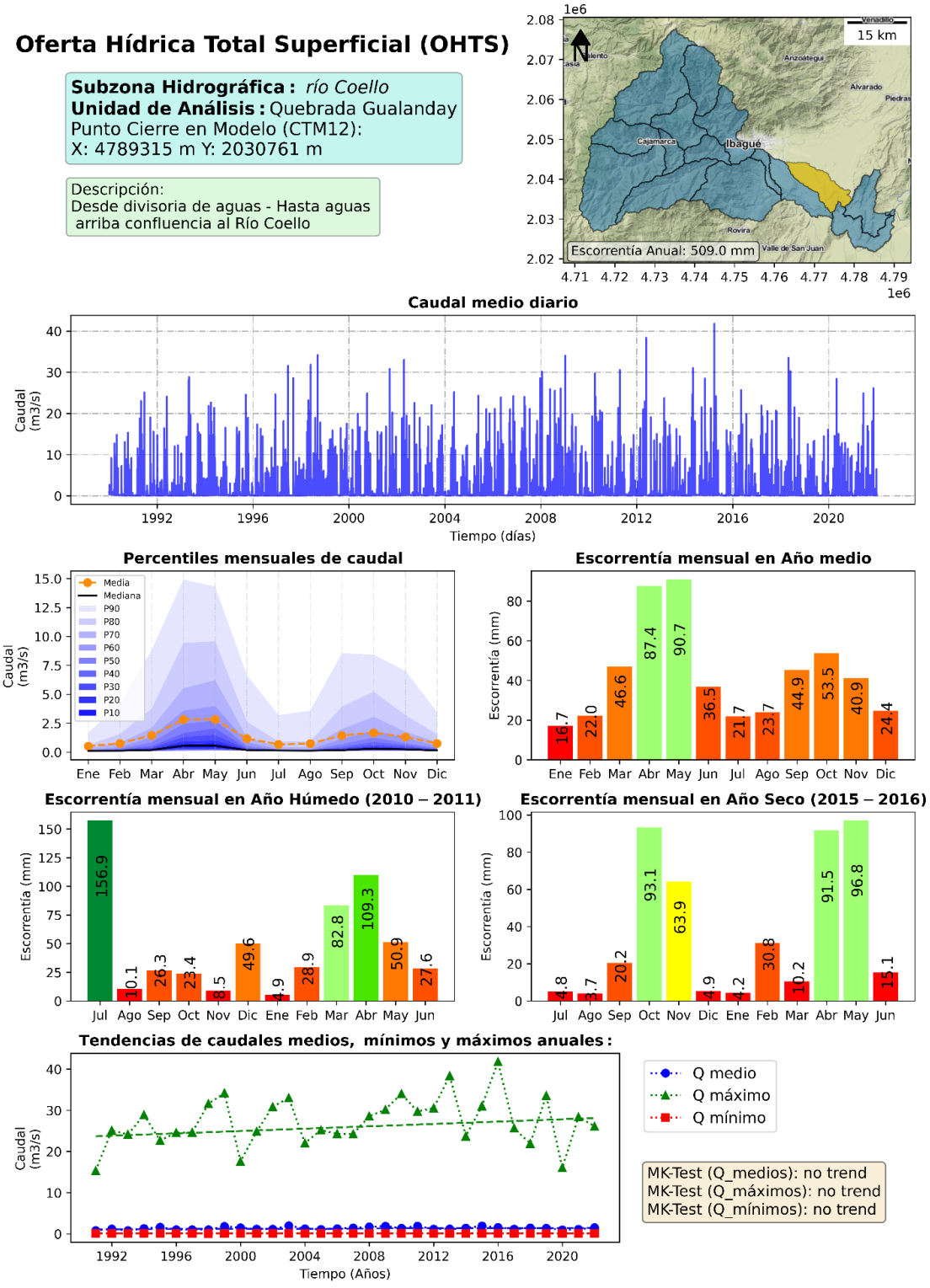


Figura 46. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Quebrada Gualanday

7.3. Unidad de Análisis: río Anaime

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 25.4, 43.0 y 13.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 147.2 % de aumento, un 249.6 % de aumento, y un 78.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 10.9, 13.2 y 5.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 63.4, 76.6 y 30.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 47*). La escorrentía anual es de 544.8 mm, con valores máximos mensuales de 68.0, 115.3, y 34.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 48*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.71	**2.35**	**2.36**	**6.73**	**2.35**	**4.38**	**2.43**	**1.60**	**0.83**

Tabla 34. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Anaime

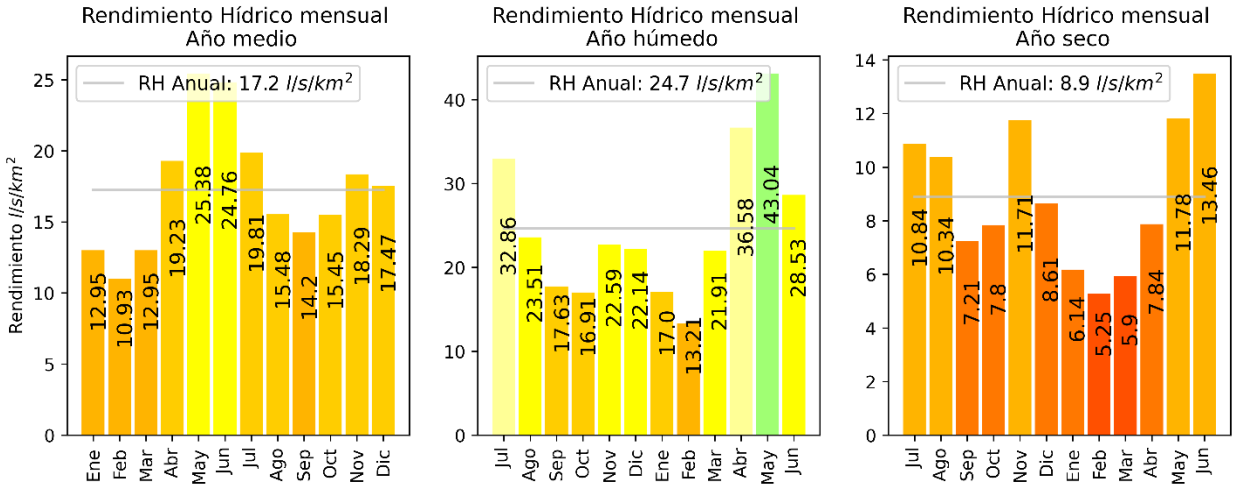


Figura 47. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Anaime

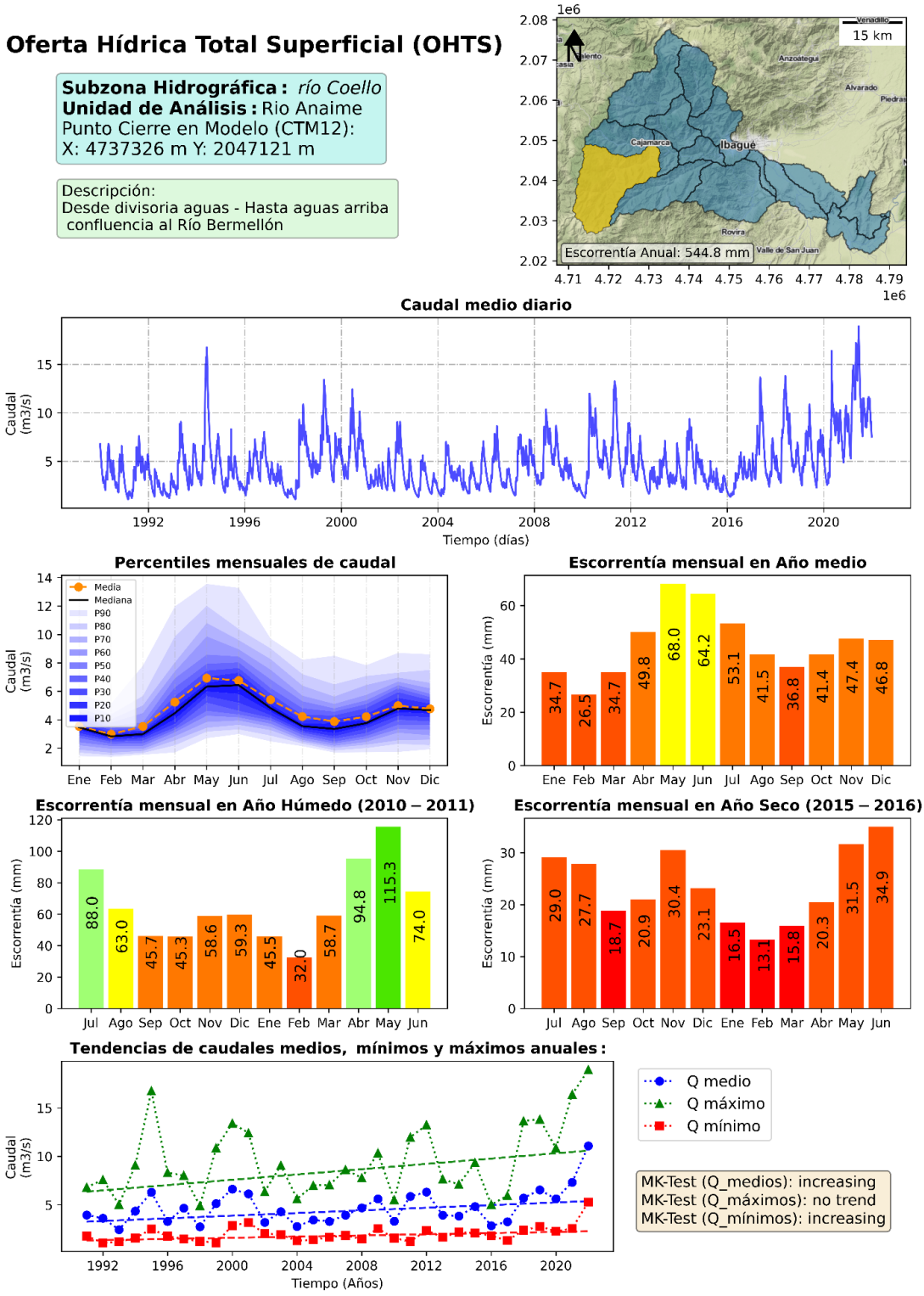


Figura 48. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Anaime

7.4. Unidad de Análisis: río Bermellón 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 27.9, 43.8 y 14.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 160.9 % de aumento, un 253.0 % de aumento, y un 82.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 9.3, 12.5 y 2.8 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 53.8, 72.2 y 16.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 49*). La escorrentía anual es de 547.8 mm, con valores máximos mensuales de 74.7, 117.4, y 38.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 50*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.82	**0.68**	**1.15**	**2.85**	**0.68**	**2.17**	**0.84**	**0.38**	**0.46**

Tabla 35. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Bermellón 1

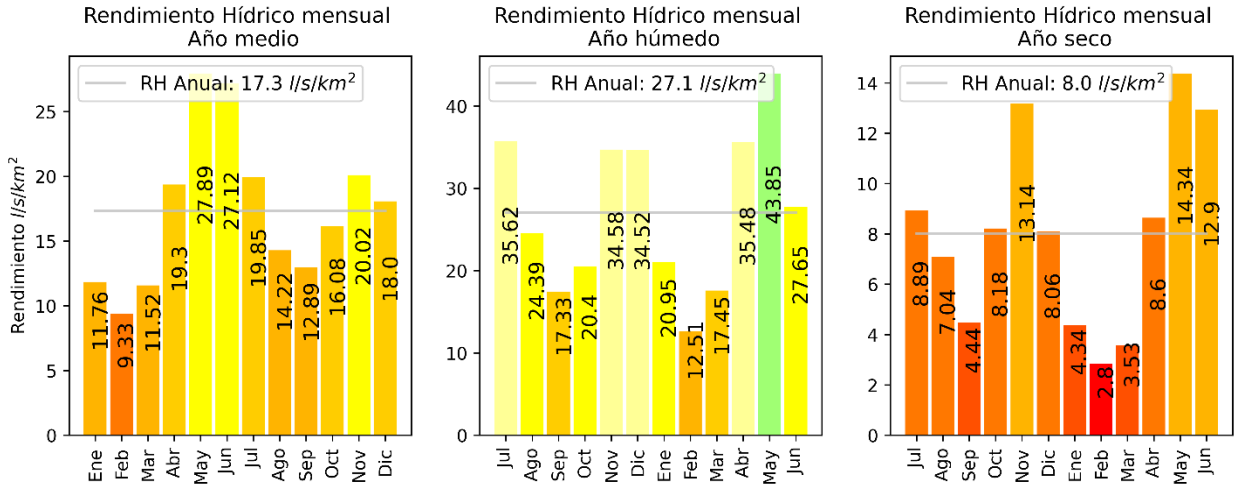


Figura 49. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 1

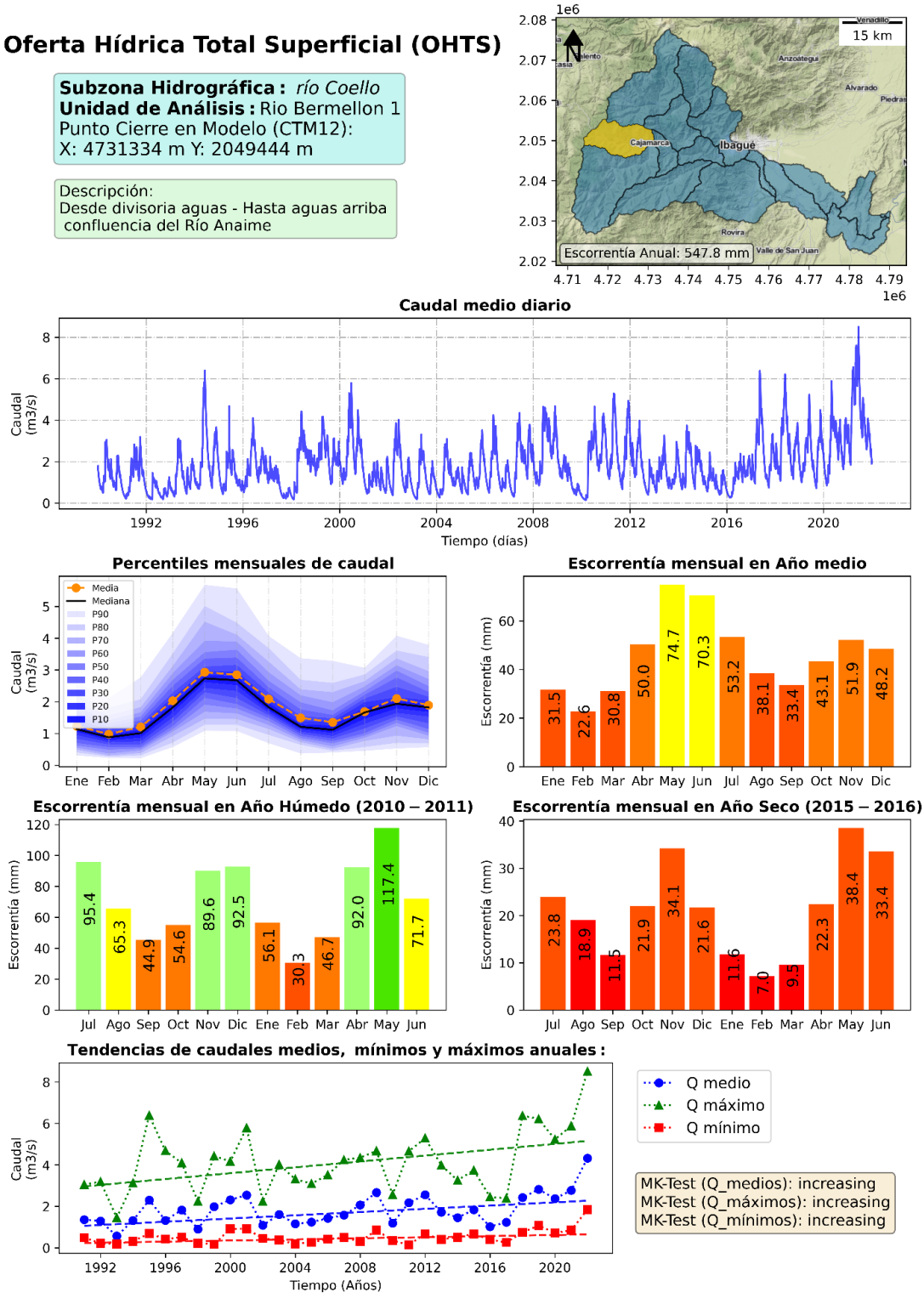


Figura 50. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 1

7.5. Unidad de Análisis: río Bermellón 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 24.2, 33.3 y 16.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 132.1 % de aumento, un 182.1 % de aumento, y un 90.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.9, 14.6 y 7.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 70.5, 79.5 y 42.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 51*). La escorrentía anual es de 578.3 mm, con valores máximos mensuales de 62.7, 89.3, y 44.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 52*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
7.29	**3.58**	**3.72**	**10.57**	**3.58**	**7.00**	**3.76**	**2.33**	**1.43**

Tabla 36. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Bermellón 2

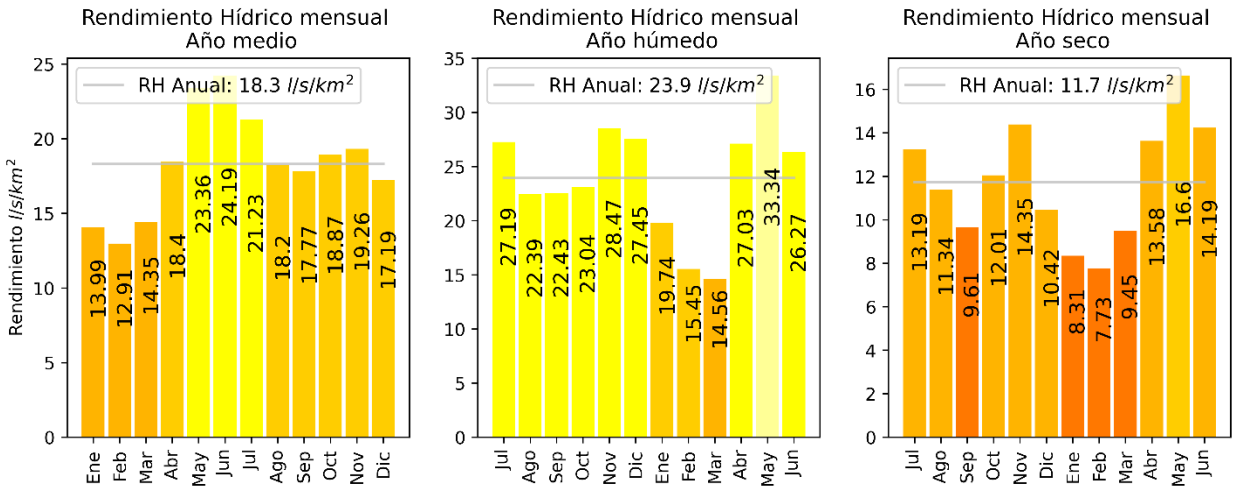


Figura 51. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 2

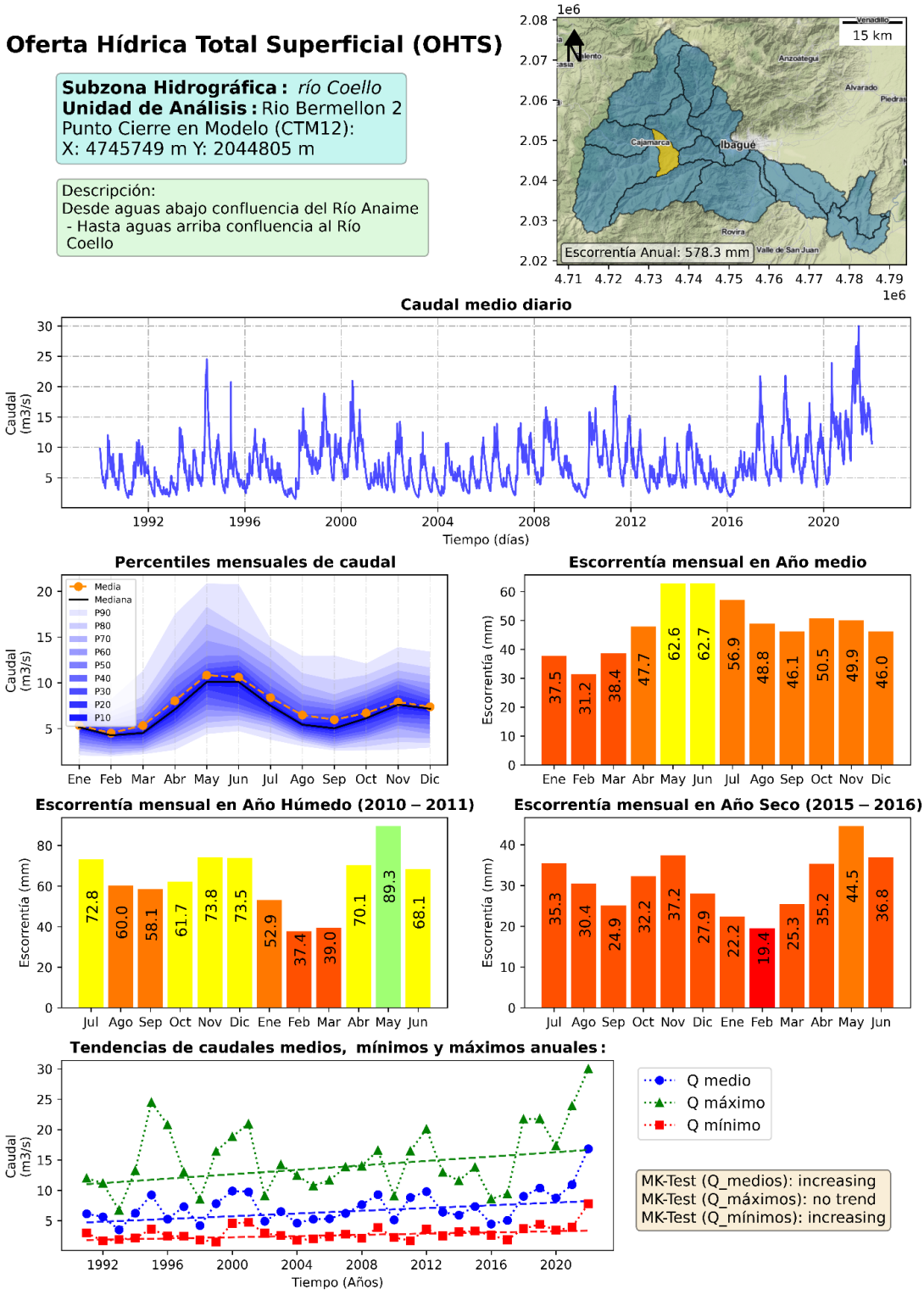


Figura 52. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Bermellón 2

7.6. Unidad de Análisis: río Cocora

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 31.9, 53.0 y 27.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.2 % de aumento, un 236.3 % de aumento, y un 121.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.3, 16.6 y 9.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 63.8, 73.9 y 40.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 53*). La escorrentía anual es de 708.5 mm, con valores máximos mensuales de 85.4, 141.9, y 72.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 54).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.64	**1.92**	**1.72**	**4.95**	**1.92**	**3.03**	**2.51**	**1.52**	**1.00**

Tabla 37. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Cocora

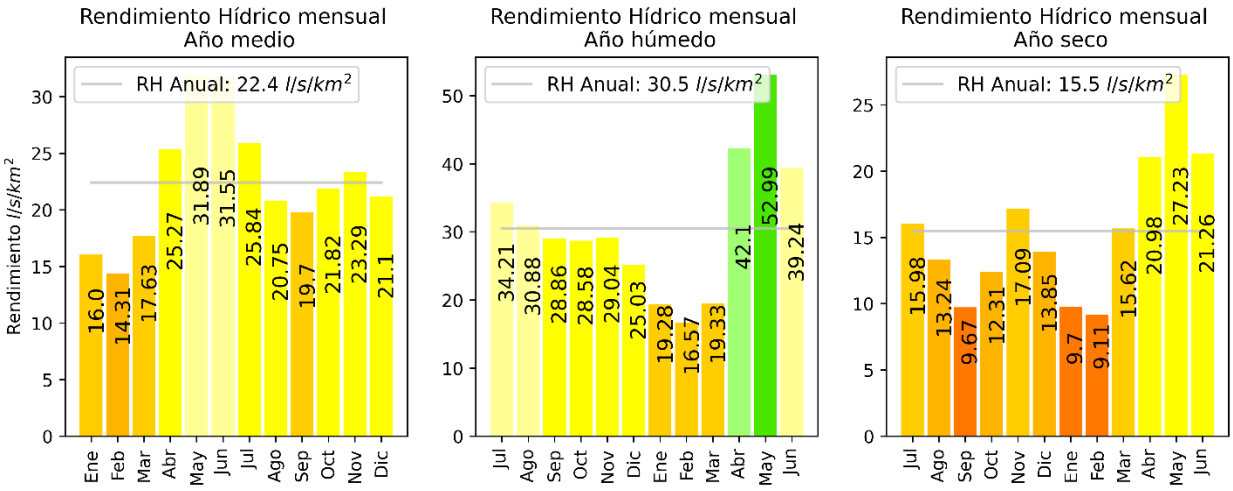


Figura 53. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Cocora

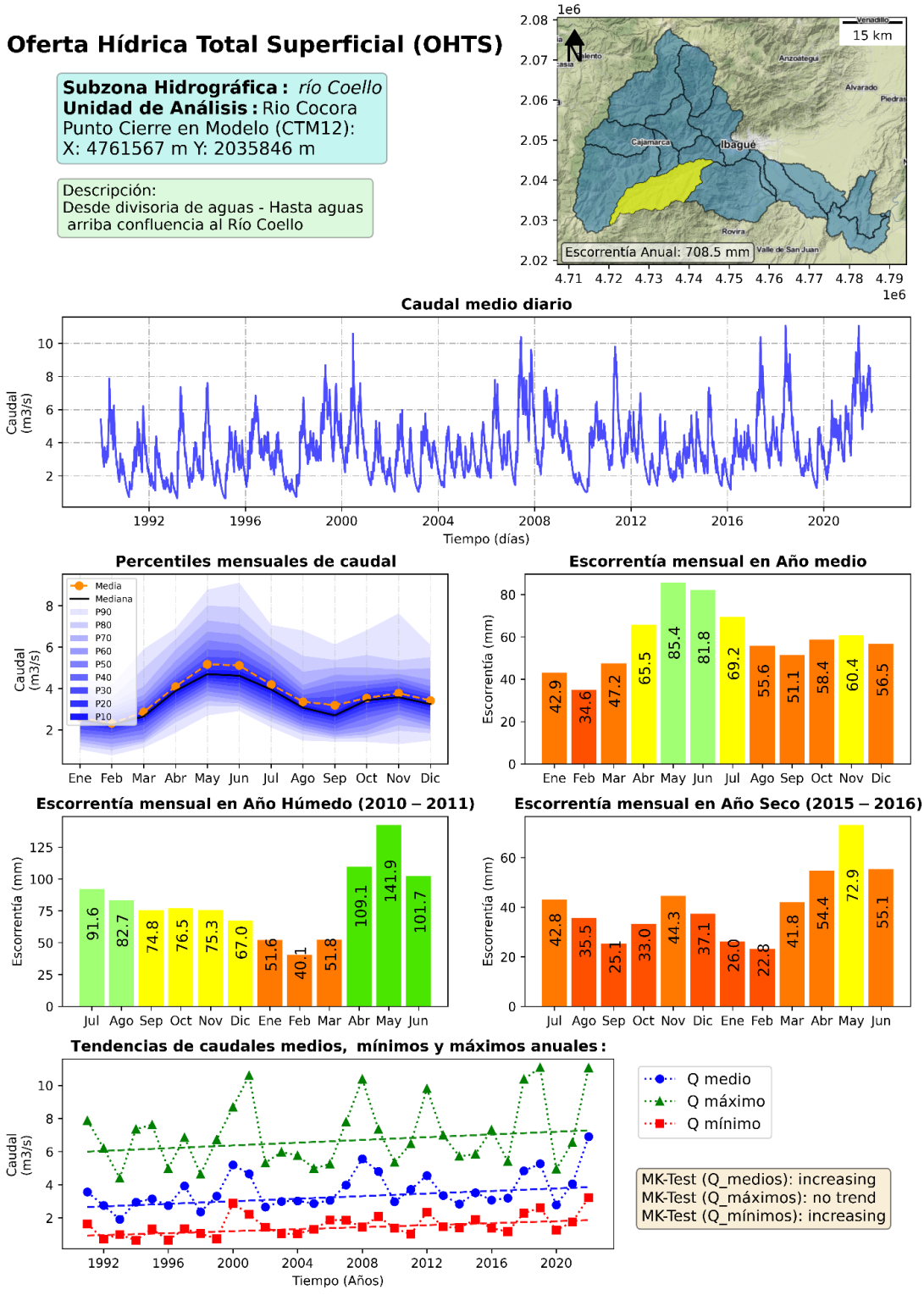


Figura 54. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Cocora

7.7. Unidad de Análisis: río Coello 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 31.2, 48.1 y 21.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 130.8 % de aumento, un 201.6 % de aumento, y un 90.6 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 15.3, 22.0 y 8.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.2, 91.9 y 36.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 55*). La escorrentía anual es de 754.3 mm, con valores máximos mensuales de 80.9, 124.8, y 57.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (Figura 56).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
7.36	**3.96**	**3.40**	**10.78**	**3.96**	**6.82**	**4.25**	**2.77**	**1.48**

Tabla 38. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 1

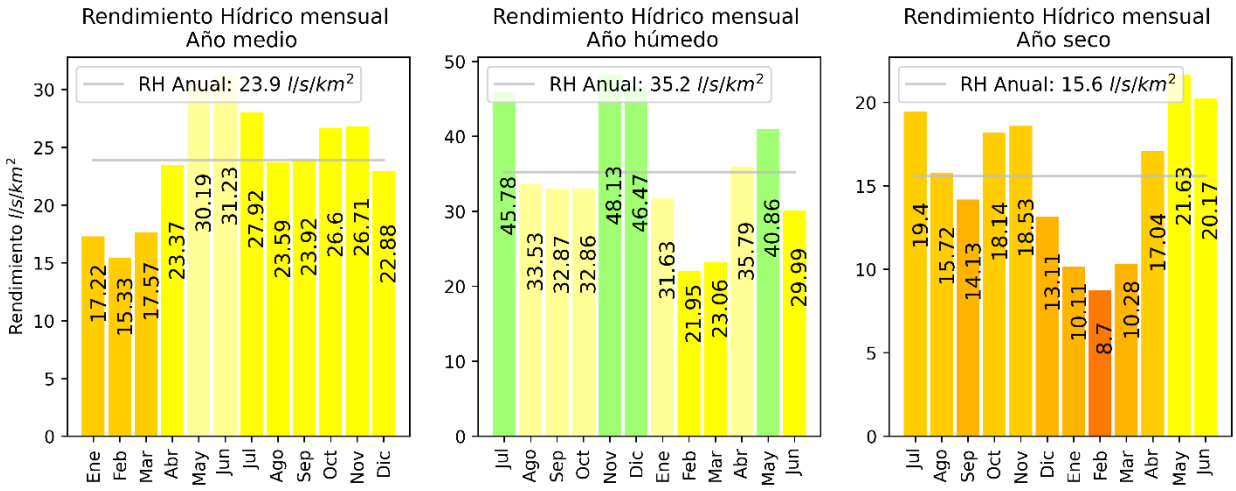


Figura 55. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 1

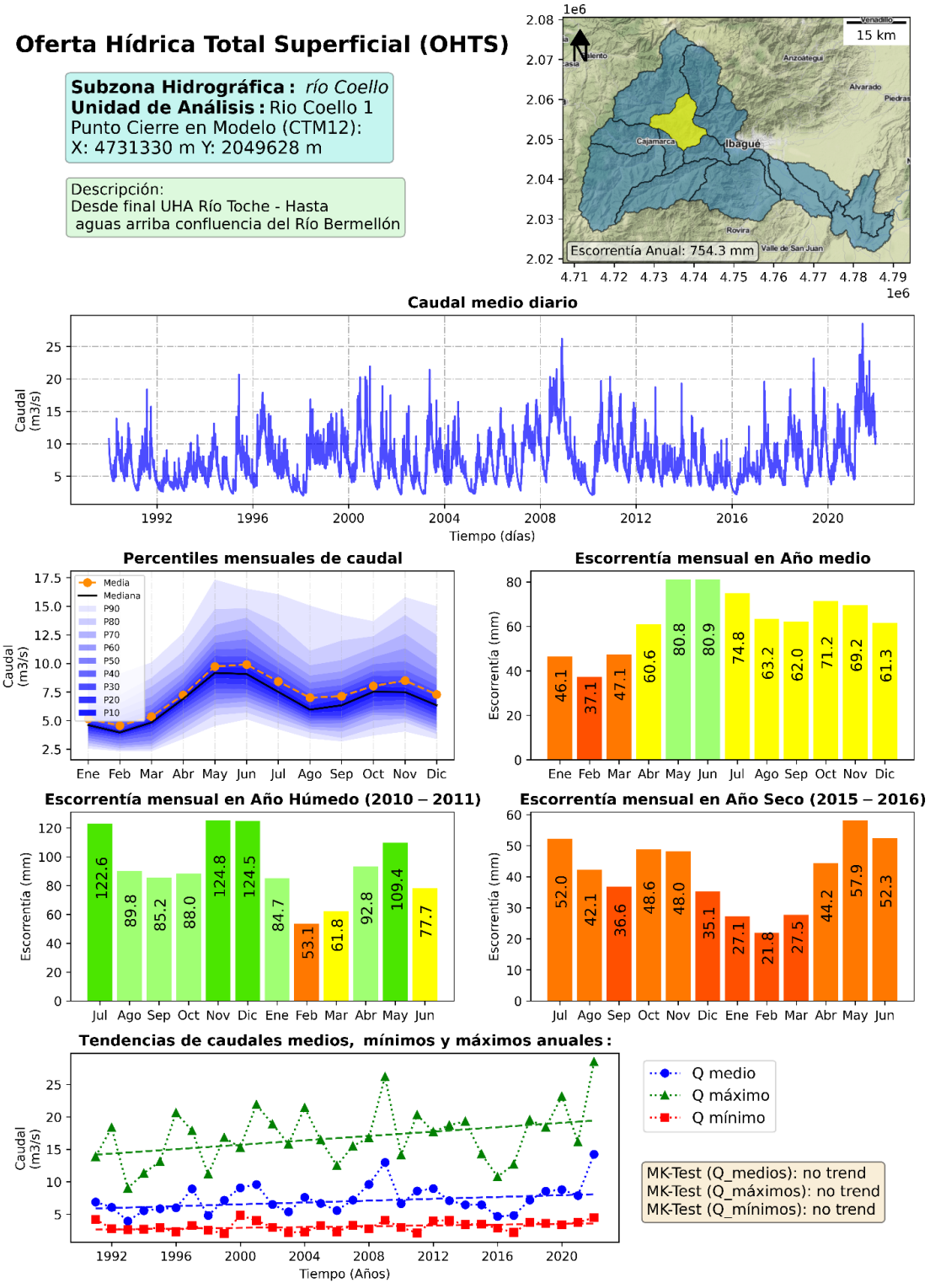


Figura 56. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 1

7.8. Unidad de Análisis: río Coello 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 30.2, 40.3 y 19.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 118.6 % de aumento, un 157.9 % de aumento, y un 74.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.5, 22.2 y 11.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 80.3, 87.1 y 45.6 % con relación al valor medio anual (Figura 57). La escorrentía anual es de 805.3 mm, con valores máximos mensuales de 80.6, 107.9, y 50.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (Figura 58).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
15.97	**8.78**	**7.19**	**22.89**	**8.78**	**14.10**	**8.83**	**5.76**	**3.07**

Tabla 39. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 2

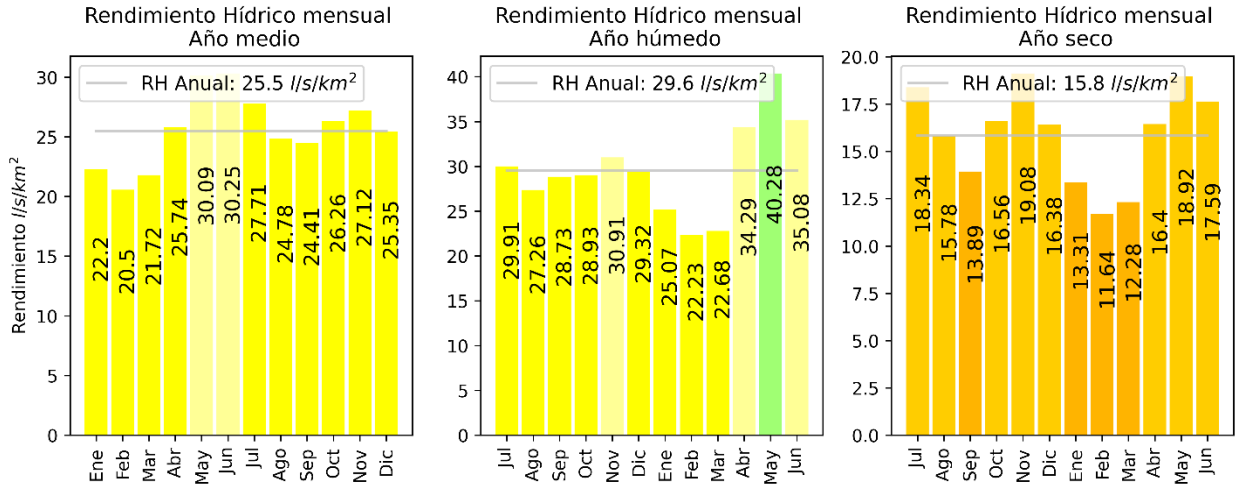


Figura 57. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 2

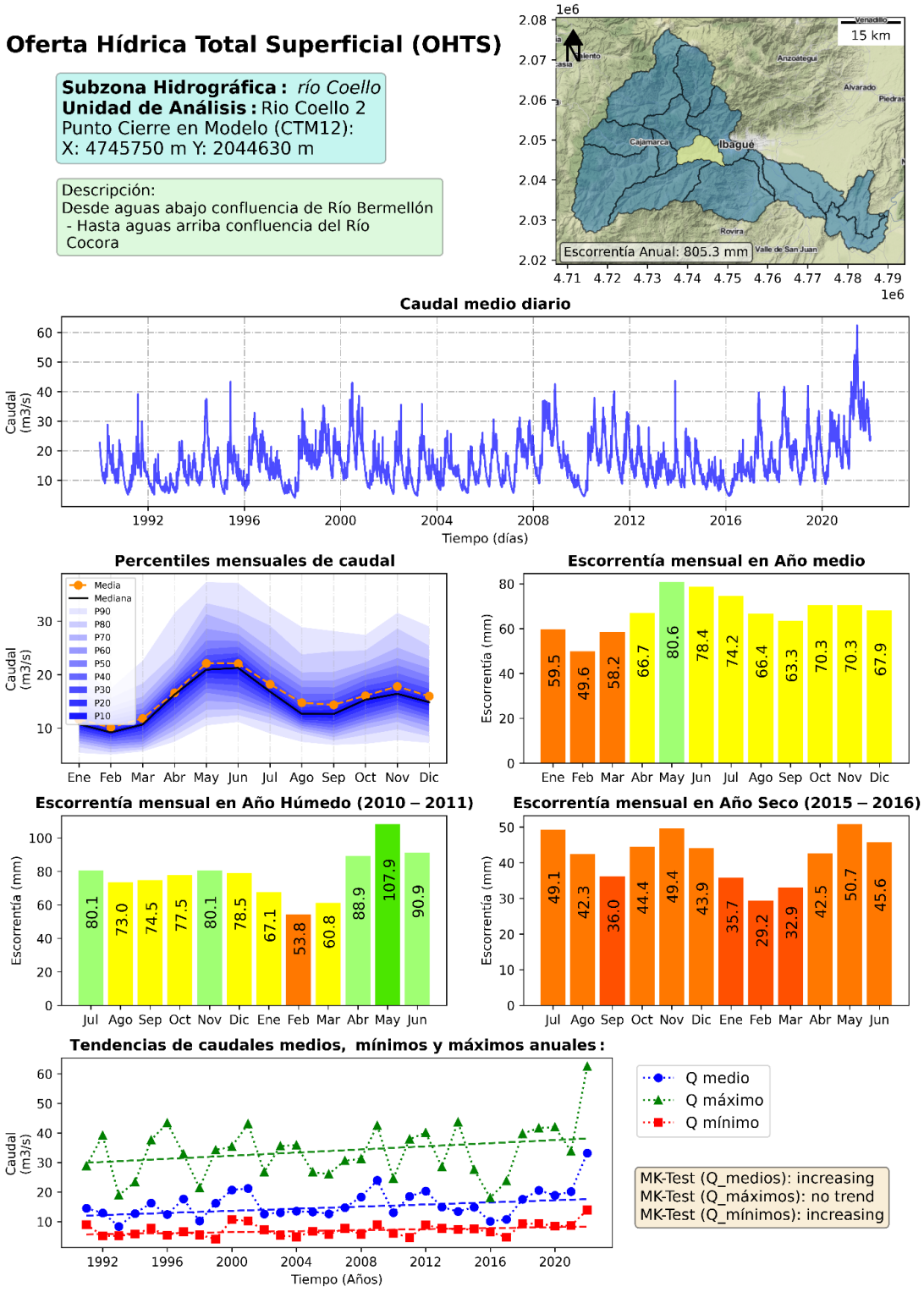


Figura 58. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 2

7.9. Unidad de Análisis: río Coello 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 38.3, 61.5 y 26.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 133.0 % de aumento, un 213.4 % de aumento, y un 91.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.0, 31.7 y 12.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.9, 110.1 y 42.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 59*). La escorrentía anual es de 909.5 mm, con valores máximos mensuales de 102.6, 159.4, y 69.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 60*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
26.14	**15.39**	**10.75**	**37.85**	**15.39**	**22.46**	**15.69**	**11.18**	**4.51**

Tabla 40. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 3

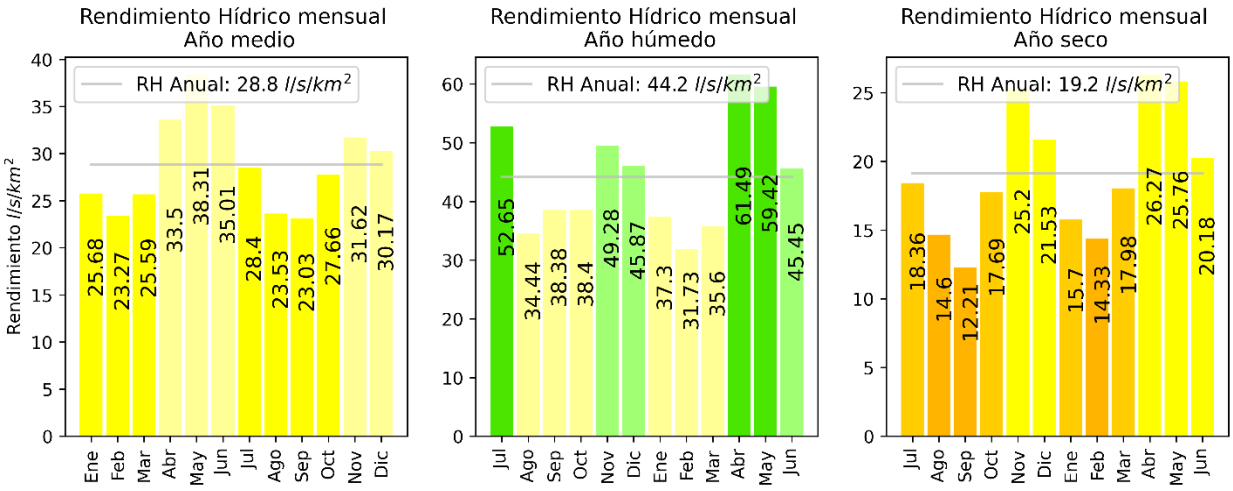


Figura 59. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 3

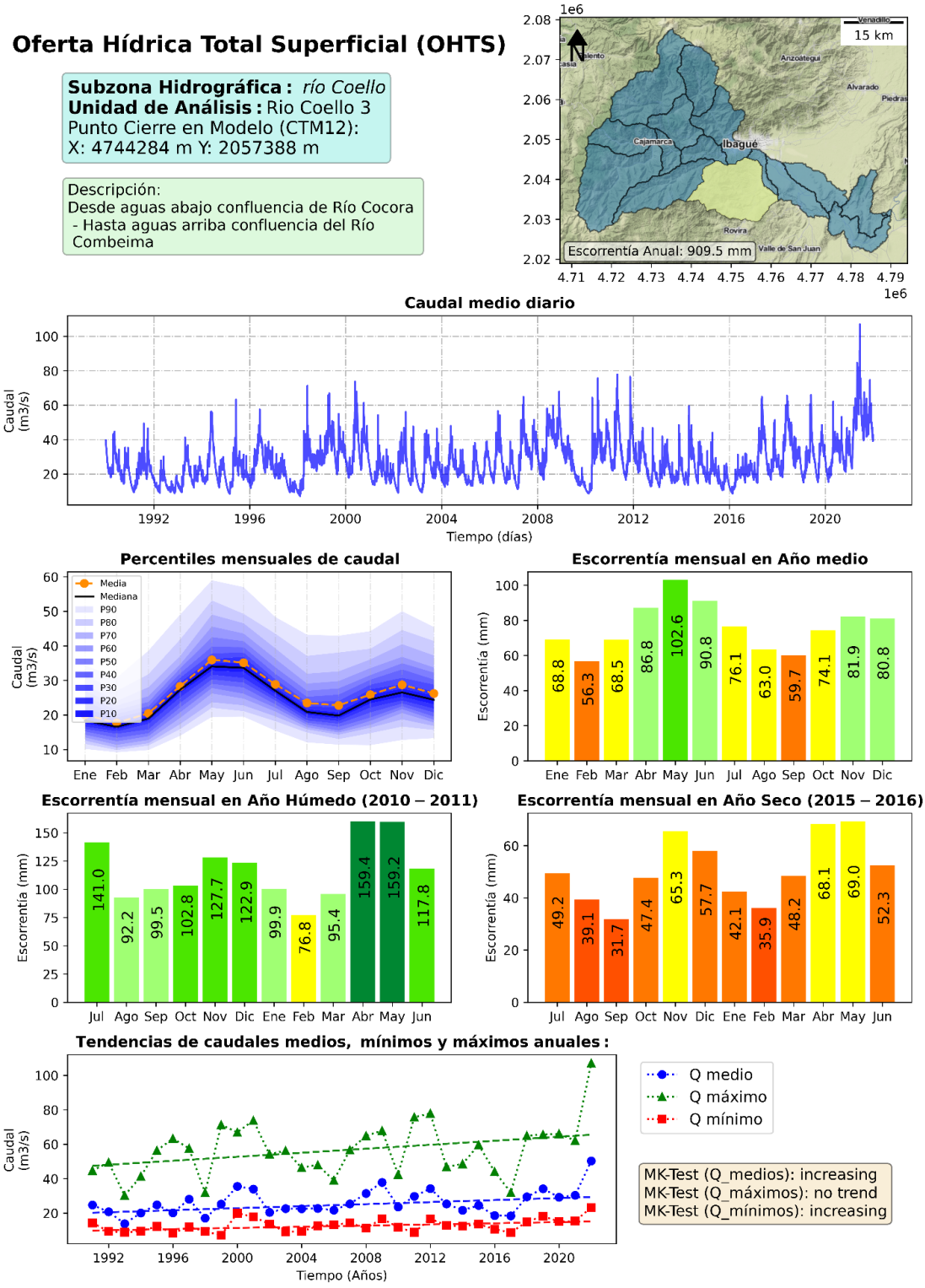


Figura 60. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 3

7.10. Unidad de Análisis: río Coello 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.9, 52.2 y 31.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 169.5 % de aumento, un 253.7 % de aumento, y un 152.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.4, 7.8 y 5.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 65.1, 37.7 y 26.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 61*). La escorrentía anual es de 648.7 mm, con valores máximos mensuales de 90.4, 139.7, y 81.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 62*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
35.91	**20.82**	**15.09**	**50.98**	**20.82**	**30.16**	**21.74**	**14.52**	**7.23**

Tabla 41. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 4

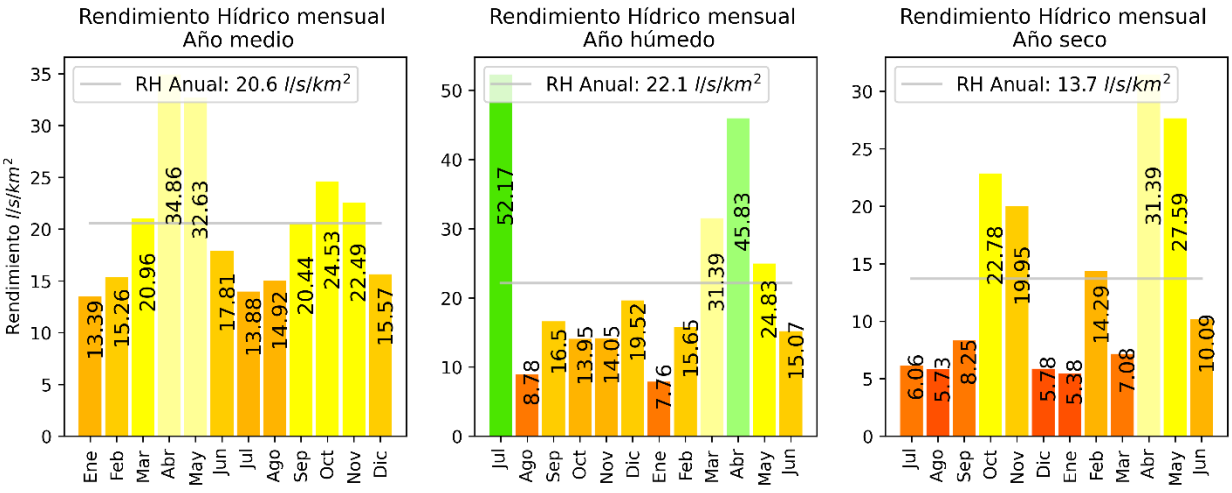


Figura 61. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 4

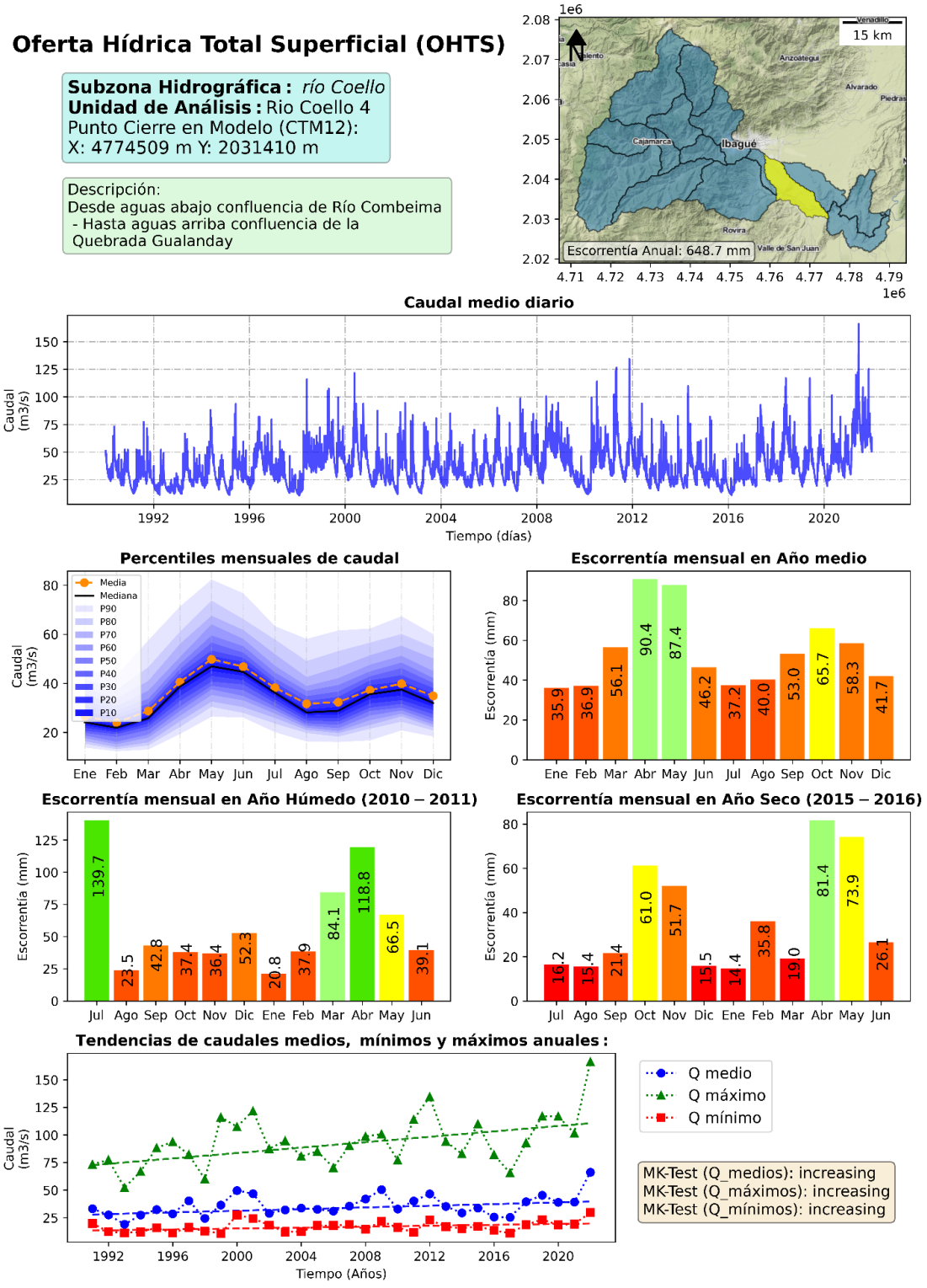


Figura 62. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 4

7.11. Unidad de Análisis: río Coello 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 32.6, 47.9 y 35.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 158.1 % de aumento, un 232.7 % de aumento, y un 171.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.4, 9.8 y 5.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.1, 47.4 y 27.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 63*). La escorrentía anual es de 650.3 mm, con valores máximos mensuales de 85.7, 124.3, y 91.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 64*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
38.97	**22.13**	**16.83**	**54.39**	**22.13**	**32.26**	**24.15**	**15.45**	**8.70**

Tabla 42. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 5

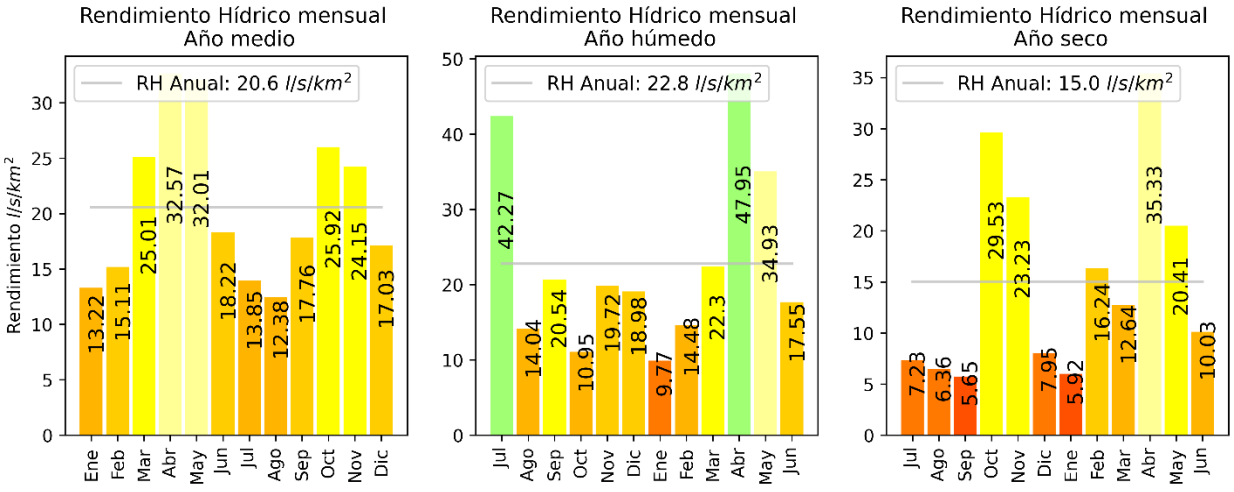


Figura 63. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 5

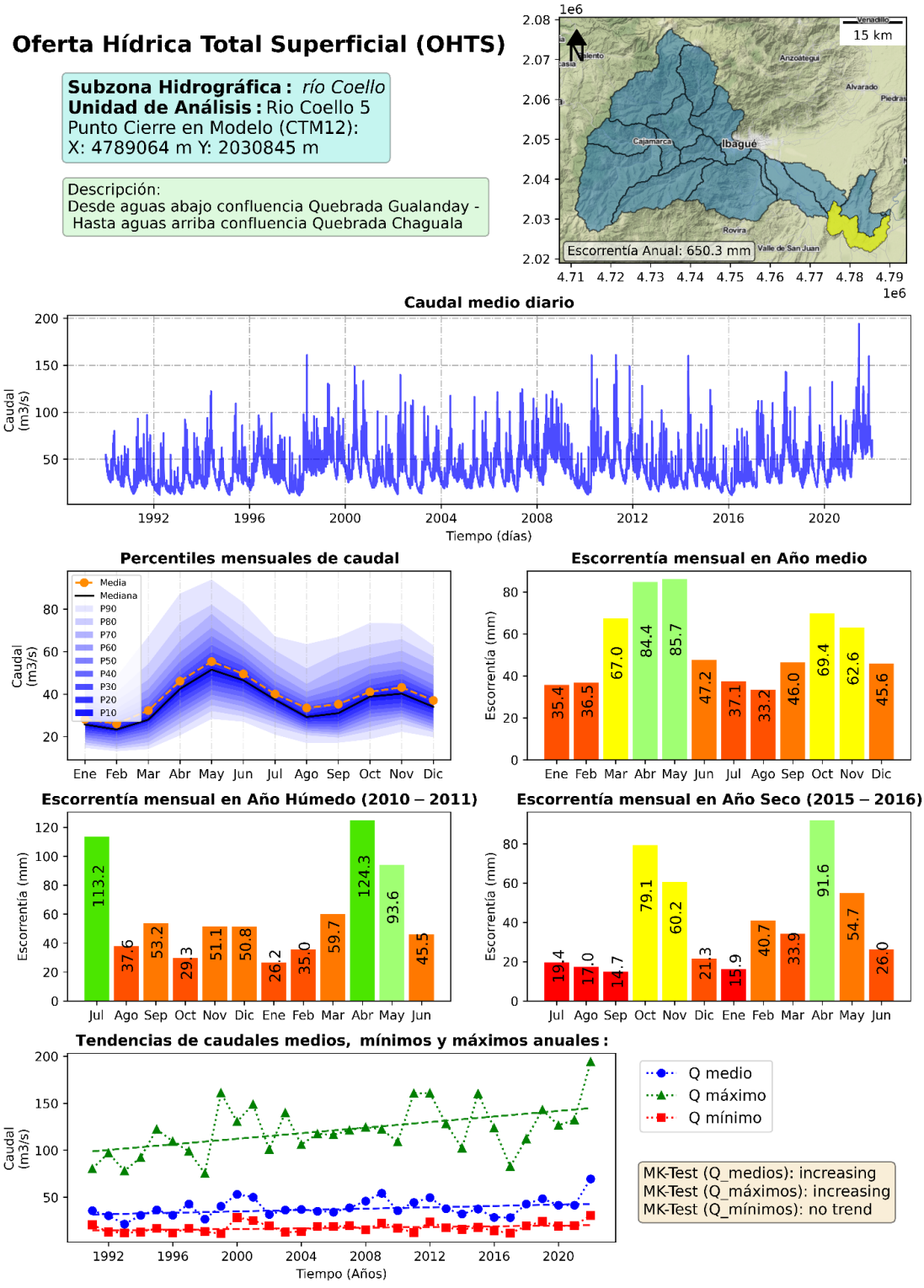


Figura 64. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 5

7.12. Unidad de Análisis: río Coello 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 37.4, 60.7 y 43.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 170.4 % de aumento, un 276.1 % de aumento, y un 200.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 11.0, 8.6 y 1.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 50.1, 39.0 y 7.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 65*). La escorrentía anual es de 693.9 mm, con valores máximos mensuales de 100.3, 157.2, y 113.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales máximos y medios anuales, y los caudales mínimos anuales no presentan tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 66*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
40.64	**23.11**	**17.53**	**56.15**	**23.11**	**33.04**	**25.42**	**16.20**	**9.22**

Tabla 43. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Coello 6

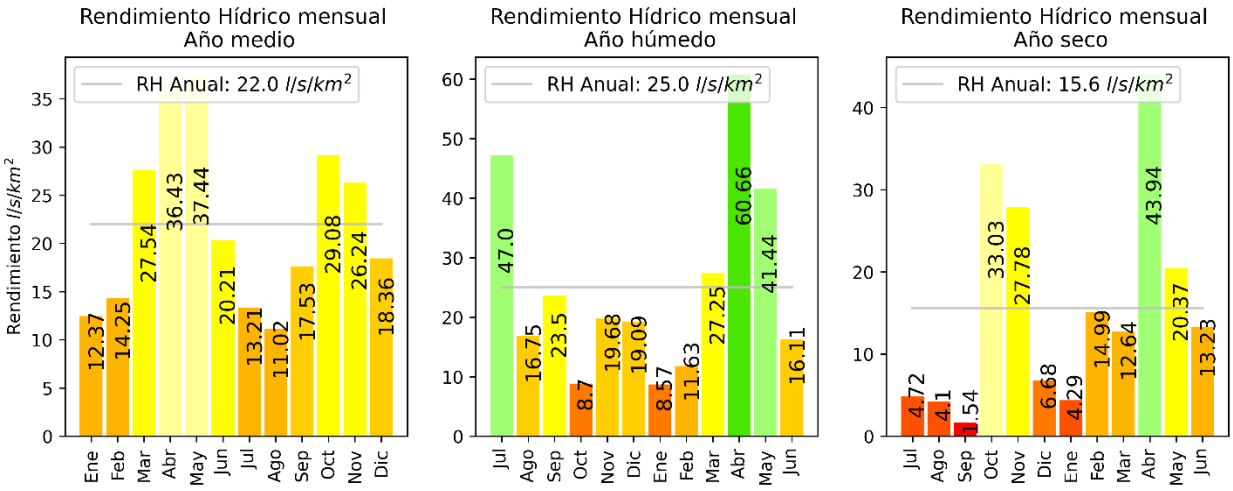


Figura 65. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 6

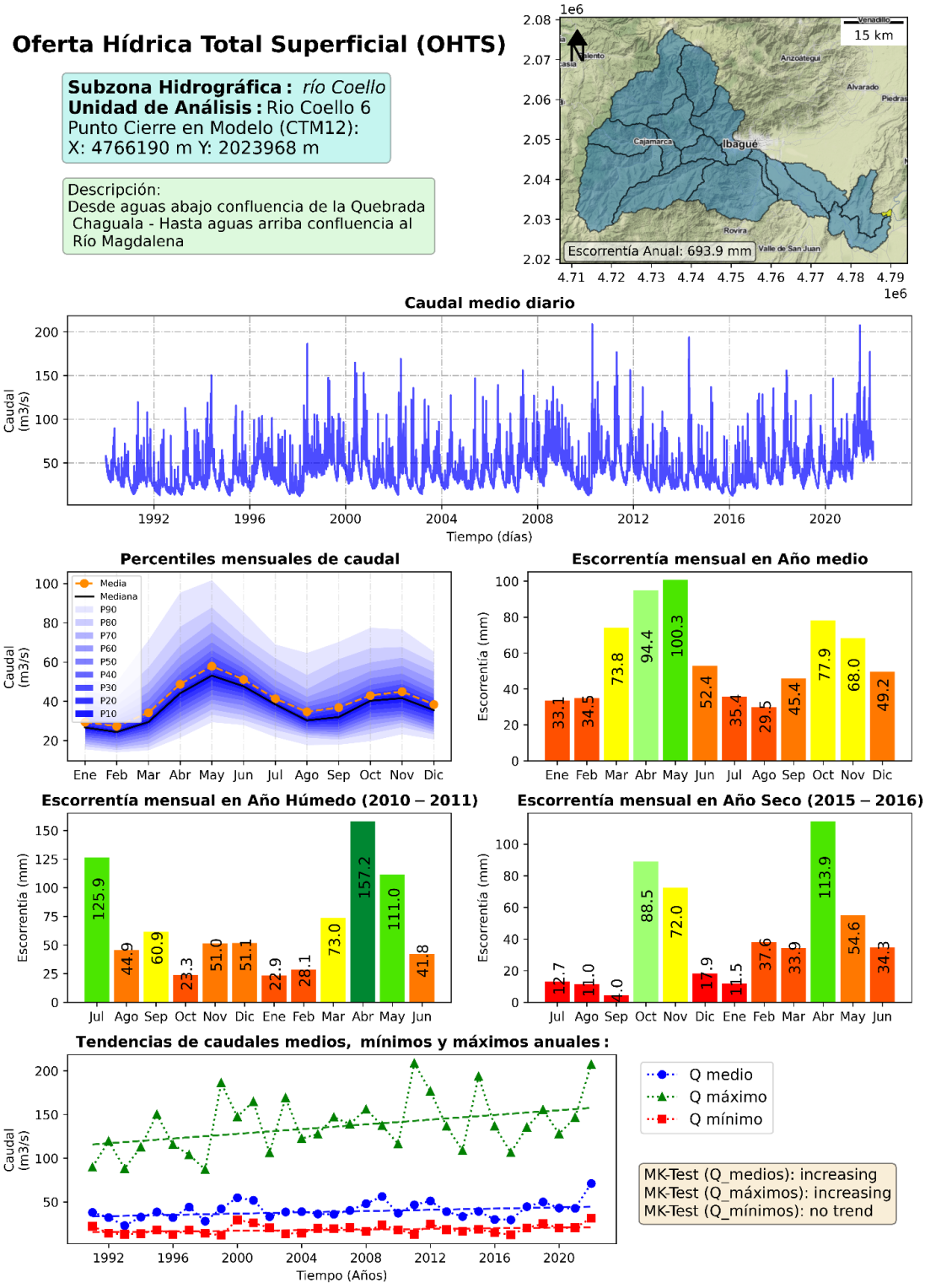


Figura 66. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Coello 6

7.13. Unidad de Análisis: río Combeima 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 36.0, 47.7 y 25.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 147.8 % de aumento, un 196.1 % de aumento, y un 103.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 10.5, 15.9 y 5.0 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 43.3, 65.5 y 20.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 67*). La escorrentía anual es de 769.2 mm, con valores máximos mensuales de 96.3, 127.8, y 67.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales mínimos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y máximos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 68*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
2.95	**1.19**	**1.75**	**3.56**	**1.19**	**2.37**	**1.89**	**0.72**	**1.17**

Tabla 44. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 1

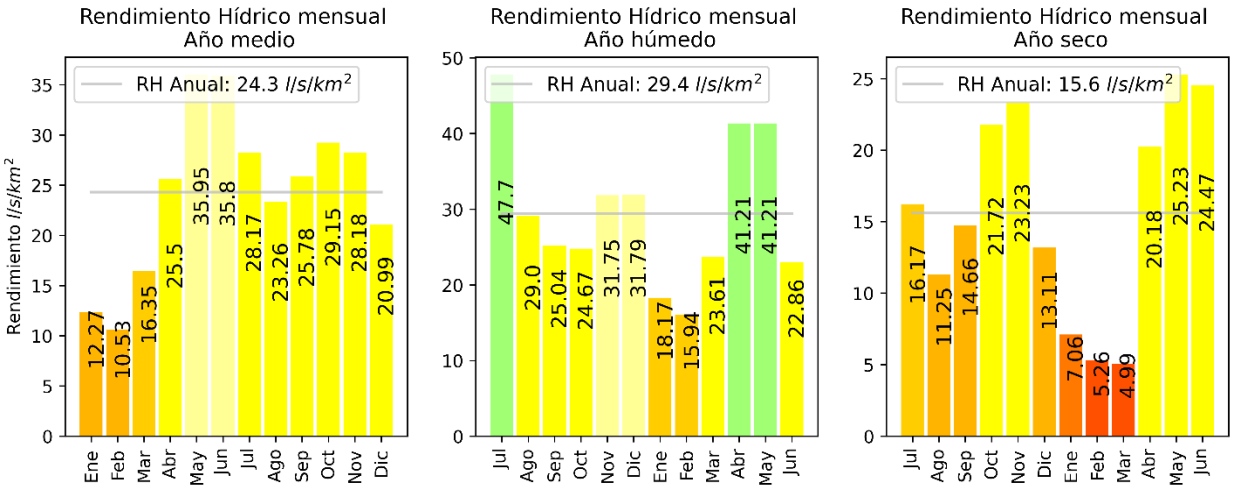


Figura 67. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 1

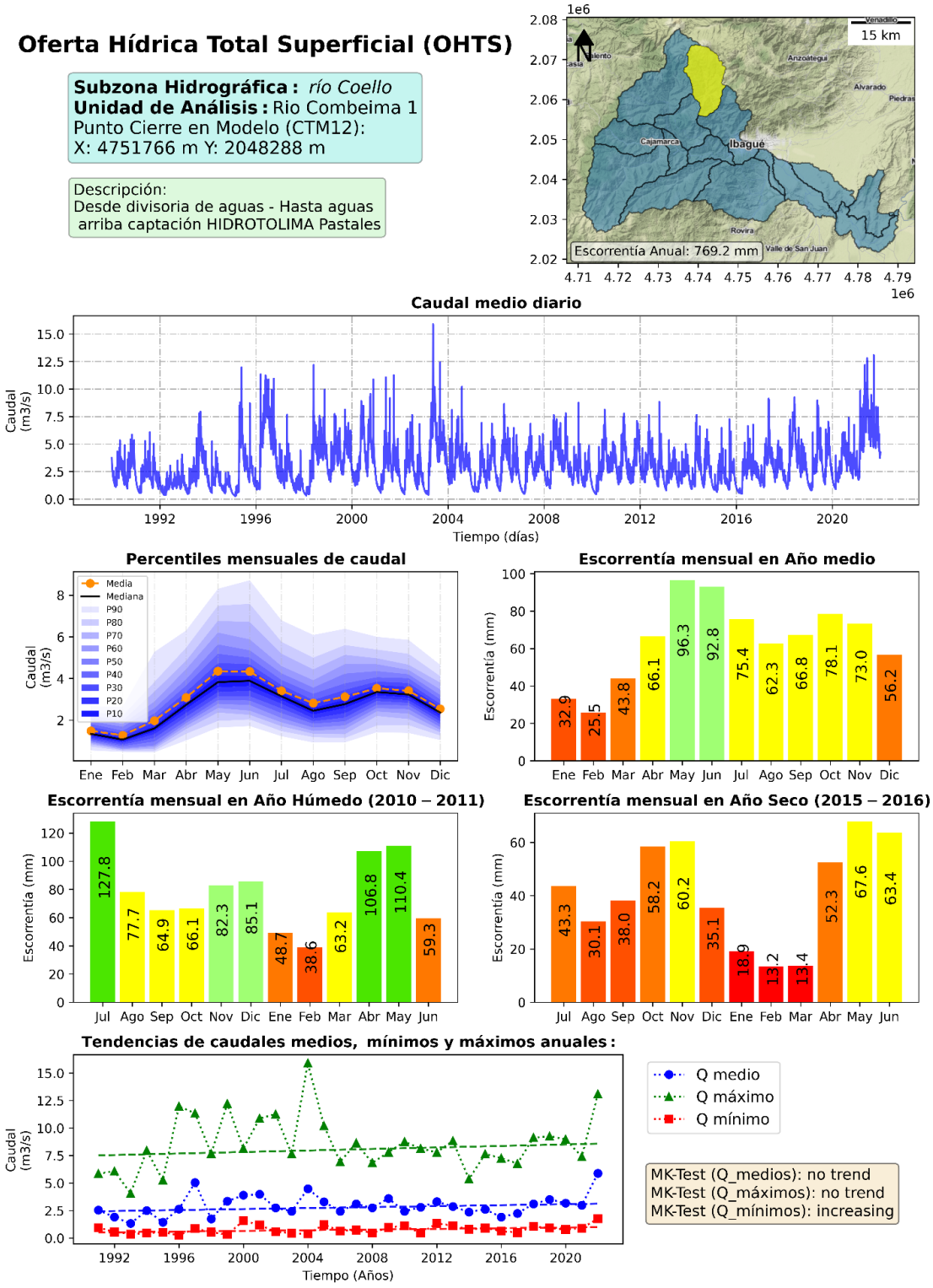


Figura 68. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 1

7.14. Unidad de Análisis: río Combeima 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 40.7, 69.7 y 28.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 128.8 % de aumento, un 220.6 % de aumento, y un 90.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 21.9, 30.5 y 8.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 69.2, 96.6 y 26.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 69*). La escorrentía anual es de 997.4 mm, con valores máximos mensuales de 108.9, 186.6, y 76.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 70*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.19	**3.18**	**3.01**	**8.48**	**3.18**	**5.30**	**3.75**	**1.68**	**2.08**

Tabla 45. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 2

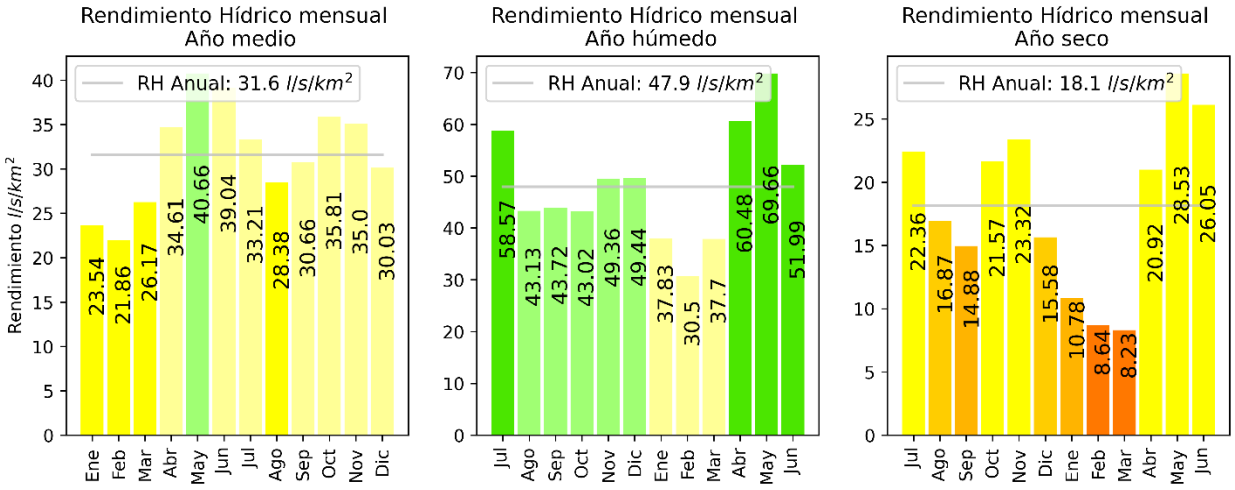


Figura 69. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 2

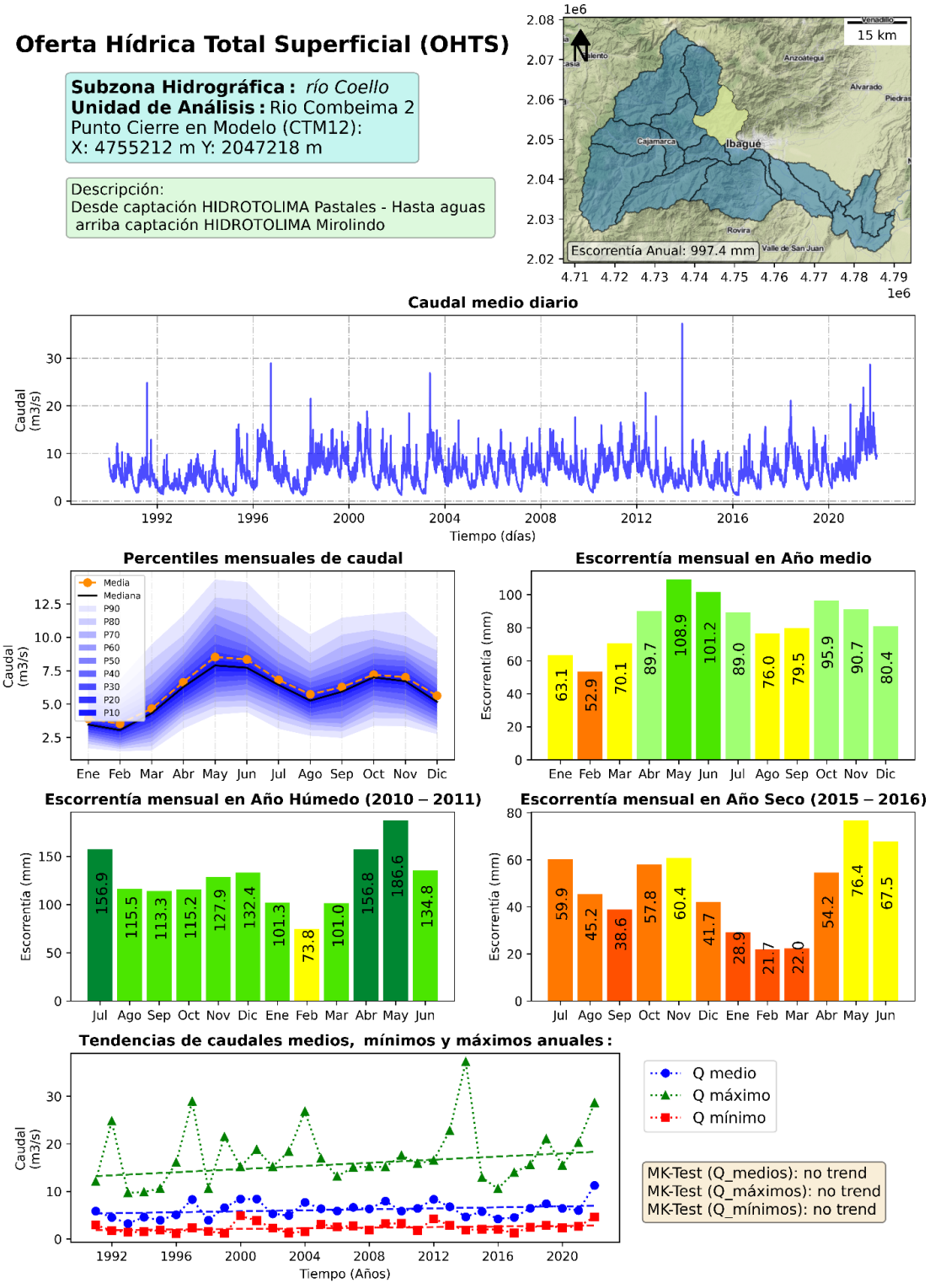


Figura 70. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 2

7.15. Unidad de Análisis: río Combeima 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 51.3, 93.2 y 48.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 133.5 % de aumento, un 242.2 % de aumento, y un 125.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.3, 33.4 y 13.8 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 71.0, 86.9 y 35.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 71*). La escorrentía anual es de 1,213.2 mm, con valores máximos mensuales de 137.5, 241.5, y 124.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 72*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
7.30	**3.81**	**3.49**	**10.18**	**3.81**	**6.38**	**4.46**	**2.29**	**2.17**

Tabla 46. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 3

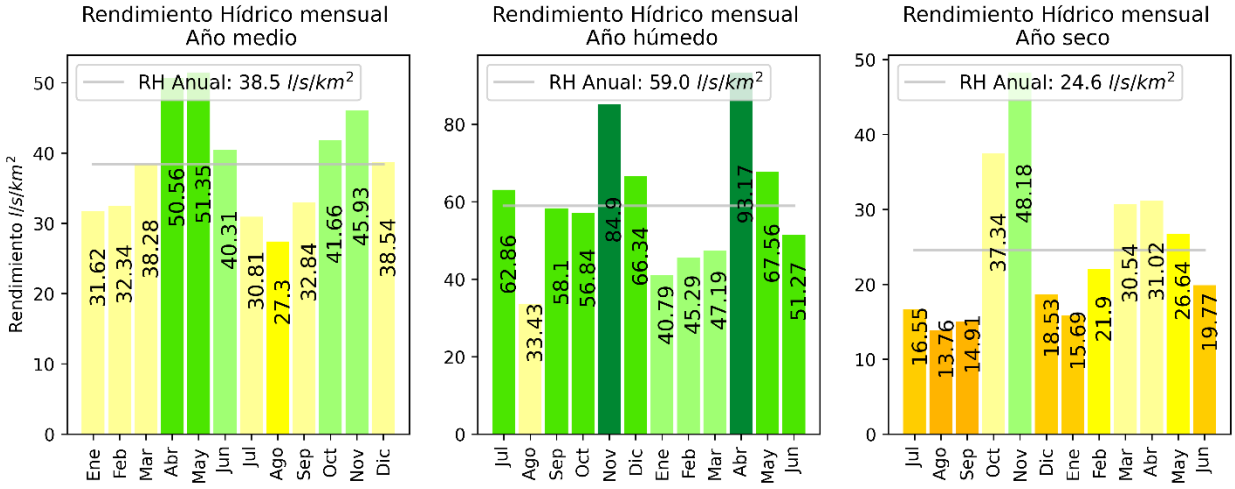


Figura 71. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 3

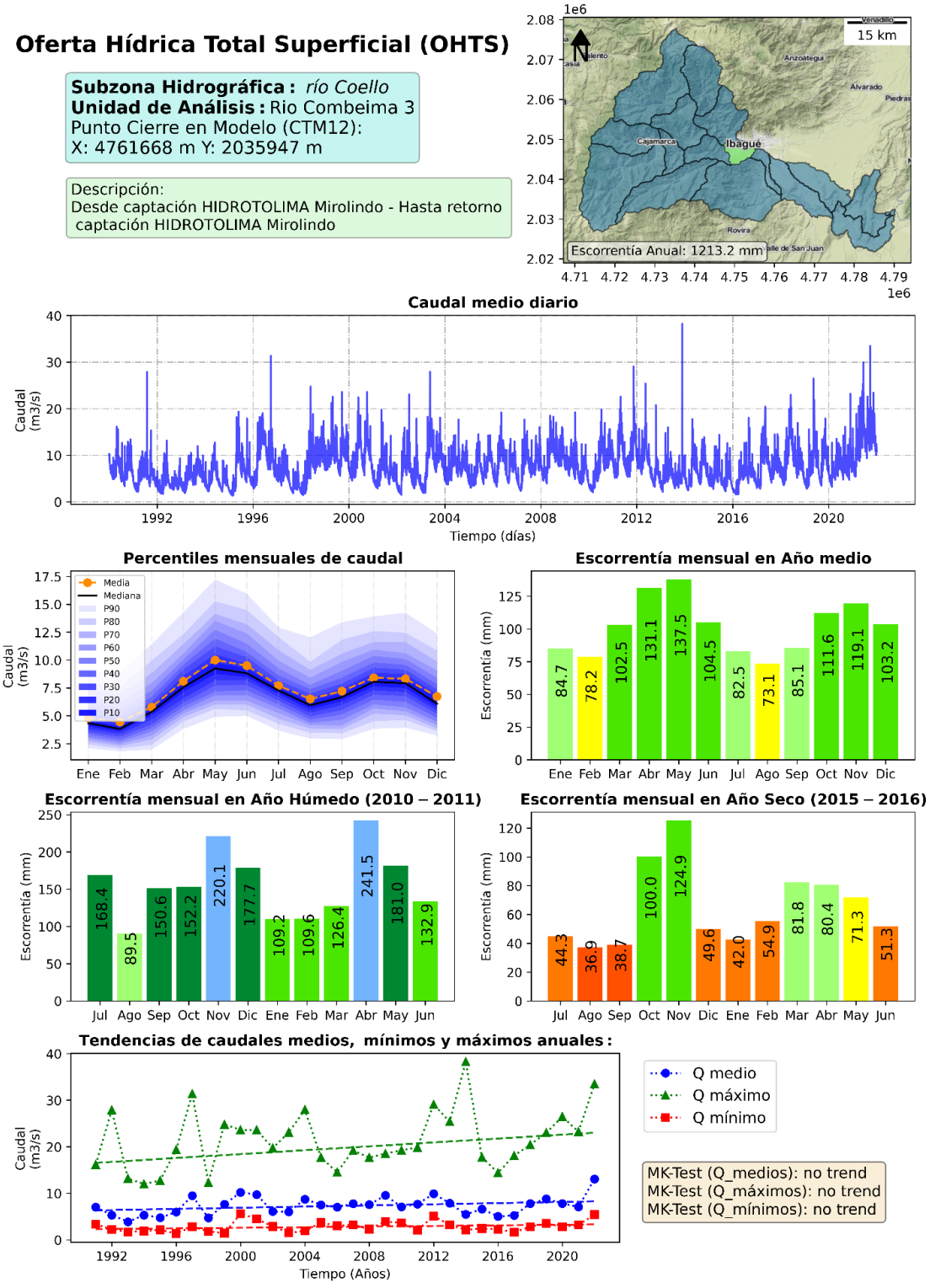


Figura 72. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 3

7.16. Unidad de Análisis: río Combeima 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 39.6, 82.4 y 33.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 161.2 % de aumento, un 335.2 % de aumento, y un 136.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 16.0, 12.9 y 7.0 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 65.2, 52.5 y 28.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 73*). La escorrentía anual es de 775.4 mm, con valores máximos mensuales de 102.8, 213.7, y 86.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento en los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 74*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
7.90	**4.08**	**3.82**	**11.12**	**4.08**	**7.04**	**4.81**	**2.47**	**2.35**

Tabla 47. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Combeima 4

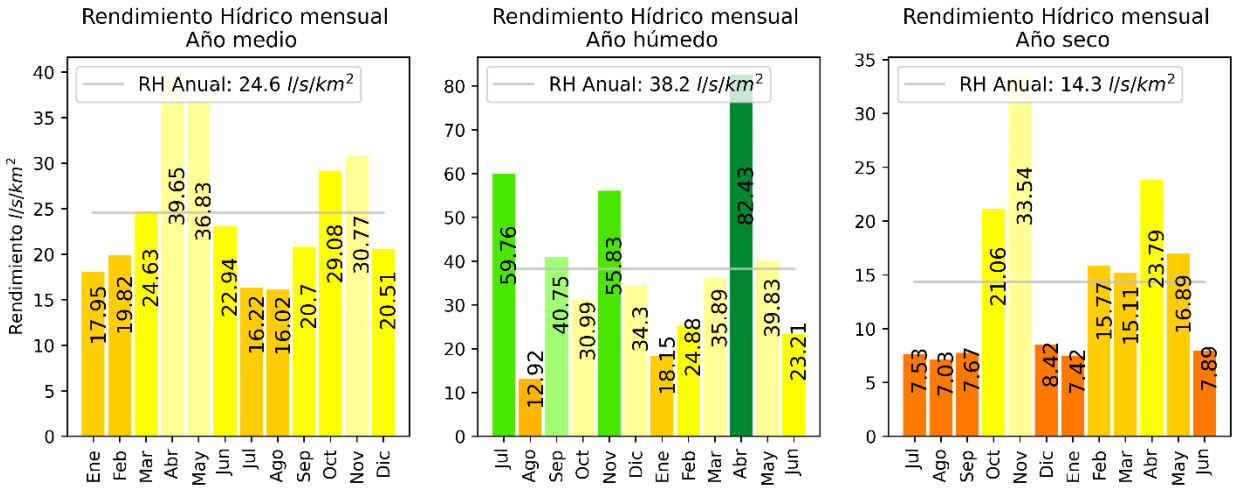


Figura 73. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 4

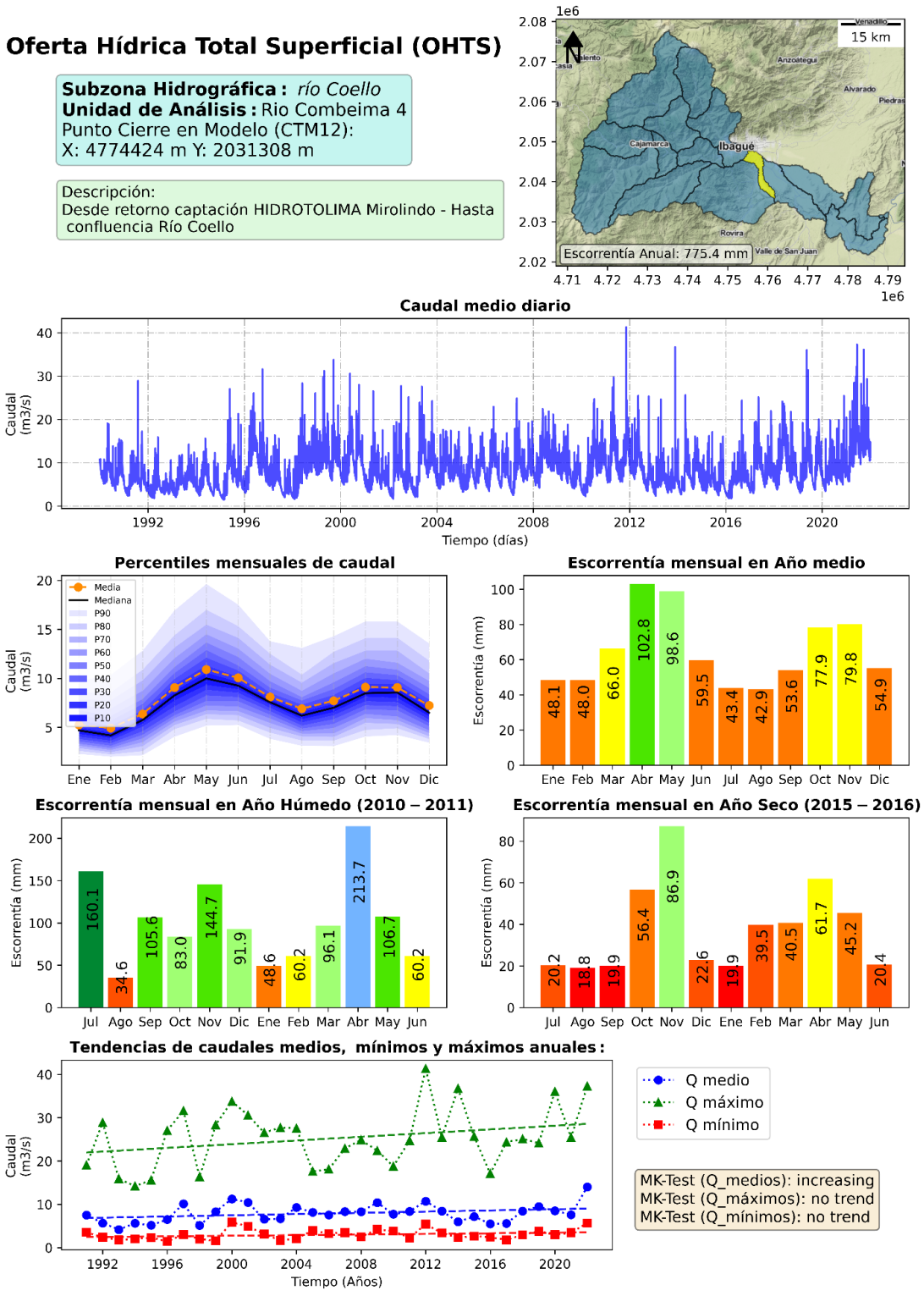


Figura 74. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Combeima 4

7.17. Unidad de Análisis: río Toche

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 29.1, 47.6 y 17.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 136.9 % de aumento, un 223.2 % de aumento, y un 80.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.0, 20.5 y 6.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.9, 96.1 y 30.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 75*). La escorrentía anual es de 674.2 mm, con valores máximos mensuales de 77.1, 127.5, y 44.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento en los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 76*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
5.04	**2.57**	**2.47**	**7.36**	**2.57**	**4.78**	**2.73**	**1.81**	**0.92**

Tabla 48. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Toche

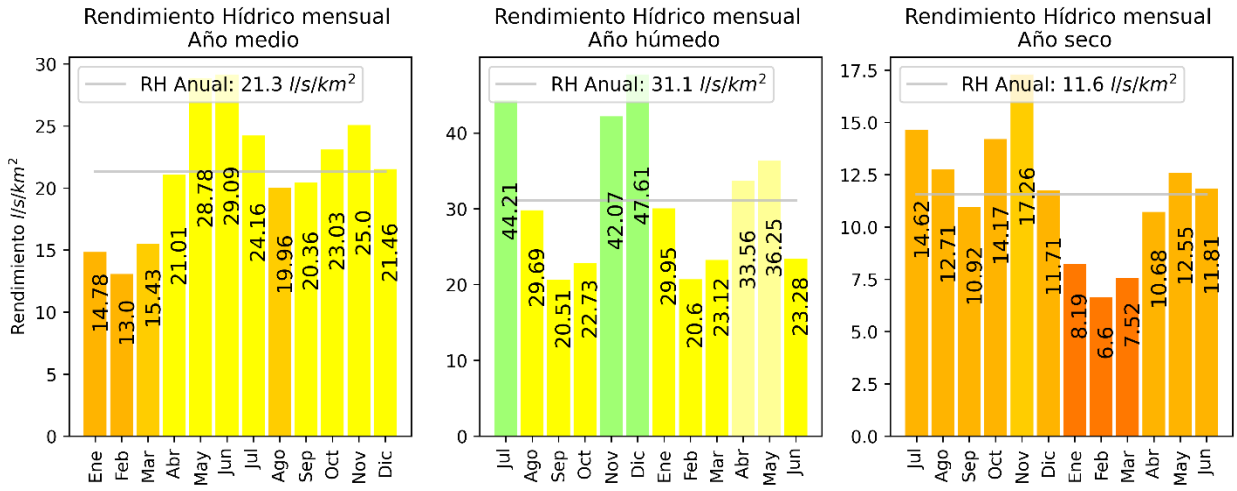


Figura 75. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Toche

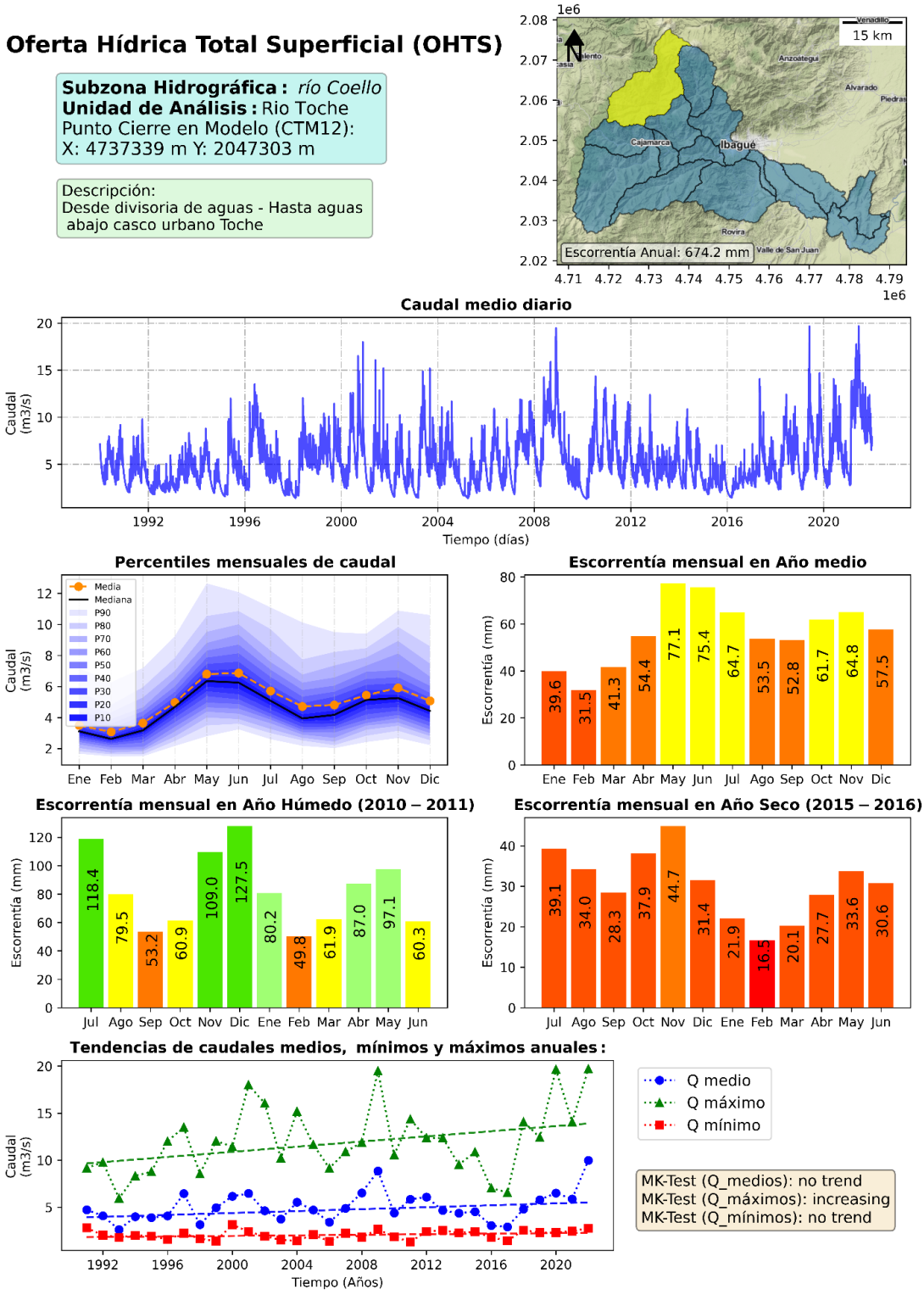


Figura 76. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Toche

8. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Totare

8.1. Unidad de Análisis: río Alvarado 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 18.9, 22.1 y 11.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 160.7 % de aumento, un 187.9 % de aumento, y un 95.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 7.8, 6.8 y 2.5 l/s/km^2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 66.2, 57.5 y 21.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 77*). La escorrentía anual es de 370.8 mm, con valores máximos mensuales de 50.5, 59.1, y 30.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 78*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.49	**1.46**	**2.04**	**3.46**	**1.46**	**2.00**	**1.66**	**0.87**	**0.79**

Tabla 49. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Alvarado 1

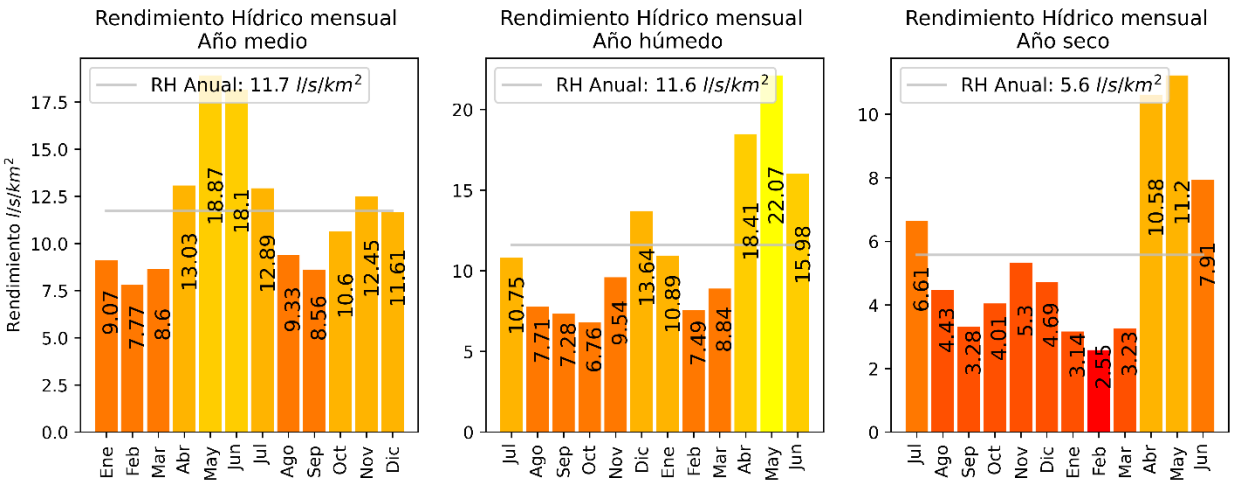


Figura 77. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 1

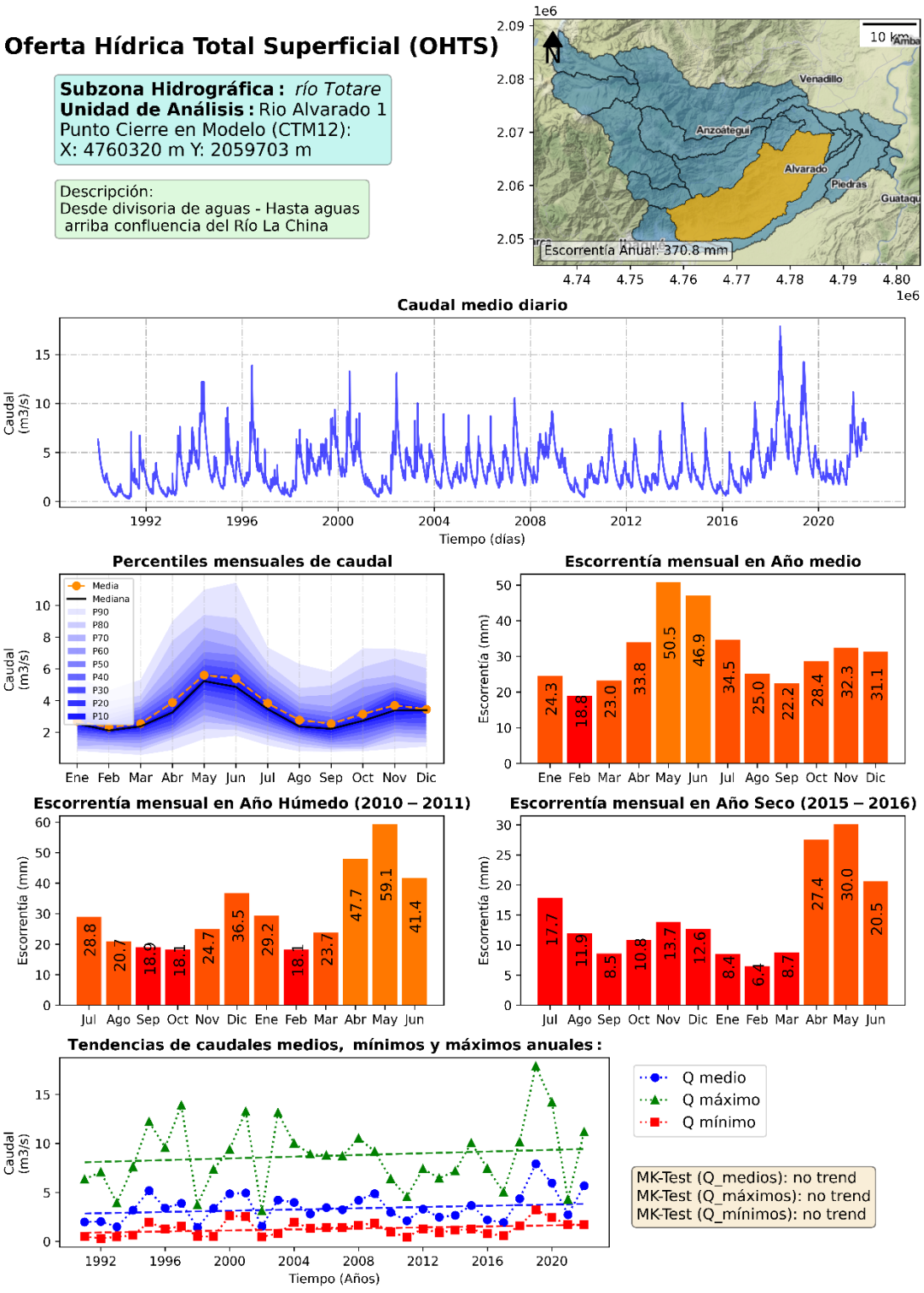


Figura 78. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 1

8.2. Unidad de Análisis: río Alvarado 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 8.7, 11.1 y 2.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 359.2 % de aumento, un 461.4 % de aumento, y un 110.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 0.8, 0.0 y 0.0 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 34.1, 0.0 y 0.0 % con relación al valor medio anual (Figura 79). La escorrentía anual es de 76.2 mm, con valores máximos mensuales de 23.2, 29.8, y 6.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 80*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
12.59	**5.18**	**7.40**	**18.22**	**5.18**	**13.04**	**5.76**	**2.14**	**3.62**

Tabla 50. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Alvarado 2

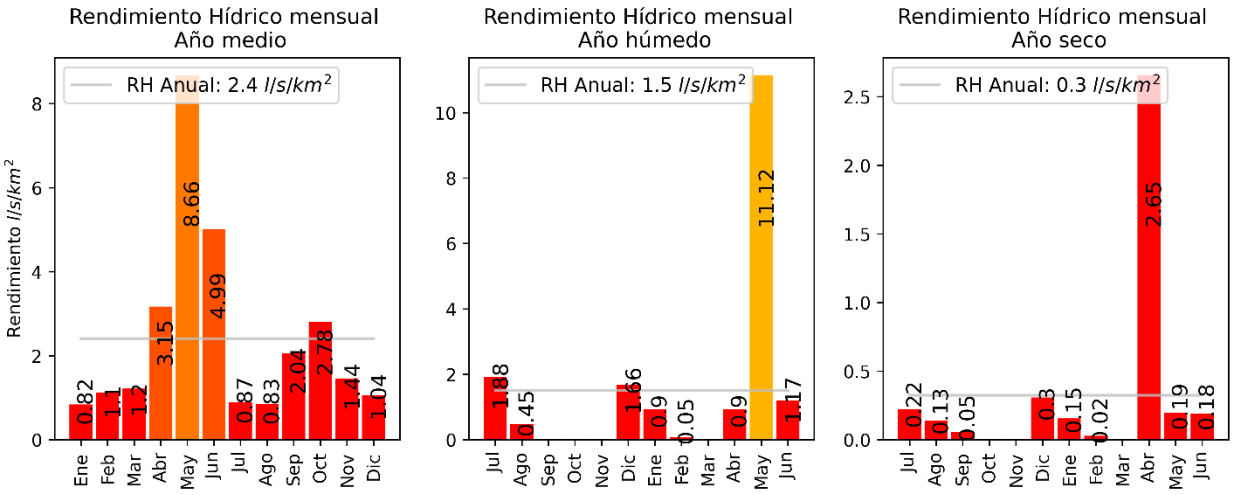


Figura 79. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 2

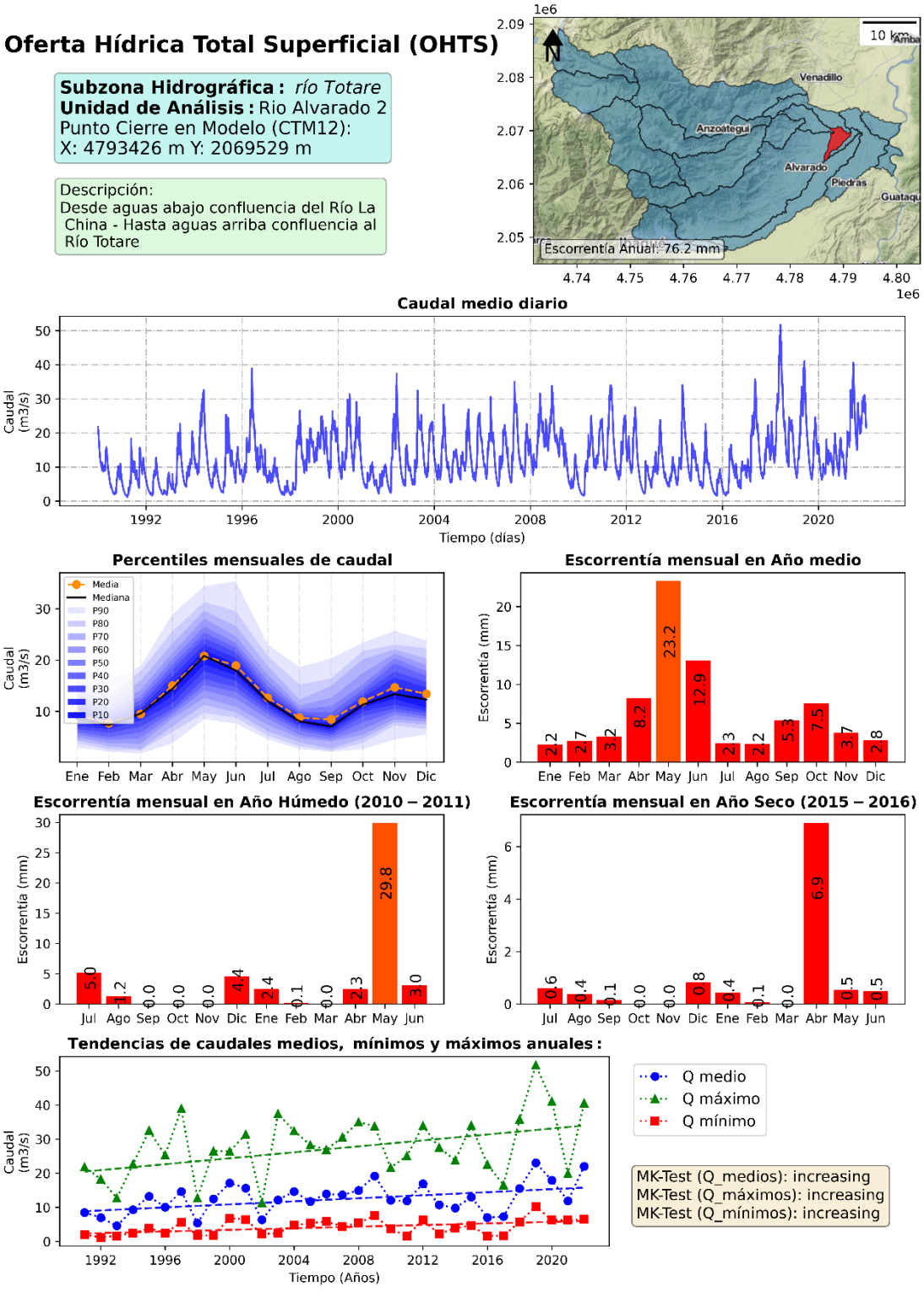


Figura 80. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Alvarado 2

8.3. Unidad de Análisis: río Chipalo 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 43.5, 89.1 y 36.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.8 % de aumento, un 288.8 % de aumento, y un 118.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 19.5, 31.7 y 6.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 63.3, 102.8 y 21.3 % con relación al valor medio anual (*Figura 81*). La escorrentía anual es de 973.6 mm, con valores máximos mensuales de 116.4, 231.0, y 95.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 82*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.76	**0.58**	**1.18**	**3.20**	**0.58**	**2.61**	**0.96**	**0.28**	**0.68**

Tabla 51. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Chipalo 1

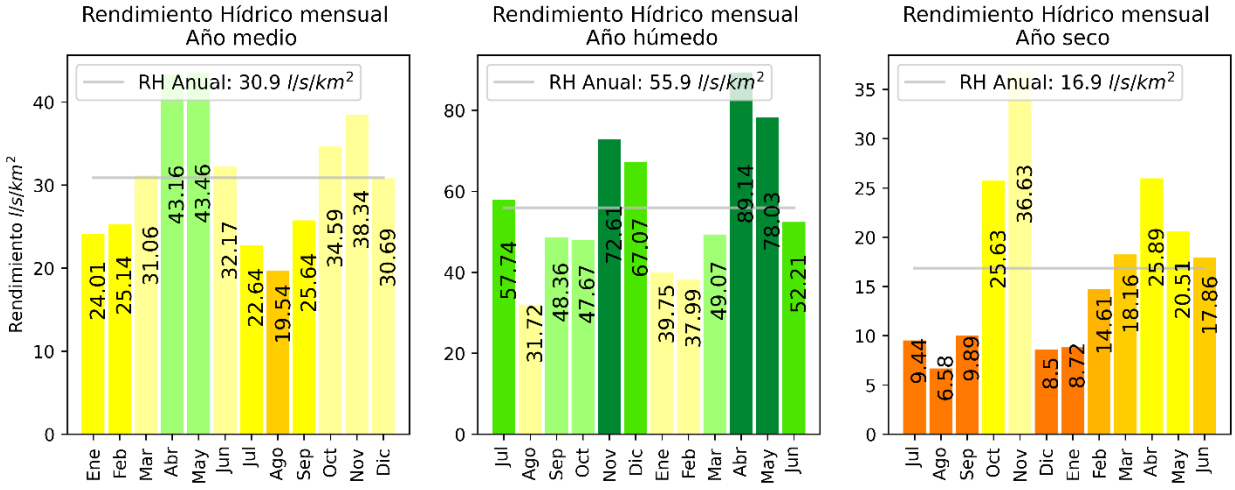


Figura 81. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 1

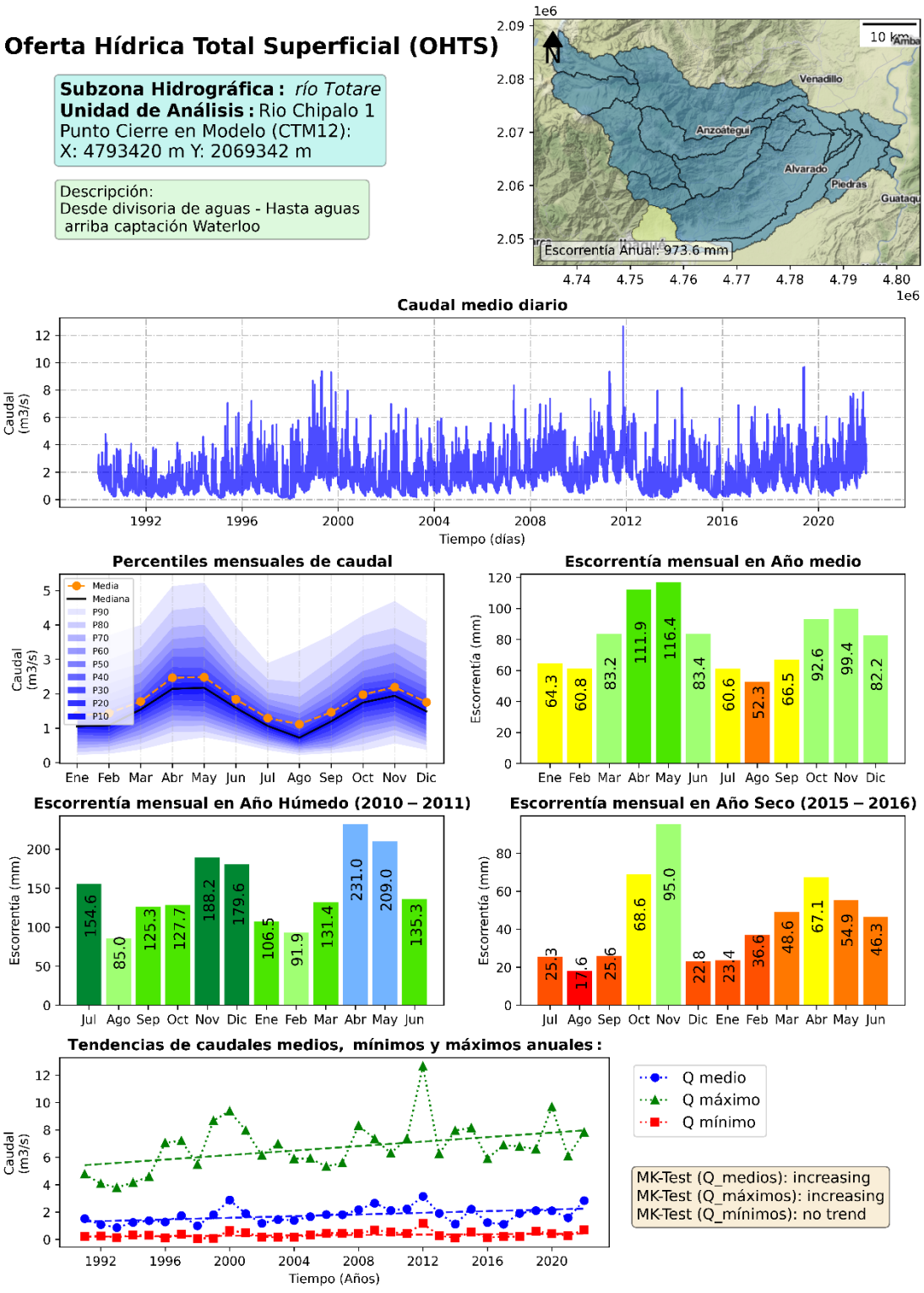


Figura 82. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 1

8.4. Unidad de Análisis: río Chipalo 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 1.5, 1.8 y 1.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 183.8 % de aumento, un 221.1 % de aumento, y un 121.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 0.5, 0.1 y 0.0 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 61.5, 15.6 y 0.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 83*). La escorrentía anual es de 25.2 mm, con valores máximos mensuales de 3.9, 4.7, y 2.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 84*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.84	**0.65**	**1.19**	**3.25**	**0.65**	**2.60**	**0.99**	**0.31**	**0.68**

Tabla 52. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Chipalo 2

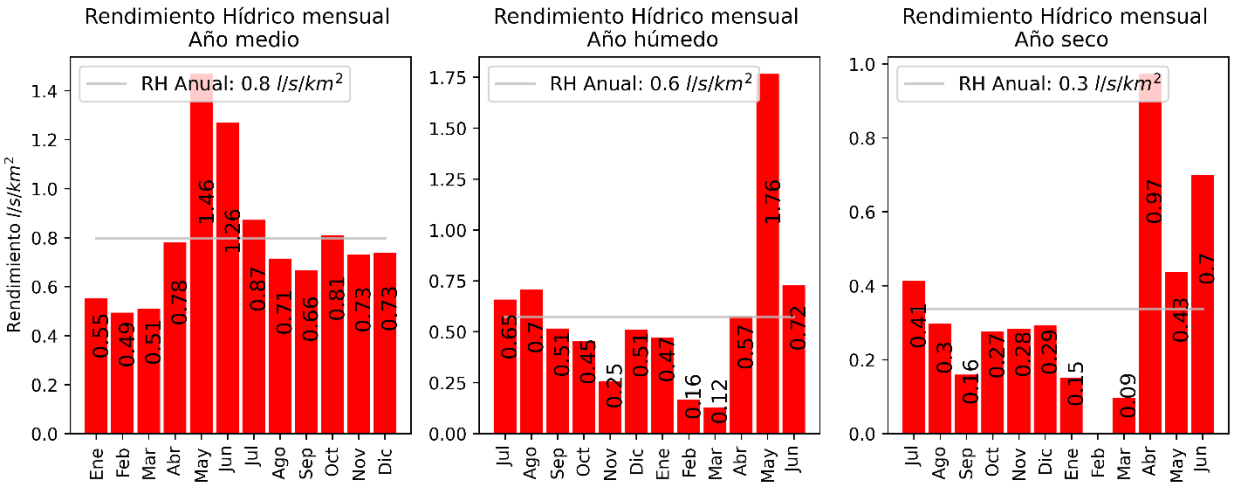


Figura 83. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 2

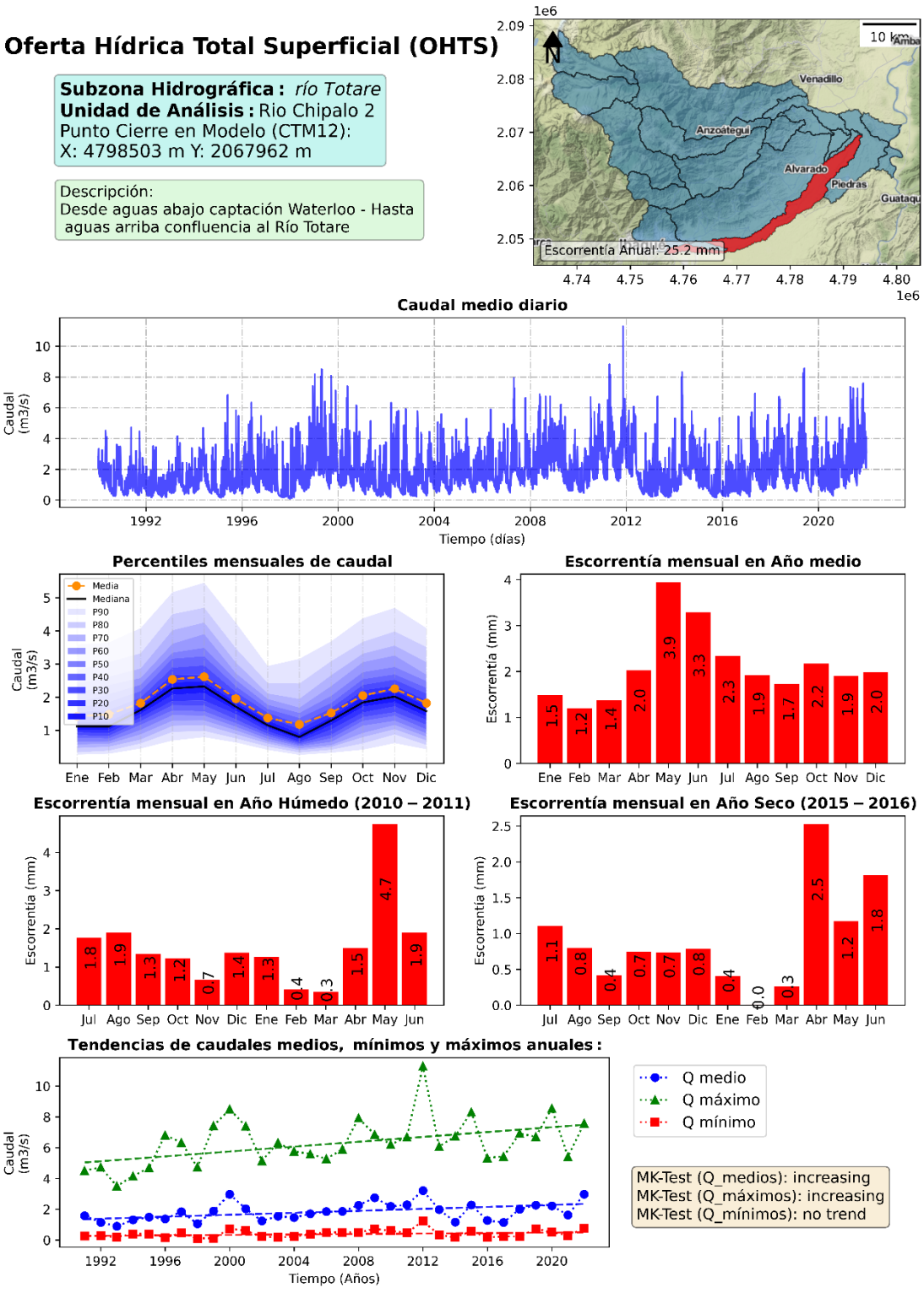


Figura 84. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Chipalo 2

8.5. Unidad de Análisis: río Frío

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 37.0, 58.8 y 27.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 165.4 % de aumento, un 262.6 % de aumento, y un 121.1 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.6, 20.6 y 2.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 56.4, 92.1 y 11.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 85*). La escorrentía anual es de 706.7 mm, con valores máximos mensuales de 99.1, 157.4, y 72.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 86*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
2.34	**0.85**	**1.49**	**4.02**	**0.85**	**3.17**	**1.12**	**0.33**	**0.79**

Tabla 53. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Frío

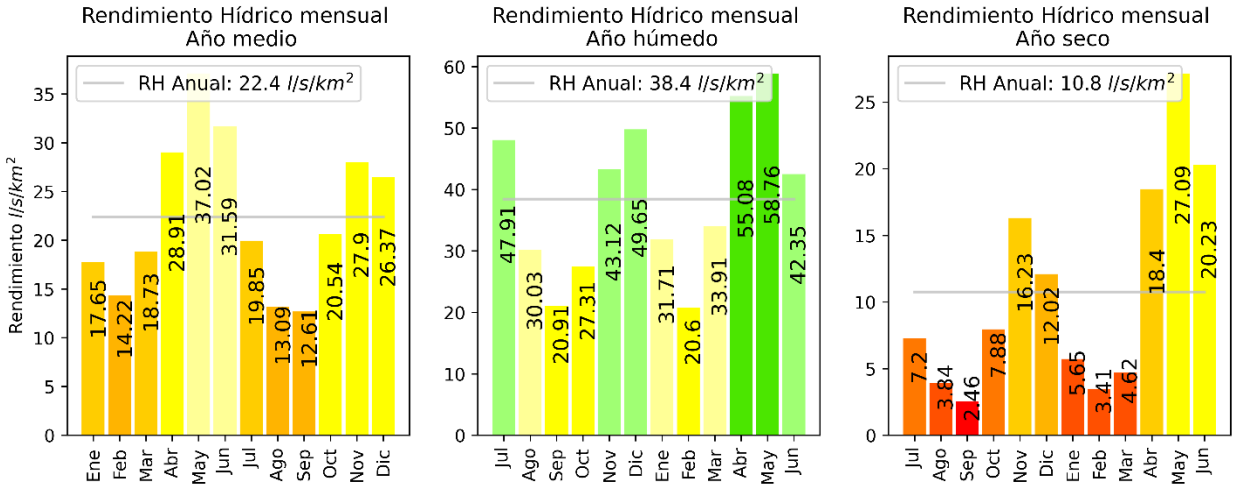


Figura 85. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Frío

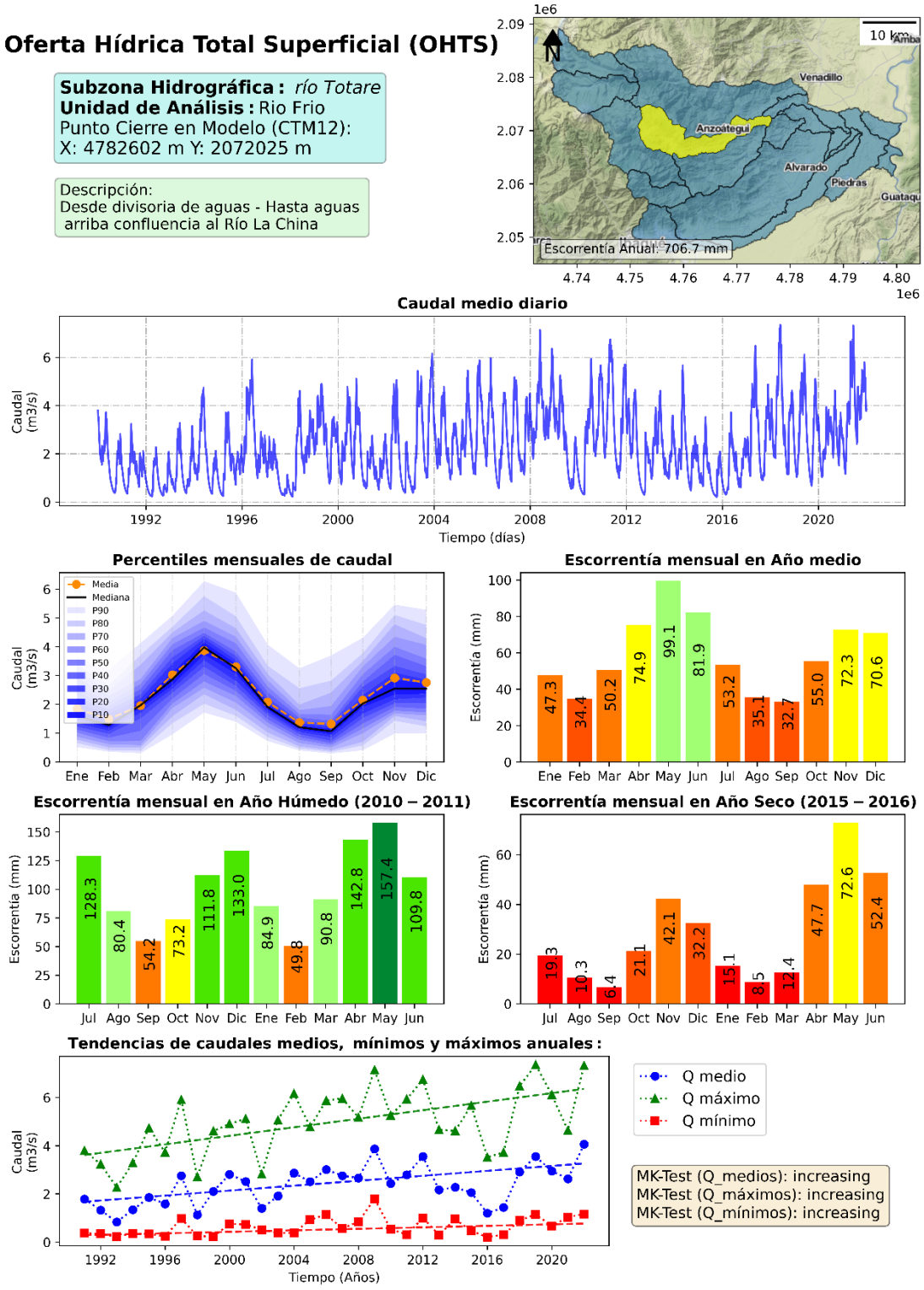


Figura 86. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Frio

8.6. Unidad de Análisis: río La China 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 39.1, 102.4 y 23.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 158.0 % de aumento, un 413.7 % de aumento, y un 94.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.8, 25.9 y 1.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 59.6, 104.5 y 4.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 87*). La escorrentía anual es de 781.7 mm, con valores máximos mensuales de 104.7, 274.2, y 62.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 88*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.15	**0.31**	**0.84**	**2.64**	**0.31**	**2.33**	**0.44**	**0.08**	**0.37**

Tabla 54. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 1

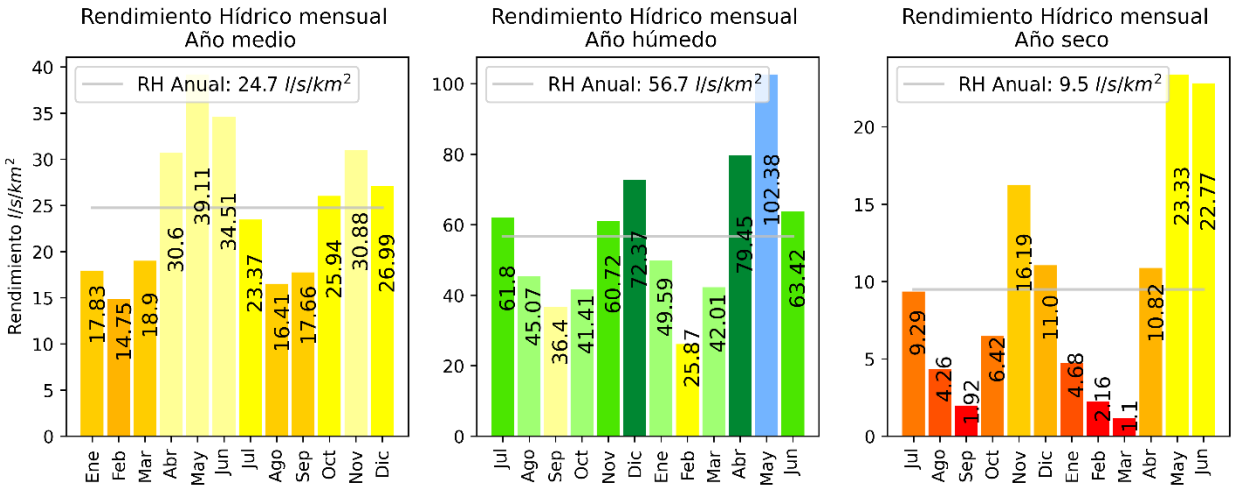


Figura 87. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 1

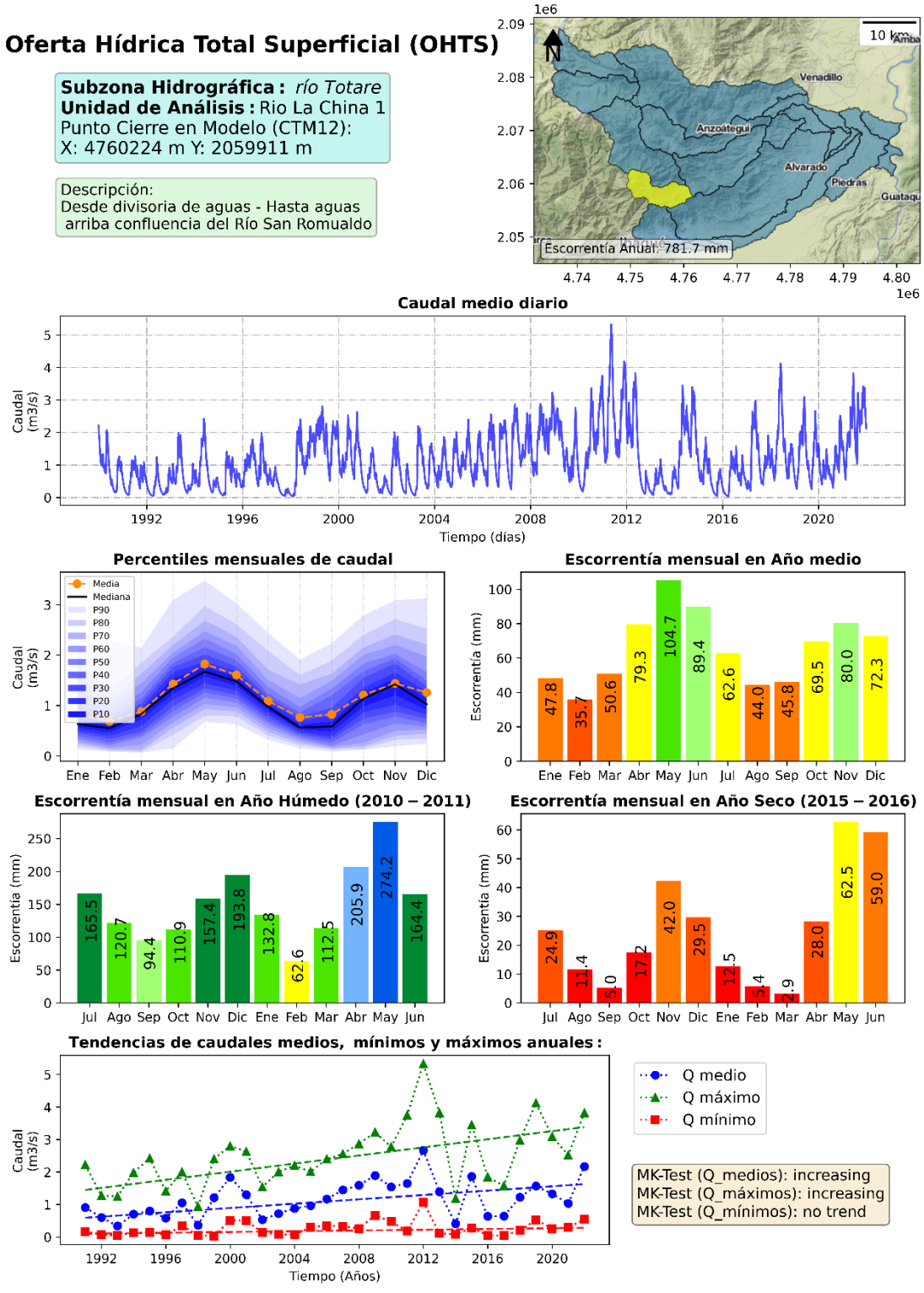


Figura 88. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 1

8.7. Unidad de Análisis: río La China 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 35.8, 45.7 y 25.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 165.1 % de aumento, un 210.6 % de aumento, y un 117.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.6, 13.4 y 3.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 57.9, 61.7 y 15.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 89*). La escorrentía anual es de 685.1 mm, con valores máximos mensuales de 95.9, 122.4, y 68.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 90*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.06	**2.22**	**3.84**	**9.96**	**2.22**	**7.74**	**2.72**	**0.72**	**2.00**

Tabla 55. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 2

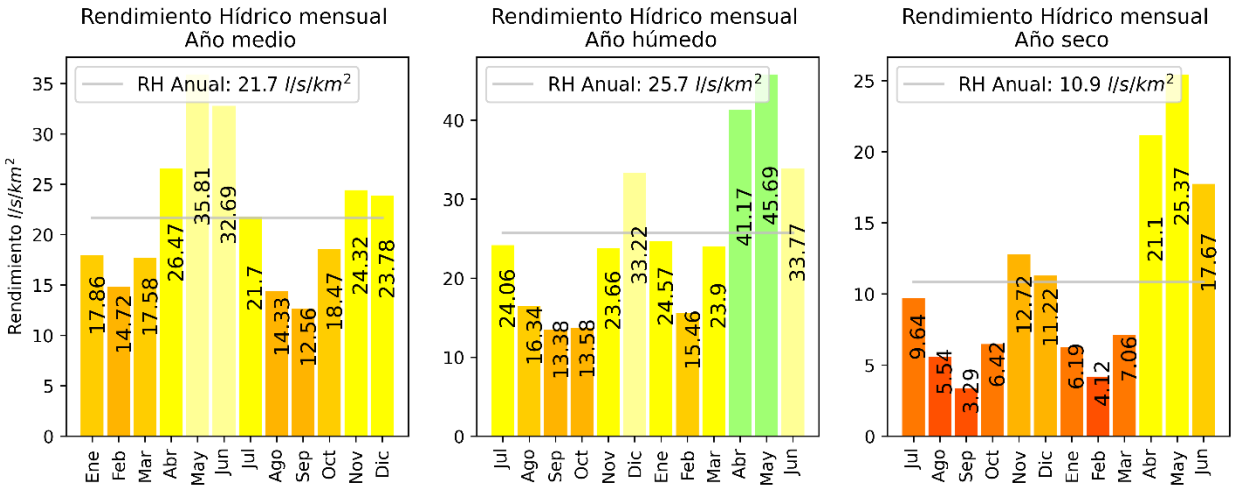


Figura 89. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 2

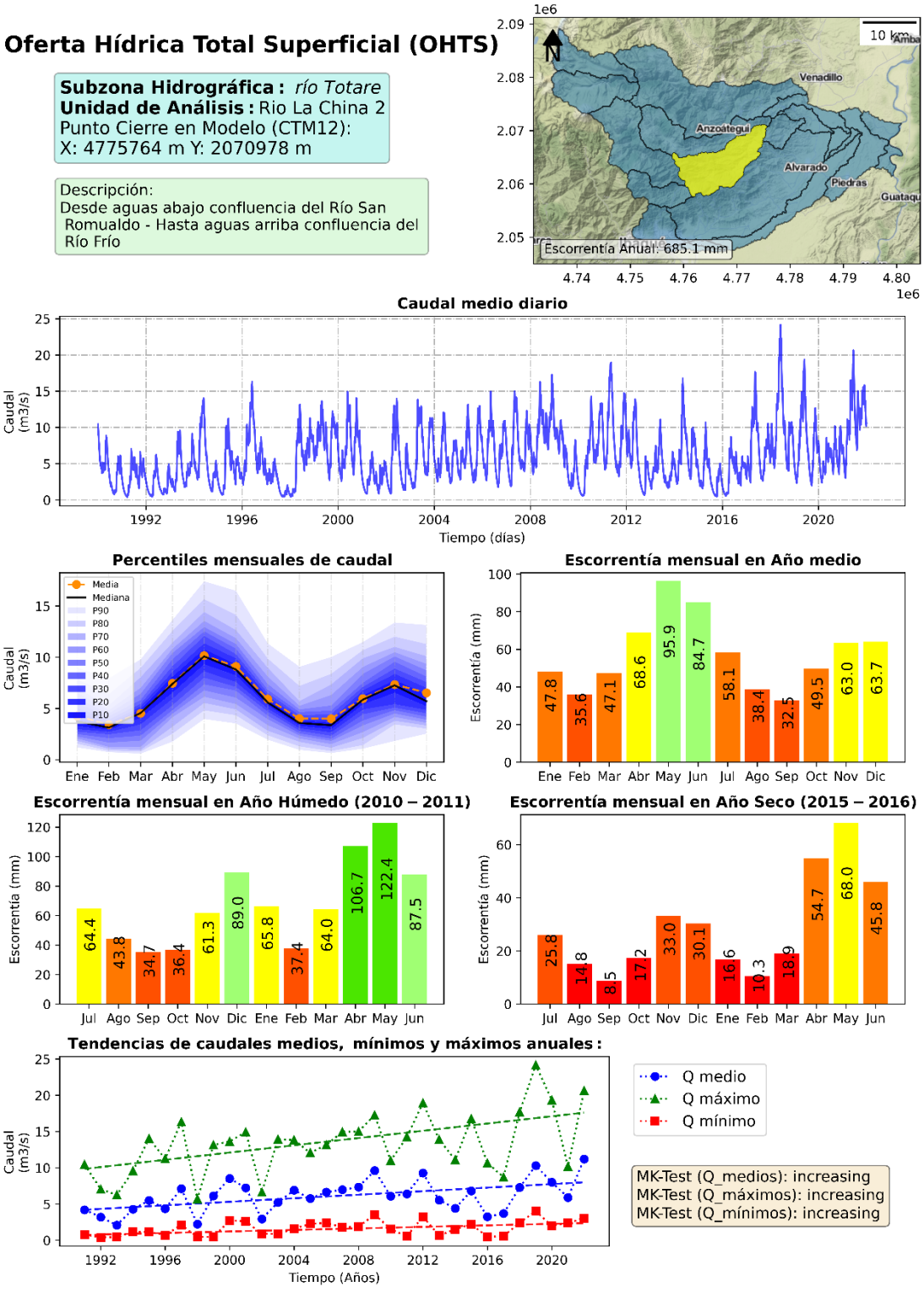


Figura 90. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 2

8.8. Unidad de Análisis: río La China 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 21.2, 28.6 y 9.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 149.2 % de aumento, un 200.6 % de aumento, y un 65.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 10.4, 9.7 y 2.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 72.7, 68.1 y 18.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 91*). La escorrentía anual es de 449.7 mm, con valores máximos mensuales de 55.0, 76.5, y 25.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 92*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
8.80	**3.33**	**5.47**	**14.49**	**3.33**	**11.16**	**4.01**	**1.15**	**2.86**

Tabla 56. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 3

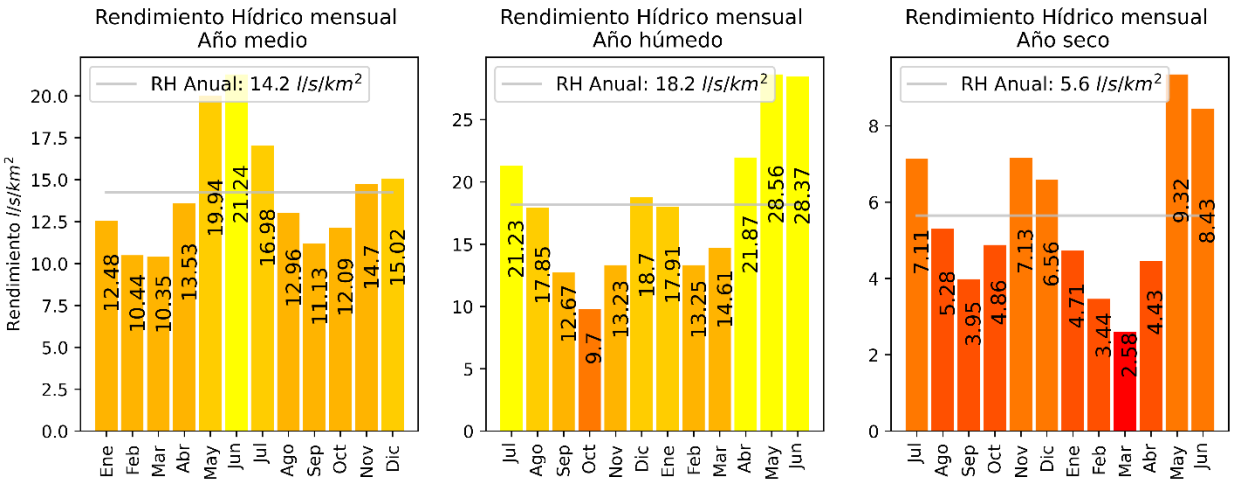


Figura 91. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 3

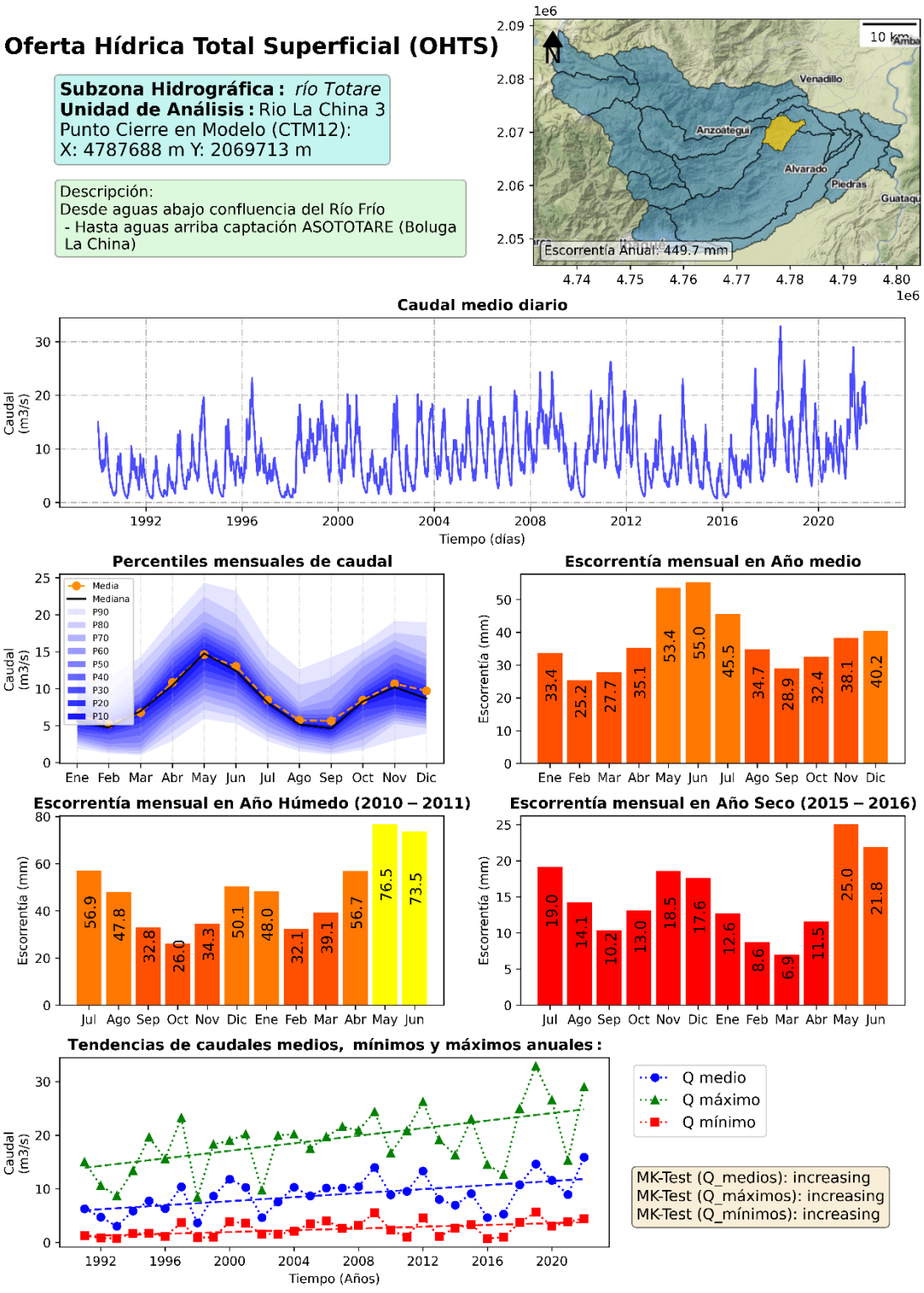


Figura 92. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 3

8.9. Unidad de Análisis: río La China 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 17.9, 19.5 y 7.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 169.1 % de aumento, un 184.2 % de aumento, y un 66.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 6.3, 4.9 y 1.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 59.6, 45.8 y 14.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 93*). La escorrentía anual es de 334.8 mm, con valores máximos mensuales de 48.0, 52.3, y 18.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 94*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
9.07	**3.47**	**5.59**	**14.75**	**3.47**	**11.28**	**4.10**	**1.21**	**2.89**

Tabla 57. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La China 4

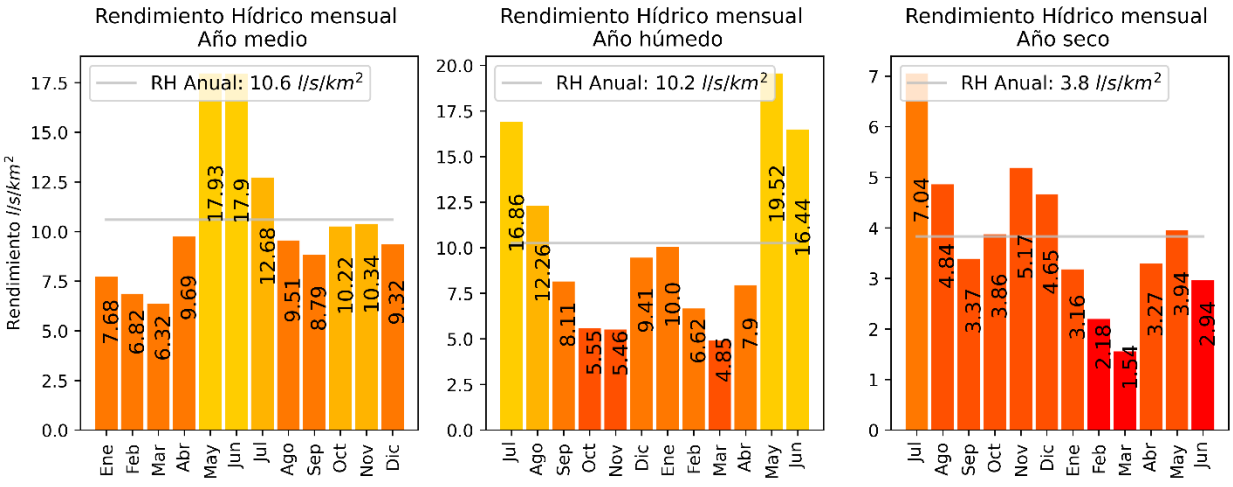


Figura 93. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río La China 4

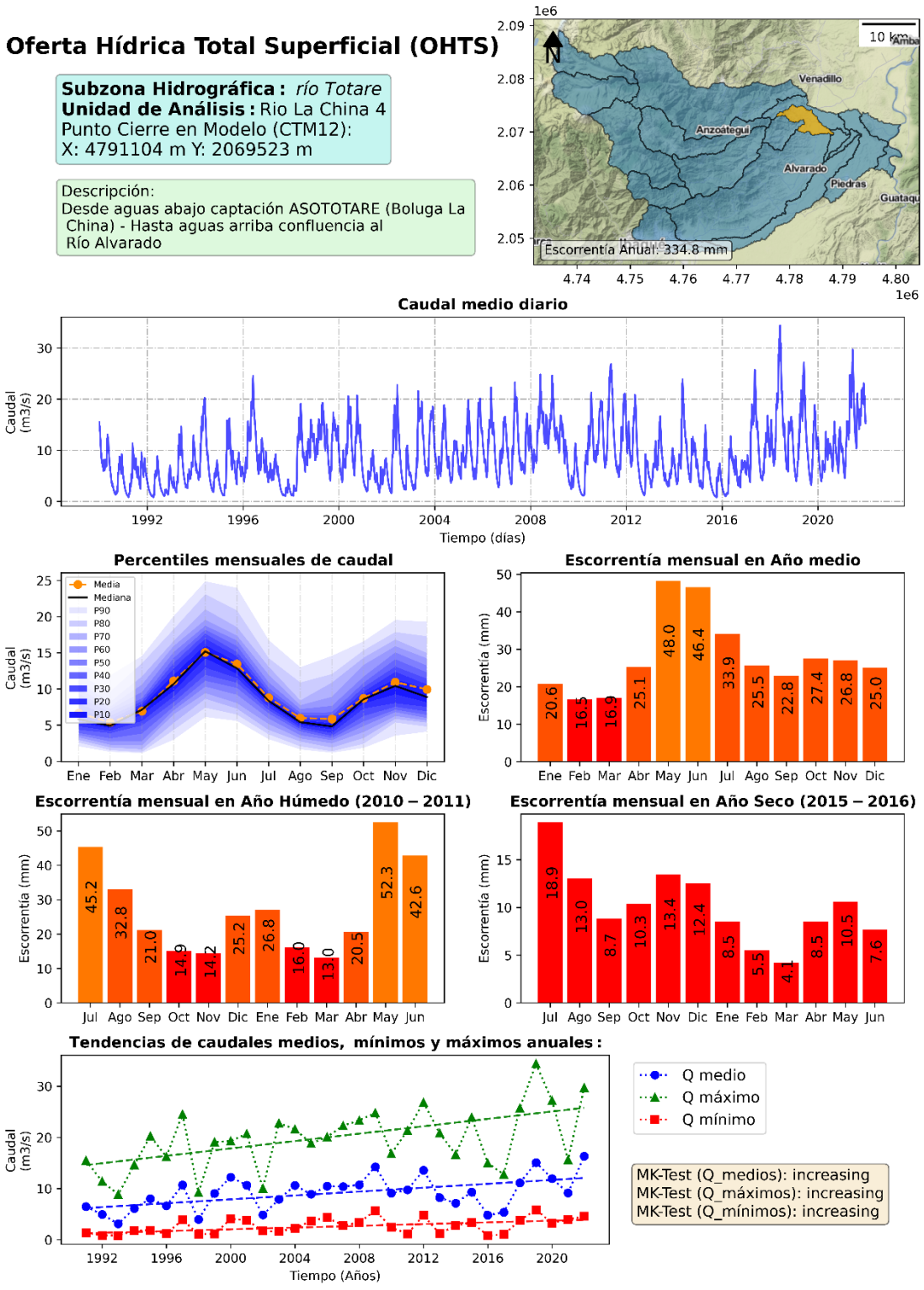


Figura 94. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río la China 4

8.10. Unidad de Análisis: río San Romualdo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.8, 57.7 y 23.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 175.1 % de aumento, un 290.1 % de aumento, y un 117.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 8.7, 13.6 y 0.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 43.7, 68.4 y 4.3 % con relación al valor medio anual (*Figura 95*). La escorrentía anual es de 628.7 mm, con valores máximos mensuales de 93.3, 154.5, y 62.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 96*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
2.50	**0.74**	**1.76**	**4.46**	**0.74**	**3.72**	**1.07**	**0.15**	**0.93**

Tabla 58. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río San Romualdo

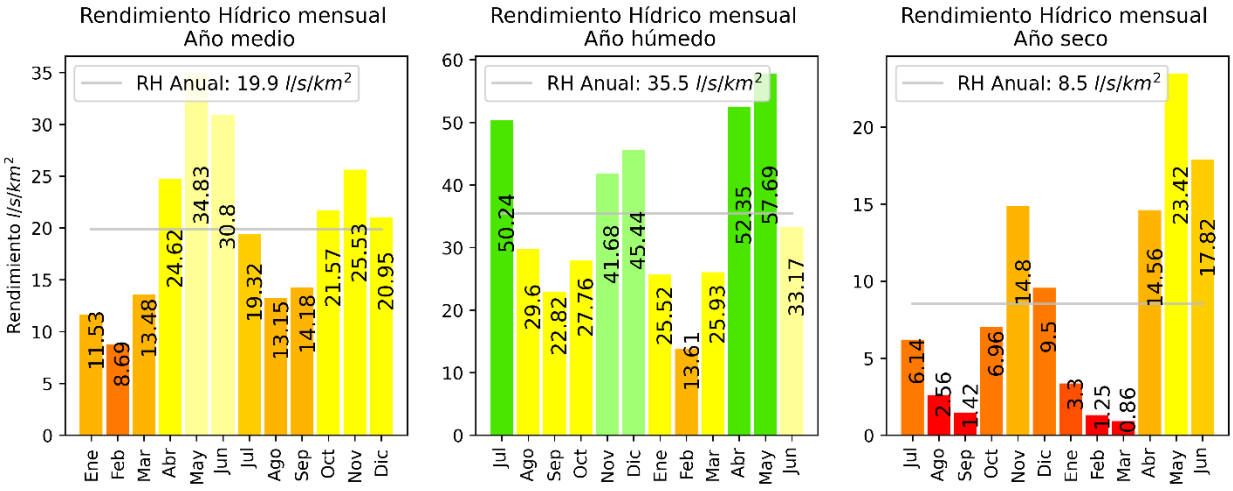


Figura 95. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río San Romualdo

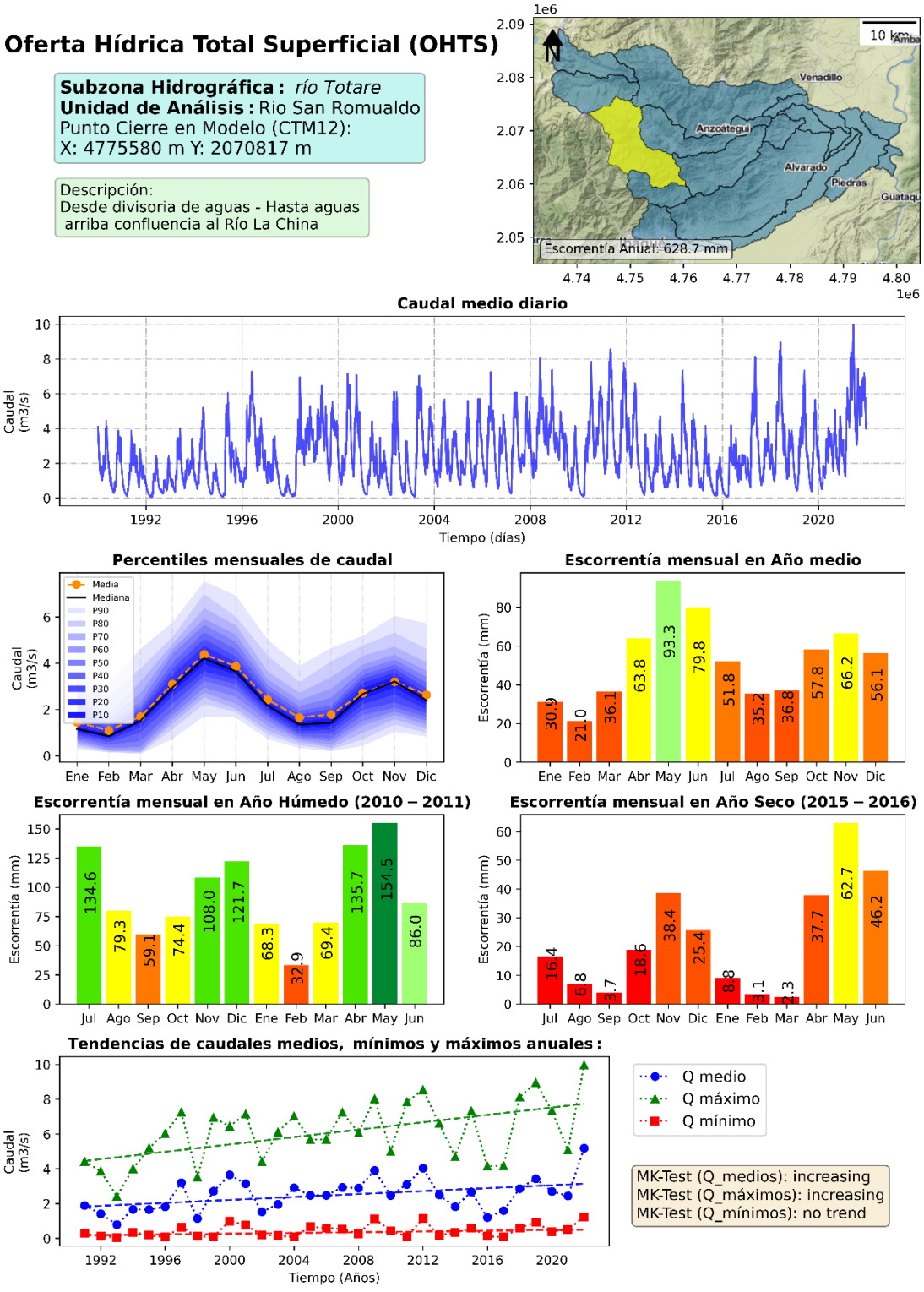


Figura 96. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río San Romualdo

8.11. Unidad de Análisis: río Totare 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 24.8, 37.8 y 14.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 181.6 % de aumento, un 276.9 % de aumento, y un 108.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 6.7, 11.7 y 0.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 49.3, 85.9 y 4.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 97*). La escorrentía anual es de 431.1 mm, con valores máximos mensuales de 66.4, 97.9, y 39.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 98*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.18	**0.46**	**0.72**	**1.98**	**0.46**	**1.52**	**0.51**	**0.09**	**0.42**

Tabla 59. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 1

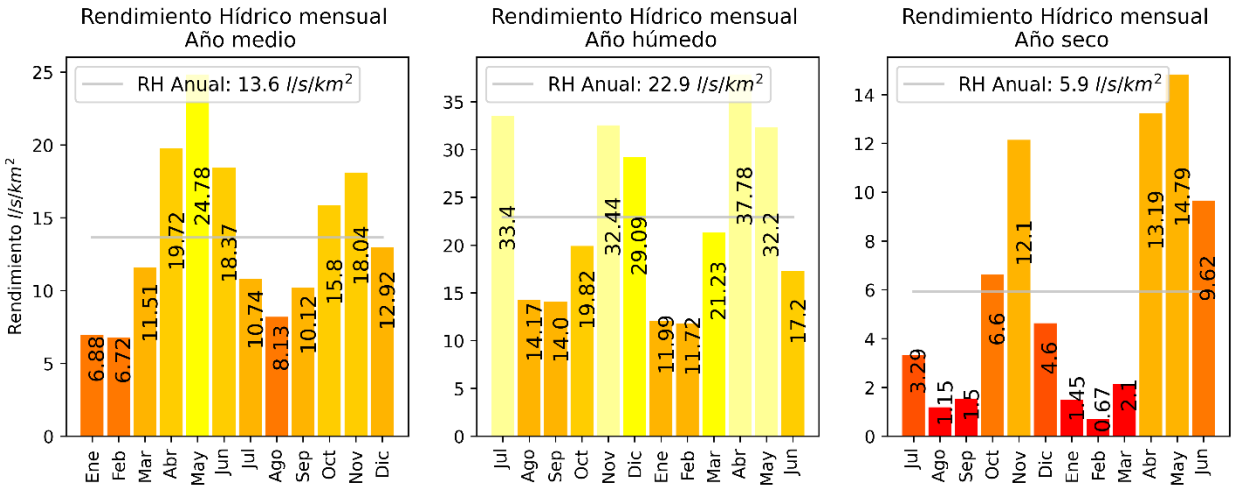


Figura 97. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 1

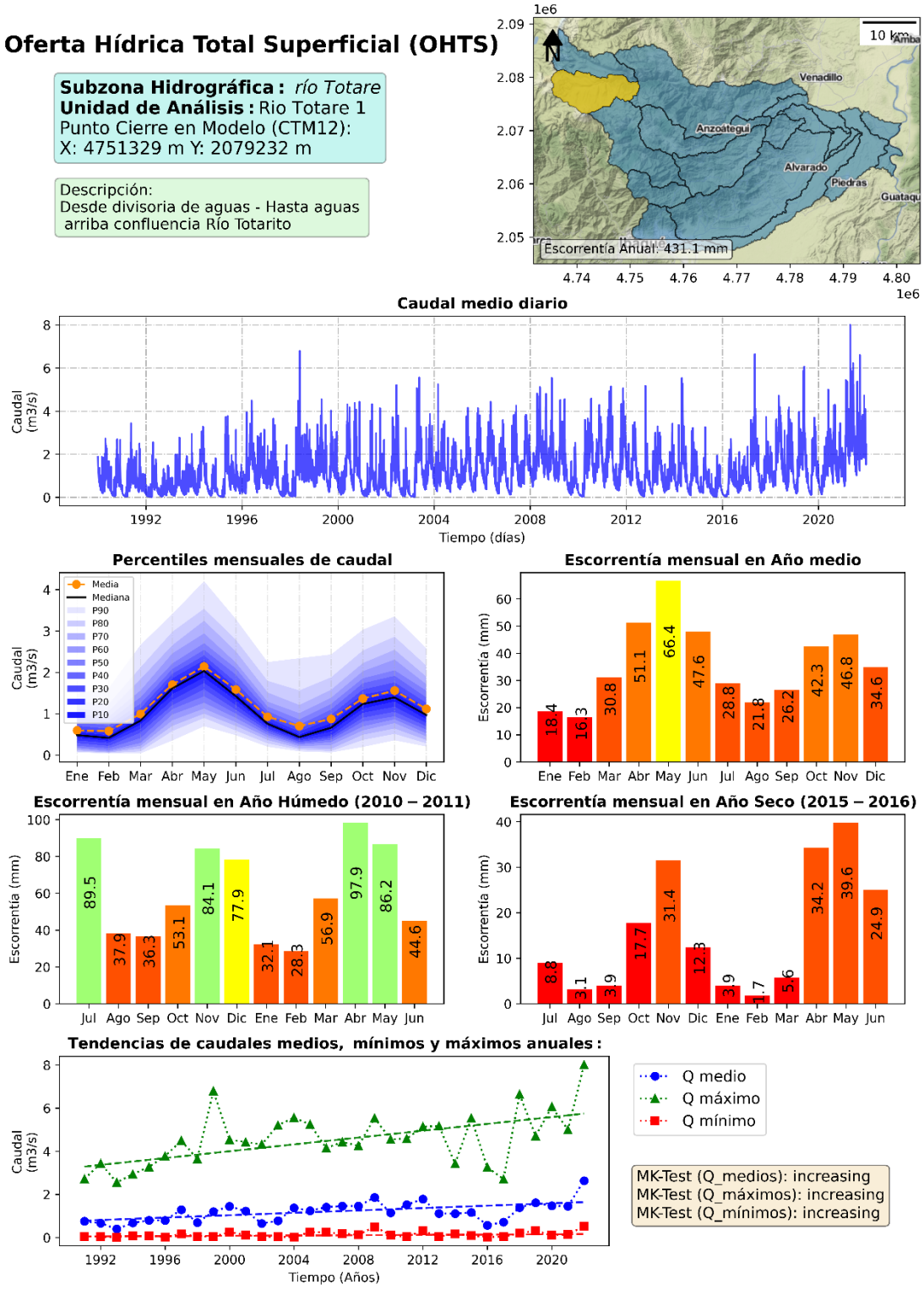


Figura 98. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 1

8.12. Unidad de Análisis: río Totare 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.9, 54.9 y 26.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 154.5 % de aumento, un 242.9 % de aumento, y un 114.9 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.9, 24.2 y 4.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 65.8, 106.9 y 21.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 99*). La escorrentía anual es de 713.6 mm, con valores máximos mensuales de 93.5, 147.0, y 69.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 100*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
8.16	**3.50**	**4.66**	**14.30**	**3.50**	**10.81**	**3.82**	**1.51**	**2.31**

Tabla 60. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 2

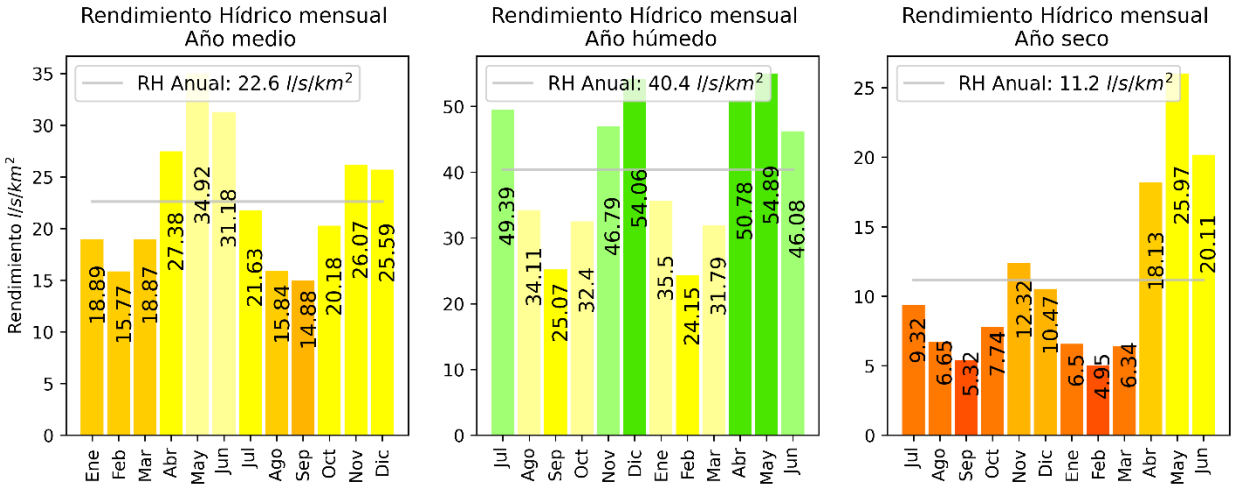


Figura 99. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 2

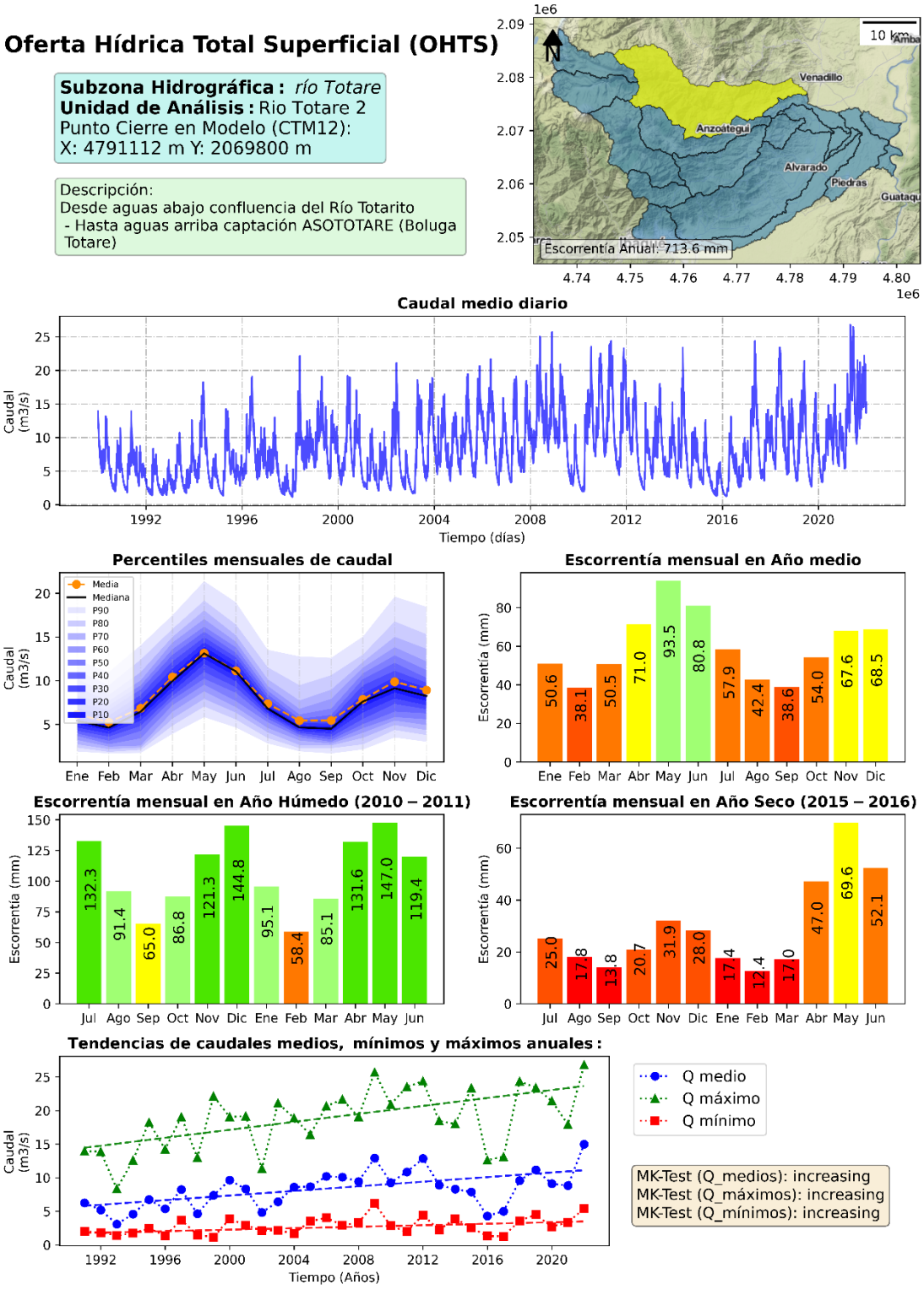


Figura 100. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 2

8.13. Unidad de Análisis: río Totare 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 15.3, 19.0 y 6.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 148.6 % de aumento, un 184.6 % de aumento, y un 59.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 7.5, 7.6 y 1.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 72.6, 73.6 y 18.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 101*). La escorrentía anual es de 325.0 mm, con valores máximos mensuales de 41.0, 50.9, y 16.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 102*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
8.50	**3.71**	**4.80**	**14.72**	**3.71**	**11.02**	**3.96**	**1.63**	**2.33**

Tabla 61. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 3

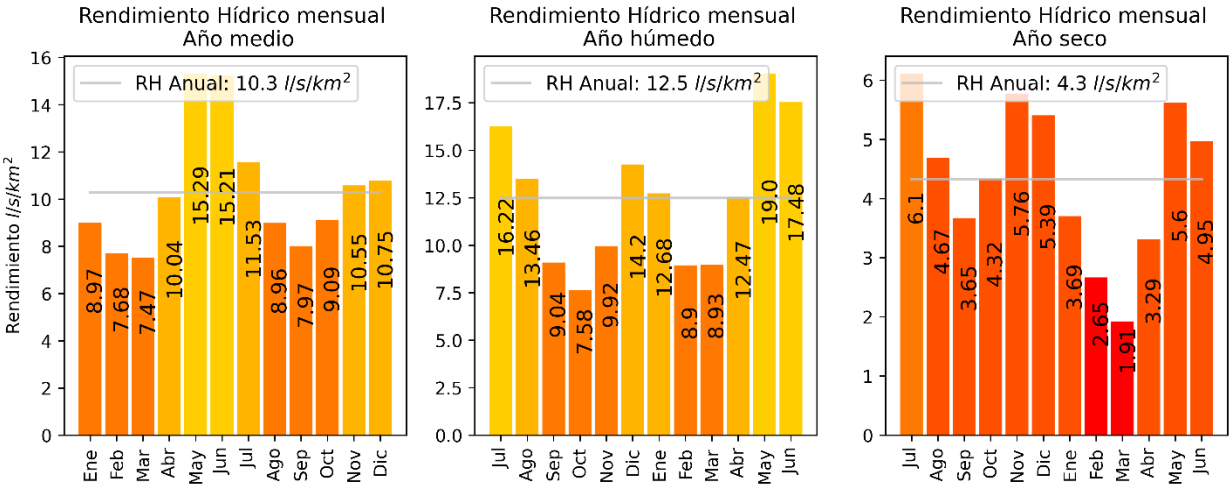


Figura 101. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 3

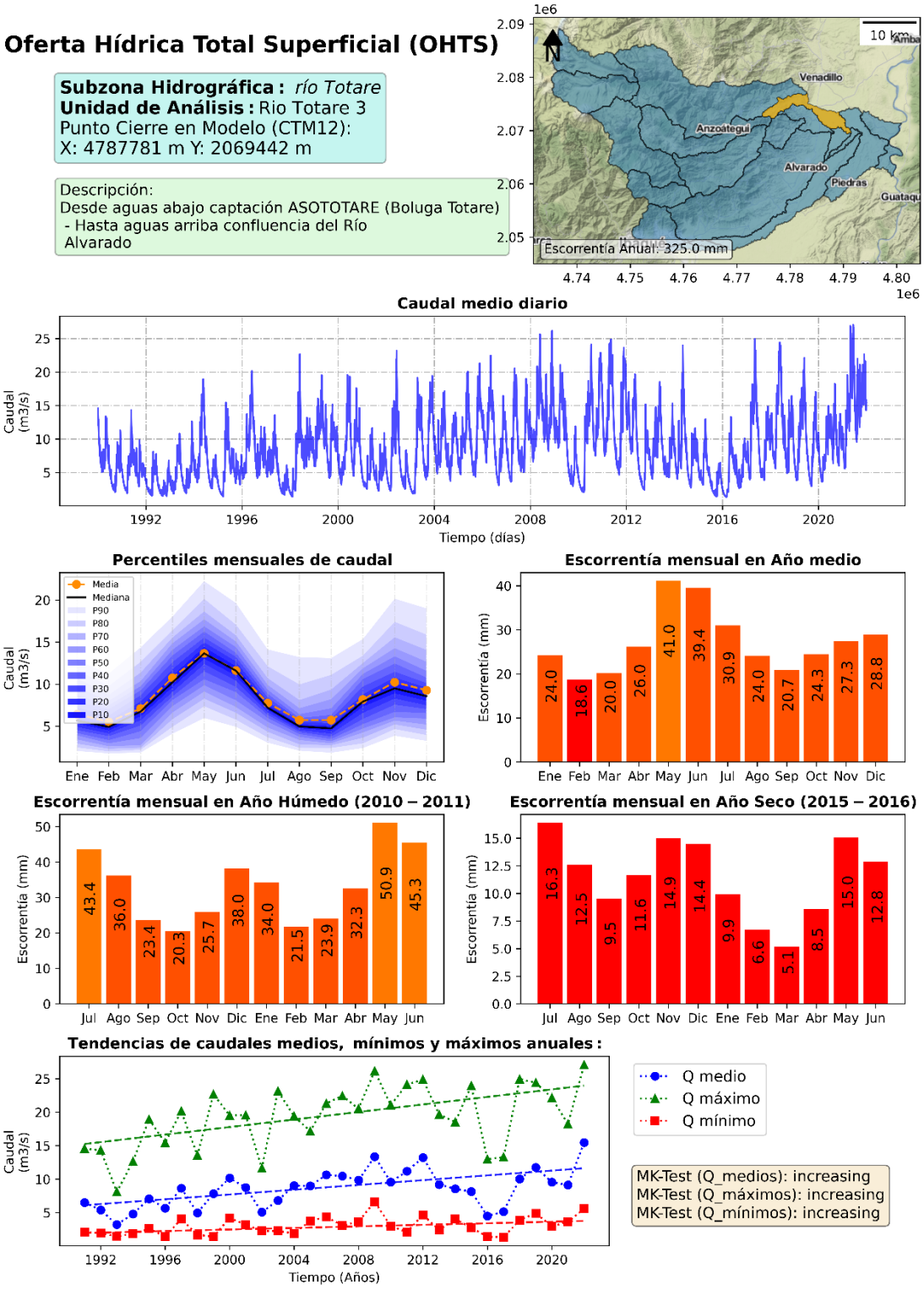


Figura 102. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 3

8.14. Unidad de Análisis: río Totare 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 7.3, 9.8 y 2.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 269.9 % de aumento, un 361.2 % de aumento, y un 85.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 1.2, 0.0 y 0.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 46.2, 0.0 y 6.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 103*). La escorrentía anual es de 85.4 mm, con valores máximos mensuales de 19.5, 26.2, y 6.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 104*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
21.11	**9.08**	**12.03**	**32.96**	**9.08**	**23.87**	**9.73**	**3.79**	**5.95**

Tabla 62. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 4

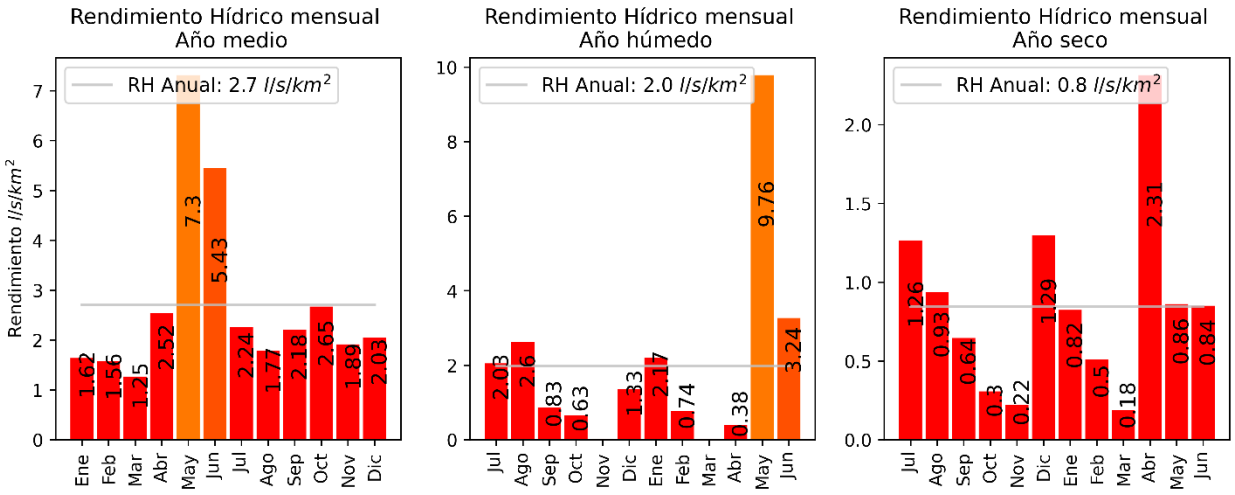


Figura 103. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 4

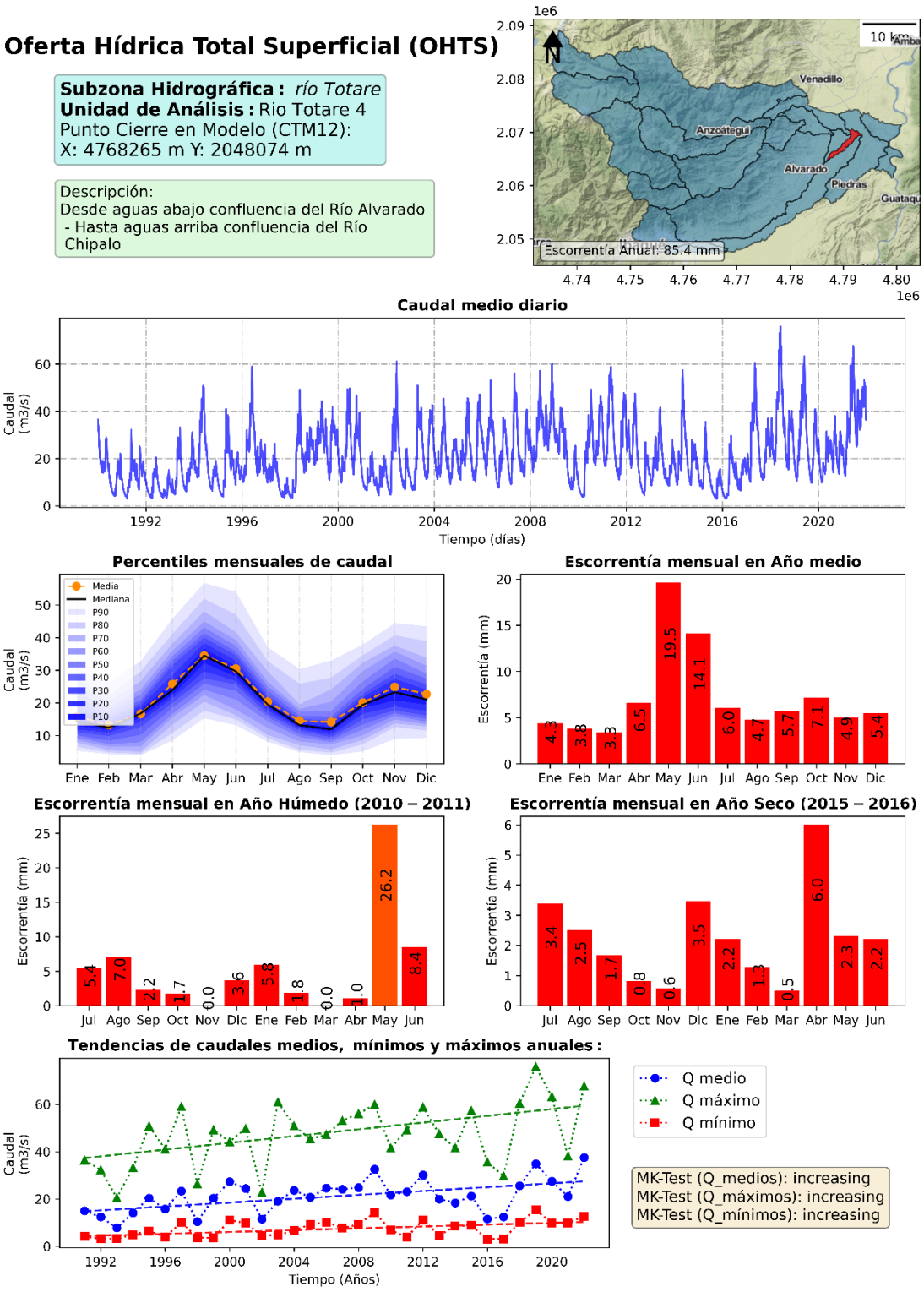


Figura 104. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 4

8.15. Unidad de Análisis: río Totare 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 6.5, 6.5 y 3.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 160.8 % de aumento, un 159.2 % de aumento, y un 73.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 2.5, 1.1 y 0.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.8, 27.5 y 21.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 105*). La escorrentía anual es de 128.6 mm, con valores máximos mensuales de 17.0, 17.4, y 8.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 106*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
23.25	**10.36**	**12.89**	**36.47**	**10.36**	**26.11**	**10.87**	**4.68**	**6.19**

Tabla 63. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totare 5

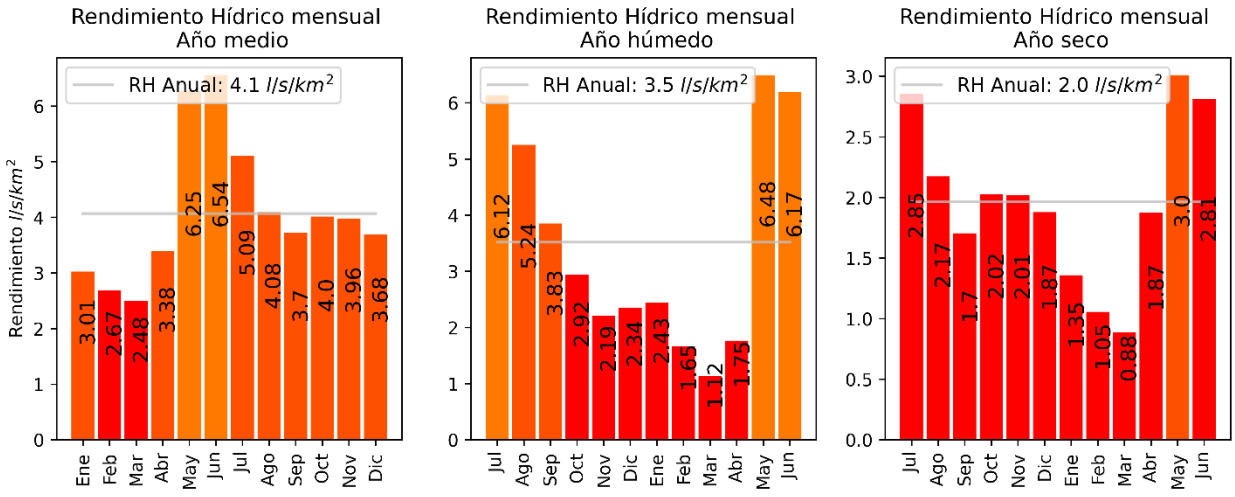


Figura 105. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 5

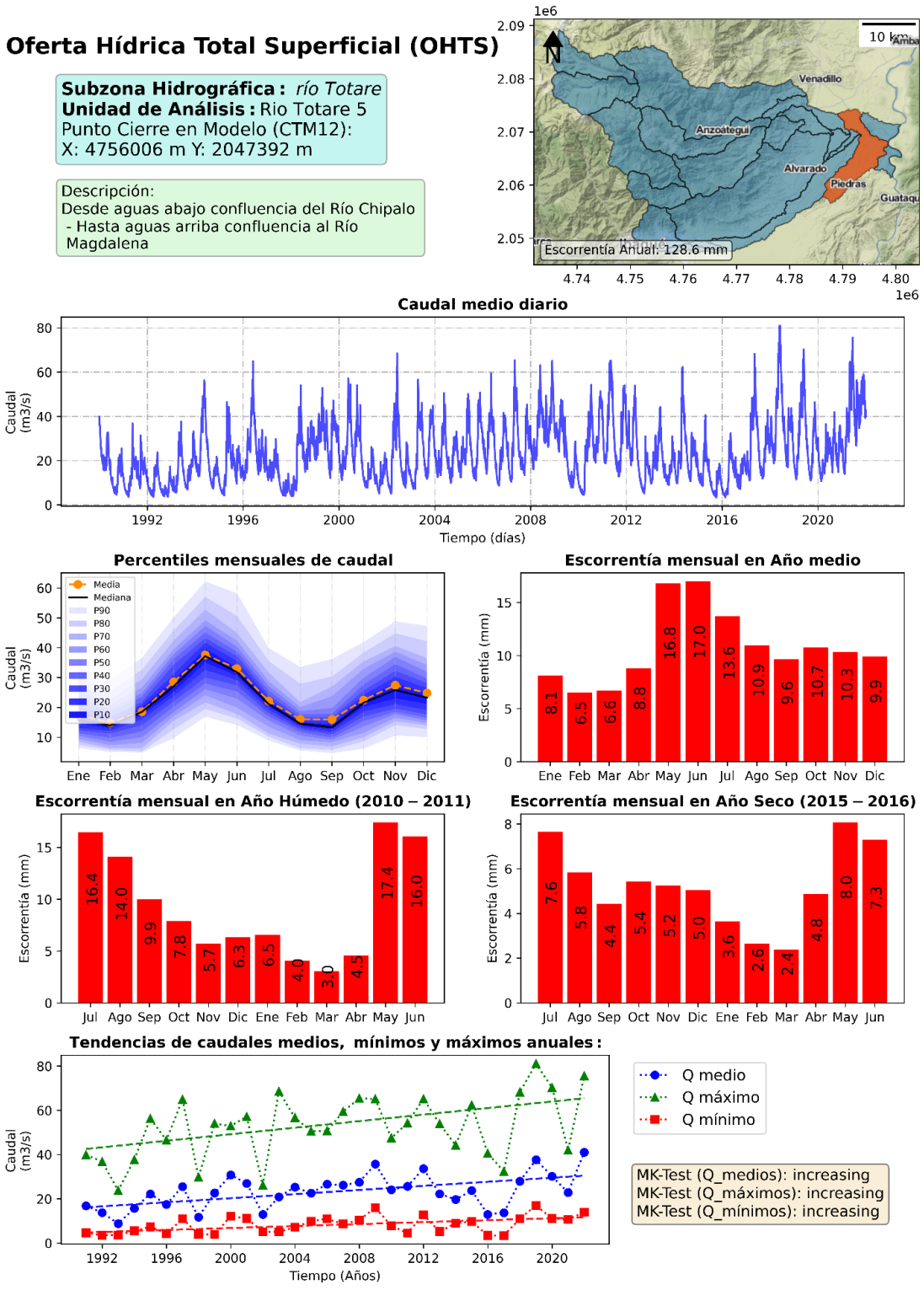


Figura 106. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totare 5

8.16. Unidad de Análisis: río Totarito

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 29.2, 45.7 y 16.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 176.6 % de aumento, un 276.3 % de aumento, y un 102.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 8.5, 14.7 y 0.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 51.4, 89.1 y 3.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 107*). La escorrentía anual es de 522.9 mm, con valores máximos mensuales de 78.3, 118.6, y 45.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 108*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.07	**0.41**	**0.66**	**1.75**	**0.41**	**1.35**	**0.39**	**0.06**	**0.33**

Tabla 64. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Totarito

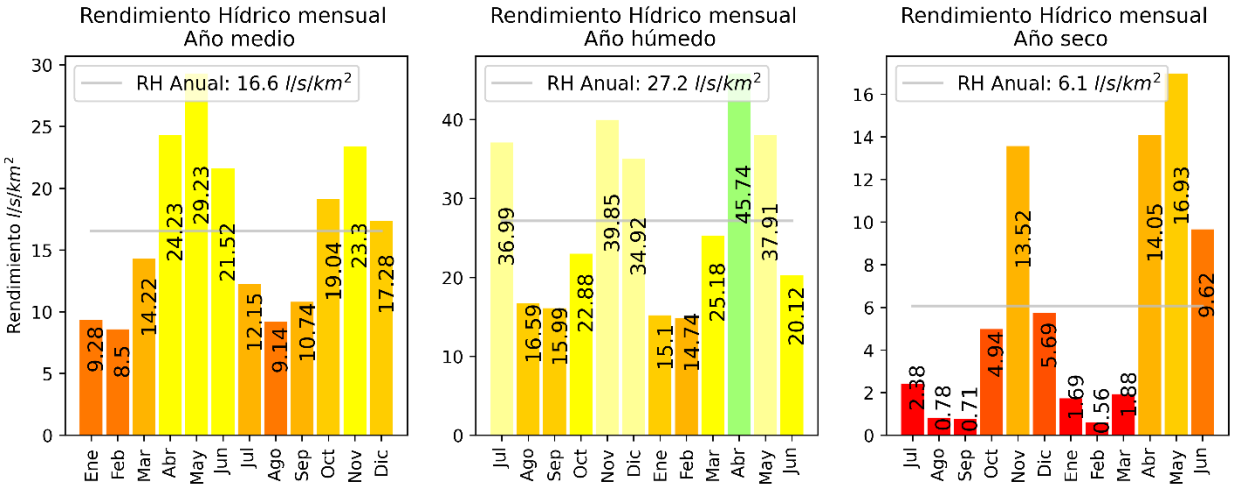


Figura 107. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Totarito

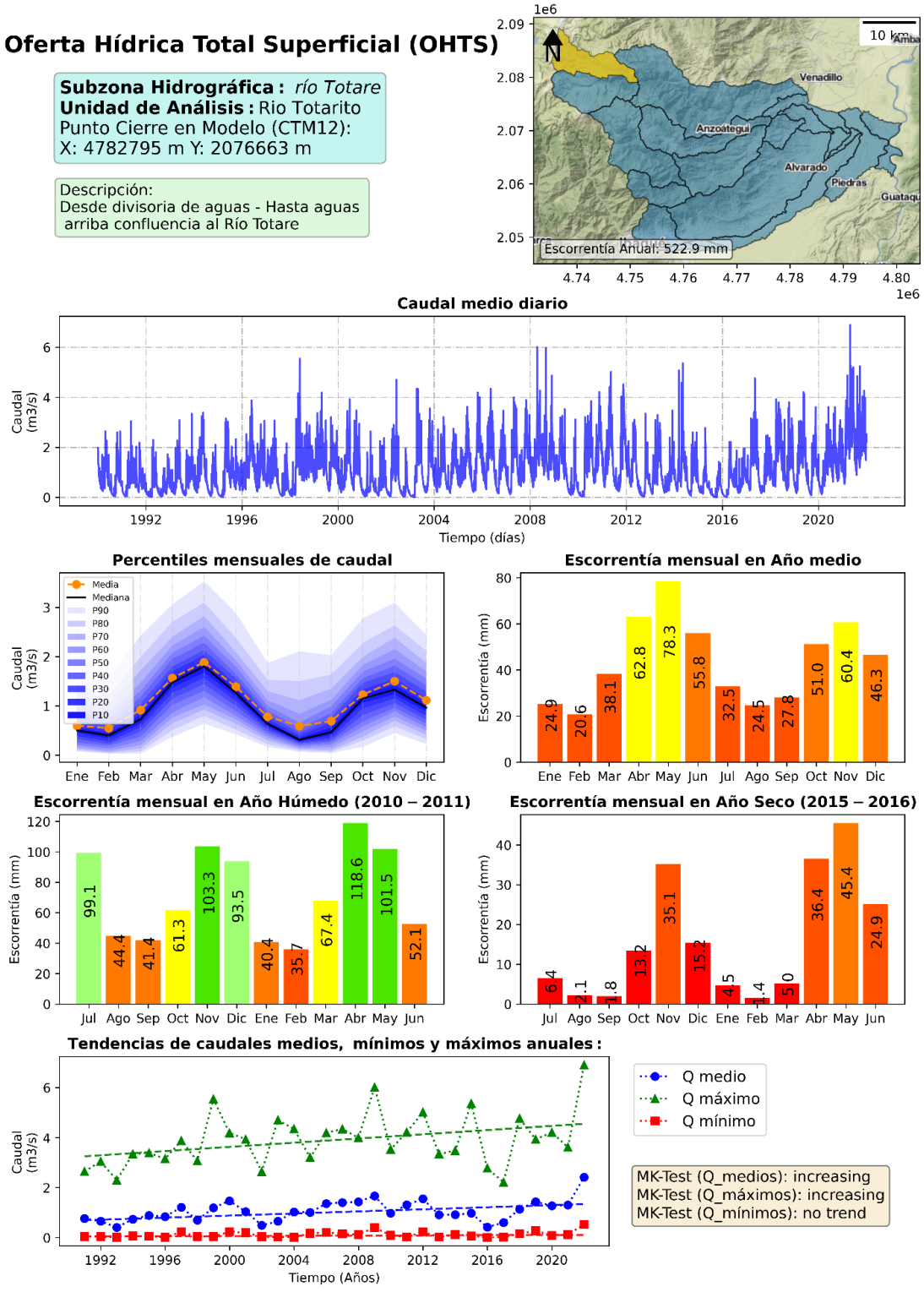


Figura 108. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Totarito

8.17. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Totare

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 13.5, 13.7 y 6.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 169.0 % de aumento, un 172.0 % de aumento, y un 75.6 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 4.6, 2.3 y 1.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 57.1, 28.7 y 18.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 109*). La escorrentía anual es de 251.9 mm, con valores máximos mensuales de 34.9, 36.2, y 16.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 110*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.27	**0.10**	**0.18**	**0.24**	**0.10**	**0.15**	**0.13**	**0.06**	**0.07**

Tabla 65. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Totare

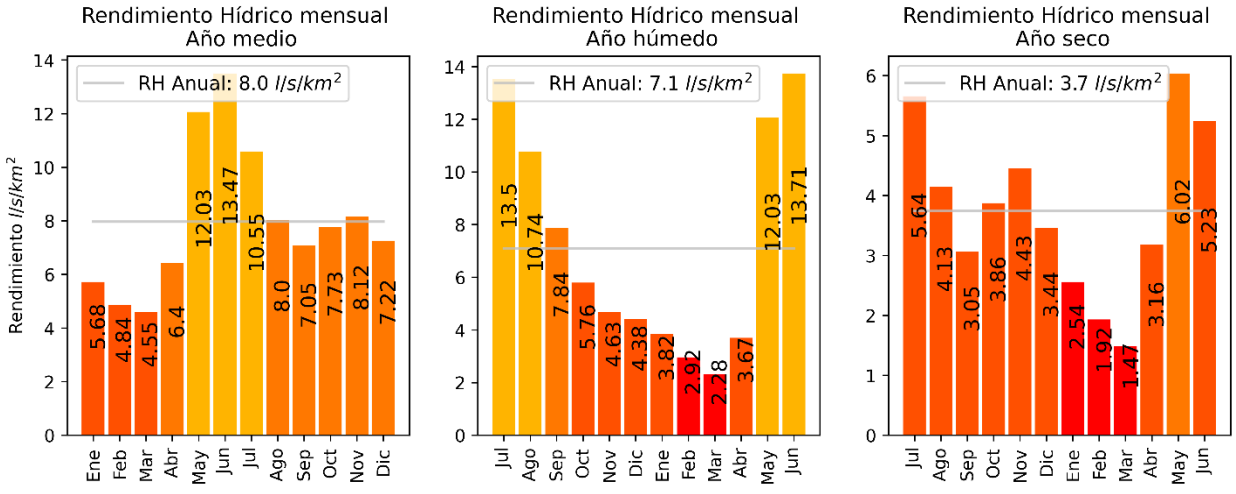


Figura 109. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Totare

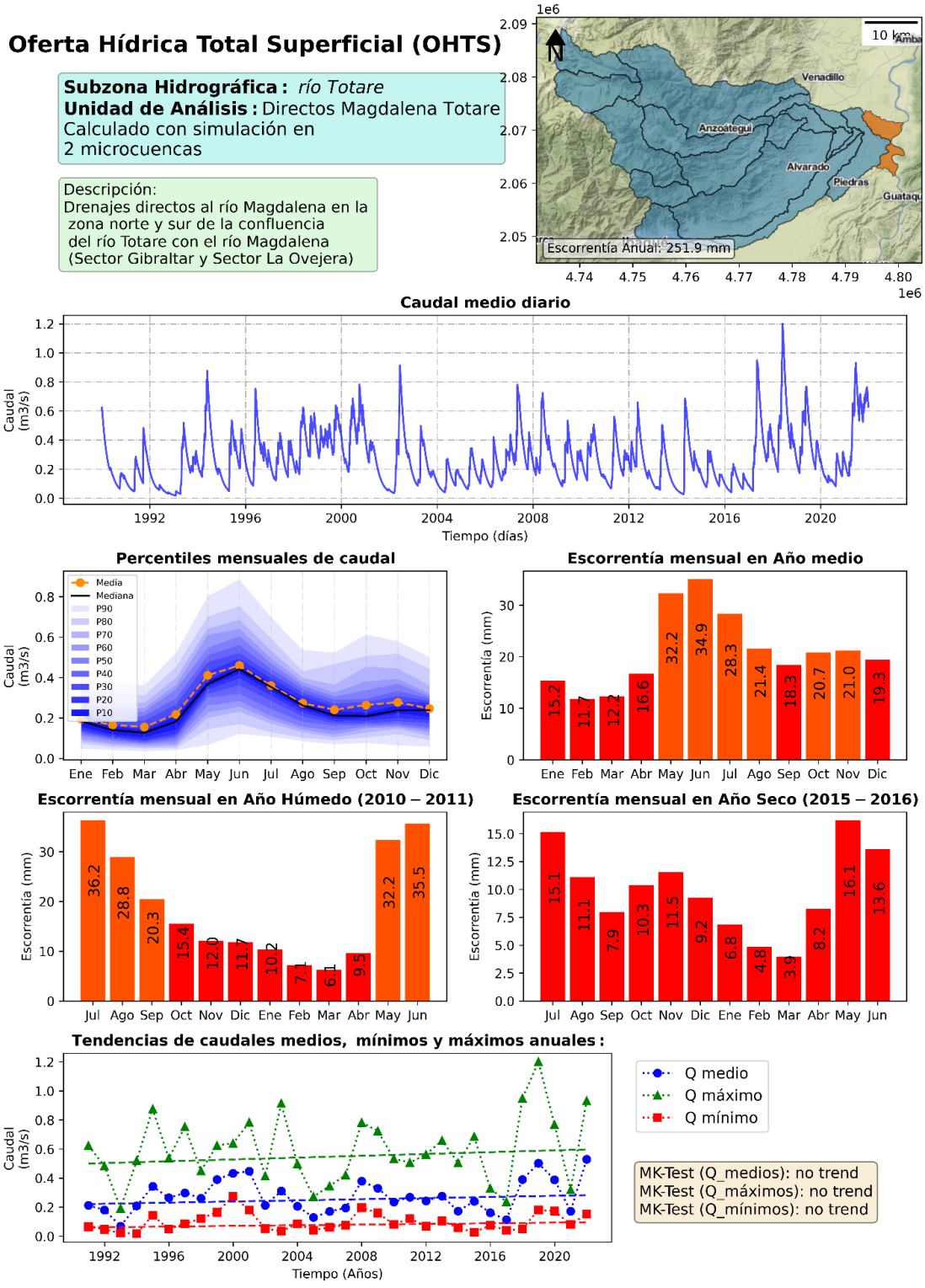


Figura 110. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Totare

9. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Opia

9.1. Unidad de Análisis: quebrada Doima

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 31.7, 36.6 y 34.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 207.5 % de aumento, un 239.7 % de aumento, y un 223.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 7.2, 4.4 y 3.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 47.1, 28.6 y 21.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 111*). La escorrentía anual es de 482.0 mm, con valores máximos mensuales de 84.9, 96.8, y 88.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, y medios anuales, y se presentan tendencias estadísticamente significativas a la disminución de los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 112*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
2.14	**0.52**	**1.62**	**2.12**	**0.52**	**1.60**	**1.79**	**0.46**	**1.33**

Tabla 66. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Doima

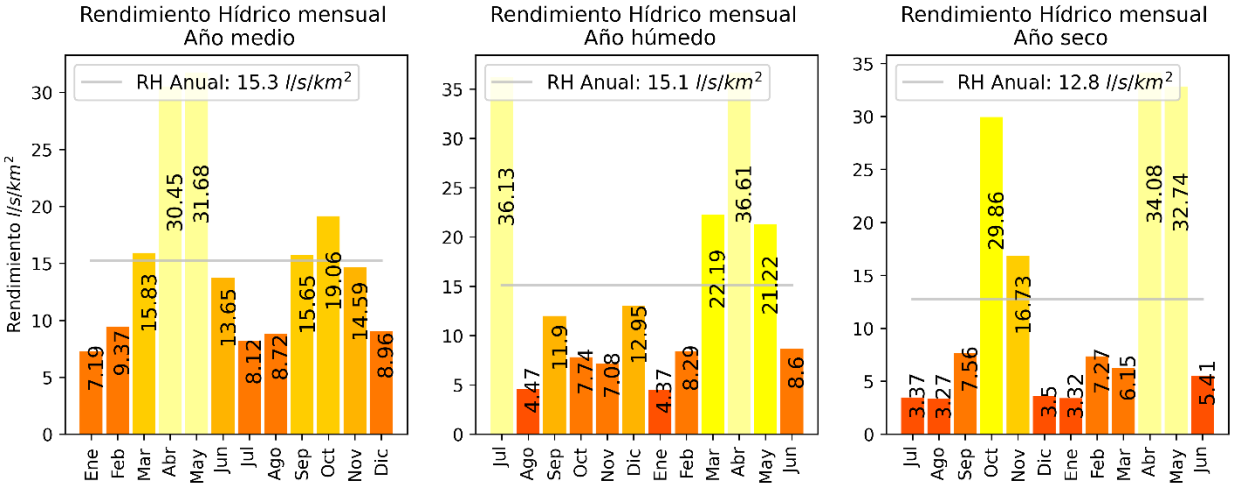


Figura 111. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Doima

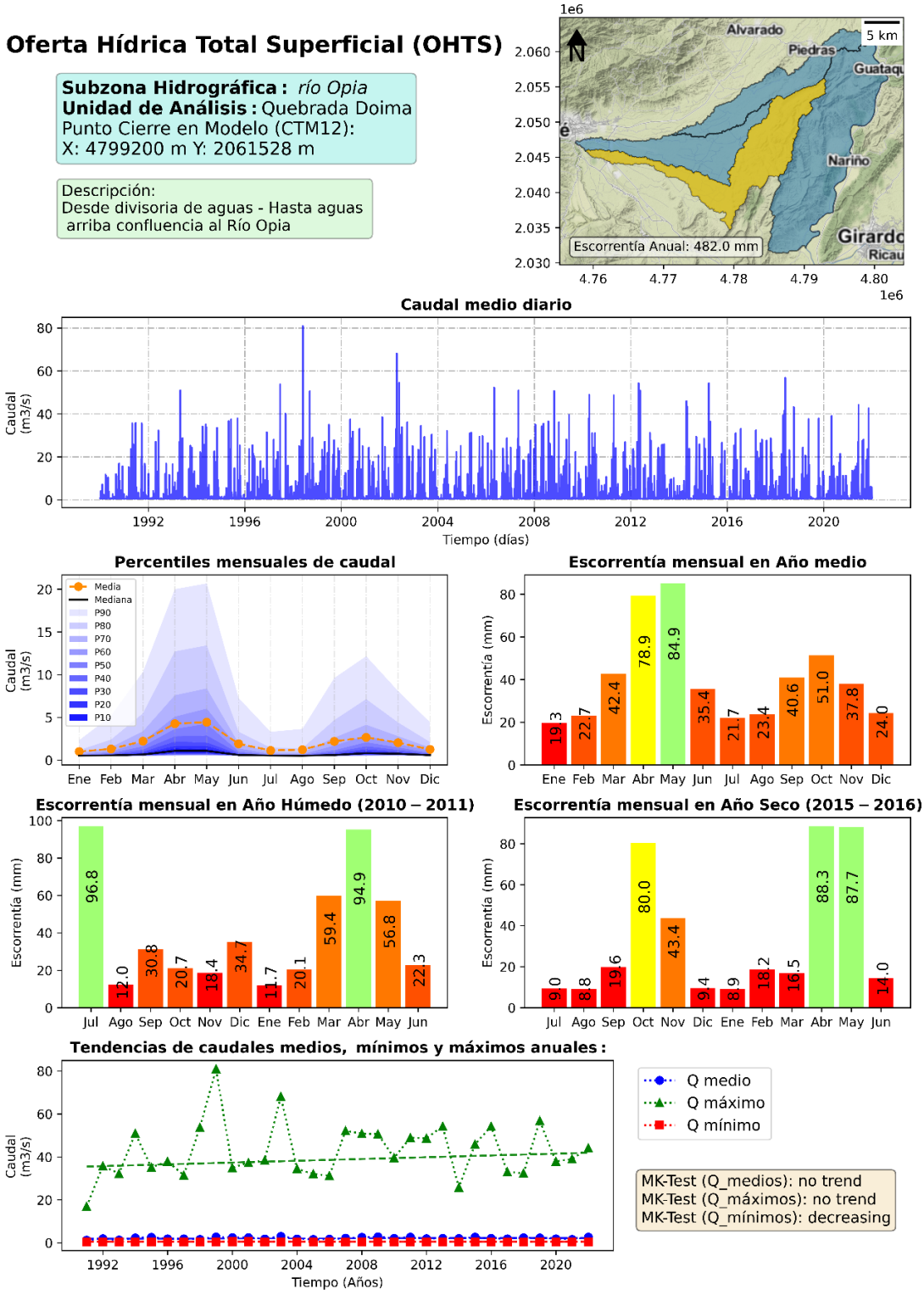


Figura 112. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Doima

9.2. Unidad de Análisis: río Opia 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 30.6, 46.6 y 31.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 217.3 % de aumento, un 330.5 % de aumento, y un 223.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 5.4, 1.7 y 0.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 38.5, 12.0 y 1.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 113*). La escorrentía anual es de 445.0 mm, con valores máximos mensuales de 82.1, 124.9, y 81.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 114*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.33	**0.06**	**1.27**	**1.61**	**0.06**	**1.55**	**0.99**	**0.02**	**0.97**

Tabla 67. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Opia 1

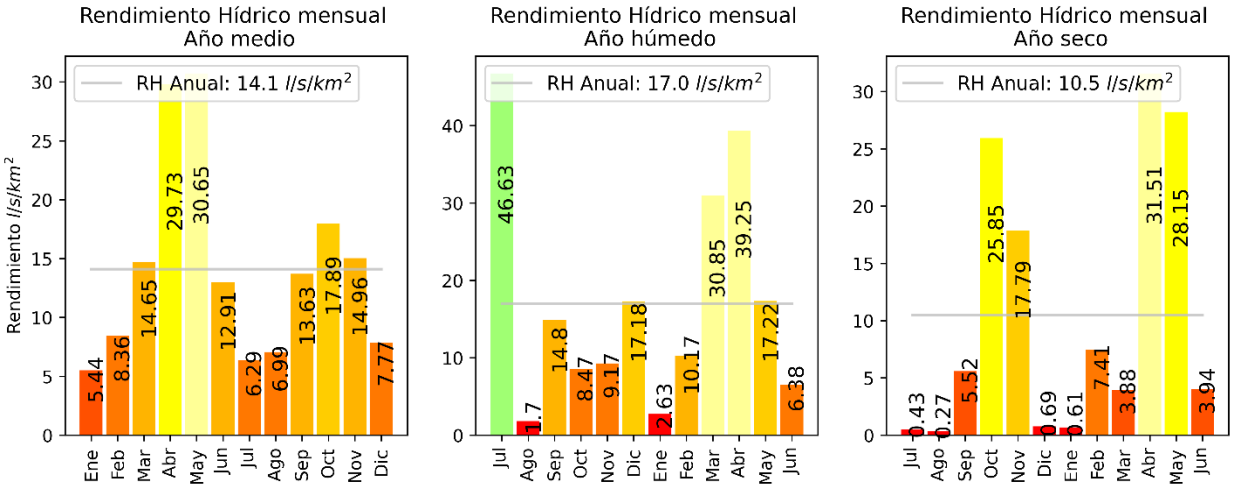


Figura 113. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 1

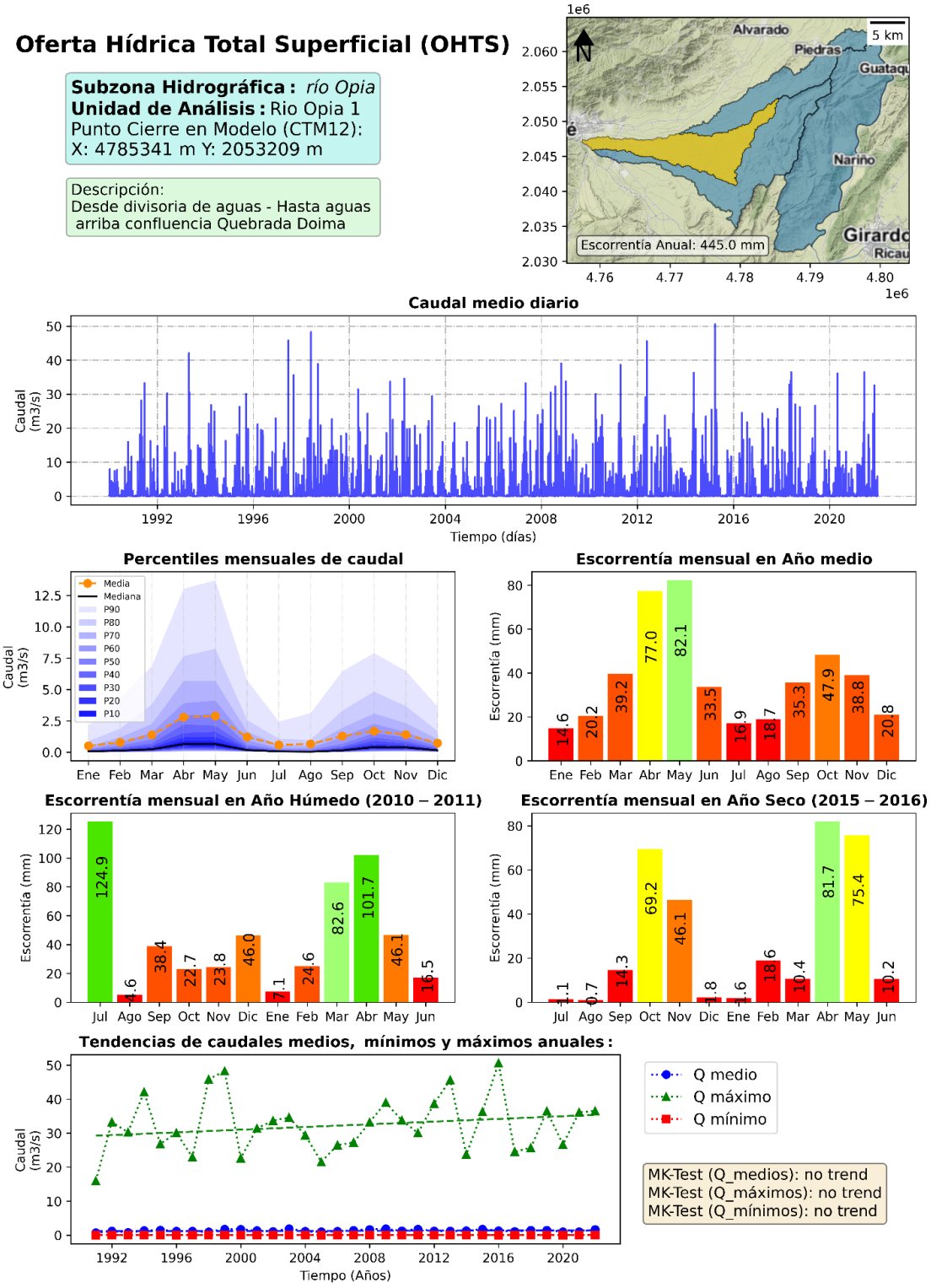


Figura 114. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 1

9.3. Unidad de Análisis: río Opia 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 27.9, 30.2 y 35.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 221.3 % de aumento, un 239.7 % de aumento, y un 283.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 5.6, 3.0 y 1.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 44.1, 23.8 y 13.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 115*). La escorrentía anual es de 397.9 mm, con valores máximos mensuales de 74.8, 78.4, y 92.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos y medios anuales, y se identifican tendencias estadísticamente significativas a la disminución de los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 116*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.58	**0.86**	**3.72**	**4.61**	**0.86**	**3.74**	**3.70**	**0.71**	**3.00**

Tabla 68. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Opia 2

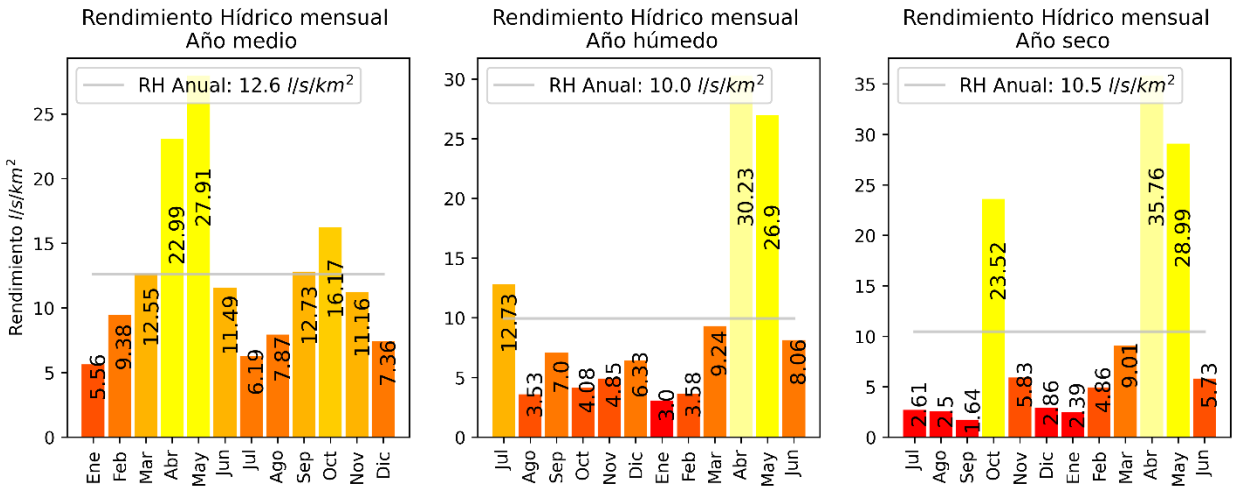


Figura 115. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 2

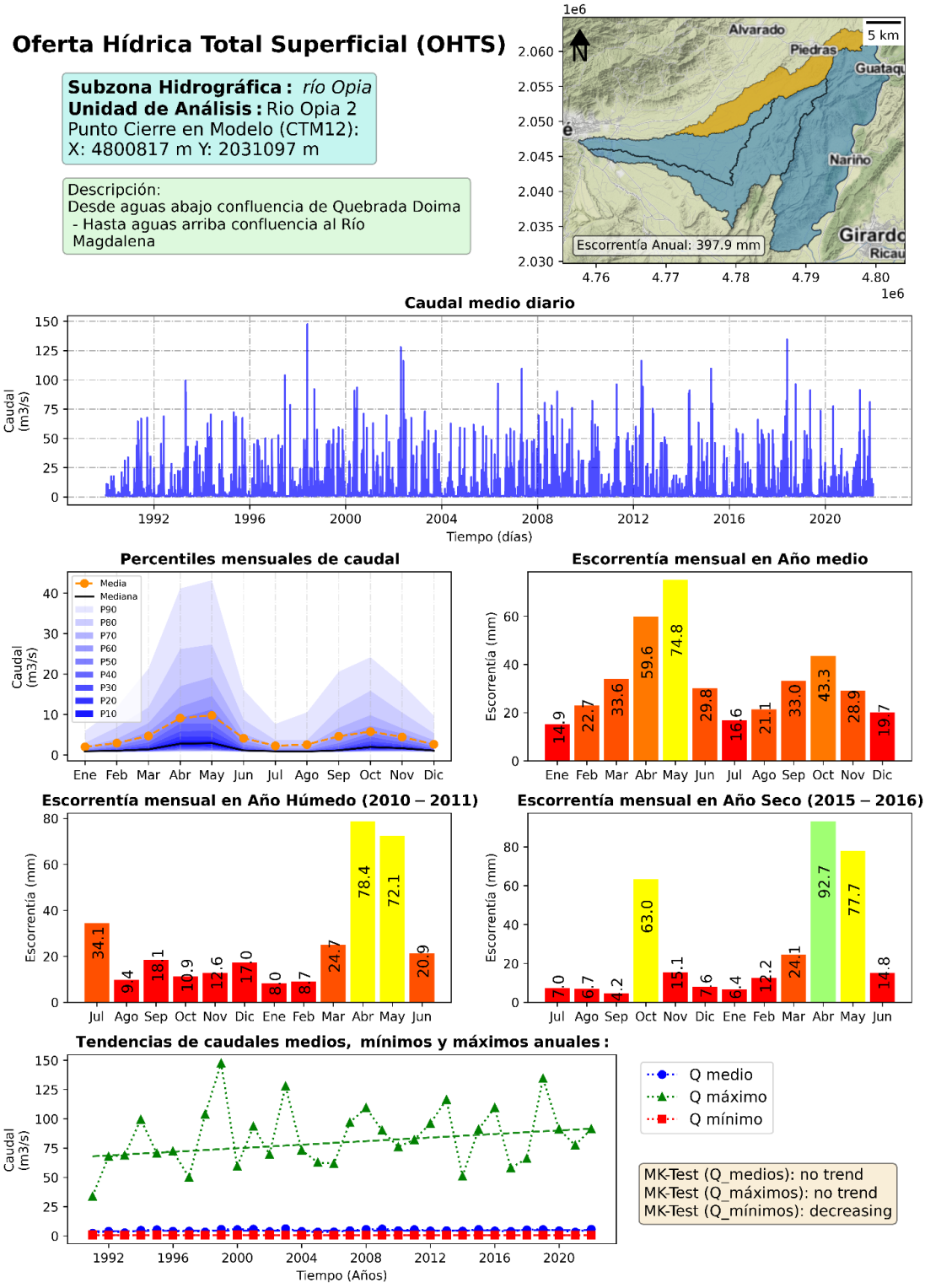


Figura 116. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Opia 2

9.4. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Opia

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 32.1, 27.9 y 42.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 195.7 % de aumento, un 169.9 % de aumento, y un 257.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 9.1, 5.9 y 5.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 55.5, 35.8 y 31.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 117*). La escorrentía anual es de 517.6 mm, con valores máximos mensuales de 83.2, 72.2, y 109.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos y medios anuales, y se identifican tendencias estadísticamente significativas a la disminución de los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 118*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.74	**1.33**	**2.41**	**2.64**	**1.33**	**1.32**	**3.17**	**1.19**	**1.98**

Tabla 69. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Opia

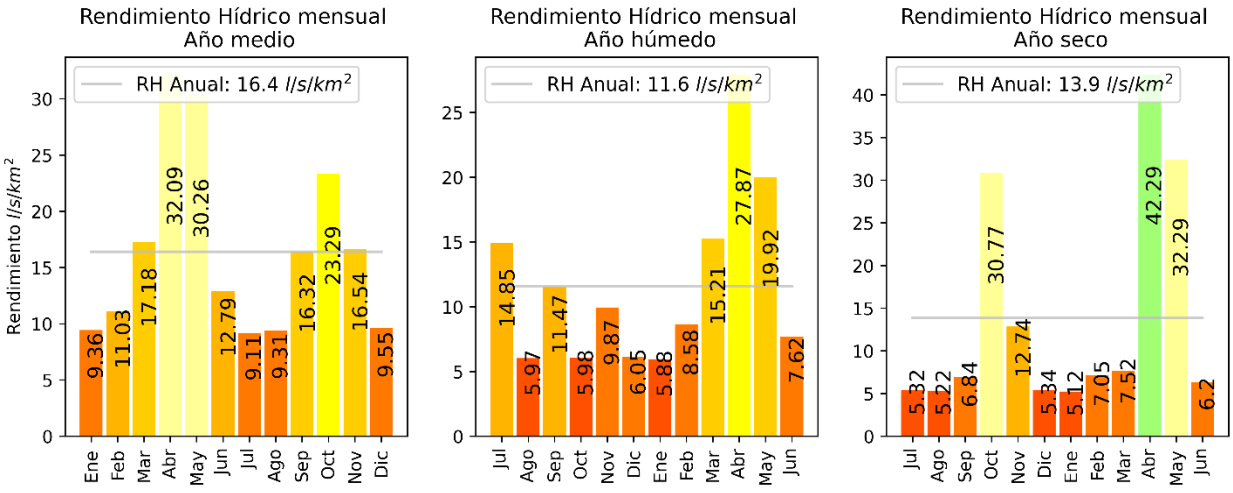


Figura 117. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Opia

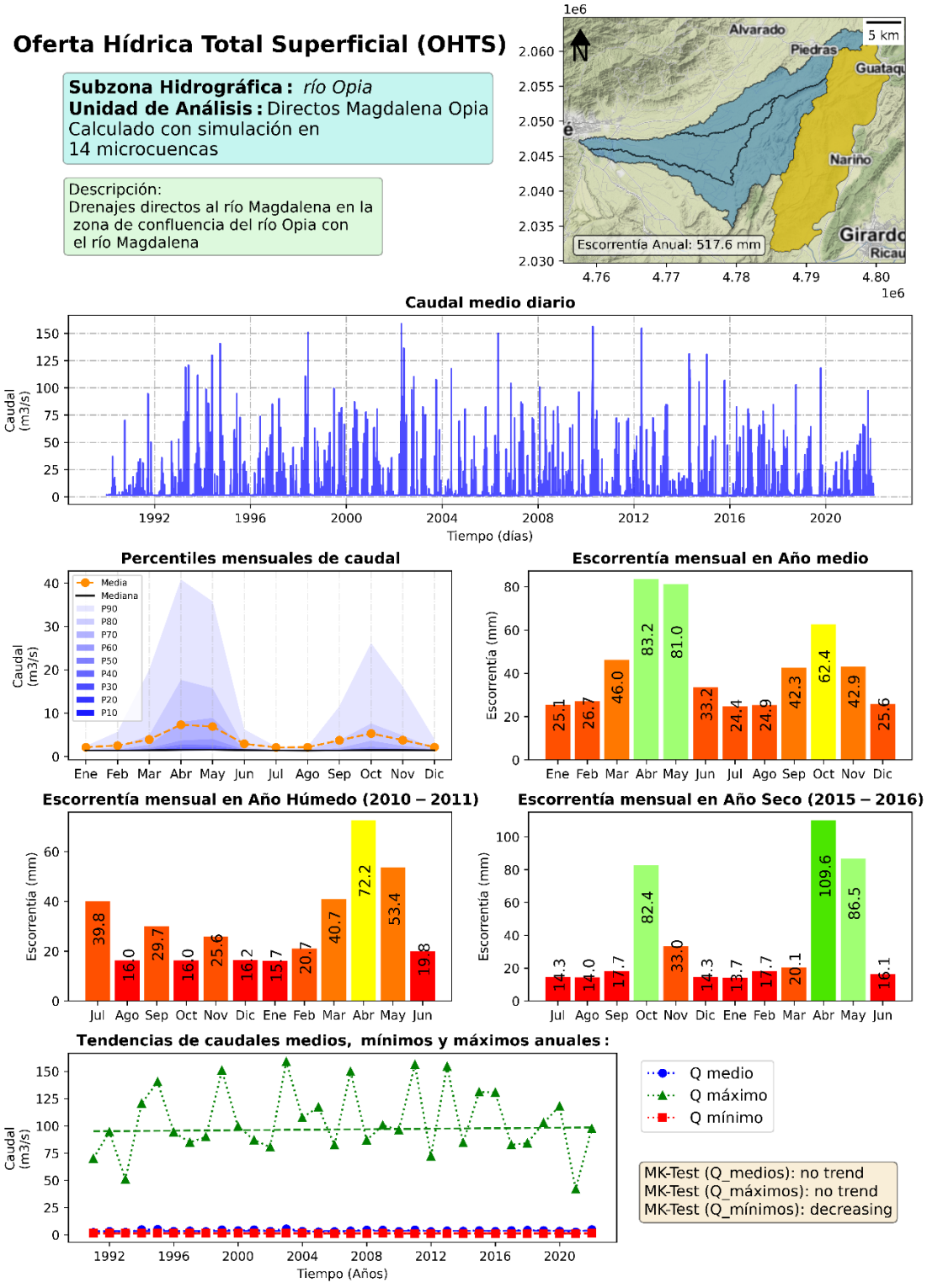


Figura 118. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Opia

10. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Recio-Venadillo

10.1. Unidad de Análisis: quebrada Santa Rosa

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 68.1, 93.4 y 72.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 130.2 % de aumento, un 178.7 % de aumento, y un 138.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 39.1, 38.9 y 17.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 74.8, 74.4 y 34.3 % con relación al valor medio anual (*Figura 119*). La escorrentía anual es de 1,648.1 mm, con valores máximos mensuales de 182.3, 250.2, y 186.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 120*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.41	**0.67**	**0.73**	**1.71**	**0.67**	**1.04**	**0.95**	**0.49**	**0.45**

Tabla 70. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Santa Rosa

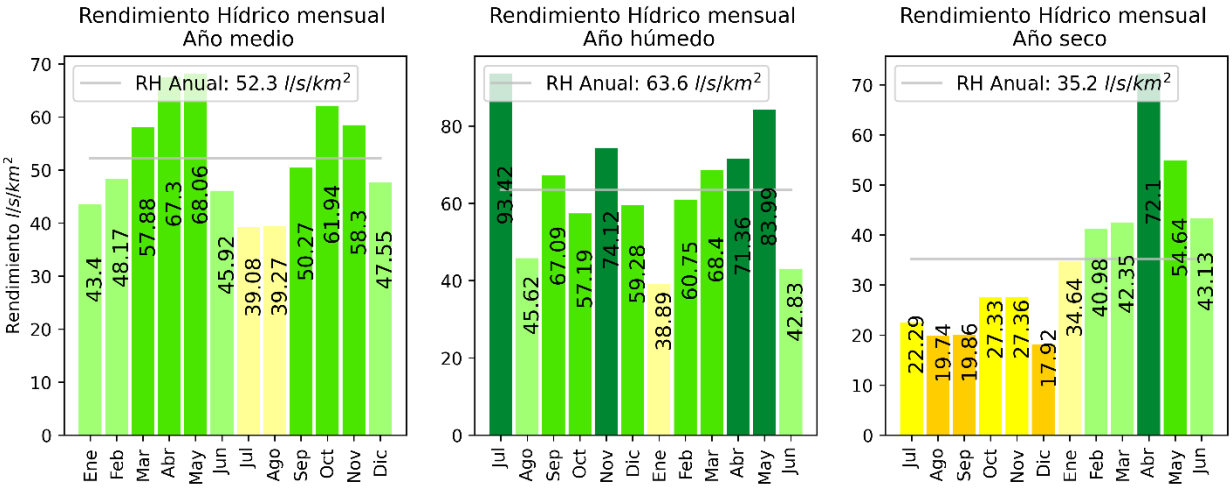


Figura 119. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en quebrada Santa Rosa

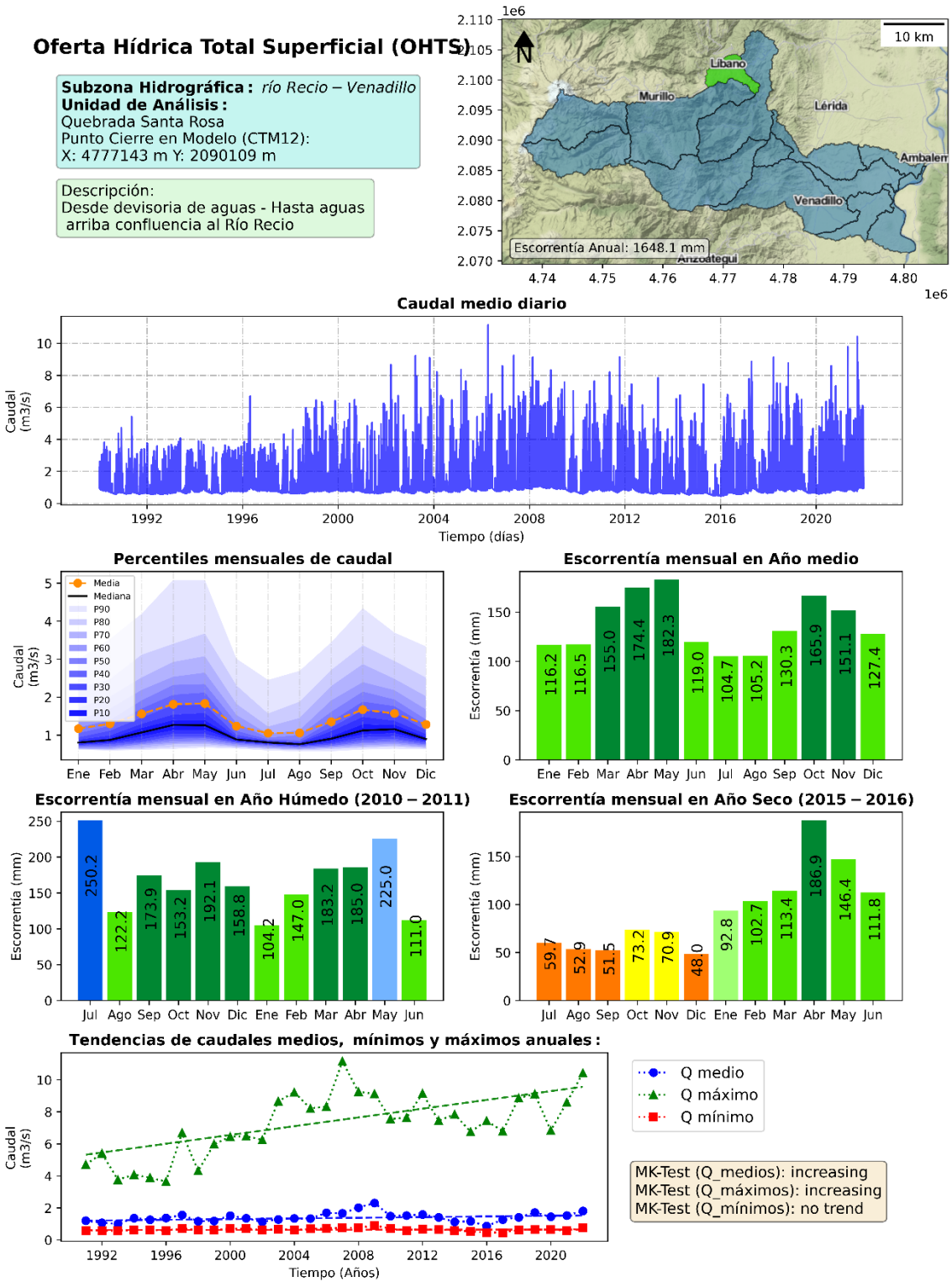


Figura 120. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Santa Rosa

10.2. Unidad de Análisis: quebrada Tautau

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 37.1, 40.5 y 27.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 126.7 % de aumento, un 138.2 % de aumento, y un 94.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 24.8, 22.3 y 15.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 84.6, 76.1 y 52.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 121*). La escorrentía anual es de 924.2 mm, con valores máximos mensuales de 99.4, 108.4, y 72.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 122*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.45	**0.97**	**0.48**	**1.50**	**0.97**	**0.53**	**1.00**	**0.78**	**0.22**

Tabla 71. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Tautau

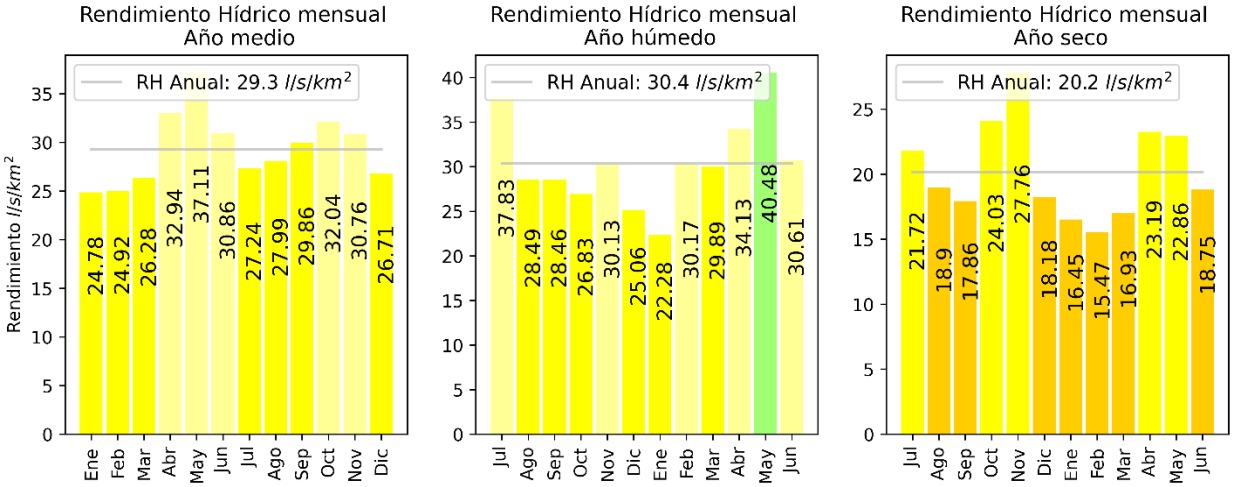


Figura 121. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Tautau

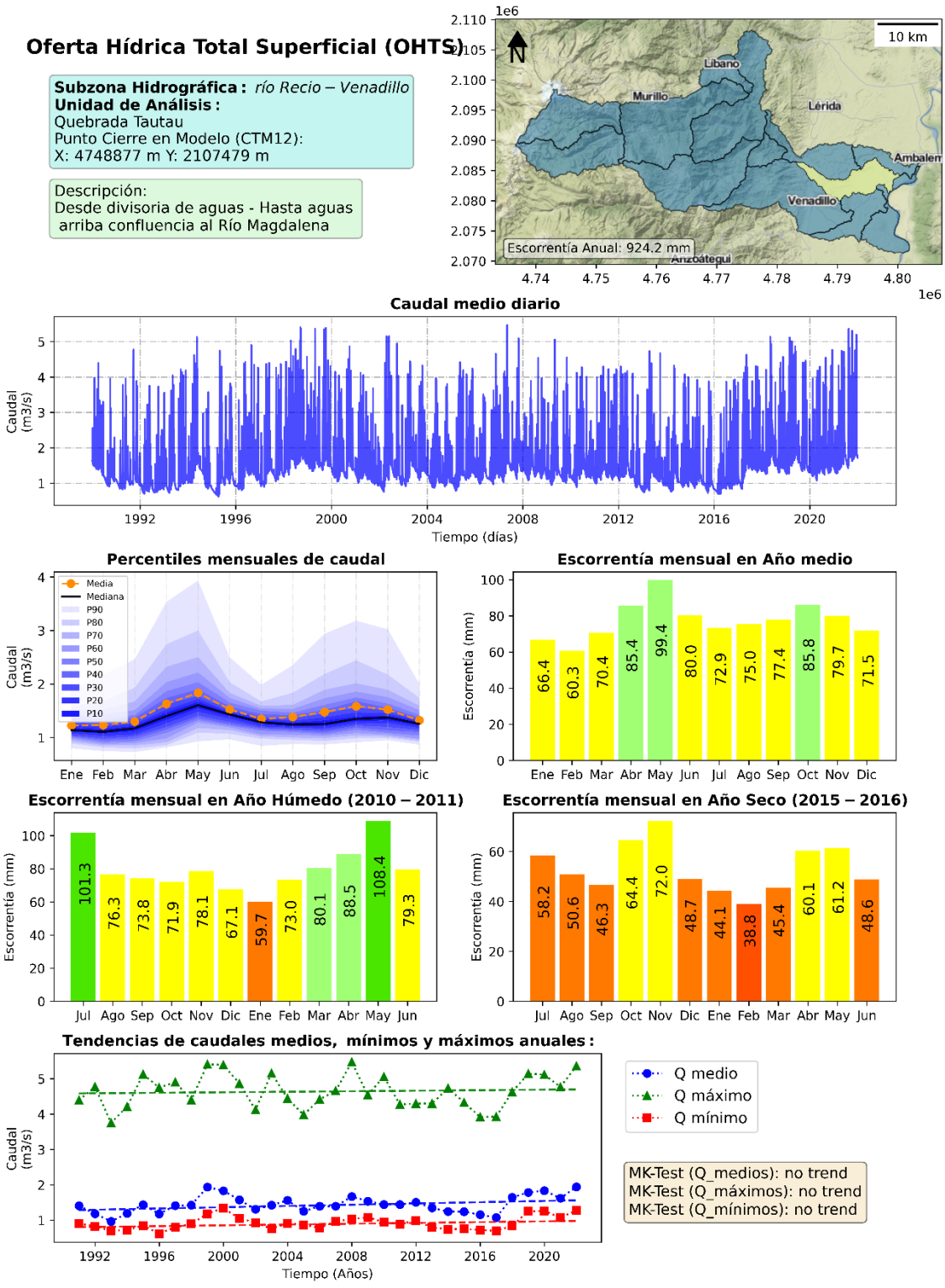


Figura 122. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Tautau

10.3. Unidad de Análisis: río Azul

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 49.5, 67.2 y 32.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.2 % de aumento, un 170.0 % de aumento, y un 82.4 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 31.2, 43.6 y 14.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 78.8, 110.4 y 36.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 123*). La escorrentía anual es de 1,247.4 mm, con valores máximos mensuales de 132.5, 174.1, y 87.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 124*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.48	**2.32**	**1.16**	**4.81**	**2.32**	**2.49**	**1.96**	**1.31**	**0.65**

Tabla 72. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Azul

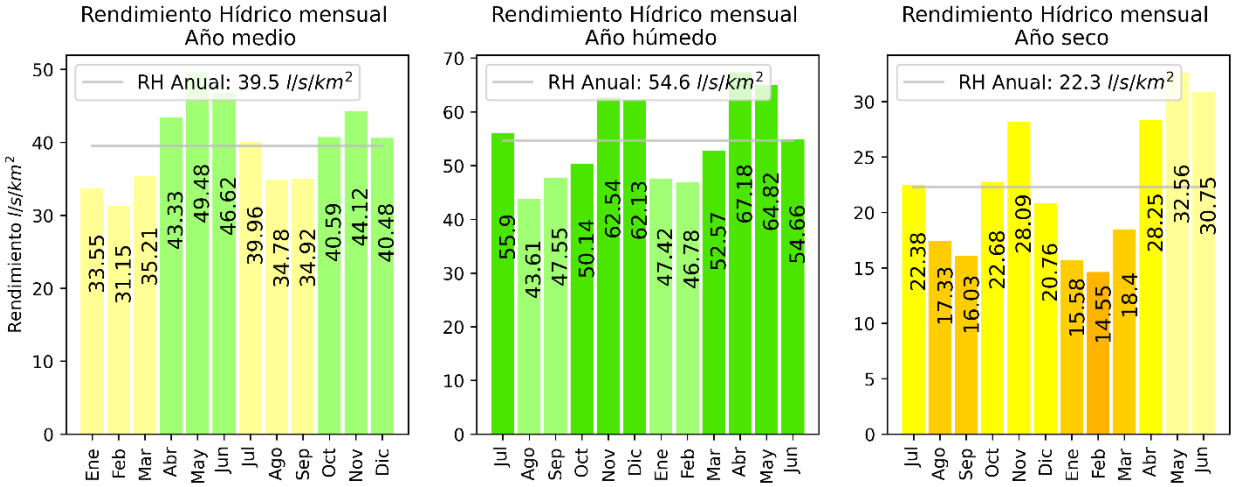


Figura 123. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Azul

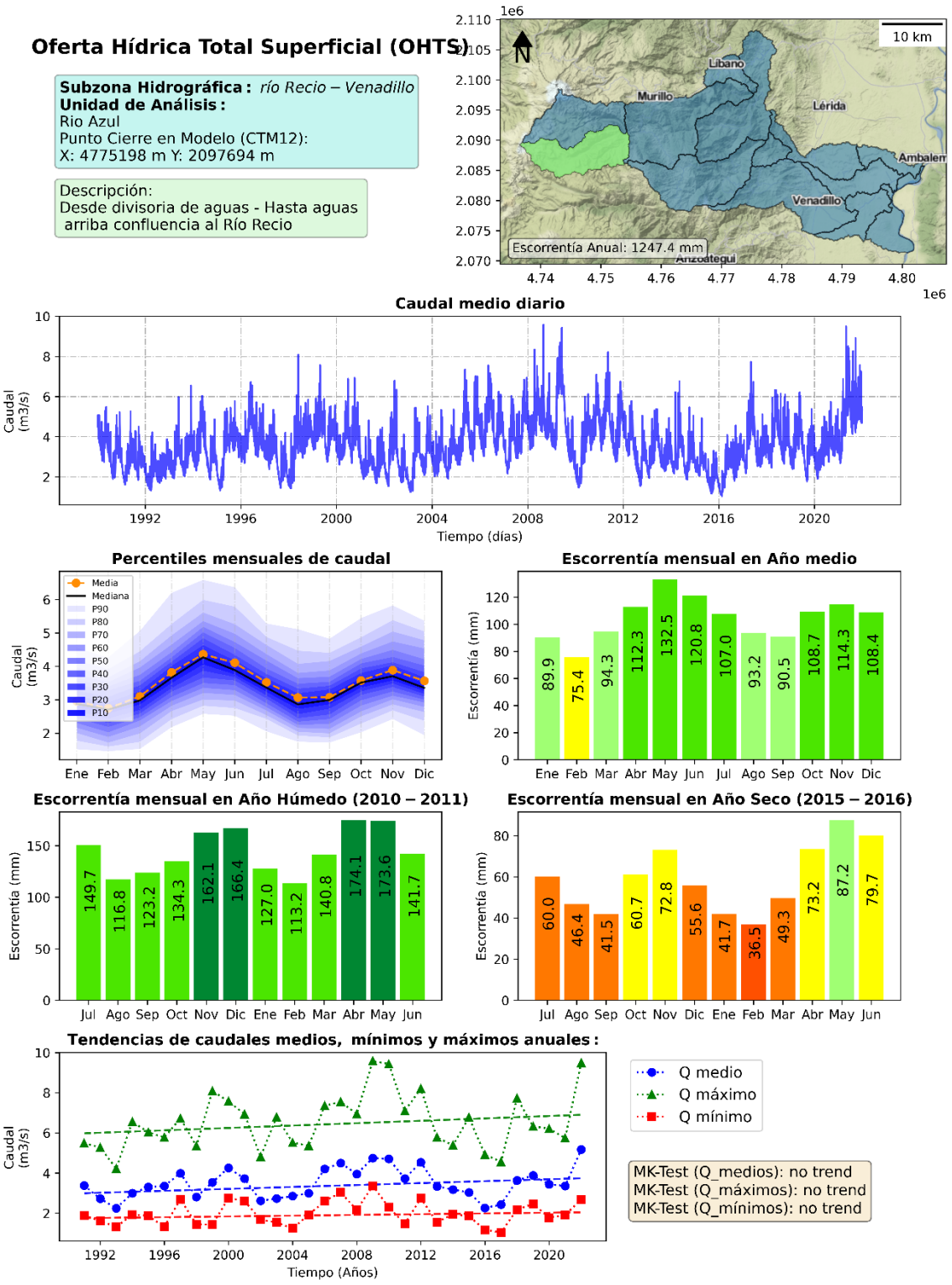


Figura 124. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Azul

10.4. Unidad de Análisis: río Recio 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 55.2, 80.5 y 33.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 134.4 % de aumento, un 196.0 % de aumento, y un 82.0 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 30.1, 34.2 y 12.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 73.2, 83.2 y 30.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 125*). La escorrentía anual es de 1,297.3 mm, con valores máximos mensuales de 148.0, 208.8, y 90.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 126*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.68	**1.93**	**1.75**	**5.21**	**1.93**	**3.28**	**1.99**	**1.00**	**0.99**

Tabla 73. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 1

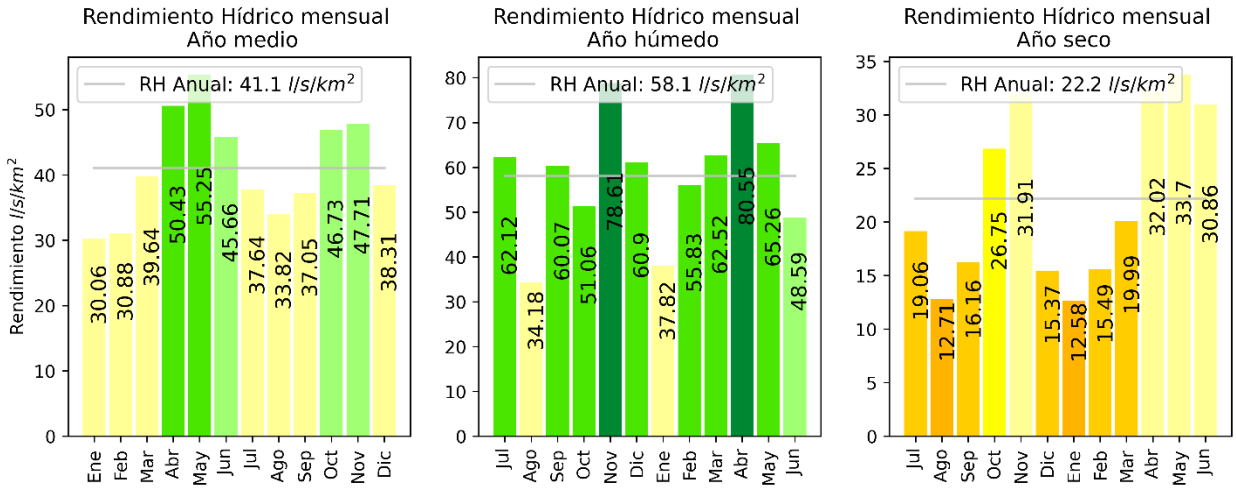


Figura 125. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 1

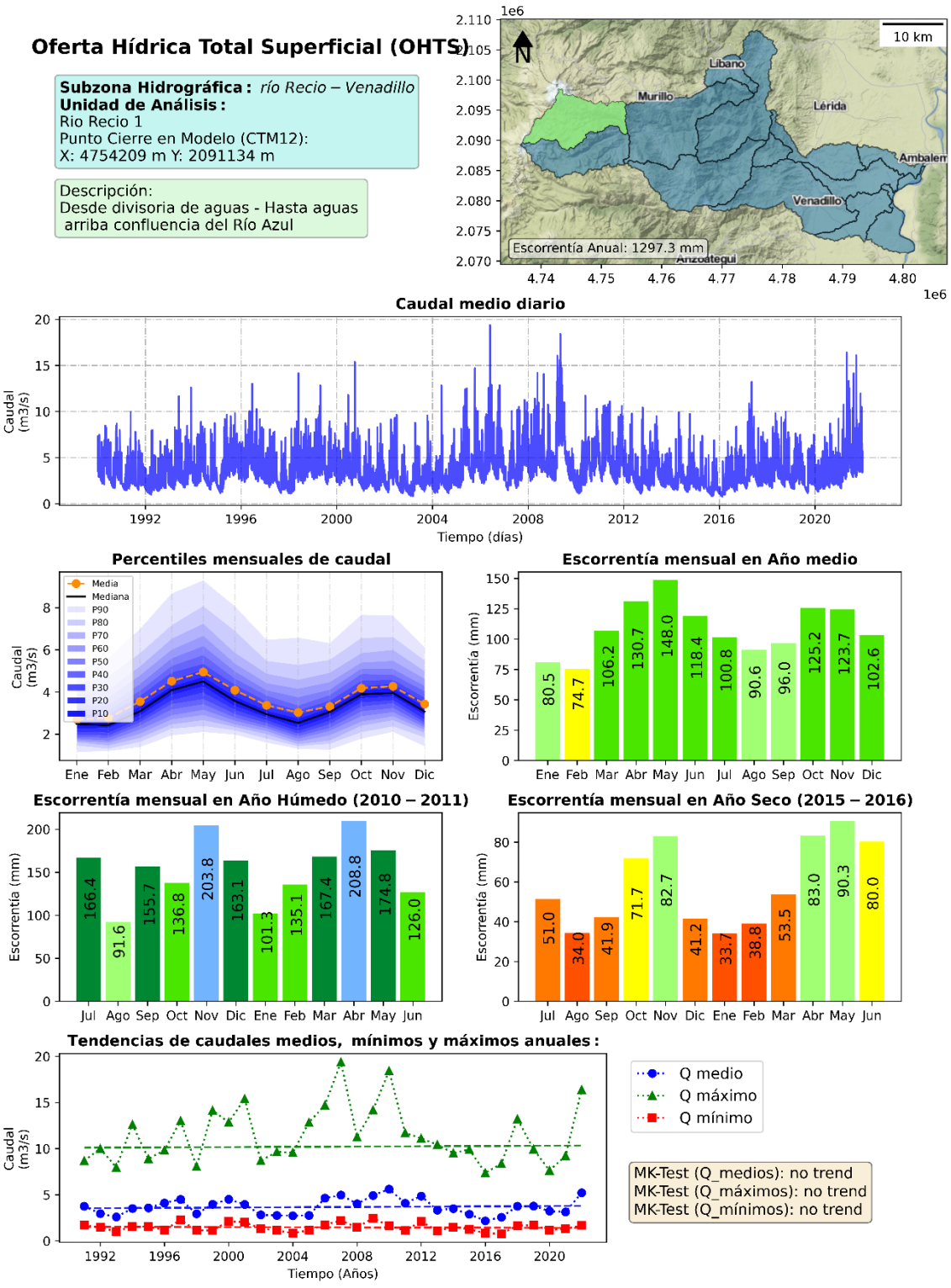


Figura 126. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 1

10.5. Unidad de Análisis: río Recio 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 49.7, 66.7 y 36.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 121.5 % de aumento, un 162.9 % de aumento, y un 89.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 34.4, 48.0 y 17.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 84.1, 117.3 y 42.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 127*). La escorrentía anual es de 1,292.1 mm, con valores máximos mensuales de 133.2, 178.7, y 97.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 128*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
13.45	**8.93**	**4.52**	**18.74**	**8.93**	**9.81**	**7.77**	**5.32**	**2.45**

Tabla 74. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 2

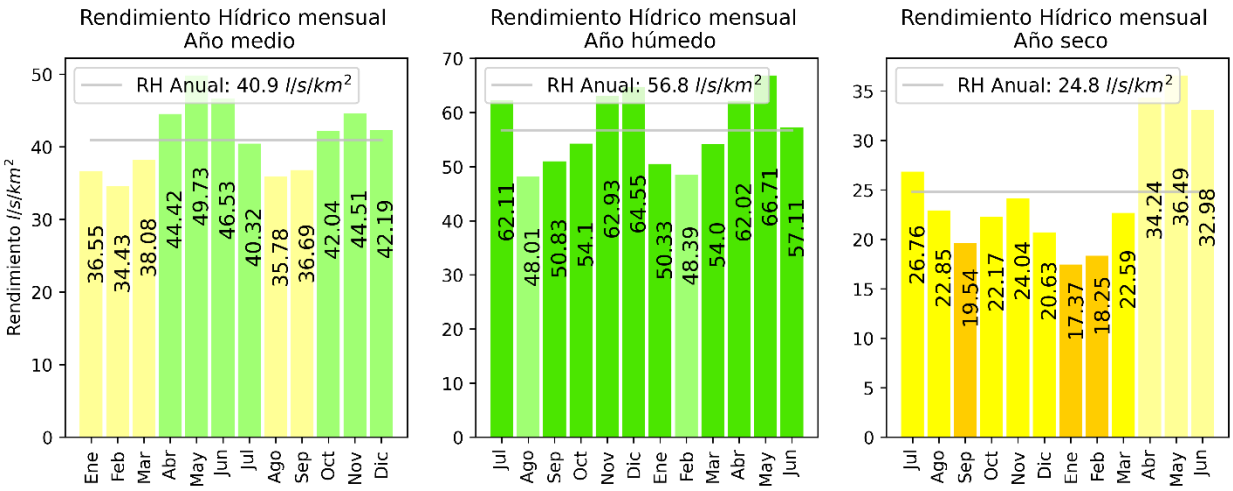


Figura 127. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 2

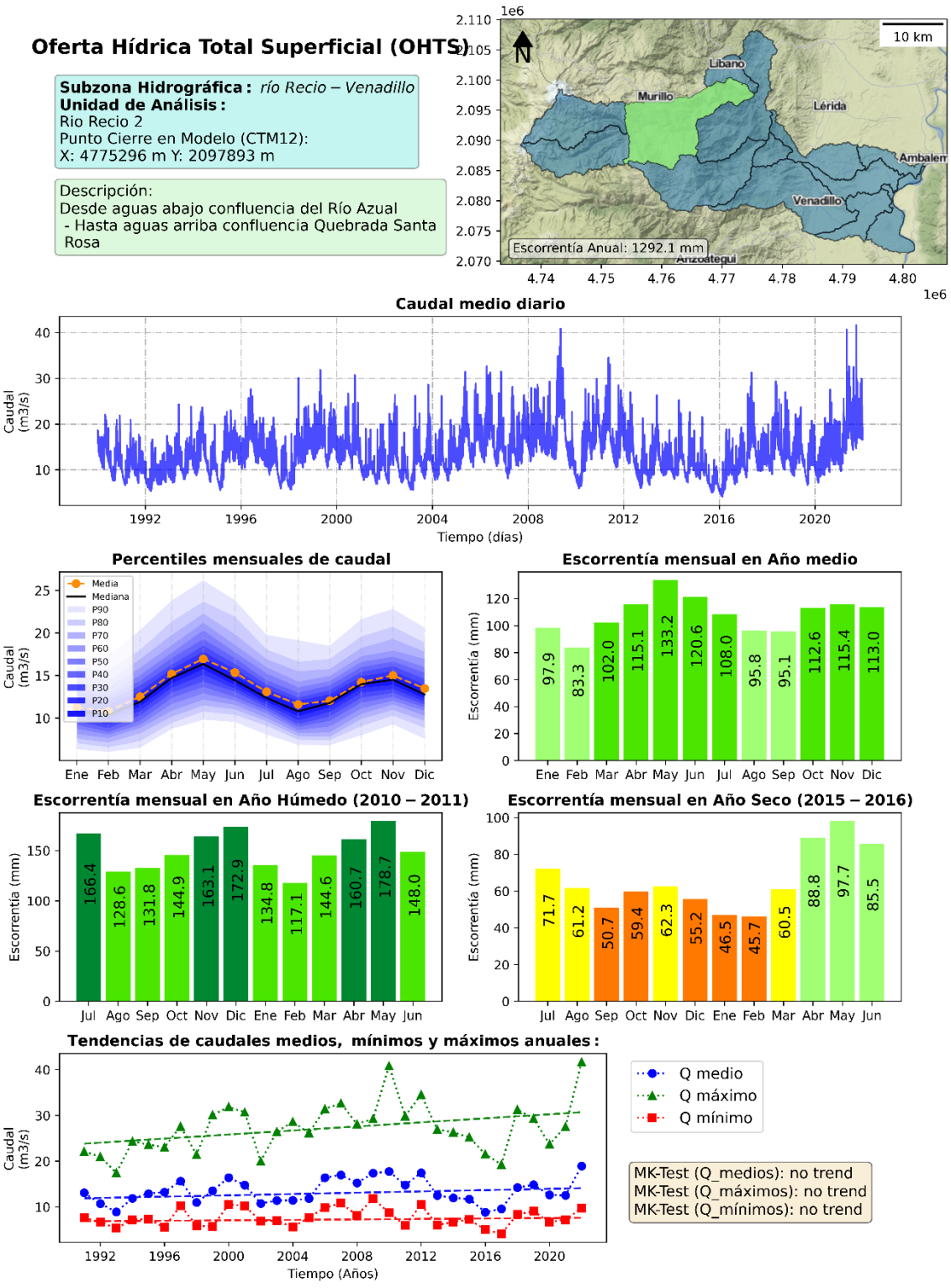


Figura 128. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 2

10.6. Unidad de Análisis: río Recio 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 82.0, 102.3 y 80.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 137.1 % de aumento, un 171.1 % de aumento, y un 134.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 42.7, 41.9 y 22.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 71.4, 70.1 y 37.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 129*). La escorrentía anual es de 1,886.7 mm, con valores máximos mensuales de 219.6, 270.2, y 208.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 130*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
21.46	**13.05**	**8.41**	**29.05**	**13.05**	**16.00**	**12.85**	**8.40**	**4.45**

Tabla 75. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 3

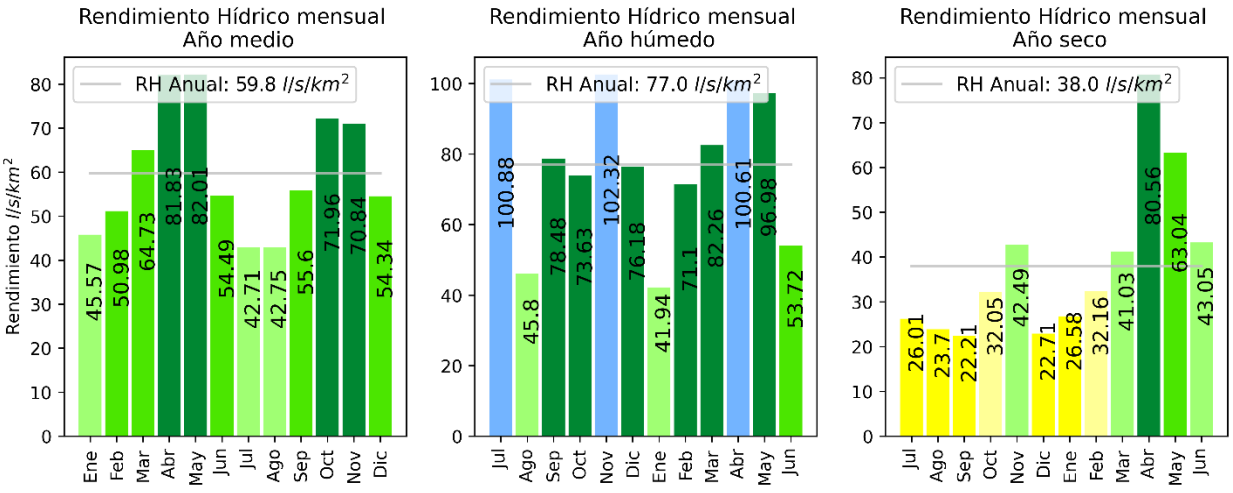


Figura 129. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 3

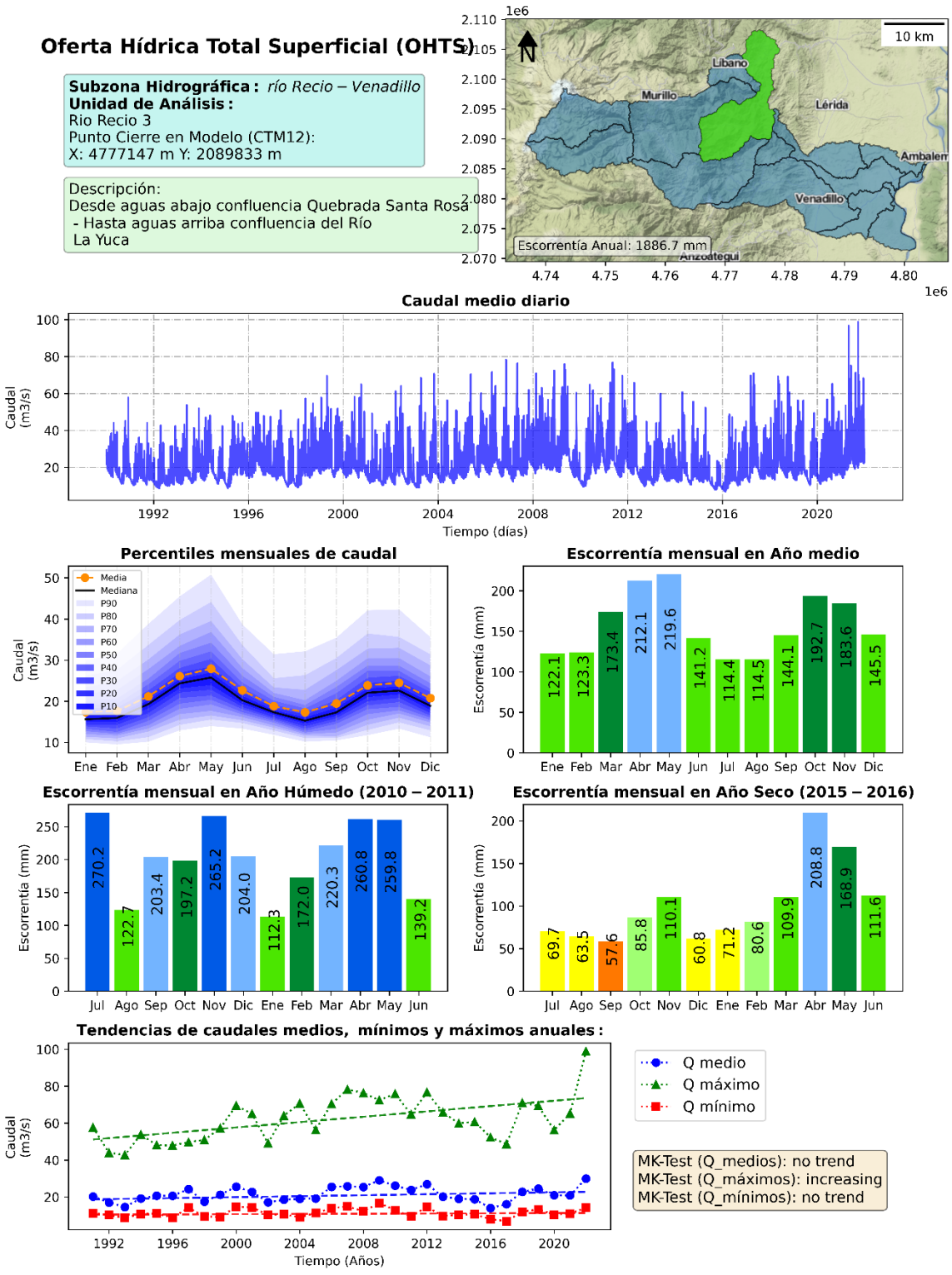


Figura 130. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 3

10.7. Unidad de Análisis: río Recio 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 53.3, 60.9 y 41.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 124.7 % de aumento, un 142.5 % de aumento, y un 97.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 36.4, 38.3 y 21.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 85.1, 89.6 y 49.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 131*). La escorrentía anual es de 1,349.8 mm, con valores máximos mensuales de 142.9, 163.1, y 107.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 132*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
28.10	**17.81**	**10.29**	**38.35**	**17.81**	**20.54**	**16.87**	**11.38**	**5.49**

Tabla 76. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 4

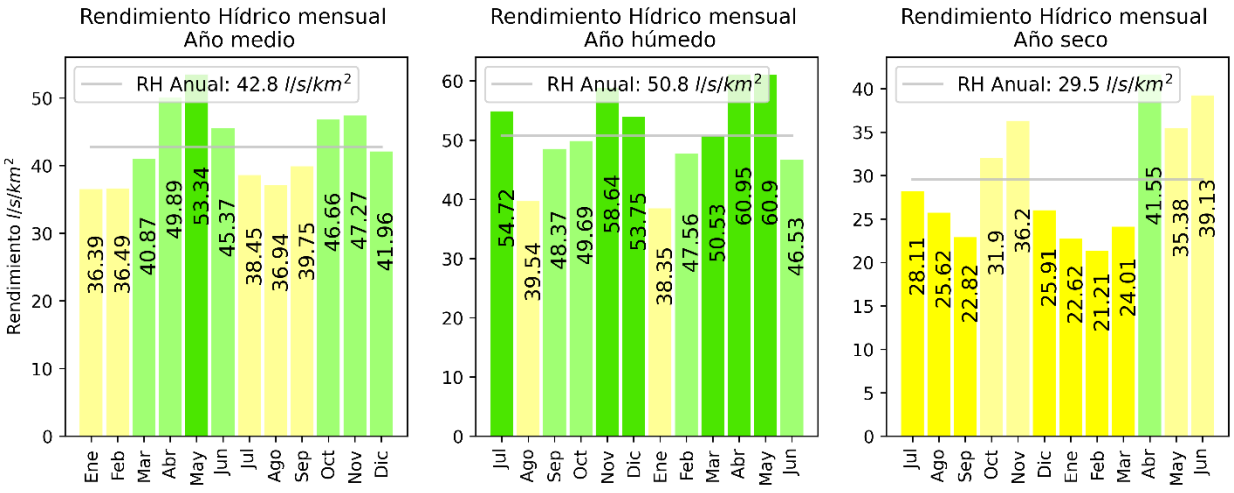


Figura 131. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 4

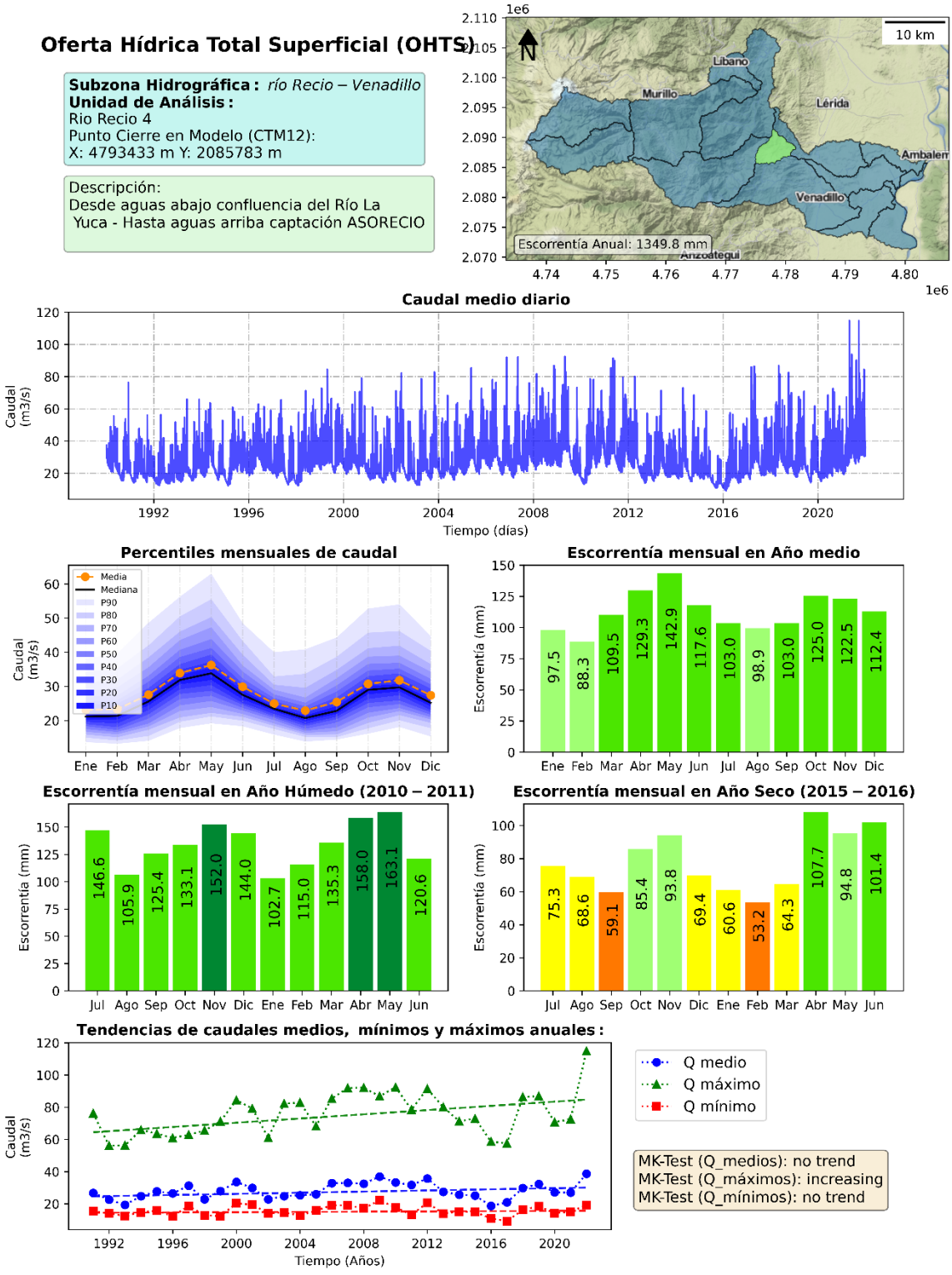


Figura 132. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 4

10.8. Unidad de Análisis: río Recio 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 45.1, 47.9 y 31.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 147.0 % de aumento, un 156.0 % de aumento, y un 103.6 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.2, 19.5 y 11.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 75.7, 63.6 y 36.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 133*). La escorrentía anual es de 968.8 mm, con valores máximos mensuales de 120.9, 128.2, y 82.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 134*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
29.84	**19.10**	**10.74**	**40.09**	**19.10**	**20.99**	**18.06**	**12.10**	**5.96**

Tabla 77. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 5

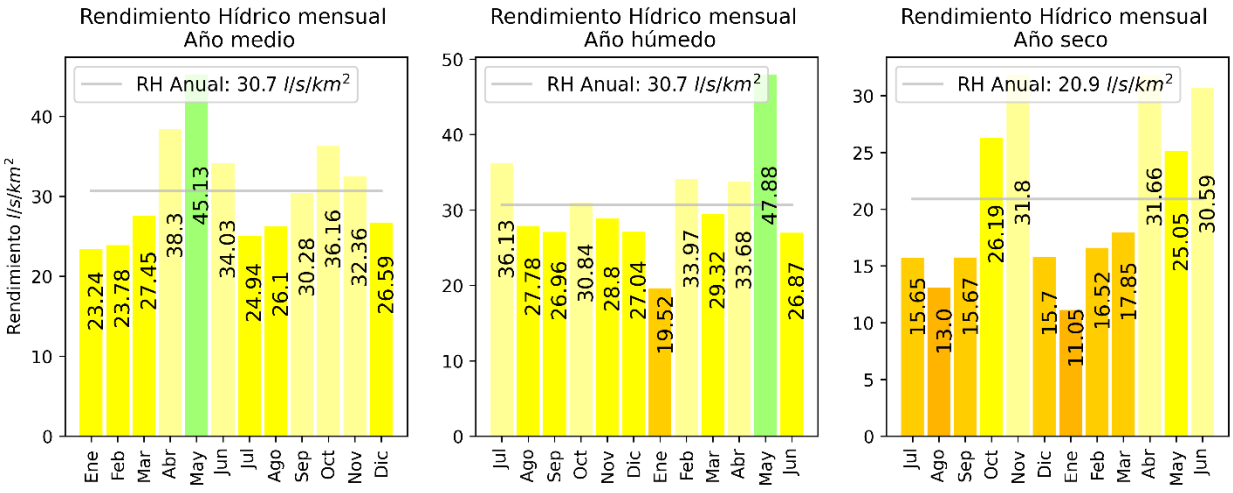


Figura 133. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 5

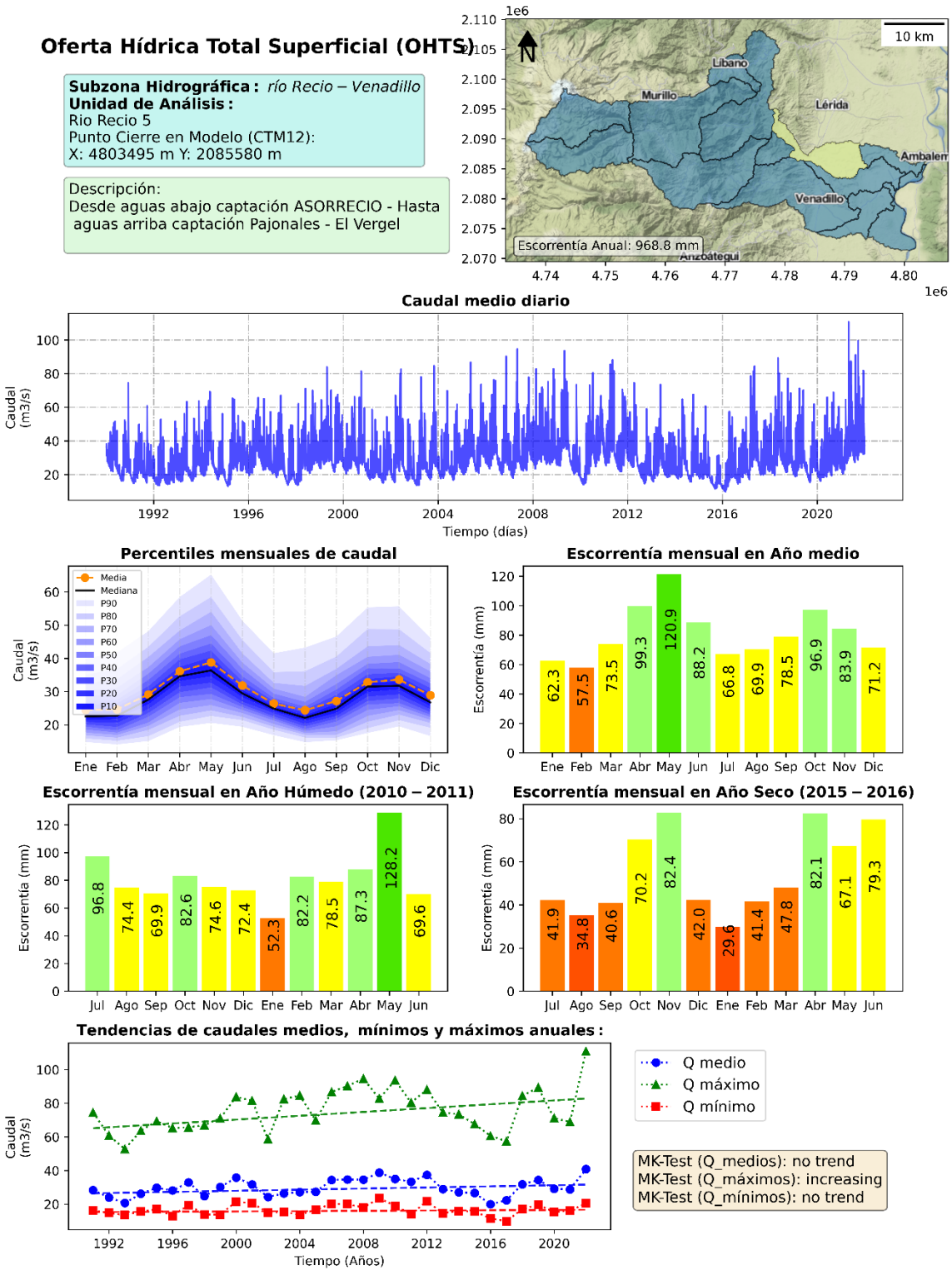


Figura 134. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 5

10.9. Unidad de Análisis: río Recio 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 28.9, 32.0 y 23.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 170.4 % de aumento, un 188.5 % de aumento, y un 136.1 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 10.5, 8.5 y 3.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.0, 50.2 y 18.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 135*). La escorrentía anual es de 536.6 mm, con valores máximos mensuales de 77.5, 85.8, y 59.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 136*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
30.26	**19.39**	**10.87**	**40.53**	**19.39**	**21.14**	**18.30**	**12.30**	**6.00**

Tabla 78. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Recio 6

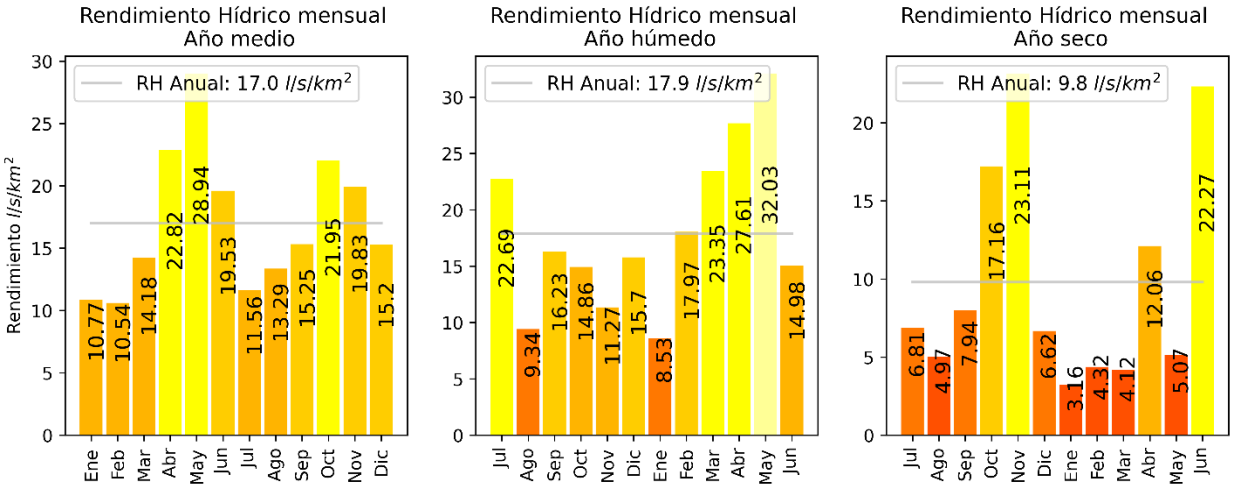


Figura 135. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 6

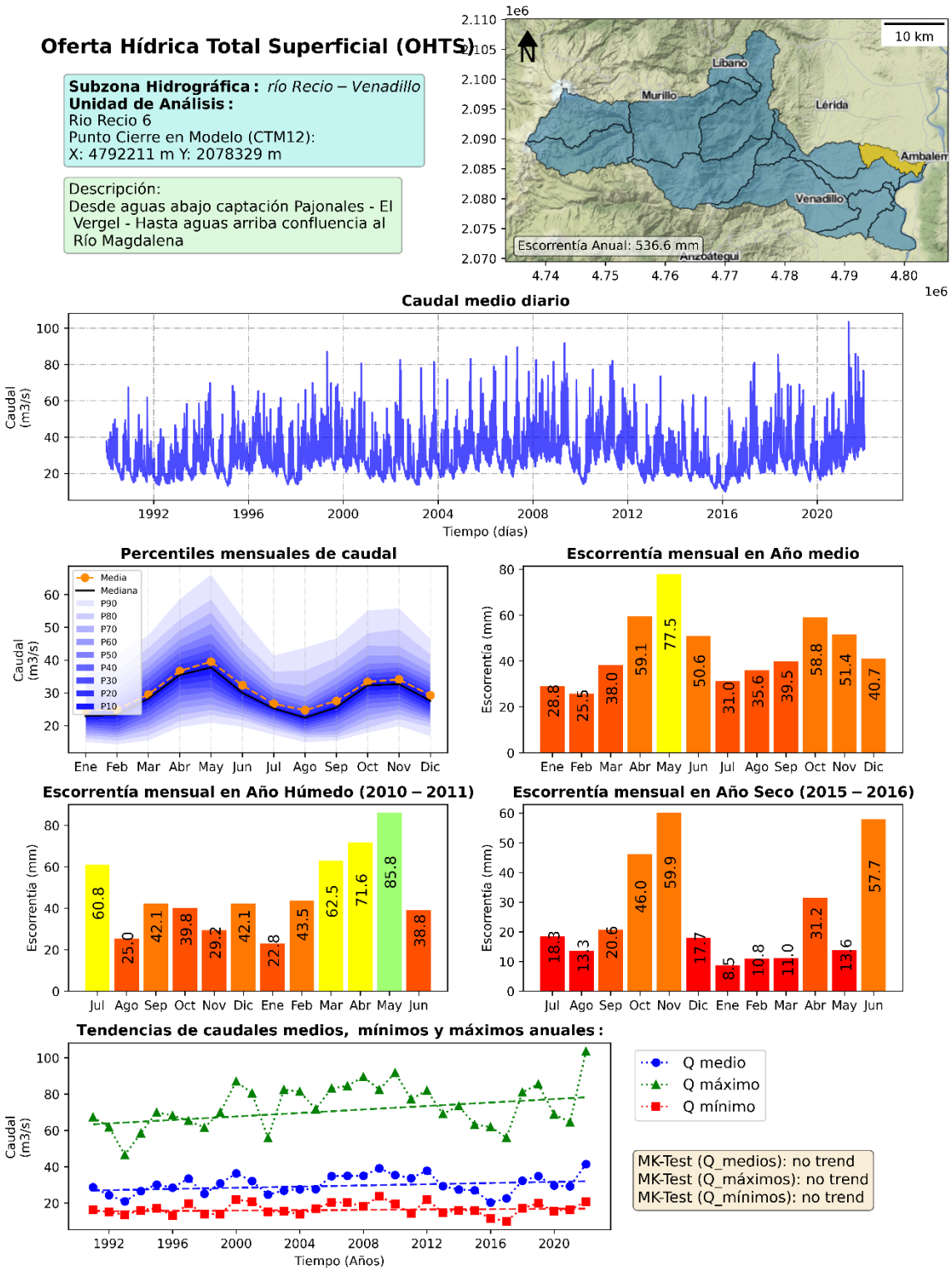


Figura 136. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Recio 6

10.10. Unidad de Análisis: río Venadillo 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 46.2, 54.2 y 34.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 127.3 % de aumento, un 149.4 % de aumento, y un 95.0 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 30.9, 31.0 y 17.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 85.1, 85.3 y 48.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 137*). La escorrentía anual es de 1,145.3 mm, con valores máximos mensuales de 123.8, 145.3, y 89.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 138*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.94	**3.38**	**1.56**	**5.49**	**3.38**	**2.11**	**3.43**	**2.55**	**0.88**

Tabla 79. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Venadillo 1

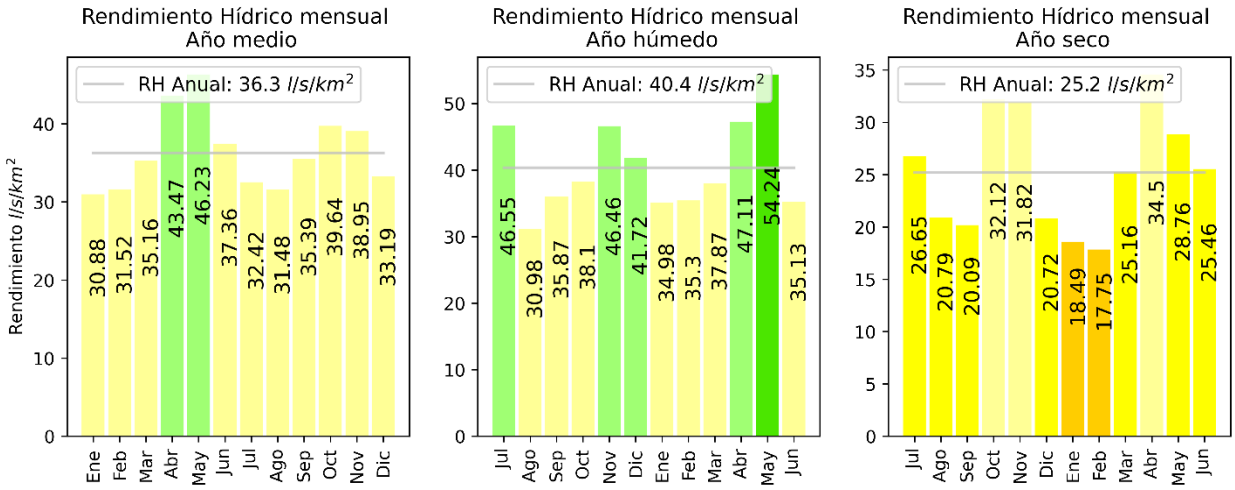


Figura 137. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 1

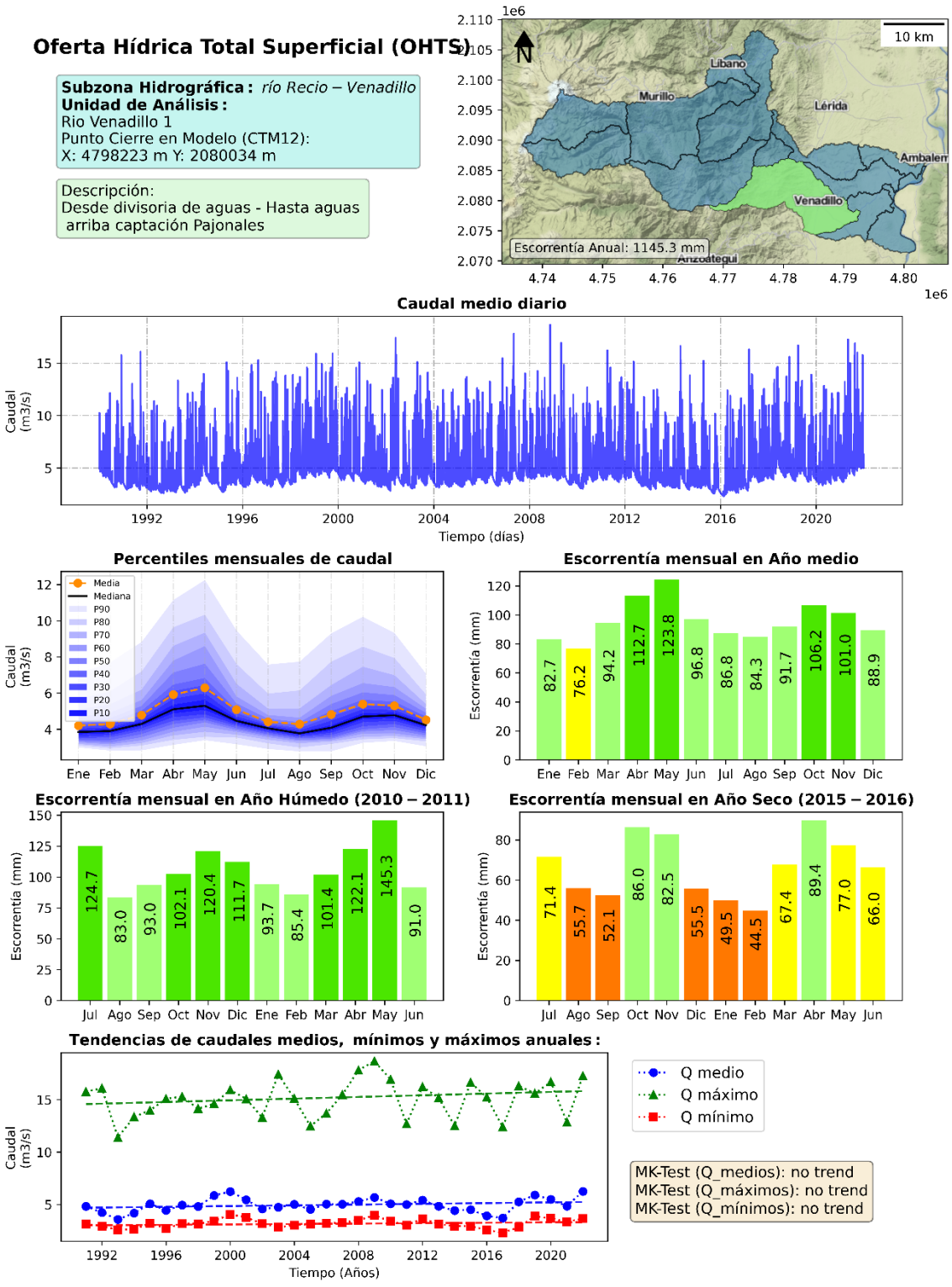


Figura 138. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 1

10.11. Unidad de Análisis: río Venadillo 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 43.3, 43.9 y 34.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 130.1 % de aumento, un 132.0 % de aumento, y un 104.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.6, 30.0 y 17.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 83.0, 90.2 y 52.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 139*). La escorrentía anual es de 1,050.0 mm, con valores máximos mensuales de 115.9, 117.6, y 89.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 140*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.42	**4.53**	**1.89**	**7.06**	**4.53**	**2.53**	**4.51**	**3.40**	**1.11**

Tabla 80. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Venadillo 2

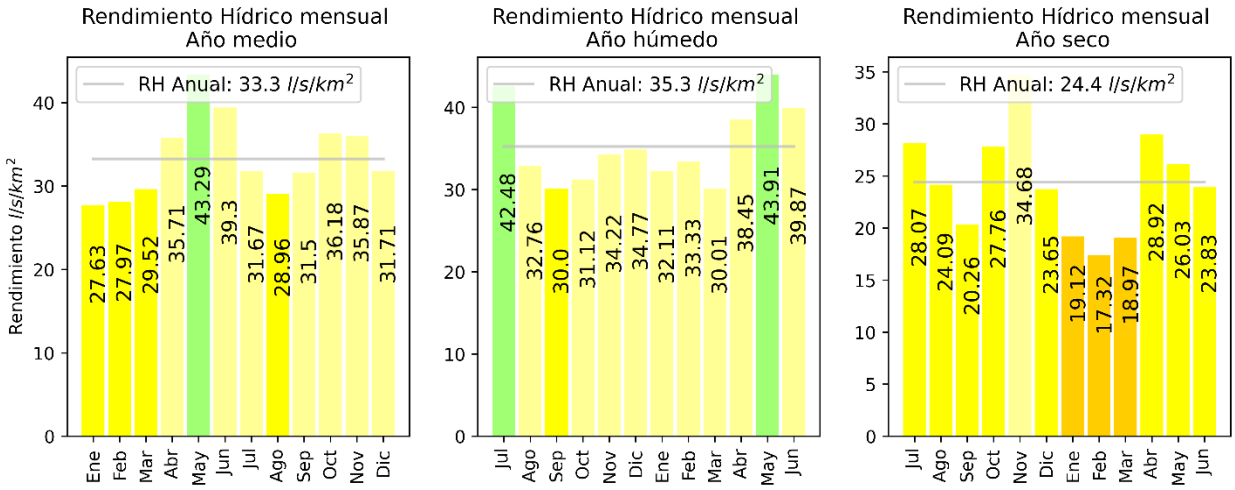


Figura 139. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 2

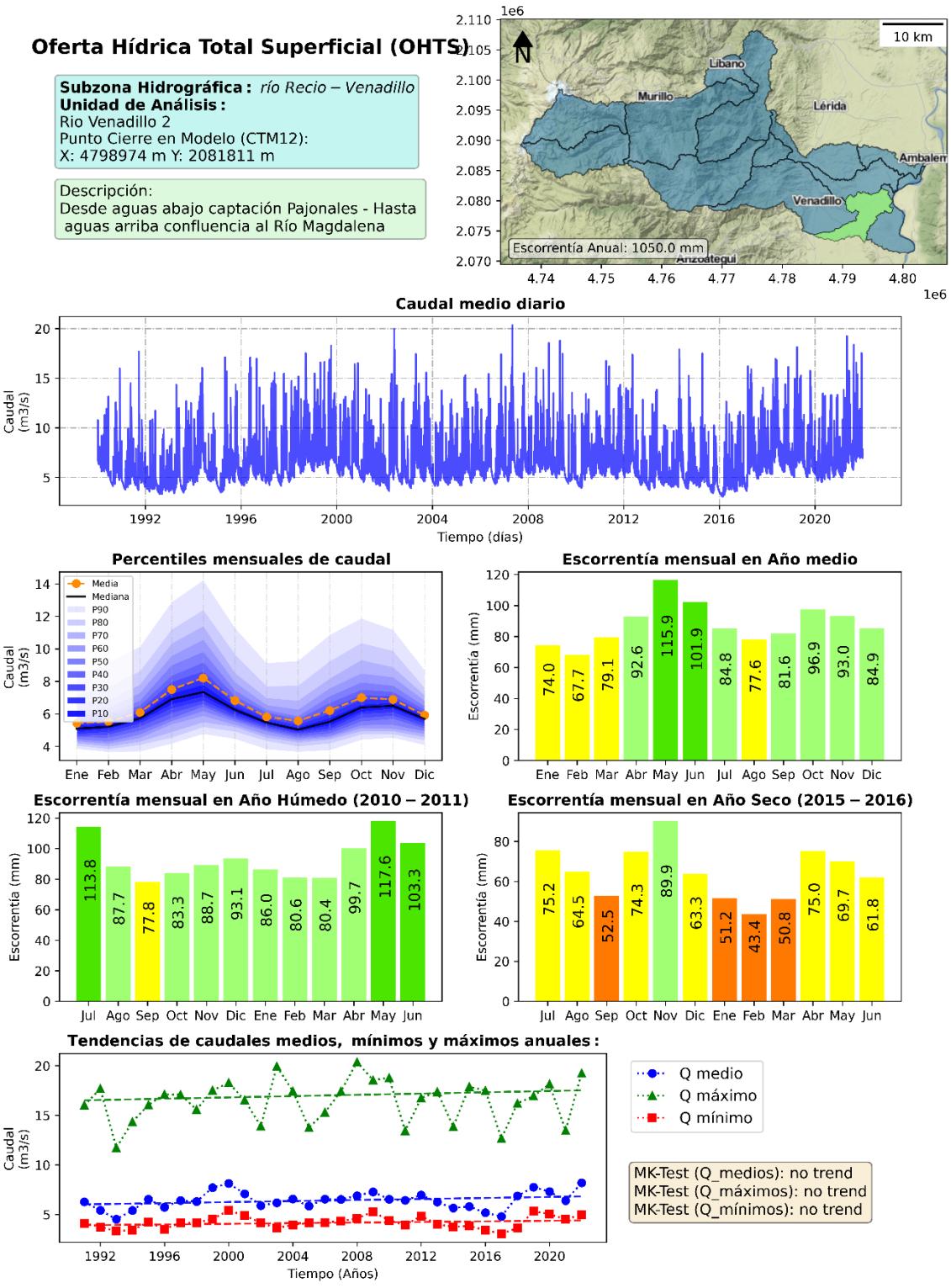


Figura 140. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Venadillo 2

10.12. Unidad de Análisis: río La Yuca

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 55.2, 76.0 y 40.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.2 % de aumento, un 172.4 % de aumento, y un 92.6 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 37.0, 52.3 y 15.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 83.9, 118.6 y 35.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 141*). La escorrentía anual es de 1,391.7 mm, con valores máximos mensuales de 147.9, 197.1, y 109.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 142*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
5.74	**3.95**	**1.79**	**8.24**	**3.95**	**4.29**	**3.41**	**2.32**	**1.08**

Tabla 81. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río La Yuca

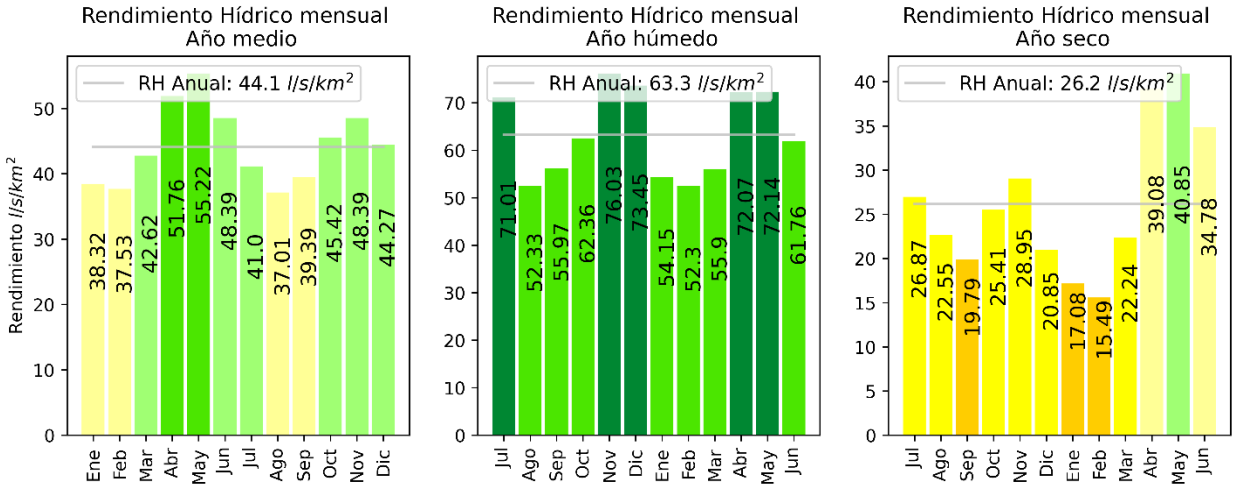


Figura 141. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río la Yuca

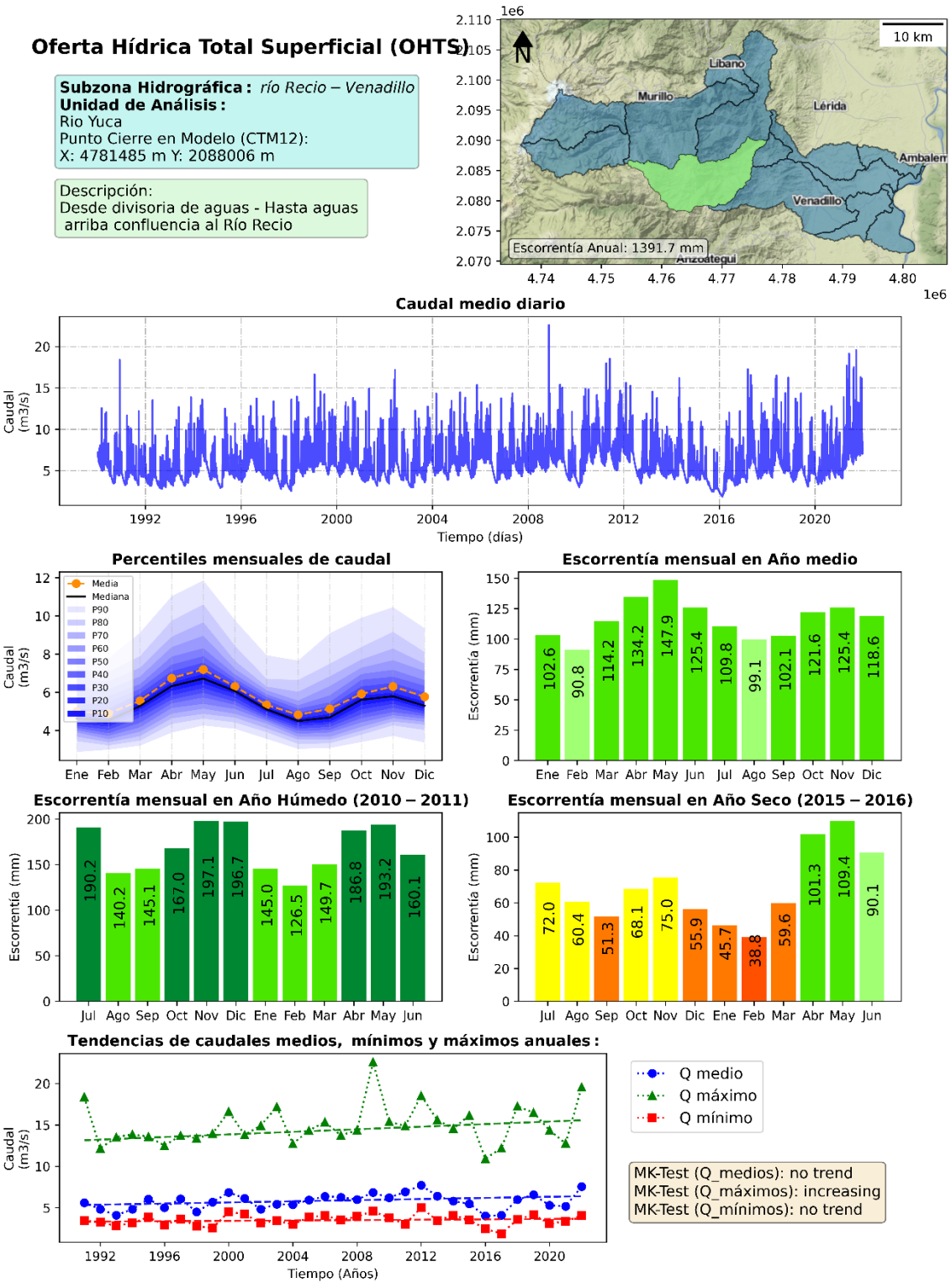


Figura 142. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Yuca

10.13. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 38.8, 40.7 y 32.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 108.9 % de aumento, un 114.2 % de aumento, y un 90.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.0, 35.4 y 24.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 92.6, 99.4 y 68.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 143*). La escorrentía anual es de 1,123.4 mm, con valores máximos mensuales de 101.5, 108.9, y 86.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 144*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.63	**1.34**	**0.28**	**1.70**	**1.34**	**0.36**	**1.30**	**1.15**	**0.14**

Tabla 82. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo

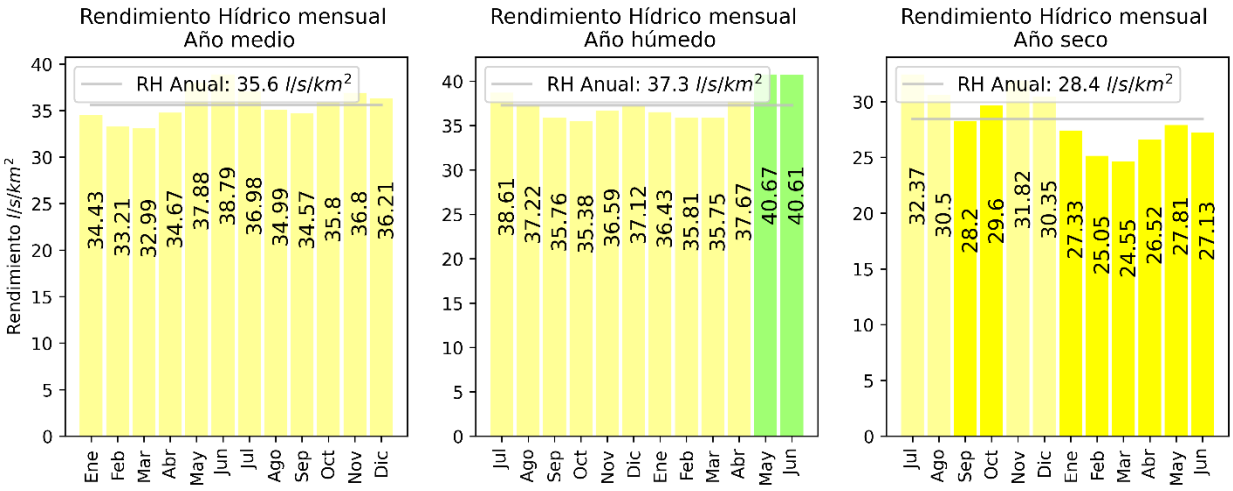


Figura 143. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo

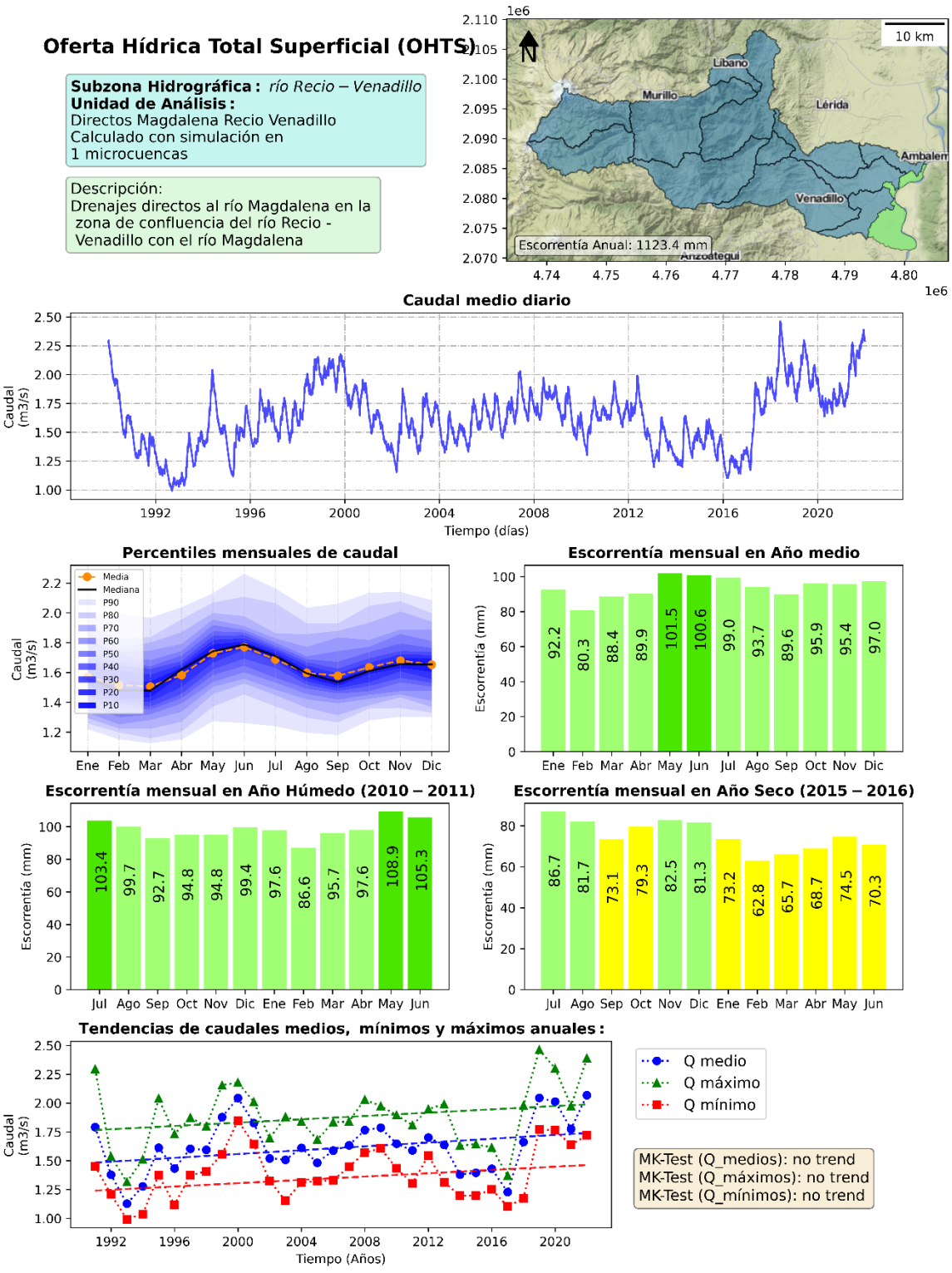


Figura 144 Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo

11. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

11.1. Unidad de Análisis: quebrada La Joya

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 64.9, 79.2 y 66.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 184.4 % de aumento, un 225.1 % de aumento, y un 188.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.3, 8.9 y 0.0 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 40.7, 25.3 y 0.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 145*). La escorrentía anual es de 1,109.8 mm, con valores máximos mensuales de 173.7, 205.2, y 171.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 146*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.786	**0.001**	**0.785**	**0.953**	**0.001**	**0.952**	**0.5039**	**0.0003**	**0.5036**

Tabla 83. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada La Joya

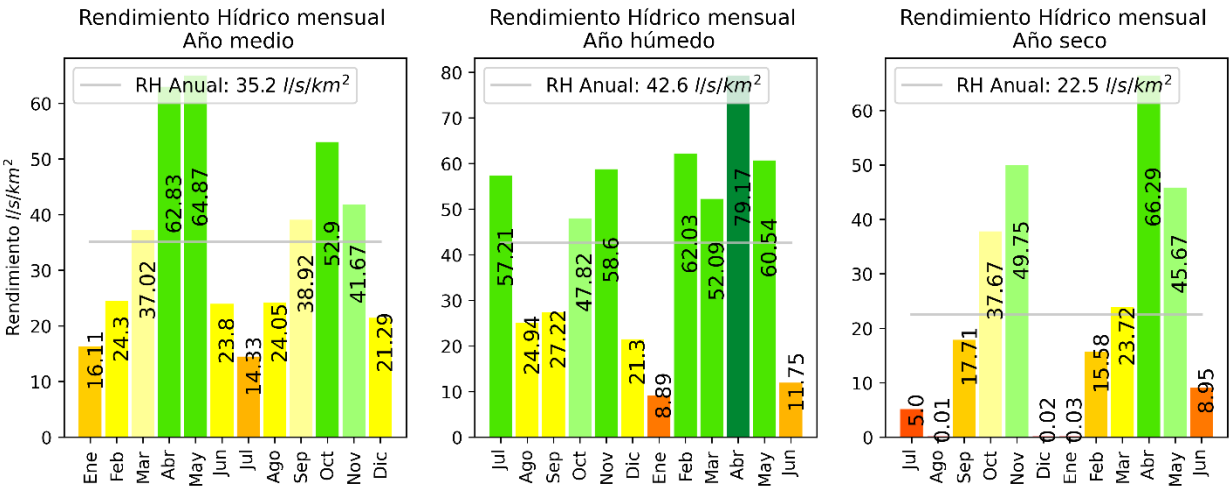


Figura 145. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada La Joya

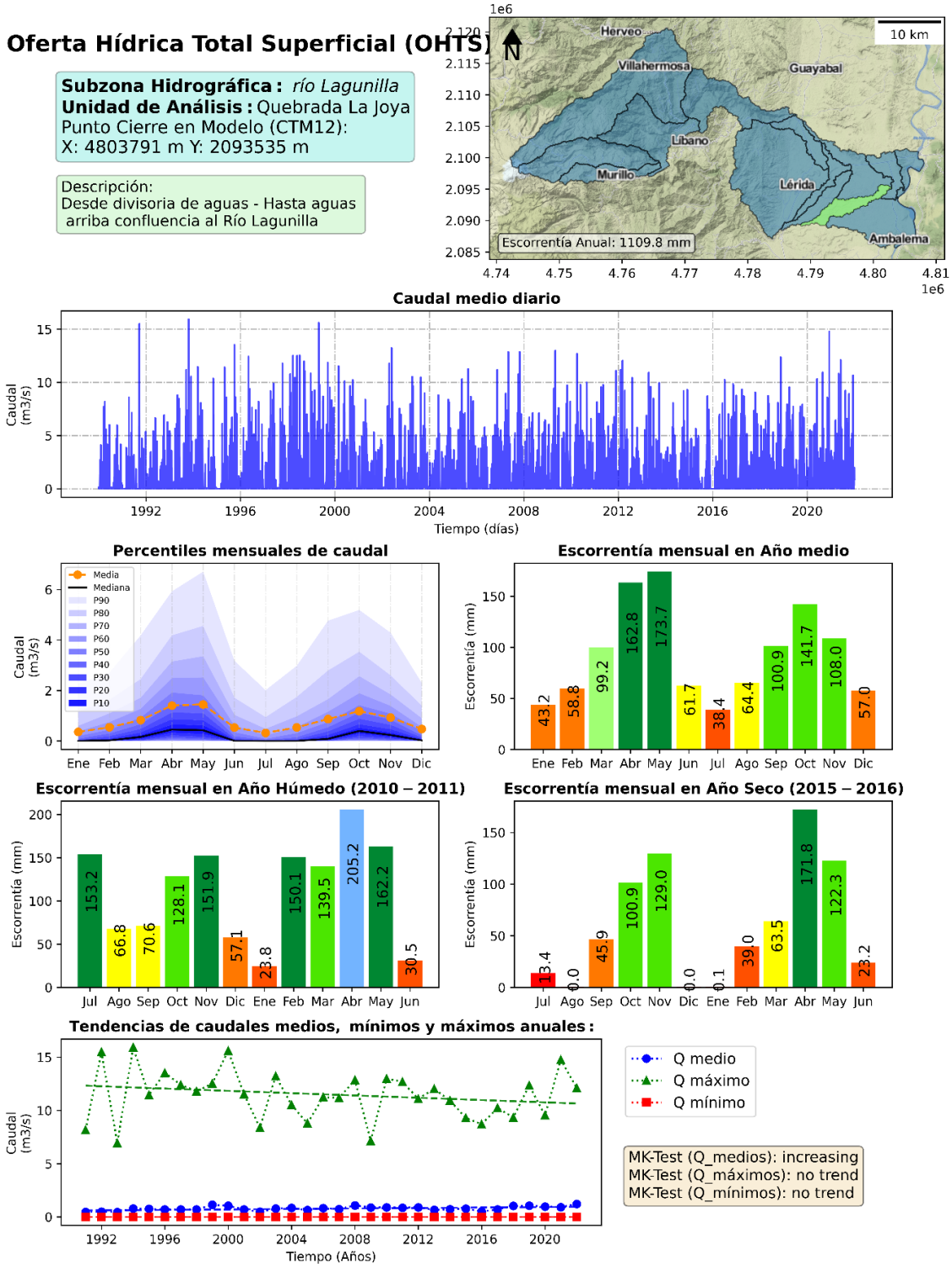


Figura 146. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada La Joya

11.2. Unidad de Análisis: quebrada Palmas

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 69.1, 78.8 y 73.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 187.2 % de aumento, un 213.6 % de aumento, y un 200.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 16.4, 8.6 y 0.0 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 44.5, 23.3 y 0.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 147*). La escorrentía anual es de 1,164.3 mm, con valores máximos mensuales de 185.0, 204.3, y 191.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios anuales, y no se identifican tendencias en los caudales máximos y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 148*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.82	**0.01**	**0.81**	**0.92**	**0.01**	**0.91**	**0.554**	**0.002**	**0.552**

Tabla 84. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Palmas

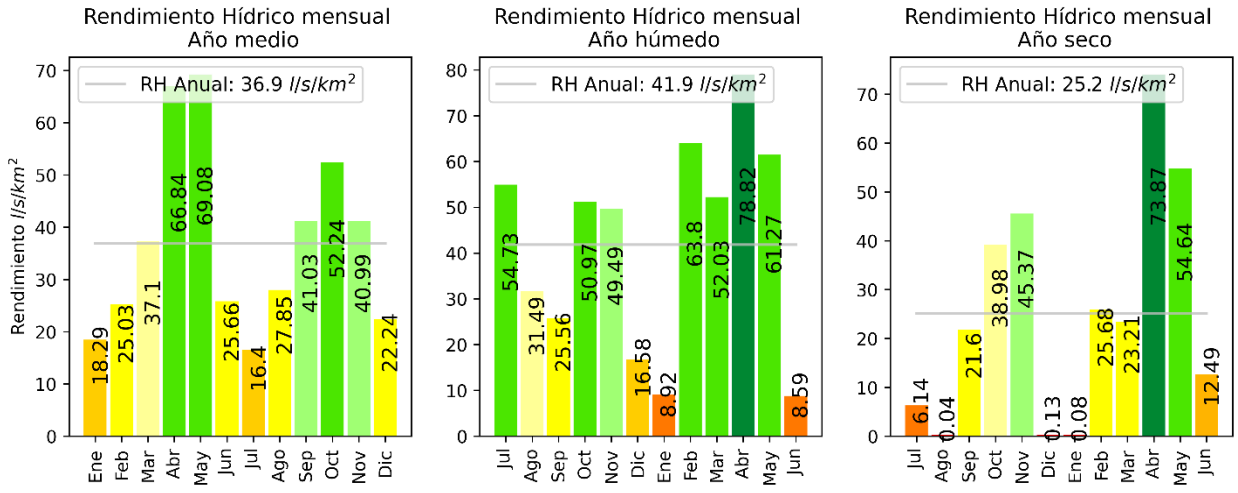


Figura 147. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Palmas

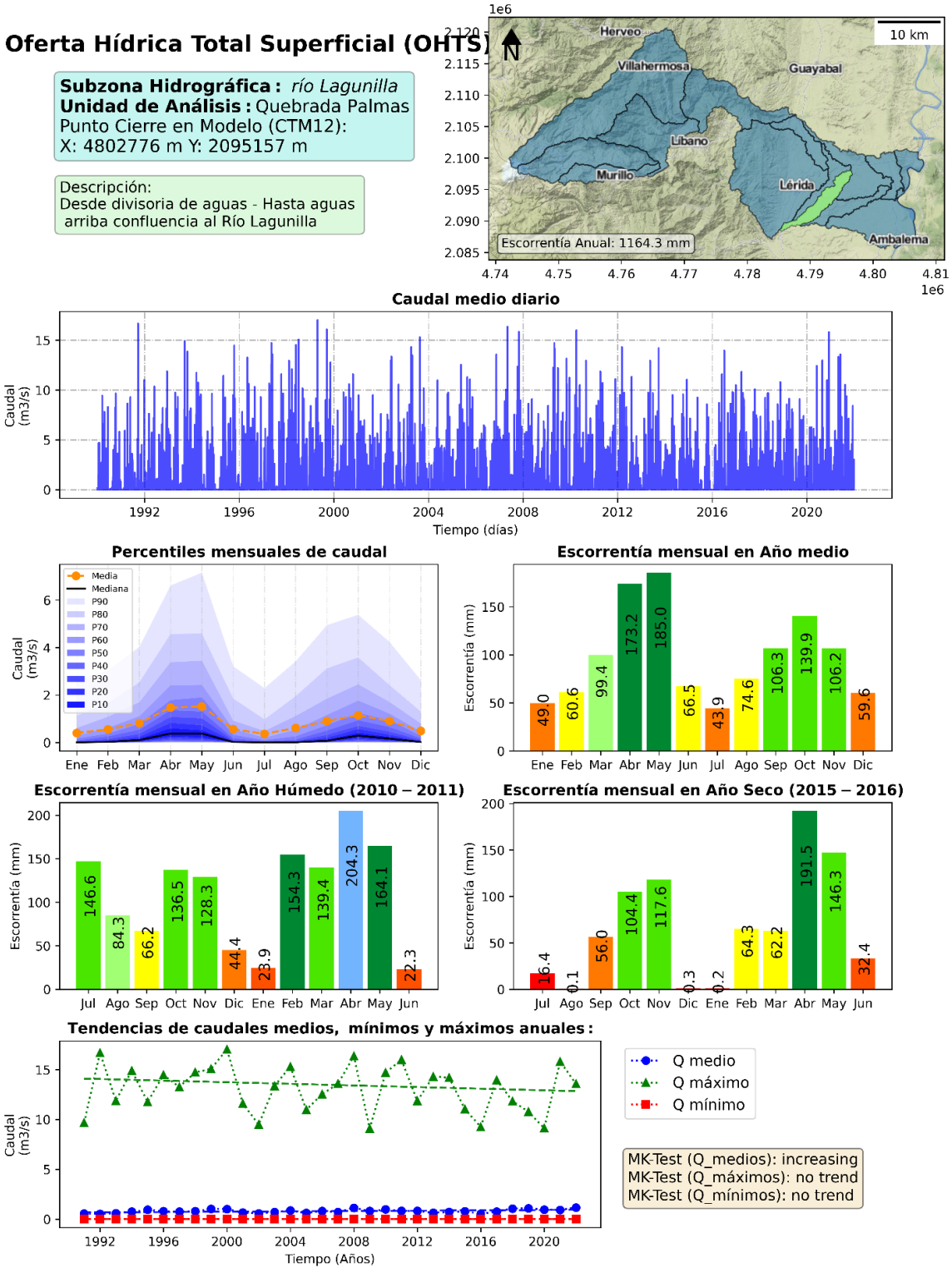


Figura 148. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada palmas

11.3. Unidad de Análisis: río Azufrado

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 69.6, 88.7 y 47.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 133.0 % de aumento, un 169.4 % de aumento, y un 90.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.7, 38.8 y 17.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.4, 74.0 y 32.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 149*). La escorrentía anual es de 1,651.3 mm, con valores máximos mensuales de 186.5, 236.8, y 127.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 150*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
10.86	**6.68**	**4.19**	**14.35**	**6.68**	**7.67**	**6.37**	**3.60**	**2.78**

Tabla 85. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Azufrado

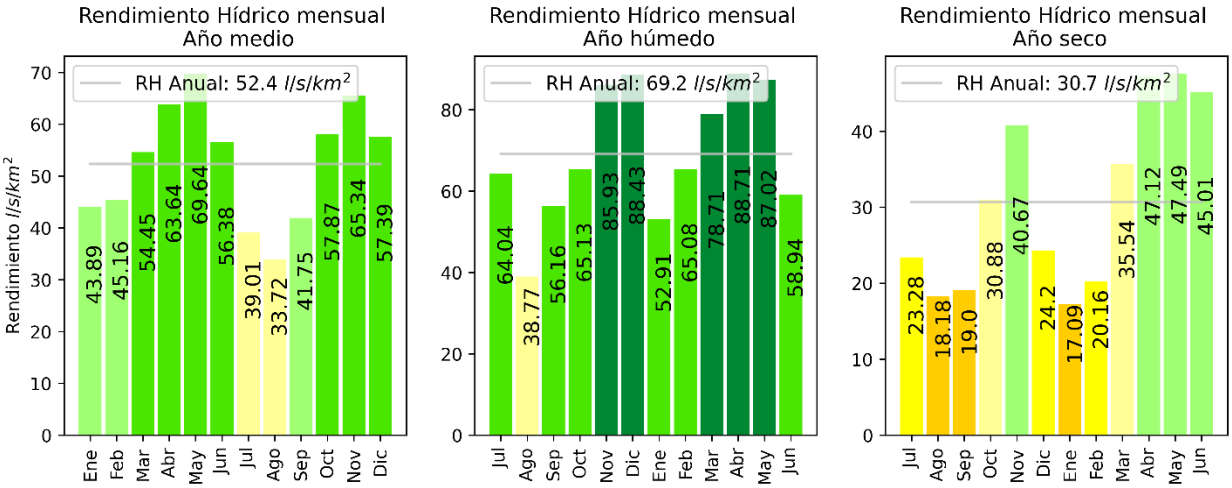


Figura 149. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Azufrado

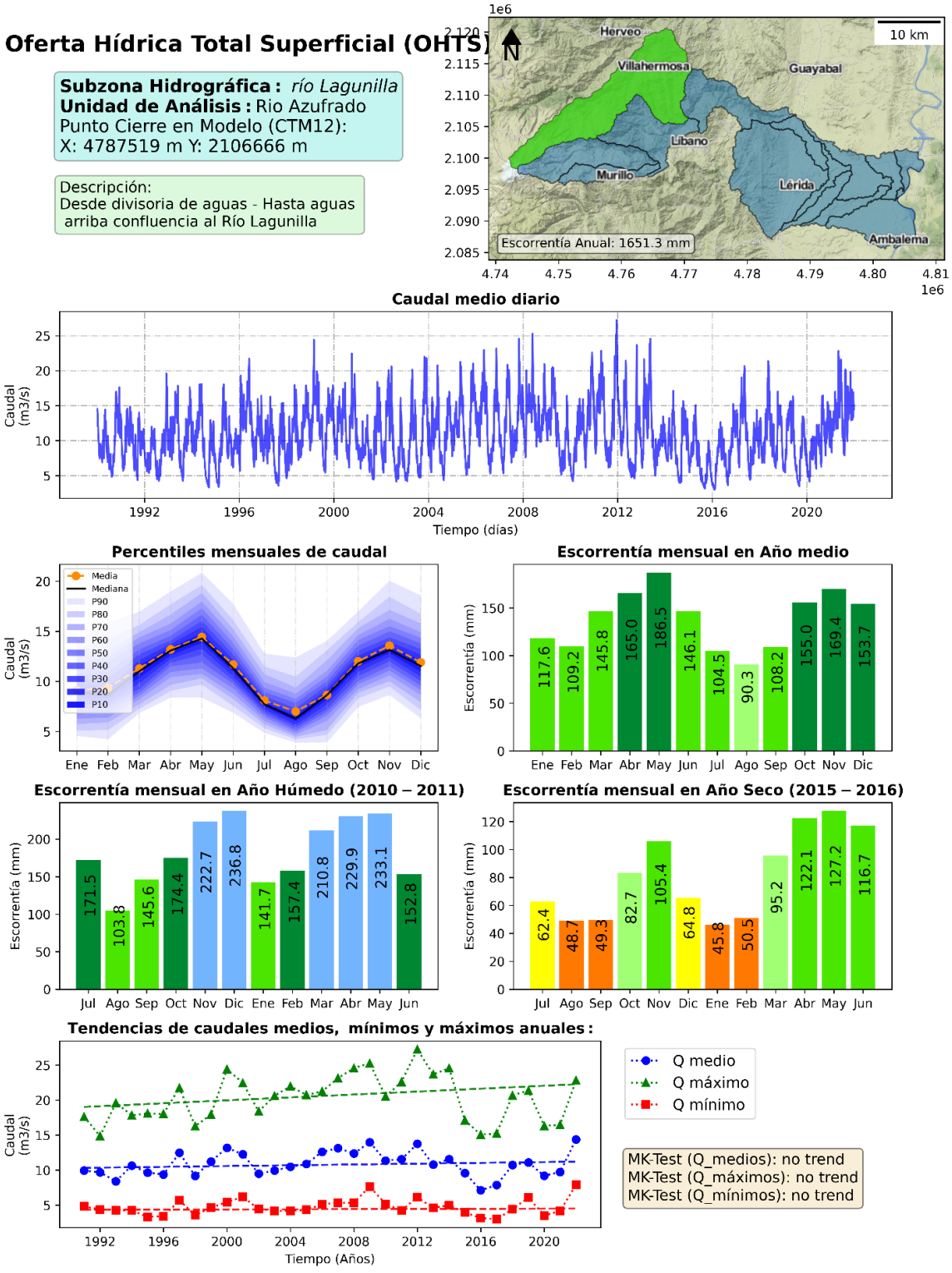


Figura 150. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Azufrado

11.4. Unidad de Análisis: río Bledo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 56.7, 60.6 y 46.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 144.3 % de aumento, un 154.1 % de aumento, y un 119.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 30.2, 30.3 y 12.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 76.7, 77.1 y 30.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 151*). La escorrentía anual es de 1,241.1 mm, con valores máximos mensuales de 151.9, 161.4, y 125.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 152*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.95	**3.74**	**3.21**	**8.24**	**3.74**	**4.49**	**4.48**	**2.06**	**2.42**

Tabla 86. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Bledo

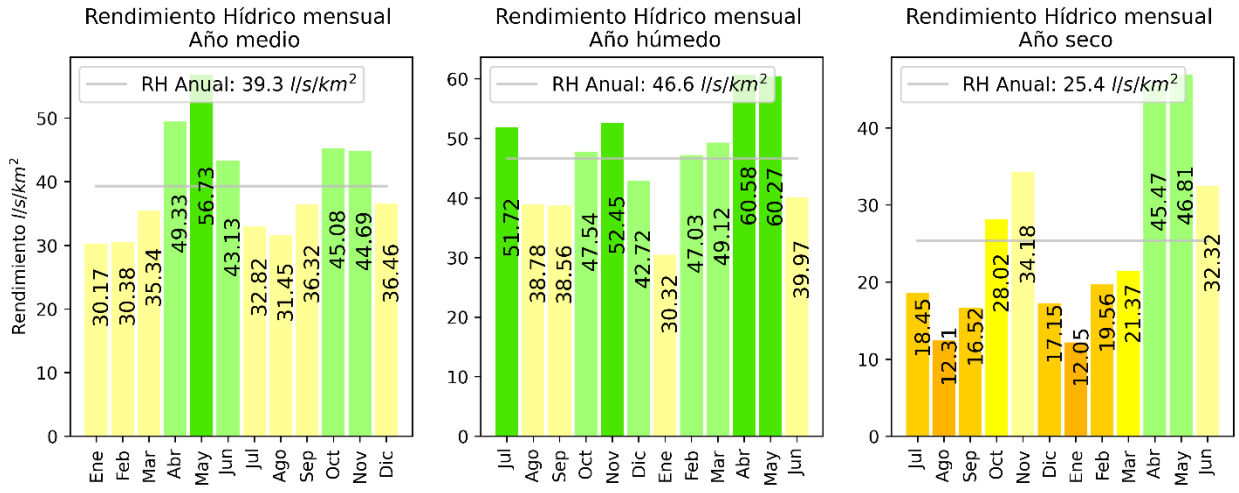


Figura 151. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Bledo

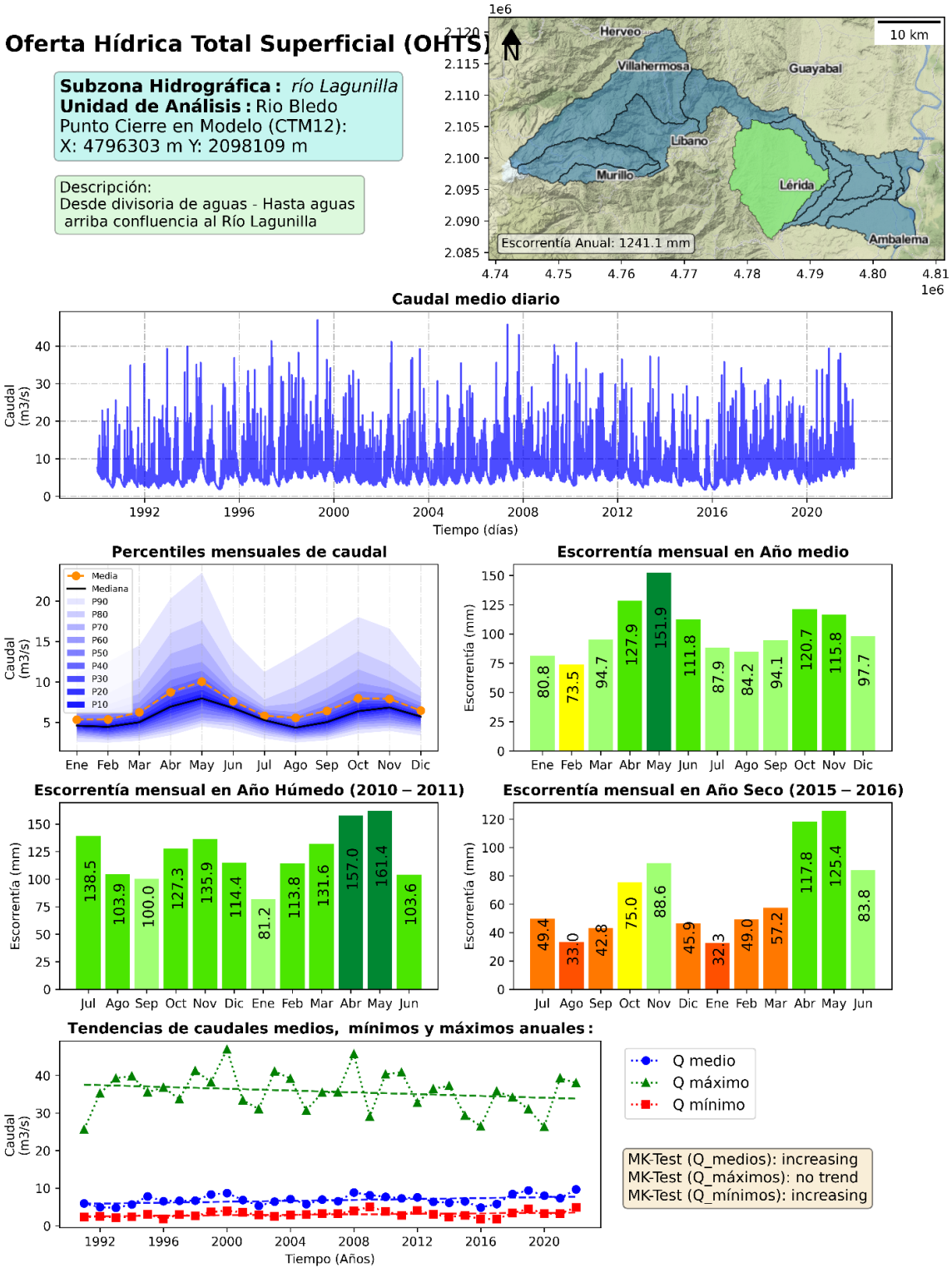


Figura 152. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Bledo

11.5. Unidad de Análisis: río Lagunilla 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 55.5, 77.8 y 31.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 146.1 % de aumento, un 204.5 % de aumento, y un 83.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 25.1, 20.8 y 8.8 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 66.0, 54.6 y 23.3 % con relación al valor medio anual (*Figura 153*). La escorrentía anual es de 1,200.2 mm, con valores máximos mensuales de 148.8, 201.6, y 82.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 154*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.01	**1.39**	**1.62**	**3.88**	**1.39**	**2.49**	**1.40**	**0.71**	**0.69**

Tabla 87. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 1

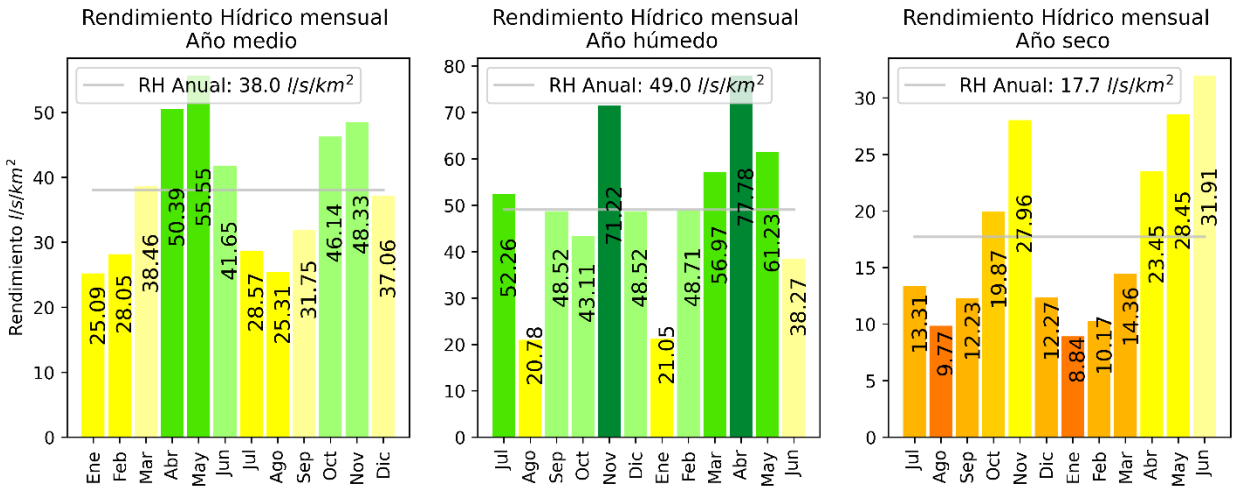


Figura 153. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 1

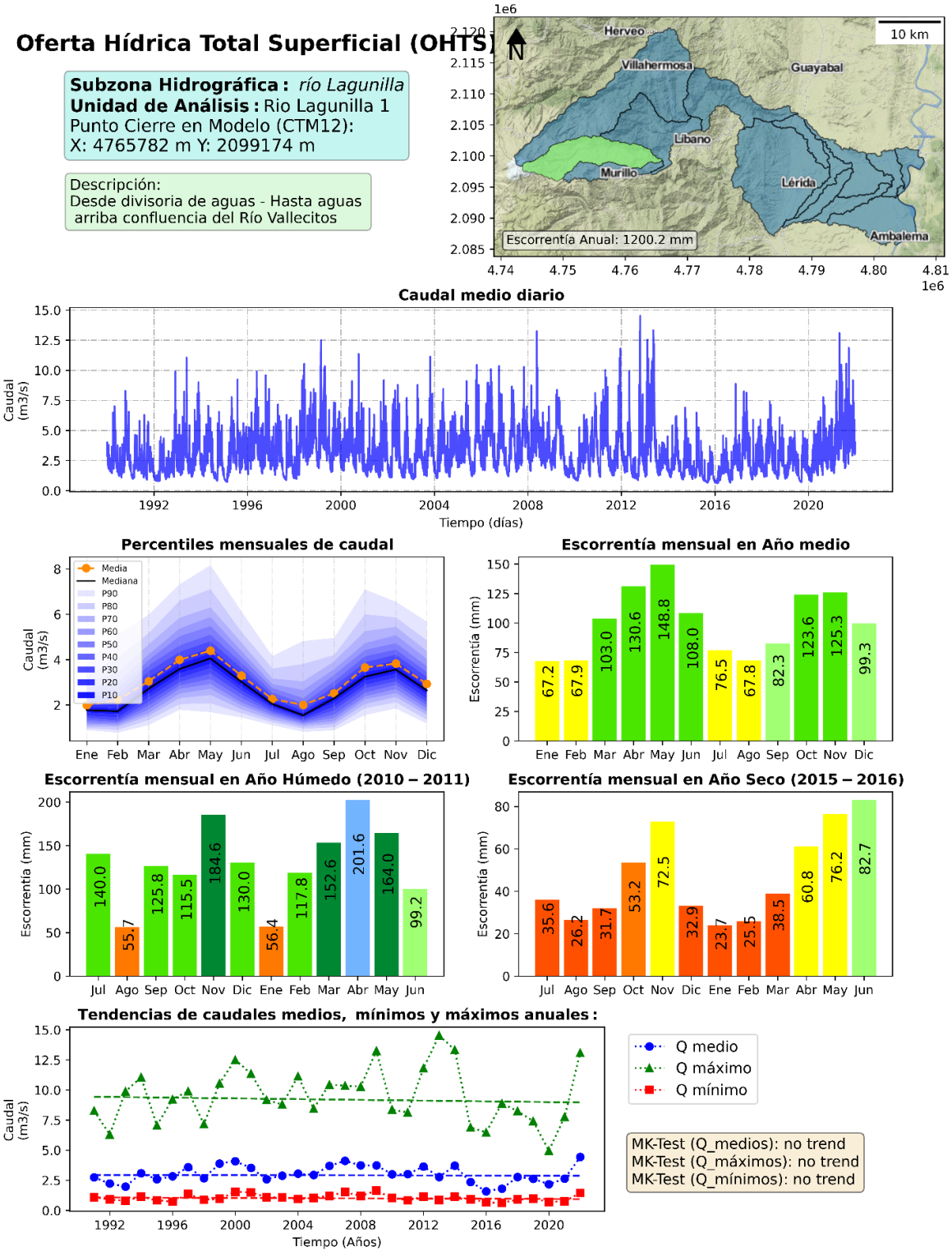


Figura 154. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 1

11.6. Unidad de Análisis: río Lagunilla 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 70.7, 84.2 y 54.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 136.6 % de aumento, un 162.5 % de aumento, y un 104.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.1, 48.3 y 14.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 63.9, 93.2 y 28.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 155*). La escorrentía anual es de 1,634.2 mm, con valores máximos mensuales de 189.5, 225.5, y 141.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 156*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
8.05	**4.20**	**3.85**	**10.65**	**4.20**	**6.44**	**4.14**	**2.12**	**2.01**

Tabla 88. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 2

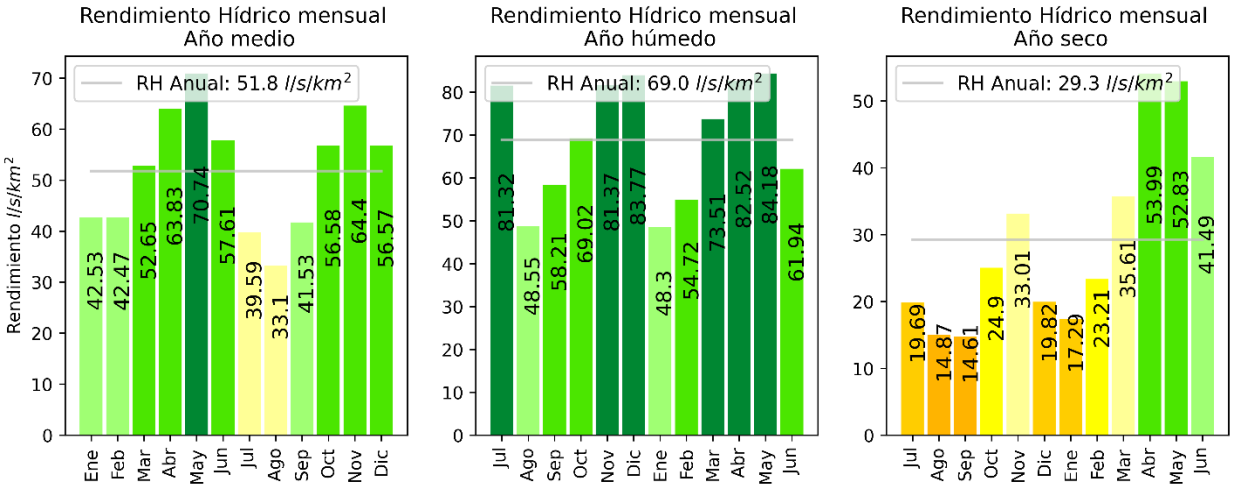


Figura 155. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 2

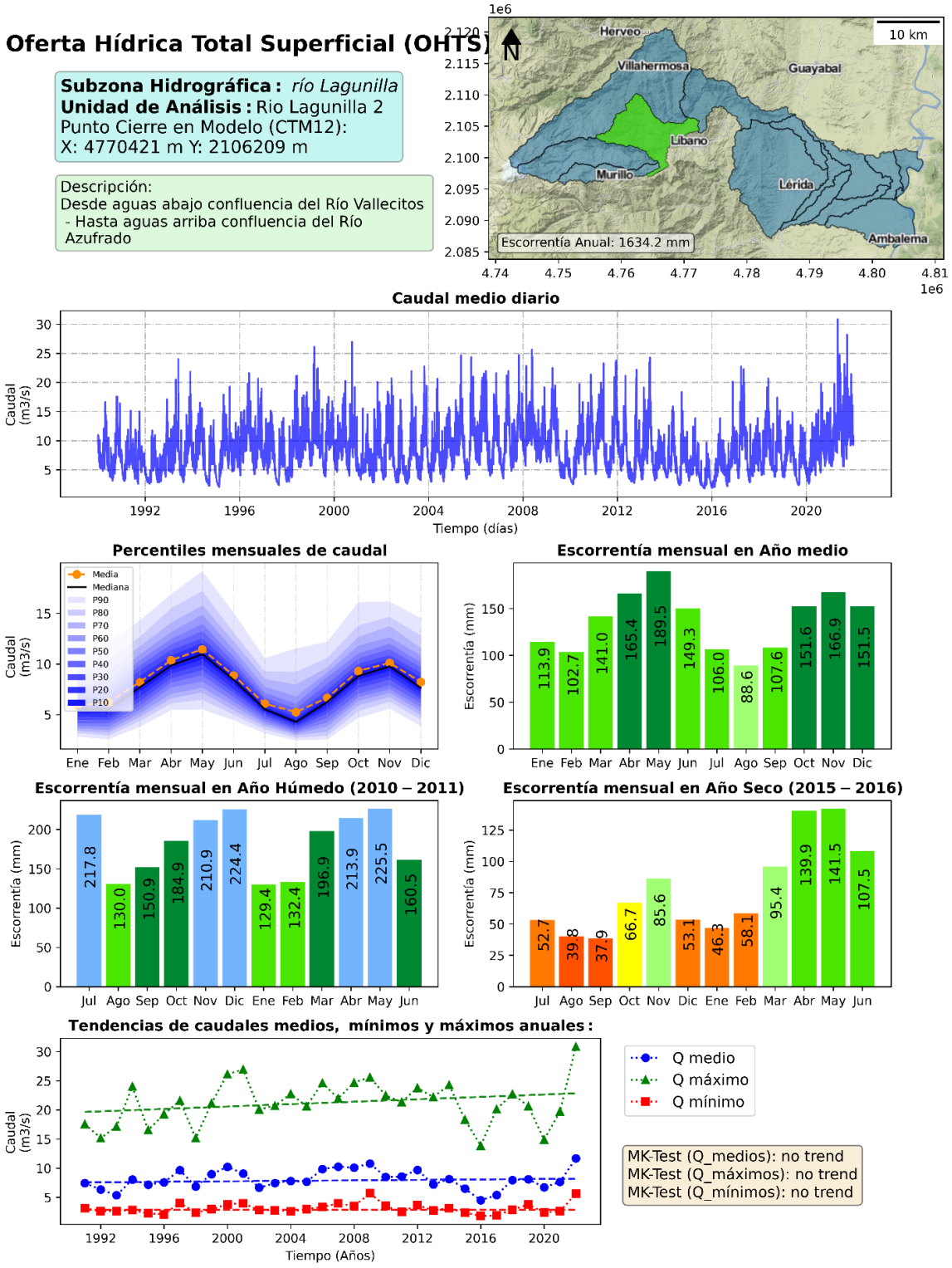


Figura 156. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 2

11.7. Unidad de Análisis: río Lagunilla 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 57.9, 69.9 y 46.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 118.3 % de aumento, un 142.9 % de aumento, y un 94.5 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 41.0, 50.7 y 25.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 83.9, 103.7 y 52.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 157*). La escorrentía anual es de 1,543.3 mm, con valores máximos mensuales de 155.0, 187.2, y 123.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 158*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
22.61	**14.07**	**8.54**	**29.56**	**14.07**	**15.49**	**12.98**	**7.66**	**5.31**

Tabla 89. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 3

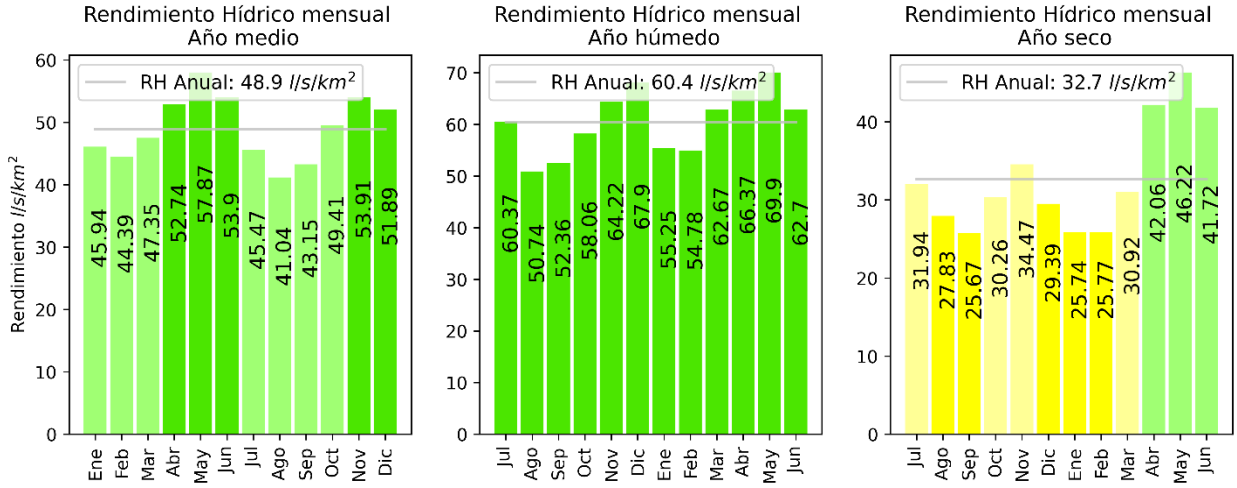


Figura 157. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 3

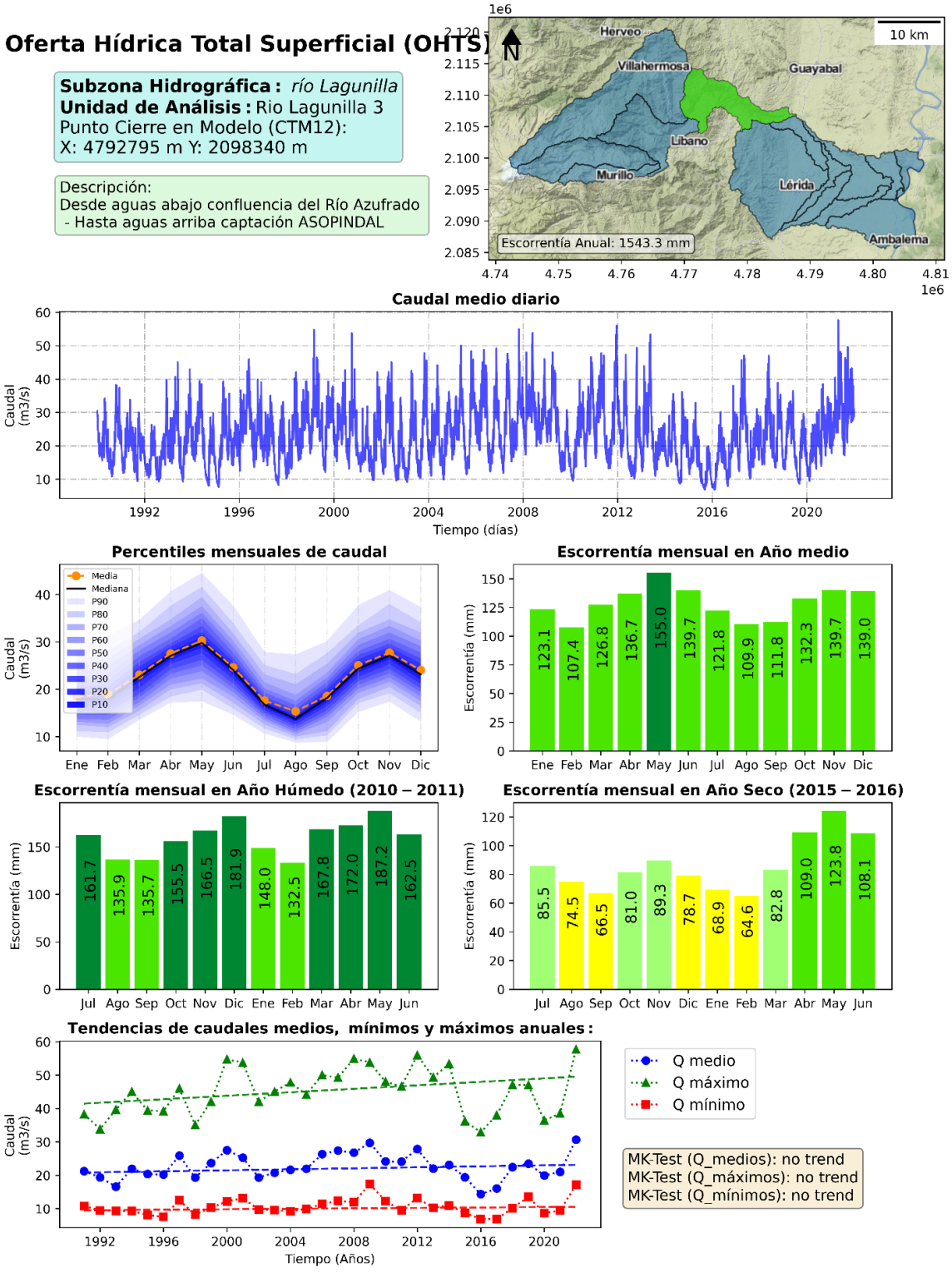


Figura 158. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 3

11.8. Unidad de Análisis: río Lagunilla 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 64.5, 80.4 y 71.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 158.2 % de aumento, un 197.0 % de aumento, y un 175.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.0, 23.4 y 3.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 56.3, 57.4 y 8.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 159*). La escorrentía anual es de 1,286.8 mm, con valores máximos mensuales de 172.8, 208.3, y 185.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 160*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
23.49	**14.47**	**9.02**	**30.70**	**14.47**	**16.24**	**13.52**	**7.78**	**5.74**

Tabla 90. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 4

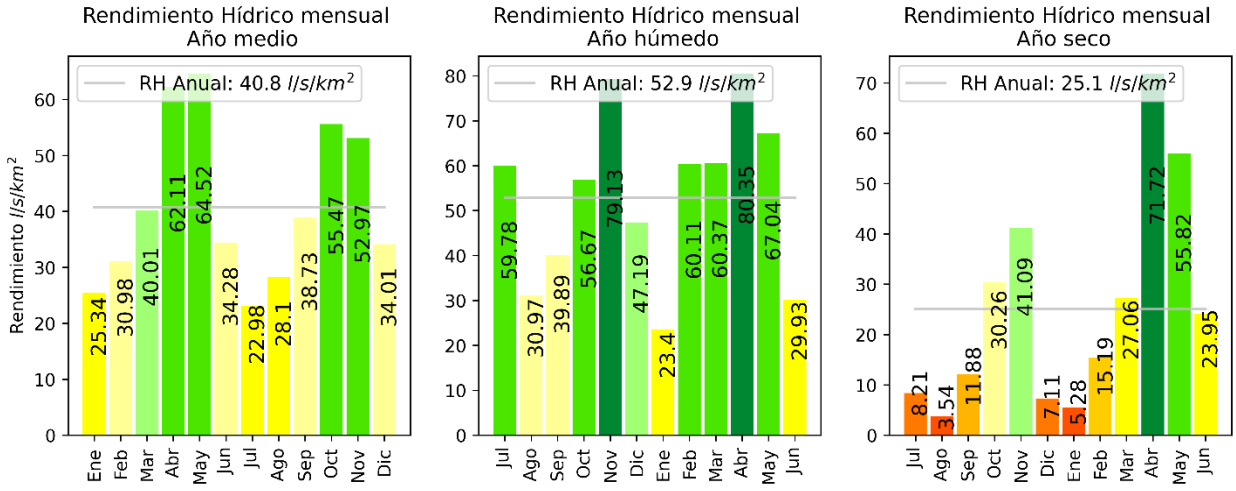


Figura 159. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 4

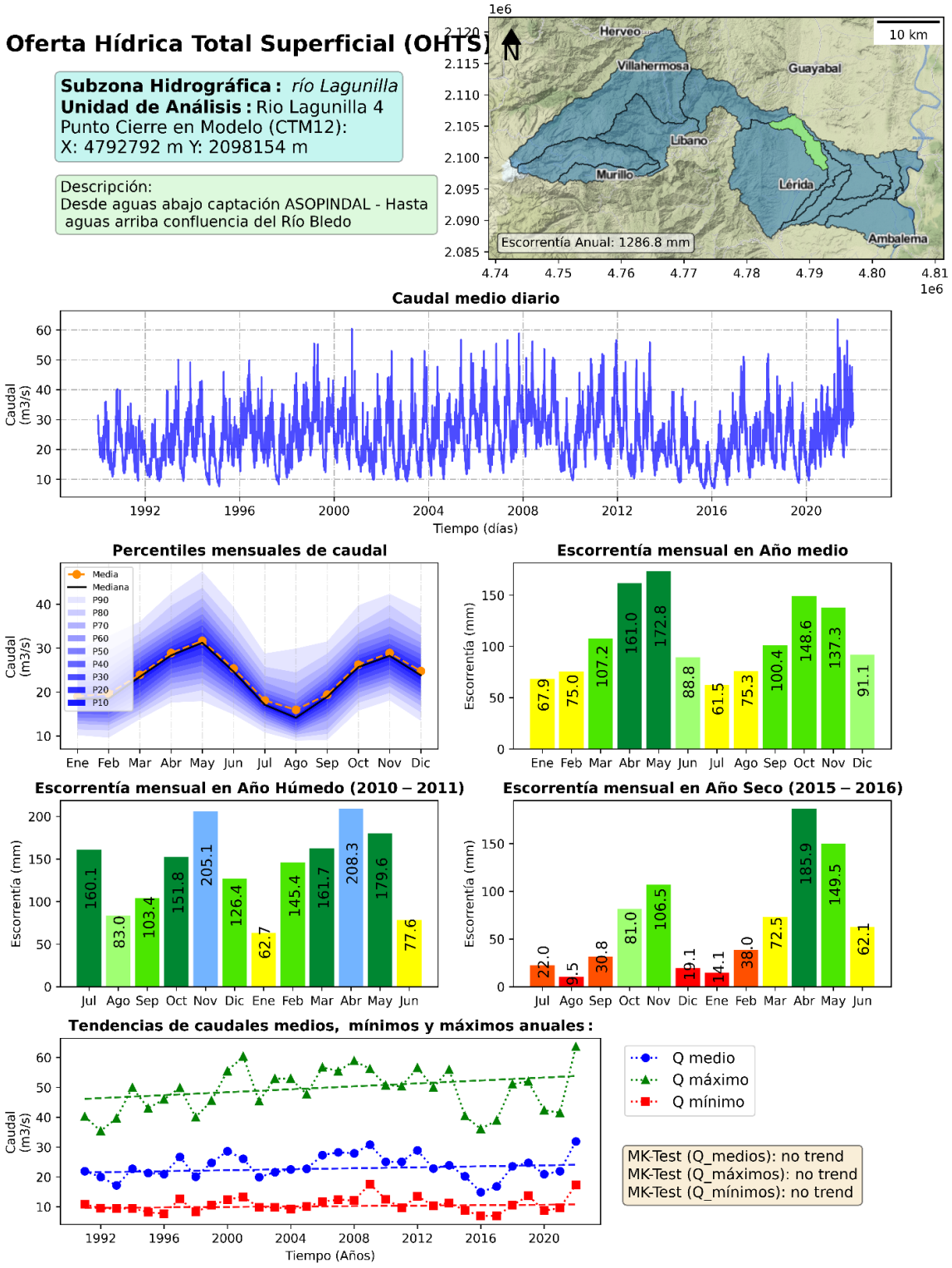


Figura 160. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 4

11.9. Unidad de Análisis: río Lagunilla 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 60.9, 77.8 y 68.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 182.5 % de aumento, un 232.9 % de aumento, y un 204.6 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 14.7, 8.4 y 0.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 44.0, 25.3 y 0.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 161*). La escorrentía anual es de 1,053.3 mm, con valores máximos mensuales de 163.2, 201.5, y 177.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 162*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
31.05	**18.76**	**12.29**	**39.66**	**18.76**	**20.91**	**18.41**	**10.00**	**8.40**

Tabla 91. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 5

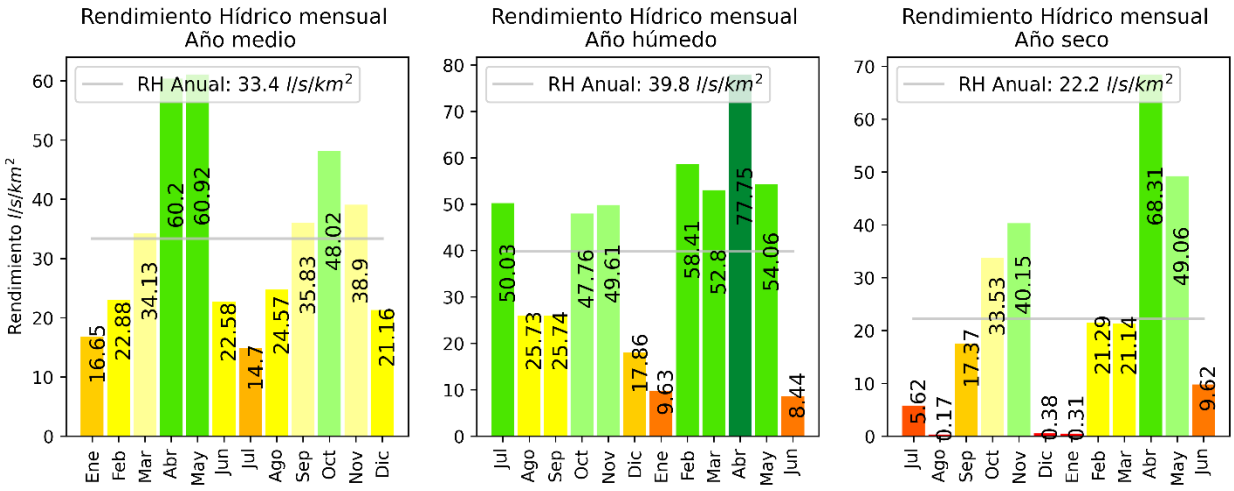


Figura 161. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 5

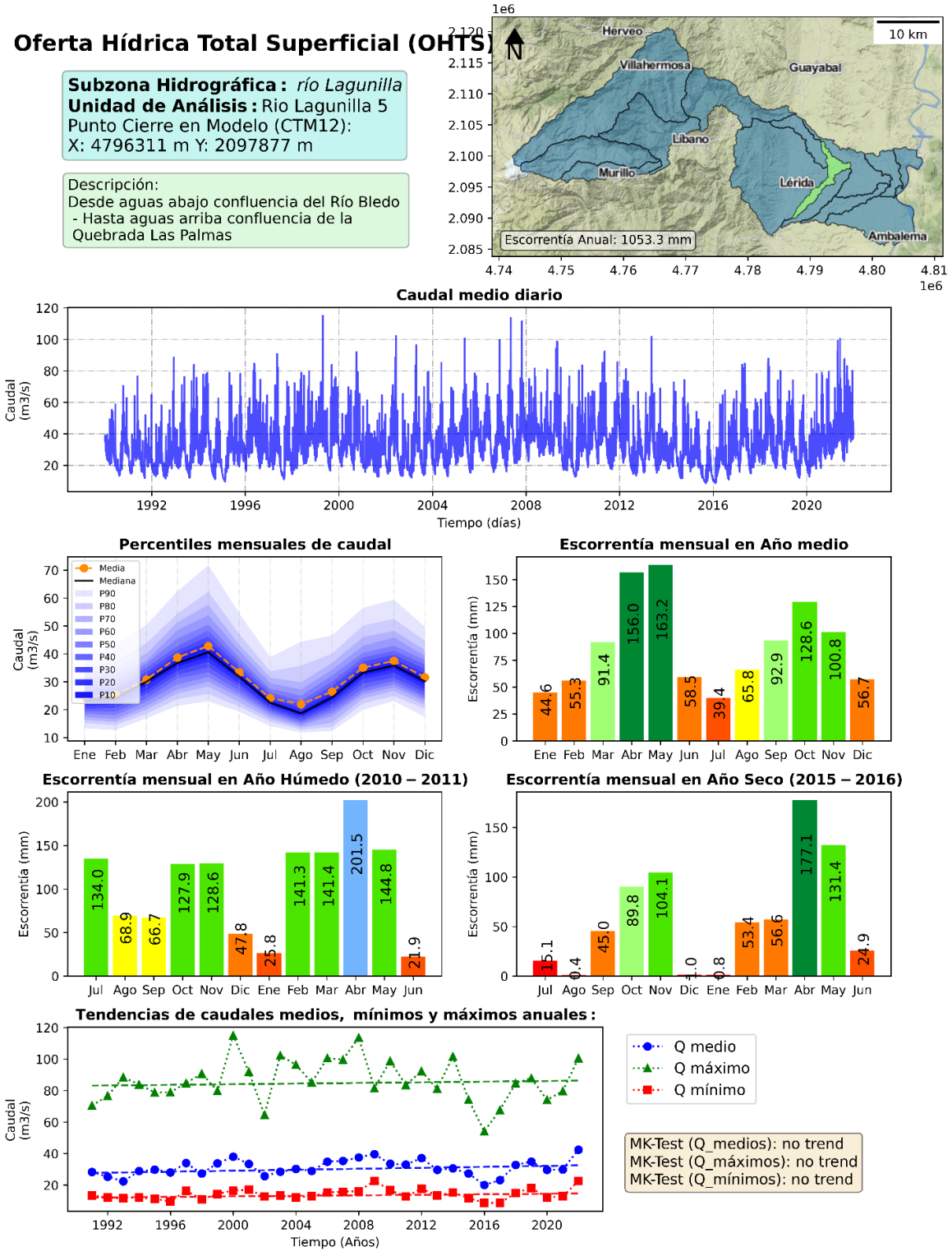


Figura 162. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 5

11.10. Unidad de Análisis: río Lagunilla 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 59.9, 78.1 y 63.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 172.1 % de aumento, un 224.5 % de aumento, y un 183.1 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 15.7, 13.9 y 1.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 45.2, 40.0 y 3.3 % con relación al valor medio anual (*Figura 163*). La escorrentía anual es de 1,097.9 mm, con valores máximos mensuales de 160.4, 202.6, y 165.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 164*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
33.42	**19.11**	**14.31**	**42.62**	**19.11**	**23.52**	**19.94**	**10.11**	**9.83**

Tabla 92. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 6

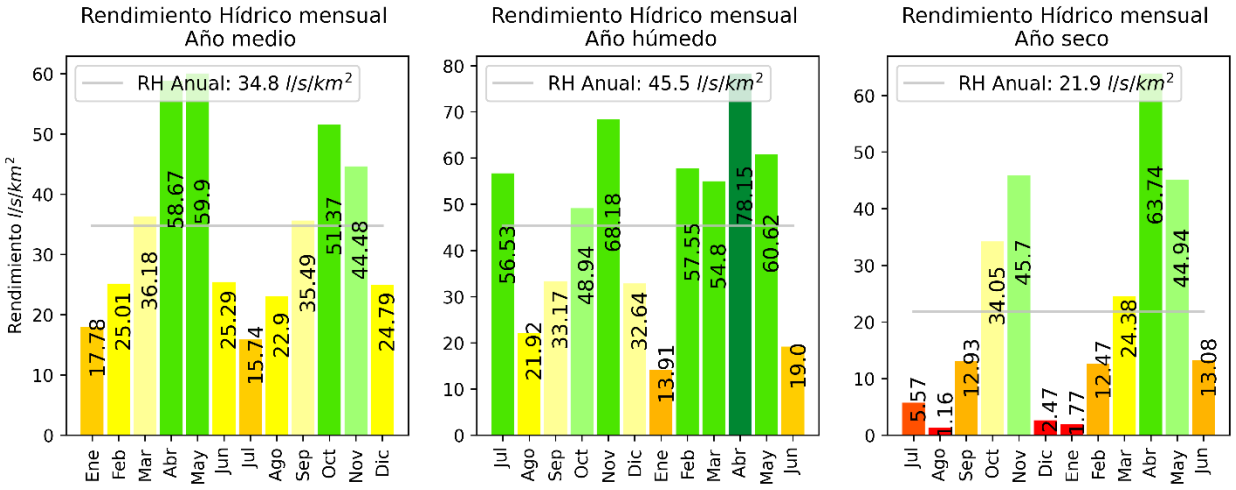


Figura 163. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 6

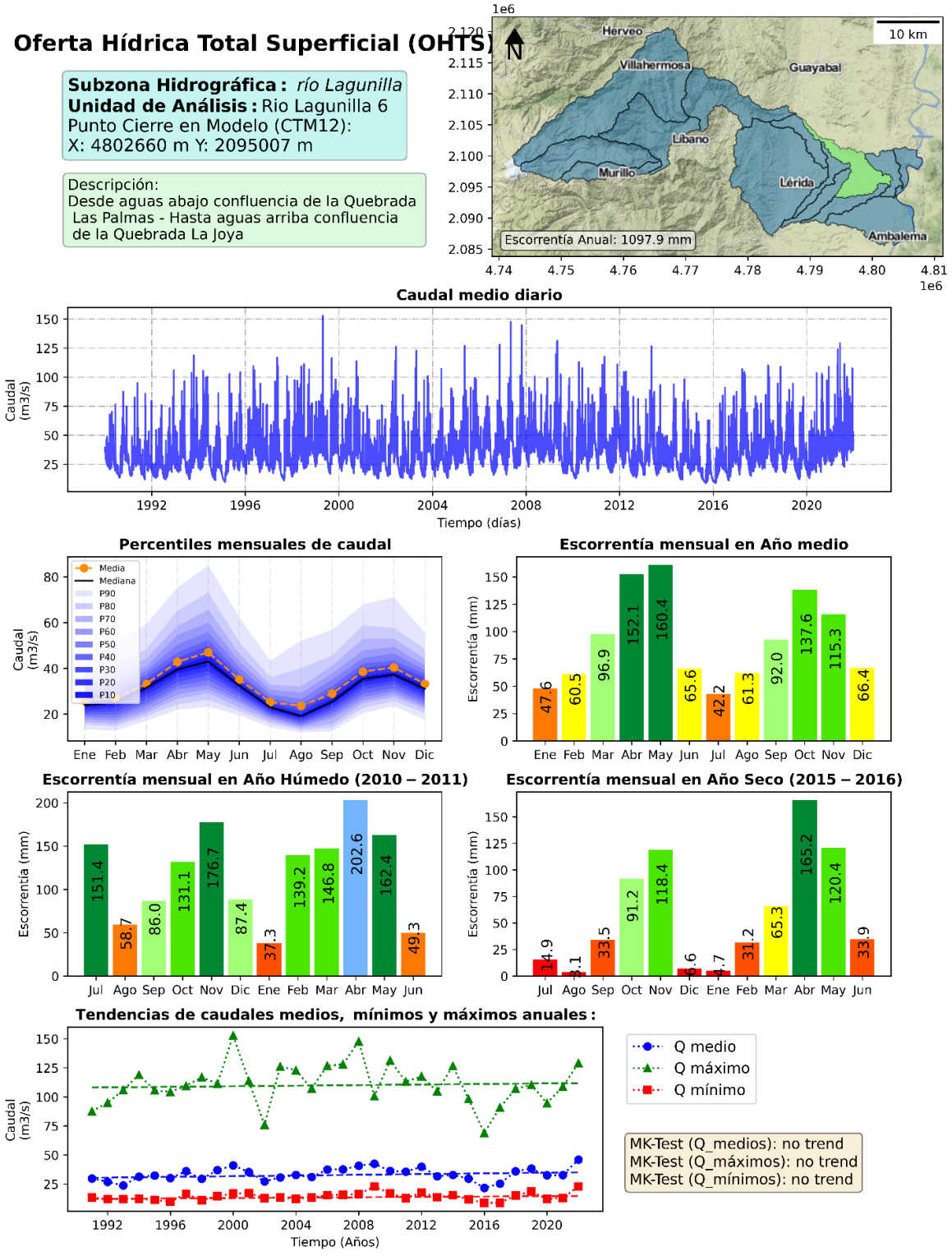


Figura 164. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 6

11.11. Unidad de Análisis: río Lagunilla 7

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 56.2, 75.7 y 55.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 162.6 % de aumento, un 218.8 % de aumento, y un 160.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 17.6, 16.6 y 2.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 50.9, 48.0 y 7.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 165*). La escorrentía anual es de 1,091.6 mm, con valores máximos mensuales de 150.7, 196.3, y 144.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 166*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
34.97	**19.32**	**15.64**	**44.59**	**19.32**	**25.27**	**20.92**	**10.20**	**10.71**

Tabla 93. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Lagunilla 7

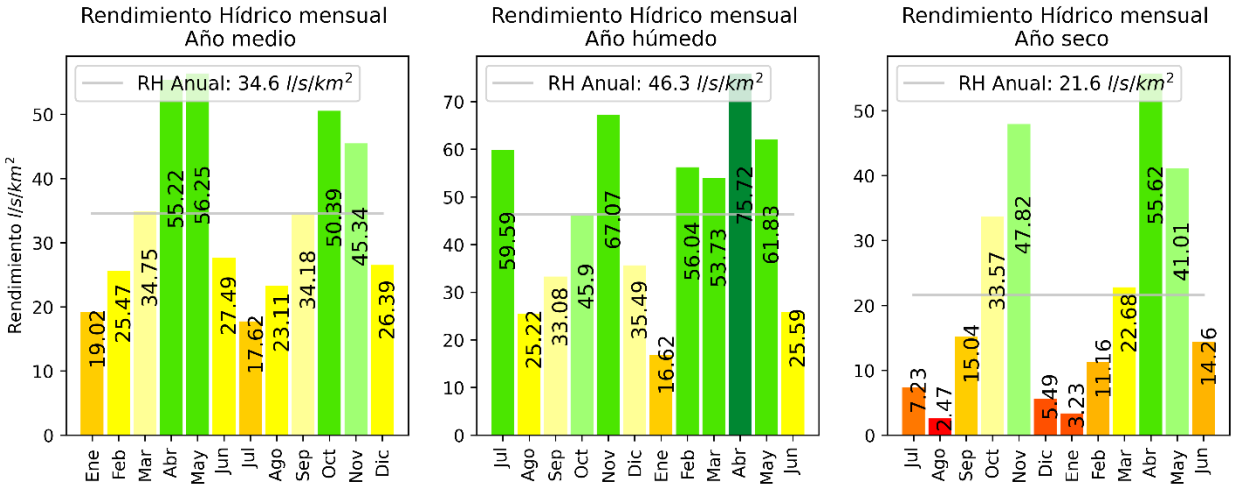


Figura 165. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 7

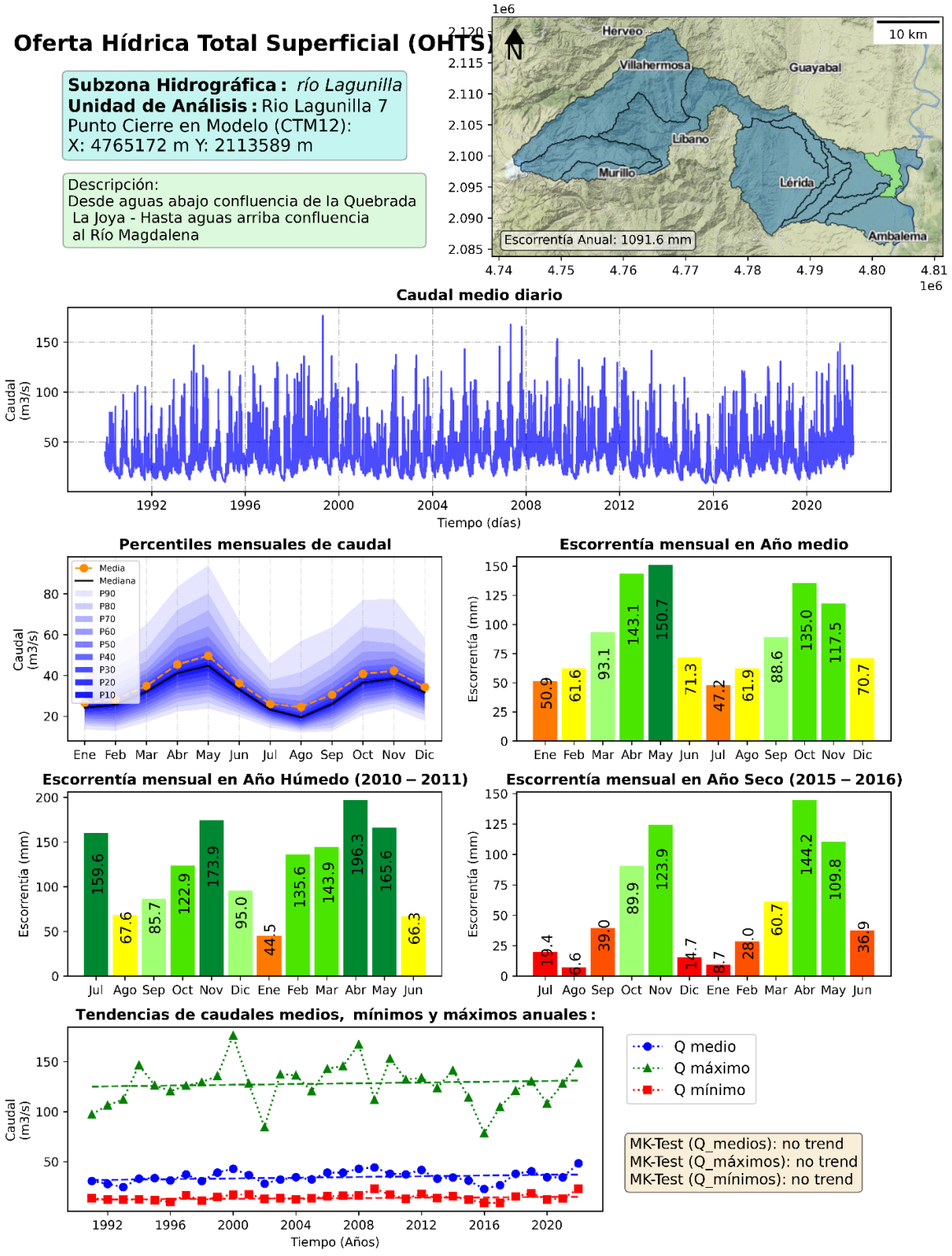


Figura 166. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Lagunilla 7

11.12. Unidad de Análisis: río Vallecitos

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 53.9, 79.4 y 29.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 153.2 % de aumento, un 225.8 % de aumento, y un 85.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.5, 17.9 y 5.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 58.2, 51.0 y 16.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 167*). La escorrentía anual es de 1,109.6 mm, con valores máximos mensuales de 144.3, 205.8, y 80.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 168*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.04	**0.45**	**0.59**	**1.45**	**0.45**	**0.99**	**0.48**	**0.21**	**0.27**

Tabla 94. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Vallecitos

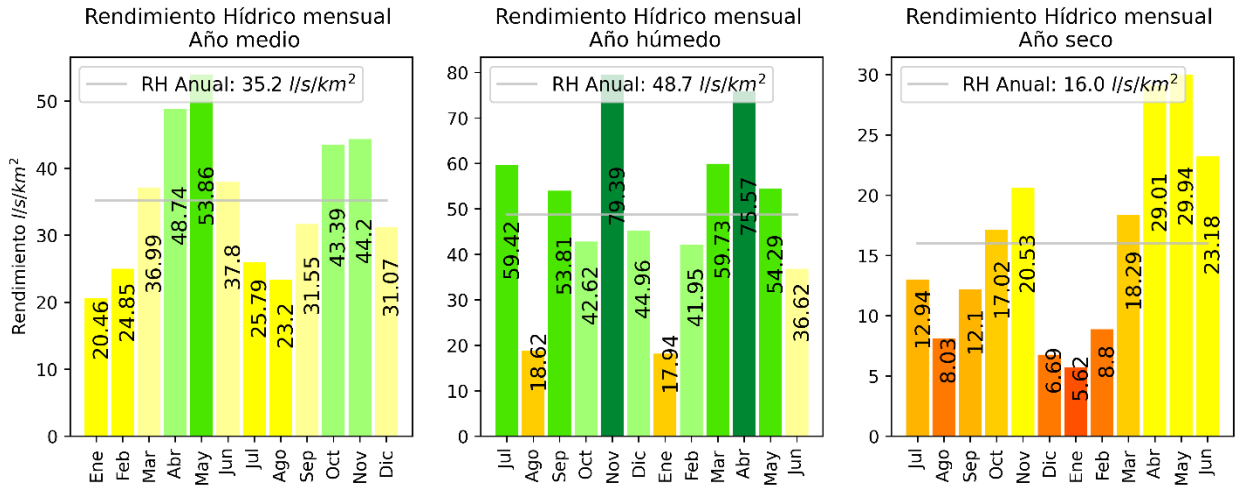


Figura 167. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Vallecitos

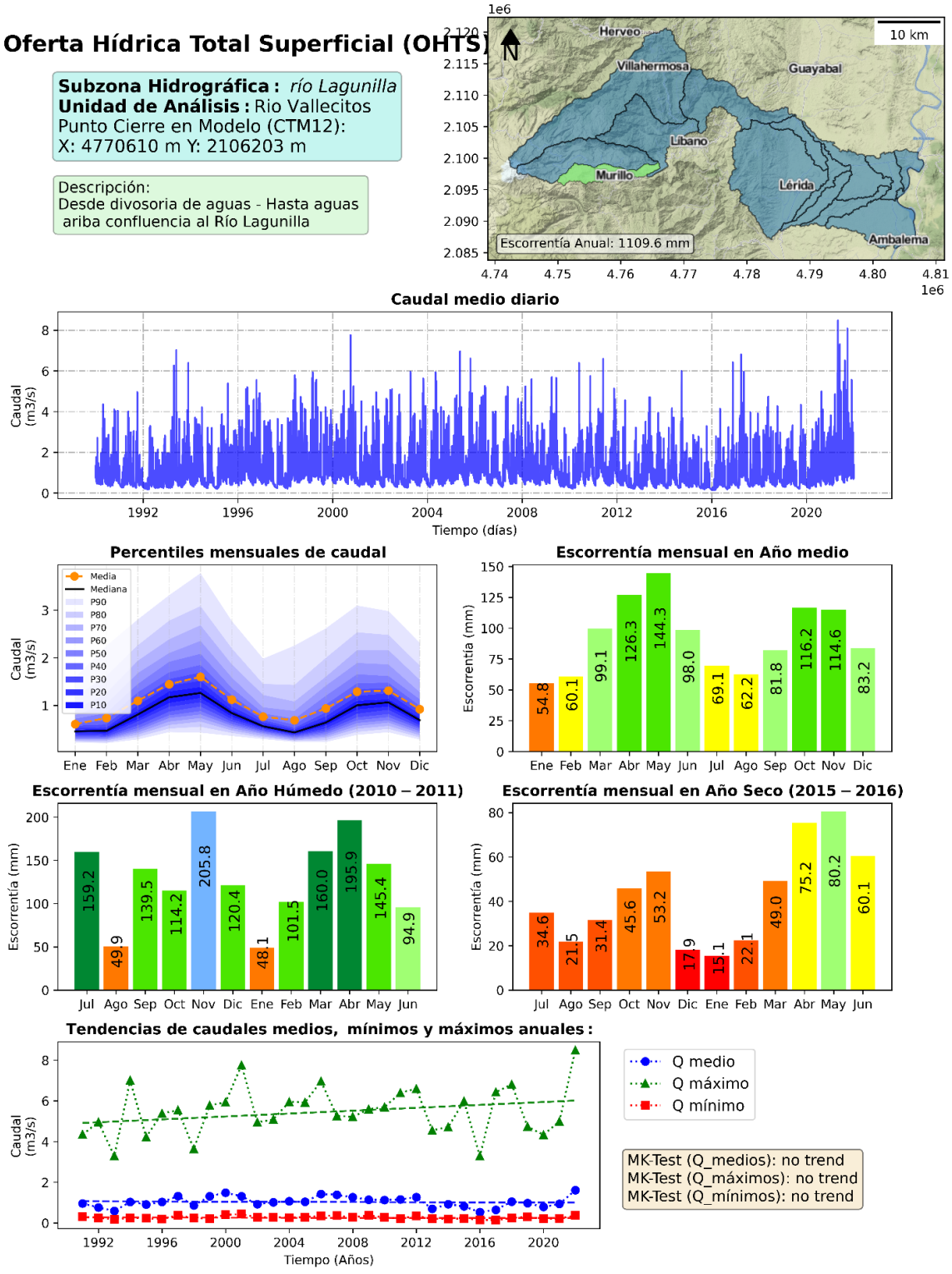


Figura 168. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Vallecitos

11.13. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Lagunilla

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 53.4, 67.0 y 45.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 164.1 % de aumento, un 206.1 % de aumento, y un 140.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 18.1, 15.6 y 3.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 55.6, 48.0 y 9.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 169*). La escorrentía anual es de 1,026.2 mm, con valores máximos mensuales de 142.9, 173.8, y 118.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 170*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
2.70	**0.79**	**1.91**	**3.49**	**0.79**	**2.70**	**1.61**	**0.37**	**1.24**

Tabla 95. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Lagunilla

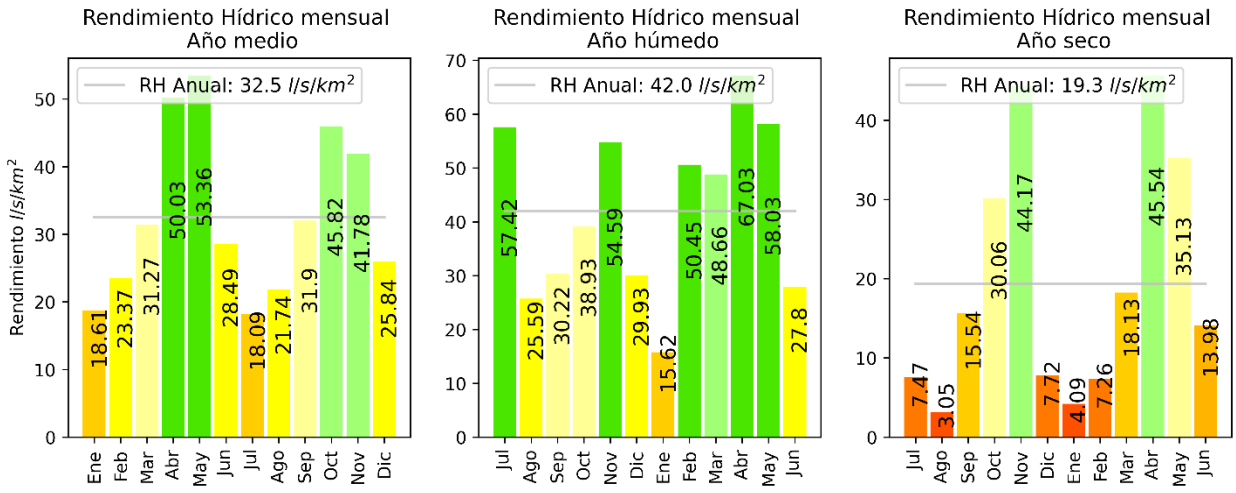


Figura 169. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Lagunilla

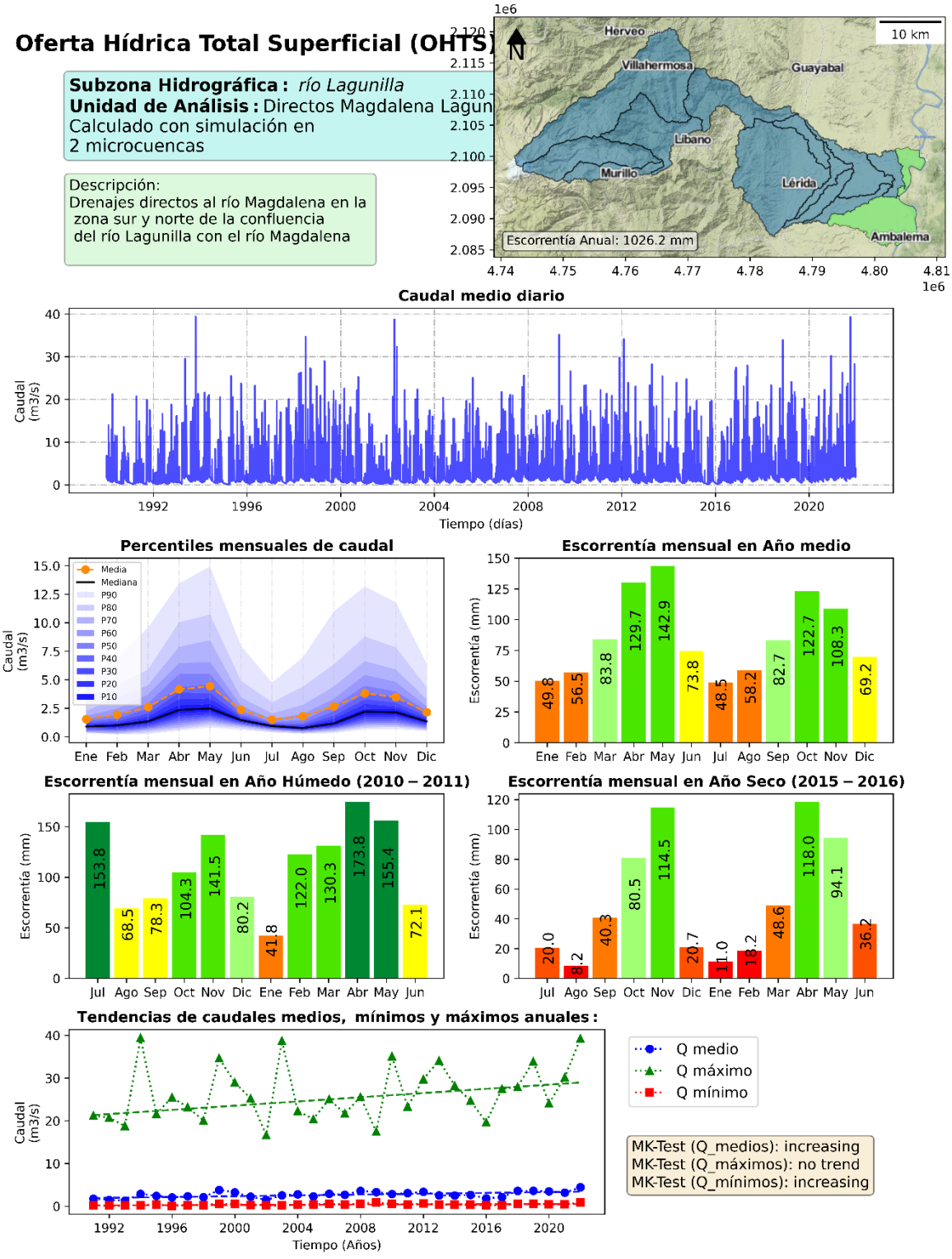


Figura 170. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Lagunilla

12. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

12.1. Unidad de Análisis: quebrada Seca

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 33.9, 44.6 y 26.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 148.0 % de aumento, un 194.8 % de aumento, y un 114.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 12.4, 14.8 y 2.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 54.2, 64.6 y 11.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 171*). La escorrentía anual es de 722.5 mm, con valores máximos mensuales de 87.8, 119.5, y 70.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 172*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.01	**1.43**	**1.57**	**3.66**	**1.43**	**2.23**	**1.41**	**0.45**	**0.96**

Tabla 96. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Seca

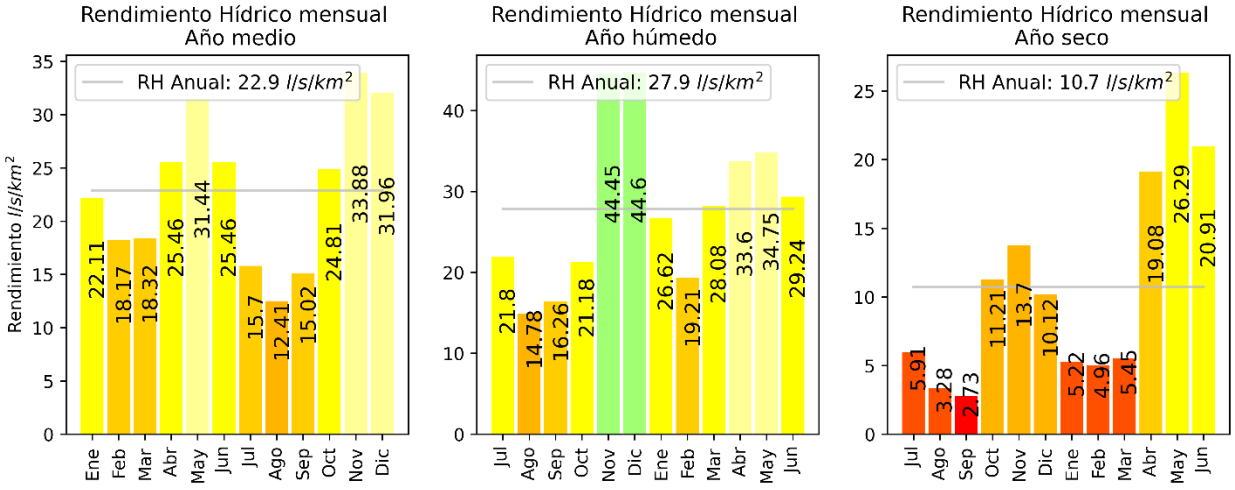


Figura 171. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Seca

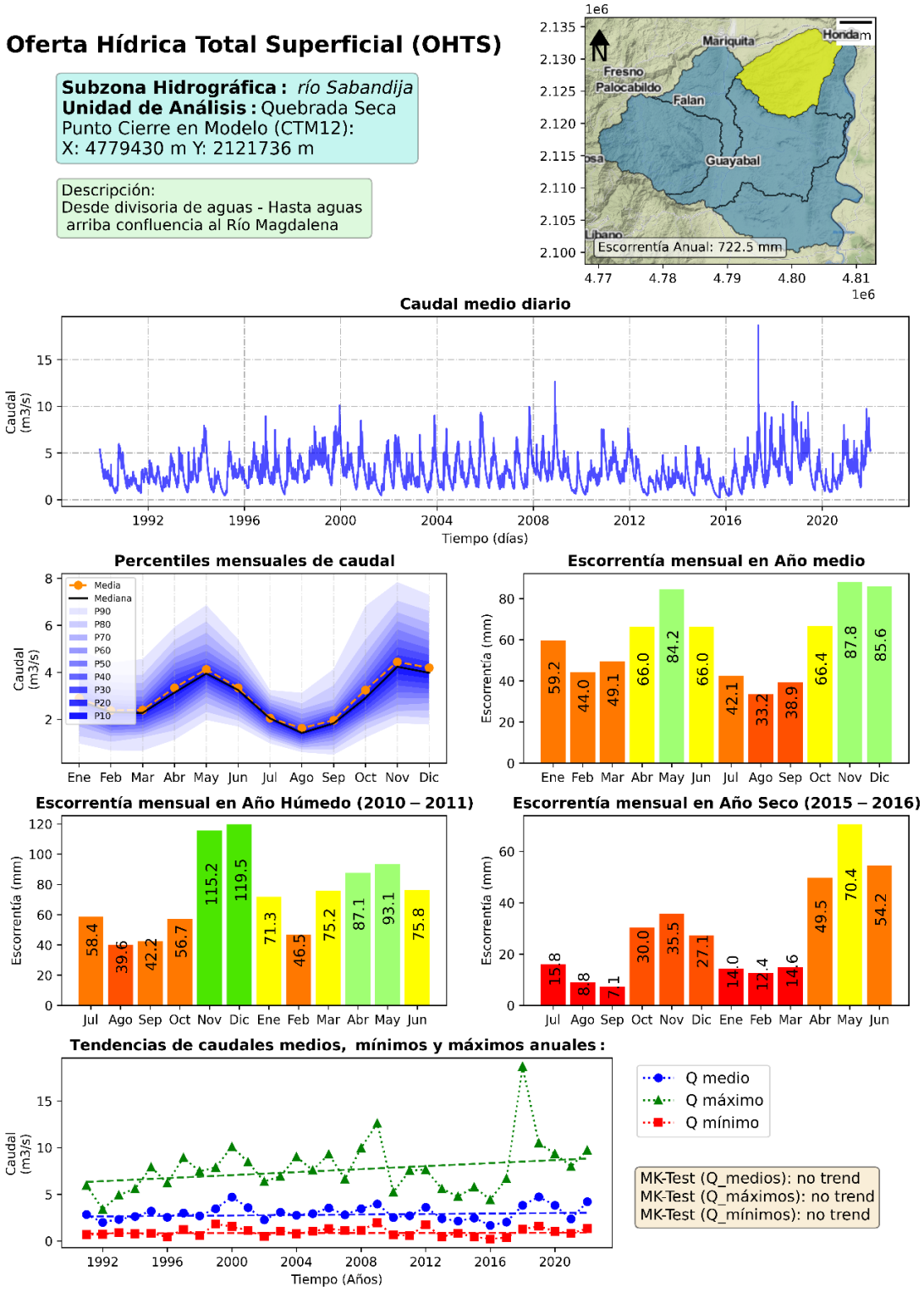


Figura 172. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Seca

12.2. Unidad de Análisis: río Cuamo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 34.3, 41.5 y 25.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 123.3 % de aumento, un 149.3 % de aumento, y un 92.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 20.8, 21.5 y 9.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 75.1, 77.3 y 33.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 173*). La escorrentía anual es de 876.0 mm, con valores máximos mensuales de 91.7, 111.1, y 68.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximo y medios anuales, y se identifican tendencias estadísticamente significativas a la disminución de los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 174*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
2.93	**1.93**	**0.99**	**3.39**	**1.93**	**1.46**	**1.54**	**0.98**	**0.56**

Tabla 97. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Cuamo

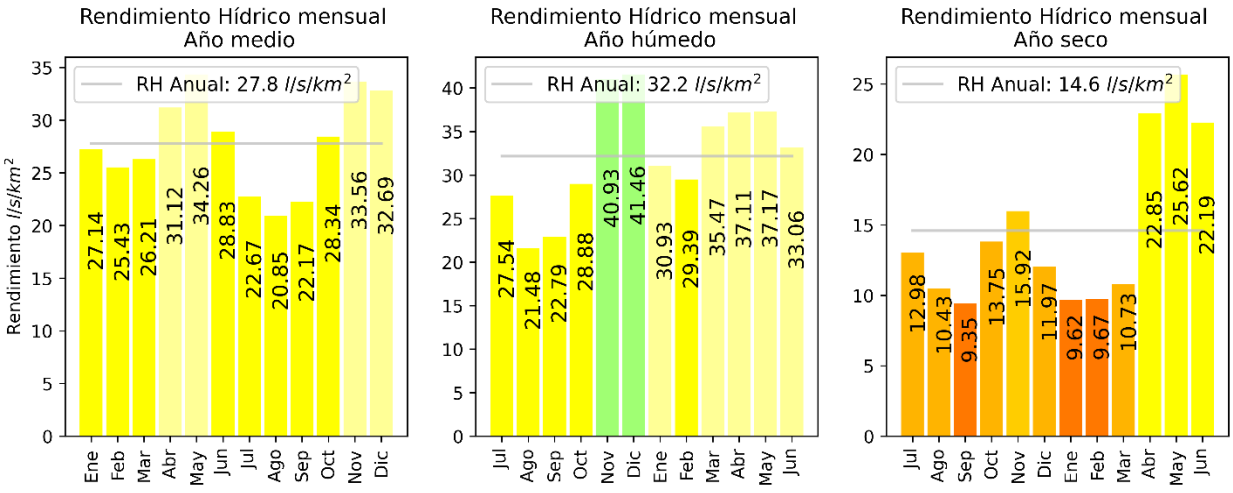


Figura 173. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Cuamo

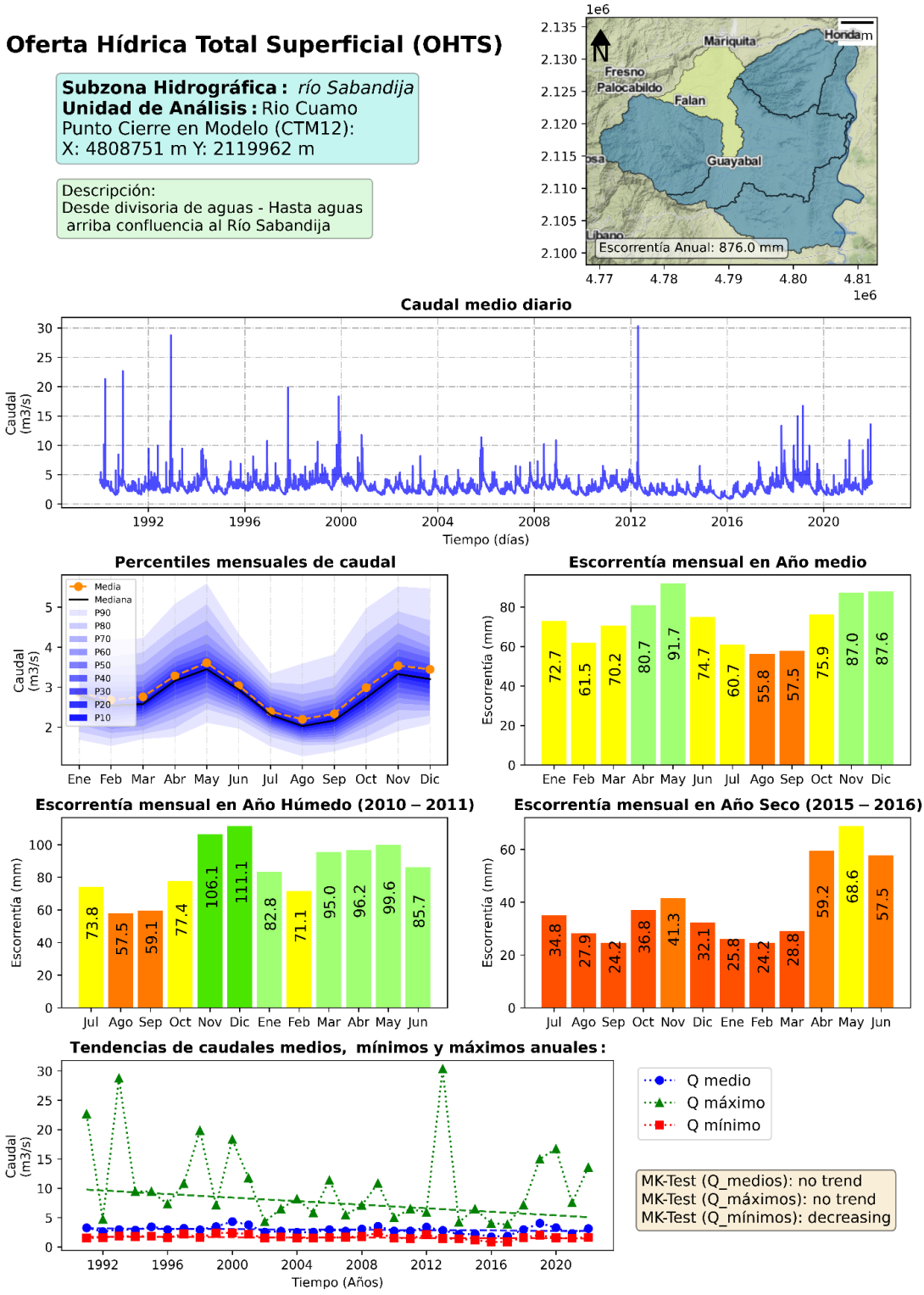


Figura 174. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Cuamo

12.3. Unidad de Análisis: río Sabandija 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 39.9, 53.2 y 33.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 134.1 % de aumento, un 179.1 % de aumento, y un 112.1 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 21.1, 28.3 y 7.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 70.9, 95.2 y 24.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 175*). La escorrentía anual es de 937.9 mm, con valores máximos mensuales de 106.8, 142.6, y 89.3 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 176*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
5.92	**3.69**	**2.22**	**8.16**	**3.69**	**4.47**	**3.03**	**1.61**	**1.42**

Tabla 98. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Sabandija 1

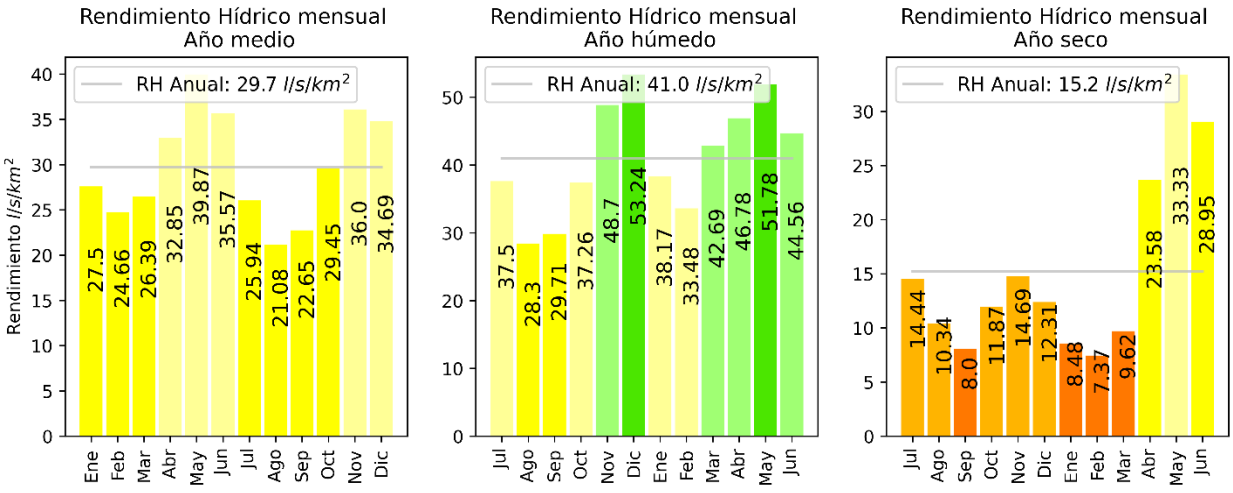


Figura 175. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 1

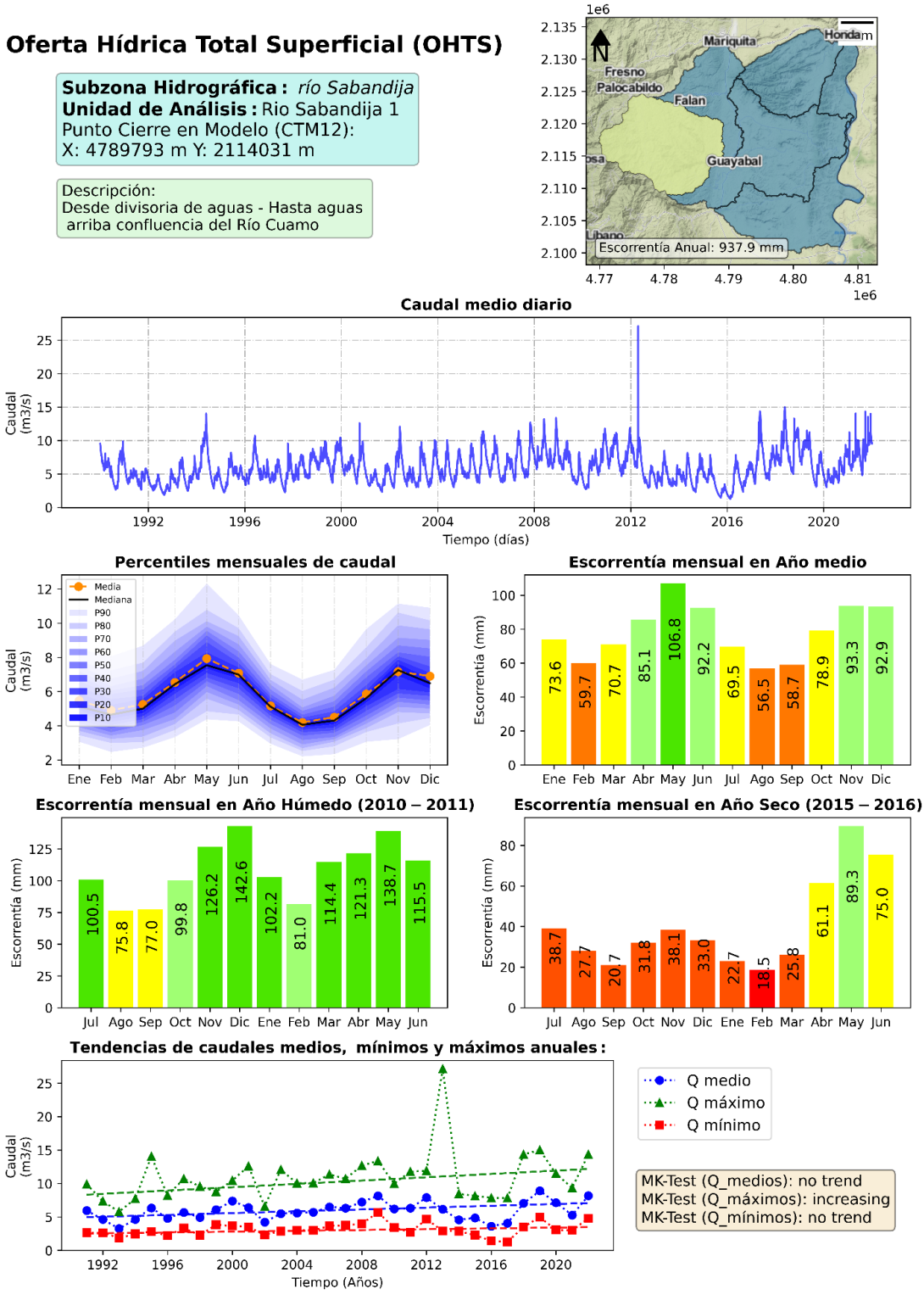


Figura 176. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 1

12.4. Unidad de Análisis: río Sabandija 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 30.5, 36.6 y 31.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 147.2 % de aumento, un 176.6 % de aumento, y un 149.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 13.4, 15.7 y 3.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.7, 75.9 y 18.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 177*). La escorrentía anual es de 654.2 mm, con valores máximos mensuales de 81.7, 95.1, y 83.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 178*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
13.83	**8.36**	**5.47**	**17.97**	**8.36**	**9.61**	**7.37**	**3.60**	**3.78**

Tabla 99. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Sabandija 2

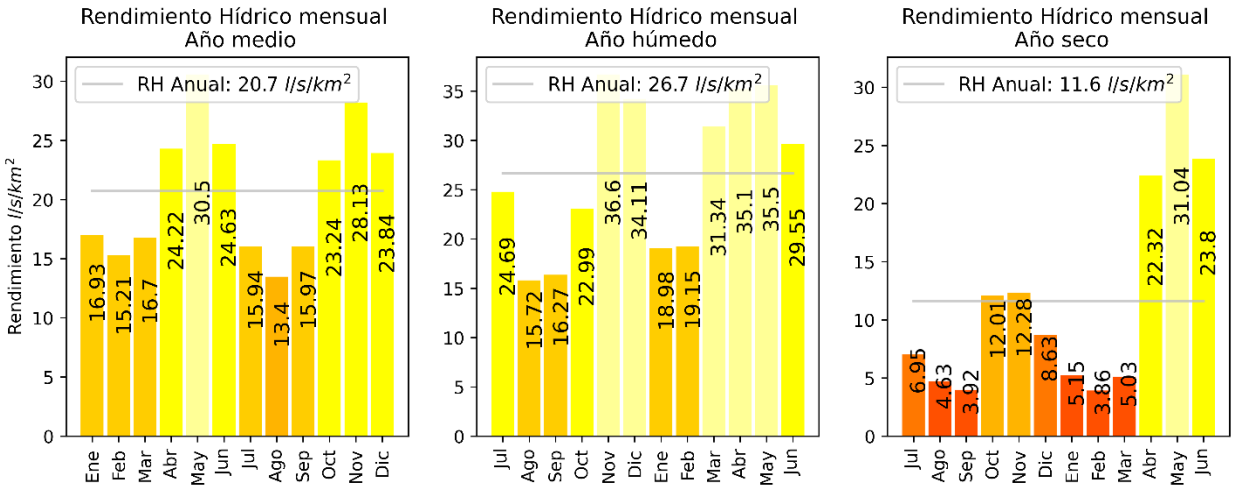


Figura 177. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 2

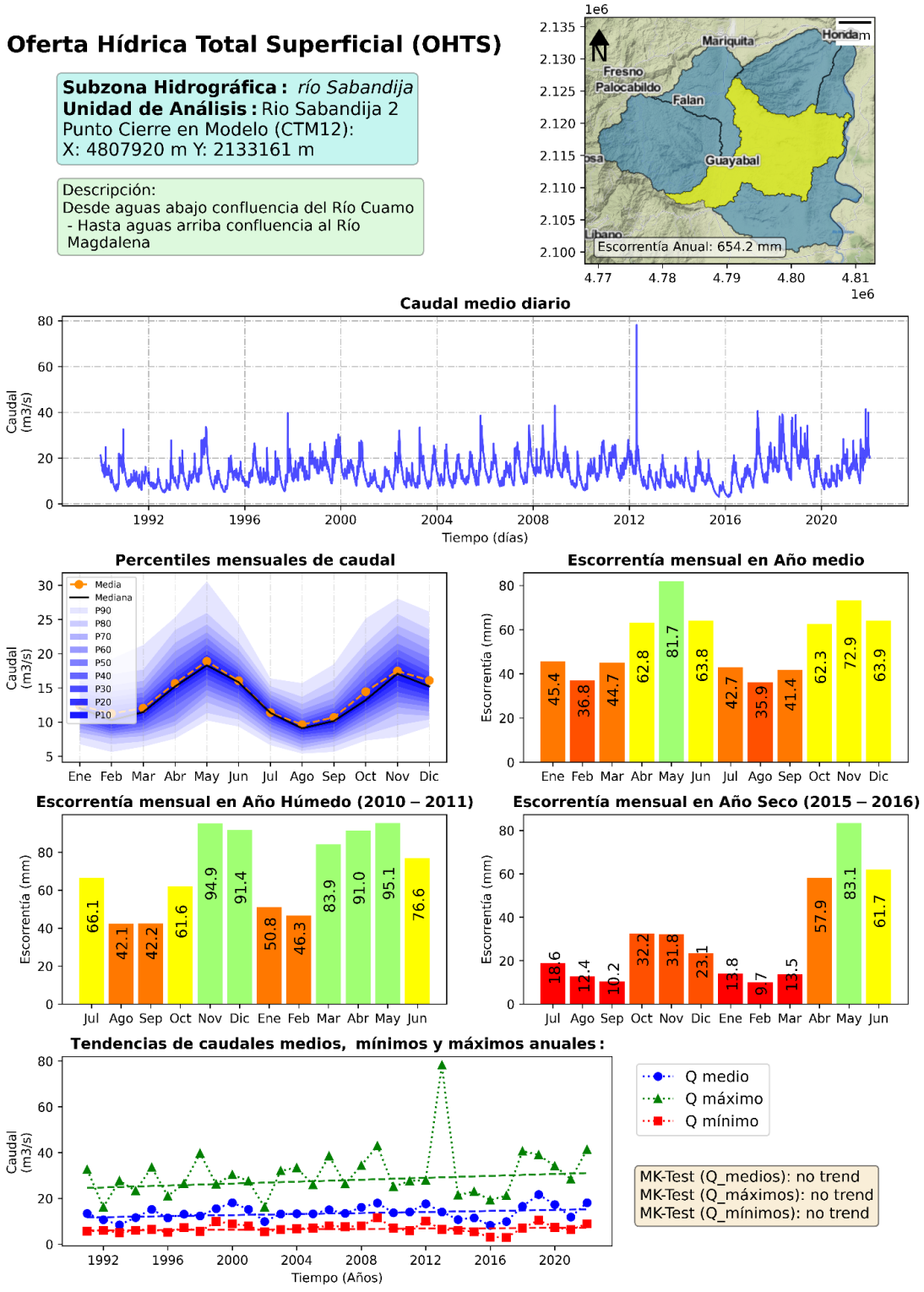


Figura 178. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Sabandija 2

12.5. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Sabandija

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 25.4, 30.6 y 19.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 120.9 % de aumento, un 145.5 % de aumento, y un 93.7 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 17.2, 15.8 y 7.8 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 81.9, 75.1 y 37.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 179*). La escorrentía anual es de 662.5 mm, con valores máximos mensuales de 67.8, 79.2, y 52.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales medios y mínimos anuales, y los caudales máximos anuales no evidencian tendencias según la prueba Mann-Kendall (*Figura 180*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.41	**2.76**	**1.65**	**4.64**	**2.76**	**1.88**	**2.52**	**1.74**	**0.78**

Tabla 100. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Sabandija

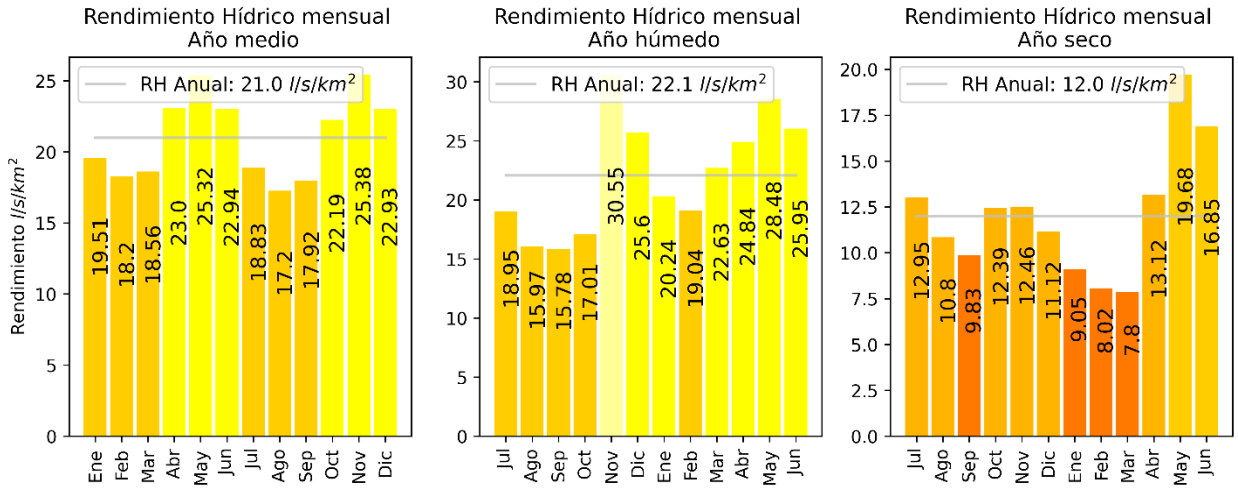


Figura 179. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Sabandija

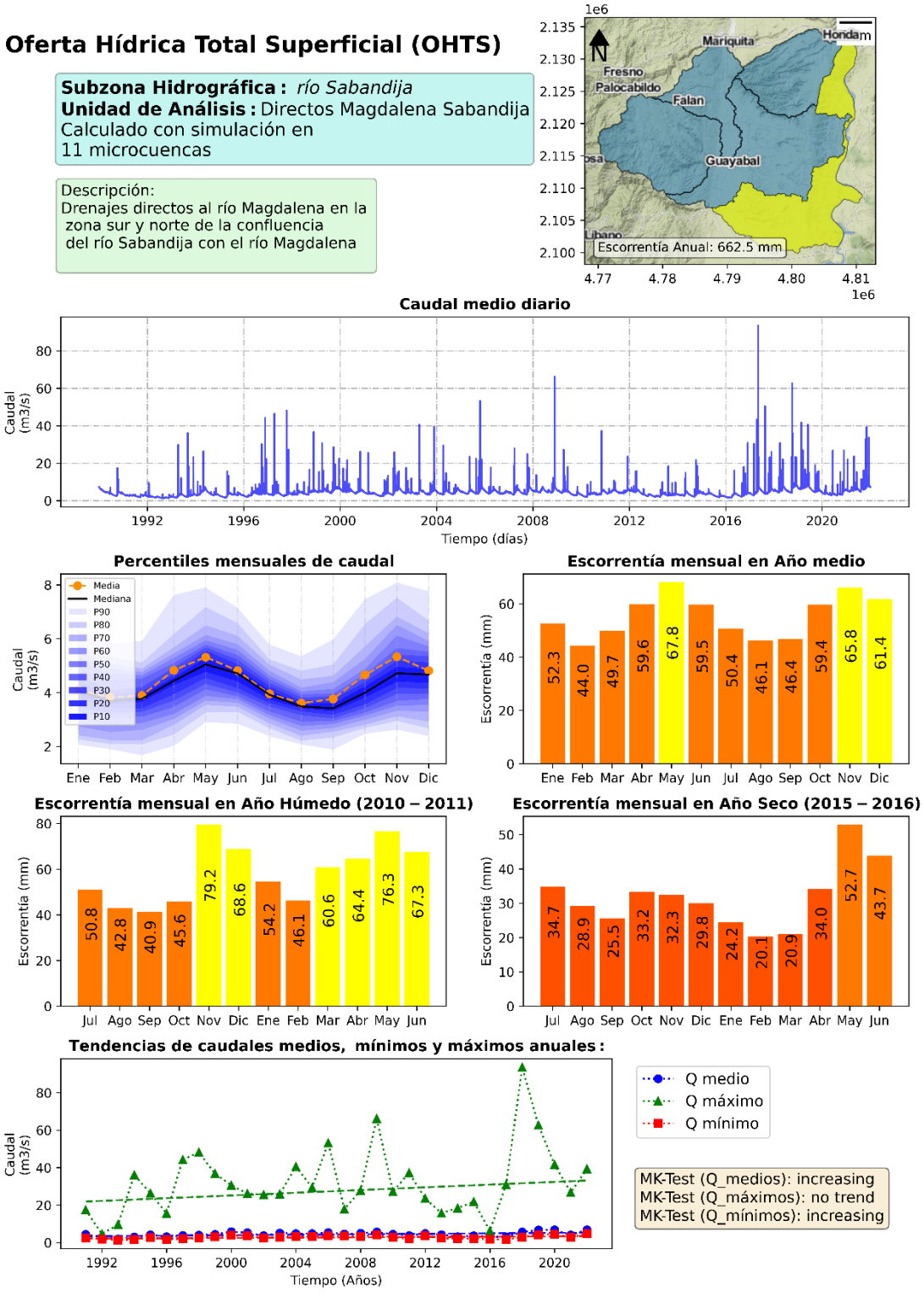


Figura 180. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Sabandija

13. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

13.1. Unidad de Análisis: quebrada Agua de Dios

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 70.5, 94.1 y 50.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 129.5 % de aumento, un 172.8 % de aumento, y un 91.8 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 37.2, 49.0 y 12.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 68.2, 90.0 y 22.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 181*). La escorrentía anual es de 1,717.2 mm, con valores máximos mensuales de 188.8, 252.1, y 133.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 182*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.84	**0.51**	**0.32**	**1.17**	**0.51**	**0.65**	**0.41**	**0.20**	**0.21**

Tabla 101. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Agua de Dios

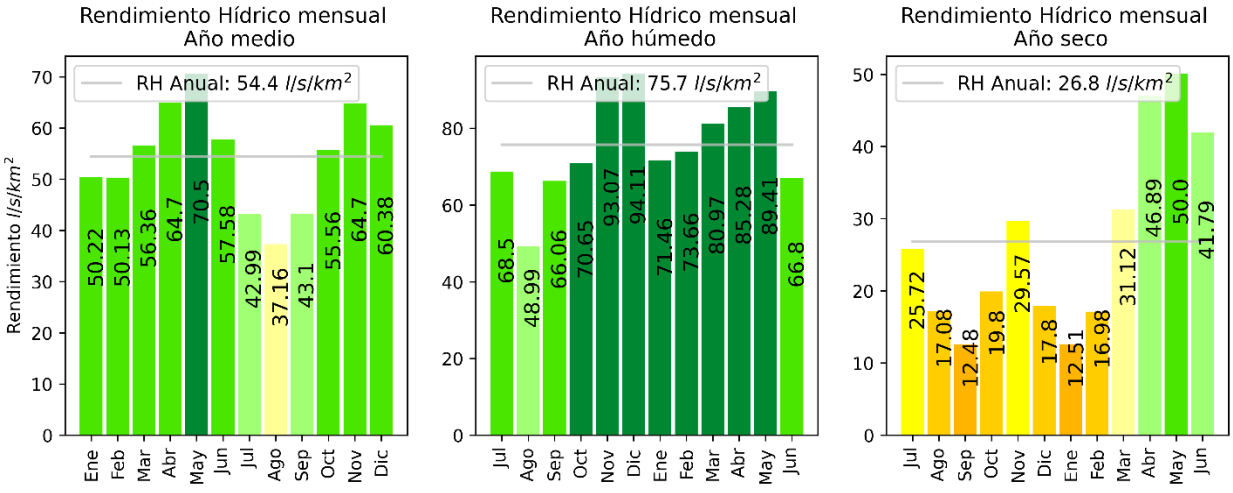


Figura 181. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Agua de Dios

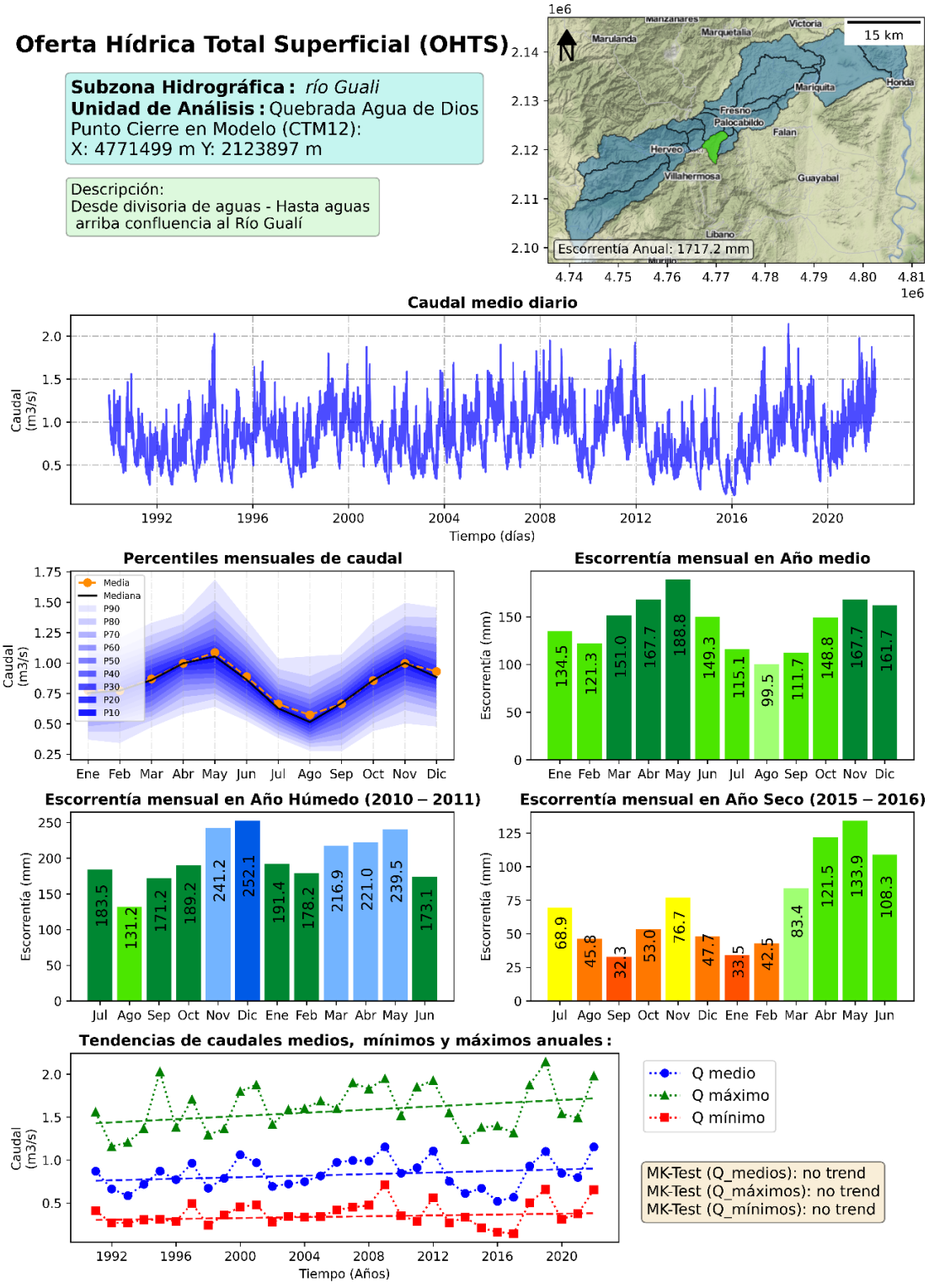


Figura 182. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Agua de Dios

13.2. Unidad de Análisis: quebrada El Guarumo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 74.7, 114.8 y 59.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 135.5 % de aumento, un 208.2 % de aumento, y un 107.6 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.3, 40.3 y 10.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.4, 73.2 y 18.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 183*). La escorrentía anual es de 1,738.4 mm, con valores máximos mensuales de 200.0, 297.5, y 153.7 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 184*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.88	**0.41**	**0.48**	**1.26**	**0.41**	**0.85**	**0.46**	**0.16**	**0.30**

Tabla 102. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada El Guarumo

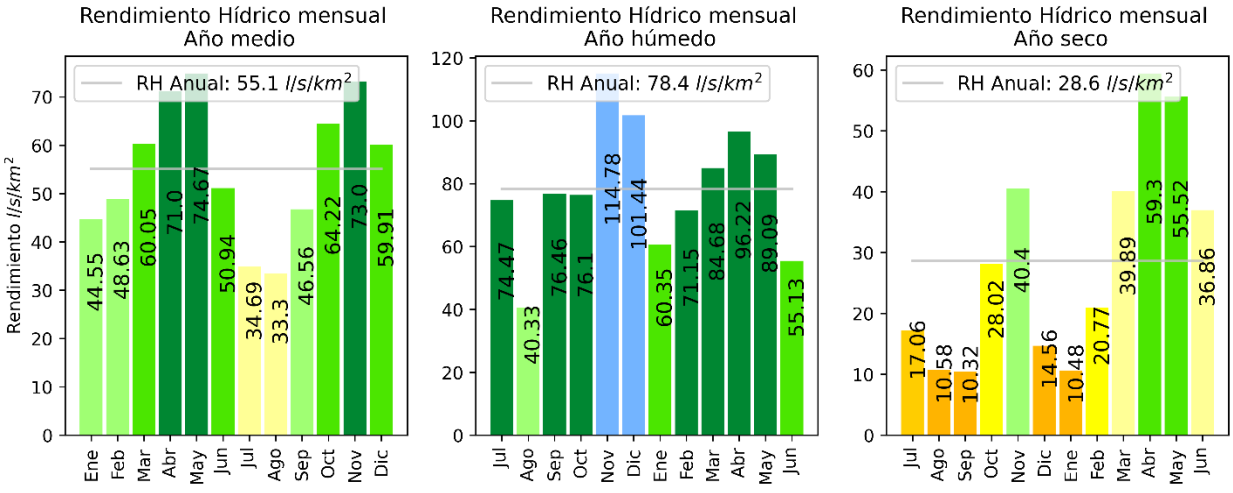


Figura 183. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada El Guarumo

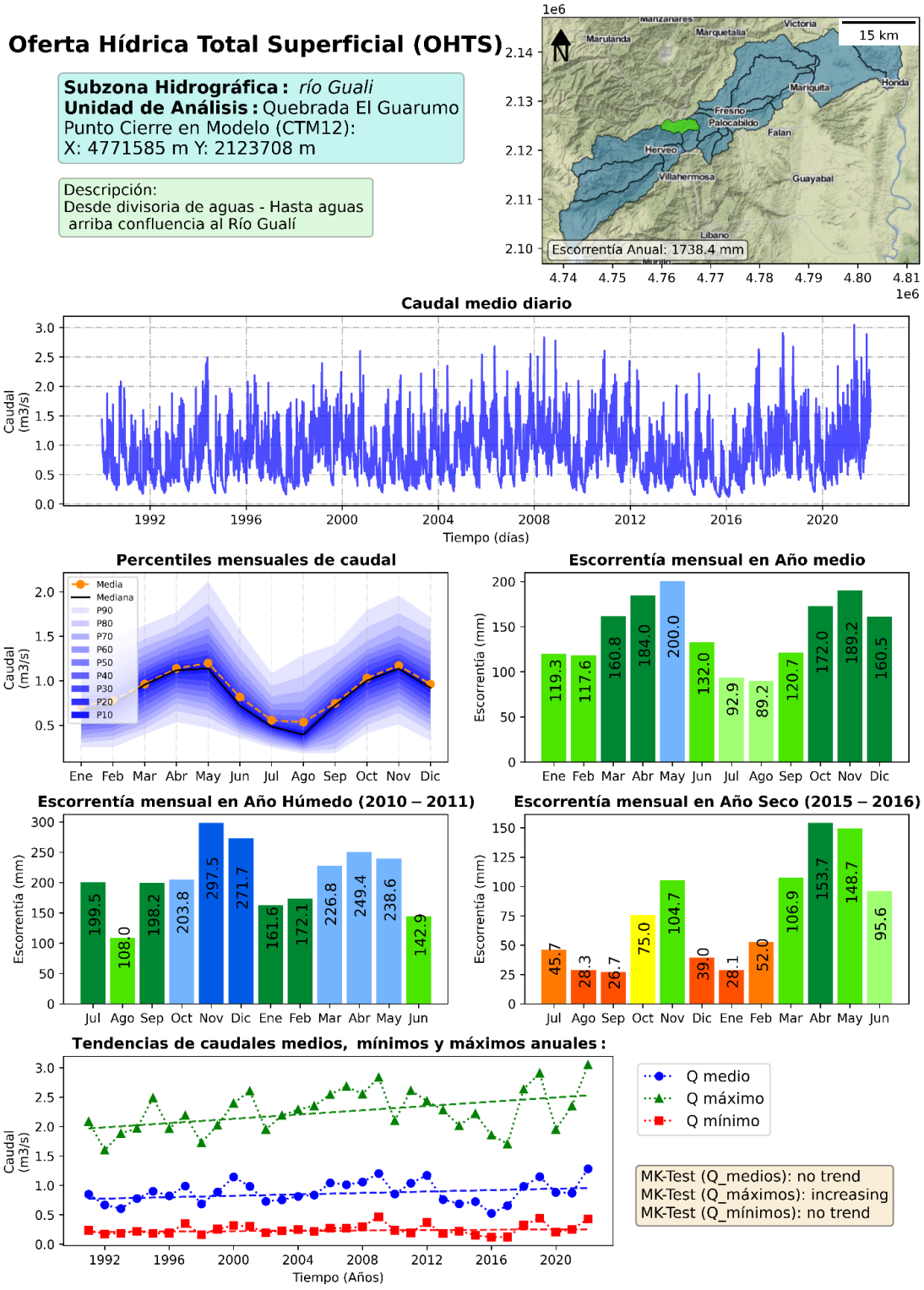


Figura 184. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada El Guarumo

13.3. Unidad de Análisis: quebrada Nicúa

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 93.1, 125.1 y 81.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 151.1 % de aumento, un 202.9 % de aumento, y un 132.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 27.6, 44.2 y 1.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 44.8, 71.7 y 2.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 185*). La escorrentía anual es de 1,944.3 mm, con valores máximos mensuales de 241.4, 324.2, y 212.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y mínimos anuales, y no se presentan tendencias en los caudales medios anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 186*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.84	**0.29**	**0.54**	**1.18**	**0.29**	**0.89**	**0.42**	**0.04**	**0.39**

Tabla 103. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada Nicúa

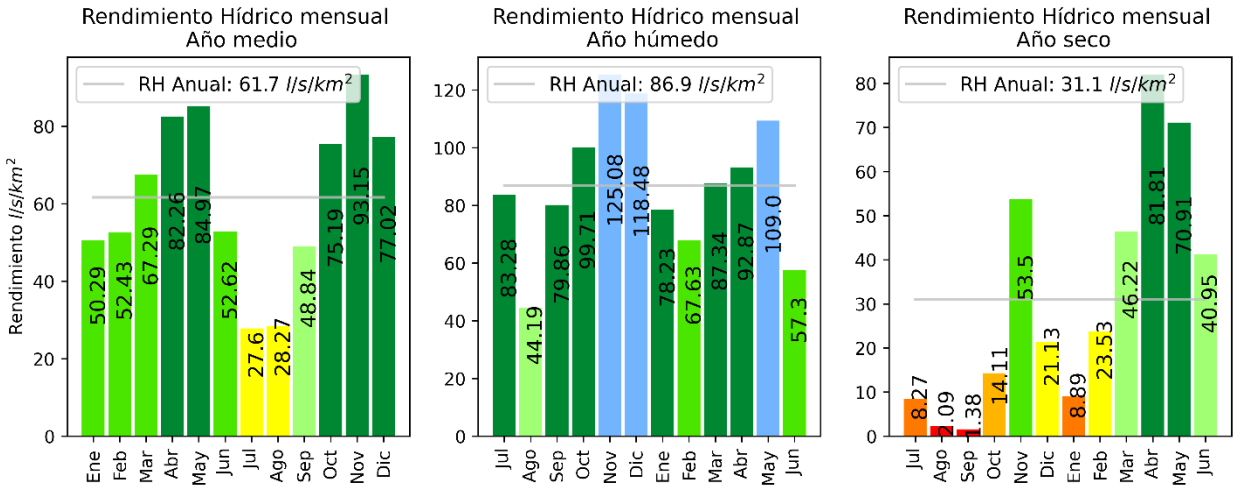


Figura 185. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Nicua

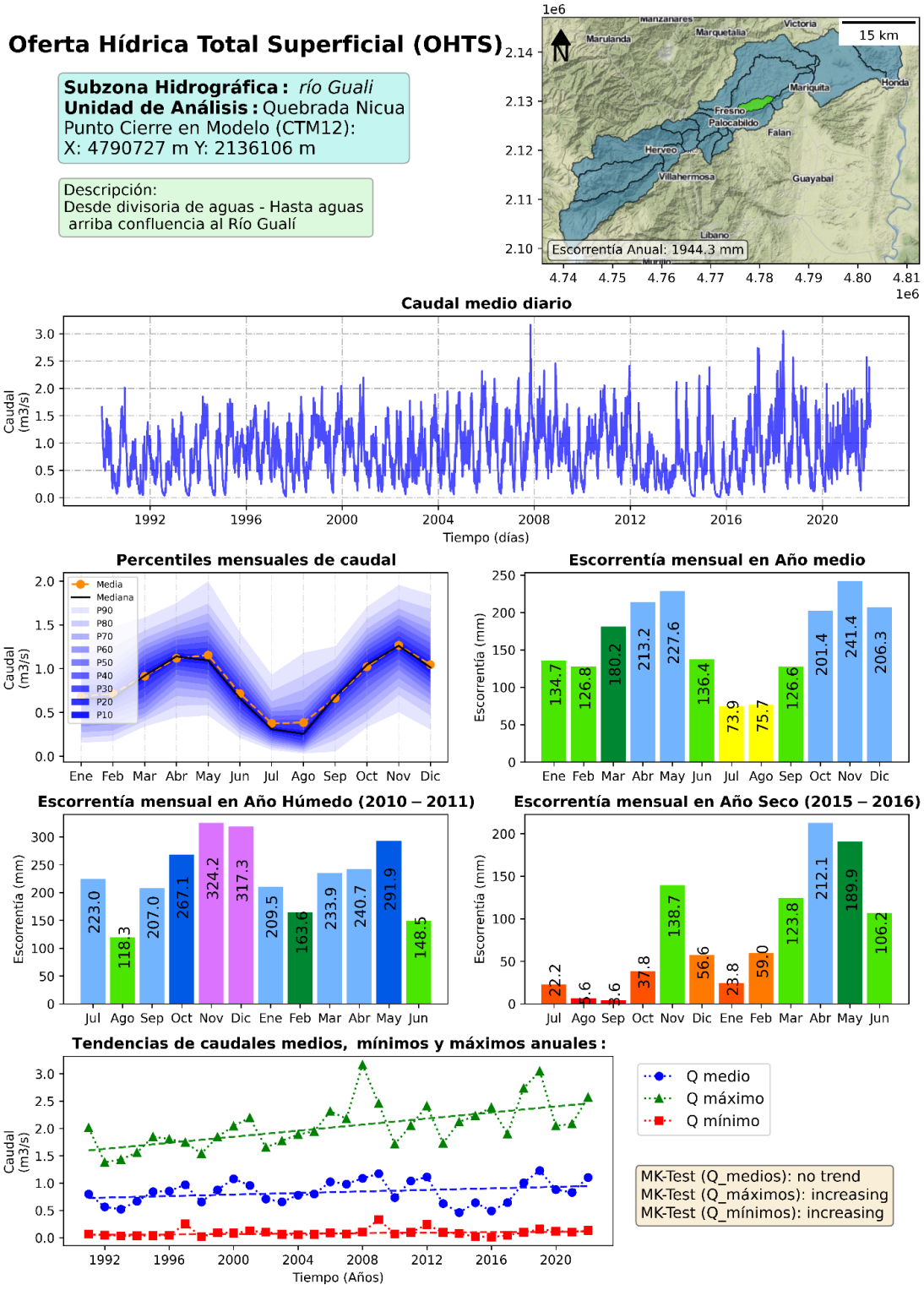


Figura 186. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada Nicua

13.4. Unidad de Análisis: quebrada San José

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 63.0, 83.8 y 43.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.4 % de aumento, un 166.9 % de aumento, y un 86.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 37.0, 50.4 y 13.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 73.7, 100.3 y 26.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 187*). La escorrentía anual es de 1,583.8 mm, con valores máximos mensuales de 168.7, 224.5, y 116.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 188*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
0.53	**0.34**	**0.18**	**0.72**	**0.34**	**0.38**	**0.25**	**0.14**	**0.11**

Tabla 104. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad quebrada San José

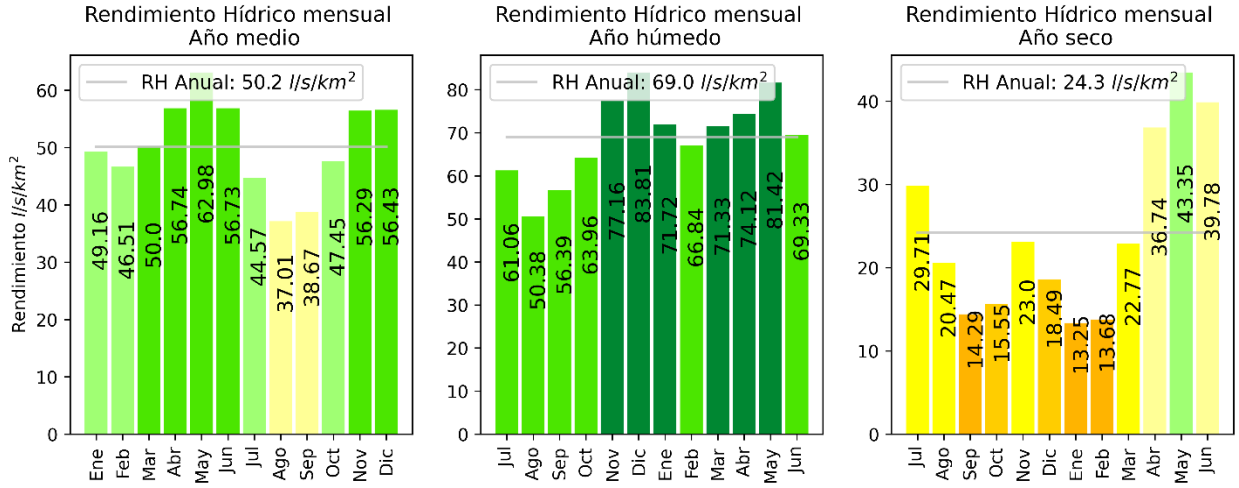


Figura 187. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada San José

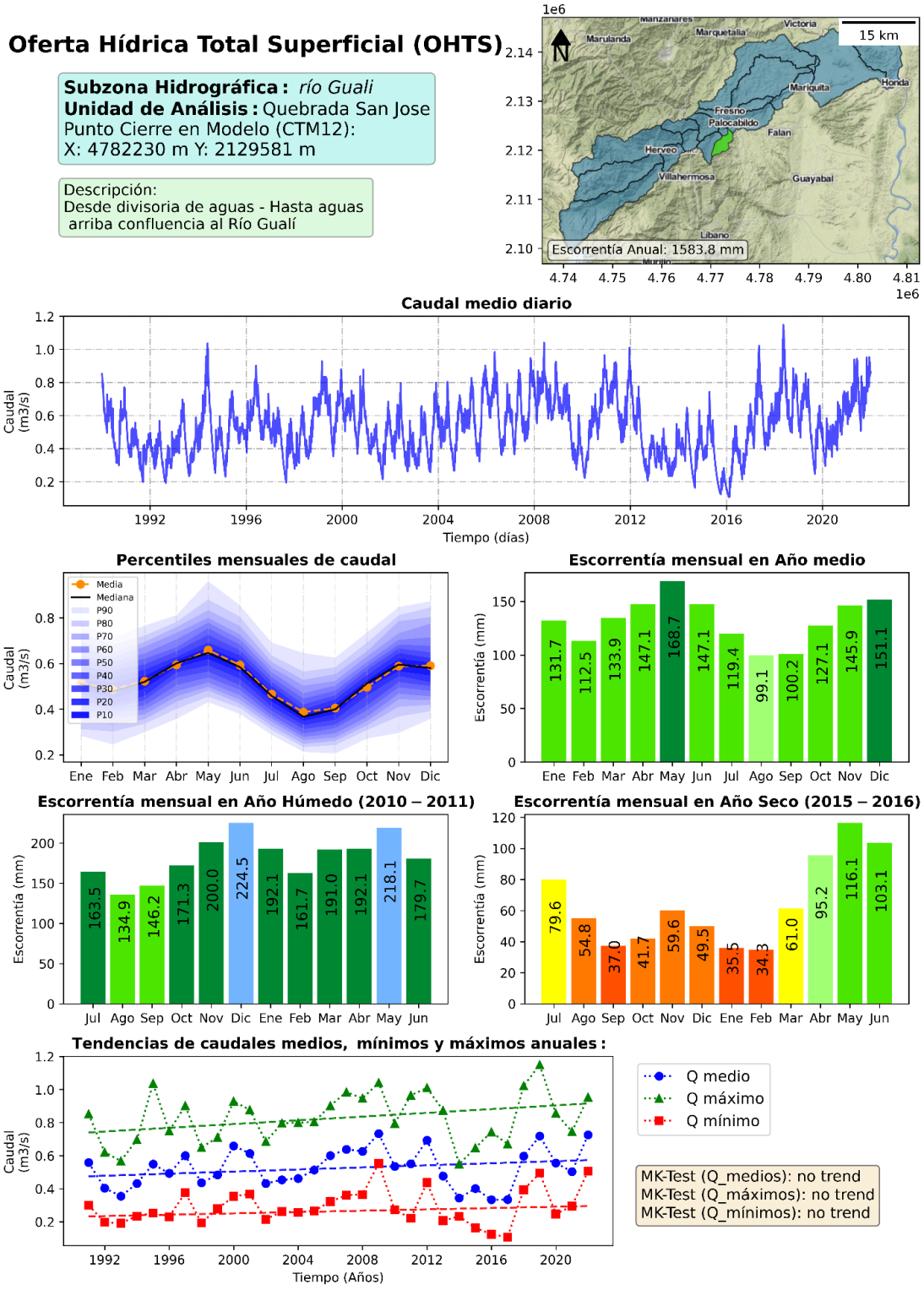


Figura 188. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad quebrada San José

13.5. Unidad de Análisis: río Aguacatal

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 67.1, 115.8 y 55.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.0 % de aumento, un 245.1 % de aumento, y un 118.1 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 26.4, 28.3 y 5.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 56.0, 59.9 y 11.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 189*). La escorrentía anual es de 1,490.0 mm, con valores máximos mensuales de 179.6, 300.1, y 144.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 190*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.63	**1.39**	**3.23**	**6.78**	**1.39**	**5.38**	**2.58**	**0.55**	**2.03**

Tabla 105. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Aguacatal

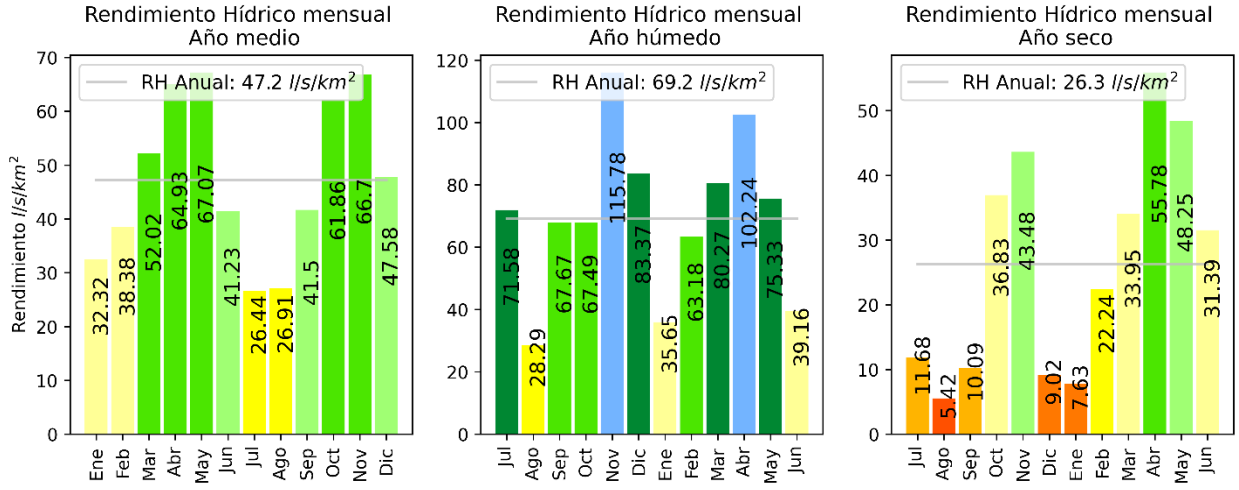


Figura 189. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Aguacatal

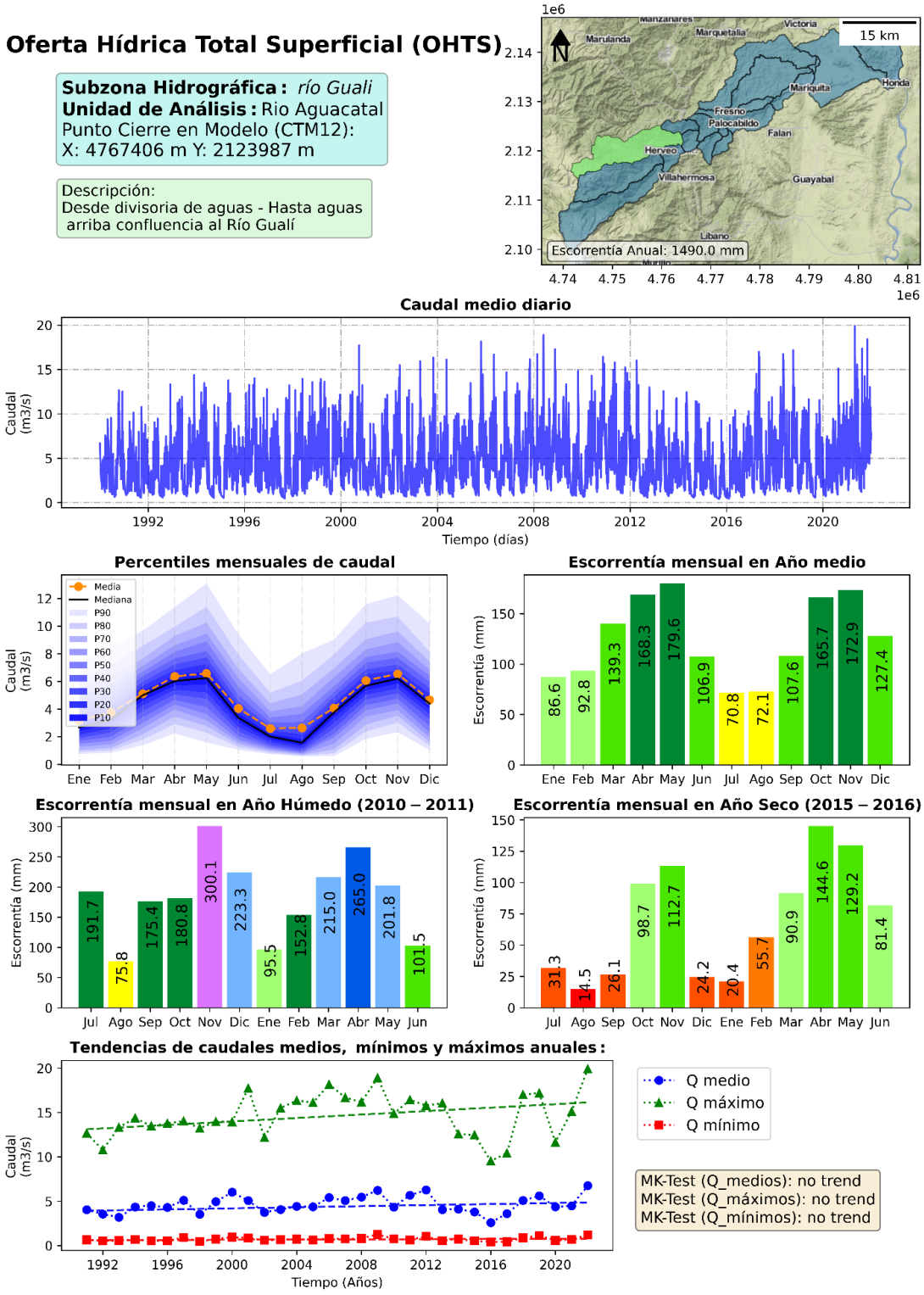


Figura 190. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Aguacatal

13.6. Unidad de Análisis: río Cajones

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 62.7, 110.4 y 50.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 147.1 % de aumento, un 259.2 % de aumento, y un 118.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 23.4, 21.4 y 3.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 55.0, 50.2 y 7.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 191*). La escorrentía anual es de 1,343.9 mm, con valores máximos mensuales de 167.9, 286.2, y 131.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 192*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
3.61	**0.81**	**2.80**	**5.34**	**0.81**	**4.53**	**1.99**	**0.29**	**1.70**

Tabla 106. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Cajones

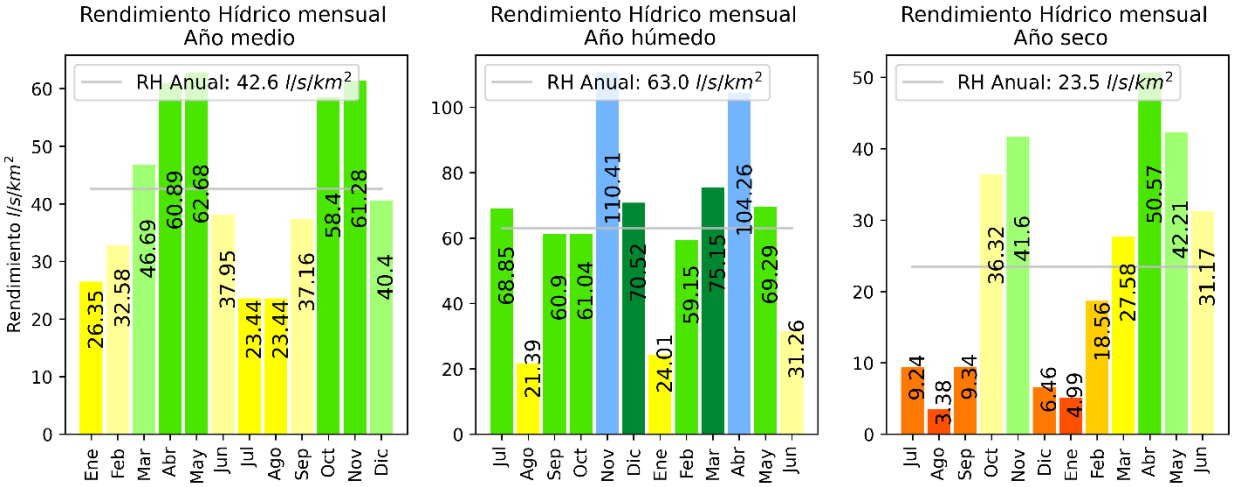


Figura 191. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Cajones

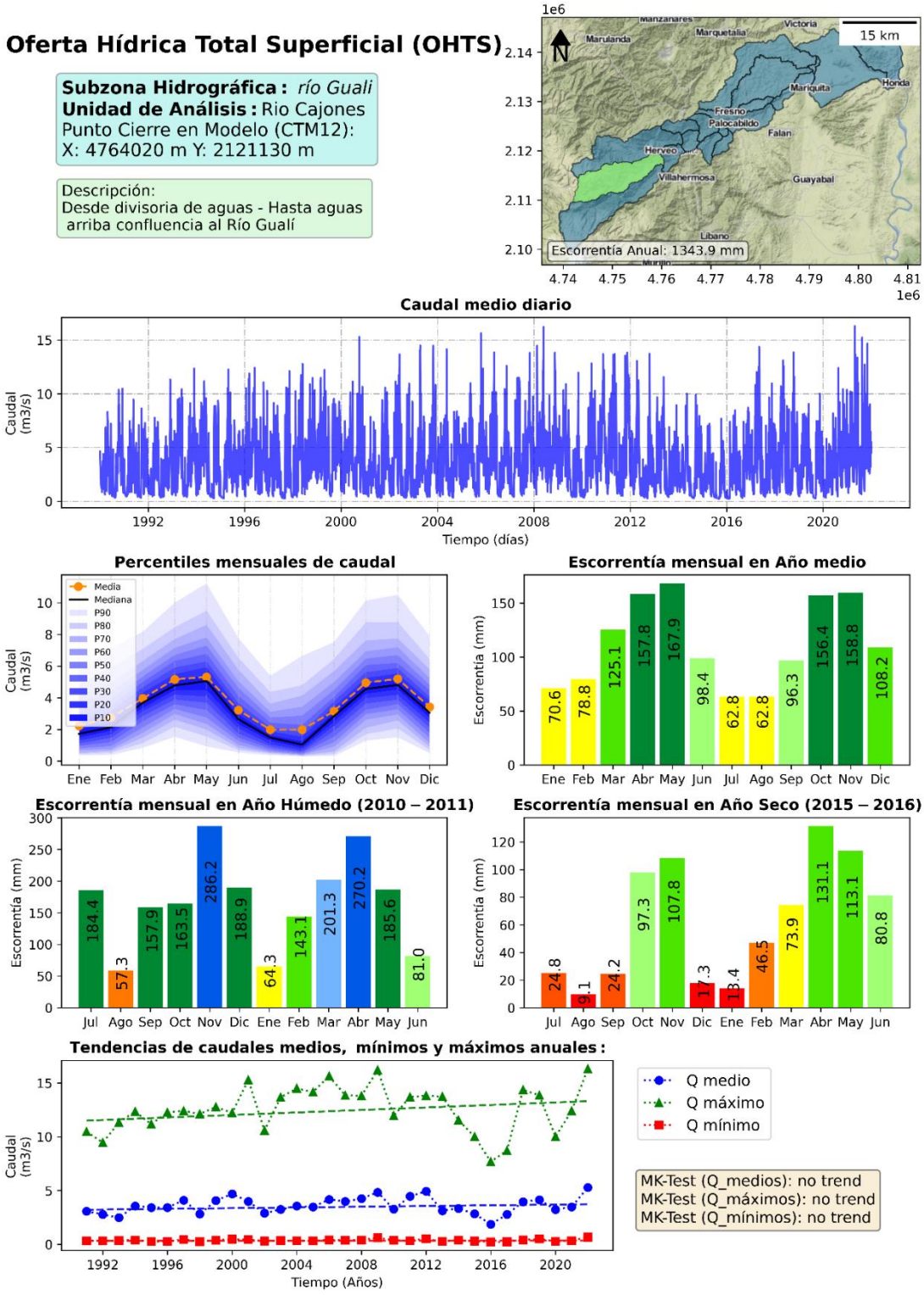


Figura 192. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Cajones

13.7. Unidad de Análisis: río Gualí 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 58.5, 104.1 y 42.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 149.5 % de aumento, un 266.1 % de aumento, y un 108.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 22.2, 18.0 y 4.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 56.6, 45.9 y 11.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 193*). La escorrentía anual es de 1,233.7 mm, con valores máximos mensuales de 156.6, 269.8, y 110.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 194*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.33	**1.59**	**2.75**	**6.39**	**1.59**	**4.80**	**2.39**	**0.57**	**1.82**

Tabla 107. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 1

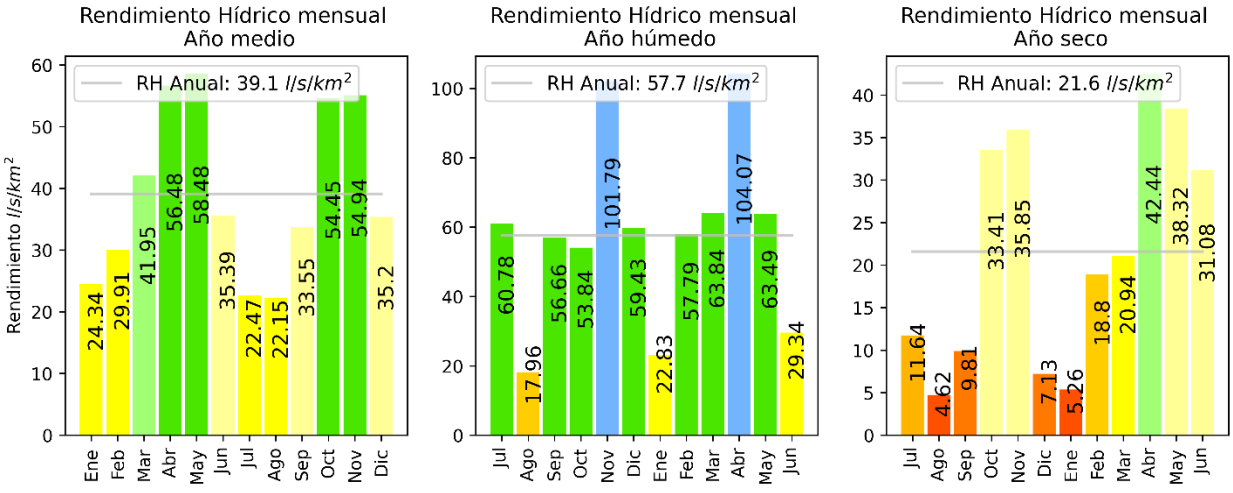


Figura 193. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 1

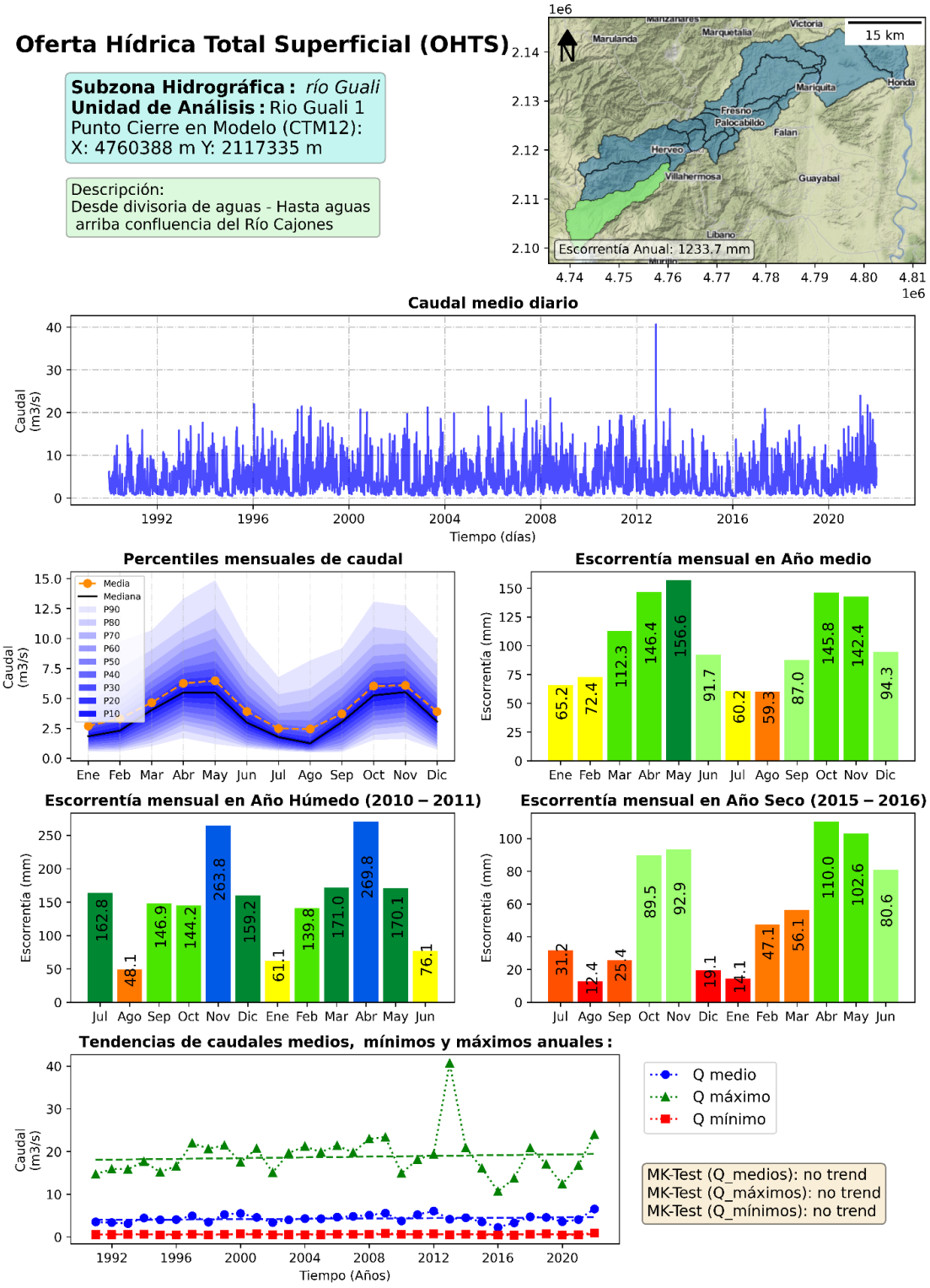


Figura 194. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 1

13.8. Unidad de Análisis: río Gualí 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 79.9, 116.1 y 58.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 130.1 % de aumento, un 189.2 % de aumento, y un 95.0 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 39.6, 47.9 y 15.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 64.5, 78.0 y 24.6 % con relación al valor medio anual (*Figura 195*). La escorrentía anual es de 1,935.1 mm, con valores máximos mensuales de 213.9, 310.9, y 156.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 196*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
9.04	**2.64**	**6.40**	**13.27**	**2.64**	**10.63**	**4.97**	**1.08**	**3.89**

Tabla 108. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 2

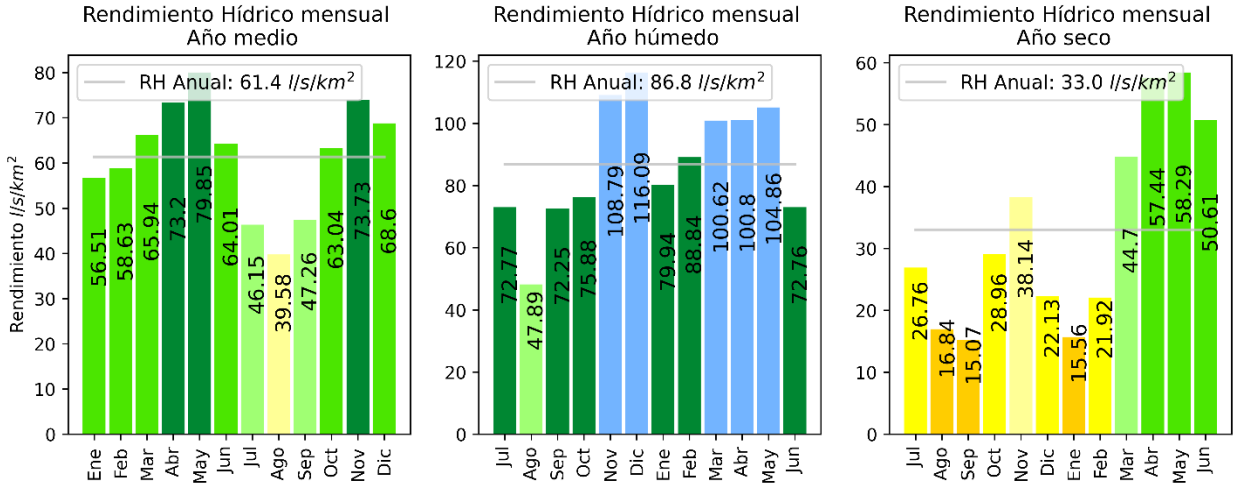


Figura 195. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 2

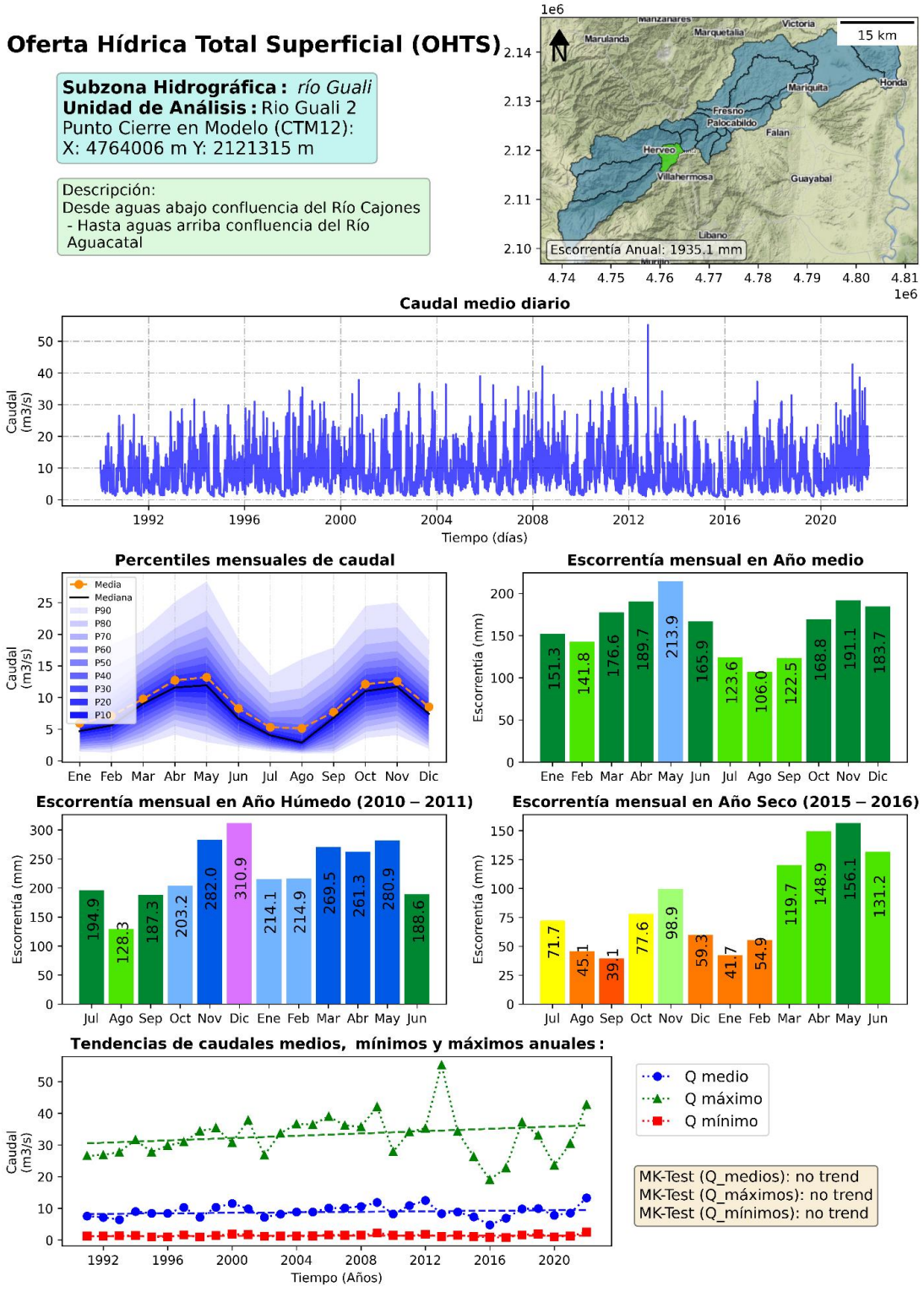


Figura 196. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 2

13.9. Unidad de Análisis: río Gualí 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 71.0, 100.8 y 52.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 128.6 % de aumento, un 182.7 % de aumento, y un 94.6 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 37.4, 53.3 y 11.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 67.7, 96.6 y 21.3 % con relación al valor medio anual (*Figura 197*). La escorrentía anual es de 1,740.6 mm, con valores máximos mensuales de 190.1, 270.0, y 139.8 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 198*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
14.37	**4.62**	**9.75**	**21.04**	**4.62**	**16.42**	**7.90**	**1.85**	**6.05**

Tabla 109. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 3

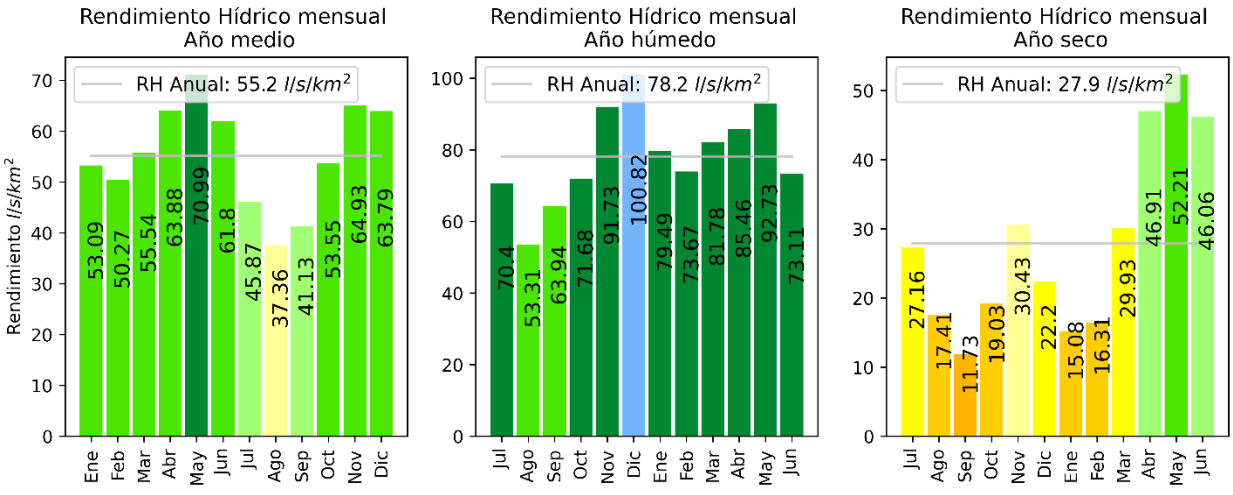


Figura 197. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 3

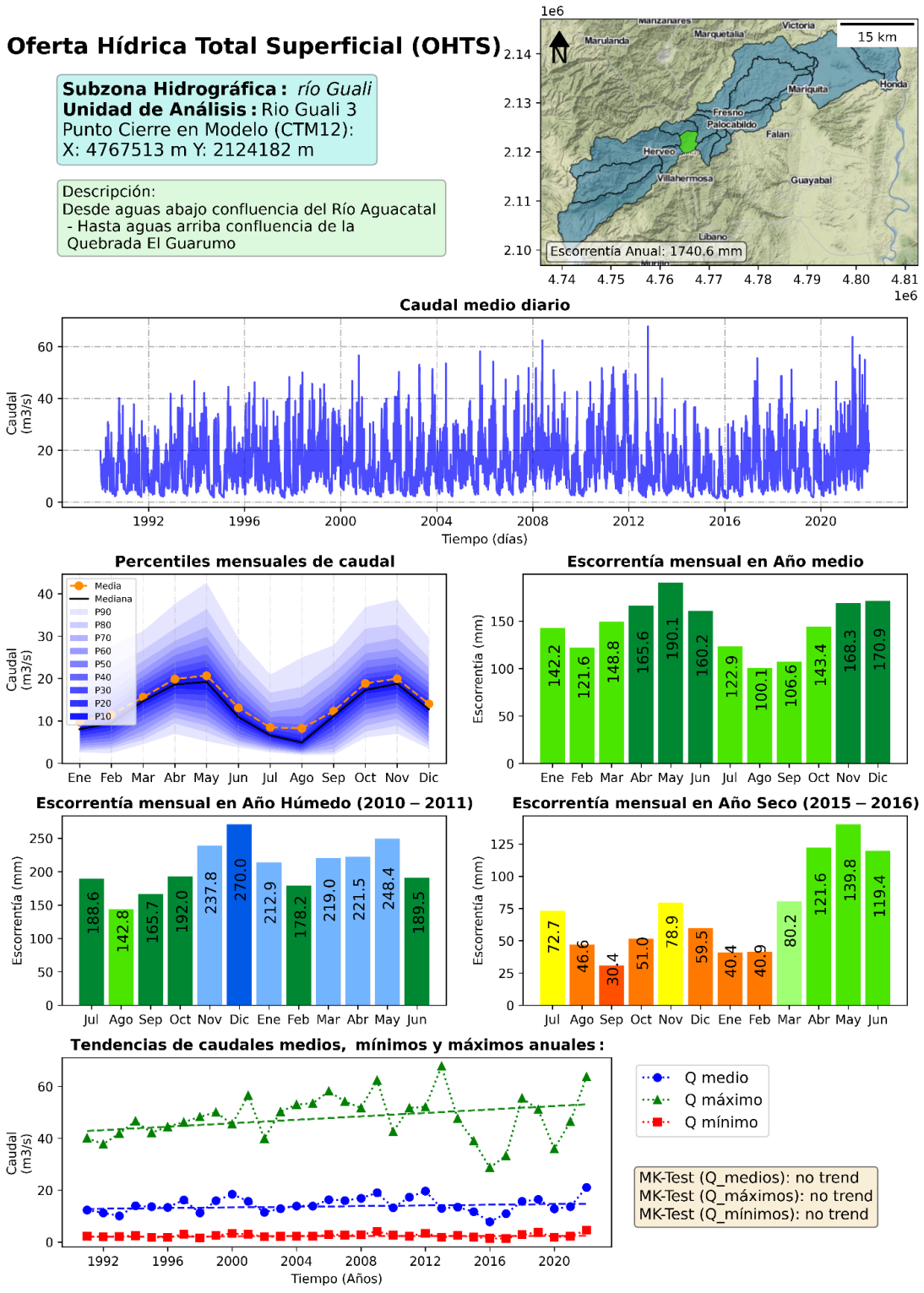


Figura 198. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 3

13.10. Unidad de Análisis: río Gualí 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 73.7, 96.1 y 54.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 127.7 % de aumento, un 166.5 % de aumento, y un 93.9 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 39.7, 60.3 y 13.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 68.8, 104.5 y 23.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 199*). La escorrentía anual es de 1,820.8 mm, con valores máximos mensuales de 197.5, 257.5, y 145.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 200*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
16.31	**5.88**	**10.44**	**23.76**	**5.88**	**17.88**	**8.88**	**2.35**	**6.53**

Tabla 110. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 4

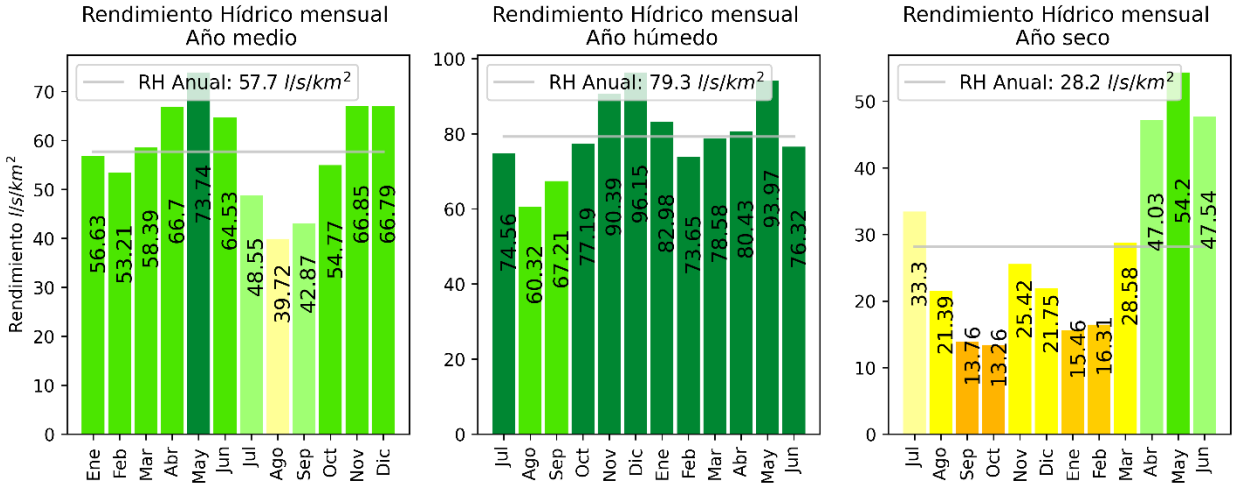


Figura 199. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 4

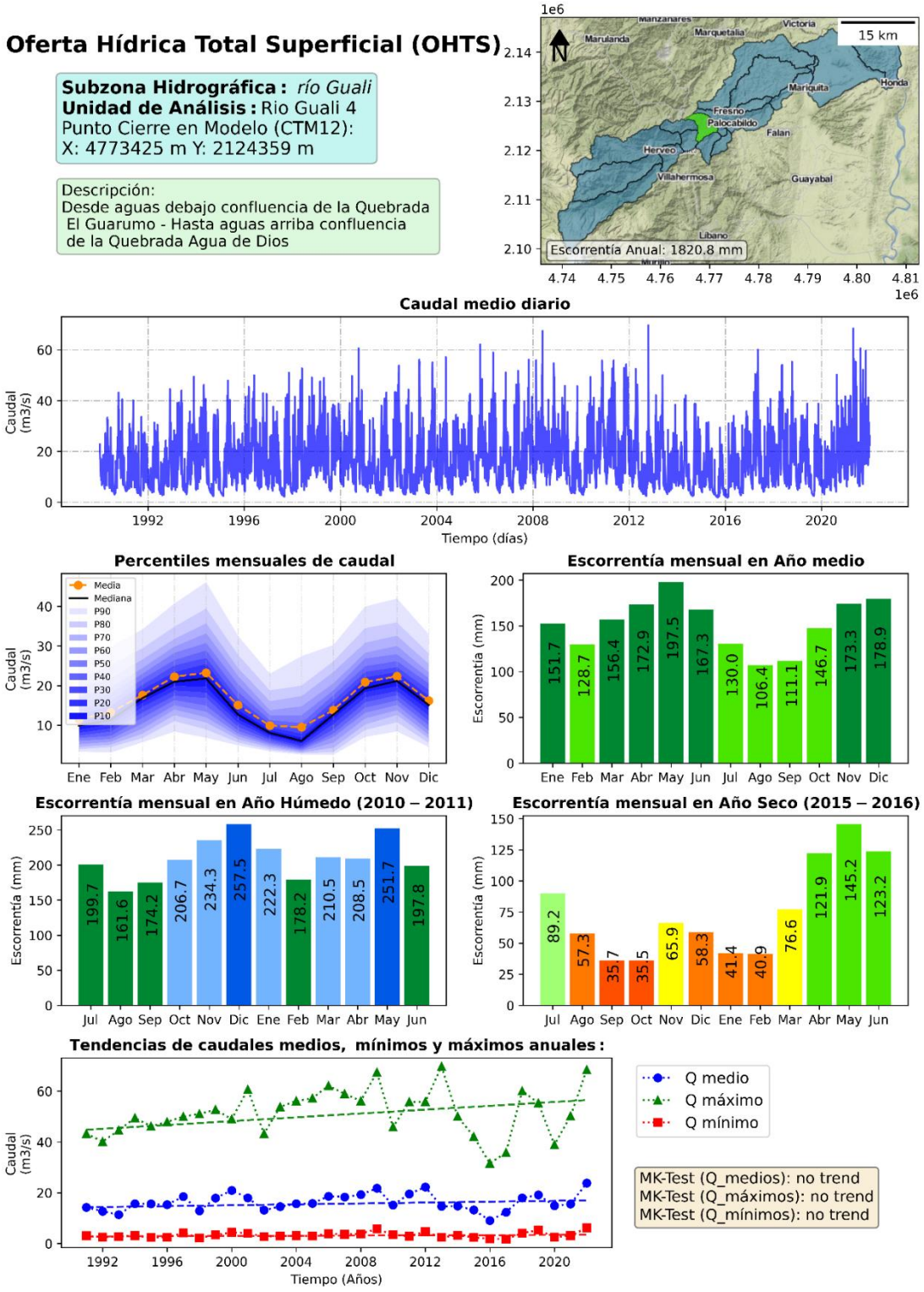


Figura 200. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guali 4

13.11. Unidad de Análisis: río Gualí 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 74.4, 95.7 y 55.3 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 125.4 % de aumento, un 161.3 % de aumento, y un 93.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 42.0, 65.2 y 14.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 70.7, 109.8 y 23.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 201*). La escorrentía anual es de 1,872.3 mm, con valores máximos mensuales de 199.4, 256.4, y 148.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 202*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
17.36	**6.63**	**10.73**	**25.21**	**6.63**	**18.58**	**9.40**	**2.63**	**6.77**

Tabla 111. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 5

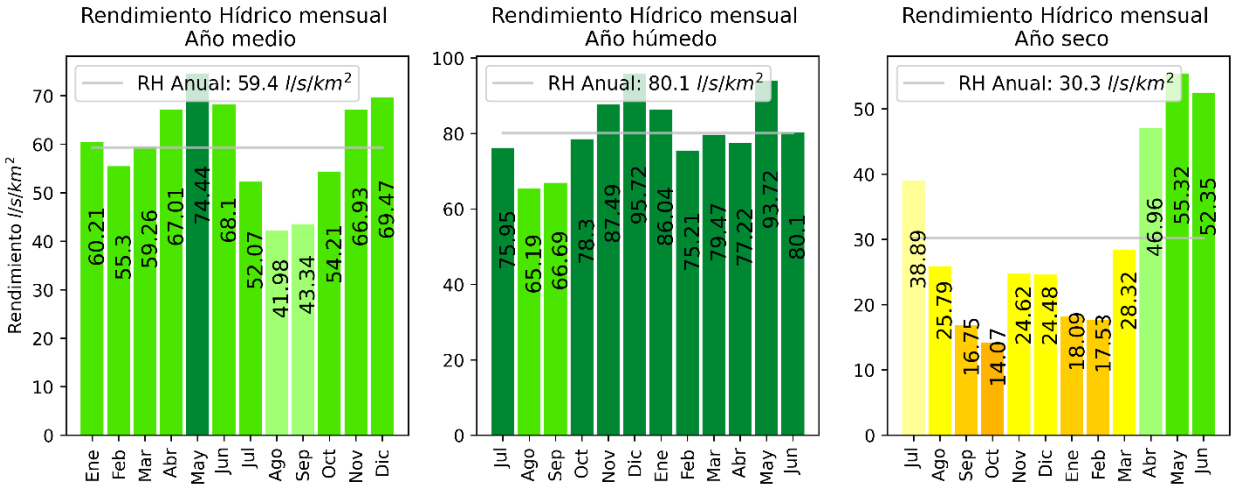


Figura 201. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 5

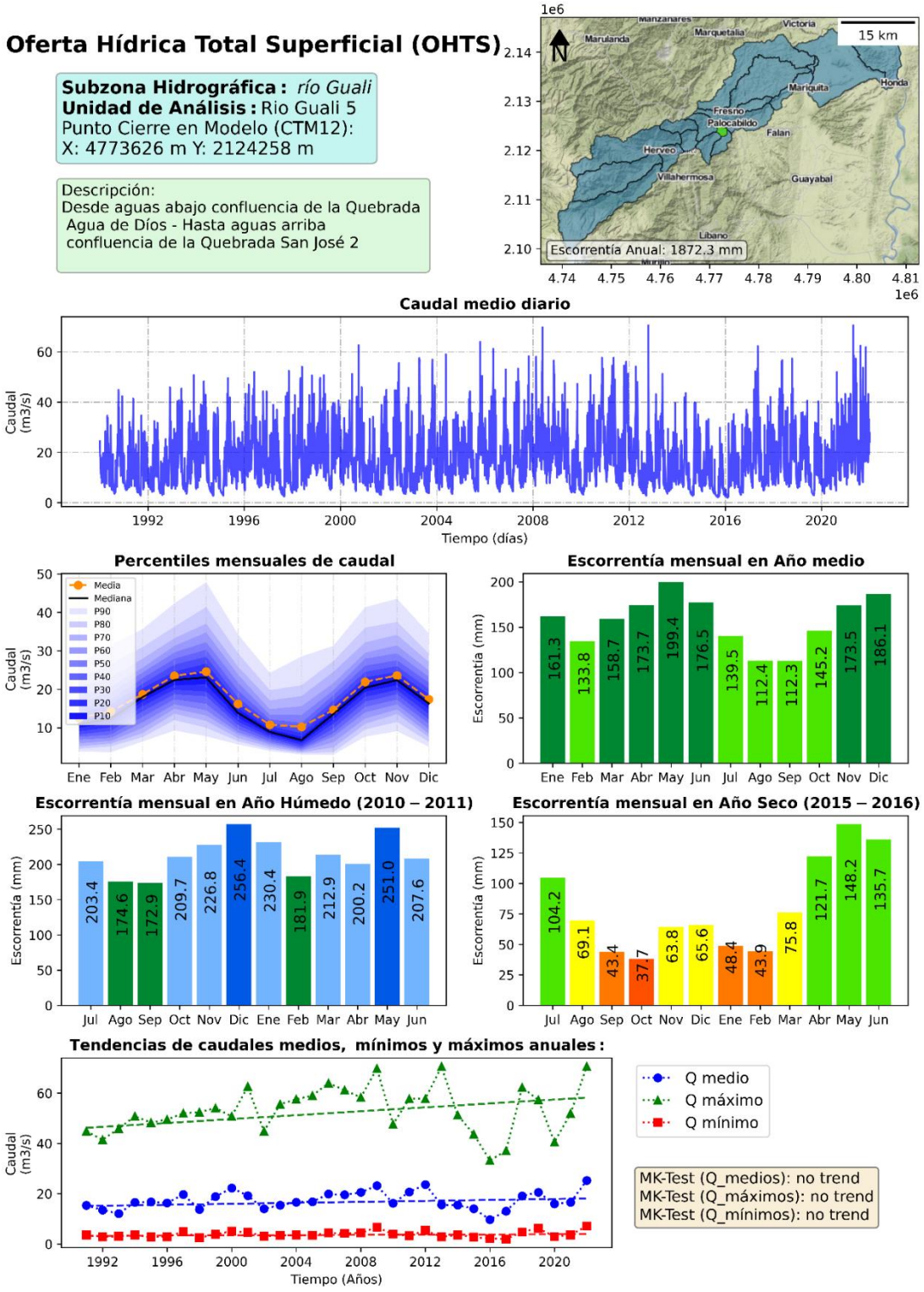


Figura 202. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 5

13.12. Unidad de Análisis: río Gualí 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 77.5, 99.6 y 60.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 131.7 % de aumento, un 169.3 % de aumento, y un 103.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 35.1, 54.1 y 10.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 59.7, 92.0 y 17.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 203*). La escorrentía anual es de 1,855.7 mm, con valores máximos mensuales de 207.6, 266.1, y 163.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 204*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
20.68	**8.85**	**11.83**	**29.74**	**8.85**	**20.89**	**11.05**	**3.44**	**7.61**

Tabla 112. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 6

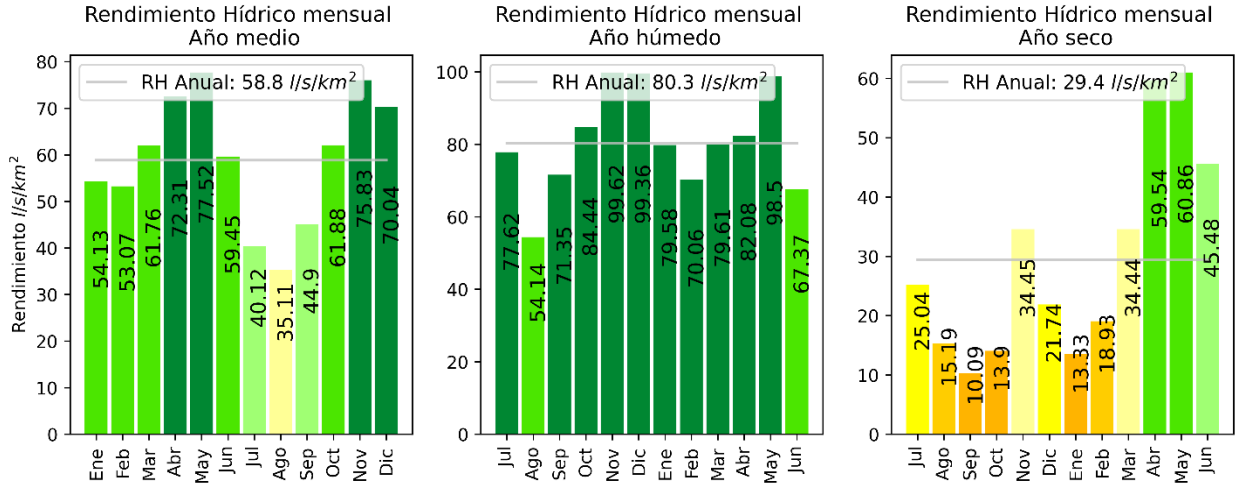


Figura 203. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 6

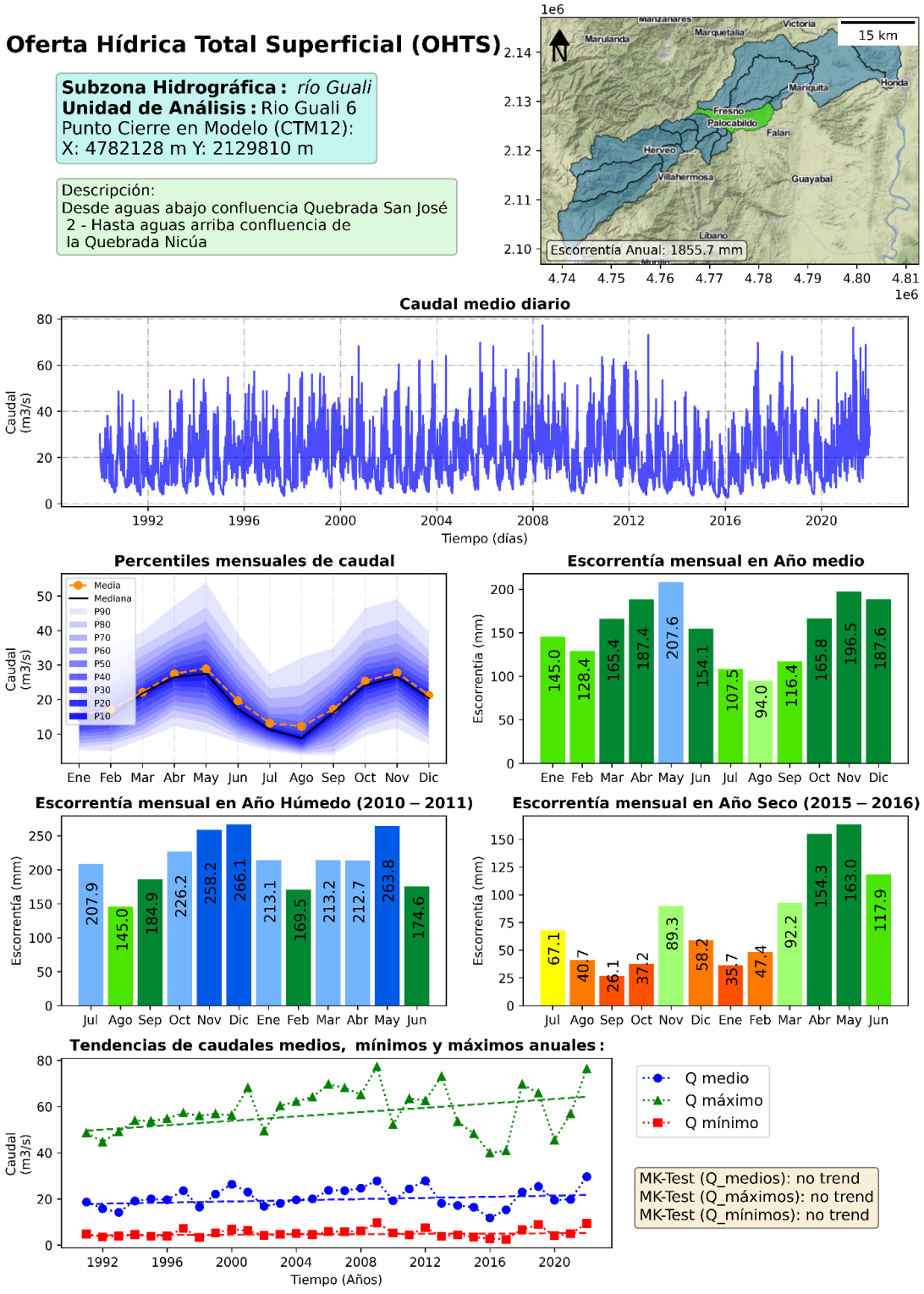


Figura 204. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guali 6

13.13. Unidad de Análisis: río Gualí 7

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 57.3, 78.8 y 43.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 131.8 % de aumento, un 181.4 % de aumento, y un 100.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 30.0, 30.3 y 12.8 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 69.1, 69.7 y 29.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 205*). La escorrentía anual es de 1,369.9 mm, con valores máximos mensuales de 148.4, 206.7, y 113.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 206*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
22.45	**9.85**	**12.60**	**32.10**	**9.85**	**22.25**	**12.01**	**3.89**	**8.12**

Tabla 113. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 7

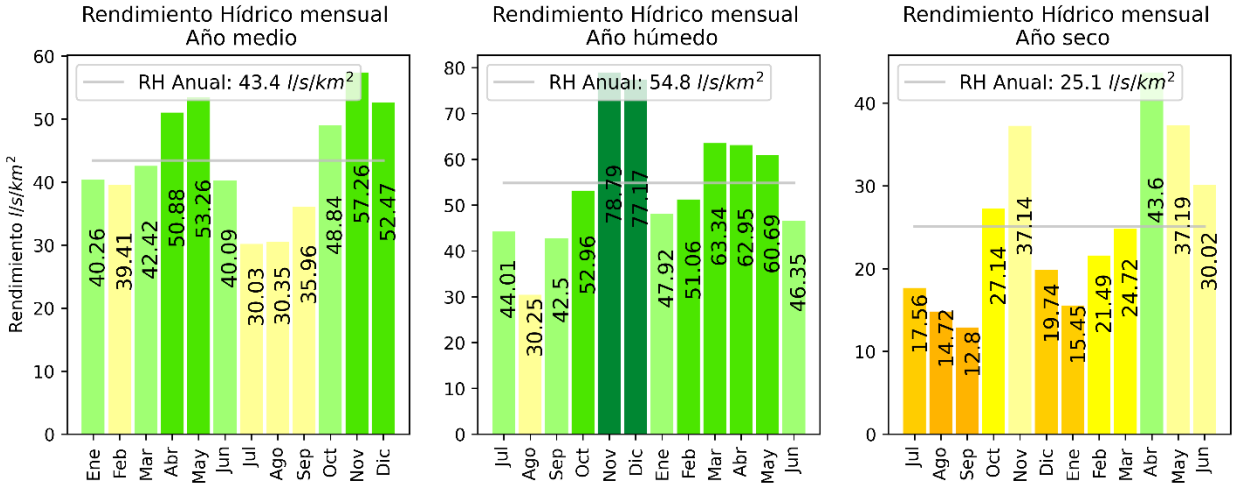


Figura 205. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 7

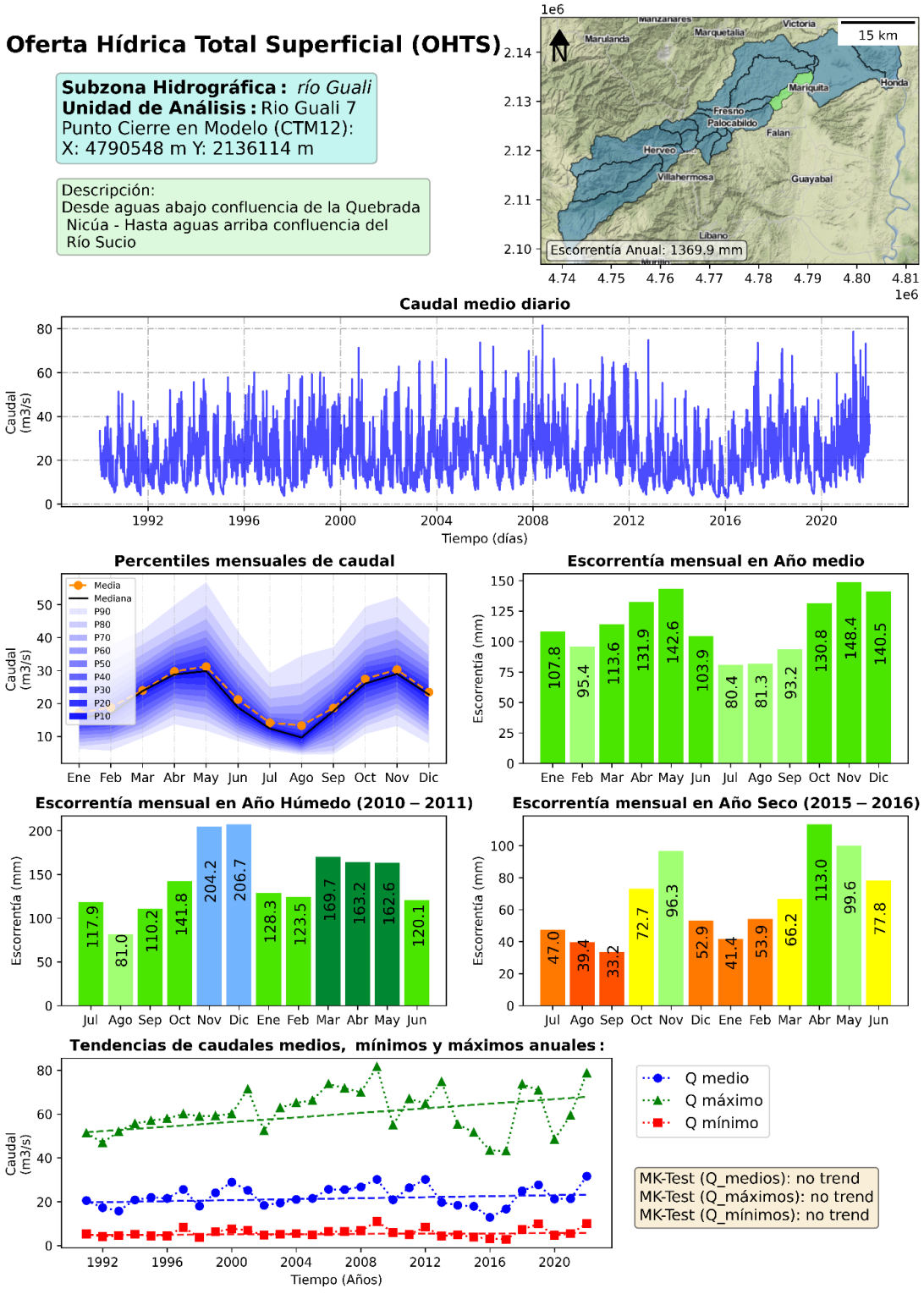


Figura 206. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guali 7

13.14. Unidad de Análisis: río Gualí 8

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 88.0, 140.0 y 67.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 124.2 % de aumento, un 197.6 % de aumento, y un 95.3 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 52.3, 63.1 y 26.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 73.8, 89.0 y 37.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 207*). La escorrentía anual es de 2,235.0 mm, con valores máximos mensuales de 235.7, 375.1, y 175.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 208*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
28.70	**13.51**	**15.19**	**41.10**	**13.51**	**27.59**	**15.83**	**5.54**	**10.29**

Tabla 114. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 8

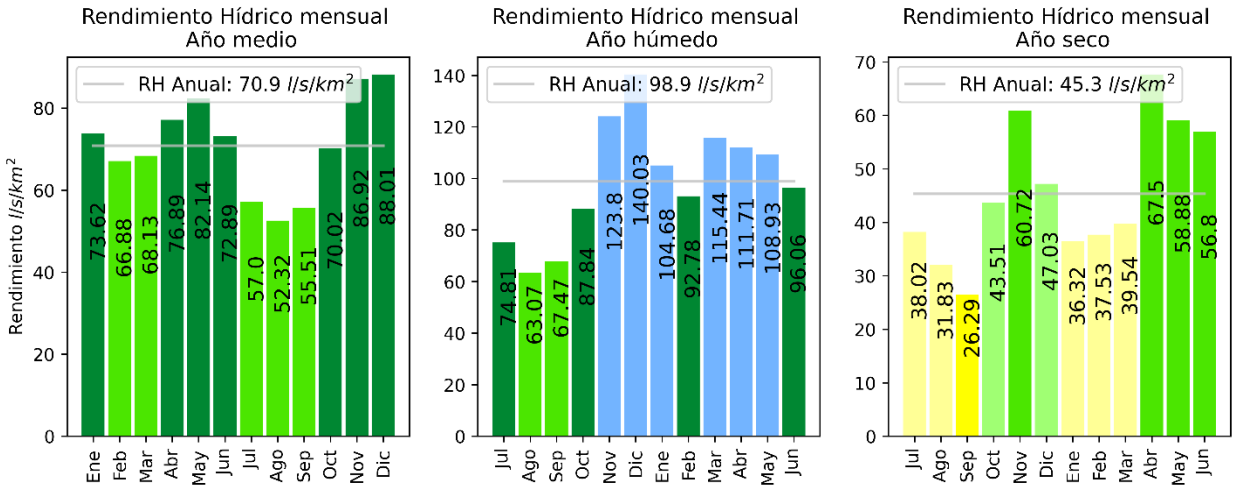


Figura 207. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 8

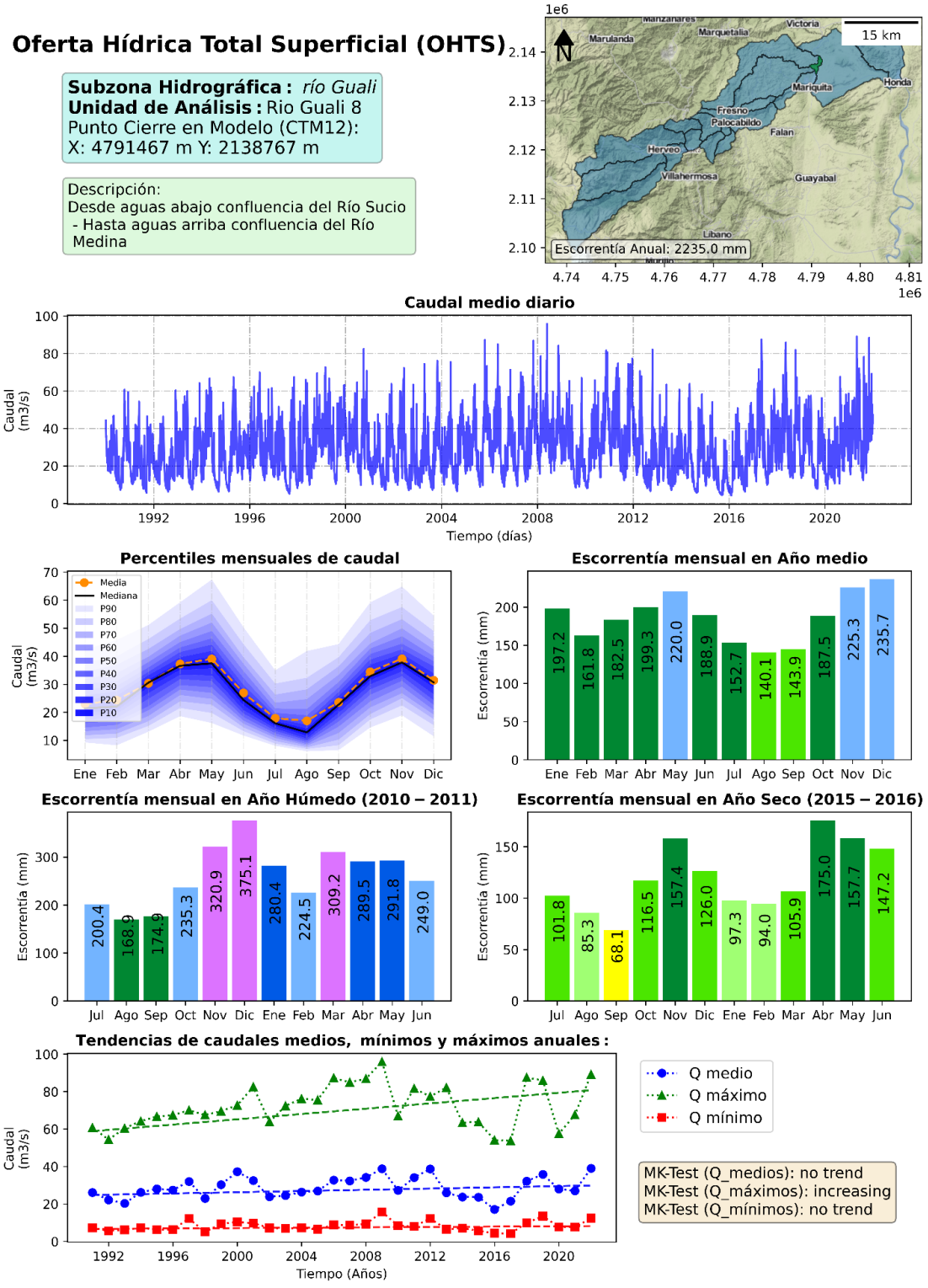


Figura 208. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 8

13.15. Unidad de Análisis: río Gualí 9

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 75.4, 119.5 y 63.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 163.7 % de aumento, un 259.1 % de aumento, y un 137.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 21.1, 27.7 y 5.3 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 45.7, 60.2 y 11.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 209*). La escorrentía anual es de 1,454.2 mm, con valores máximos mensuales de 195.6, 309.6, y 163.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 210*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
41.81	**20.16**	**21.65**	**60.05**	**20.16**	**39.89**	**23.90**	**8.04**	**15.86**

Tabla 115. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Gualí 9

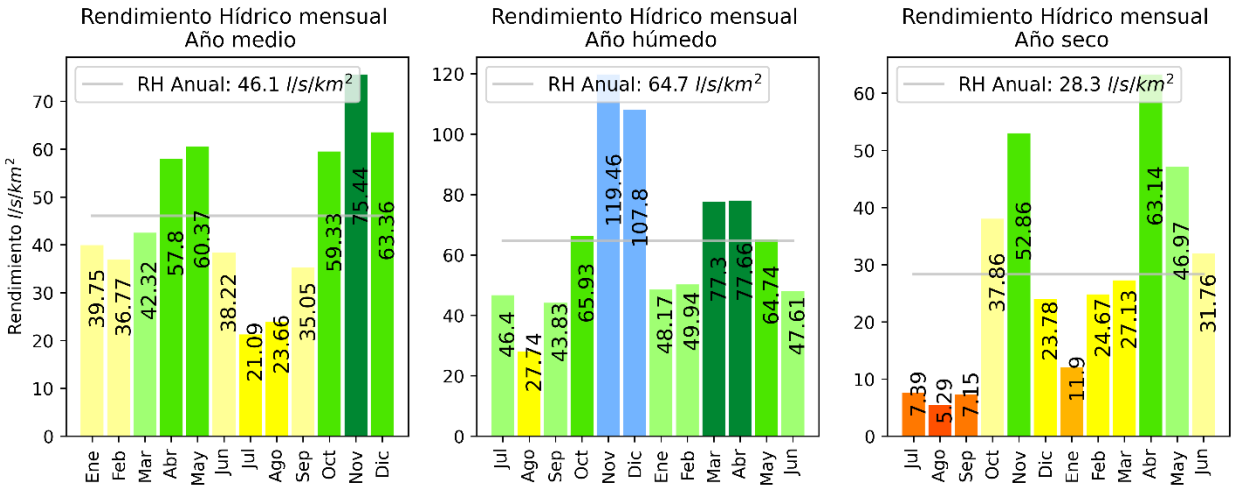


Figura 209. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 9

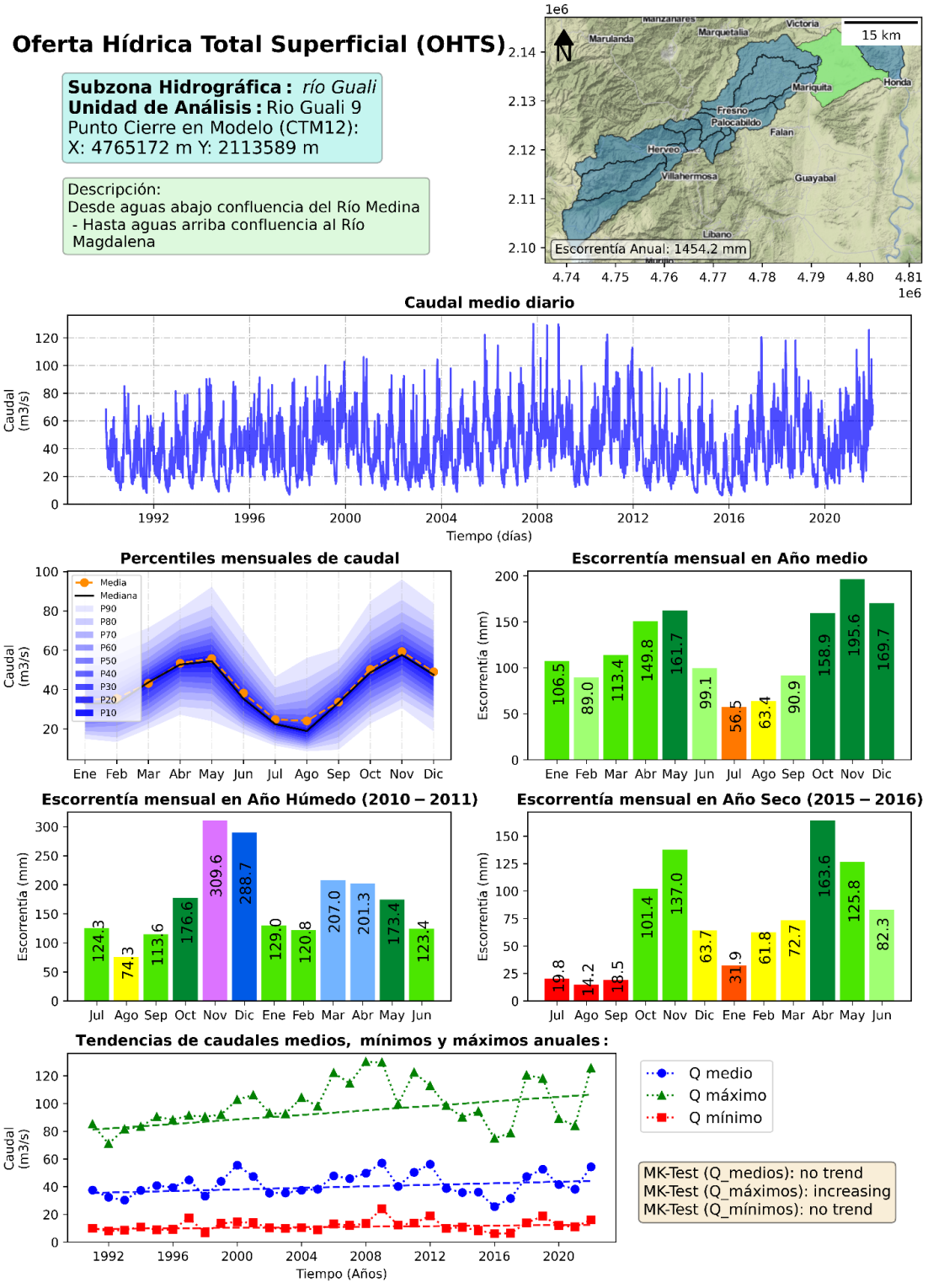


Figura 210. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Gualí 9

13.16. Unidad de Análisis: río Medina

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 105.9, 171.8 y 89.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 144.6 % de aumento, un 234.4 % de aumento, y un 122.2 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 41.4, 57.1 y 15.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 56.4, 78.0 y 21.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 211*). La escorrentía anual es de 2,310.9 mm, con valores máximos mensuales de 274.6, 460.0, y 232.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 212*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.74	**3.51**	**3.23**	**10.02**	**3.51**	**6.51**	**4.16**	**1.62**	**2.54**

Tabla 116. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Medina

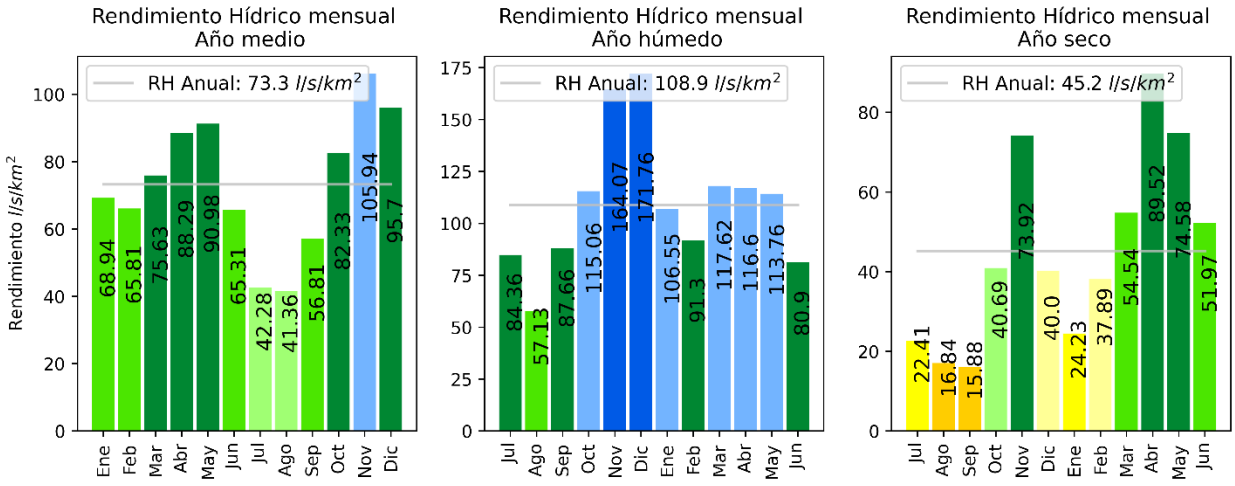


Figura 211. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Medina

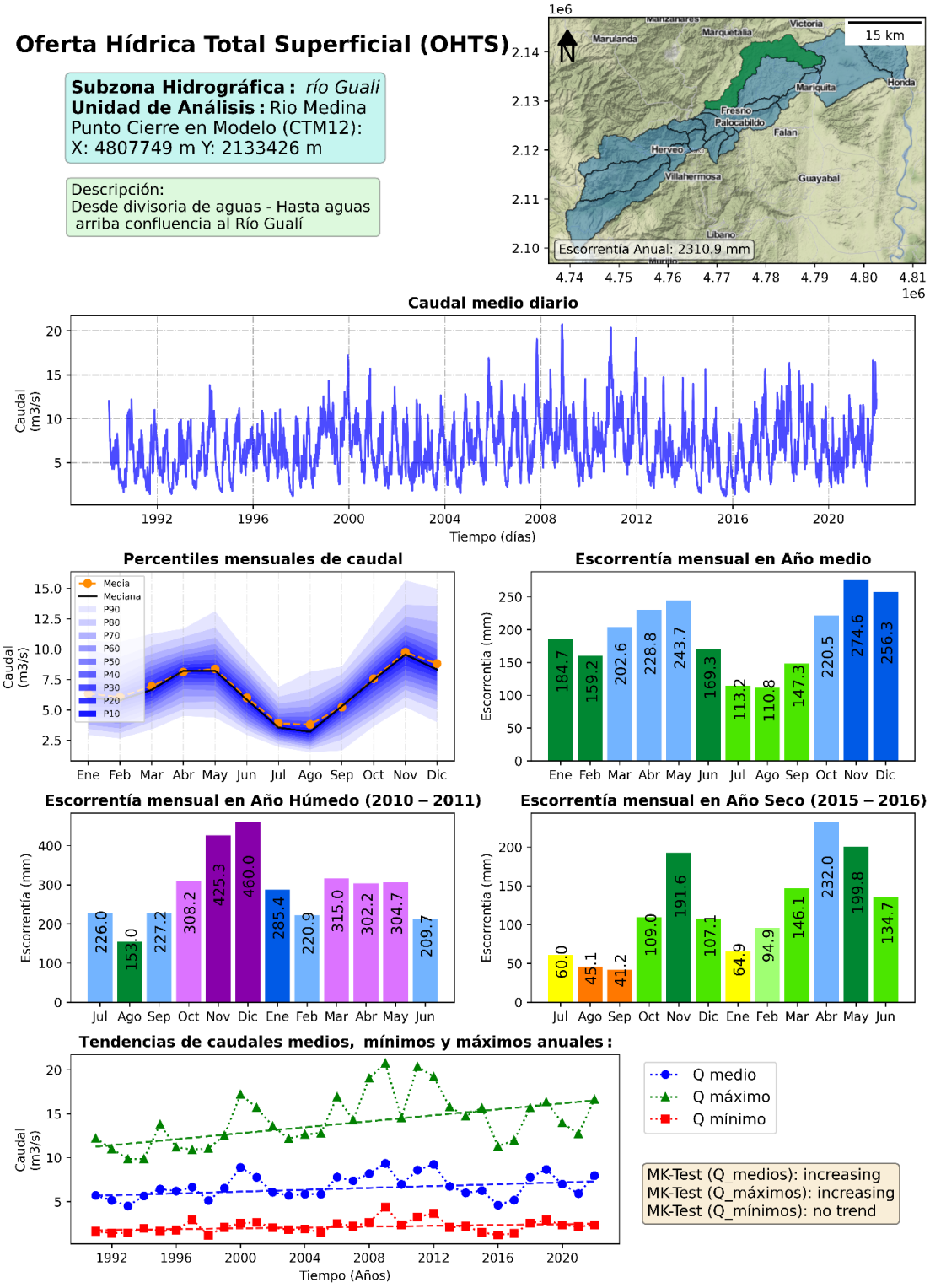


Figura 212. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Medina

13.17. Unidad de Análisis: río Sucio

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 96.3, 147.2 y 81.6 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 142.0 % de aumento, un 217.0 % de aumento, y un 120.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 39.6, 52.0 y 15.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 58.4, 76.6 y 22.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 213*). La escorrentía anual es de 2,139.5 mm, con valores máximos mensuales de 249.7, 394.4, y 211.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos anuales, y no se identifican tendencias en los caudales medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 214*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.05	**3.23**	**2.82**	**8.71**	**3.23**	**5.48**	**3.69**	**1.50**	**2.19**

Tabla 117. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Sucio

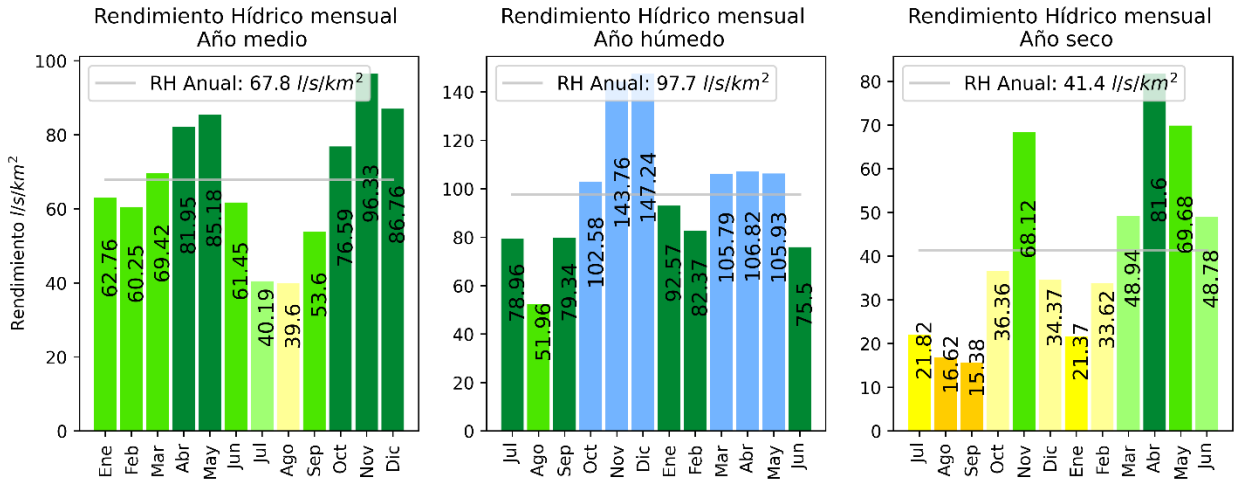


Figura 213. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Sucio

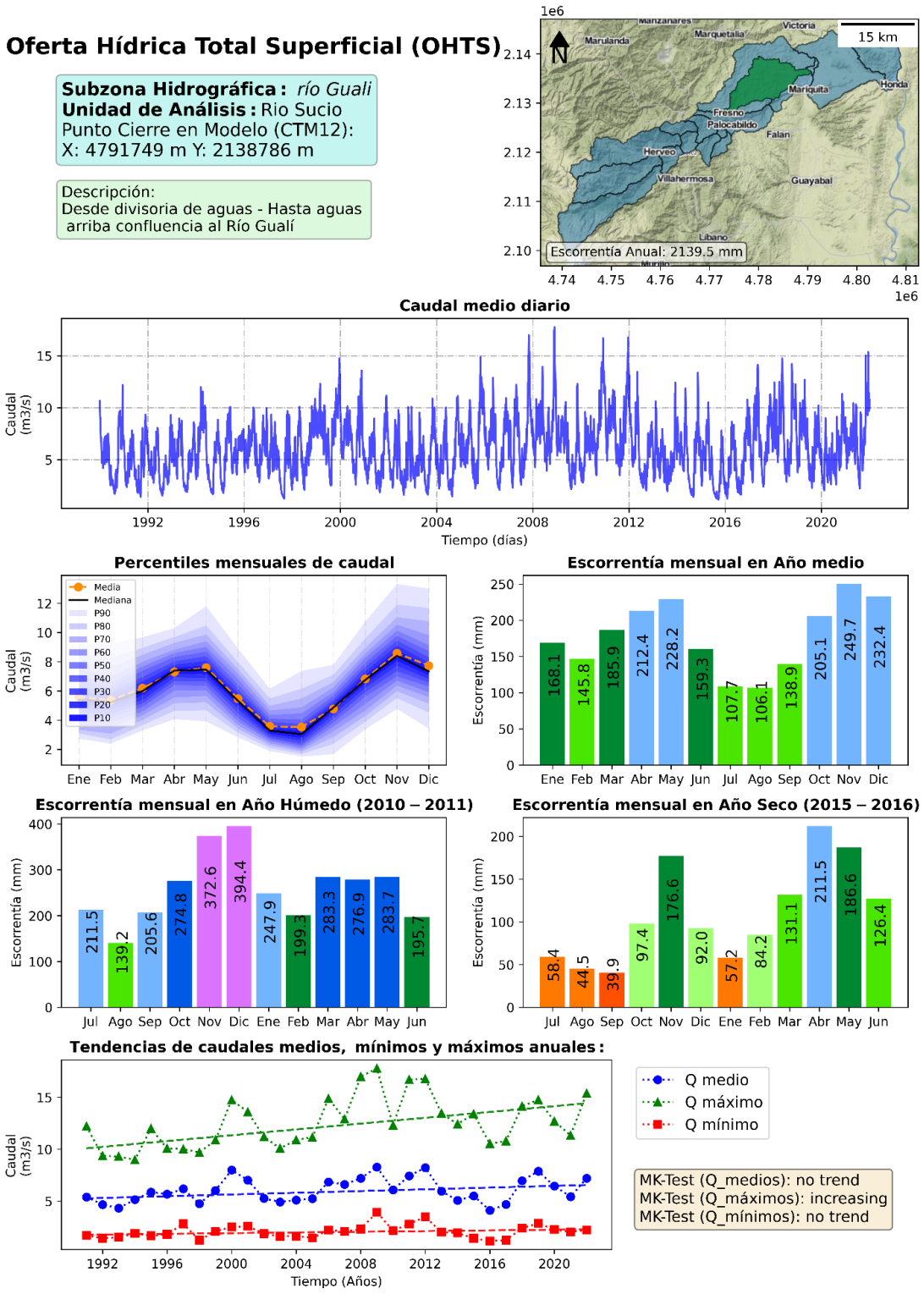


Figura 214. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Sucio

13.18. Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Gualí

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 69.7, 118.8 y 59.4 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 191.2 % de aumento, un 325.8 % de aumento, y un 163.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 10.4, 16.1 y 0.5 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 28.6, 44.2 y 1.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 215*). La escorrentía anual es de 1,150.6 mm, con valores máximos mensuales de 180.7, 308.0, y 154.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 216*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.97	**0.60**	**1.37**	**2.70**	**0.60**	**2.10**	**1.27**	**0.08**	**1.20**

Tabla 118. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Gualí

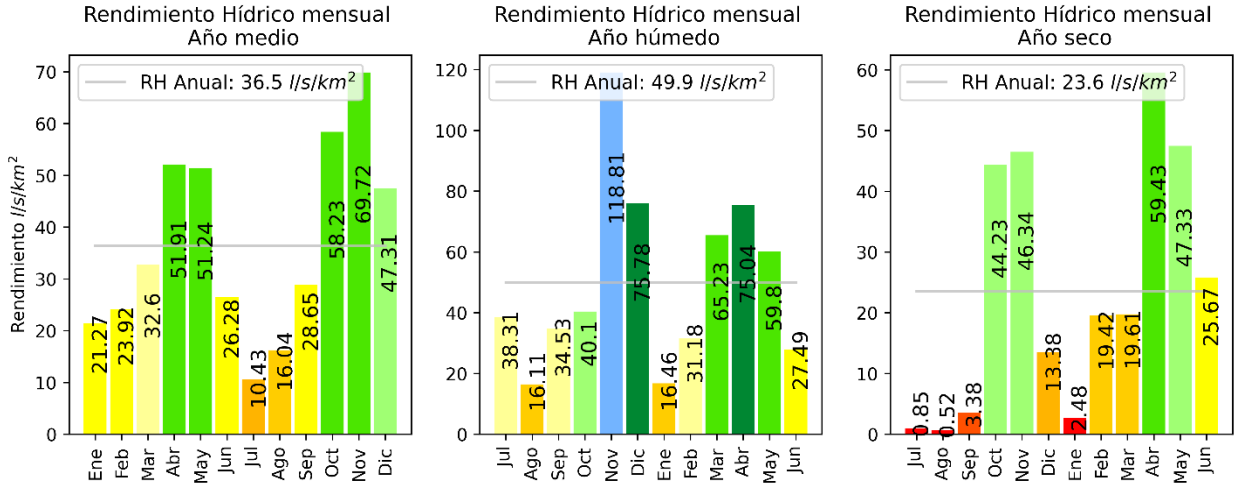


Figura 215. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad Directos al Magdalena SZH río Gualí

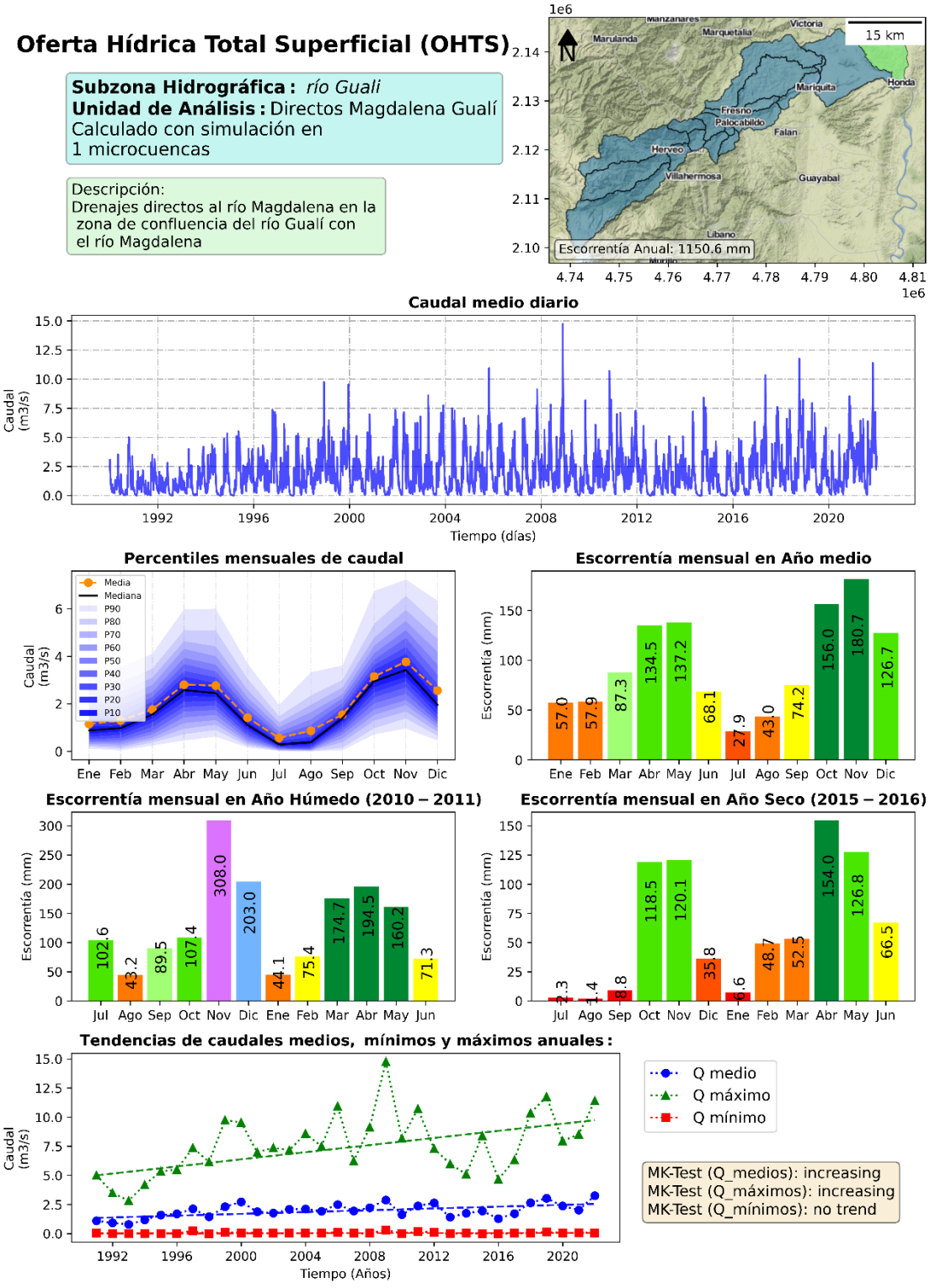


Figura 216. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad drenajes directos al Magdalena SZH río Gualí

14. OHTS y OHTD en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

14.1. Unidad de Análisis: río Guarinó 1

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 73.8, 109.7 y 52.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 138.9 % de aumento, un 206.4 % de aumento, y un 98.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 32.7, 45.9 y 10.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 61.5, 86.4 y 20.1 % con relación al valor medio anual (*Figura 217*). La escorrentía anual es de 1,677.6 mm, con valores máximos mensuales de 197.7, 284.3, y 139.6 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 218*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
4.24	**1.83**	**2.41**	**5.79**	**1.83**	**3.96**	**2.36**	**0.82**	**1.54**

Tabla 119. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 1

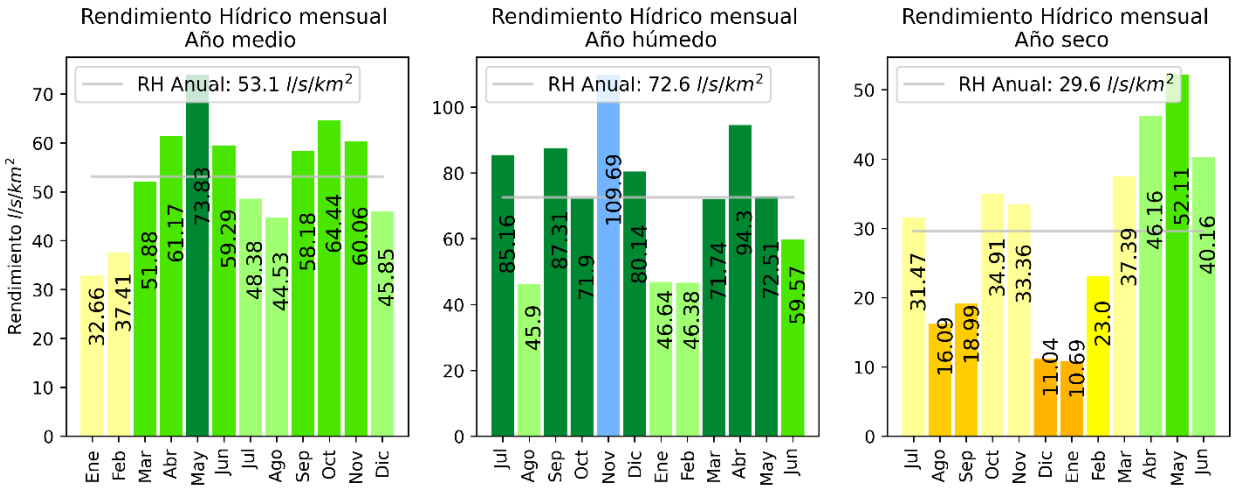


Figura 217. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 1

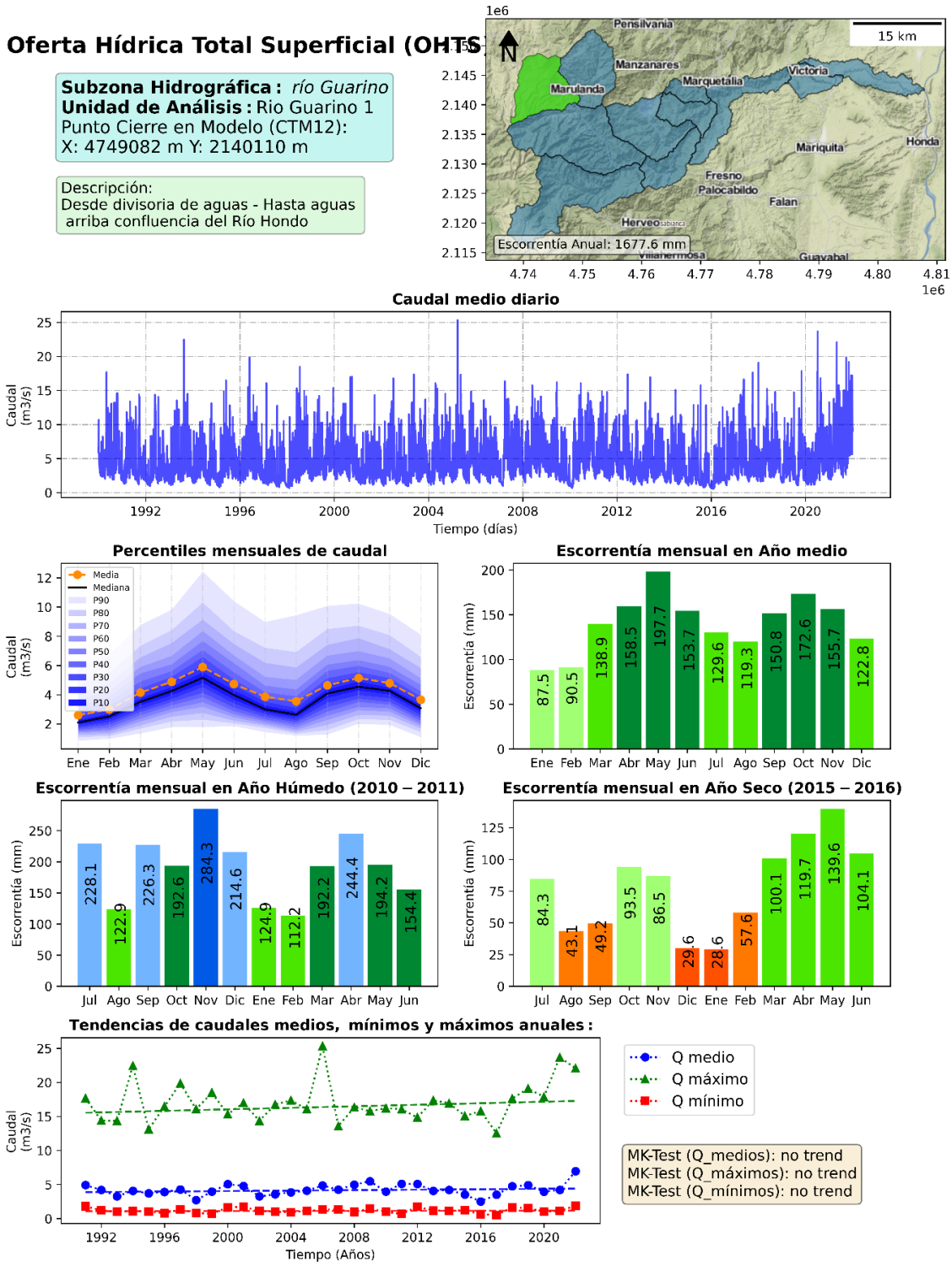


Figura 218. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 1

14.2. Unidad de Análisis: río Guarinó 2

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 81.9, 135.0 y 64.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 140.5 % de aumento, un 231.6 % de aumento, y un 110.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 36.5, 40.1 y 9.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.6, 68.8 y 16.5 % con relación al valor medio anual (*Figura 219*). La escorrentía anual es de 1,839.5 mm, con valores máximos mensuales de 219.5, 350.0, y 167.1 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 220*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
18.92	**7.22**	**11.71**	**26.34**	**7.22**	**19.12**	**10.89**	**3.01**	**7.88**

Tabla 120. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 2

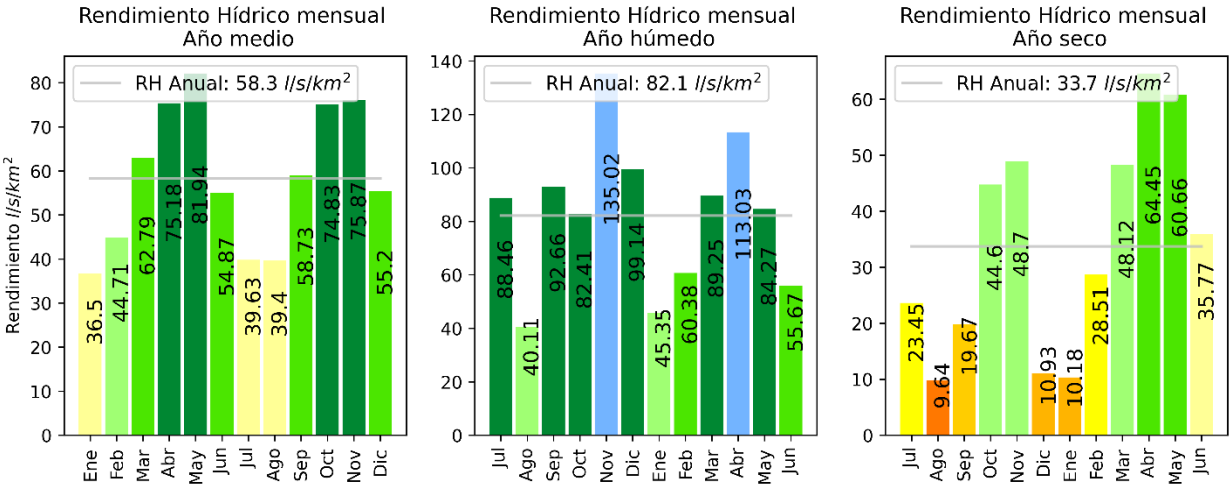


Figura 219. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 2

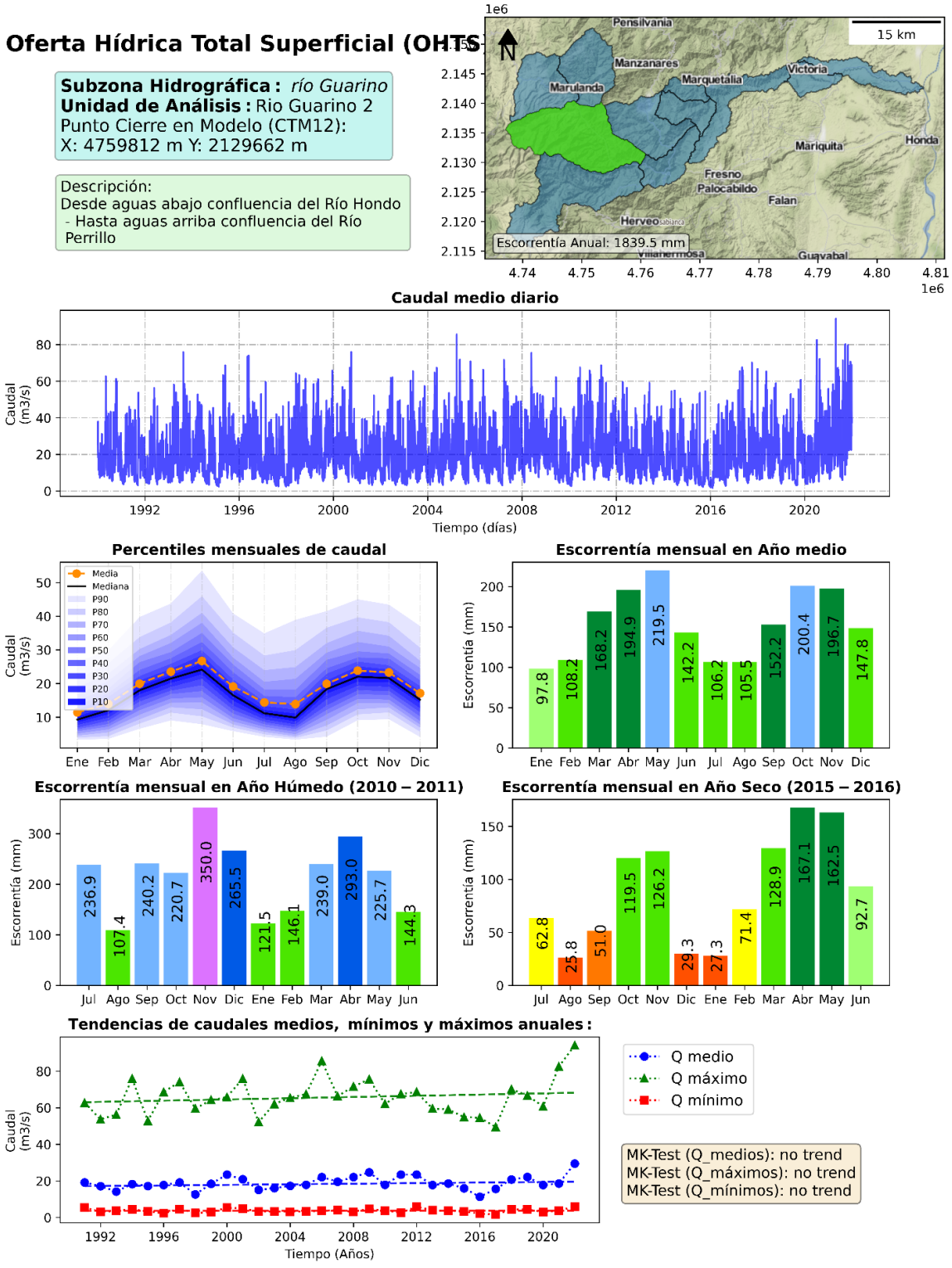


Figura 220. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 2

14.3. Unidad de Análisis: río Guarinó 3

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 83.9, 122.3 y 64.8 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 123.3 % de aumento, un 179.7 % de aumento, y un 95.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 49.6, 61.6 y 20.4 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 73.0, 90.5 y 30.0 % con relación al valor medio anual (*Figura 221*). La escorrentía anual es de 2,145.5 mm, con valores máximos mensuales de 224.6, 327.4, y 173.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 222*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
31.23	**13.42**	**17.81**	**43.79**	**13.42**	**30.37**	**18.04**	**5.80**	**12.23**

Tabla 121. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 3

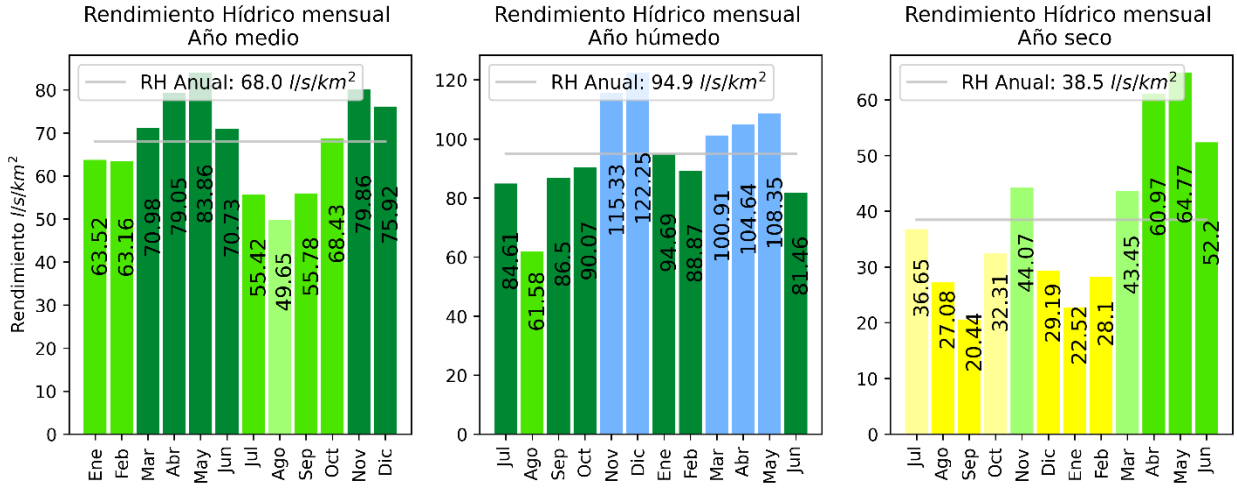


Figura 221. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 3

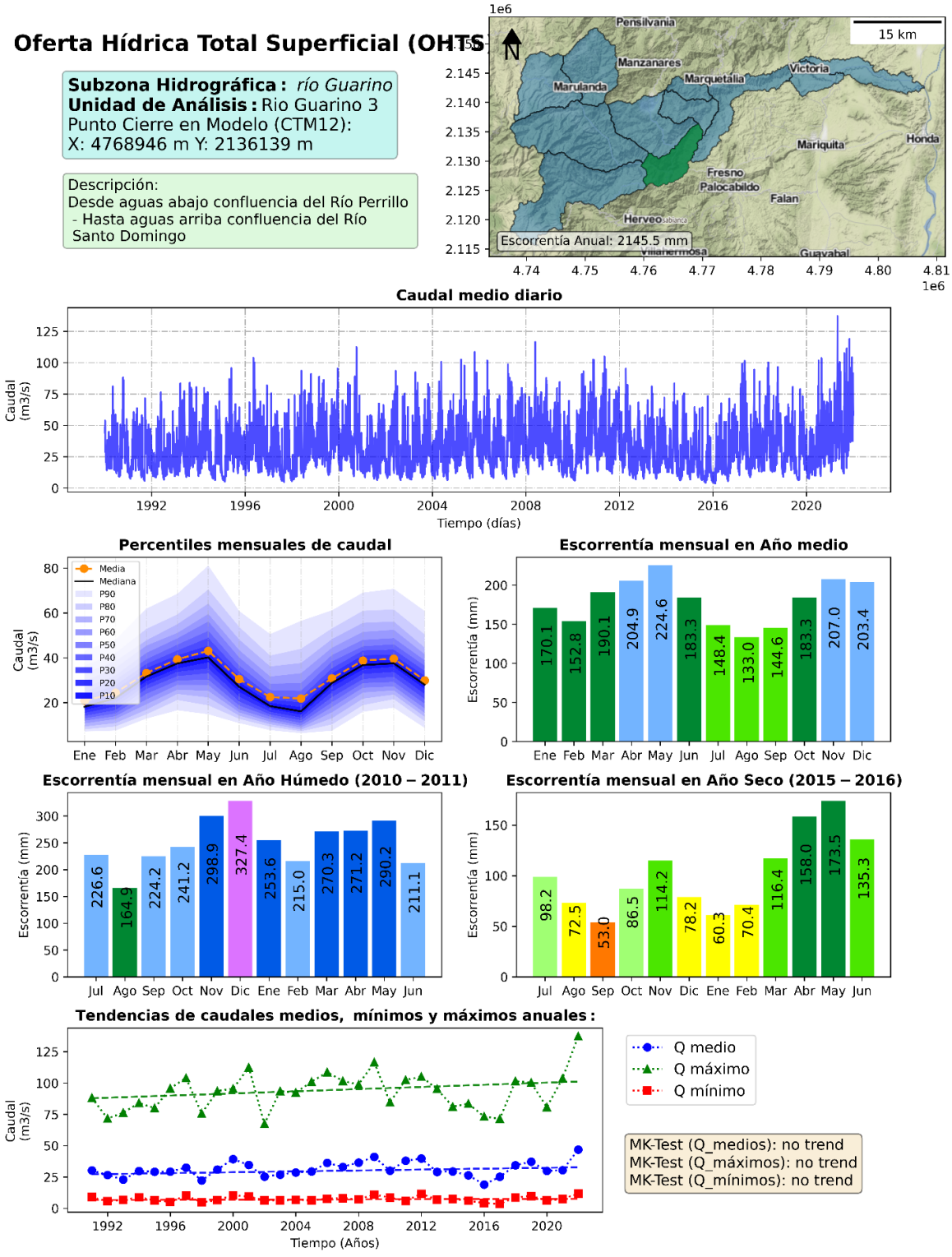


Figura 222. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 3

14.4. Unidad de Análisis: río Guarinó 4

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 150.7, 259.1 y 131.9 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 123.9 % de aumento, un 213.1 % de aumento, y un 108.5 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 80.0, 103.9 y 41.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 65.8, 85.5 y 33.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 223*). La escorrentía anual es de 3,834.3 mm, con valores máximos mensuales de 400.5, 694.1, y 352.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 224*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
42.79	**20.03**	**22.77**	**60.58**	**20.03**	**40.55**	**25.32**	**9.14**	**16.17**

Tabla 122. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 4

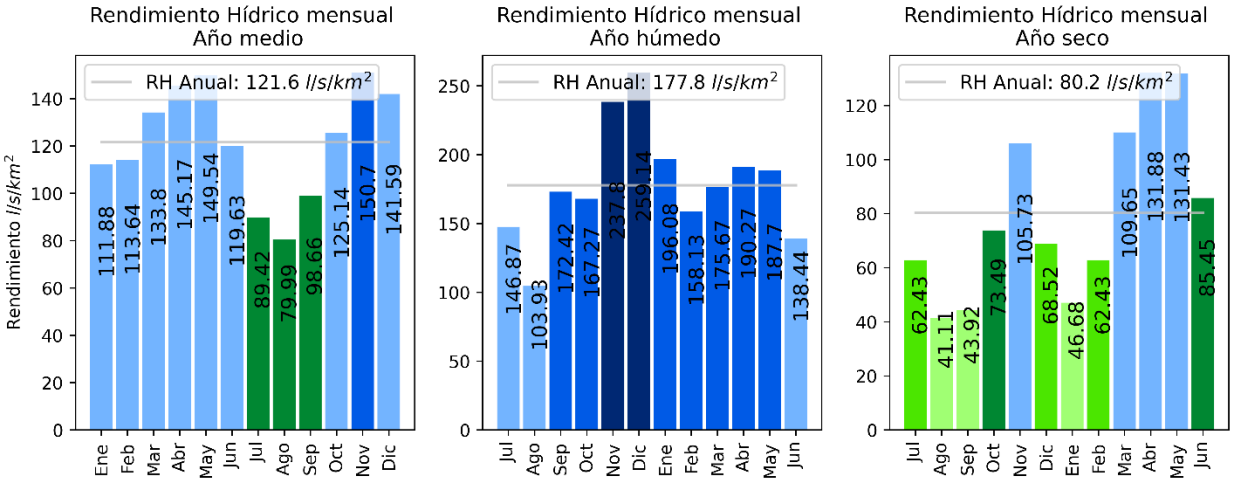


Figura 223. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 4

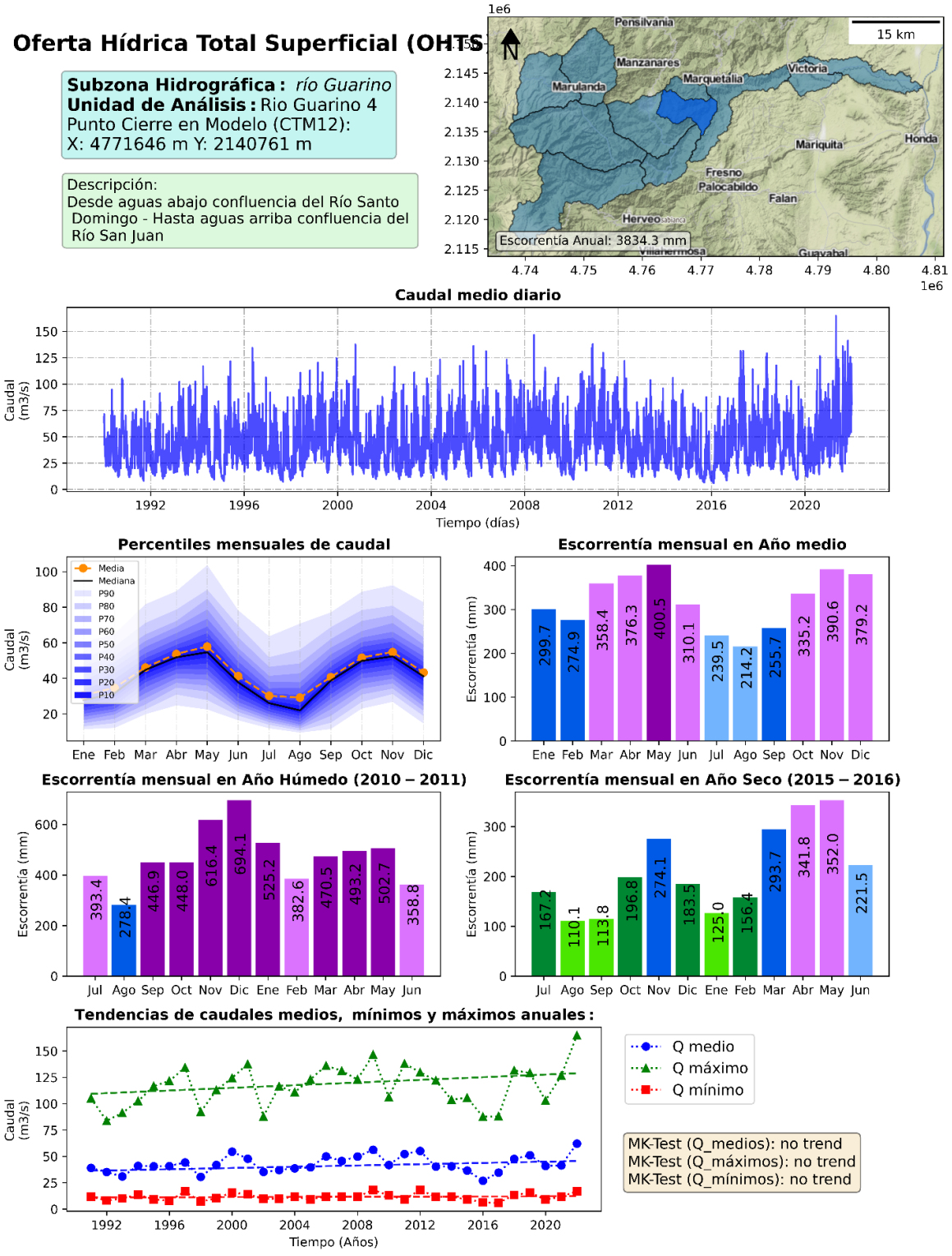


Figura 224. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 4

14.5. Unidad de Análisis: río Guarinó 5

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 84.7, 142.8 y 65.5 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 127.1 % de aumento, un 214.2 % de aumento, y un 98.2 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 45.3, 57.5 y 21.9 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 67.9, 86.3 y 32.9 % con relación al valor medio anual (*Figura 225*). La escorrentía anual es de 2,101.9 mm, con valores máximos mensuales de 226.9, 382.4, y 175.4 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 226*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
49.26	**25.16**	**24.11**	**69.94**	**25.16**	**44.78**	**29.69**	**12.13**	**17.56**

Tabla 123. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 5

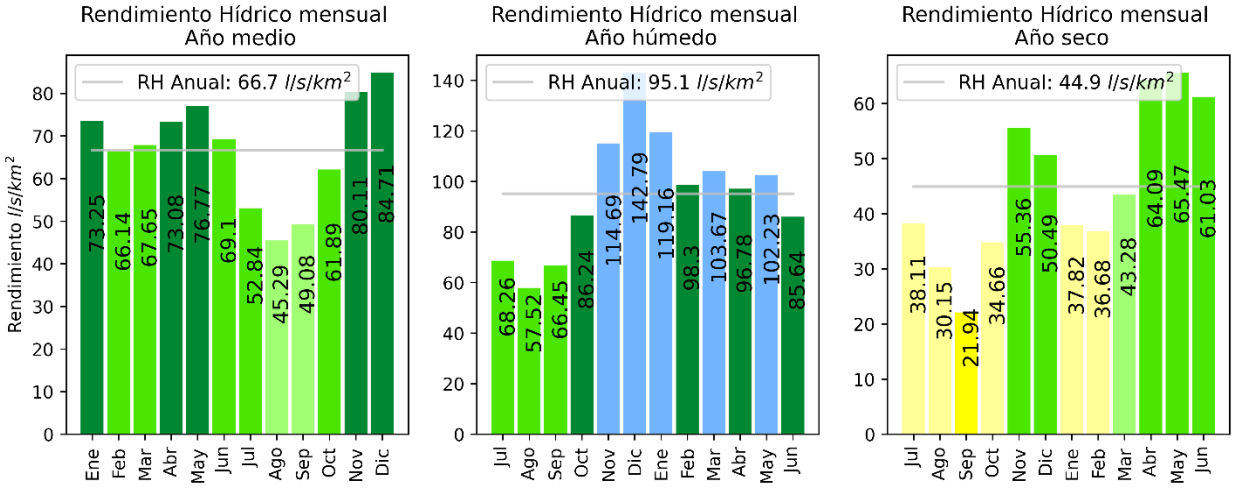


Figura 225. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 5

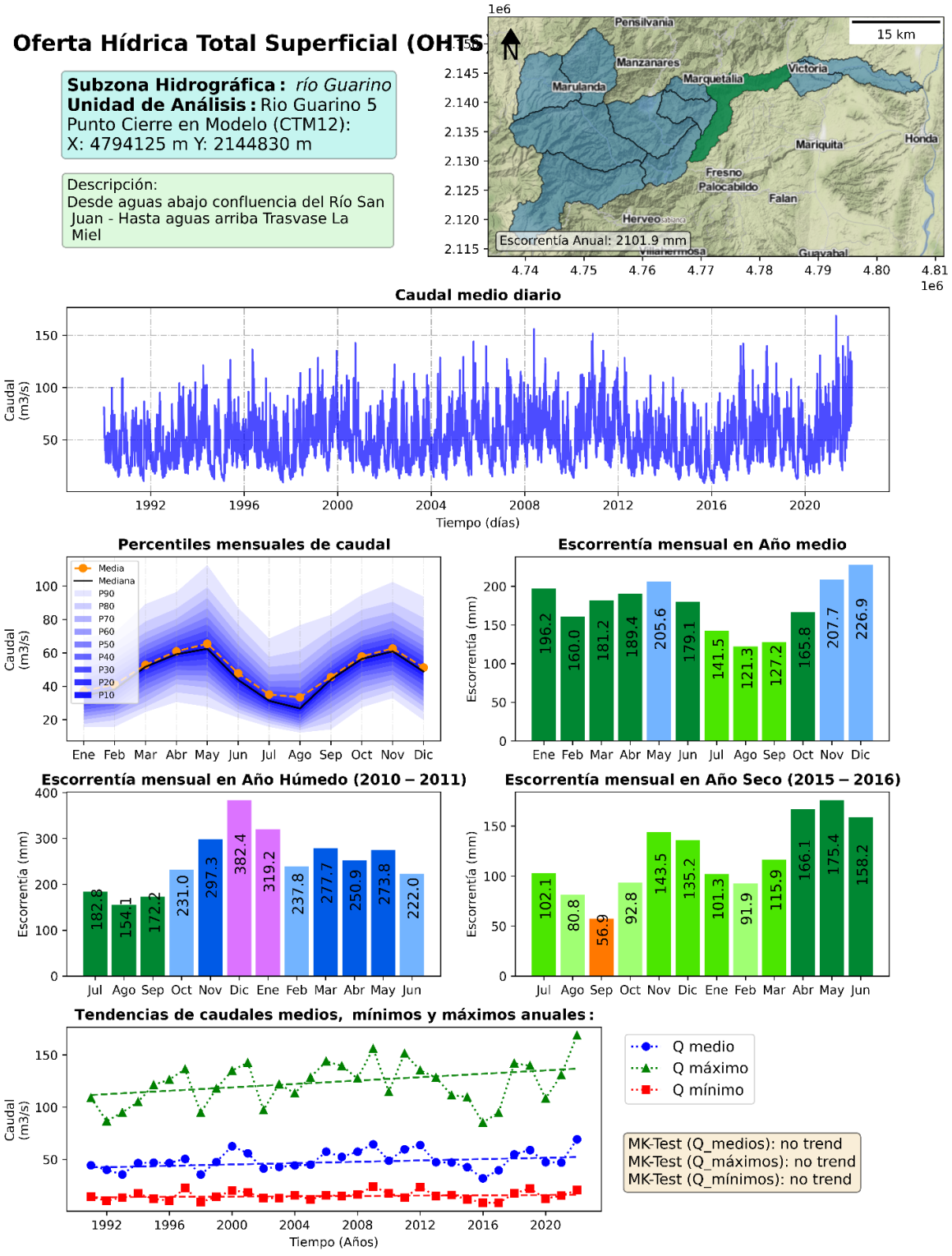


Figura 226. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 5

14.6. Unidad de Análisis: río Guarinó 6

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 120.3, 203.2 y 87.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 117.7 % de aumento, un 198.8 % de aumento, y un 85.1 % de reducción en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 80.8, 92.7 y 42.1 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 79.1, 90.7 y 41.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 227*). La escorrentía anual es de 3,220.4 mm, con valores máximos mensuales de 322.2, 544.2, y 225.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 228*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
52.66	**27.94**	**24.72**	**74.93**	**27.94**	**46.99**	**31.90**	**13.89**	**18.01**

Tabla 124. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 6

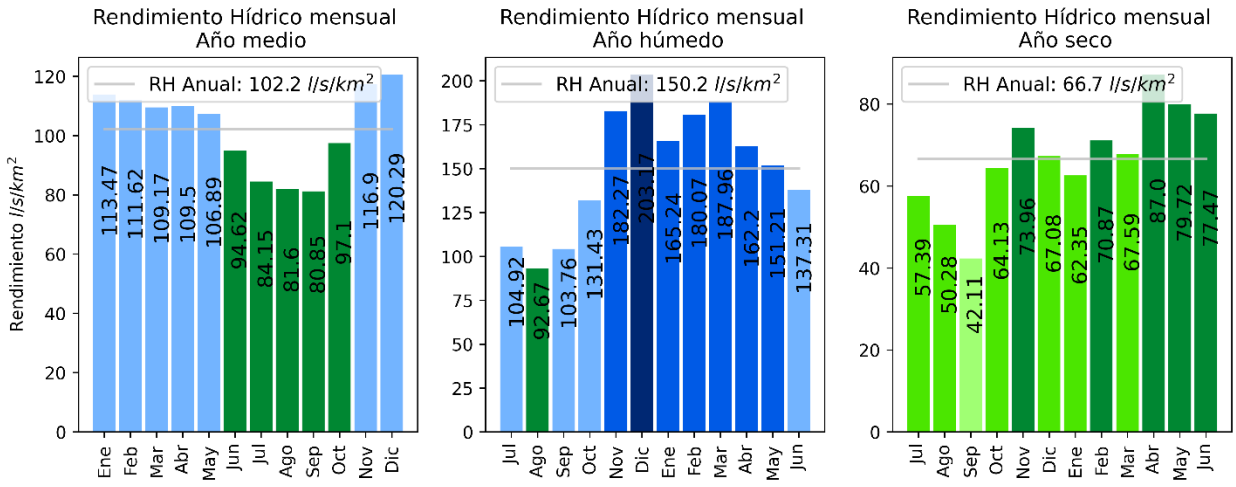


Figura 227. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 6

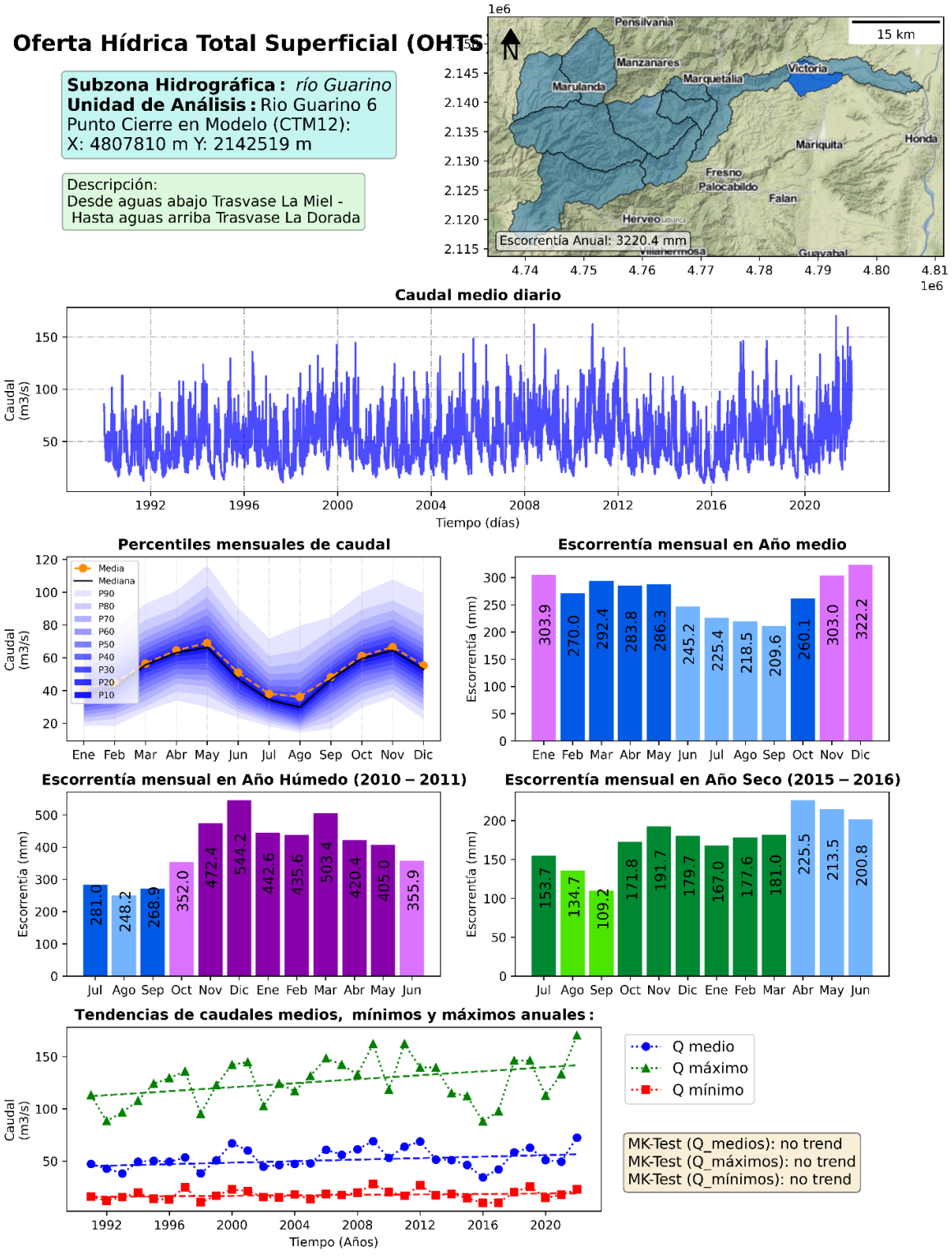


Figura 228. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 6

14.7. Unidad de Análisis: río Guarinó 7

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 138.0, 257.5 y 110.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 183.2 % de aumento, un 341.9 % de aumento, y un 147.0 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 25.3, 41.1 y 6.2 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 33.6, 54.5 y 8.2 % con relación al valor medio anual (*Figura 229*). La escorrentía anual es de 2,375.6 mm, con valores máximos mensuales de 357.7, 667.5, y 287.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos y medios anuales, y no se presentan tendencias en los caudales mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 230*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
56.56	**28.91**	**27.65**	**80.77**	**28.91**	**51.86**	**34.54**	**14.19**	**20.35**

Tabla 125. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Guarinó 7

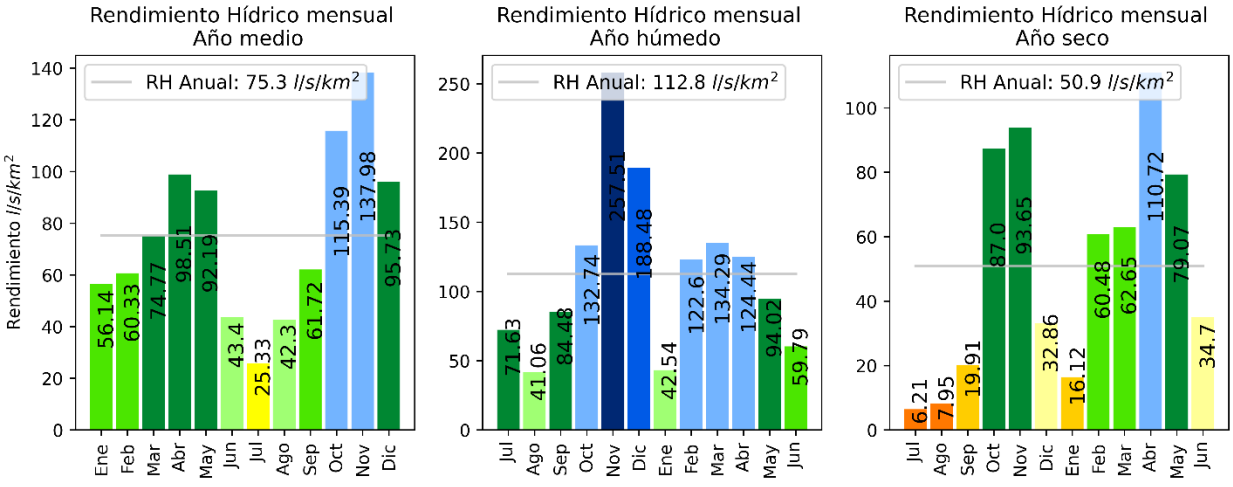


Figura 229. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 7

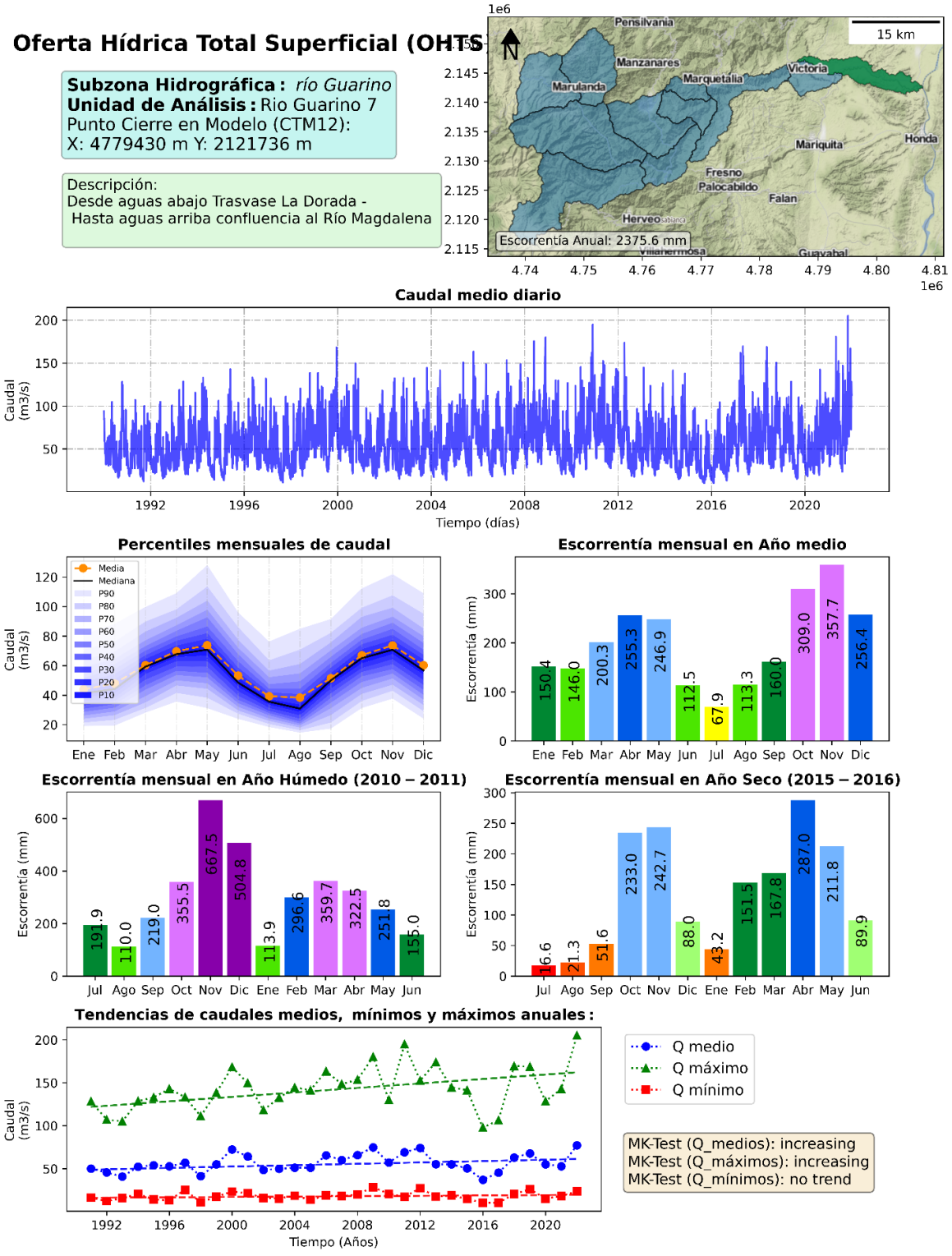


Figura 230. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Guarinó 7

14.8. Unidad de Análisis: río Hondo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 86.3, 130.7 y 65.1 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 144.1 % de aumento, un 218.1 % de aumento, y un 108.7 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 32.8, 38.3 y 7.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 54.7, 63.9 y 12.8 % con relación al valor medio anual (*Figura 231*). La escorrentía anual es de 1,891.1 mm, con valores máximos mensuales de 231.2, 338.7, y 174.5 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 232*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
5.09	**1.84**	**3.25**	**7.03**	**1.84**	**5.19**	**2.98**	**0.74**	**2.24**

Tabla 126. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Hondo

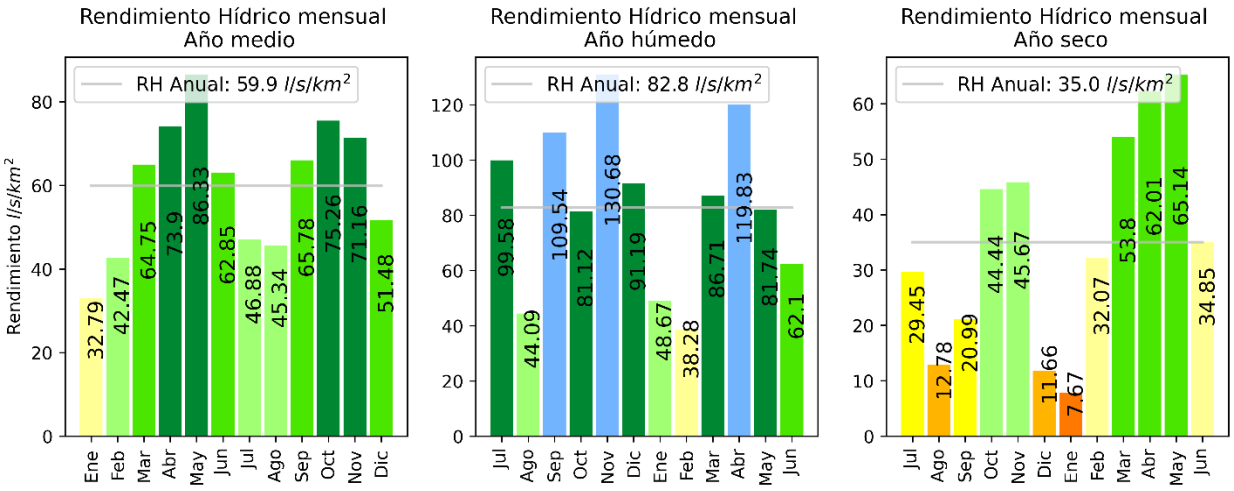


Figura 231. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Hondo

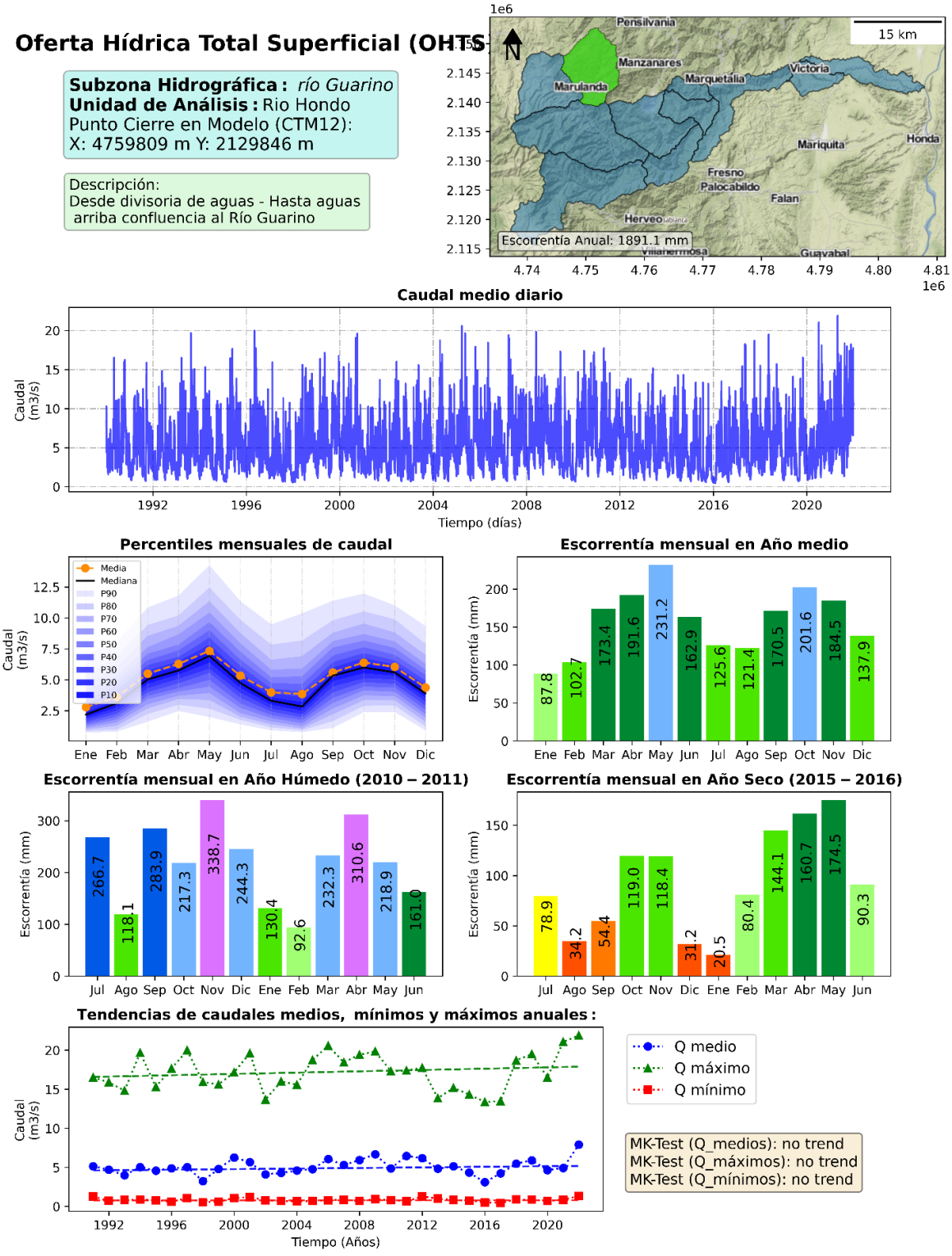


Figura 232. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Hondo

14.9. Unidad de Análisis: río Perrillo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 76.8, 128.4 y 63.7 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 137.9 % de aumento, un 230.4 % de aumento, y un 114.4 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 33.6, 36.8 y 8.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.3, 66.0 y 15.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 233*). La escorrentía anual es de 1,757.7 mm, con valores máximos mensuales de 204.4, 332.9, y 165.2 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 234*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
8.96	**3.41**	**5.56**	**12.78**	**3.41**	**9.38**	**5.26**	**1.43**	**3.83**

Tabla 127. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Perrillo

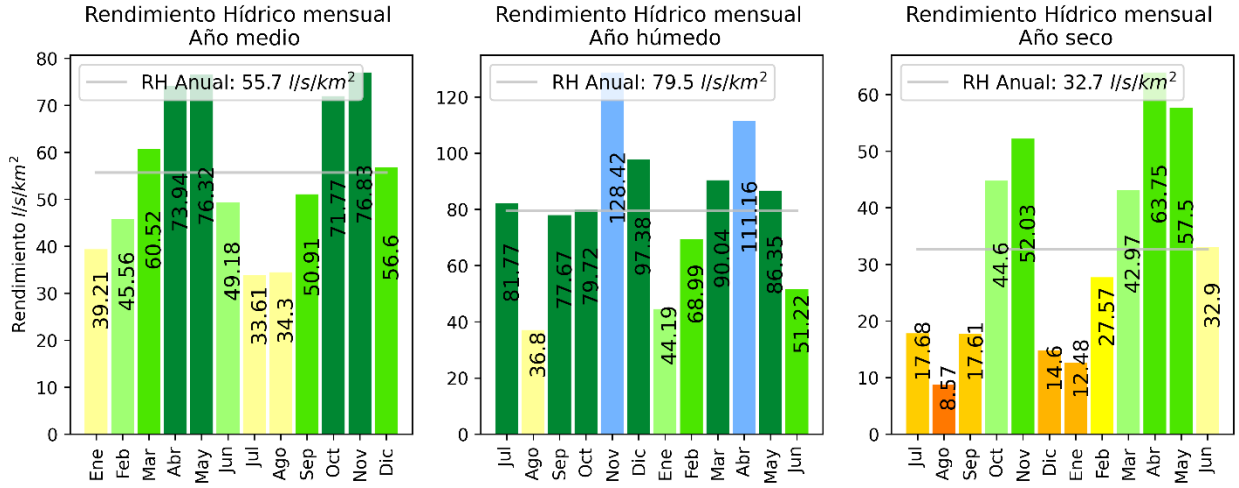


Figura 233. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Perrillo

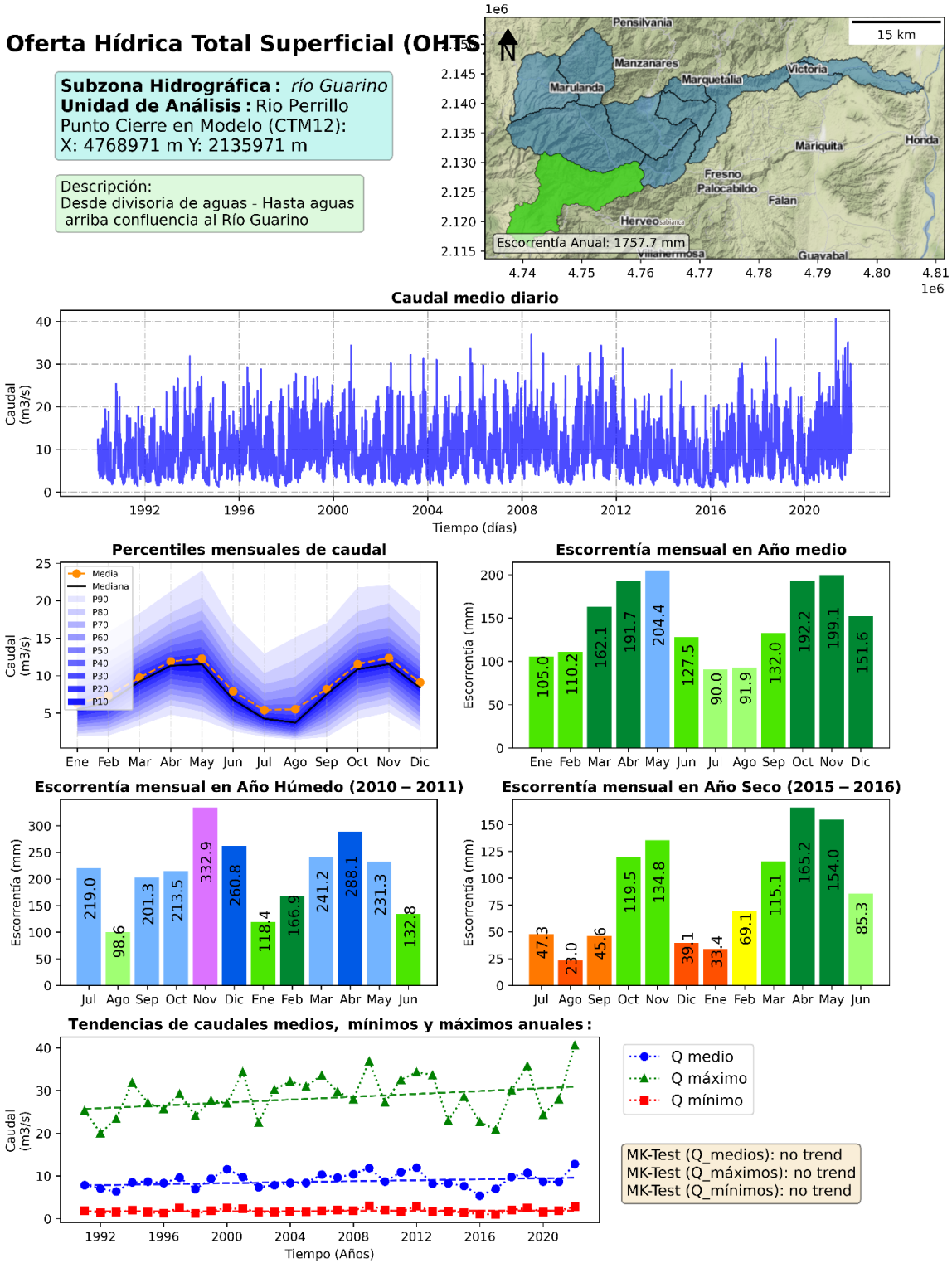


Figura 234. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Perrillo

14.10. Unidad de Análisis: río San Juan

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 104.8, 189.3 y 94.0 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 126.2 % de aumento, un 228.0 % de aumento, y un 113.3 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 51.8, 71.9 y 24.6 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 62.4, 86.6 y 29.7 % con relación al valor medio anual (*Figura 235*). La escorrentía anual es de 2,617.5 mm, con valores máximos mensuales de 274.7, 507.1, y 251.9 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 236*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
1.66	**0.95**	**0.71**	**2.50**	**0.95**	**1.55**	**1.13**	**0.54**	**0.59**

Tabla 128. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río San Juan

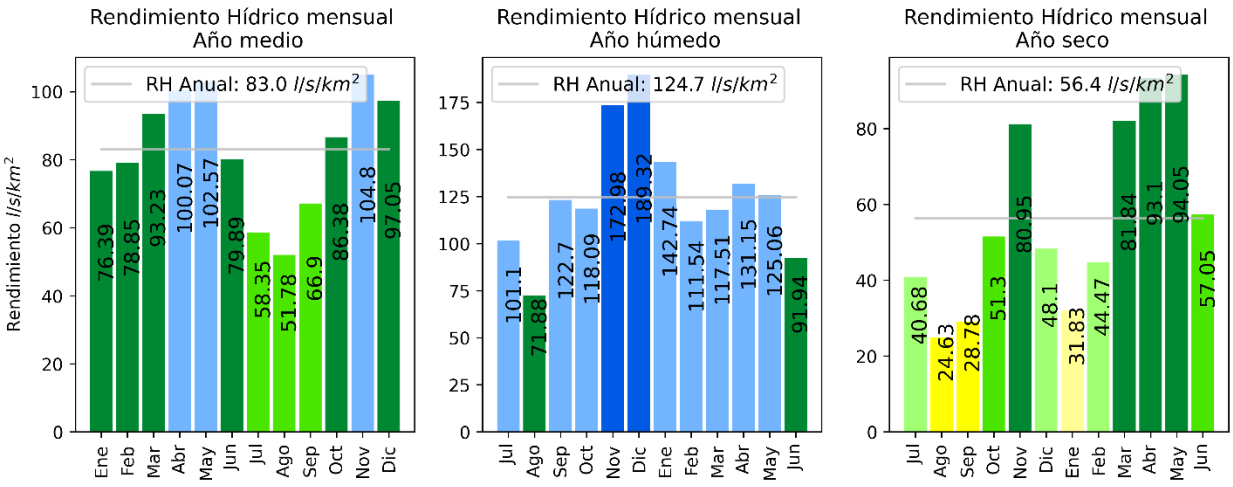


Figura 235. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río San Juan

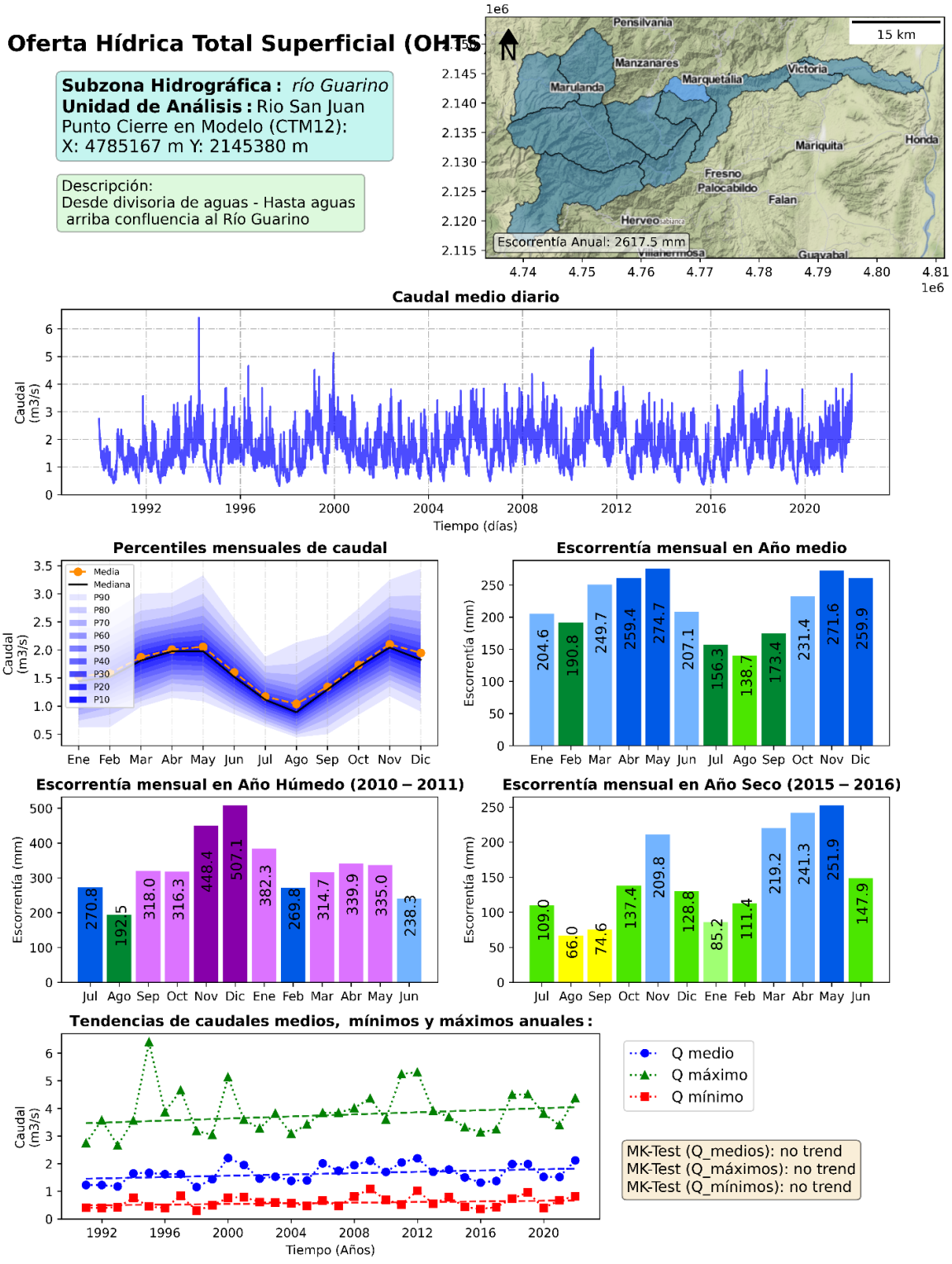


Figura 236. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río San Juan

14.11. Unidad de Análisis: río Santo Domingo

El rendimiento hídrico máximo mensual es de 101.8, 167.4 y 92.2 l/s/km2 para el año medio, año húmedo y año seco respectivamente, que representan un 136.6 % de aumento, un 224.7 % de aumento, y un 123.8 % de aumento en relación con el rendimiento hídrico medio anual. En contraste, el rendimiento hídrico mínimo mensual es de 45.3, 52.1 y 13.7 l/s/km2 respectivamente para cada año hidrológico, correspondiente a una variación de un 60.8, 69.9 y 18.4 % con relación al valor medio anual (*Figura 237*). La escorrentía anual es de 2,349.8 mm, con valores máximos mensuales de 263.8, 434.0, y 239.0 mm en año hidrológico medio, húmedo y seco. Para esta unidad no se presentan tendencias en los caudales máximos, medios y mínimos anuales según la prueba Mann-Kendall (*Figura 238*).

Año Medio			Año Húmedo			Año Seco		
OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)	OHTS (m^3/s)	CA (m^3/s)	OHTD (m^3/s)
6.61	**3.04**	**3.57**	**9.54**	**3.04**	**6.50**	**4.01**	**1.32**	**2.68**

Tabla 129. Oferta hídrica total superficial (OHTS), caudal ambiental (CA) y oferta hídrica total disponible (OHTD) para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco en la unidad río Santo Domingo

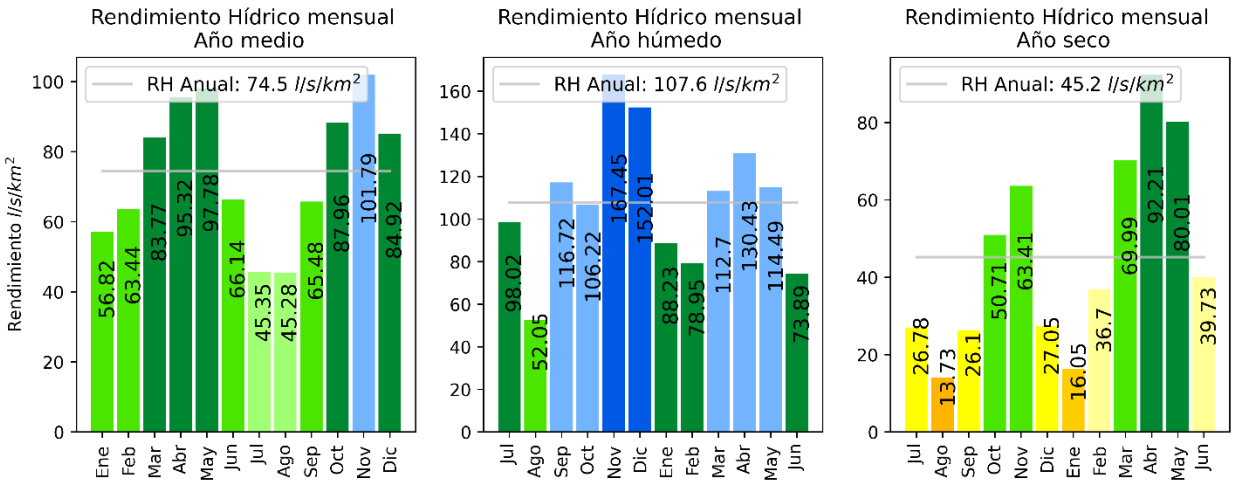


Figura 237. Rendimiento Hídrico de año medio, húmedo y seco en la unidad río Santo Domingo

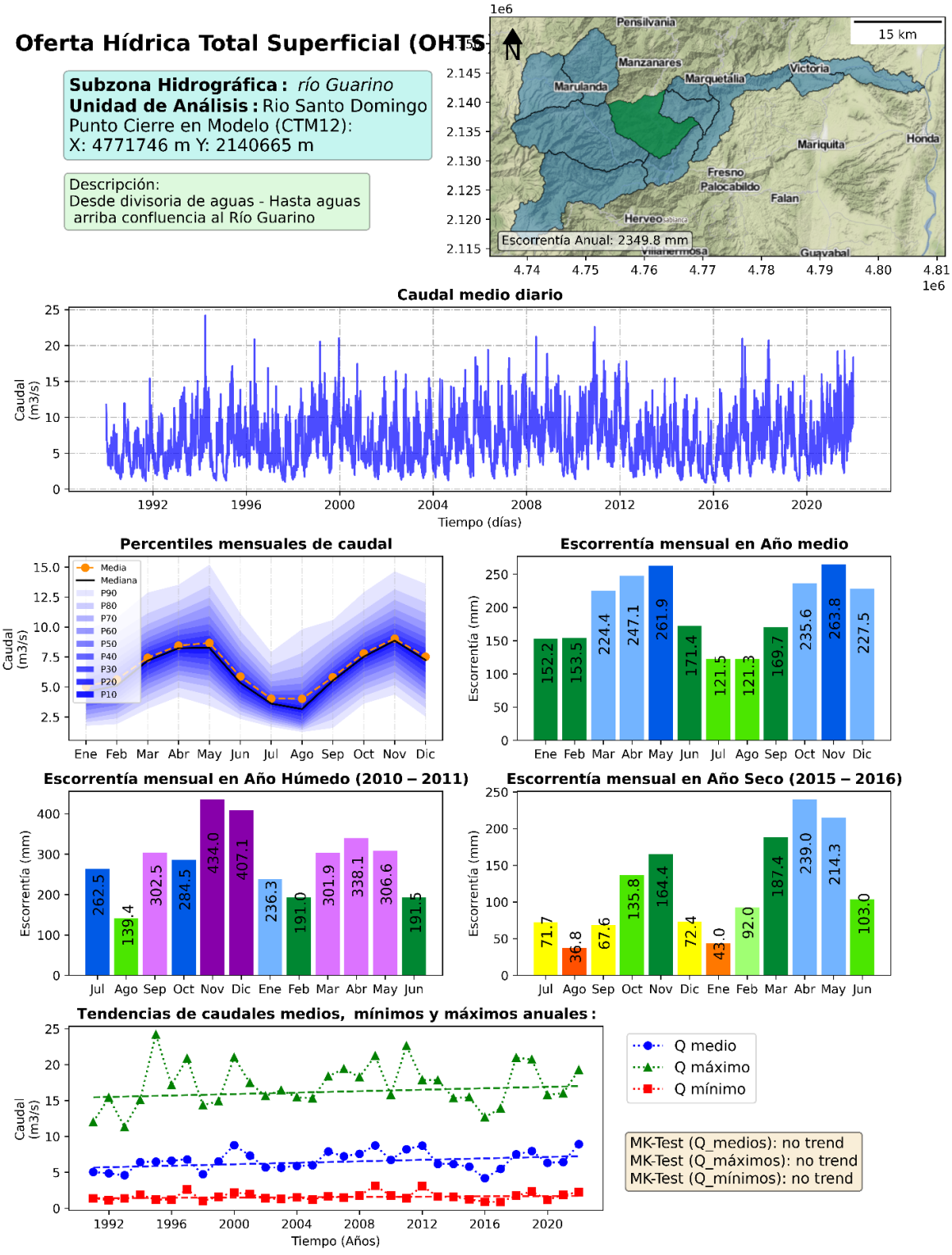


Figura 238. Oferta hídrica total superficial y escorrentía mensual para año medio, húmedo y seco en la unidad río Santo Domingo

15. Oferta Hídrica en Escenarios de Cambio Climático

En este apartado se describe el proceso para generar series climatológicas que incorporen escenarios de cambio climático, específicamente en precipitación y temperatura. Para tal fin, se implementó un software denominado ClimaData que incorpora una base de datos de información de precipitación y temperatura de estaciones a cargo del IDEAM y otras entidades. En este sentido, se describen conceptualmente los escenarios de cambio climático para el departamento del Tolima desde una perspectiva global y local. Se incluye el análisis de tendencias en series de precipitación y temperatura y su relación con escenarios de cambio climático reportados por el IDEAM (2017; 2015). Dicho análisis se realizó para las subzonas hidrográficas de los ríos: Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Guarinó, y Gualí, en el departamento del Tolima.

La evaluación del efecto regional del cambio climático inducido por actividades antrópicas, son fundamentales para determinar acciones políticas y administrativas. Sin embargo, el proceso de evaluación presenta múltiples dificultades, como la incertidumbre de la predicción regional del cambio climático, la especificación de modelos de respuesta ambiental apropiados, y la interpretación de los resultados del impacto en el contexto del futuro cambio en términos socioeconómicos y tecnológicos (Hulme et al., 1999).

La gran mayoría de los estudios que evalúa efectos del del cambio climático se enfoca en analizar cambios en el comportamiento del clima medio, dado que estos cambios son más robustos que los cambios en la variabilidad climática. Por lo tanto, se presenta una relación entre la variabilidad climática y la frecuencia de eventos extremos que producen aumentos en la variabilidad climática y a su vez, generan efectos sobre los sistemas productivos y la seguridad alimentaria en el futuro (Thornton et al., 2014). En este sentido, resulta importante comparar las tendencias de los diversos indicadores para ver si surgen tendencias físicamente consistentes en el comportamiento de la precipitación y la temperatura, ya que esto permite evaluar críticamente manifestación de efectos del cambio climático sobre el comportamiento de series climatológicas y series hidrométricas (Folland et al., 2002).

El cambio climático presenta grandes incertidumbres en la estimación de la disponibilidad y acceso al agua en el futuro, especialmente en las comunidades rurales donde se dispone de poca o ninguna información para la planificación de los recursos hídricos (Kisakye & Bruggen, 2018), lo cual conduce a la implementación de estrategias como el ahorro de agua y disponer de fuentes de agua segura, basa en sistemas de recolección de aguas lluvias (Márquez et al., 2021).

Se esperan impactos de largo plazo del cambio climático en la actividad económica en todos los países (Tol, 2009); modelos económicos de crecimiento estocástico reportan que la productividad se verá afectada por las desviaciones de la temperatura y la precipitación a largo plazo. En este sentido, a partir de reportes económicos en 174 países, se encontró que el crecimiento del producto real per cápita está siendo afectado adversamente por cambios en la temperatura por encima o por debajo de su media histórica. De manera que, cuando se presente un aumento persistente en la temperatura global promedio de 0.04° C por año, en ausencia de políticas de mitigación, se reduciría el PIB real per cápita mundial en más del 7% para 2100. Por otra parte, las simulaciones indican que aplicando las actuaciones acordadas en el Acuerdo de París, se limitaría el aumento de temperatura a 0,01°C por año, lo cual reduce la pérdida a el 1 % (Kahn et al., 2021).

15.1. Clasificación de condiciones climatológicas

La zona andina del Colombia presenta gran influencia de los océanos Pacífico y Atlántico, así como de la cuenca del Amazonas, lo que la hace sensible a los efectos de fenómenos climáticos como las Olas Tropicales del Este, la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), la Oscilación Madden-Julian (MJO) , y la Oscilación Multidecadal Atlántica (AMO) (Cerón et al., 2020).

En este contexto, el fenómeno del Niño y La Niña, es un fenómeno en el Océano Pacífico ecuatorial caracterizado por cinco anomalías consecutivas de temperatura en la superficie del Pacífico durante tres meses consecutivos en la región del Niño 3.4 que está por encima (por debajo) del umbral de + 0,5 ° C (-0,5 ° C), lo cual se conoce de forma estándar como Índice de Niño Oceánico (ONI) (Yan et al., 2020; Ren et al., 2019)y es una medida de la condición de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) para identificar la fase calidad (El Niño) que se caracteriza por la disminución en la presentación y su fase fría (La Niña), cuya manifestación produce incremento de las lluvias (Valdez-cepeda et al., 2020), cual es calculado mediante en análisis de la media móvil de la temperatura de tres meses detectadas en el pacífico ecuatorial con el sensor Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) (Bo et al., 2018).

En los últimos años, ha sido evidente que la región clave para las interacciones acopladas entre la atmósfera y el océano en ENOS está algo más al oeste, de manera que las correlaciones negativas del Índice de Oscilación del Sur (SOI) suavizado y la temperatura media del mar normalizada (SST) superan 0.5 ˚ a través de una región de aproximadamente 5 ˚ N-5 ˚ S, 120 ˚ - 170 ˚ W, lo cual se conoce como región Niño 3.4 (Fig. 1) y se reporta mensualmente por parte de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2021b) (Figura 197).

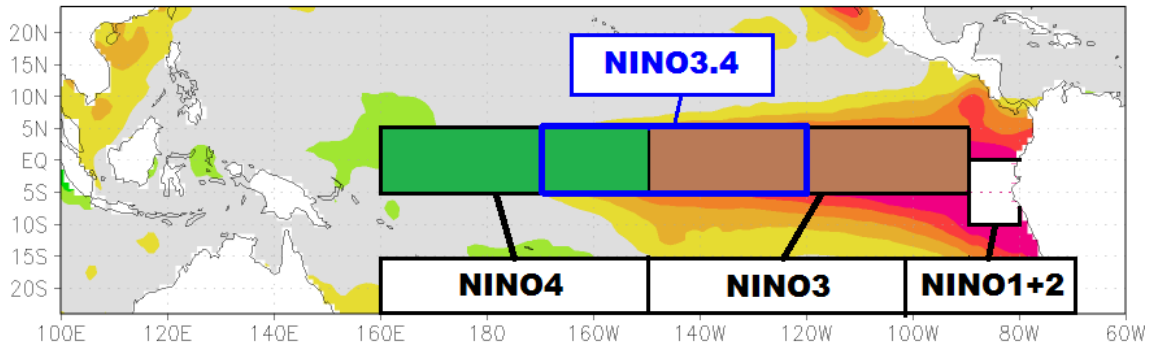


Figura 239. Regiones de monitoreo del Niño. Fuente: (Post et al., 2015)

Por lo tanto, el comportamiento del ONI región 3.4 permite la identificación de anomalías climáticas relacionadas con la ocurrencia del fenómeno del Niño y la Niña, de manera que a partir de su comportamiento es posible determinar los años secos, medios y húmedos, desde el punto de vista climático. De manera que la Niña más intensa registrada desde el año 1950 corresponde se presentó en el periodo 2010-2012, El Niño más fuente tuvo lugar en el periodo 2014-2016, mientras que pueden ser considerados los años de condiciones climáticas medias 1980; 1990 y 2013 (Tabla 99 y Figura 198).

Tabla 130. Comportamiento del ONI 3.4 periodo seco, húmedo y medio

Años	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0	-0.1	-0.1	0	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
2010	**1.5**	**1.2**	**0.8**	0.4	-0.2	**-0.7**	**-1**	**-1.3**	**-1.6**	**-1.6**	**-1.6**	**-1.6**
2011	**-1.4**	**-1.2**	**-0.9**	**-0.7**	**-0.6**	-0.4	**-0.5**	**-0.6**	**-0.8**	**-1**	**-1.1**	**-1**
2012	**-0.9**	**-0.7**	**-0.6**	**-0.5**	-0.3	0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0	0.2	0.2	0	0.1	0.2	**0.5**	**0.6**	**0.7**
2015	**0.5**	**0.5**	**0.5**	**0.7**	**0.9**	**1.2**	**1.5**	**1.9**	**2.2**	**2.4**	**2.6**	**2.6**
2016	**2.5**	**2.1**	**1.6**	**0.9**	0.4	-0.1	-0.4	**-0.5**	**-0.6**	**-0.7**	**-0.7**	**-0.6**

Fuente: (NOAA, 2021b). *Los períodos con anomalías de temperatura por debajo y por encima de lo normal se presentan en azul y rojo cuando se alcanza el umbral durante un mínimo de 5 temporadas consecutivas superpuestas.

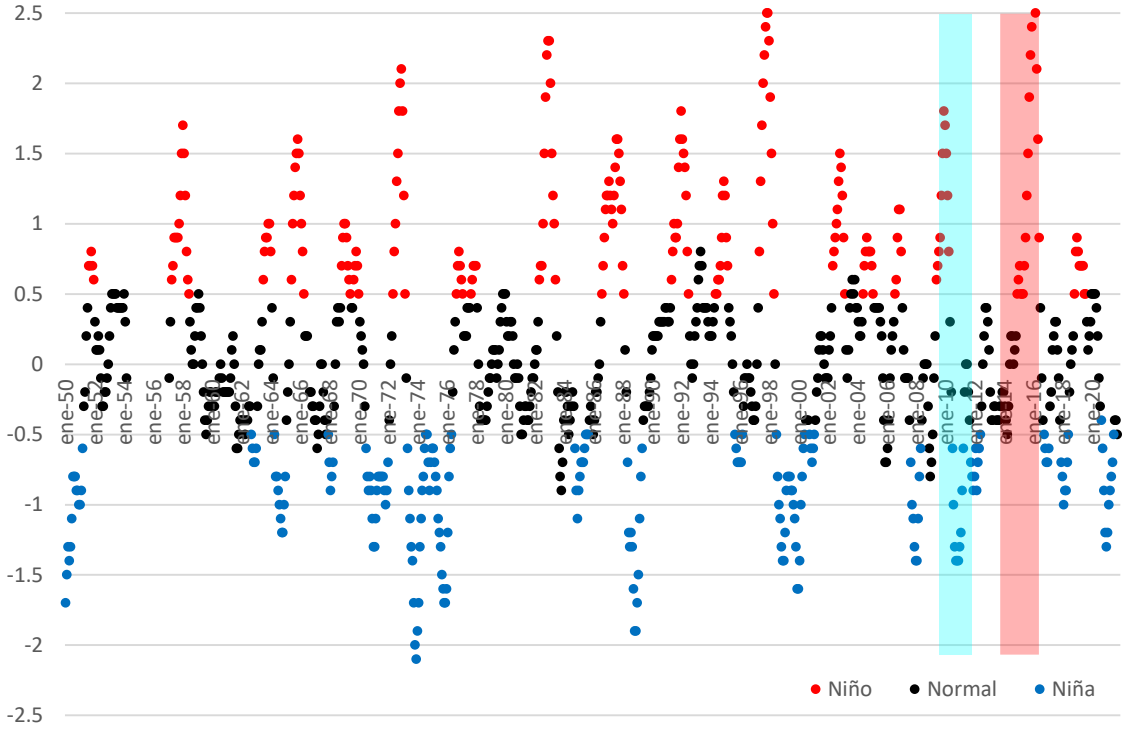


Figura 240. Comportamiento del ONI 3.4 periodo 1950-2021 a partir del reporte de NOAA (2021).

Con base en lo anterior, en Colombia el IDEAM (2013, 2019) ha propuesto metodológicamente la obtención de condiciones hidrológicas para años húmedos, secos y neutros bajo la siguiente conceptualización:

Año hidrológico húmedo: corresponde a la serie de caudales máximos mensuales multianuales provenientes de la serie de caudales medios mensuales, de manera que considerando el comportamiento del ONI 3.4 (Tabla 1), podría ser obtenido mediante modelación hidrológica con base en la precipitación y temperatura del periodo 2010-2012.

Año hidrológico seco: corresponde a la serie de caudales mínimos mensuales multianuales proveniente de la de caudales medios; los cuales se identifican con el año seco tipo, lo cual presenta correspondencia con las condiciones de precipitación y temperatura del periodo 2014-2016.

Año hidrológico medio: corresponde a la serie de caudales medios mensuales multianuales de proveniente de la serie de caudales medios, que pueden relacionarse con la condición de temperatura y precipitación de los años 1980; 1990 y 2013 (Tabla 1 y Fig. 2).

15.2. Escenarios de cambio climático para el Tolima

Tal como se indicó en el capítulo de Meteorología y Climatología, En el Tolima se reportan 296 estaciones climatológicas, de las cuales se encuentran activas 67 operadas por el IDEAM y 22 por parte de otras instituciones. En este sentido, las principales variables monitoreadas son la precipitación y la temperatura.

En las subzonas hidrográficas de los ríos: Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Gualí y Guarinó, se localizan 43 estaciones que monitorean la precipitación (Figura 199 y Tabla 100) y 30 la temperatura (Figura 200 y Tabla 101), las cuales disponen de observaciones a escala temporal diaria y con un periodo de registro mayor de 15 años.

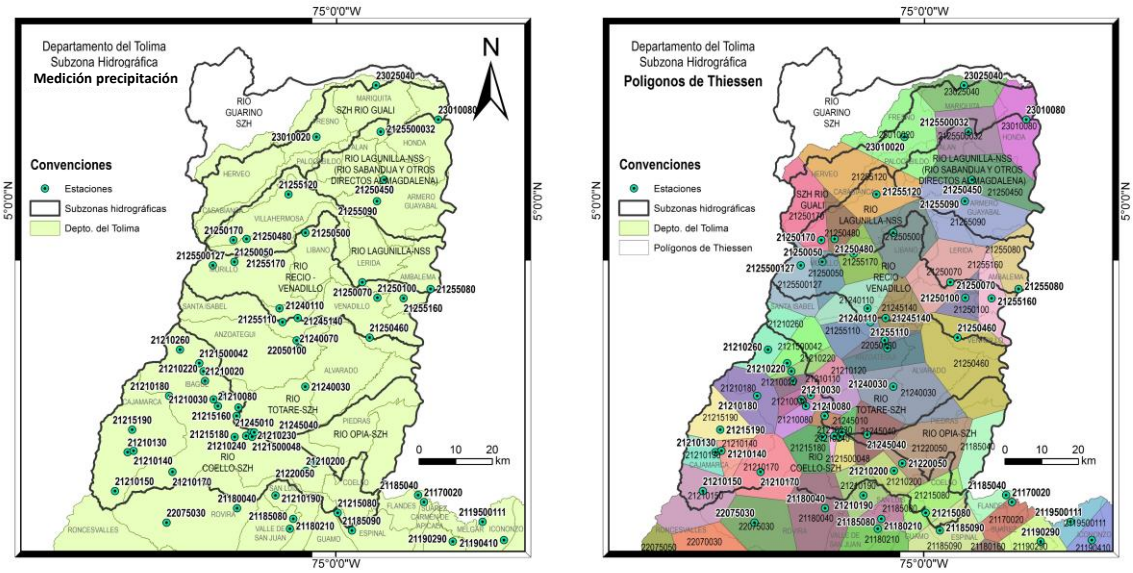


Figura 241. Estaciones que monitorean precipitación y áreas de Thiessen

Tabla 131. Estaciones con registros de precipitación

Código	Nombre	Tipo	Elevación (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Municipio
21210240	Interlaken	Pluviométrica	1174	4.4210278	-75.2205556	Ibagué
21210260	Silencio El	Pluviográfica	2500	4.6333333	-75.3833333	Ibagué
21215080	Chicoral	Climática Ordinaria	432	4.2315278	-74.9953611	Espinal
21215160	Cerros Noroccidentales - Aut	Climática Principal	1946	4.4703611	-75.2438611	Ibagué

Código	Nombre	Tipo	Elevación (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Municipio
21215180	Batallon Rooke - Aut	Climática Principal	1323	4.4183889	-75.2486667	Ibagué
21215190	Cajamarca - Aut	Climática Principal	2530	4.4356667	-75.5003611	Cajamarca
21210110	Placer El	Pluviográfica	2170	4.5209444	-75.2778889	Ibagué
21210120	Esmeralda La	Pluviográfica	1965	4.4909167	-75.2394167	Ibagué
21210130	Delicias Las	Pluviométrica	295	4.3803333	-75.51175	Cajamarca
21210140	Plan El	Pluviométrica	388	4.38375	-75.4968611	Cajamarca
21210150	Cascada La	Pluviométrica	3280	4.2843889	-75.5423333	Cajamarca
21210170	Palogrande Hacienda	Pluviométrica	2212	4.3318889	-75.4013333	Ibagué
21210180	Toche	Pluviográfica	1991	4.5195	-75.4098333	Ibagué
21210200	Buenos Aires	Pluviométrica	728	4.3351389	-75.0734444	Ibagué
21220050	Aceituno El	Pluviométrica	680	4.3534444	-75.0530556	Ibagué
21210020	Juntas Las	Pluviográfica	1765	4.5563056	-75.3216389	Ibagué
21210030	Pastales	Pluviográfica	1602	4.5110556	-75.3008333	Ibagué
21210080	Secreto El	Pluviográfica	1482	4.4942778	-75.2899444	Ibagué
21210220	Palmar El	Pluviográfica	2200	4.5801111	-75.3256667	Ibagué
21245040	Aeropuerto Perales	Sinóptica Secundaria	943	4.4241389	-75.1394167	Ibagué
21240030	San Juan De China	Pluviométrica	1980	4.5424444	-75.0753889	Ibagué
21240070	Anzoategui	Pluviométrica	1814	4.6375	-75.09	Anzoátegui
21255110	Santa Isabel	Climática Ordinaria	2817	4.70175	-75.1318333	Santa Isabel
21210230	Cruz Roja	Pluviométrica	1176	4.4297222	-75.20775	Ibagué
22050100	Guayabos Los	Pluviométrica	330	4.6565556	-75.0969444	Coyaima
21245010	Perales Hato Opia	Climática Ordinaria	826	4.4296667	-75.2005222	Ibagué
21240110	Bodega La	Pluviométrica	2670	4.7356111	-75.1389167	Santa Isabel
21250100	Estrella La	Pluviométrica	331	4.7618333	-74.8986944	Venadillo
21250500	Libano	Pluviométrica	1649	4.9218889	-75.0758611	Líbano
21250050	Alto Del Oso	Pluviométrica	3150	4.85	-75.25	Murillo
21250460	Venadillo	Pluviométrica	430	4.6638056	-74.91775	Venadillo
21255090	Armero Granja	Climática Principal	321	5	-74.8999917	Armero (Guayabal)
21250450	Potosi Hacienda	Pluviométrica	389	5.0530278	-74.8824722	Armero (Guayabal)
21250070	Sierra La	Pluviométrica	472	4.8001111	-74.9356944	Lérida
21255140	Quinta La	Climática Principal	429	4.8215	-74.9206389	Lérida
21255170	Murillo - Aut	Climática Principal	323	4.8705556	-75.1732778	Murillo
21250170	Boqueron	Pluviométrica	3740	4.9038889	-75.2527778	Villahermosa
21250480	Santa Barbara	Pluviométrica	3371	4.9066111	-75.2201944	Murillo
21255080	Salto El	Climática Principal	1139	4.78375	-74.7679444	Ambalema
21255120	Villahermosa	Climática Ordinaria	269	5.0168528	-75.1176111	Villahermosa
23025040	Albania	Climática Ordinaria	788	5.2856972	-74.9026389	Mariquita

Código	Nombre	Tipo	Elevación (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)	Municipio
23010020	Eden El	Pluviométrica	1670	5.1583889	-75.0489167	Fresno
23010080	Idema-Honda	Pluviométrica	2508	5.2014167	-74.7495833	Honda

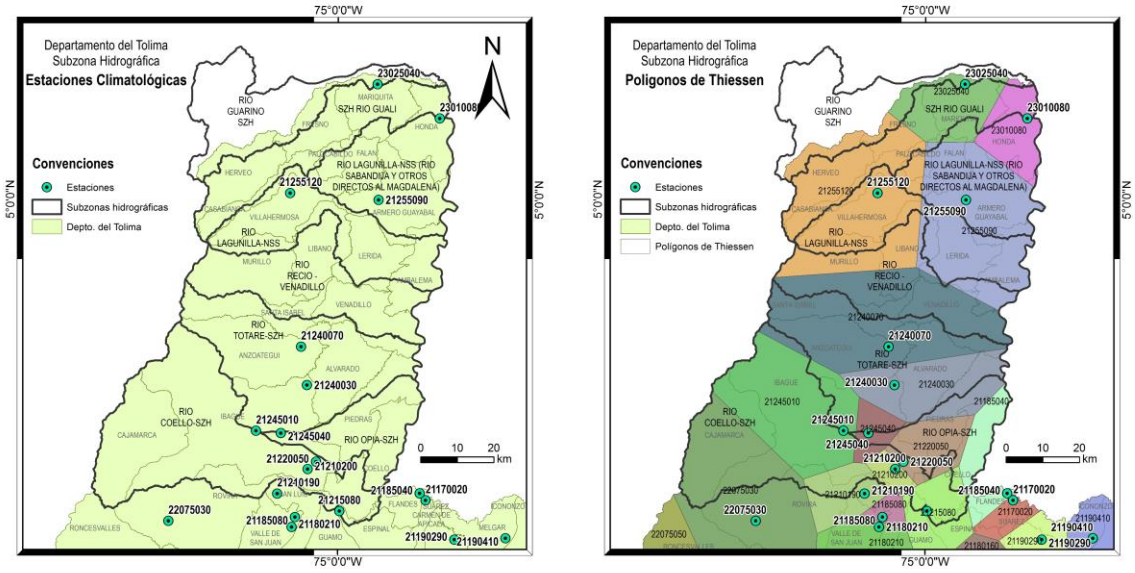


Figura 242. Estaciones que reportan temperatura y polígonos de Thiessen

Tabla 132. Estaciones con registros de temperatura

Código	Nombre	Tipo	Elevación (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Lontitud (°)	Municipio
21215080	Chicoral	Climática Ordinaria	432	4.2315278	-74.9953611	Espinal
21220050	Aceituno El	Pluviométrica	680	4.3534444	-75.0530556	Ibagué
21210200	Buenos Aires	Pluviométrica	728	4.3351389	-75.0734444	Ibagué
21210120	Esmeralda La	Pluviográfica	1965	4.4909167	-75.2394167	Ibagué
21210110	Placer El	Pluviográfica	2170	4.5209444	-75.2778889	Ibagué
21210080	Secreto El	Pluviográfica	1482	4.4942778	-75.2899444	Ibagué
21245040	Aeropuerto Perales	Sinóptica Secundaria	943	4.4241389	-75.1394167	Ibagué
21245010	Perales Hato Opia	Climática Ordinaria	826	4.4296667	-75.2005222	Ibagué
21255110	Santa Isabel	Climática Ordinaria	2817	4.70175	-75.1318333	Santa Isabel
21240070	Anzoategui	Pluviométrica	1814	4.6375	-75.09	Anzoátegui
21240030	San Juan De China	Pluviométrica	1980	4.5424444	-75.0753889	Ibagué
22050100	Guayabos Los	Pluviométrica	330	4.6565556	-75.0969444	Coyaima
21250460	Venadillo	Pluviométrica	430	4.6638056	-74.91775	Venadillo
21250100	Estrella La	Pluviométrica	331	4.7618333	-74.8986944	Venadillo
21250050	Alto Del Oso	Pluviométrica	3150	4.85	-75.25	Murillo

Código	Nombre	Tipo	Elevación (m.s.n.m.)	Latitud (°)	Lontitud (°)	Municipio
21245140	Santa Isabel	Meteorológica Especial	2288	4.7118611	-75.0944556	Santa Isabel
21240110	Bodega La	Pluviométrica	2670	4.7356111	-75.1389167	Santa Isabel
21250500	Libano	Pluviométrica	1649	4.9218889	-75.0758611	Líbano
21255090	Armero Granja	Climática Principal	321	5	-74.8999917	Armero
21250450	Potosi Hacienda	Pluviométrica	389	5.0530278	-74.8824722	Armero (Guayabal)
2.13E+09	Mariquita	Climática Ordinaria	440	5.1712472	-74.8913667	Mariquita
21255140	Quinta La	Climática Principal	429	4.8215	-74.9206389	
21255120	Villahermosa	Climática Ordinaria	269	5.0168528	-75.1176111	Villahermosa
21255080	Salto El	Climática Principal	1139	4.78375	-74.7679444	
21250480	Santa Barbara	Pluviométrica	3371	4.9066111	-75.2201944	Murillo
21250170	Boqueron	Pluviométrica	3740	4.9038889	-75.2527778	Villahermosa
21250070	Sierra La	Pluviométrica	472	4.8001111	-74.9356944	Lérida
23025040	Albania	Climática Ordinaria	788	5.2856972	-74.9026389	
23010080	Idema-Honda	Pluviométrica	2508	5.2014167	-74.7495833	Honda
23010020	Eden El	Pluviométrica	1670	5.1583889	-75.0489167	Fresno

Así mismo, se dispone de información satelital para la observación de precipitación proveniente de la Mision Global Precipitation Measurement -GPM- que conforma una constelación de nueve satélites, de manera que dichas observaciones pueden ser aprovechadas para análisis climatológicos, hidrológicos, relacionados con la gestión del riesgo e investigación (Tan & Santo, 2018), debido a la calidad de la información y su resolución espacio-temporal (Liu et al., 2017). En este sentido, el acceso a la información es abierto y es posible disponer de la información de forma sencilla y rápida. Dicha información se encuentra disponible en el Capítulo de Meteorología y Climatología.

En este contexto, a nivel global se han implementado modelos de circulación de escala planetaria, mediante los cuales se realizan las proyecciones del comportamiento del clima del Panel involucrando el efecto del cambio climático global por parte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007, 2012, 2013, 2014a, 2014b, 2016, 2018; Basso et al., 2001). De manera que con dichos reportes, múltiples organizaciones realizan análisis de nivel internacional, regional y local (Ej: (NOAA, 2018, 2021a, 2021b; et al., 2018; Bonnin et al., 2007)).

En Colombia se dispone de proyecciones sobre el comportamiento del clima para los periodos 2011-2040; 2041-2070; y 2071-2100 (IDEAM, 2015), las cuales

corresponden al análisis específico del reporte del IPCC (2016, 2018) en escenarios RCP (Representative Concentration Pathways), los cuales se presentan en las Tablas 102-103 y son descritos por (Bjørnæs, 2013) como:

i. **RCP 2.6**: Aquí, el forzamiento radiativo alcanza 3,1 w / m2 antes de caer a 2,6 / m2 en 2100. Para alcanzar este nivel, se requieren ambiciosas reducciones de emisiones a lo largo del tiempo (Tabla 2).
ii. **RCP 4.5**: La propulsión por radiación se estabiliza después del año 2100 mediante reducciones de emisiones relativamente ambiciosas (Tabla 2).
iii. **RCP 6.0**: La propulsión por radiación se estabiliza después del año 2100 mediante el uso tecnologías y estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Tabla 2).
iv. **RCP 8.5**: cuando se proyecta que no se han iniciado más medidas políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se caracteriza por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero que conducen a altas concentraciones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo (Tabla 2).
v. **Ensamble**: este escenario ha sido propuesto por el IDEAM (2015) y corresponde al promedio de los cuatro RCP.

Tabla 133. Variaciones en temperatura y precipitación media para el departamento del Tolima según RCP y escala temporal

Periodo	Escenarios C.C. Tolima	Temperatura Media °C			Precipitación Media (%)		
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Anual	RCP 2.6	+ 0.89	+ 1.26	+ 1.22	+ 9.36	+ 13.20	+ 8.55
	RCP 4.5	+ 1.01	+ 1.79	+ 2.01	+ 10.89	+ 12.21	+ 14.25
	RCP 6.0	+ 0.88	+ 1.58	+ 2.32	+ 10.54	+ 13.11	+ 17.24
	RCP 8.5	+ 1.06	+ 2.23	+ 3.68	+ 13.34	+ 18.56	+ 18.72
Trimestre DEF	RCP 2.6	+ 0.98	+ 1.32	+ 1.37	- 6.73	- 4.23	- 5.39
	RCP 4.5	+ 1.15	+ 1.88	+ 2.22	- 6.13	- 3.32	+ 0.03
	RCP 6.0	+ 1.05	+ 1.69	+ 2.58	- 6.11	- 1.86	+ 2.49
	RCP 8.5	+ 1.20	+ 2.47	+ 3.94	- 6.99	- 2.24	+ 6.47
Trimestre MAM	RCP 2.6	+ 0.92	+ 1.30	+ 1.26	+ 7.51	+ 10.45	+ 8.90
	RCP 4.5	+ 1.02	+ 1.82	+ 2.04	+ 2.05	- 0.50	+ 3.62
	RCP 6.0	+ 0.90	+ 1.62	+ 2.42	+ 2.13	+ 5.86	+ 7.07
	RCP 8.5	+ 1.07	+ 2.32	+ 3.67	+ 5.51	+ 9.96	+ 14.36
Trimestre JJA	RCP 2.6	+ 0.94	+ 1.31	+ 1.28	+ 9.36	+ 20.50	+ 19.74
	RCP 4.5	+ 1.05	+ 1.81	+ 2.11	+ 10.89	+ 18.34	+ 19.74
	RCP 6.0	+ 0.90	+ 1.65	+ 2.51	+ 10.54	+ 18.46	+ 22.97
	RCP 8.5	+ 1.11	+ 2.38	+ 3.86	+ 13.34	+ 23.04	+ 21.25
Trimestre SON	RCP 2.6	+ 0.88	+ 1.21	+ 1.22	+ 7.86	+ 4.76	+ 3.36
	RCP 4.5	+ 0.99	+ 1.70	+ 1.99	+ 9.43	+ 4.42	+ 6.75
	RCP 6.0	+ 0.84	+ 1.53	+ 2.32	+ 11.17	+ 3.90	+ 3.30
	RCP 8.5	+ 1.04	+ 2.17	+ 3.55	+ 15.03	+ 8.42	- 2.29
	ENSAMBLE	+ 1.09	+ 1.98	+ 2.75	+ 14.62	+ 16.12	+ 16.32

Tabla 134. Variaciones en temperatura Máxima y mínima para el departamento del Tolima según RCP y escala temporal

Periodo	Escenarios C.C. Tolima	Temperatura Máxima °C			Temperatura Mínima °C		
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Anual	RCP 2.6	+ 1.00	+ 1.35	+ 1.31	+ 0.71	+ 1.03	+ 1.03
	RCP 4.5	+ 1.07	+ 1.91	+ 2.19	+ 0.81	+ 1.51	+ 1.86
	RCP 6.0	+ 0.98	+ 1.72	+ 2.55	+ 0.66	+ 1.36	+ 2.11
	RCP 8.5	+ 1.06	+ 2.47	+ 3.86	+ 0.83	+ 2.06	+ 3.45
DEF	RCP 2.6	+ 1.07	+ 1.37	+ 1.33	+ 0.82	+ 1.24	+ 1.22
	RCP 4.5	+ 1.16	+ 1.89	+ 2.24	+ 0.97	+ 1.79	+ 2.18
	RCP 6.0	+ 1.01	+ 1.87	+ 2.67	+ 0.76	+ 1.60	+ 2.45
	RCP 8.5	+ 1.24	+ 2.55	+ 4.01	+ 1.00	+ 2.40	+ 3.94
MAM	RCP 2.6	+ 0.97	+ 1.23	+ 1.19	+ 0.80	+ 1.13	+ 1.15
	RCP 4.5	+ 1.01	+ 1.87	+ 2.12	+ 0.90	+ 1.62	+ 1.93
	RCP 6.0	+ 0.85	+ 1.70	+ 2.60	+ 0.76	+ 1.43	+ 2.22
	RCP 8.5	+ 0.98	+ 2.41	+ 3.82	+ 0.91	+ 2.11	+ 3.45
JJA	RCP 2.6	+ 1.16	+ 1.55	+ 1.67	+ 0.80	+ 1.15	+ 1.12
	RCP 4.5	+ 1.42	+ 2.23	+ 2.59	+ 0.93	+ 1.71	+ 2.01
	RCP 6.0	+ 1.09	+ 2.06	+ 2.96	+ 0.78	+ 1.47	+ 2.24
	RCP 8.5	+ 1.34	+ 2.68	+ 4.41	+ 0.91	+ 2.18	+ 3.63
SON	RCP 2.6	+ 0.93	+ 1.28	+ 1.25	+ 0.72	+ 1.03	+ 1.00
	RCP 4.5	+ 1.02	+ 1.76	+ 2.11	+ 0.81	+ 1.51	+ 1.81
	RCP 6.0	+ 0.90	+ 1.61	+ 2.55	+ 0.71	+ 1.34	+ 2.10
	RCP 8.5	+ 1.13	+ 2.28	+ 3.78	+ 0.85	+ 1.98	+ 3.40

Con el propósito de generar series climatológicas que involucren las variaciones de precipitación y temperatura con respecto a los RCP definidos para el departamento del Tolima por parte del IDEAM (2015), se desarrolló una aplicación que podrá ser instalada en la intranet de Cortolima, la cual se denomina ClimaDatav1.0.

Clima Data incorpora una base de datos de precipitación y temperatura de las estaciones seleccionadas para este proyecto y permite generar series de precipitación, temperatura y evapotranspiración con propósitos de modelación y análisis ambientales. En este caso la evapotranspiración se obtiene mediante la aplicación de la ecuación de Turc (Turc, 1955, 1961a, 1961b), la cual ha sido aplicada ampliamente a nivel global y logra un alto grado de aproximación de la evapotranspiración en la zona andina de Colombia (Poveda et al., 2007). La aplicación permite generar series diarias de precipitación y temperatura incorporando las variaciones del cambio climático, las cuales son descritas en

detalle en la Tercera Comunicación de Cambio Climático del IDEAM (IDEAM et al., 2015a, 2015b, 2017). Dicha aplicación se encuentra disponible en el Anexo A de este Capítulo.

15.3. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Coello

15.3.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Toche

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en junio con un valor de 8.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 3.7 m^3/s (*Tabla 135*). Se observa un aumento del 22.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 243*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.2	3.7	4.5	6.1	8.3	8.4	7.0	5.8	5.9	6.7	7.2	6.2

Tabla 135. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Toche

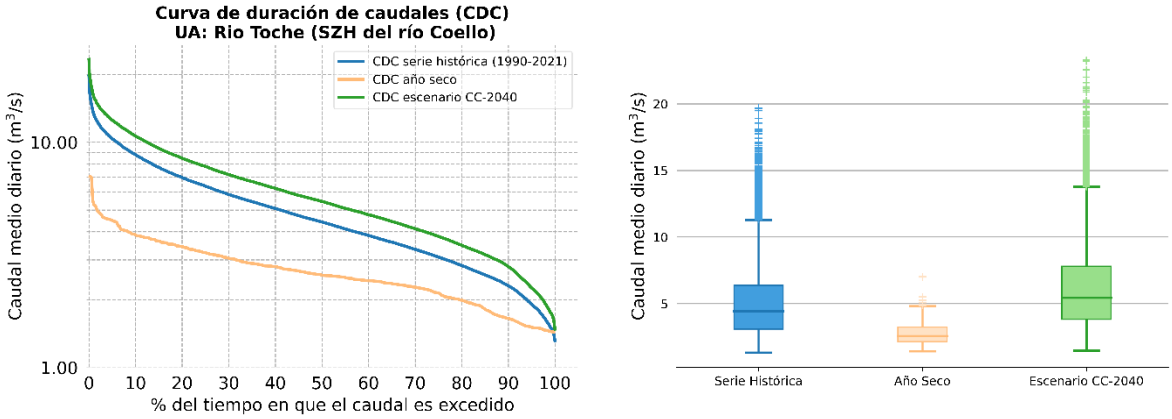


Figura 243. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Toche. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en junio con un valor de 12.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 5.5 m^3/s (*Tabla 136*). Se observa un aumento del 22.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 244*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.3	5.5	6.6	8.9	11.9	12.1	10.3	8.6	8.7	9.9	10.4	8.9

Tabla 136. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 1

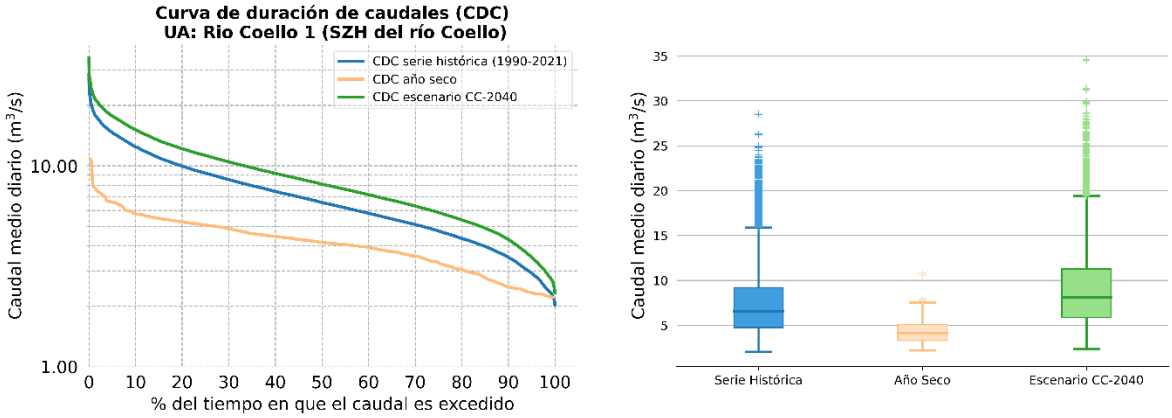


Figura 244. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Bermellon 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en el mes de mayo con un valor de 3.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 1.3 m^3/s (*Tabla 137*). Se observa un aumento del 27.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 245*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.6	1.3	1.6	2.6	3.7	3.6	2.6	1.9	1.8	2.2	2.7	2.4

Tabla 137. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Bermellon 1

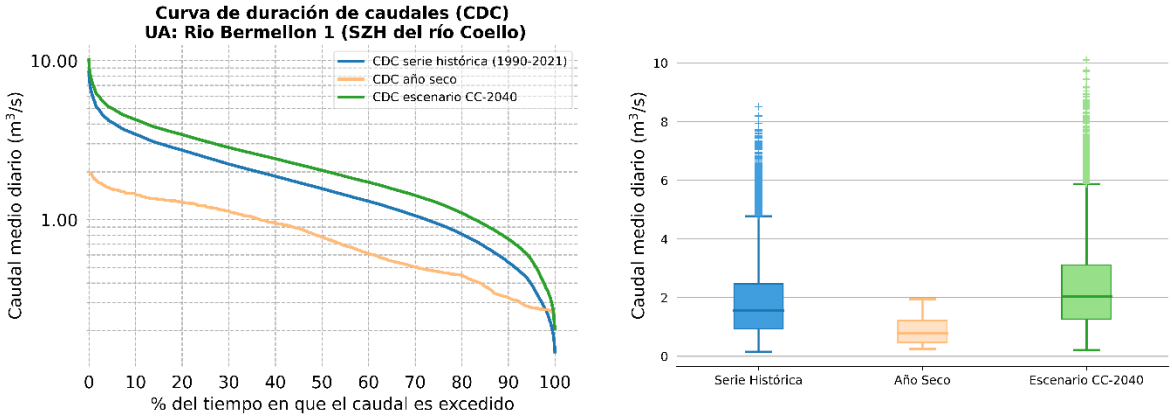


Figura 245. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Bermellon 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Anaime

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 8.6 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 3.7 m^3/s (*Tabla 138*). Se observa un aumento del 24.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.3% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 246*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.4	3.7	4.4	6.5	8.6	8.3	6.7	5.3	4.8	5.3	6.3	6.0

Tabla 138. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Anaime

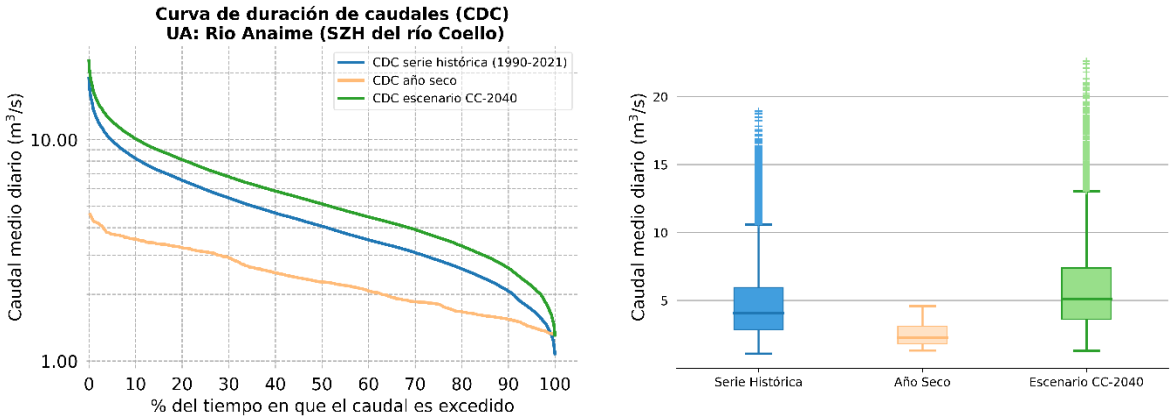


Figura 246. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Anaime. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Bermellon 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 13.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 5.7 m^3/s (*Tabla 139*). Se observa un aumento del 25.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 247*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.7	5.7	6.8	10.1	13.4	13.2	10.5	8.1	7.5	8.5	10.0	9.3

Tabla 139. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Bermellon 2

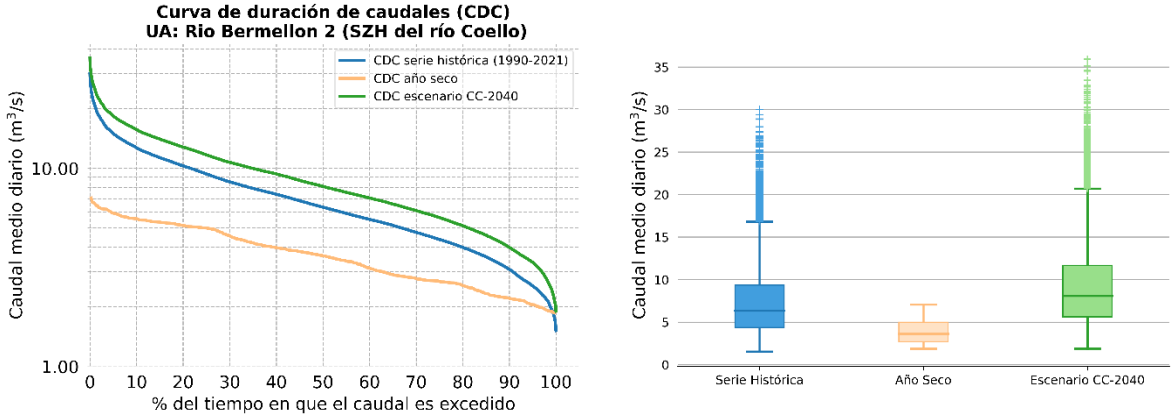


Figura 247. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Bermellon 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 27.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 12.5 m^3/s (*Tabla 140*). Se observa un aumento del 23.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 248*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
14.4	12.5	14.7	20.7	27.2	27.1	22.5	18.2	17.8	20.0	22.1	19.8

Tabla 140. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 2

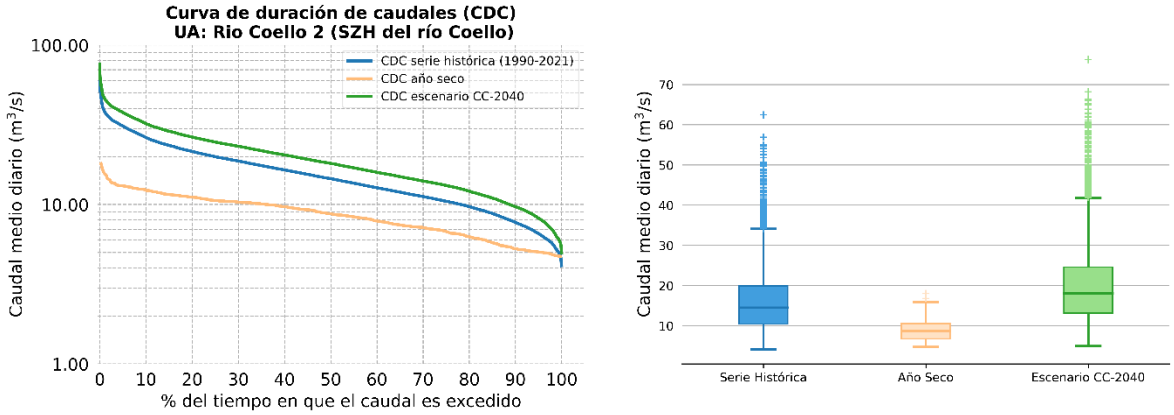


Figura 248. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Cocora

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 6.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 2.9 m^3/s (*Tabla 141*). Se observa un aumento del 23.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.1% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 249*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.2	2.9	3.6	5.1	6.3	6.3	5.2	4.2	4.0	4.4	4.7	4.2

Tabla 141. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Cocora

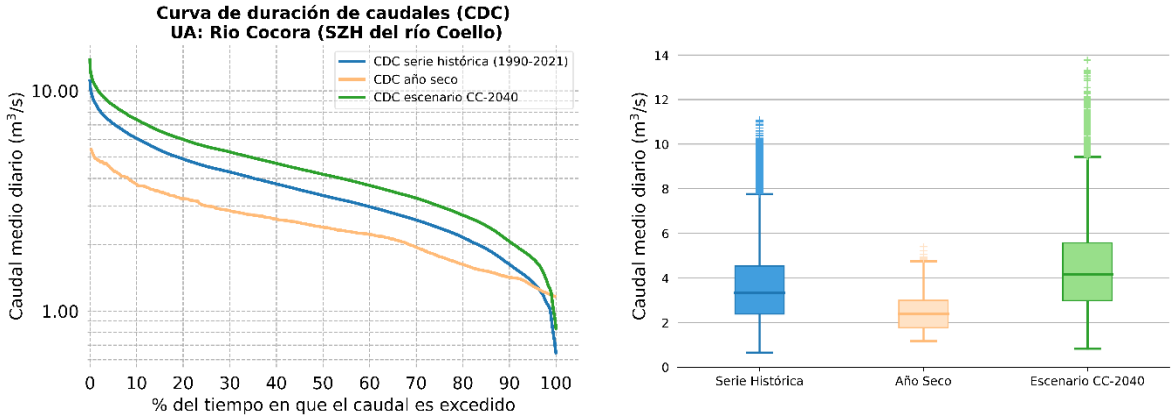


Figura 249. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Cocora. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.5. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 44.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 21.9 m^3/s (*Tabla 142*). Se observa un aumento del 23.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 250*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
24.7	21.9	25.5	35.2	44.3	43.1	35.5	28.9	28.3	32.3	35.7	32.5

Tabla 142. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 3

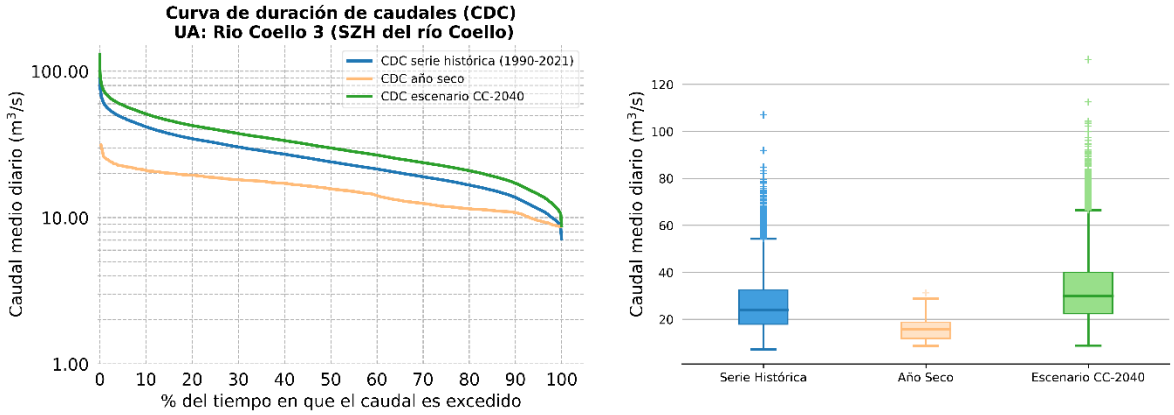


Figura 250. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.6. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 1.6 m^3/s (*Tabla 143*). Se observa un aumento del 22.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 251*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.8	1.6	2.5	3.8	5.3	5.3	4.2	3.5	3.8	4.3	4.2	3.1

Tabla 143. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 1

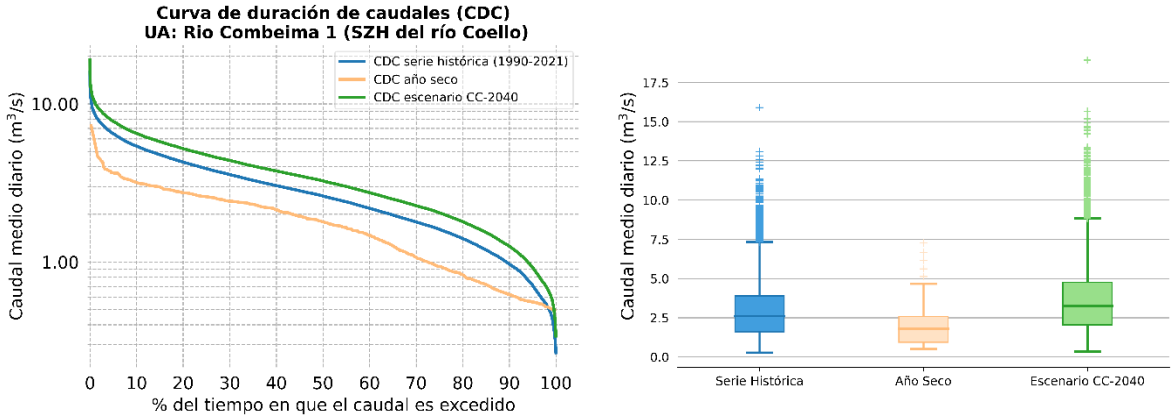


Figura 251. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.7. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 10.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 4.4 m^3/s (*Tabla 144*). Se observa un aumento del 22.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.3% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 252*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.8	4.4	5.8	8.2	10.4	10.1	8.3	7.0	7.7	8.9	8.6	6.9

Tabla 144. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 2

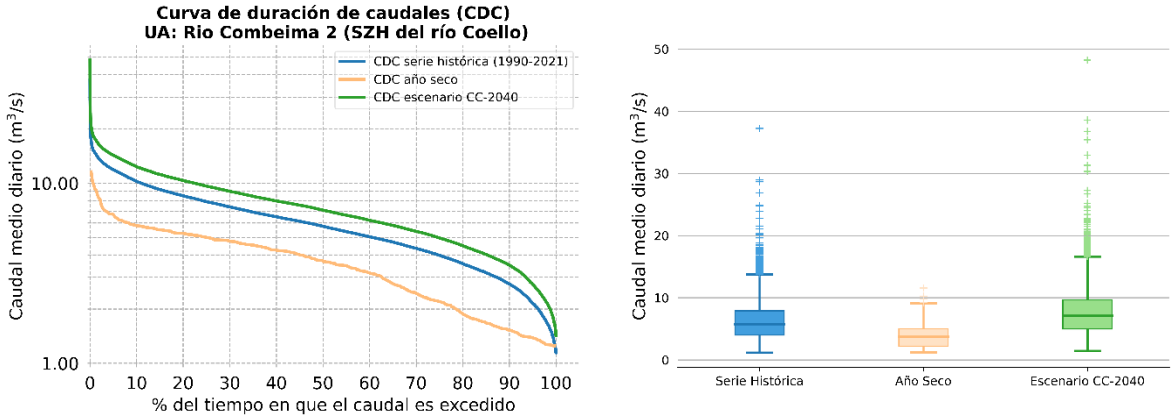


Figura 252. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.8. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 12.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 5.5 m^3/s (*Tabla 145*). Se observa un aumento del 22.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 253*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5.9	5.5	7.1	9.9	12.1	11.5	9.4	8.0	8.8	10.3	10.2	8.2

Tabla 145. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 3

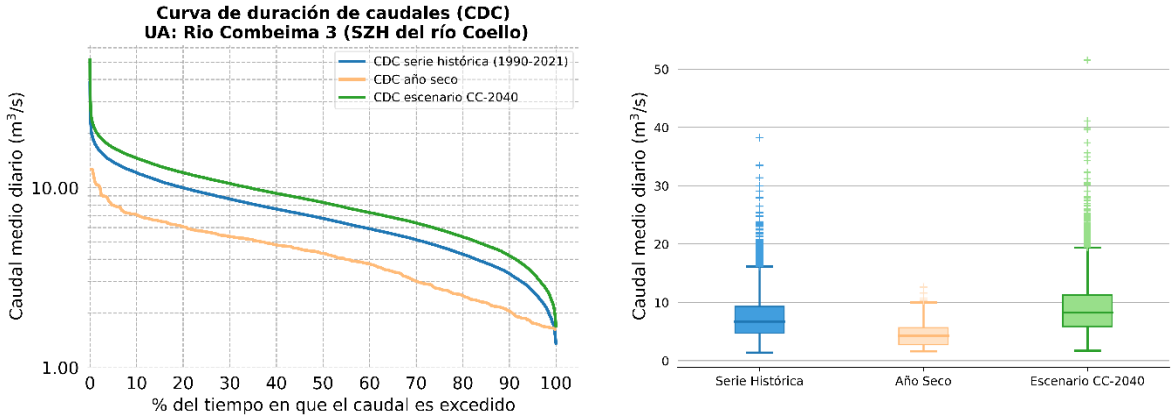


Figura 253. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.9. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Combeima 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 13.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 6.1 m^3/s (*Tabla 146*). Se observa un aumento del 22.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 254*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.4	6.1	7.9	11.1	13.3	12.2	9.9	8.5	9.5	11.2	11.1	8.9

Tabla 146. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Combeima 4

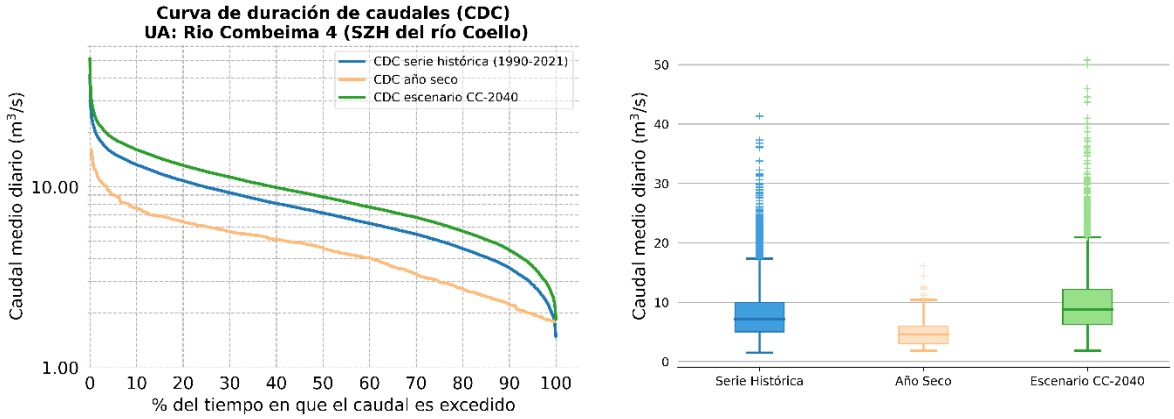


Figura 254. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Combeima 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.10. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 61.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 29.7 m^3/s (*Tabla 147*). Se observa un aumento del 23.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 21.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 255*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
32.5	29.7	35.7	50.3	61.2	57.2	46.9	39.0	40.1	46.2	49.3	43.0

Tabla 147. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 4

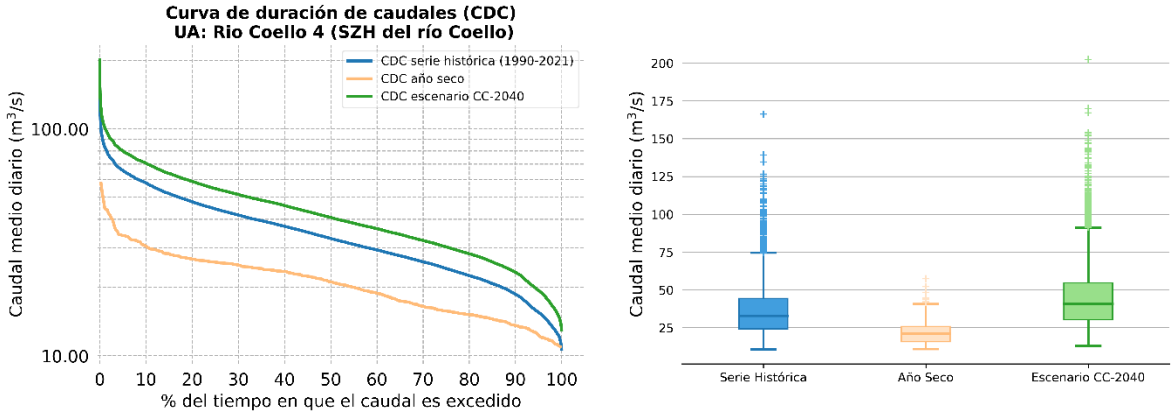


Figura 255. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.11. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Gualanday

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en abril con un valor de 3.5 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 0.7 m^3/s (*Tabla 148*). Se observa un aumento del 27.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.1% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 256*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.7	1.0	1.9	3.5	3.5	1.5	0.9	0.9	1.9	2.1	1.7	1.0

Tabla 148. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Gualanday

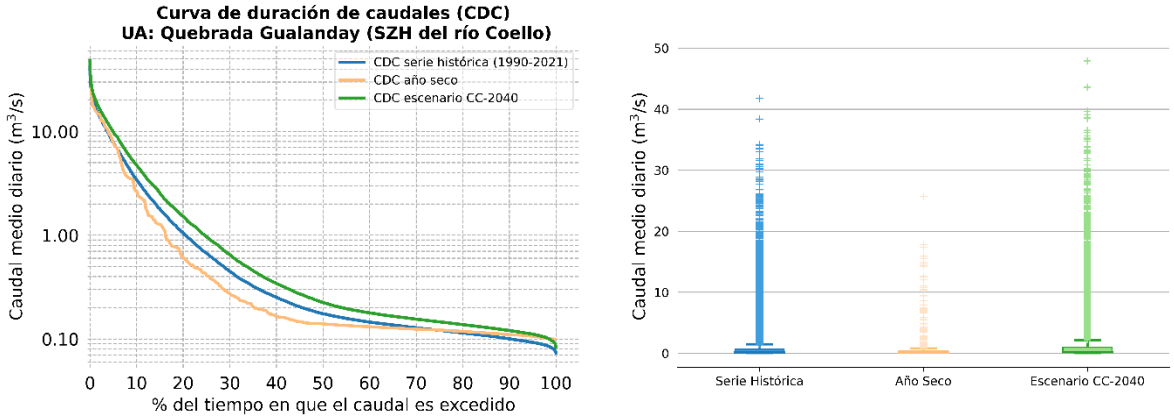


Figura 256. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Gualanday. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.12. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 5

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 68.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 32.2 m^3/s (*Tabla 149*). Se observa un aumento del 23.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 21.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 257*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
34.6	32.2	40.3	57.1	68.0	60.6	49.2	41.2	43.8	51.1	53.5	45.8

Tabla 149. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 5

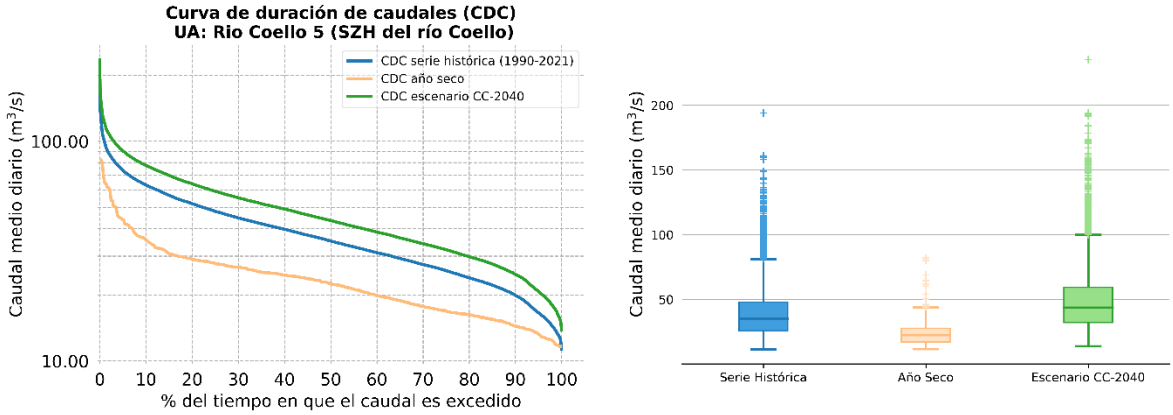


Figura 257. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.13. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Chaguala

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en abril con un valor de 3.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 1.4 m^3/s (*Tabla 150*). Se observa un aumento del 26.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 29.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 258*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.4	1.5	2.4	3.2	3.2	1.9	1.5	1.4	1.9	2.3	2.2	1.6

Tabla 150. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Chaguala

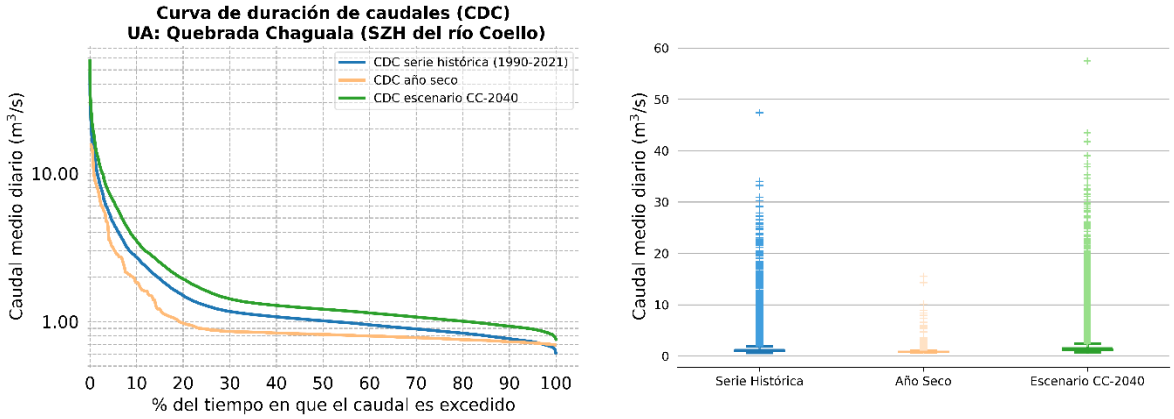


Figura 258. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Chaguala. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.3.14. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Coello 6

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 71.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 33.8 m^3/s (*Tabla 151*). Se observa un aumento del 23.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 22.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 259*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
36.0	33.8	42.8	60.5	71.3	62.6	50.7	42.6	45.7	53.5	55.8	47.5

Tabla 151. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Coello 6

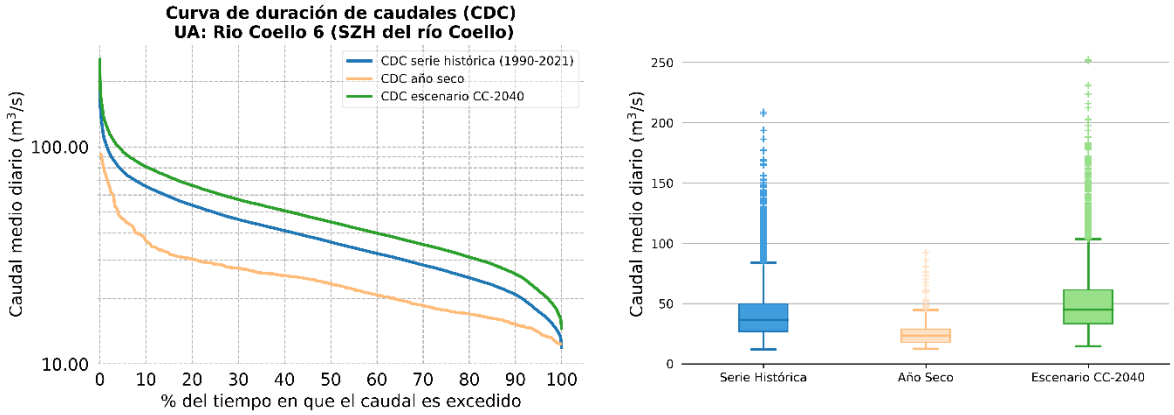


Figura 259. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Coello 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Totare

15.4.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 2.6 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 0.7 m^3/s (*Tabla 152*). Se observa un aumento del 24.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 260*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.7	0.7	1.3	2.1	2.6	1.9	1.2	0.9	1.1	1.7	1.9	1.4

Tabla 152. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 1

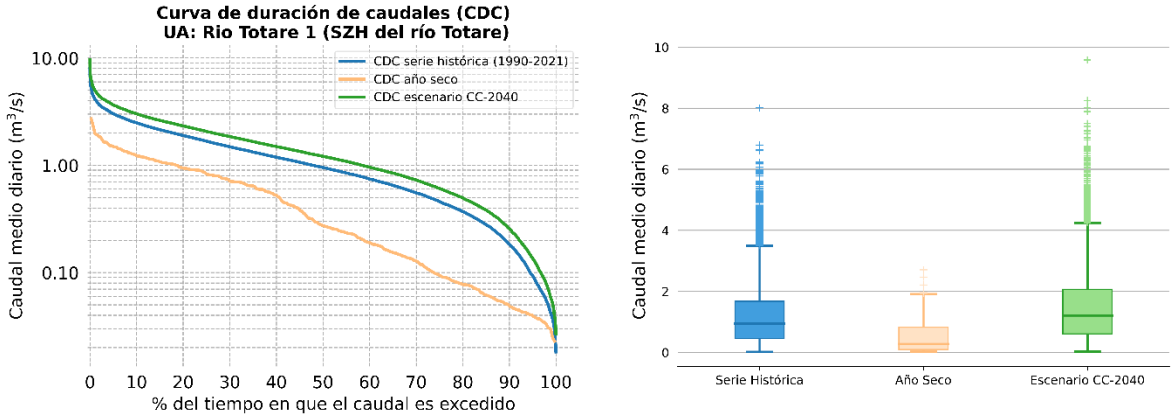


Figura 260. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totarito

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 2.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 0.7 m^3/s (*Tabla 153*). Se observa un aumento del 23.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 261*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.7	0.7	1.2	1.9	2.3	1.7	1.0	0.7	0.9	1.5	1.8	1.4

Tabla 153. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totarito

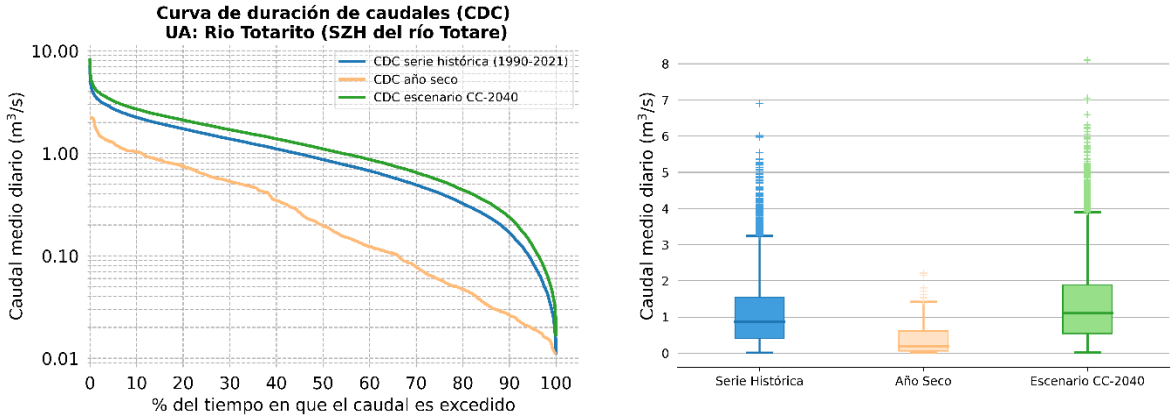


Figura 261. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totarito. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 16.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 6.6 m^3/s (*Tabla 154*). Se observa un aumento del 23.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 262*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7.5	6.6	8.6	12.9	16.0	13.5	9.1	6.8	7.0	9.9	12.2	11.0

Tabla 154. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 2

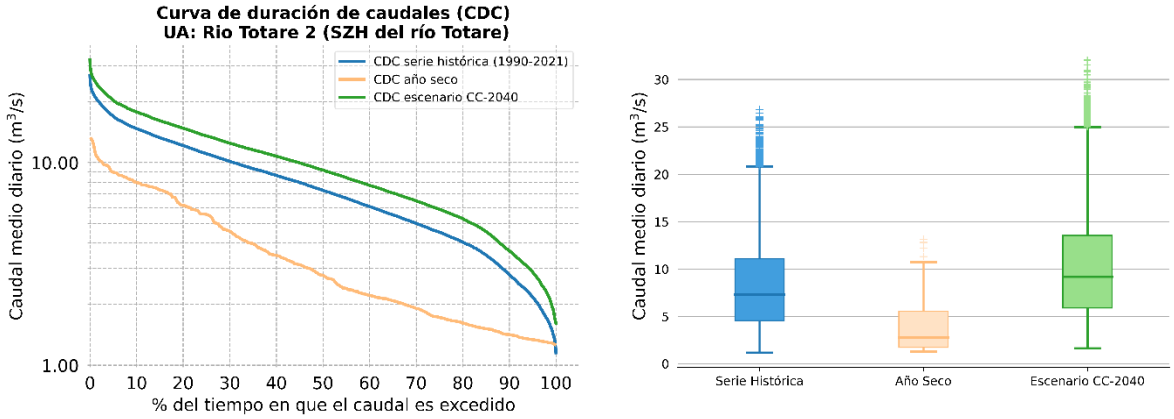


Figura 262. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 16.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 6.9 m^3/s (*Tabla 155*). Se observa un aumento del 24.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 263*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7.9	6.9	9.0	13.4	16.7	14.2	9.6	7.2	7.3	10.4	12.7	11.5

Tabla 155. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 3

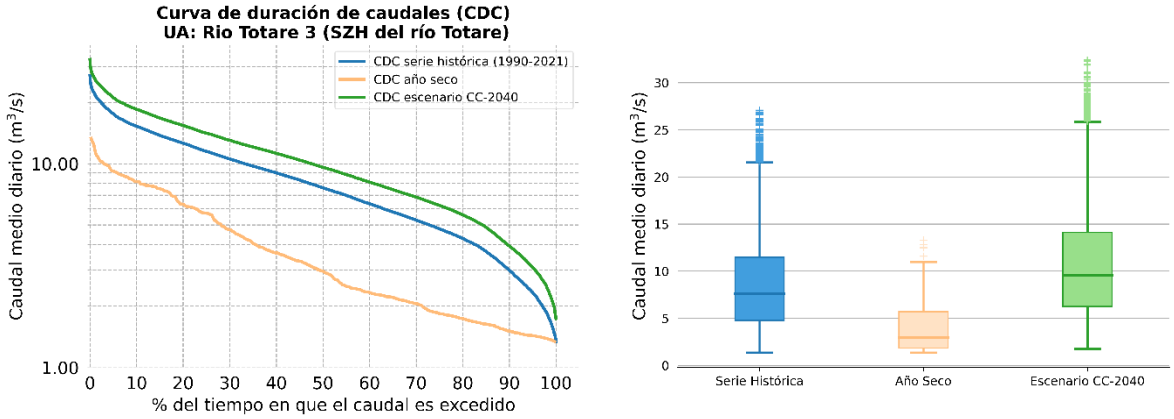


Figura 263. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.5. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Alvarado 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 7.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 3.1 m^3/s (*Tabla 156*). Se observa un aumento del 32.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 22.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 264*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.6	3.1	3.5	5.2	7.3	6.9	5.0	3.7	3.4	4.3	5.0	4.6

Tabla 156. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Alvarado 1

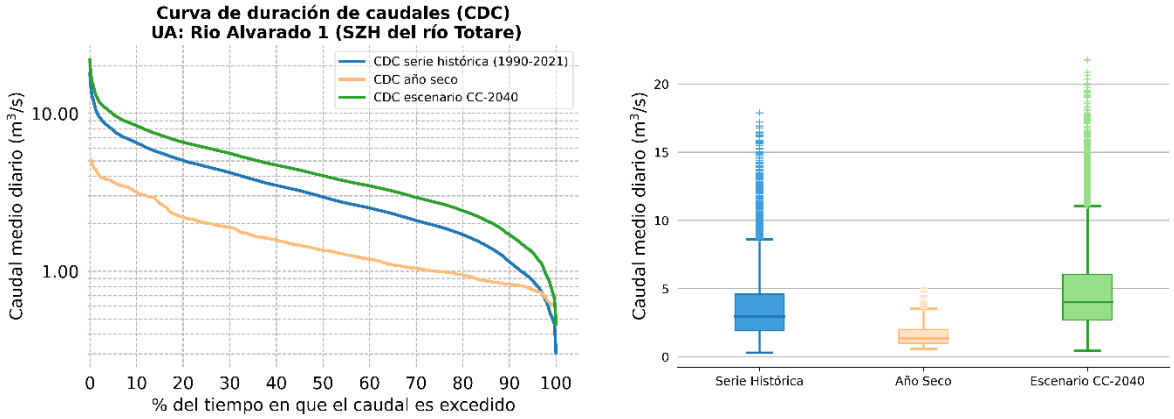


Figura 264. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Alvarado 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.6. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 2.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 0.9 m^3/s (*Tabla 157*). Se observa un aumento del 27.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 265*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.1	0.9	1.2	1.8	2.3	2.0	1.4	1.0	1.1	1.6	1.8	1.6

Tabla 157. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 1

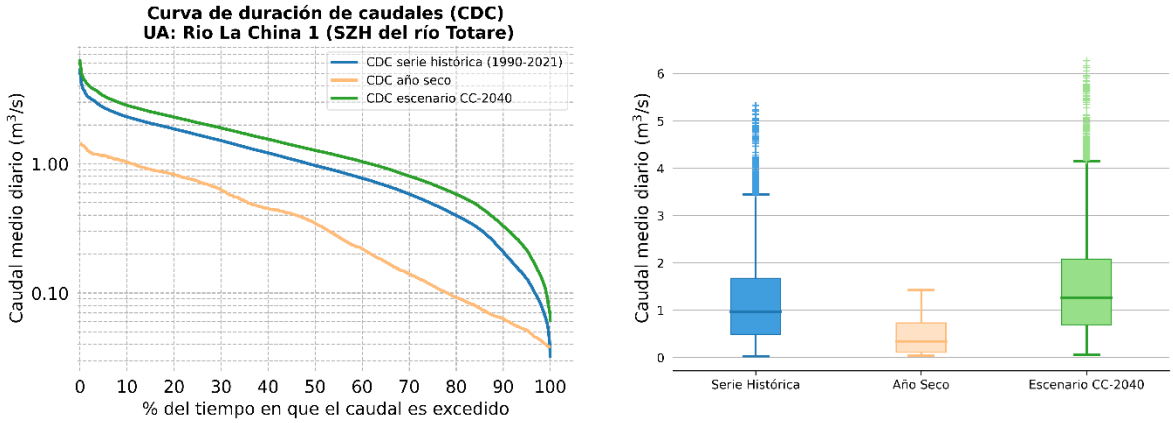


Figura 265. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.7. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio San Romualdo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 1.5 m^3/s (*Tabla 158*). Se observa un aumento del 26.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 18.3% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 266*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.9	1.5	2.2	4.0	5.4	4.8	3.1	2.1	2.3	3.5	4.1	3.3

Tabla 158. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio San Romualdo

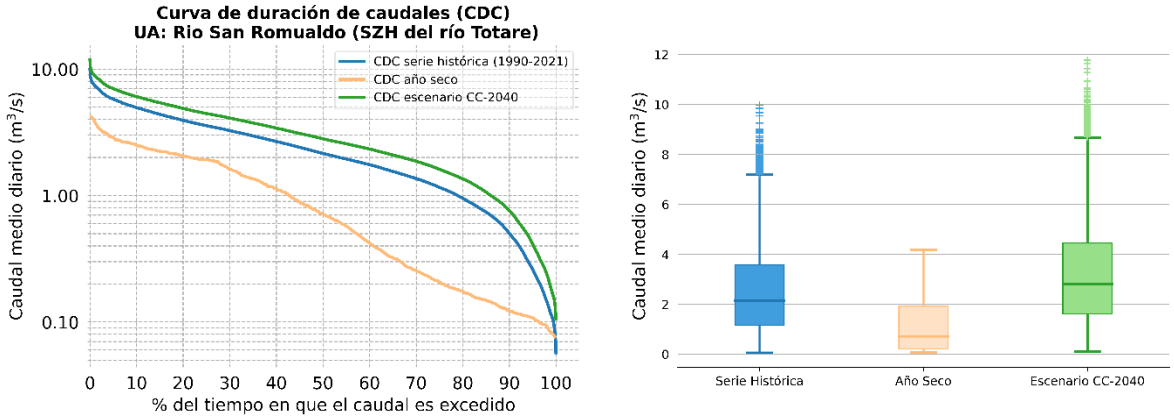


Figura 266. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio San Romualdo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.8. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 12.6 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 4.5 m^3/s (*Tabla 159*). Se observa un aumento del 27.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 267*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5.5	4.5	6.0	9.5	12.6	11.3	7.5	5.2	5.3	7.8	9.4	8.3

Tabla 159. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 2

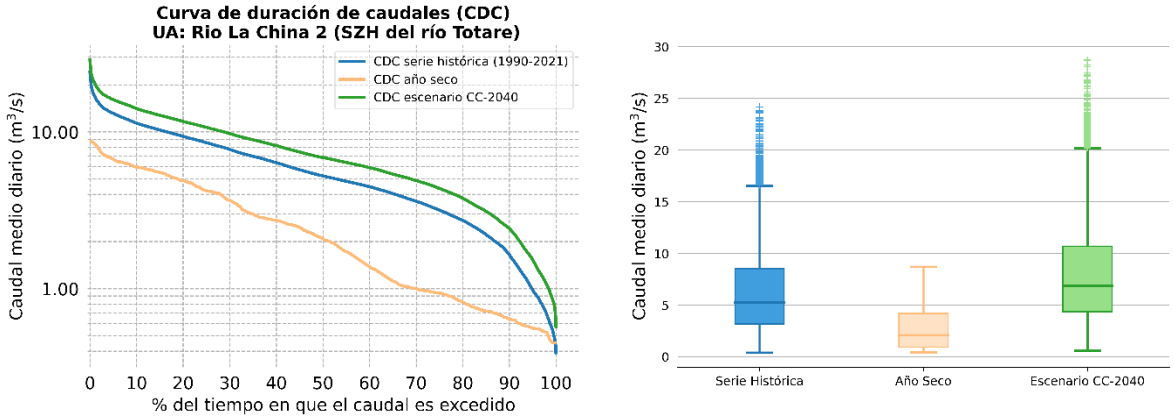


Figura 267. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.9. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Frio

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 4.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de septiembre el cual corresponde a 1.7 m^3/s (*Tabla 160*). Se observa un aumento del 24.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 268*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2.3	1.9	2.5	3.8	4.7	4.0	2.6	1.7	1.7	2.8	3.6	3.4

Tabla 160. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Frio

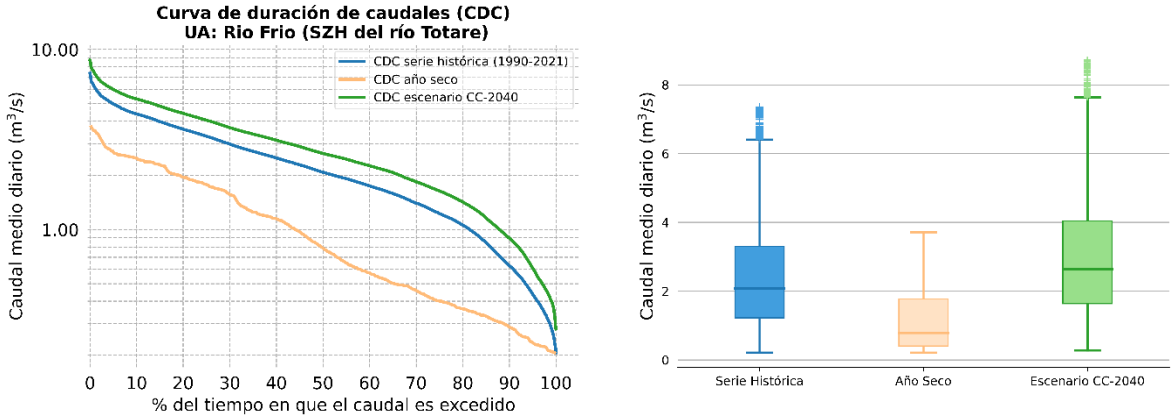


Figura 268. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Frio. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.10. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 18.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 6.8 m^3/s (*Tabla 161*). Se observa un aumento del 27.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 18.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 269*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
8.2	6.8	8.9	13.9	18.1	16.1	10.7	7.4	7.4	11.1	13.6	12.3

Tabla 161. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 3

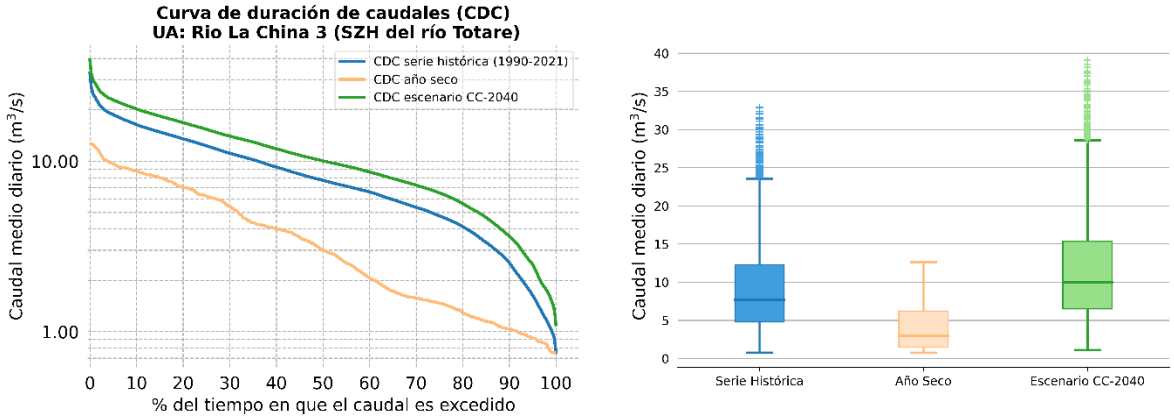


Figura 269. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.11. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio La China 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 18.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 7.0 m^3/s (*Tabla 162*). Se observa un aumento del 27.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 270*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
8.5	7.0	9.1	14.2	18.7	16.7	11.1	7.7	7.7	11.4	14.0	12.6

Tabla 162. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio La China 4

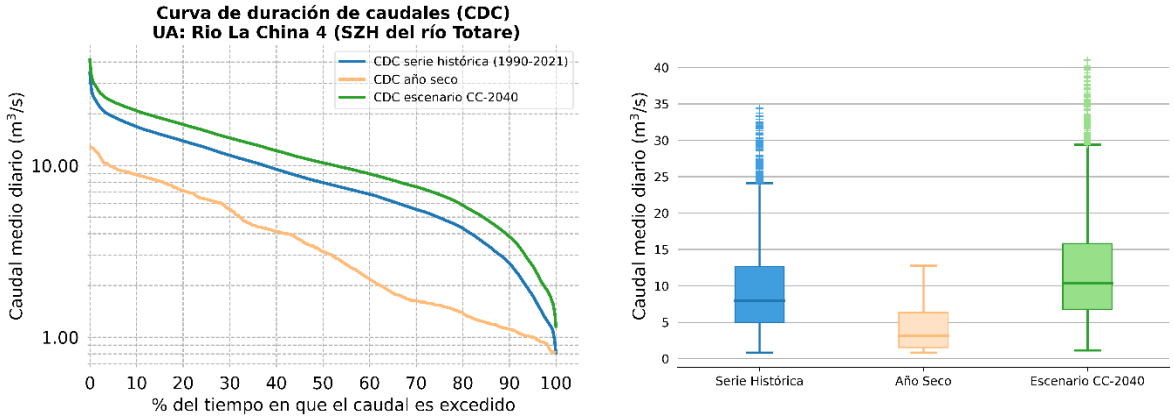


Figura 270. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio La China 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.12. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Alvarado 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 26.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 10.2 m^3/s (*Tabla 163*). Se observa un aumento del 29.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 20.3% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 271*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
12.1	10.2	12.7	19.5	26.1	23.7	16.1	11.4	11.2	15.8	19.0	17.3

Tabla 163. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Alvarado 2

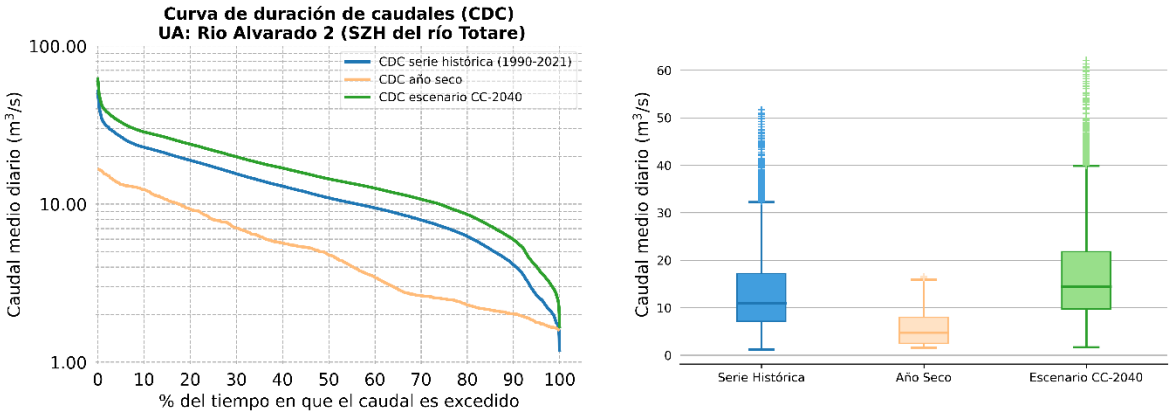


Figura 271. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Alvarado 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.13. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 42.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 17.1 m^3/s (*Tabla 164*). Se observa un aumento del 27.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 272*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
20.1	17.1	21.7	32.9	42.9	38.0	25.7	18.6	18.5	26.2	31.7	28.8

Tabla 164. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 4

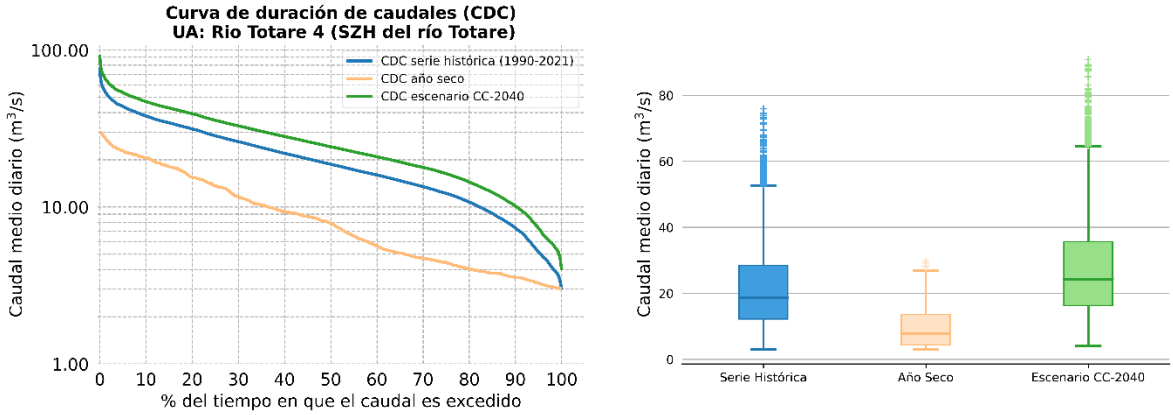


Figura 272. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.14. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Chipalo 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 3.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 1.4 m^3/s (*Tabla 165*). Se observa un aumento del 20.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 273*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.7	1.7	2.1	3.0	3.0	2.2	1.6	1.4	1.8	2.4	2.6	2.1

Tabla 165. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Chipalo 1

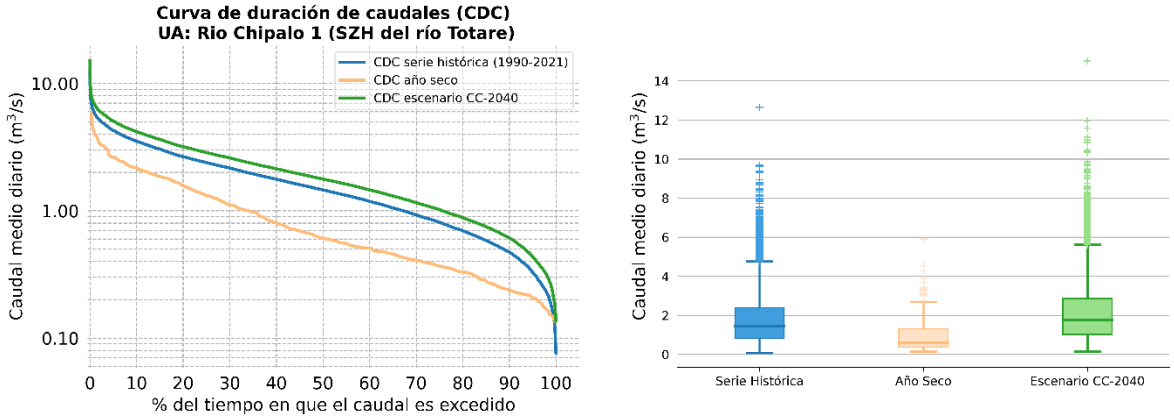


Figura 273. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Chipalo 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.15. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Chipalo 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 3.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 1.5 m^3/s (*Tabla 166*). Se observa un aumento del 21.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 274*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.7	1.8	2.2	3.1	3.2	2.4	1.7	1.5	1.9	2.5	2.7	2.2

Tabla 166. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Chipalo 2

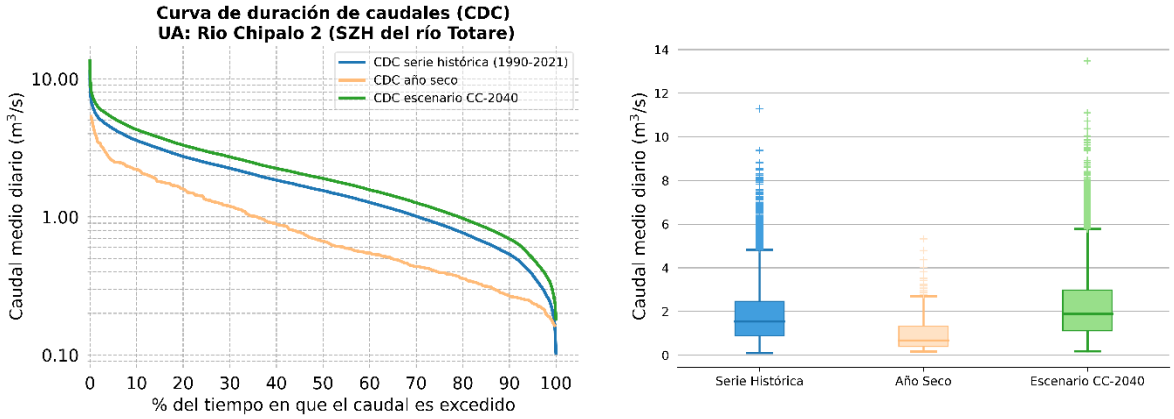


Figura 274. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Chipalo 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.4.16. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Totare 5

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 46.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 19.2 m^3/s (*Tabla 167*). Se observa un aumento del 26.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 275*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22.1	19.2	24.1	36.3	46.7	41.0	27.9	20.4	20.8	29.1	34.9	31.4

Tabla 167. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Totare 5

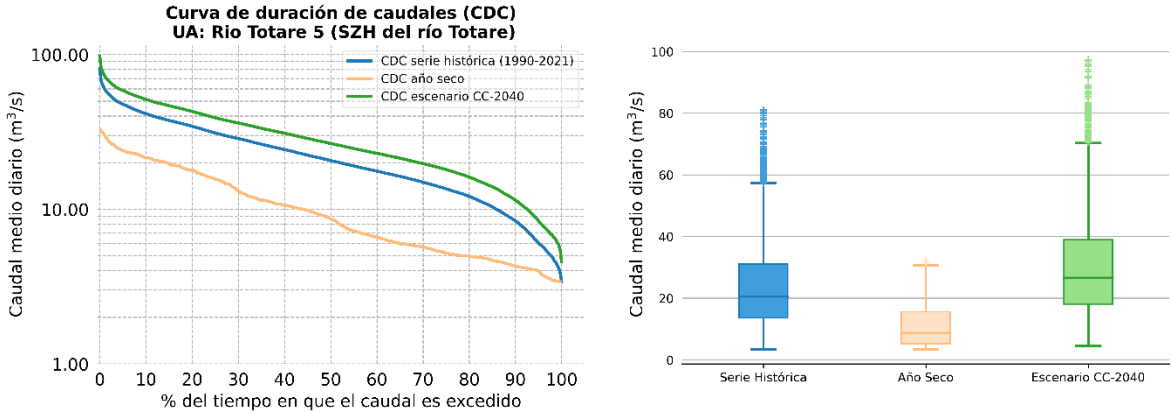


Figura 275. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Totare 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.5. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Opia

15.5.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Opia 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 3.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 0.7 m^3/s (*Tabla 168*). Se observa un aumento del 31.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 26.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 276*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.7	1.1	1.8	3.6	3.7	1.6	0.8	0.9	1.7	2.2	1.9	1.0

Tabla 168. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Opia 1

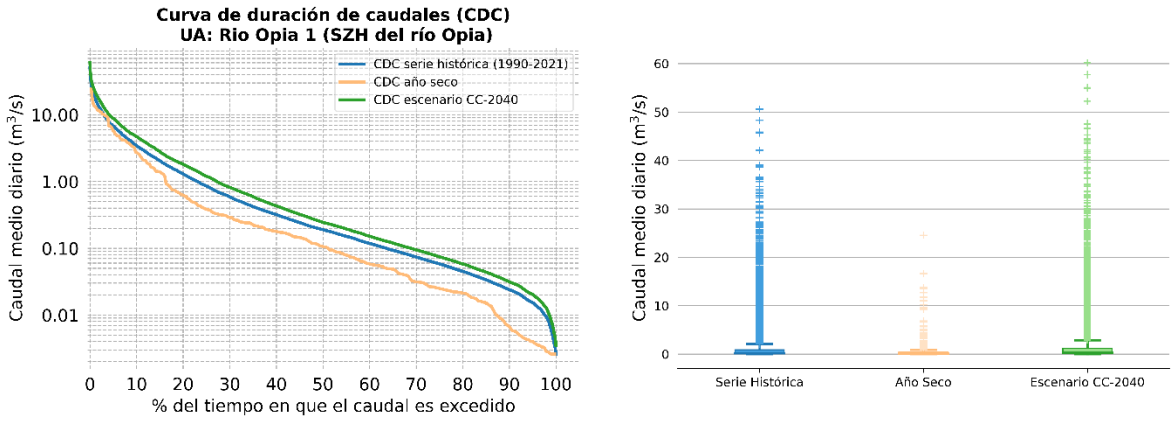


Figura 276. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Opia 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.5.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Doima

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.6 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 1.3 m^3/s (*Tabla 169*). Se observa un aumento del 27.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 26.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 277*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.3	1.7	2.9	5.4	5.6	2.4	1.4	1.5	2.8	3.4	2.7	1.6

Tabla 169. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Doima

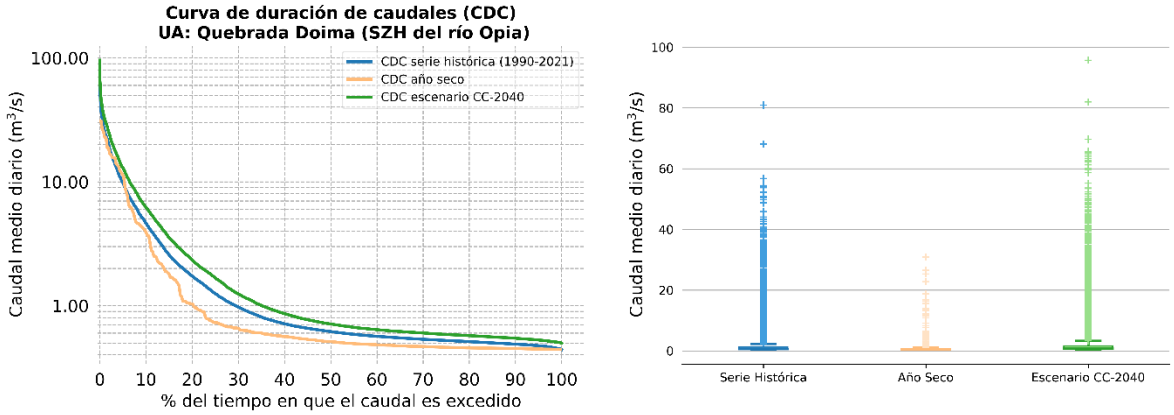


Figura 277. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Doima. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.5.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Opia 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 12.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 2.6 m^3/s (*Tabla 170*). Se observa un aumento del 29.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 27.1% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 278*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2.6	3.8	6.2	11.7	12.4	5.3	2.9	3.3	6.0	7.6	5.8	3.4

Tabla 170. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Opia 2

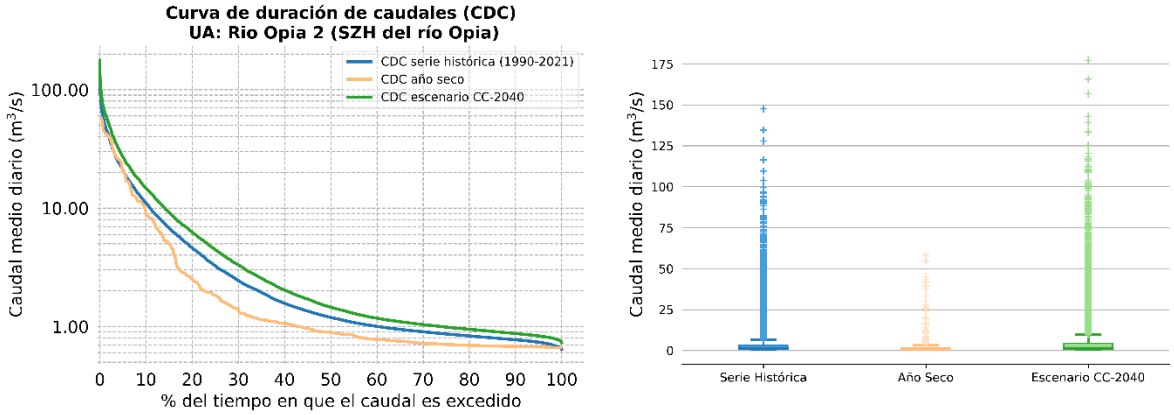


Figura 278. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Opia 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Recio-Venadillo

15.6.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 3.1 m^3/s (*Tabla 171*). Se observa un aumento del 14.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 279*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.1	3.2	4.1	5.2	5.7	4.7	3.9	3.5	3.8	4.8	4.9	3.9

Tabla 171. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 1

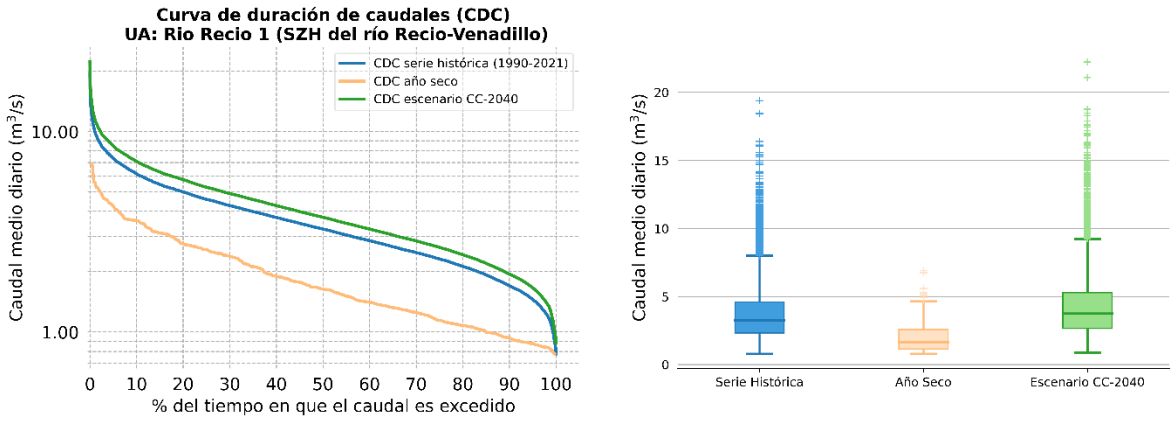


Figura 279. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Azul

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 3.2 m^3/s (*Tabla 172*). Se observa un aumento del 15.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 280*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.4	3.2	3.6	4.4	5.0	4.7	4.1	3.5	3.6	4.1	4.5	4.1

Tabla 172. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Azul

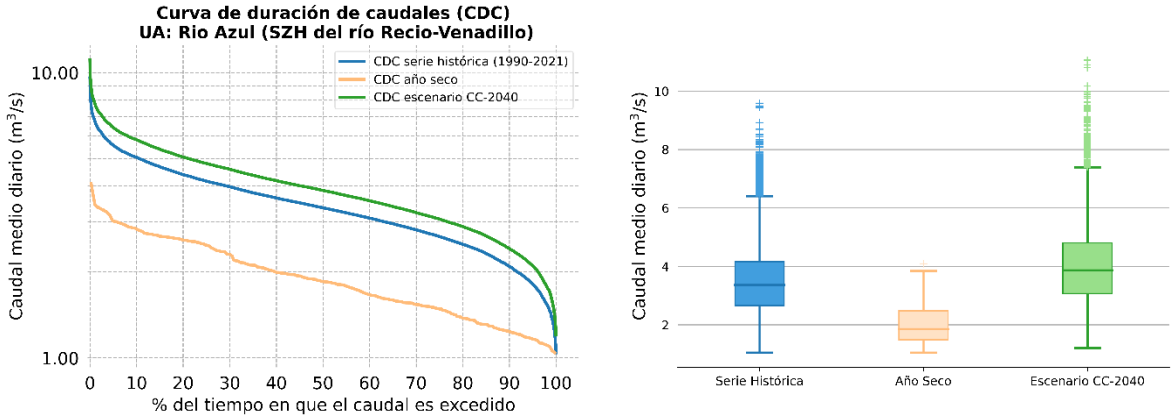


Figura 280. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Azul. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 19.5 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de febrero el cual corresponde a 12.4 m^3/s (*Tabla 173*). Se observa un aumento del 15.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 281*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
12.9	12.4	14.4	17.5	19.5	17.7	15.1	13.4	13.9	16.4	17.3	15.5

Tabla 173. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 2

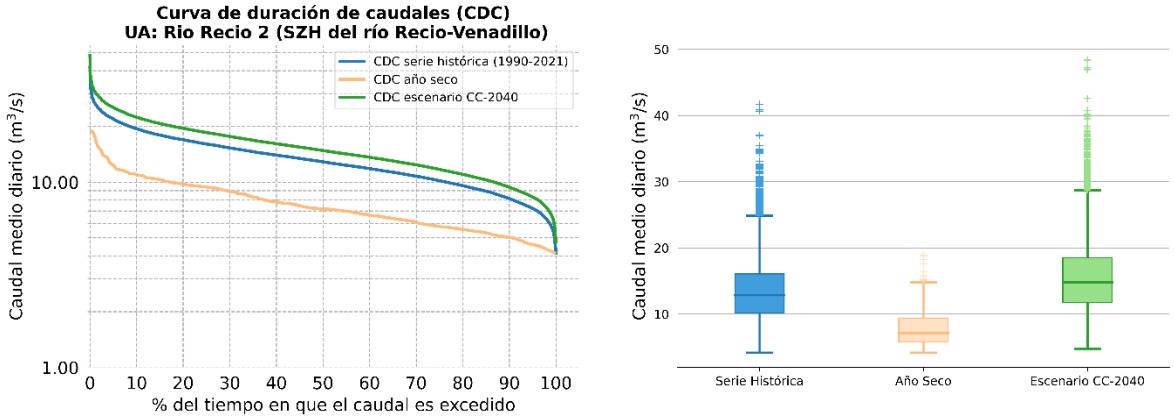


Figura 281. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Santa Rosa

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 2.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de julio el cual corresponde a 1.2 m^3/s (*Tabla 174*). Se observa un aumento del 16.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 282*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.3	1.5	1.8	2.1	2.1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.9	1.8	1.5

Tabla 174. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Santa Rosa

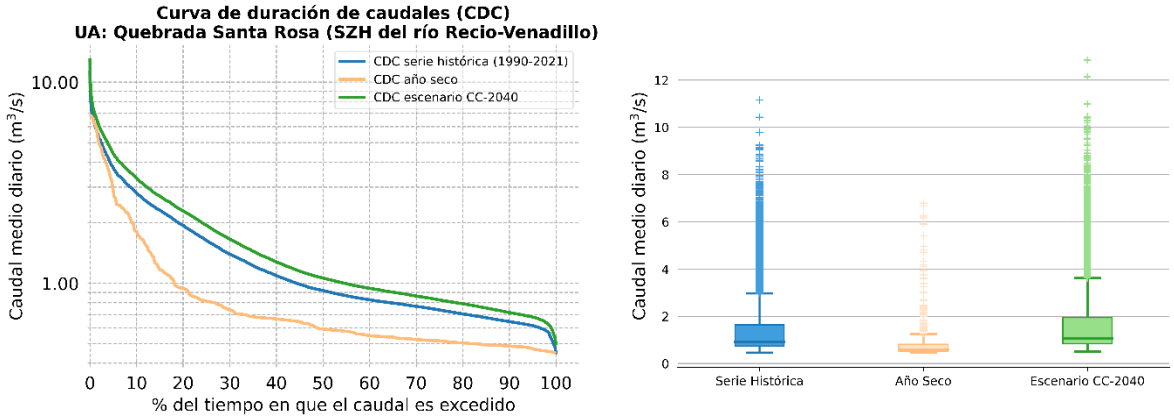


Figura 282. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Santa Rosa. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.5. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 32.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 19.9 m^3/s (*Tabla 175*). Se observa un aumento del 15.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 18.1% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 283*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
19.9	20.4	24.5	30.3	32.4	26.1	21.6	20.0	22.7	27.7	28.4	24.0

Tabla 175. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 3

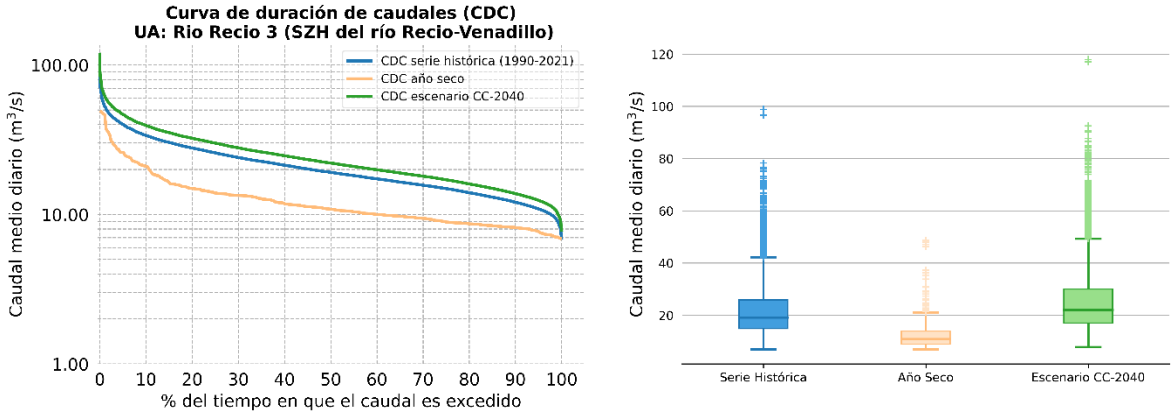


Figura 283. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.6. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Río Yuca

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 8.6 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 5.8 m^3/s (*Tabla 176*). Se observa un aumento del 20.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 284*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.0	5.9	6.7	8.1	8.6	7.5	6.4	5.8	6.2	7.1	7.6	6.9

Tabla 176. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Yuca

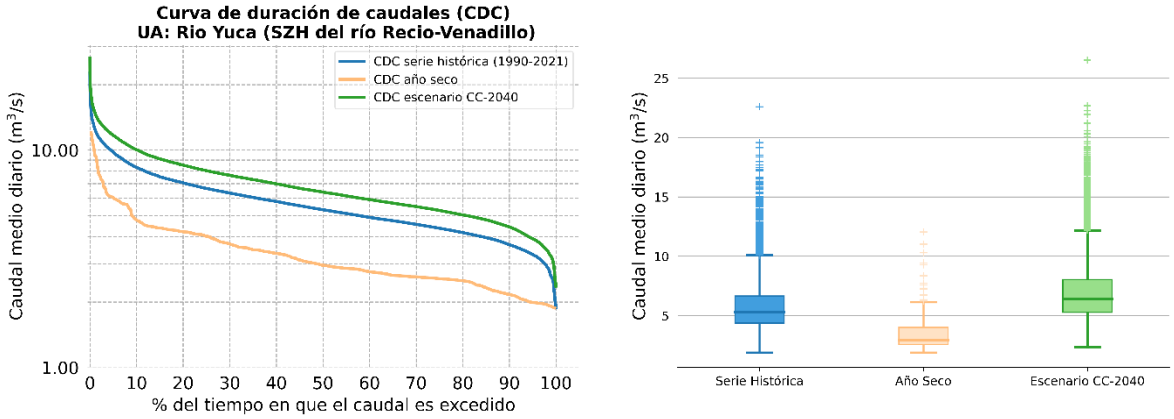


Figura 284. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Yuca. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.7. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 42.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 26.7 m^3/s (*Tabla 177*). Se observa un aumento del 16.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 18.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 285*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
26.8	27.2	32.3	39.6	42.3	34.7	29.0	26.7	29.9	36.0	37.1	31.9

Tabla 177. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 4

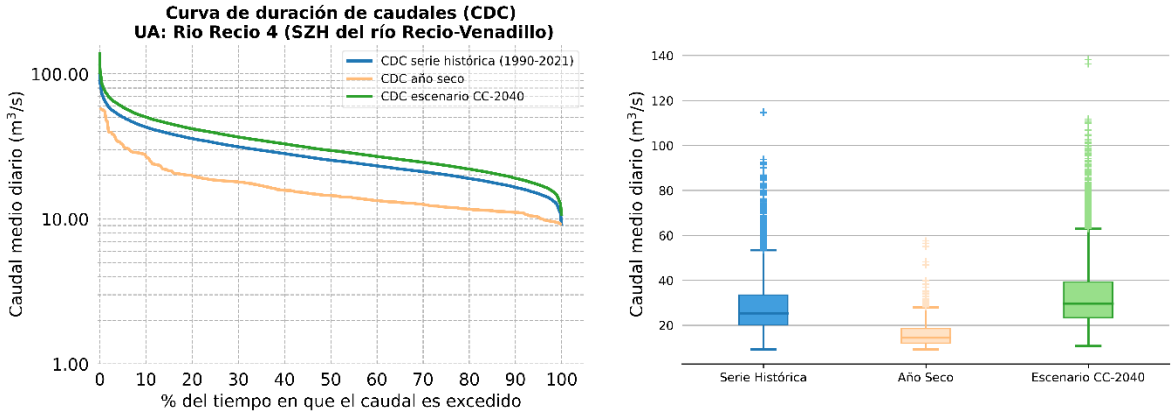


Figura 285. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.8. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 5

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 45.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 28.4 m^3/s (*Tabla 178*). Se observa un aumento del 16.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 286*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
28.4	28.8	34.1	42.2	45.3	37.0	30.7	28.5	32.0	38.4	39.3	33.7

Tabla 178. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 5

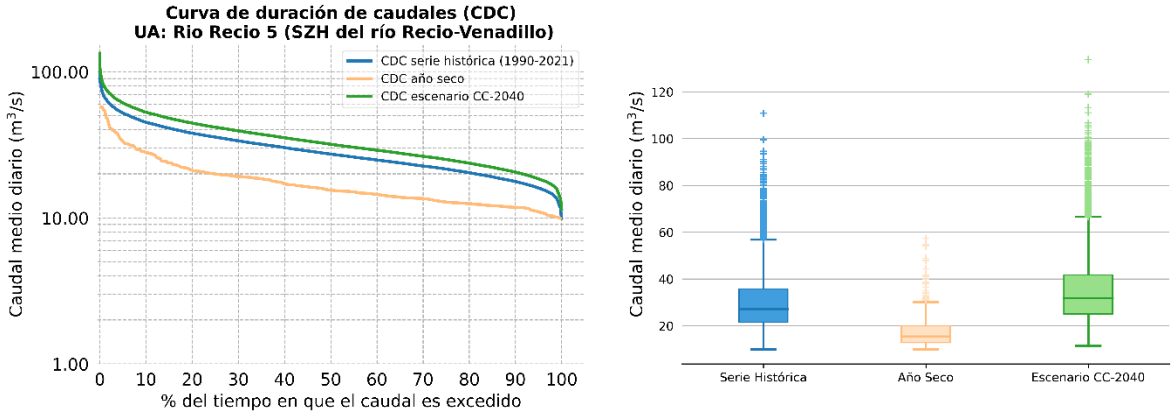


Figura 286. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.9. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Recio 6

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 46.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 28.7 m^3/s (*Tabla 179*). Se observa un aumento del 16.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 287*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
28.7	29.1	34.6	42.9	46.1	37.6	31.1	28.9	32.4	39.0	39.9	34.2

Tabla 179. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Recio 6

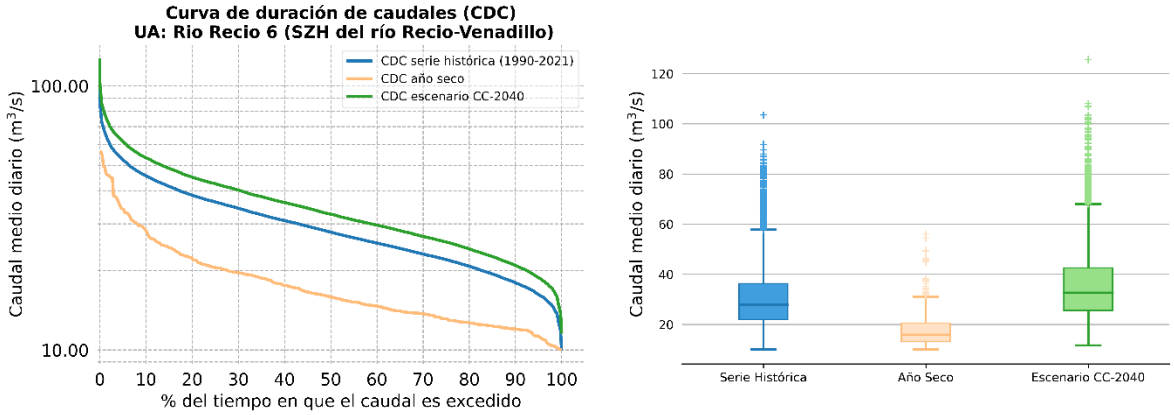


Figura 287. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Recio 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.10. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Venadillo 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 7.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 5.0 m^3/s (*Tabla 180*). Se observa un aumento del 18.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 14.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 288*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5.0	5.1	5.7	7.0	7.4	6.0	5.2	5.1	5.7	6.4	6.3	5.4

Tabla 180. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Venadillo 1

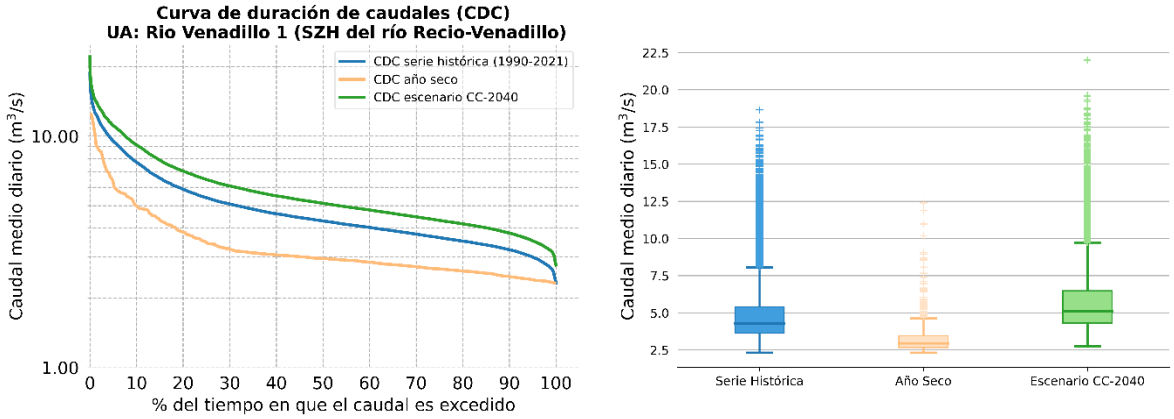


Figura 288. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Venadillo 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.11. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Venadillo 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 9.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 6.5 m^3/s (*Tabla 181*). Se observa un aumento del 18.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 289*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.5	6.6	7.3	8.9	9.7	8.1	6.9	6.6	7.4	8.3	8.2	7.1

Tabla 181. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Venadillo 2

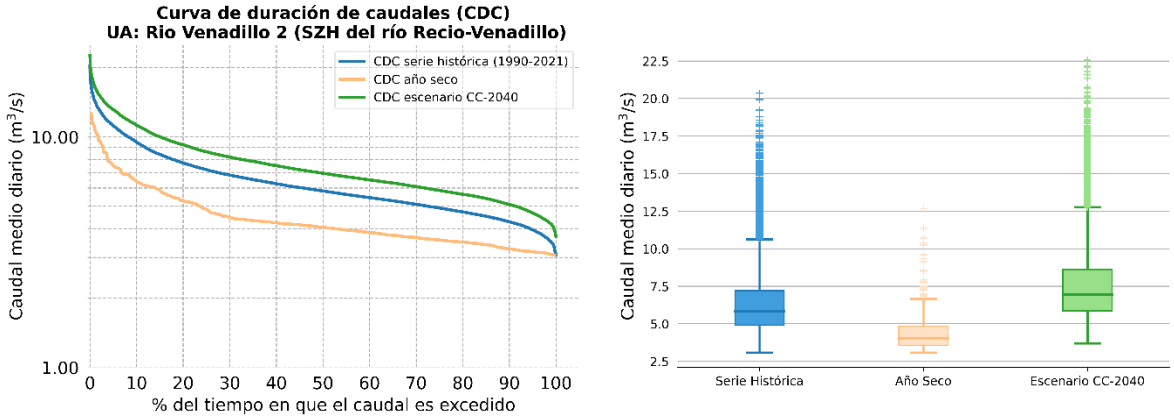


Figura 289. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Venadillo 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.6.12. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Tautau

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 2.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 1.5 m^3/s (*Tabla 182*). Se observa un aumento del 20.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 290*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.5	1.5	1.6	2.0	2.2	1.8	1.6	1.7	1.8	1.9	1.8	1.6

Tabla 182. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Tautau

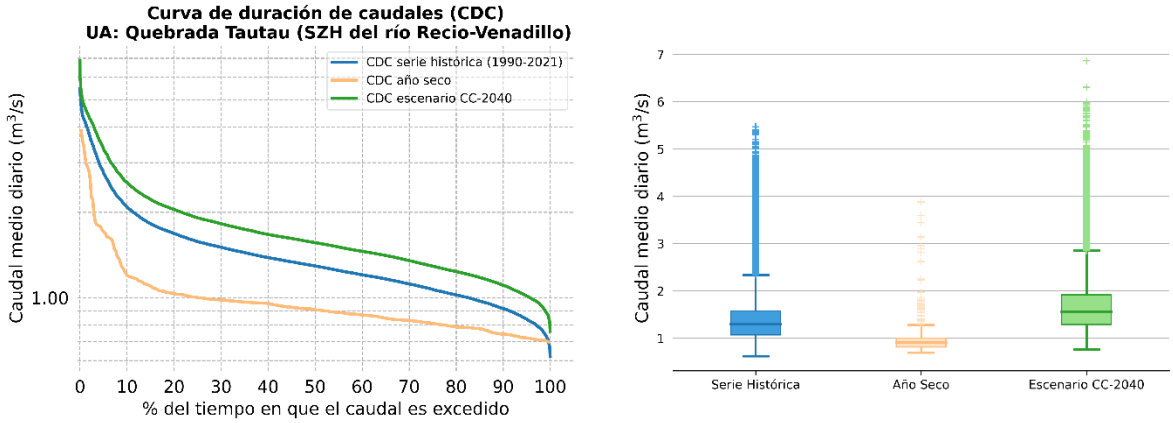


Figura 290. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Tautau. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

15.7.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 2.3 m^3/s (*Tabla 183*). Se observa un aumento del 17.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 291*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2.3	2.6	3.6	4.7	5.1	3.9	2.7	2.4	3.0	4.3	4.5	3.4

Tabla 183. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 1

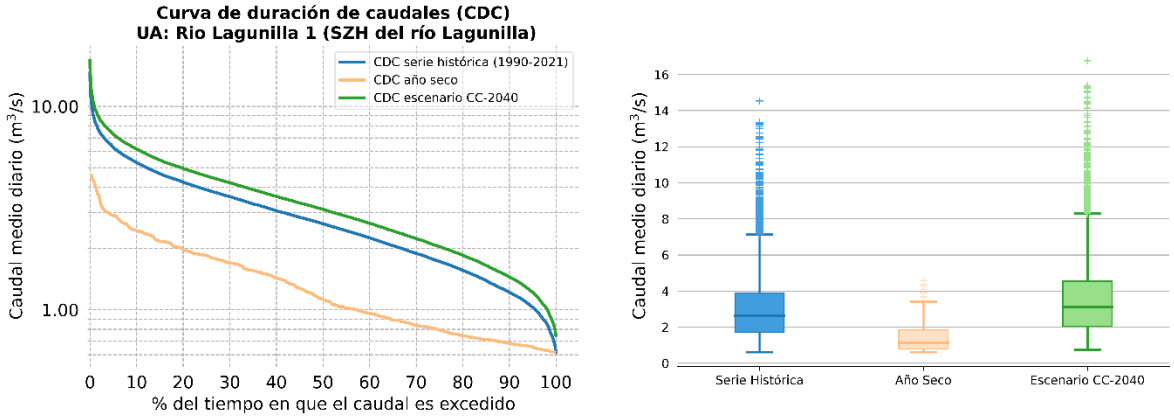


Figura 291. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Vallecitos

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 1.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 0.7 m^3/s (*Tabla 184*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 292*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.7	0.9	1.3	1.7	1.9	1.3	0.9	0.8	1.1	1.5	1.5	1.1

Tabla 184. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Vallecitos

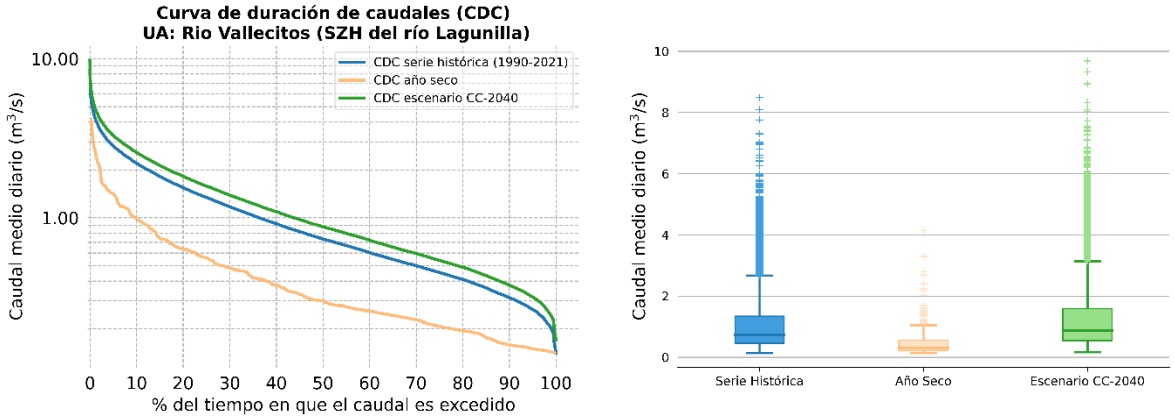


Figura 292. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Vallecitos. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 13.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 6.2 m^3/s (*Tabla 185*). Se observa un aumento del 17.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 293*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.9	7.3	9.6	12.1	13.4	10.4	7.2	6.2	7.9	10.9	11.8	9.6

Tabla 185. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 2

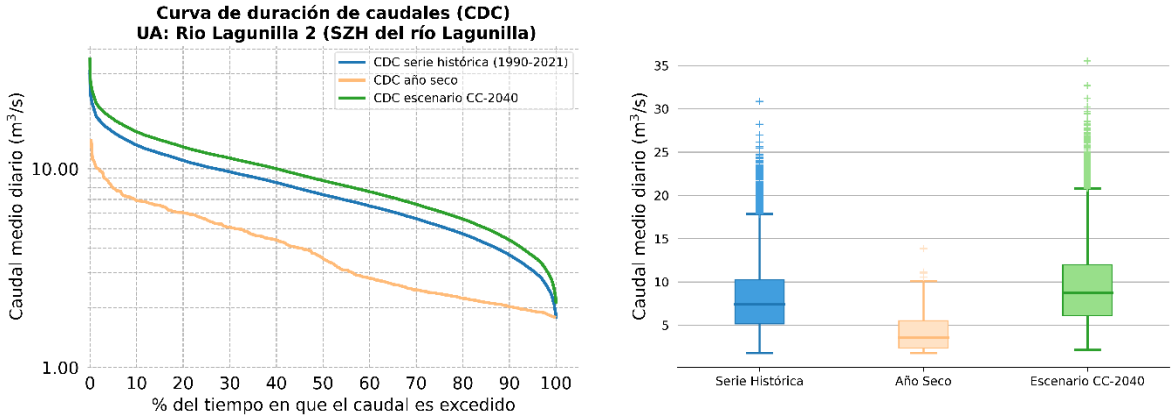


Figura 293. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Azufrado

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 16.8 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 8.2 m^3/s (*Tabla 186*). Se observa un aumento del 16.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 294*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
10.6	11.0	13.2	15.4	16.8	13.6	9.5	8.2	10.2	14.0	15.8	13.9

Tabla 186. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Azufrado

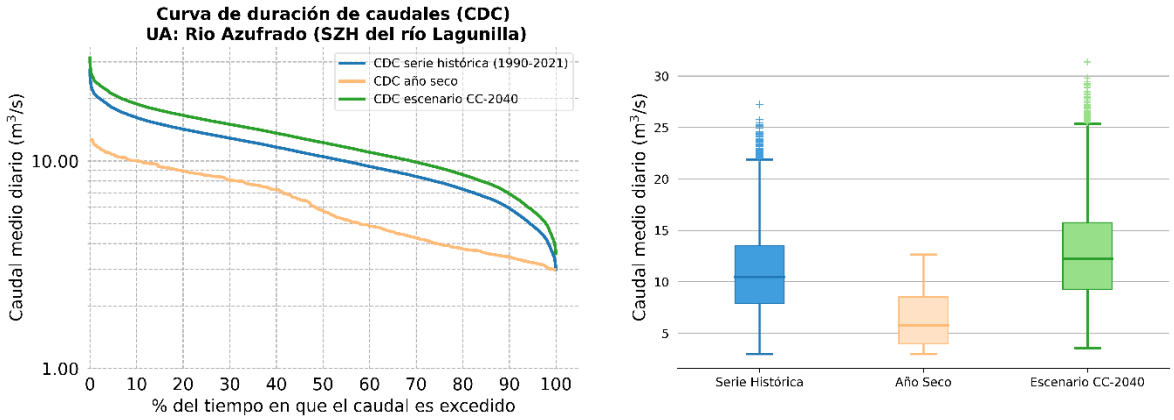


Figura 294. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Azufrado. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.5. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 35.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 18.1 m^3/s (*Tabla 187*). Se observa un aumento del 17.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 295*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
21.6	22.2	27.0	32.2	35.3	28.8	20.7	18.1	21.9	29.3	32.4	28.1

Tabla 187. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 3

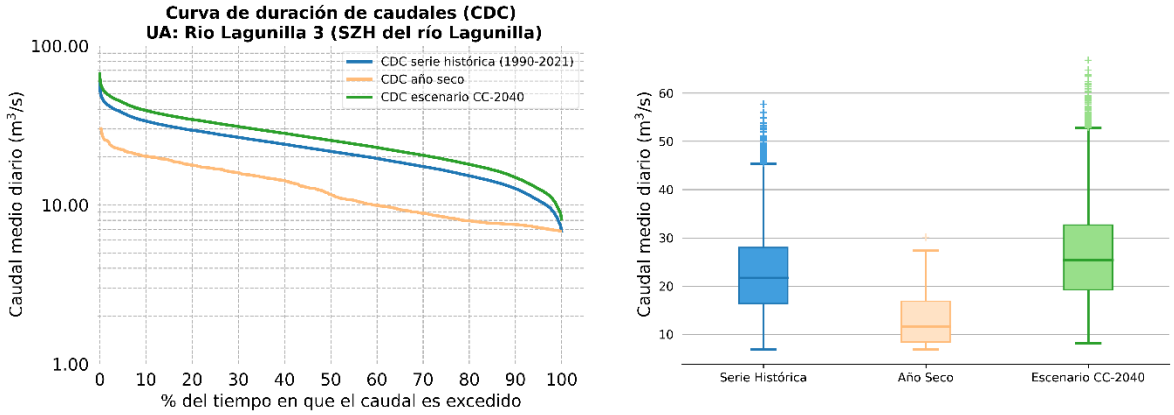


Figura 295. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.6. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 36.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 18.8 m^3/s (*Tabla 188*). Se observa un aumento del 17.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 296*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
22.2	23.0	28.0	33.8	36.9	29.7	21.3	18.8	22.9	30.7	33.7	29.0

Tabla 188. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 4

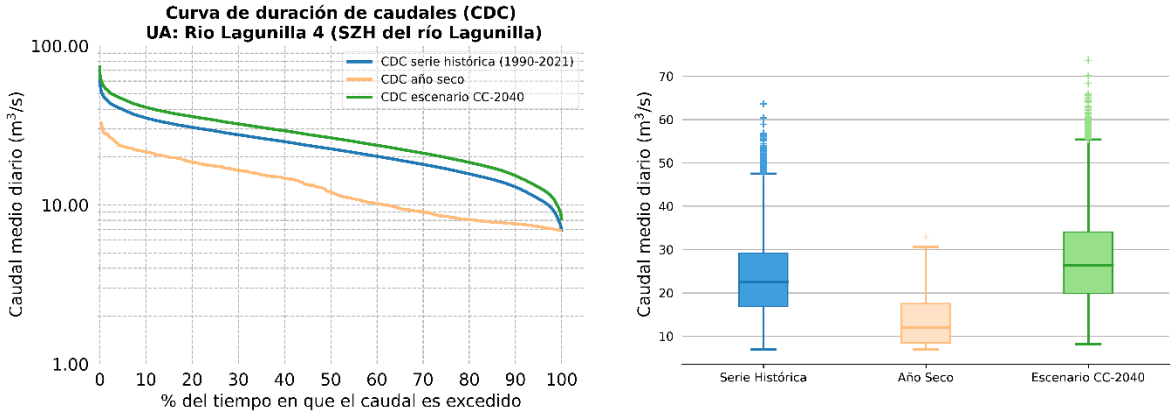


Figura 296. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.7. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Bledo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 11.8 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 6.3 m^3/s (*Tabla 189*). Se observa un aumento del 18.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 297*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.3	6.4	7.4	10.3	11.8	9.0	6.9	6.6	7.6	9.4	9.3	7.6

Tabla 189. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Bledo

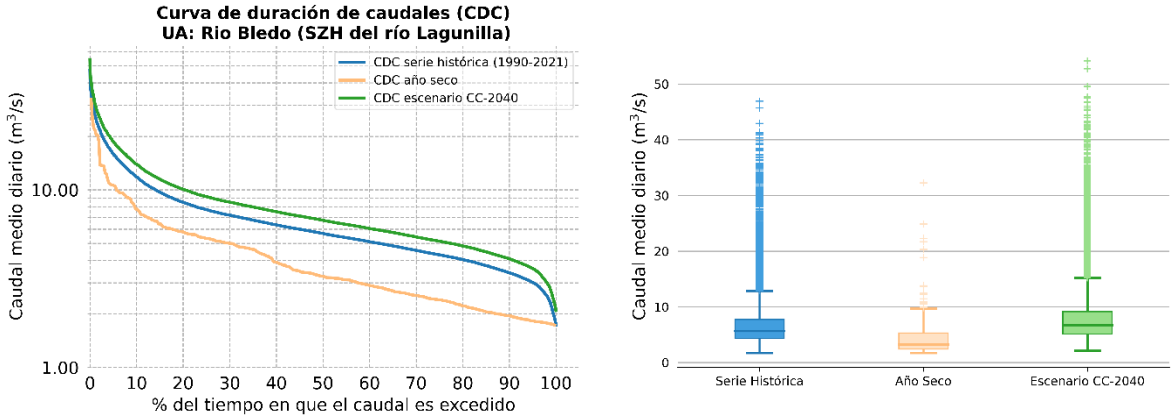


Figura 297. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Bledo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.8. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 5

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 50.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 25.9 m^3/s (*Tabla 190*). Se observa un aumento del 17.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 298*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
28.9	29.9	36.2	45.3	50.0	39.1	28.5	25.9	31.3	41.2	43.9	37.1

Tabla 190. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 5

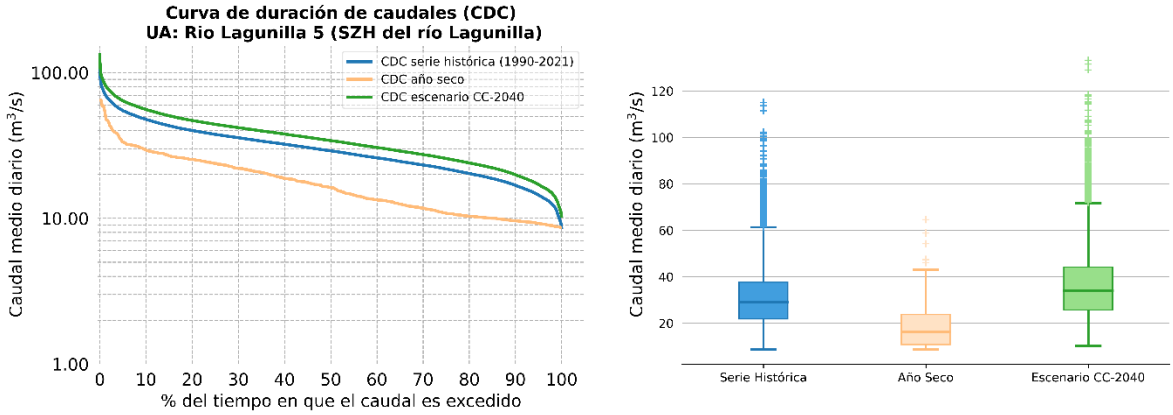


Figura 298. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.9. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Palmas

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 1.8 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de julio el cual corresponde a 0.4 m^3/s (*Tabla 191*). Se observa un aumento del 18.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 299*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.5	0.7	1.0	1.7	1.8	0.7	0.4	0.7	1.1	1.4	1.1	0.6

Tabla 191. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Palmas

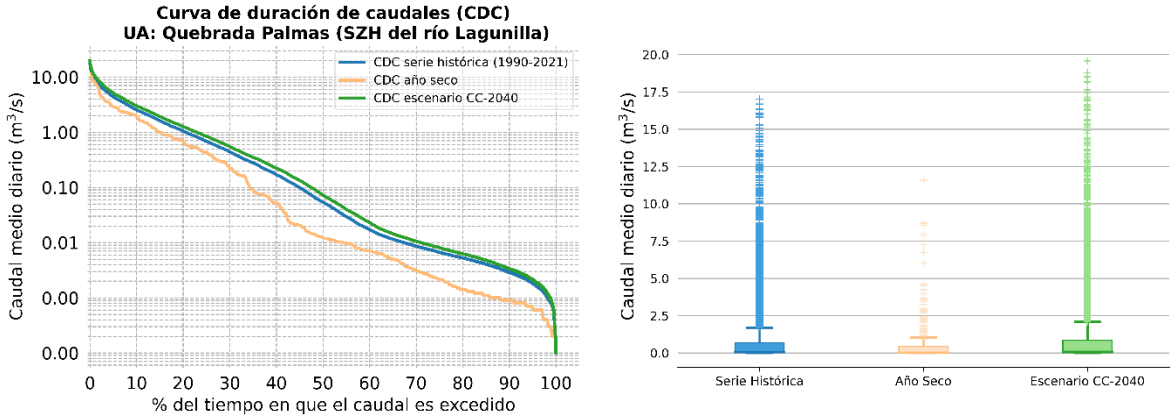


Figura 299. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Palmas. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.10. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 6

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 54.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 27.9 m^3/s (*Tabla 192*). Se observa un aumento del 17.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.1% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 300*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
30.3	31.9	39.1	50.2	54.9	41.2	29.8	27.9	34.2	45.3	47.3	39.0

Tabla 192. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 6

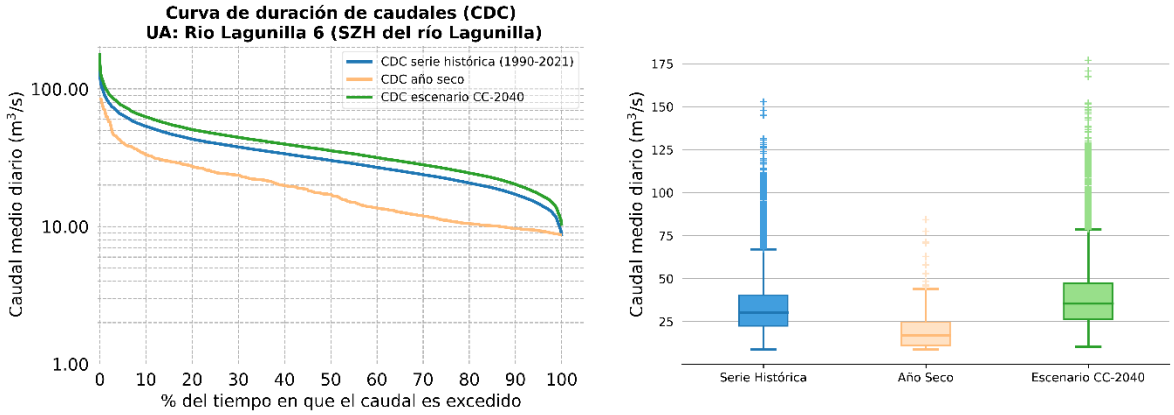


Figura 300. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.11. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada La Joya

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 1.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de julio el cual corresponde a 0.4 m^3/s (*Tabla 193*). Se observa un aumento del 18.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.3% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 301*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.4	0.7	1.0	1.7	1.7	0.6	0.4	0.6	1.0	1.4	1.1	0.6

Tabla 193. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada La Joya

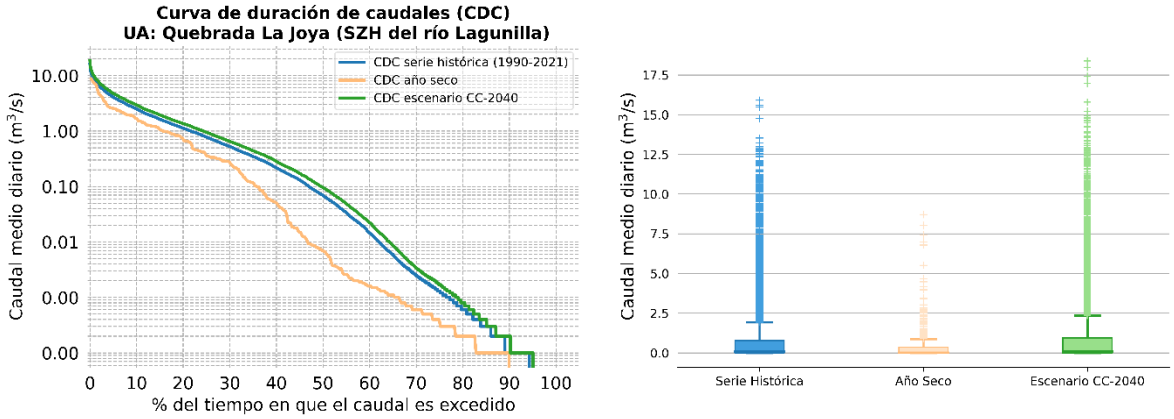


Figura 301. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada La Joya. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.7.12. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Lagunilla 7

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 58.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 29.1 m^3/s (*Tabla 194*). Se observa un aumento del 17.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 302*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
31.3	33.2	41.0	53.2	58.1	42.5	30.6	29.1	36.2	48.0	49.6	40.3

Tabla 194. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Lagunilla 7

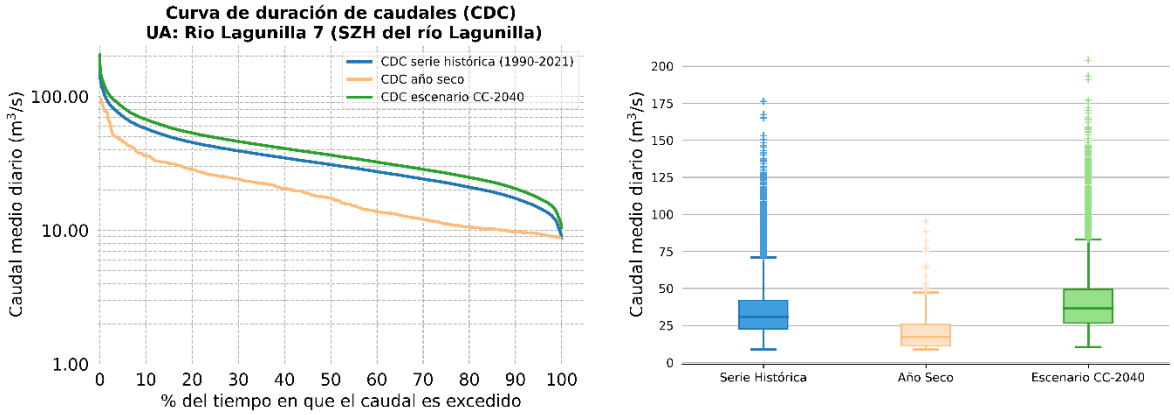


Figura 302. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Lagunilla 7. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.8. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

15.8.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Sabandija 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 9.8 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 5.3 m^3/s (*Tabla 195*). Se observa un aumento del 24.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 19.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 303*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.8	6.1	6.6	8.2	9.8	8.7	6.4	5.3	5.7	7.3	8.9	8.5

Tabla 195. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Sabandija 1

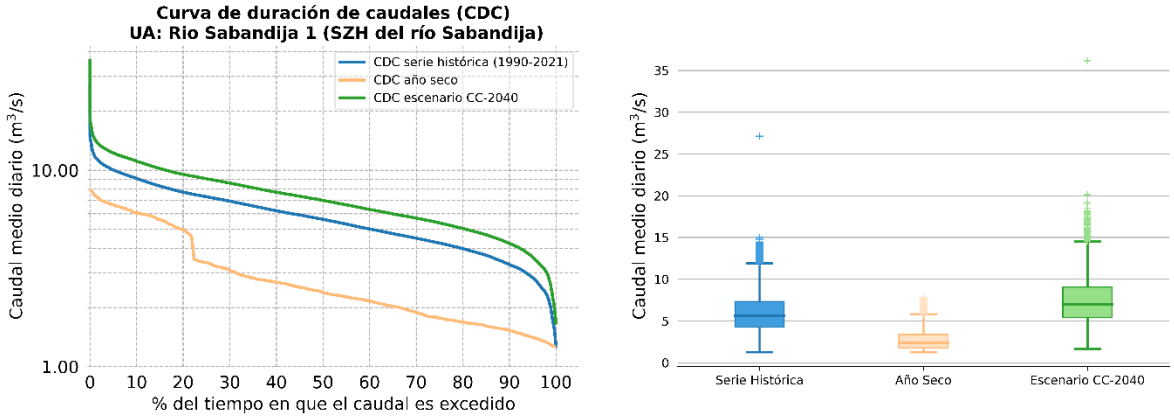


Figura 303. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Sabandija 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.8.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Río Cuamo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 5.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 3.3 m^3/s (*Tabla 196*). Se observa un aumento del 48.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 66.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 304*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.2	4.0	4.1	4.9	5.3	4.4	3.5	3.3	3.5	4.5	5.3	5.1

Tabla 196. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Cuamo

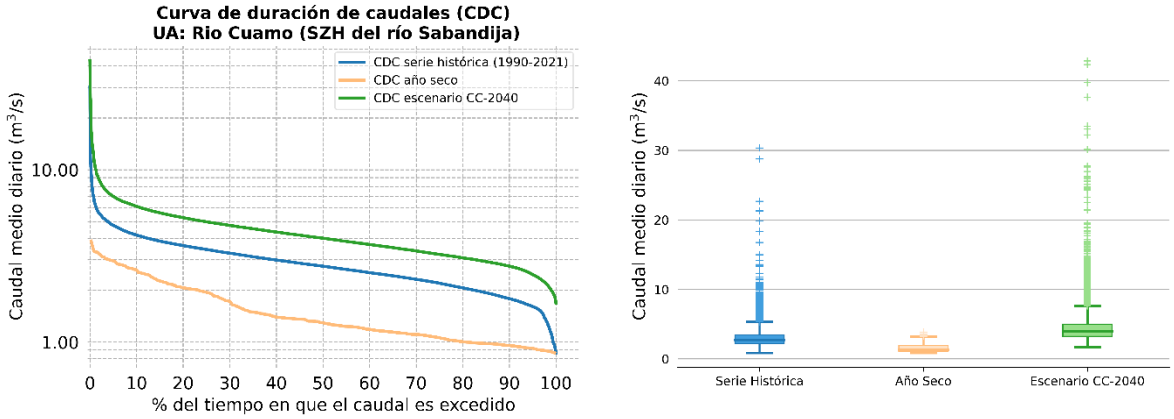


Figura 304. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Cuamo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.8.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Sabandija 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 24.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 12.7 m^3/s (*Tabla 197*). Se observa un aumento del 30.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 28.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 305*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
16.1	14.8	15.9	20.4	24.2	20.6	14.8	12.7	14.1	19.0	22.7	20.9

Tabla 197. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Sabandija 2

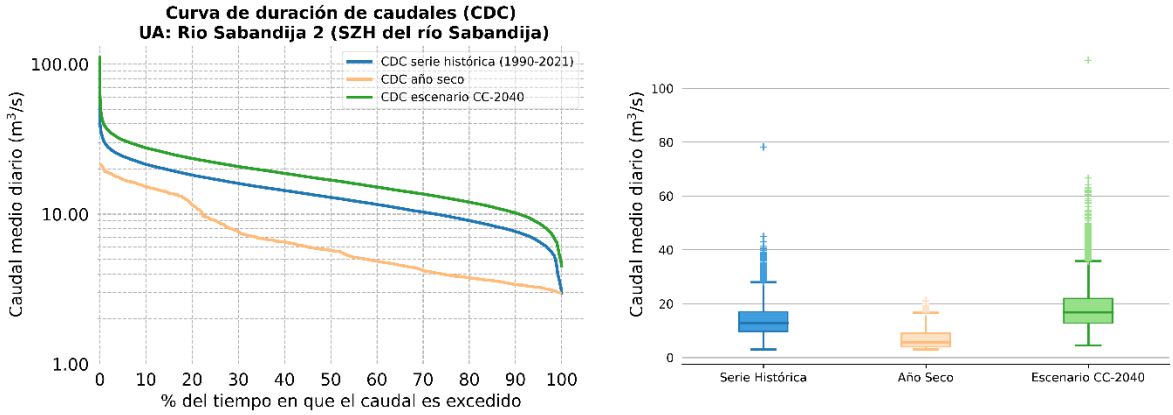


Figura 305. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Sabandija 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.8.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Seca

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 6.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 2.3 m^3/s (*Tabla 198*). Se observa un aumento del 35.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 29.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 306*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.9	3.3	3.3	4.6	5.5	4.5	2.8	2.3	2.7	4.4	6.0	5.6

Tabla 198. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Seca

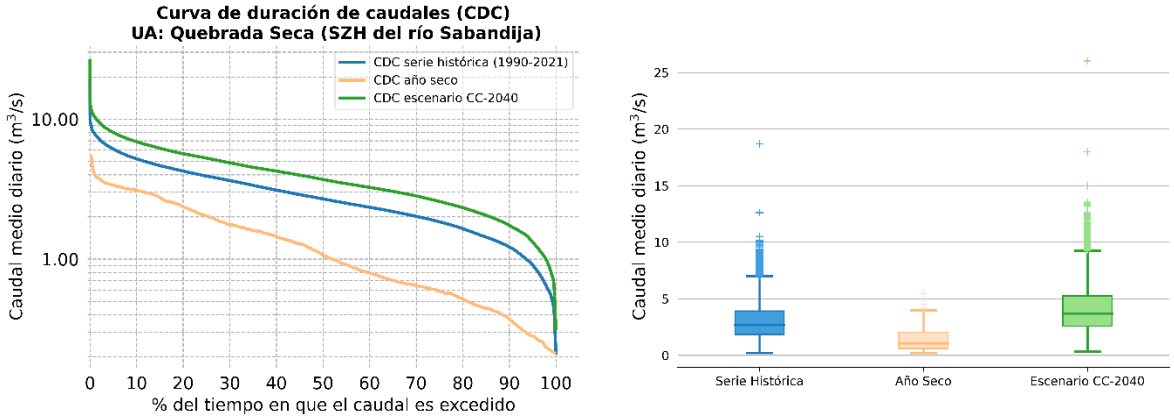


Figura 306. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Seca. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Gualí

15.9.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 7.6 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 2.9 m^3/s (*Tabla 199*). Se observa un aumento del 18.0% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 307*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.2	3.9	5.5	7.4	7.6	4.6	3.0	2.9	4.4	7.1	7.2	4.6

Tabla 199. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 1

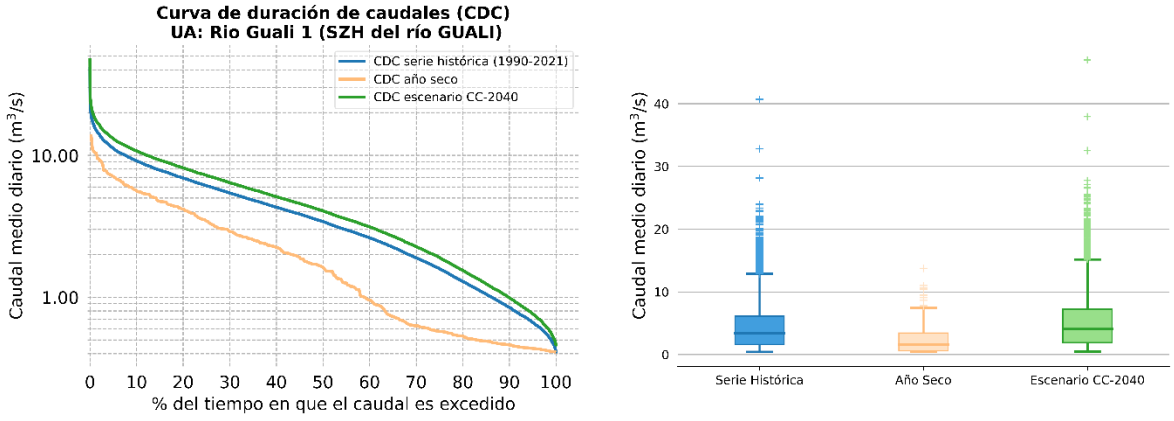


Figura 307. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Cajones

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 6.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 2.4 m^3/s (*Tabla 200*). Se observa un aumento del 17.7% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 308*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2.6	3.3	4.7	6.1	6.2	3.8	2.4	2.4	3.7	5.8	6.1	4.0

Tabla 200. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Cajones

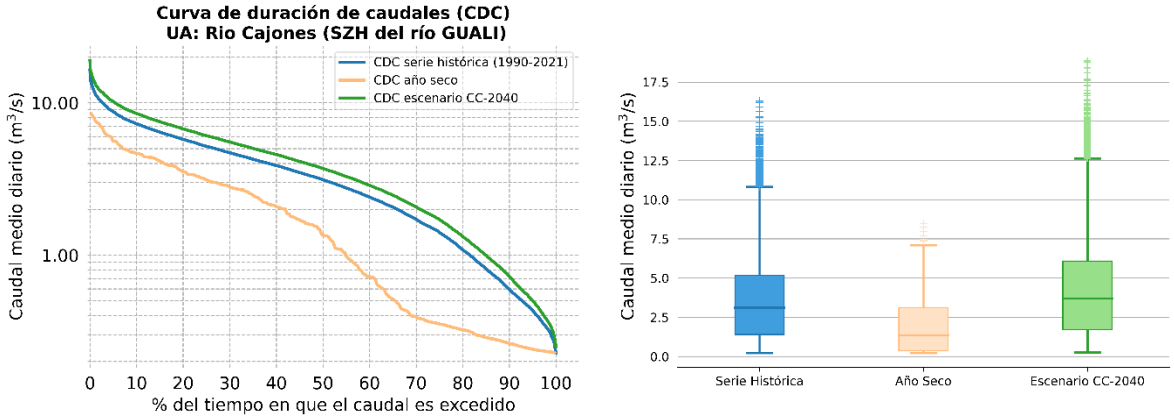


Figura 308. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Cajones. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 15.5 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 6.1 m^3/s (*Tabla 201*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 309*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7.0	8.4	11.5	14.9	15.5	9.7	6.3	6.1	9.1	14.2	14.8	10.0

Tabla 201. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 2

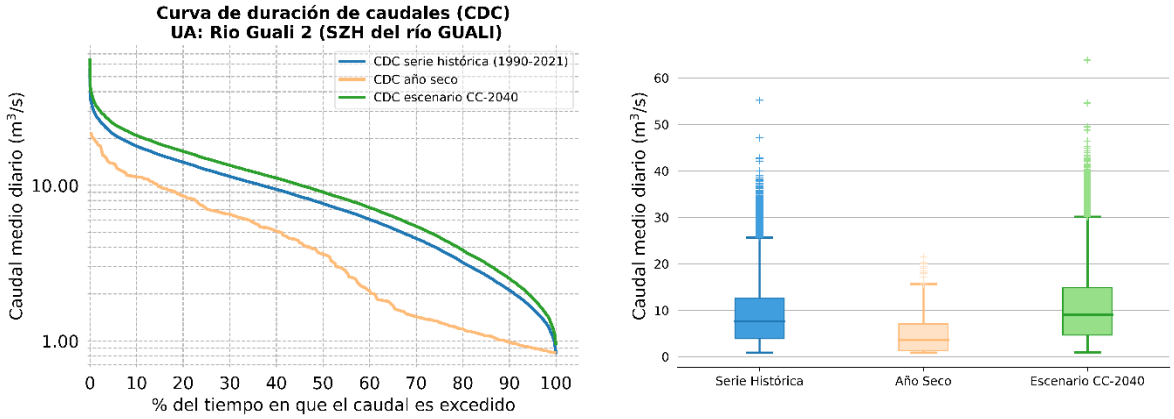


Figura 309. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Aguacatal

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 7.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de julio el cual corresponde a 3.1 m^3/s (*Tabla 202*). Se observa un aumento del 17.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 310*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.7	4.4	6.0	7.5	7.7	4.8	3.1	3.1	4.8	7.1	7.7	5.5

Tabla 202. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Aguacatal

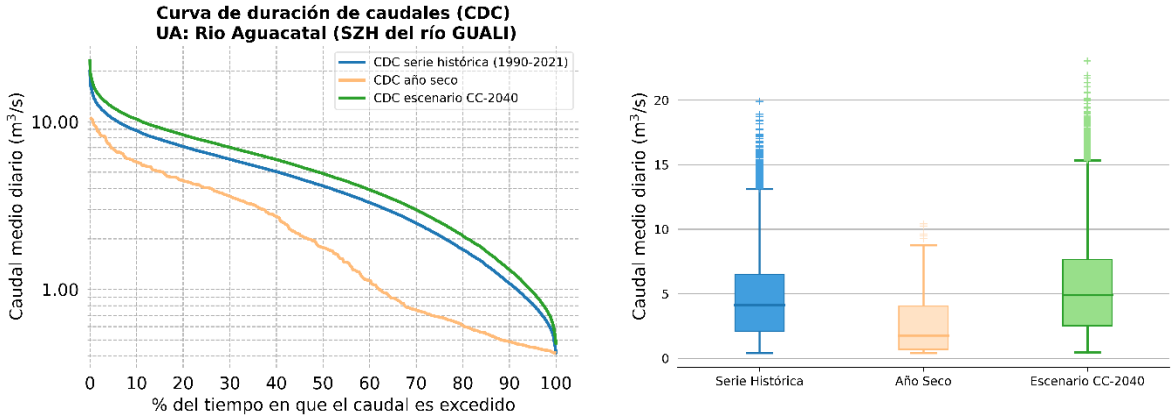


Figura 310. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Aguacatal. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.5. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 24.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 9.8 m^3/s (*Tabla 203*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 311*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
11.5	13.6	18.4	23.4	24.3	15.4	10.1	9.8	14.6	22.2	23.4	16.5

Tabla 203. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 3

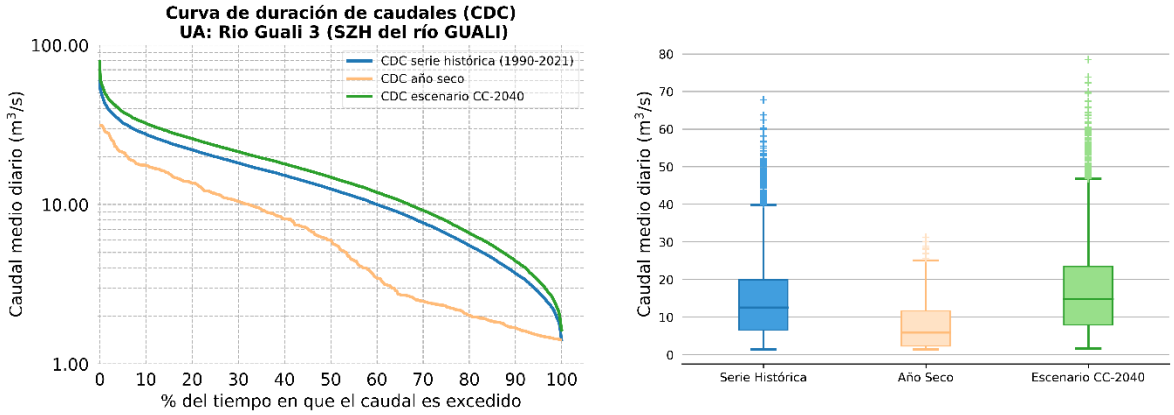


Figura 311. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.6. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada El Guarumo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 1.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 0.6 m^3/s (*Tabla 204*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.2% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 312*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.8	0.9	1.1	1.3	1.4	1.0	0.7	0.6	0.9	1.2	1.4	1.1

Tabla 204. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada El Guarumo

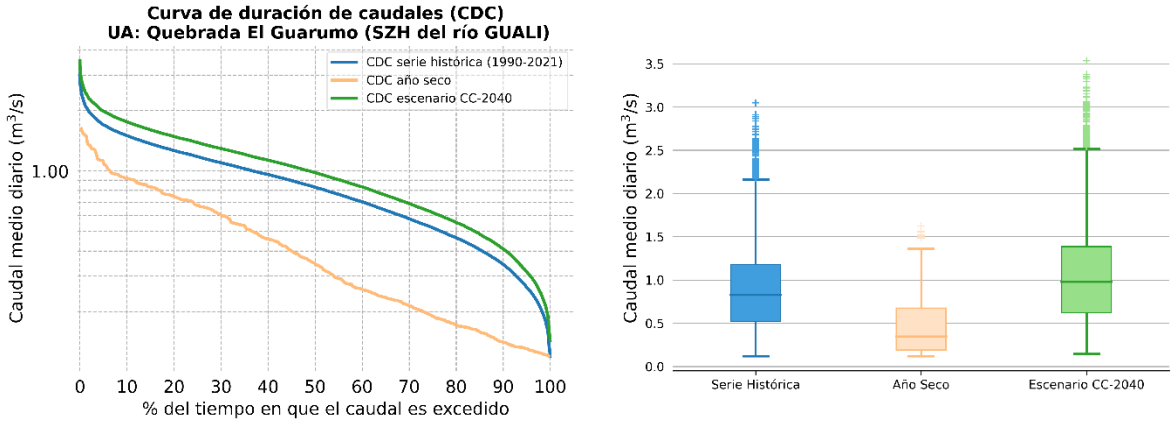


Figura 312. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada El Guarumo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.7. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Agua de Dios

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 1.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 0.7 m^3/s (*Tabla 205*). Se observa un aumento del 18.0% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 313*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.9	0.9	1.0	1.2	1.3	1.0	0.8	0.7	0.8	1.0	1.2	1.1

Tabla 205. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Agua de Dios

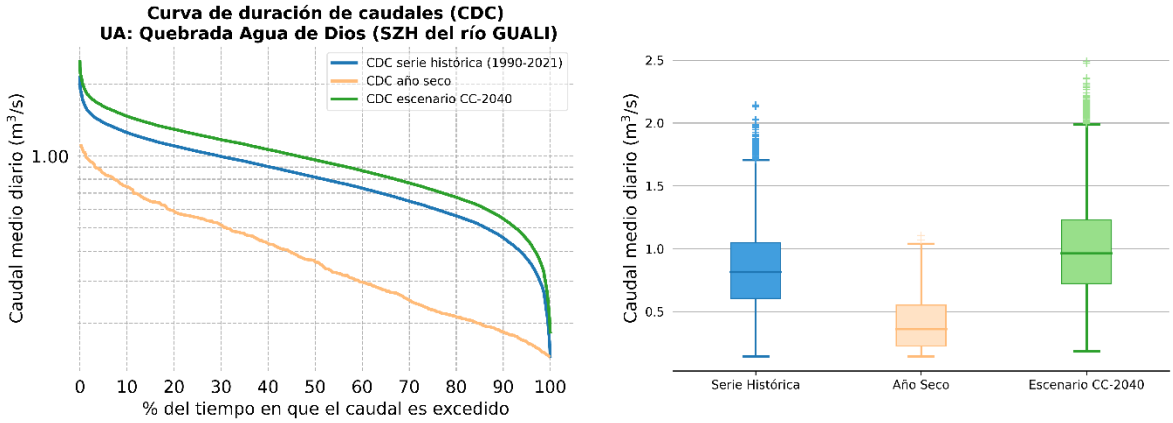


Figura 313. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Agua de Dios. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.8. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 27.3 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 11.3 m^3/s (*Tabla 206*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 314*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
13.6	15.7	20.8	26.2	27.3	17.8	11.8	11.3	16.4	24.6	26.2	19.1

Tabla 206. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 4

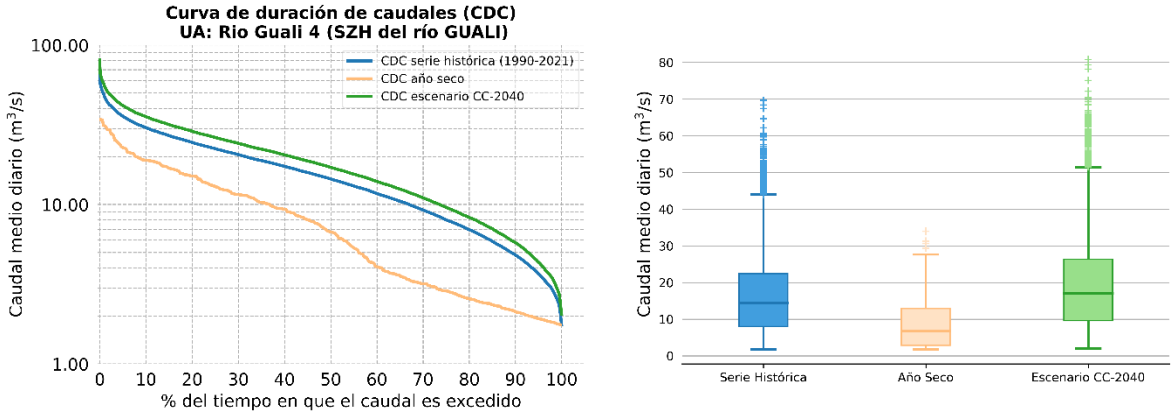


Figura 314. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.9. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 5

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 28.8 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 12.2 m^3/s (*Tabla 207*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.3% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 315*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
14.8	16.8	22.0	27.6	28.8	19.1	12.8	12.2	17.4	25.8	27.7	20.4

Tabla 207. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 5

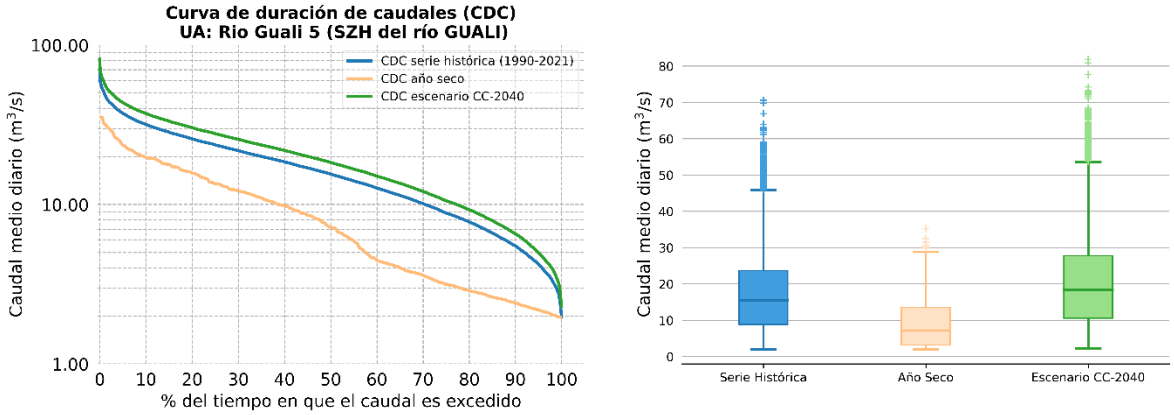


Figura 315. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.10. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada San Jose

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 0.8 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 0.5 m^3/s (*Tabla 208*). Se observa un aumento del 19.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 316*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7

Tabla 208. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada San Jose

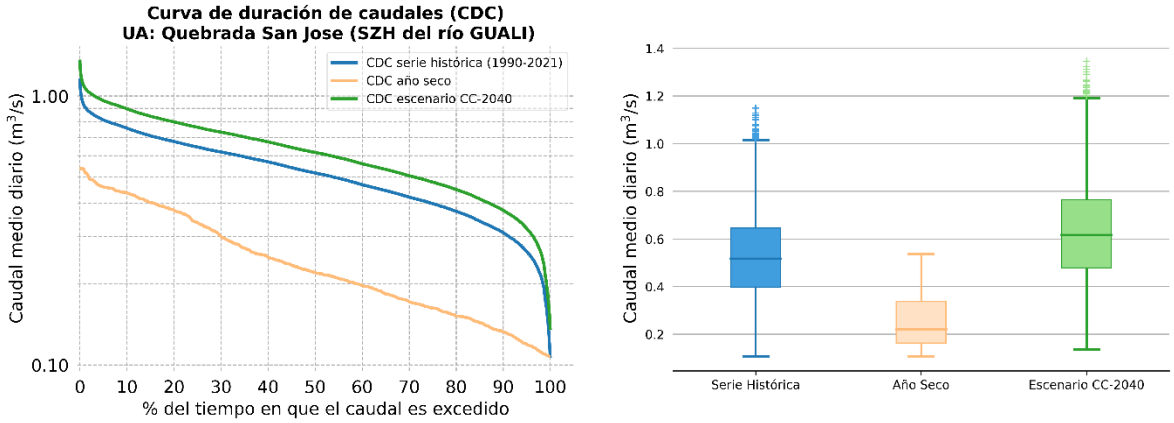


Figura 316. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada San Jose. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.11. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 6

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 33.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 14.6 m^3/s (*Tabla 209*). Se observa un aumento del 17.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.4% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 317*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
18.4	20.4	26.1	32.3	33.9	23.1	15.6	14.6	20.4	29.9	32.6	25.0

Tabla 209. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 6

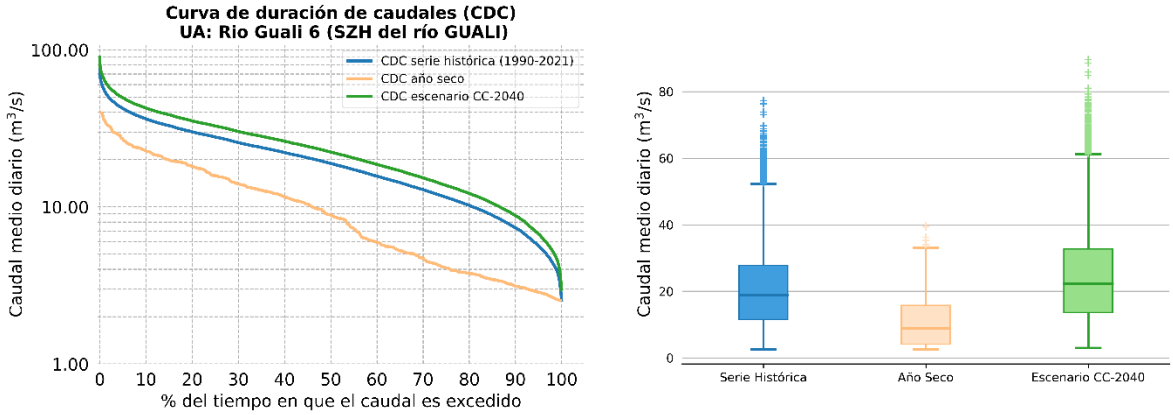


Figura 317. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.12. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Quebrada Nicua

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 1.5 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de julio el cual corresponde a 0.5 m^3/s (*Tabla 210*). Se observa un aumento del 17.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 318*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.8	0.8	1.1	1.3	1.4	0.8	0.5	0.5	0.8	1.2	1.5	1.2

Tabla 210. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Quebrada Nicua

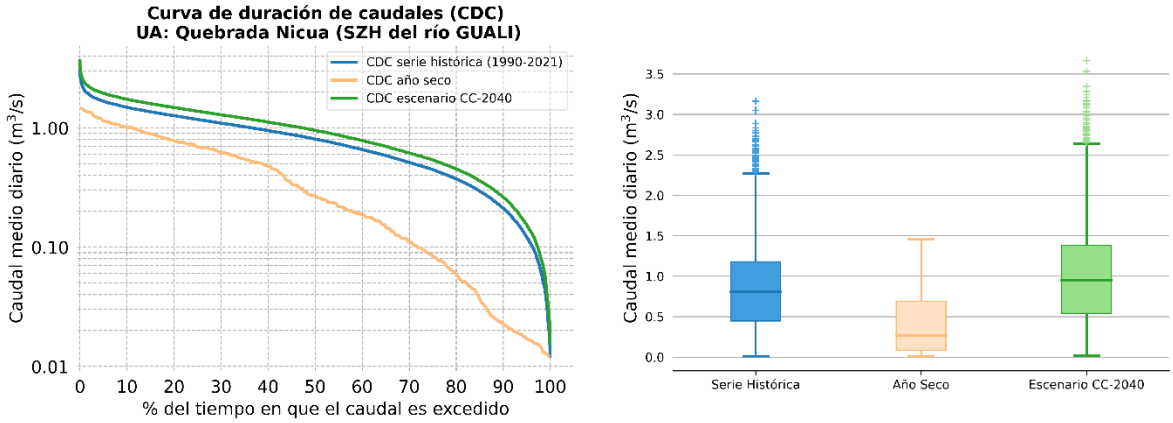


Figura 318. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Quebrada Nicua. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.13. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 7

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 36.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 16.0 m^3/s (*Tabla 211*). Se observa un aumento del 18.8% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 319*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
20.4	22.4	28.5	35.2	36.9	25.2	17.0	16.0	22.3	32.6	35.8	27.8

Tabla 211. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 7

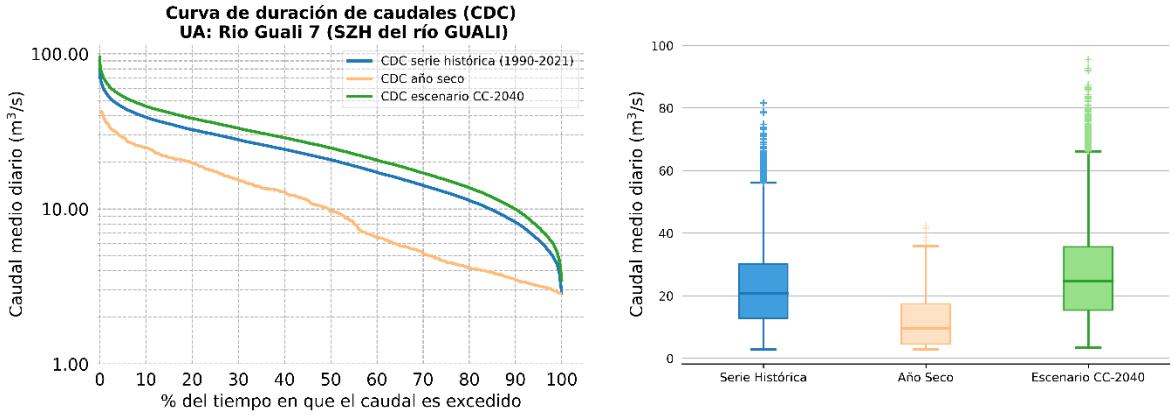


Figura 319. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 7. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.14. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Sucio

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 10.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 4.3 m^3/s (*Tabla 212*). Se observa un aumento del 19.2% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.5% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 320*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.7	6.4	7.4	8.7	9.0	6.6	4.4	4.3	5.8	8.1	10.2	9.2

Tabla 212. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Sucio

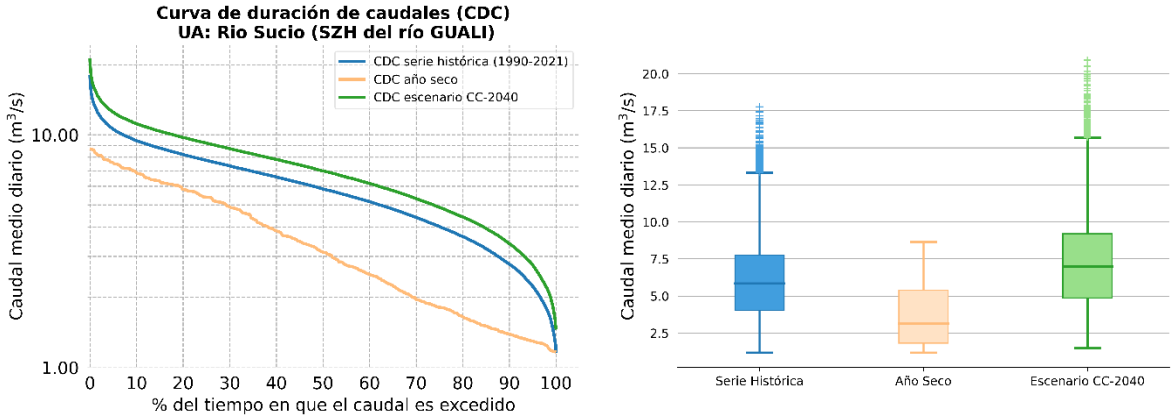


Figura 320. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Sucio. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.15. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 8

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 46.3 m³/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 20.5 m³/s (*Tabla 213*). Se observa un aumento del 18.9% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 321*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
27.3	29.1	36.1	44.2	46.2	32.0	21.5	20.5	28.2	40.9	46.3	37.3

Tabla 213. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 8

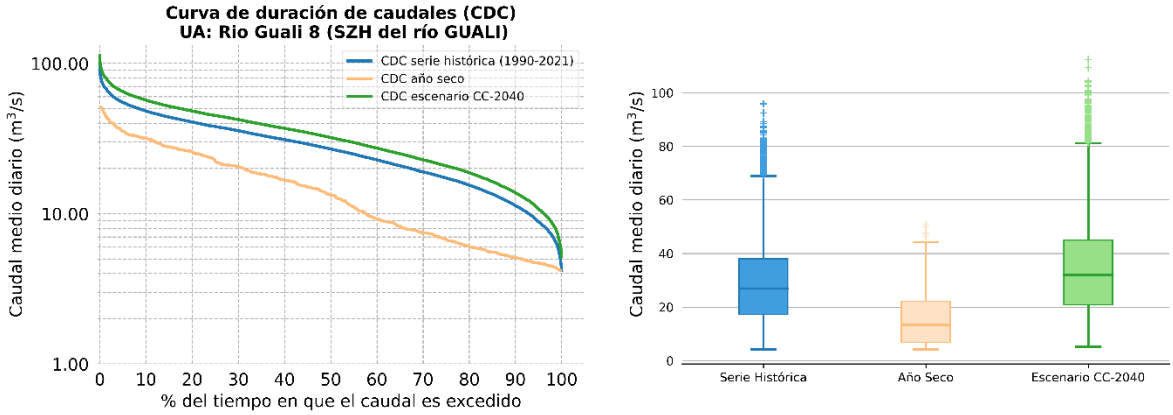


Figura 321. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 8. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.16. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Medina

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 11.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 4.5 m^3/s (*Tabla 214*). Se observa un aumento del 17.5% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 322*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7.4	7.1	8.2	9.5	9.8	7.1	4.6	4.5	6.2	8.9	11.4	10.3

Tabla 214. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Medina

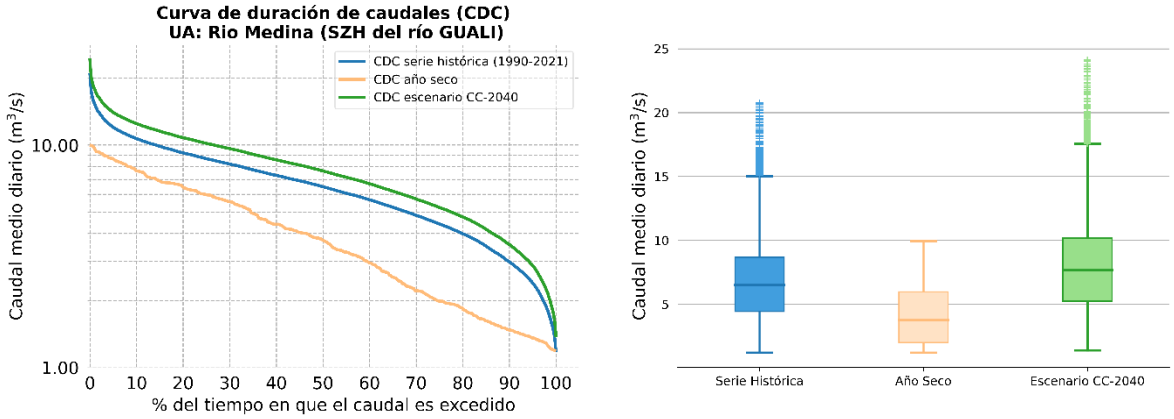


Figura 322. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Medina. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.9.17. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guali 9

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 70.6 m³/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 29.1 m³/s (*Tabla 215*). Se observa un aumento del 19.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 17.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 323*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
41.5	42.5	51.6	63.6	66.4	45.7	29.9	29.1	40.5	60.0	70.6	58.4

Tabla 215. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guali 9

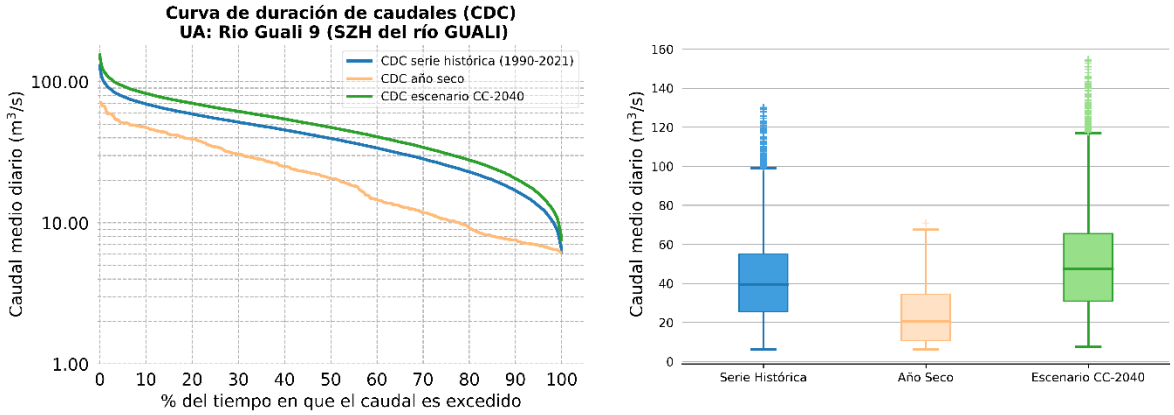


Figura 323. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guali 9. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10. Oferta Hídrica en Escenario de Cambio Climático para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

15.10.1. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 1

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 6.9 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 3.0 m^3/s (*Tabla 216*). Se observa un aumento del 16.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 16.0% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 324*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.0	3.5	4.8	5.7	6.9	5.5	4.5	4.1	5.4	6.0	5.6	4.3

Tabla 216. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 1

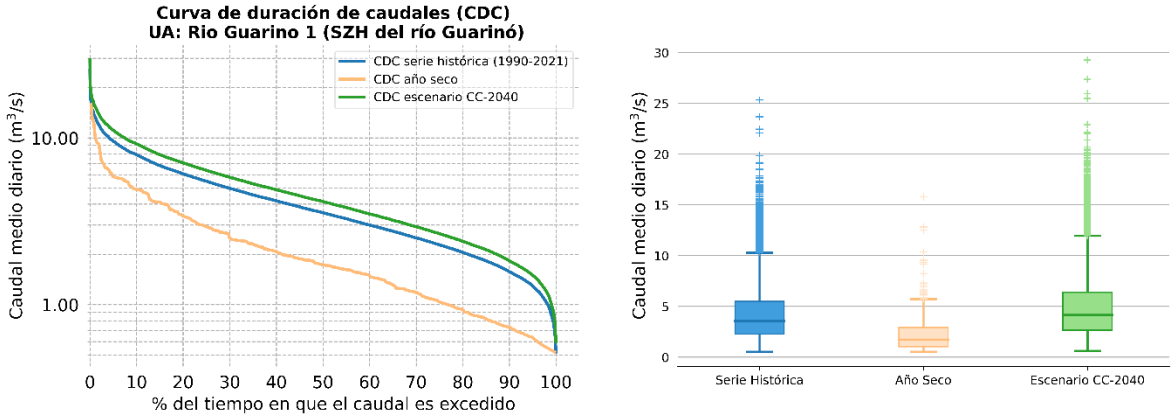


Figura 324. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 1. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.2. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Hondo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 8.5 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 3.2 m^3/s (*Tabla 217*). Se observa un aumento del 16.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 325*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
3.2	4.2	6.4	7.3	8.5	6.2	4.6	4.5	6.5	7.4	7.0	5.1

Tabla 217. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Hondo

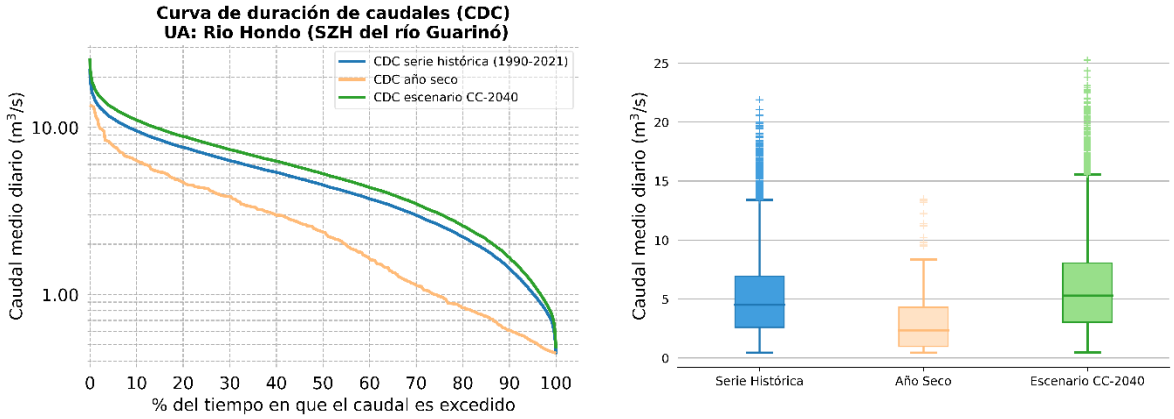


Figura 325. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Hondo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.3. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 2

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 31.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 13.2 m^3/s (*Tabla 218*). Se observa un aumento del 16.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 326*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
13.2	16.3	23.3	27.4	31.0	22.2	16.7	16.1	23.2	27.7	27.1	19.9

Tabla 218. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 2

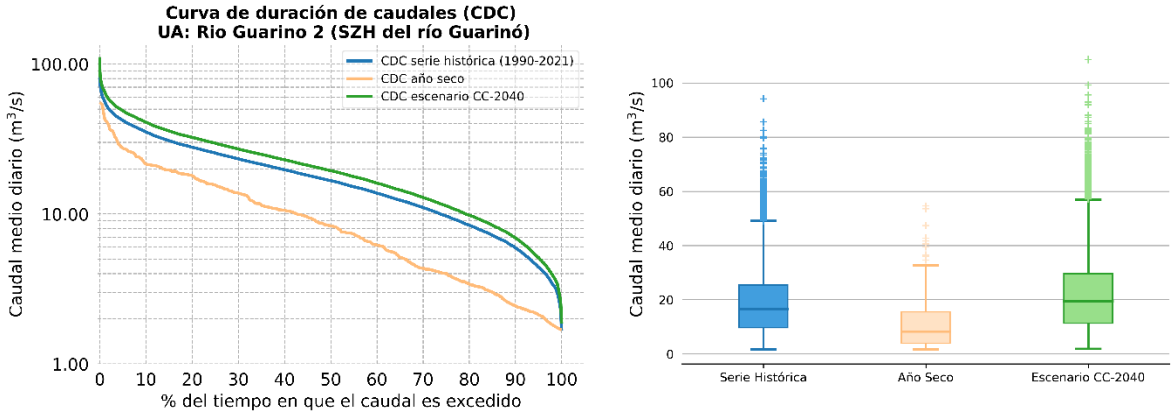


Figura 326. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 2. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.4. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Perrillo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 14.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de julio el cual corresponde a 6.3 m^3/s (*Tabla 219*). Se observa un aumento del 16.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.7% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 327*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7.3	8.6	11.3	13.8	14.3	9.2	6.3	6.4	9.6	13.4	14.4	10.6

Tabla 219. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Perrillo

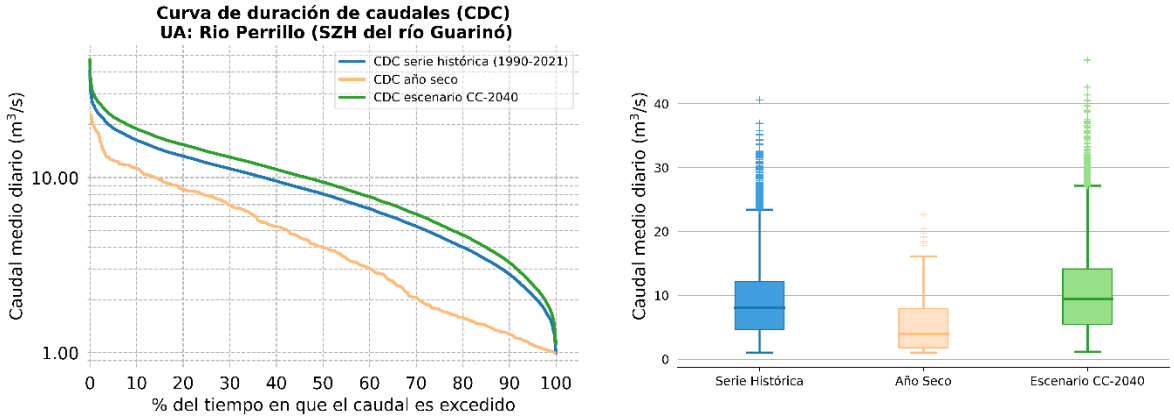


Figura 327. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Perrillo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.5. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 3

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 50.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de enero el cual corresponde a 24.2 m^3/s (*Tabla 220*). Se observa un aumento del 16.4% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 328*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
24.2	28.4	38.7	45.7	50.1	35.4	26.2	25.4	35.9	45.1	46.1	34.8

Tabla 220. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 3

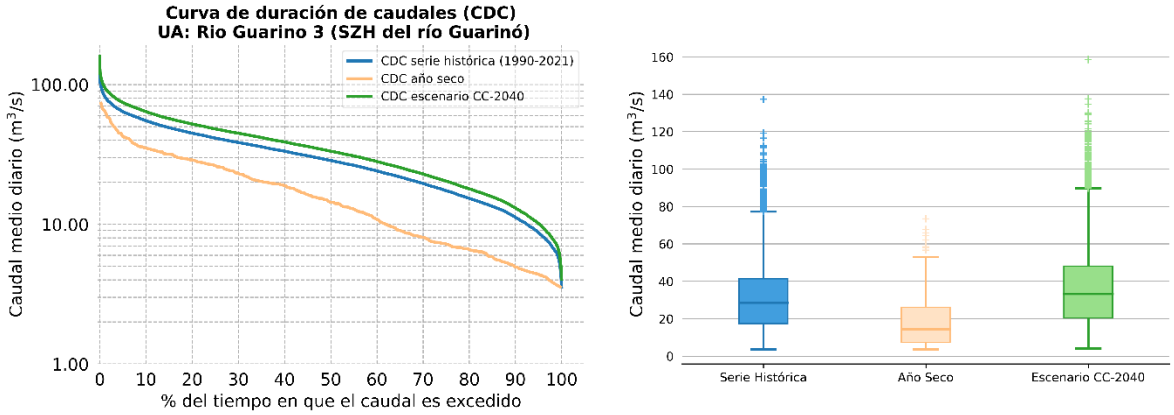


Figura 328. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 3. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.6. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Santo Domingo

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 10.5 m³/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 4.7 m³/s (*Tabla 221*). Se observa un aumento del 16.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 329*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5.8	6.6	8.6	9.8	10.1	6.8	4.7	4.7	6.8	9.1	10.5	8.8

Tabla 221. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Santo Domingo

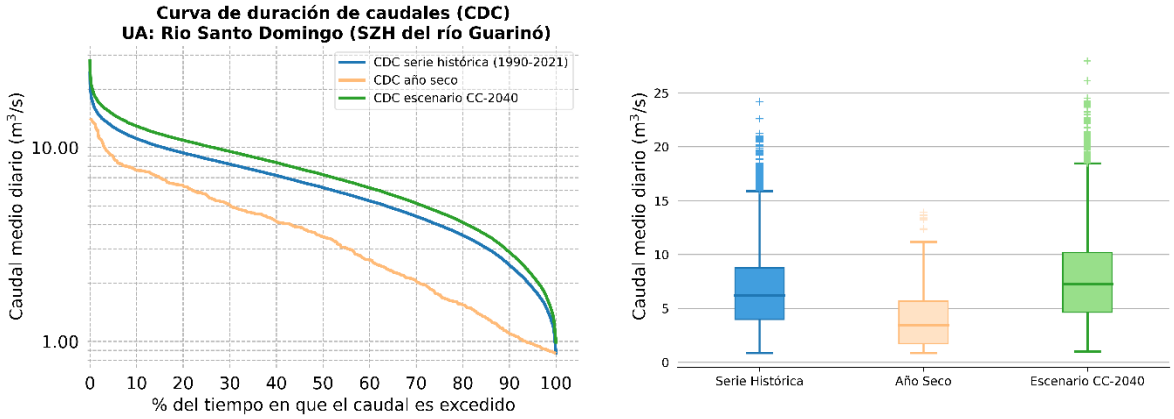


Figura 329. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Santo Domingo. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.7. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 4

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 67.2 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 33.9 m^3/s (*Tabla 222*). Se observa un aumento del 16.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 330*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
35.3	40.4	53.6	62.4	67.2	47.9	35.1	33.9	47.4	60.1	63.7	50.3

Tabla 222. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 4

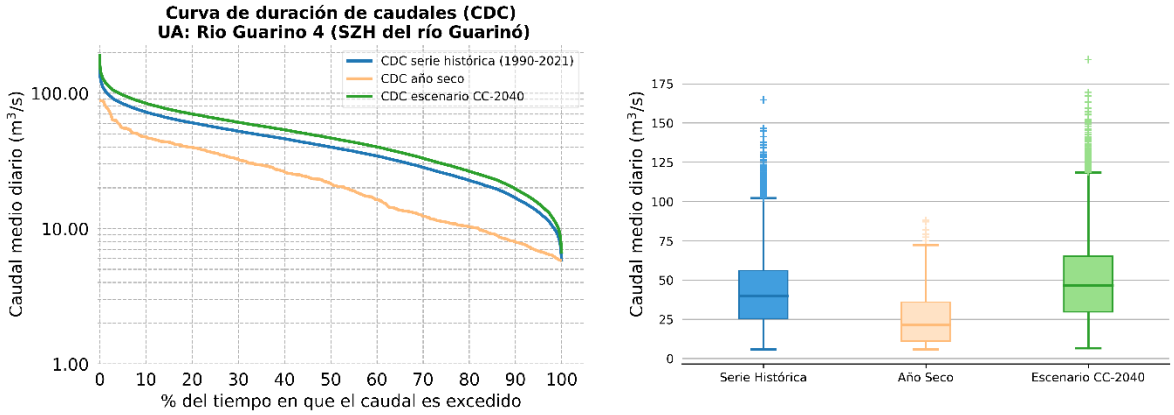


Figura 330. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 4. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.8. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio San Juan

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en noviembre con un valor de 2.4 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 1.2 m^3/s (*Tabla 223*). Se observa un aumento del 16.1% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.6% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 331*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.8	1.8	2.2	2.3	2.4	1.9	1.4	1.2	1.6	2.0	2.4	2.3

Tabla 223. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio San Juan

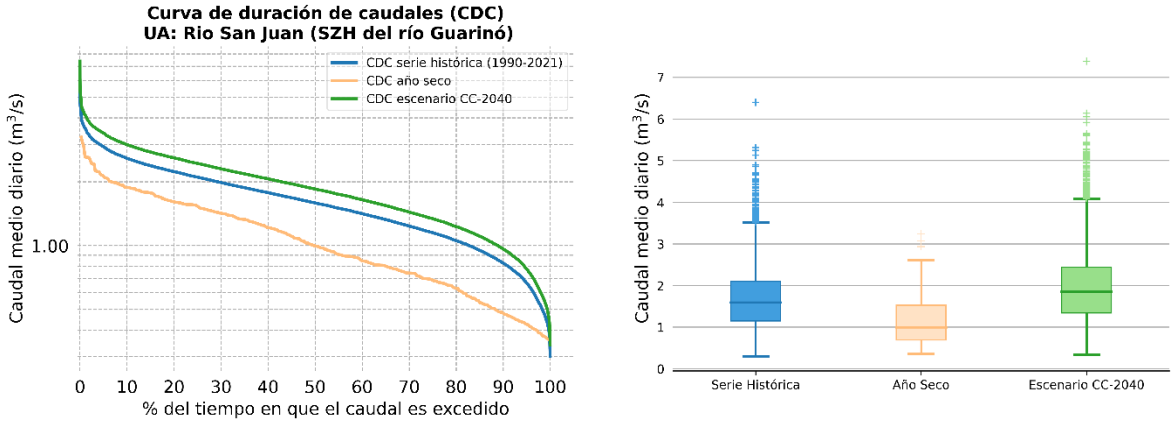


Figura 331. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio San Juan. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.9. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 5

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 76.0 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 38.9 m^3/s (*Tabla 224*). Se observa un aumento del 16.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 332*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
43.2	47.7	61.5	70.9	76.0	55.5	40.9	38.9	53.1	67.3	72.9	59.6

Tabla 224. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 5

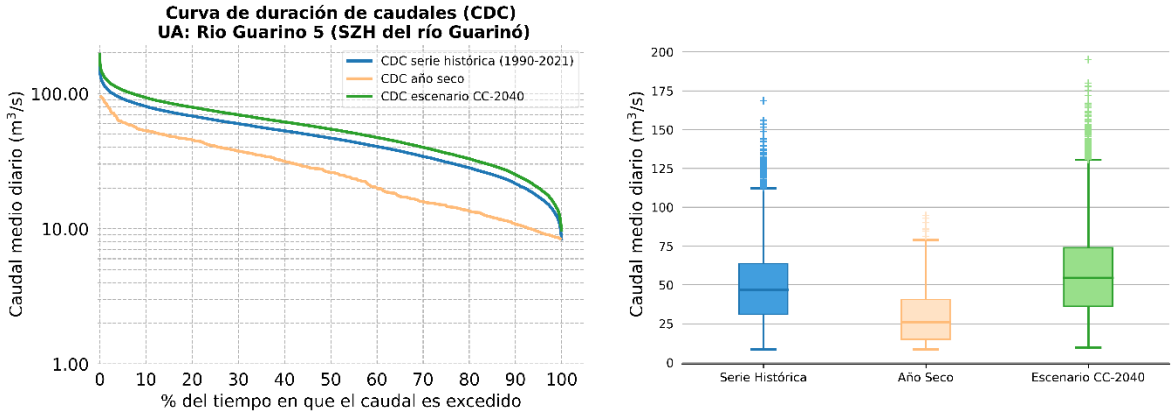


Figura 332. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 5. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.10. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 6

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 80.1 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 42.0 m^3/s (*Tabla 225*). Se observa un aumento del 16.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.9% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 333*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
47.5	52.0	65.7	75.1	80.1	59.2	44.1	42.0	56.2	71.1	77.4	64.3

Tabla 225. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 6

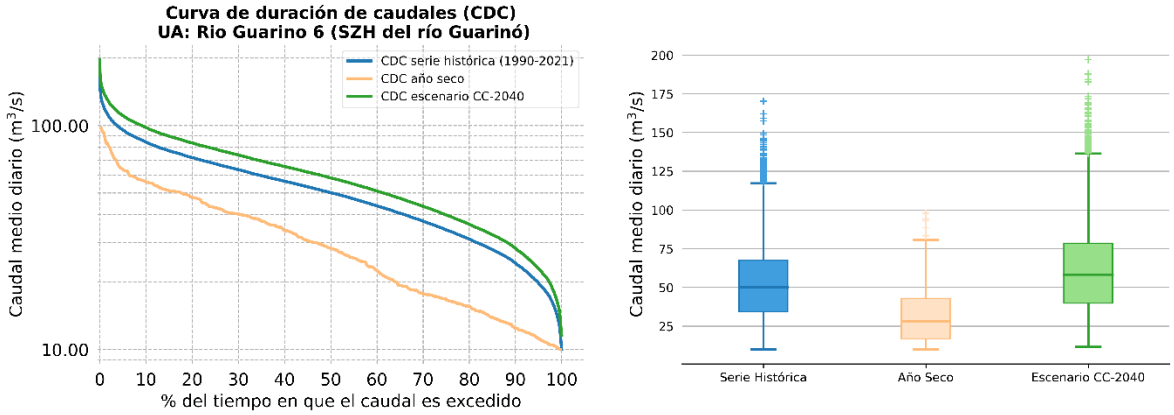


Figura 333. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 6. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

15.10.11. Oferta Hídrica en escenario de cambio climático en la unidad de análisis Rio Guarino 7

El caudal medio mensual más alto del año se presenta en mayo con un valor de 85.7 m^3/s, y el caudal medio mensual más bajo ocurre en el mes de agosto el cual corresponde a 44.6 m^3/s (*Tabla 226*). Se observa un aumento del 16.3% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, ya que su desviación estándar tiene una variación de 15.8% en relación con su valor histórico, dispersión que puede ser constatada en la *Figura 334*.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
50.9	55.7	70.2	81.0	85.7	61.8	45.7	44.6	59.9	78.0	85.6	70.0

Tabla 226. Oferta hídrica mensual en régimen natural simulada para el escenario promedio (Ensemble) de cambio climático a 2040 en la unidad Rio Guarino 7

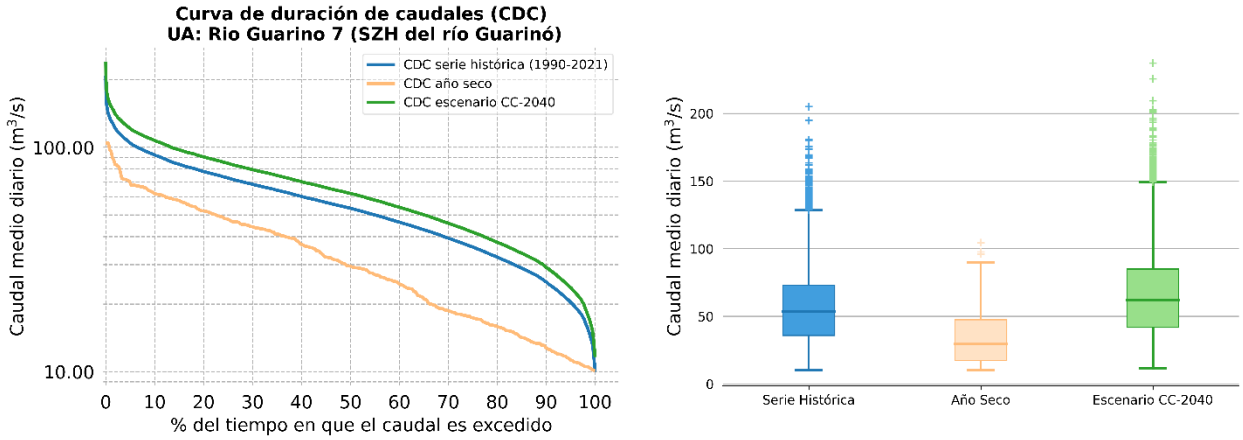


Figura 334. Distribución de caudales diarios simulados para la serie histórica, año seco y escenario de cambio climático en la unidad Rio Guarino 7. Izquierda: curvas de duración de caudales diarios. Derecha: Diagramas de cajas y bigotes de caudales diarios.

16. Conclusiones de Oferta Hídrica

La evaluación de la disponibilidad de la oferta hídrica brinda información base para la gestión y administración de las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Totare, Opia, Recio-Venadillo, Lagunilla, Sabandija, Gualí y Guarinó, lo que garantiza en gran medida el cubrimiento de las necesidades de la población o de las actividades económicas y productivas, así como para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos. A partir de los análisis realizados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Dada la escasa información sistemática de monitoreo meteorológico en relación con variables como temperatura, humedad relativa, brillo solar, y velocidad y dirección del viento fue necesario utilizar métodos de interpolación espacial para generar campos espaciales diarios de temperatura y precipitación mediante métodos de aprendizaje de máquinas, cuya aplicación fue satisfactoria al lograr obtener una varianza explicada promedio del 81% en validación cruzada.

Los ocho (8) modelos hidrológicos implementados fueron evaluados mediante trece (13) métricas de error que describen diferentes características del régimen hidrológico relacionadas con la variabilidad de las series en la escala de simulación diaria, la capacidad del modelo para representar los caudales característicos de la curva de duración de caudales, y el rendimiento del modelo para reproducir los caudales medios mensuales. La aplicación de estos criterios de evaluación permitió evidenciar que todos los modelos presentan un desempeño razonable y suficiente para determinar la oferta hídrica en el marco de la Evaluación Regional del Agua.

Con el propósito de mejorar el rendimiento de los modelos hidrológicos en futuros estudios y actualizaciones de la ERA, se ha identificado la necesidad de fortalecer los siguientes aspectos de línea base:

- Robustecer las redes de monitoreo hidrometeorológico de la Autoridad Ambiental en perspectiva de mejorar el cubrimiento espacial y configurar sus sistemas de registro con una resolución temporal a escala sub-horaria, lo cual implica repotenciar las redes de monitoreo.
- Implementar estrategias y acciones para aunar esfuerzos interinstitucionales entre la Autoridad Ambiental y otras entidades del orden nacional como el Servicio Geológico, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y/o Institutos de Investigación para realizar el monitoreo piezométrico sistemático de los sistemas acuíferos del norte y abanico de Ibagué, así como el desarrollo de estudios de suelos en el nivel semidetallado.

- Es necesario que la Autoridad Ambiental incluya en su línea estratégica de monitoreo del recurso hídrico un inventario y seguimiento sistemático de caudales trasegados por las principales estructuras hidráulicas de la subzona hidrográfica del río Opia, especialmente los volúmenes trasvasados del río Combeima, su distribución y los sobrantes que ingresan desde el río Chipalo, ya que en la actualidad no se encuentran monitoreados de forma sistemática.
- Tomando en consideración que la subzona hidrográfica del río Totare presenta una alta escases de información hidrométrica histórica, se configura como el sistema hidrológico que requiere ser priorizado para futuras inversiones en monitoreo hidrométrico, especialmente sobre los principales afluentes del río Totare, como son los río La China, río Alvarado, y río Chipalo.
- Dada la necesidad de mejorar el monitoreo de los aportes de caudal en la parte media y baja del río Venadillo, es prioritario establecer un monitoreo hidrométrico sistemático en su cauce principal.
- Es recomendable que desde la red hidrométrica de la entidad se establezca el monitoreo hidrométrico sistemático y continuo de las captaciones: Bocatoma el Coso, Canal Asocoras, Canal el Triunfo – Asotriunfo, Canal Pindal – Asopindal, Canal Montalvo, y Canal San José Bledonia, ubicadas en la subzona hidrográfica del río Lagunilla. Lo cual aportará conocimiento sobre la variabilidad temporal de los caudales captados y contribuir a una mejor estrategia de restitución de caudales al régimen natural en futuros ejercicios de modelación hidrológica en la subzona hidrográfica.
- Incluir el seguimiento sistemático de los principales caudales captados en el río sucio (afluente del río Gualí) para contar a futuro con información detallada de la variabilidad intranual de los caudales en este tramo de la Unidad Hidrográfica y así mejorar la precisión del procedimiento de restitución de caudales al régimen natural con fines de modelación hidrológica.

16.1. SZH del río Coello

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 57.91, 79.85, y 37.88 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 142.5 % de aumento, un 142.4 % de aumento, y un 149 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 27.3, 35.3 y 17.2 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 67.2, 62.9 y 67.7 % con relación al valor medio anual. En esta subzona se presentan tendencias estadísticamente significativas al

aumento de los caudales máximos diarios en el periodo de 1990 a 2021 y una oferta hídrica total disponible de 17.5, 33.0 y 9.22 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una alta fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática.

- A partir de la definición y simulación de escenarios de oferta hídrica fue posible establecer que en la Subzona Hidrográfica del río Coello las unidades de análisis que registran los mayores caudales de oferta hídrica total disponible (OHTD), tanto para año medio, húmedo y seco: río Coello 6 (OHTD año medio: 17.53 m^3/s), río Coello 5 (año medio: 16.83 m^3/s), río Coello 4 (año medio: 15.09 m^3/s), río Coello 3 (año medio: 10.75 m^3/s) y río Coello 2 (año medio: 7.19 m^3/s). Es decir, para las tres condiciones hidrológicas presenta un caudal de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los ambientes fluviales. Por otra parte, estas Unidades registran un aumento del caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico. Además, se evidencia un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático.

16.2. SZH del río Totare

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 37.57, 56.61, y 24.17 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 161.6 % de aumento, un 155.2 % de aumento, y un 222.2 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 14.89, 20.45 y 4.36 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 64.04, 56.07 y 40.12 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona se presentan tendencias estadísticamente significativas al incremento de los caudales máximos, medios y mínimos diarios, en el periodo de 1990 a 2021. La oferta hídrica total disponible es de 12.89, 26.11 y 6.19 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una alta fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática.
- Para el caso de la Subzona Hidrográfica del río Totare, entre los resultados obtenidos se destacan las Unidades de Análisis: río Totare 4 (12.03 m^3/s) y río Totare 5 (12.89 m^3/s), ya que presentan los mayores valores de OHTD en año medio. Opuesto a estos caudales, la Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Totare (0.24 m^3/s), río Totare 1 (0.72 m^3/s) y la Unidad de Análisis río La China 1 (0.84 m^3/s), registran los menores valores de OHTD. En cuanto a la oferta hídrica en escenario de cambio climático se observó que estas Unidades de Análisis presentan un incremento en la variabilidad de los caudales diarios, así como un aumento del caudal medio

anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico.

16.3. SZH del río Opia

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 9.79, 11.49, y 10.9 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 213.7 % de aumento, un 249.6 % de aumento, y un 294.3 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 2.01, 1.09 y 0.70 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 43.9, 23.8 y 19.00 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona se identifican tendencias estadísticamente significativas a la disminución de los caudales mínimos diarios en el periodo de 1990 a 2021 y la oferta hídrica total disponible es de 3.72, 3.74 y 3.00 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una alta fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática intranual.
- La Subzona Hidrográfica del río Opia se encuentra conformada por cuatro unidades de análisis: quebrada Doima, río Opia 1, río Opia 2 y la Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Opia. Por otro lado, la Unidad de Análisis: río Opia 2 presenta los mayores valores de OHTD en año medio (3.72 m^3/s) y el río Opia 1 presenta los menores valores (1.27 m^3/s). Por otra parte, según el análisis de la oferta hídrica en escenario de cambio climático para todas las Unidades de Análisis se observó un aumento del caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, de igual manera, un incremento en la variabilidad de caudales diarios, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático.

16.4. SZH del río Recio-Venadillo

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 39.5, 49.4, y 29.5 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 130.6 % de aumento, un 121.8 % de aumento, y un 160.9 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 24.7, 29.9 y 12.1 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 81.7, 73.7 y 66.3 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona no se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales máximos, medios y mínimos en el periodo de 1990 a 2021 y su oferta

hídrica total disponible es de 10.87, 21.14 y 6.00 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una baja fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática intranual.

- En la Subzona Hidrográfica del río Recio-Venadillo 4 de las 13 Unidades de Análisis registran los caudales más de OHTD en año medio: río Recio 6 (10.87 m^3/s), río Recio 5 (10.74 m^3/s), río Recio 4 (10.29 m^3/s), y río Recio 3 (8.41 m^3/s). Opuesto a esto, las Unidades de Análisis con menores valores de OHTD en año medio corresponden a: Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Recio-Venadillo (0.28 m^3/s), quebrada Tautau (0.48 m^3/s) y quebrada Santa Rosa (0.73 m^3/s), caudales que se ven afectados considerablemente cuando las condiciones hidrológicas pasan a ser extremas de año seco.
- De otra parte, según el análisis de la oferta hídrica en escenario de cambio climático para todas las Unidades de Análisis se observó un aumento del caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, de igual manera, un incremento en la variabilidad de caudales diarios, siendo las Quebrada Tautau (20.5%) y el Río Yuca (20.4%) las que registran los mayores incrementos.

16.5. SZH del río Lagunilla

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 49.69, 60.71, y 37.85 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 142.1 % de aumento, un 136.15 % de aumento, y un 180.9 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 24.6, 28.5 y 10.09 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 70.5, 63.9 y 48.3 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona no se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales máximos, medios y mínimos en el periodo de 1990 a 2021 y su oferta hídrica total disponible es de 15.64, 25.27 y 10.71 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una baja fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática intranual.
- La Subzona Hidrográfica del río Lagunilla cuenta con un total de 13 Unidades de Análisis, de las cuales tres registran los mayores valores de OHTD en año medio: la Unidad de Análisis: río Lagunilla 7 (15.64 m^3/s), río Lagunilla 6 (14.31 m^3/s) y el río Lagunilla 5 (12.29 m^3/s). Por otro lado, las Unidades de Análisis con menor oferta hídrica total disponible (OHTD) corresponde a: Unidad de Análisis: río Vallecitos (0.59 m^3/s, quebrada La Joya (0.785 m^3/s) y la Unidad de Análisis: quebrada Palmas

(0.81 m^3/s). En cuanto a la oferta hídrica en escenario de cambio climático se observó que estas Unidades de Análisis registran un aumento en promedio del 18% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático.

16.6. SZH del río Sabandija

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 18.88, 23.17, y 16.8 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 136.5 % de aumento, un 128.9 % de aumento, y un 227.9 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 9.62, 11.68 y 3.41 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 69.5, 64.99 y 46.31 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona no se presentan tendencias estadísticamente significativas en los caudales máximos, medios y mínimos en el periodo de 1990 a 2021 y su oferta hídrica total disponible es de 5.47, 9.61 y 3.78 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una baja fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática.
- La Subzona Hidrográfica del río Sabandija se encuentra conformada por cuatro unidades de análisis: quebrada Seca, río Sabandija 1, río Sabandija 2 y la Unidad de Análisis: Drenajes directos al Magdalena SZH río Sabandija. Por otro lado, la Unidad de Análisis: río Sabandija 2 (5.47 m^3/s) registra los mayores valores de OHTD en año medio y la Unidad de Análisis: río Cuamo (0.99 m^3/s) presenta los menores valores de oferta hídrica total disponible en año medio, caudal que en año seco sufre una considerable reducción.
- En relación a la oferta hídrica en escenario de cambio climático el mayor incremento en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico se registra en el Río Cuamo (48.5%), lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático. Además, es evidenciable un incremento en la variabilidad de sus caudales diarios.

16.7. SZH del río Gualí

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 59.27, 94.01, y 48.45 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 141.8 % de aumento, un 156.6 % de aumento, y un 202.7 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural

para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 24.08, 29.09 y 7.90 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 57.6, 48.5 y 33.1 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona se identifican tendencias estadísticamente significativas al aumento en los caudales máximos diarios en el periodo de 1990 a 2021 y su oferta hídrica total disponible es de 21.65, 39.89 y 15.86 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una alta fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática.

- En la Subzona Hidrográfica del río Gualí se encontró que 2 de 18 Unidad de Análisis registran los menores valores de OHTD en año medio: río Gualí 9 (21.65 m^3/s) y el río Gualí 8 (15.19 m^3/s). Por su parte, las Unidades de Análisis con menores valores de OHTD en año medio corresponden a: quebrada San José (0.18 m^3/s), quebrada Agua de Dios (0.32 m^3/s), quebrada El Guarumo (0.48 m^3/s) y la Unidad de Análisis: quebrada Nicúa (0.54 m^3/s); en estas Unidades de Análisis, el caudal ambiental sufre una importante disminución (mayor al 50%) cuando las condiciones hidrológicas pasan a ser extremas de año seco, condición que se acentúa especialmente en la quebrada Nicúa, es decir, para año seco los servicios ecosistémicos de soporte, regulación, aprovisionamiento, culturales de la fuente hídrica son altamente vulnerables.
- En cuanto a la oferta hídrica en escenario de cambio climático se observó que estas Unidades de Análisis registran un incremento en el rango de 17.7 - 19.6% en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico, lo cual indica una amplificación en el efecto de hidrológico del cambio climático.

16.8. SZH del río Guarinó

- El caudal medio mensual en régimen natural para el mes más húmedo corresponde a 73.78, 124.01, y 61.47 m3/s para los años hidrológicos medio, húmedo y seco respectivamente, que representan un 130.5 % de aumento, un 153.6 % de aumento, y un 177.9 % de aumento en relación con el caudal medio anual en régimen natural para cada condición hidrológica. En contraste, el caudal medio mensual del mes más seco es 38.32, 42.59 y 14.30 m3/s para cada año hidrológico respectivamente, correspondiente a una reducción en un 67.8, 52.7 y 41.4 % con relación al valor medio anual. Para esta subzona se identifican tendencias estadísticamente significativas al aumento en los caudales máximos diarios en el periodo de 1990 a 2021 y su oferta hídrica total disponible es de 27.65, 51.86 y 20.35 m3/s para las condiciones hidrológicas de año medio, año húmedo y año seco, evidenciando una alta

fluctuación en la respuesta hidrológica de la cuenca en función de la variabilidad climática.

La Subzona Hidrográfica del río Guarinó se encuentra conformada por once Unidades de Análisis, de las cuales seis registran los mayores valores de OHTD en año medio: Unidad de Análisis: río Guarinó 7 (27.65 m^3/s), río Guarinó 6 (24.72 m^3/s), río Guarinó 5 (24.11 m^3/s), río Guarinó 4 (22.77 m^3/s), río Guarinó 3 (17.81 m^3/s) y la Unidad de Análisis: río Guarinó 2 (11.71 m^3/s). Por otro lado, la Unidad de Análisis: río San Juan registra los menores valores de oferta hídrica total disponible en año medio con 0.71 m^3/s y en año seco 0.59 m^3/s.

En cuanto a la oferta hídrica en escenario de cambio climático se observó que estas Unidades de Análisis registran un aumento en promedio del 16.3 % en el caudal medio anual para el escenario simulado de cambio climático en contraste con el caudal medio anual histórico y un incremento en la variabilidad de los caudales diarios.

17. Referencias

Alencar da Silva, K. M., & Silva, R. (2017). Tendencia Pluviométrica y Concentración Estacional de Precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Río Moxotó – Pernamcuco – Brasil. Revista Geográfica de América Central, 1(58), 295. https://doi.org/10.15359/rgac.58-1.12

Cantor, D. C. (2011). Evaluación y Análisis Espaciotemporal de Tendencias de Largo Plazo en la Hidroclimatología Colombiana.

Castro, L. M., & Carvajal, Y. (2011). Análisis de Tendencia y Homogeneidad de Series Climatológicas. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002

CAR. (2013). Evaluacion Regional del Agua cuenca río Blanco. Bogotá D.C: Corporacional Autónoma Regional de Cundinamarca.

CORTOLIMA. (2018). Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial del Tolima: Ruta Dulima. El Tolima enfrenta el cambio en el clima. Ibagué: CORTOLIMA.

CRQ. (2017). Evaluación Regional Del Agua. Armenia: Corporación Autónoma Regional Del Quindío.

Forero, L. C., Longo, M., John Jairo Ramírez, R., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del Río Negro (ICERN-MAE), Colombia. Revista de Biologia Tropical, 62(April), 233–247.

Hamed, K. H. (2008). Trend Detection in Hydrologic Data: the Mann–Kendall Trend Test Under the Scaling Hypothesis. Journal of Hydrology, 349(3–4), 350–363. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009

Hamed, K. H. (2009). Exact Distribution of the Mann–Kendall Trend Test Statistic for Persistent Data. Journal of Hydrology, 365(1–2), 86–94. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.024

IDEAM. (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua - ERAS 2013. Bogotá D.C.: IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental-Grupo de suelos y Tierras.

IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

MADS. (2018). Guía para el ordenamiento del recurso hídrico continental superficial. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MinAmbiente. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos. Bogotá D.C: MADS.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Medellín: Universidad del Antioquia.

UNESCO. (2007). Groundwater Resources Susteinability Indicators (14 ed., Vol. VI). Paris: UNESCO.

Baker, M. E., Weller, D. E., & Jordan, T. E. (2006). Comparison of Automated Watershed Delineations: Effects on Land Cover Areas, Percentages, and Relationships to Nutrient Discharge. www.usgs.gov

Barnes, R., Lehman, C., & Mulla, D. (2014). Priority-flood: An Optimal Depression-Filling and Watershed-Labeling Algorithm for Digital Elevation Models. Computers & Geosciences, 62, 117–127. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.04.024

Bense, V., & van Balen, R. (2003). Hydrogeological Aspects of Fault Zones on Various Scales in the Roer Valley Rift System. Journal of Geochemical Exploration, 78–79, 317–320. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00031-1

Callow, J. N., van Niel, K. P., & Boggs, G. S. (2007). How Does Modifying a DEM to Reflect Known Hydrology Affect Subsequent Terrain Analysis? Journal of Hydrology, 332(1–2), 30–39. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.020

Chapuis, R. P. (2012). Predicting the Saturated Hydraulic Conductivity of Soils: A Review. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 71(3), 401–434. https://doi.org/10.1007/s10064-012-0418-7

Chilton, J. (1996). Groundwater. In D. v. Chapman (Ed.), Water Quality Assessments : A Guide to the Use of Biota, Sediments, and Water in Environmental Monitoring (2nd ed., p. 626). E & FN Spon.

Collins, D. D. (1970). Climate-Plant Relations Affecting Semi-Desert Grassland Hydrology. In Simulation andAna{ysis ofDynamics of a Semi-Desert Grassland (Vol. 6, pp. 100–118).

CORTOLIMA. (2013). Estudio Hidrogeológico y Caracterización del Acuífero en el Abanico Aluvial del Municipio de Ibagué.

CORTOLIMA. (2016). Plan de Manejo Ambiental del Acuífero de Ibagué - Fase Diagnóstico.

FAO. (2006). Evapotranspiración del Cultivo : Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos (R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, & M. Smith, Eds.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Francés, F., Vélez, J. I., & Vélez, J. J. (2007). Split-Parameter Structure for the Automatic Calibration of Distributed Hydrological Models. Journal of Hydrology, 332(1–2), 226–240. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.032

Gómez, J. A., & Cadena, M. C. (2017). Validación de las Fórmulas de Evapotranspiración de Referencia (Eto) para Colombia.

Helvey, J. D. (1967). Interception by Eastern White Pine. Water Resources Research, 3, 723–729.

Helvey, J. D., & Patric, J. H. (1965). Canopy and Litter Interception of Rainfall by Hardwoods of Eastern United States. Water Resources Research, 1(2), 193–206. https://doi.org/10.1029/WR001i002p00193

Hutchinson, M. F. (1989). A New Procedure for Gridding Elevation and Stream Line Data with Automatic Removal of Spurious Pits. Journal of Hydrology, 106(3–4), 211–232. https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1997). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Tolima.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1998). Estudio General de Suelos del Departamento del Caldas.

Lindsay, J. B. (2016). The Practice of DEM Stream Burning Revisited. Earth Surface Processes and Landforms, 41(5), 658–668. https://doi.org/10.1002/esp.3888

Lindsay, J. B., & Creed, I. F. (2005). Removal of Artifact Depressions from Digital Elevation Models: Towards a Minimum Impact Approach. Hydrological Processes, 19(16), 3113–3126. https://doi.org/10.1002/hyp.5835

Maidment, D. R., & Saunders, W. K. (1996). Non-point Source Pollution Assessment of the San Antonio-Nueces Coastal Basin.

Martz, L. W., & Garbrecht, J. (1998). The Treatment of Flat Areas and Depressions in Automated Drainage Analysis of Raster Digital Elevation Models. Hydrological Processes, 12(6), 843–855. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199805)12:6<843::AID-HYP658>3.0.CO;2-R

Mayer, A., May, W., Lukkarila, C., & Diehl, J. (2007). Estimation of Fault-Zone Conductance by Calibration of a Regional Groundwater Flow Model: Desert Hot Springs, California. Hydrogeology Journal, 15(6), 1093–1106. https://doi.org/10.1007/s10040-007-0158-0

Mizgalewicz, P., & Maidment, D. (1996). Modeling Agrichemical Transport in Midwest Rivers Using Geographic Information Systems.

O'Callaghan, J. F., & Mark, D. M. (1984). The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 28(3), 323–344. https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0

Patton, N. R., Lohse, K. A., Godsey, S. E., Crosby, B. T., & Seyfried, M. S. (2018). Predicting Soil Thickness on Soil Mantled Hillslopes. Nature Communications, 9(1), 3329. https://doi.org/10.1038/s41467-018-05743-y

Planchon, O., & Darboux, F. (2002). A Fast, Simple and Versatile Algorithm to Fill the Depressions of Digital Elevation Models. CATENA, 46(2–3), 159–176. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00164-3

Saunders, W. (1999). Esri User Conference July 24-30.

Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Science Society of America Journal, 70(5), 1569–1578. https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117

SGC, & EAFIT. (2016). Anexos de la Memoria Explicativa de la Zonificación de la Susceptibilidad y la Amenaza Relativa por Movimientos en Masa Escala 1:100.000. Plancha 32 - Chivoló.

Tromble, J. M. (1988). Water Interception by Two Arid Land Shrubs. Journal of Arid Environments, 15(1), 65–70. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31005-X

Turcotte, R., Fortin, J.-P., Rousseau, A. N., Massicotte, S., & Villeneuve, J.-P. (2001). Determination of the Drainage Structure of a Watershed Using a Digital Elevation Model and a Digital River and Lake Network. Journal of Hydrology, 240(3–4), 225–242. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00342-5

UPV. (2011). Informe de Modelación Hidrológica de las Cuencas Vertientes a la Comarca de la Marina Alta (Alicante).

URA. (2003). Estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos Totales en el Ámbito de la CAPV.

USACE. (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual CPD-74B. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf

Verbeiren, B., Khanh Nguyen, H., Wirion, C., & Batelaan, O. (2016). An Earth Observation Based Method to Assess the Influence of Seasonal Dynamics of Canopy Interception Storage on the Urban Water Balance. Belgeo, 2. https://doi.org/10.4000/belgeo.17806

Yong-He, L., Wan-Chang, Z., & Jing-Wen, X. (2009). Another Fast and Simple DEM Depression-Filling Algorithm Based on Priority Queue Structure. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2(4), 214–219. https://doi.org/10.1080/16742834.2009.11446800

Zhang, W., & Montgomery, D. R. (1994). Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, and Hydrologic Simulations. Water Resources Research, 30(4), 1019–1028. https://doi.org/10.1029/93WR03553

Zinke, P. J. (1966). Forest Interception Studies in the United States. Symposium on Forest Hydrology, 137–161.

Capítulo Demanda Hídrica

En el marco de la Evaluación Regional del Agua, la caracterización y cuantificación de la demanda hídrica tiene como objetivo evidenciar los principales sectores usuarios con mayor presión por el uso del recurso y hacer previsiones sobre su comportamiento futuro. Es un insumo técnico fundamental en los procesos de planificación, gestión y toma de decisiones por parte de la Autoridad Ambiental en pro de la Gestión Integral del Recurso Hídrico y el uso eficiente y sostenible del agua. Lo anterior, atendiendo a criterios como el crecimiento de la población, el crecimiento del PIB nacional y regional de los sectores económicos respectivos, la eficiencia en el consumo del agua, entre otros (IDEAM, 2013).

En este estudio, la determinación de la demanda hídrica se encuentra soportada por la información descrita en las bases de datos del Sistema de Información del Recuso Hídrico (SIRH), Tasa por Uso del Agua (TUA) y acueductos municipales y veredales, de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA). Así mismo, se empleó información contemplada en los expedientes de concesiones hídricas, geodatos, bases de datos de permisos de captación de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y estudios previos de demanda hídrica de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS), Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), y Planes o Esquemas de Ordenación Territorial (POT y EOT) de los municipios con jurisdicción en las Subzonas Hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio y Venadillo, Sabandija, Lagunilla, Gualí y Guarinó.

Adicionalmente y teniendo en cuenta los lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua – ERA (IDEAM, 2013), se consideró información histórica de la dinámica poblacional reportada por el DANE, resultados del Censo Pecuario Nacional 2016 -2021 desarrollado por el ICA, las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2006 – 2020 realizadas por la UPRA, módulos de consumo establecidos por la Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), reportes estadísticos de la Autoridad Nacional de Acuicultura al año 2019 y datos de producción de minerales de la Agencia Nacional de Minería (ANM) al año 2020.

18. Marco Conceptual

La demanda hídrica se define como la extracción del recurso hídrico de las fuentes naturales para suplir los requerimientos de consumo humano, producción económica sectorial y ecosistemas naturales existentes, incluyendo el agua extraída consumida y el agua extraída no consumida (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales 2010). En la Figura 335 se relacionan los conceptos básicos que se deben tener en cuenta para definir la demanda hídrica.

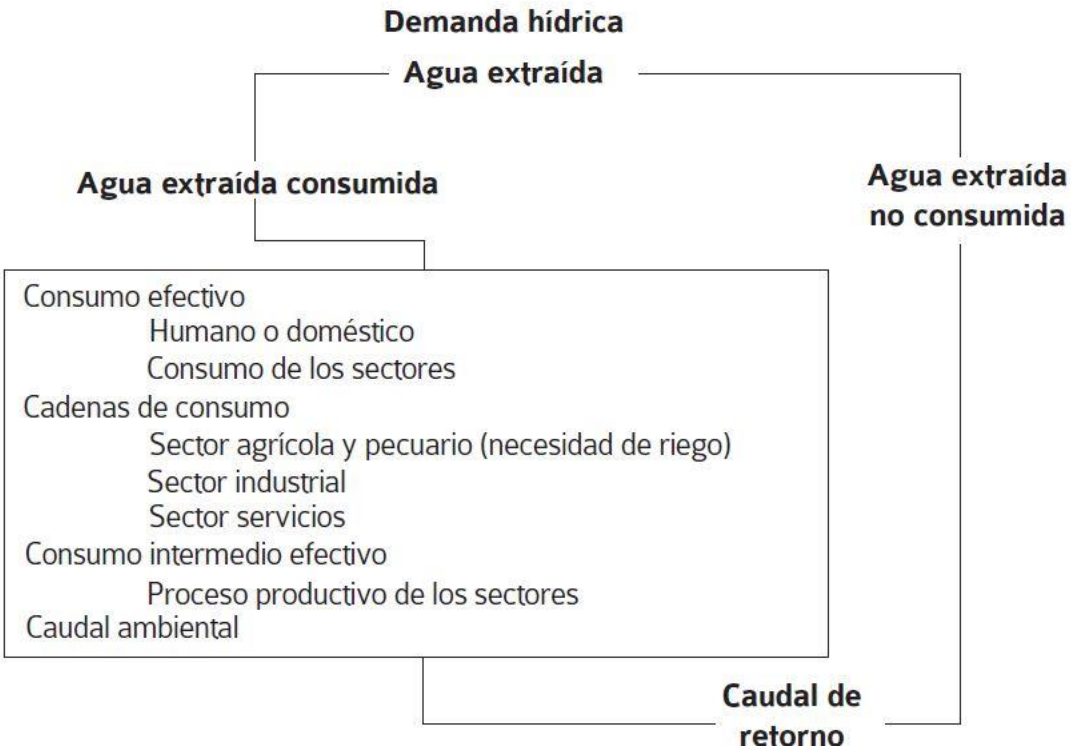


Figura 335. Conceptos básicos para definir la demanda hídrica a nivel regional. Fuente: (IDEAM, 2013)

Conceptos básicos:

Agua extraída: se refiere a la cantidad de agua que se sustrae del sistema natural para satisfacer las necesidades de consumo humano, producción sectorial y demandas fundamentales de los ecosistemas existentes, sean intervenidos o no (IDEAM, 2010).

Consumo efectivo: es la cantidad real de agua que es incorporada en los procesos de producción de los diferentes sectores económicos, de servicios y comercio, así como en el consumo humano como satisfactor de las necesidades fundamentales de la población, durante un período de tiempo determinado (IDEAM, 2010).

Consumo intermedio efectivo: da cuenta de la cantidad de agua que es incorporada como consumo intermedio en los procesos de transformación y de servicios, ya sea como insumo o materia prima (IDEAM, 2010).

Cadena de consumo de agua: hace referencia a la cantidad de agua utilizada en cada una de las etapas de los procesos productivos sectoriales, tal como sucede en el sector pecuario, agrícola e industrial (IDEAM, 2010).

Caudal ambiental: se define como el volumen de agua requerida en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para la sostenibilidad de los diferentes ecosistemas y el desarrollo de las actividades socioeconómicas de las personas que dependen de tales ecosistemas (Decreto 3930 de 2010 s.f.).

Caudal de retorno: se refiere al volumen de agua que retorna a la red de drenaje de la cuenca como remanente de los volúmenes usados o aprovechados en los procesos productivos sectoriales y en el consumo humano (IDEAM, 2013).

Agua extraída no consumida: corresponde al volumen de agua que es extraído del sistema natural y que no es utilizado efectivamente en ningún tipo de uso, retornando al sistema con variaciones en su calidad. En los sistemas de acueductos se entiende como perdidas técnicas (IDEAM, 2010).

19. Marco Metodológico

Teniendo como base los lineamientos técnicos propuestos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2013), el esquema metodológico general para la evaluación de la demanda hídrica se presenta en la Figura 336.

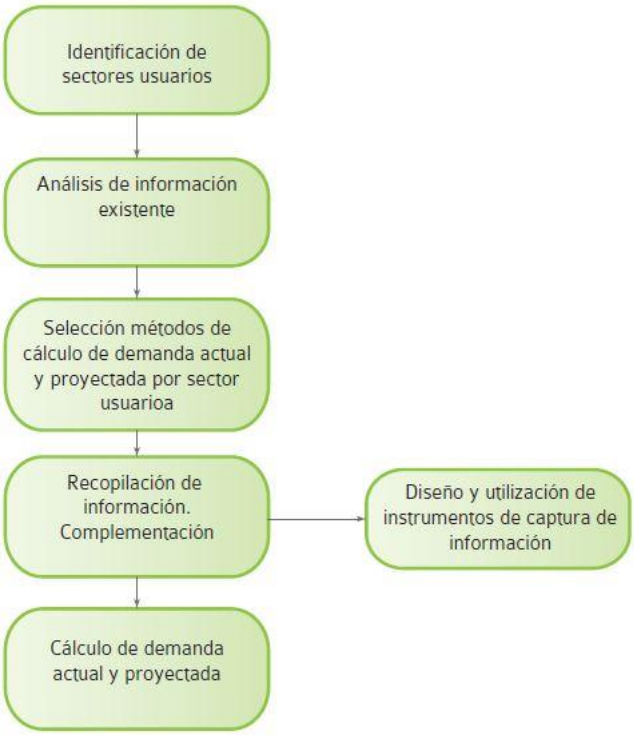


Figura 336. Procedimiento para la evaluación de demanda de agua en las regiones. Fuente: (IDEAM, 2013).

19.1. Sectores usuarios

La estimación de la demanda hídrica parte de la identificación de los sectores usuarios establecidos en el artículo 9 del Decreto 3930 de 2010 (*Tabla 227*). En cada una de las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio se establecieron los sectores usuarios, de acuerdo con los usos concesionados reportados en los instrumentos de administración del recurso hídrico de las autoridades ambientales competentes en cada caso (CORTOLIMA, CORPOCALDAS, ANLA), como se indica en la subsección "19.2 Análisis de la información existente".

Tabla 227. Categorías de uso del agua (Fuente: Decreto 3930 de 2010)

Uso	Descripción
Consumo humano y doméstico	Uso del agua para actividades: bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato; satisfacción de necesidades domésticas, individuales y colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; y preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración (Art. 10)

Uso	Descripción
Preservación de flora y fauna	Uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos (Art. 11)
Agrícola	Uso del agua para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias (Art. 13)
Pecuario	Uso del agua para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias (Art. 14)
Recreativo	Uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce (Art. 15): 1. Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales. 2. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.
Industrial	Uso del agua en actividades tales como (Art. 16): 1. Procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos y complementarios. 2. Generación de energía. 3. Minería. 4. Hidrocarburos. 5. Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares. 6. Elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.
Estético	Uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje (Art. 18)
Pesca, Maricultura y Acuicultura	Uso del agua en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, sin causar alteraciones en los ecosistemas en los que se desarrollan estas actividades (Art. 12)
Navegación y Transporte Acuático	Uso del agua para transporte su utilización para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo (Art. 17)

19.2. Análisis de la información existente

Como información base de cálculo se tomaron los reportes de las siguientes fuentes oficiales:

- Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)
- Permisos de captación de agua otorgados por la ANLA en el marco de proyectos licenciados
- Módulos de consumo adoptados por CORPOCALDAS mediante Resolución 2019-0576 del 28 de febrero de 2019
- Registro de usuarios de aguas subterráneas (FUNIAS)
- Sistema de Información Geográfica (SIG) de la autoridad ambiental
- Bases de datos de la Tasa por Uso (TUA) del periodo 2016-2020

- Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) del río Lagunilla (2010)
- Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) del río Gualí (2014)
- Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) del río Guarinó (2017)
- Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) del río Coello (2019)
- Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) del río Totare (2019)
- Plan de Ordenación y Manejo (POMCA) del río Recio - Venadillo (2019)
- Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) del Río Gualí (2013)

A partir de esta información se consolidó la base de datos para el cálculo de la demanda hídrica actual, superficial y subterránea, por tipo de uso y unidad hidrográfica (Anexo 1). Las inconsistencias y vacíos de información se completaron a partir de la revisión de expedientes de concesiones de agua disponibles en el archivo físico de la sede Central y Territorial Norte. En el proceso de análisis se tuvieron en cuenta aspectos relacionados con el caudal concesionado por cada uno de los usuarios, el tipo de uso para el cual se asignó el recurso, la fuente hídrica de abastecimiento y la georreferenciación del punto de captación.

Los resultados de la revisión, depuración y completitud de esta información se presentan en las secciones “19.8 Análisis de Información de los Instrumentos de Planificación Existentes”, “20 Demanda Hídrica Superficial ” y “21 Demanda Hídrica Subterránea”.

19.3. Estimación de la demanda hídrica

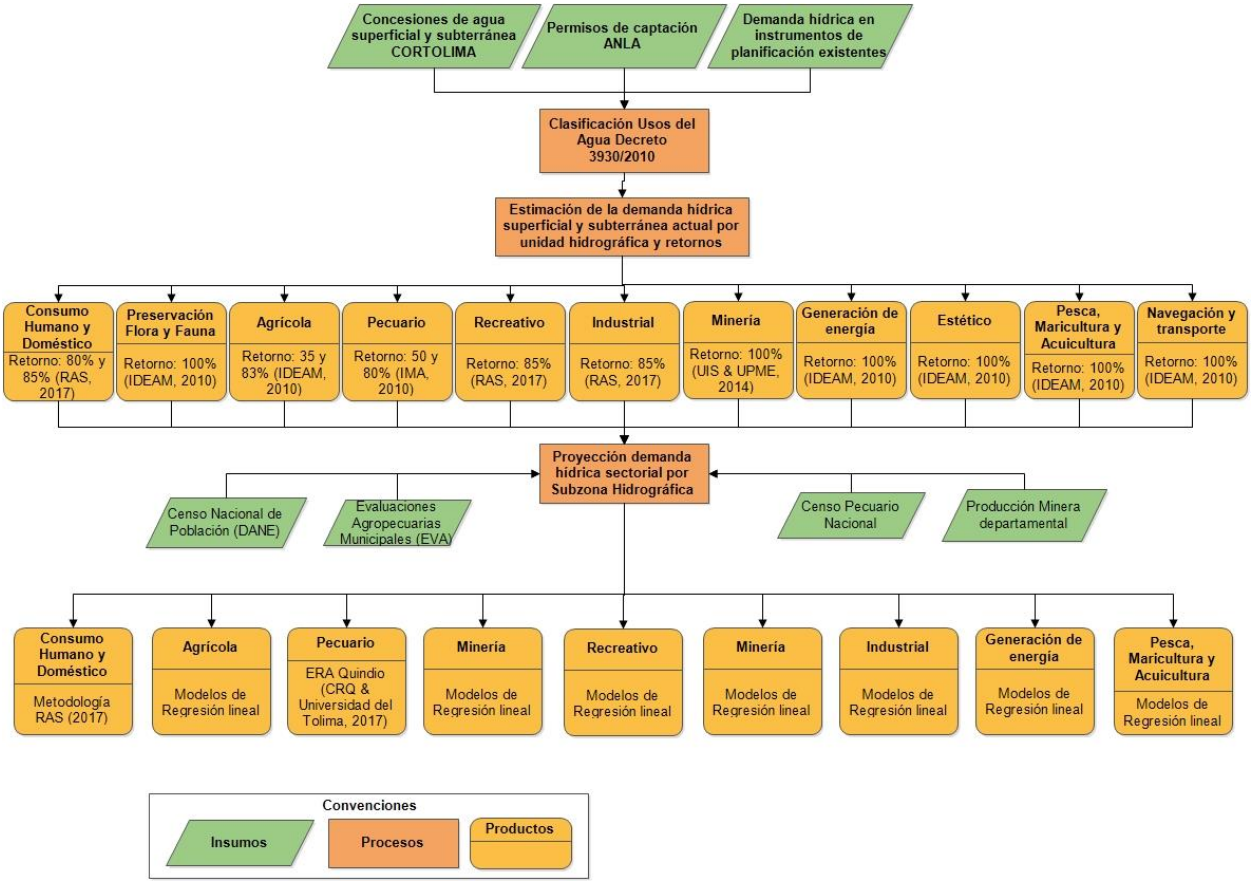


Figura 337. Procedimiento metodológico para la estimación de la demanda hídrica, superficial y subterránea por tipo de uso y unidad hidrográfica

En la *Figura 337* se presenta el esquema metodológico general empleado para la determinación de la demanda hídrica y su respectiva proyección en cada unidad hidrográfica contemplada. Con base en la información existente se pudieron definir las categorías de uso del agua particulares de cada unidad hidrográfica y se establecieron las respectivas demandas hídricas actuales (superficial y subterránea). Posteriormente, se realizaron los cálculos de las proyecciones de la demanda hídrica sectorial empleando los criterios metodológicos expuestos por el IDEAM (2013) bajo los cuales se tuvo en cuenta la dinámica poblacional y económica en cada caso. A continuación, se presentan las descripciones generales de los sectores y los criterios empleados para su determinación.

a. Consumo Humano y Doméstico

Se refiere al agua utilizada en actividades tales como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, satisfacción de necesidades domésticas,

individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración (Decreto 3930 de 2010).

La demanda se establece a partir de la estimación del consumo que un habitante requiere para satisfacer las necesidades básicas en un día (IDEAM, 2013); teniendo en cuenta los criterios del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), para la zona urbana (Resolución 0330 de 2017 s.f.) y zona rural (Resolución 0844 de 2018 s.f.). Se tomaron como fuente de información básica: los censos poblacionales realizados por el DANE, además de los indicadores técnicos de los sistemas de distribución de agua potable, reportados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y el Plan Departamental de Aguas (PDA) del Tolima. El procedimiento metodológico se presenta en la Figura 338.

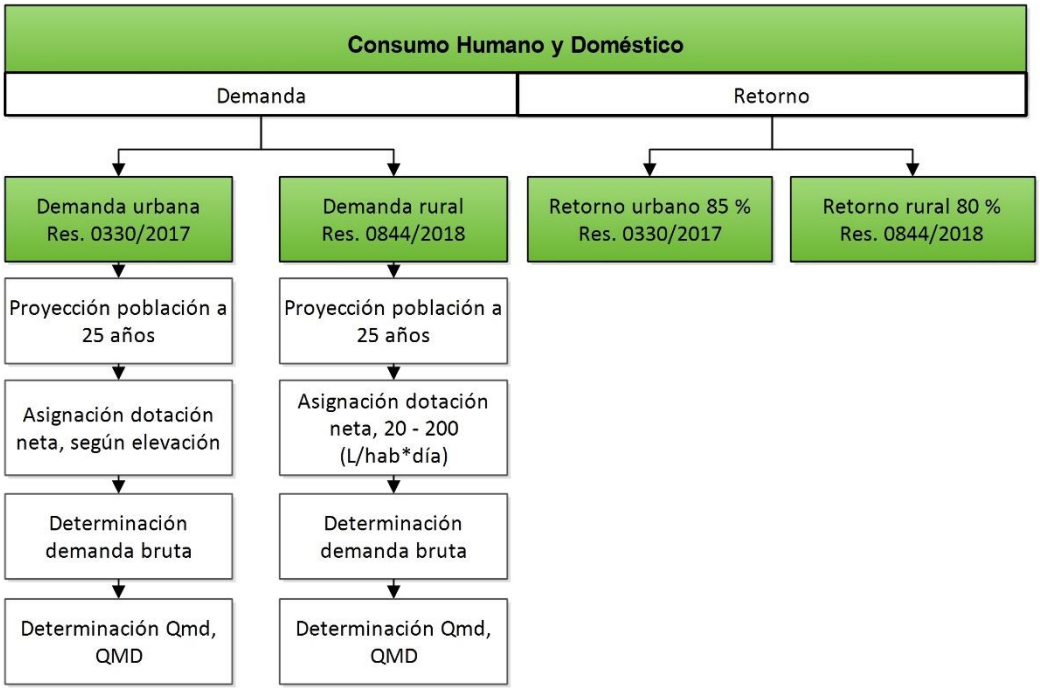


Figura 338. Procedimiento metodológico para el cálculo de la demanda hídrica del consumo humano y doméstico

Conceptos básicos:

Dotación neta: se define como la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, sin considerar las pérdidas técnicas que ocurran

en el sistema de acueducto (Resolución 0330 de 2017). Para la zona urbana, la dotación neta máxima por habitante, según la altura sobre el nivel del mar de la zona, se presenta en la *Tabla 228*. En el caso de la zona rural, se asigna una dotación entre 20 L/hab*día y 200 L/hab*día, atendiendo además de las necesidades de agua para el consumo humano y doméstico, las necesidades de subsistencia de la familia rural (Resolución 0844 de 2018).

Tabla 228. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar

Elevación media (m.s.n.m.)	Dotación máxima (L/hab*día)
E > 2.000	120
1.000 < E < 2.000	130
E < 1.000	140

Dotación o demanda bruta (Dbruta): corresponde a la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto (Resolución 0330-2017). Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Dbruta} = Dneta/(1 - \%p)$$

Dónde:

Dbruta: Dotación bruta
Dneta: Dotación neta
%p: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño

Caudal medio diario (Qmd): se refiere al promedio de los consumos diarios en un período de un año, teniendo en cuenta la demanda bruta asignada y el número de habitantes (p). Se calcula mediante la siguiente ecuación, de acuerdo con la resolución 0330-2017:

$$\boldsymbol{Qmd} = (p \text{ x } dbruta)/86400$$

Caudal Máximo Diario (QMD): definido como el consumo máximo registrado durante veinticuatro horas en un período de un año, multiplicado por el coeficiente de consumo máximo diario, k1 (Resolución 0330 de 2017):

$$\boldsymbol{QMD} = Qmd\ X\ k1$$

Dónde:

QMD: caudal máximo diario

Qmd: caudal medio diario
k1: coeficiente de consumo máximo diario El coeficiente de consumo máximo diario

Conforme con la resolución 0330 del 2017, el coeficiente de consumo máximo diario, k1, no podrá ser superior a 1.3 para poblaciones menores o iguales a 12.500 habitantes, ni superior a 1.2 para poblaciones mayores de 12.500 habitantes. No aplica para la zona rural de acuerdo con la resolución 0844 de 2018.

Caudal Máximo Horario (QMH): se define como el consumo máximo registrado durante una hora, observado en un período de un año. Se calcula como el consumo máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2 (Resolución 0330-2017):

$$\boldsymbol{QMD} = QMH\ X\ k2$$

Dónde:
QMH: caudal máximo horario
Qmd: caudal medio diario
K2: coeficiente de consumo máximo horario

Tal como sucede con k1, el coeficiente de consumo máximo horario, k2, solo aplica para la zona urbana y este no podrá ser superior a 1.6 para poblaciones menores o iguales de 12.500 habitantes, ni superior a 1.5 para poblaciones mayores de 12.500 habitantes (Resolución 0330 de 2017).

b. Consumo agrícola

Representa la cantidad de agua requerida para abastecer el déficit de riego de un cultivo (IDEAM, 2010). Se determina como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva; cuando esta última es mayor, la demanda es igual a cero (0).

Para su cálculo, se tomó como fuente de información básica la reportada por las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio y el reporte estadístico de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2006 – 2020 desarrolladas por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

c. Consumo pecuario

Se refiere a la cantidad de agua requerida para las actividades de cría, levante, engorde, beneficio y sacrificio de bovinos, porcinos, caprinos y aves, al igual que para la producción de huevos, leche, lana y pieles (IDEAM, 2013). Se estima a partir del número de animales existente y proyectado en el área de estudio, multiplicado por el módulo de consumo de la cadena de producción.

En este caso se requirió de la información del Censo Pecuario Nacional 2016 -2021 desarrollado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), y los módulos de consumo adoptados por CORPOCALDAS mediante Resolución 2019-0576 del 28 de febrero de 2019.

d. Consumo recreativo

Uso múltiple y simultáneo del recurso especialmente para fines como la natación, buceo, baños medicinales, deportes náuticos y la pesca; compite generalmente con otros usos (IDEAM, 2013). Hasta el momento no existe una metodología estandarizada para su estimación por lo que su incertidumbre es alta. Para este estudio, se consideraron los reportes de los valores de agua concesionados por la Autoridad Ambiental.

e. Consumo piscícola

Se refiere a la cantidad de agua utilizada en actividades de producción de peces bajo procedimientos controlados en estanques y en sistemas de tierra confinados y no confinados sobre cuerpos de agua corriente, en donde se realiza dicha actividad (IDEAM, 2010).

Para estimar su valor se requiere conocer el volumen de agua (m^3) utilizada en las instalaciones o en los estanques, la producción de las especies en t/año y el rendimiento anual, a densidades finales (biomasa final considerando la tasa de mortalidad) en kg/m3, aplicable diferencialmente por tipo de especie y sistema de producción. De acuerdo con el IDEAM, (2010), al dato de demanda obtenido se debe incrementar en un 30% con el fin de considerar el recambio de agua en las fases iniciales de la cadena de producción.

Como fuentes de información se tomaron los reportes estadísticos de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), y el registro de concesiones hídricas por parte de la Autoridad Ambiental para este tipo de uso.

f. Consumo industrial

Relaciona la cantidad de agua incluida en el proceso productivo, lavado y enfriamiento en la obtención de bienes manufacturados (IDEAM, 2013). Se estima con base en la información reportada por la Autoridad Ambiental en las bases de datos de la Tasa por Uso de Agua (TUA) y las concesiones vigentes otorgadas para uso industrial.

g. Consumo del sector energético

Se refiere al volumen de agua promedio que se mantiene almacenado en un año base, para la generación de energía en grandes o pequeñas centrales hidráulicas o térmicas (IDEAM, 2013). Para su estimación se consideró el volumen de agua concesionado por la Autoridad Ambiental para este tipo de uso.

h. Consumo del sector minero

De acuerdo con los lineamientos del IDEAM (2013), esta categoría incluye el consumo de agua para las actividades mineras y para los hidrocarburos. En el caso de la actividad

minera, se considera el volumen de agua que circula, se mezcla y se reinyecta a fin de obtener un mineral, incluyendo el consumo de las actividades auxiliares que soportan la producción (lavado de maquinaria y vehículos, humectación de vías, etc.), mientras que, en el caso de los hidrocarburos, se relaciona al agua que es utilizada en las diversas fases de exploración, producción, transporte y refinación de petróleo (IDEAM, 2015).

De acuerdo con el IDEAM (2013) aún no existe una metodología consolidada para el cálculo de la demanda hídrica para este tipo de uso. En este estudio el cálculo se realizó a partir del reporte de producción minera de la Agencia Nacional de Minería (ANM) y los módulos de consumo definidos por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y la Universidad Industrial de Santander (UIS) (2014).

La demanda hídrica total corresponde a la sumatoria del consumo de agua en todos los sectores usuarios. La expresión de cálculo de la demanda total está dada por:

$$Dh=Ch + Css + Cpff + Csa + Csp + Cr + Csi + Ce + Cm + Csac + Cnt + Aenc$$

Dónde:

Dh: Demanda hídrica
Ch: Consumo humano o doméstico
Css: Consumo del sector servicios
Cpff: Preservación de fauna y flora
Csa: Consumo del sector agrícola
Csp: Consumo del sector pecuario
Cr: Consumo recreativo
Csi: Consumo del sector industrial
Ce: Consumo del sector energía
Cm: Consumo de la minería
Csac: Consumo del sector pesca, maricultura y acuicultura
Cnt: Consumo para la navegación y el transporte
Aenc: Agua extraída no consumida.

Los resultados del cálculo de la demanda hídrica total y sectorial realizada en la ERA se expone en las secciones “20 Demanda Hídrica Superficial ”, “21 Demanda Hídrica Subterránea” y “22 Cálculo de Proyecciones de Demanda Hídrica Sectorial”.

19.4. Caudales de retorno

Para la determinación de los caudales de retorno, de acuerdo con el IDEAM (2013), se consideran en términos porcentuales, teniendo en cuenta que este varía según el uso que se asigne el recurso hídrico.

Los coeficientes de retorno utilizados en este proyecto son los que se evidencian en la *Figura 337*, los cuales se definieron a partir de revisión de literatura. Para los sectores: consumo humano y doméstico, servicios e industria, se utiliza un coeficiente del 85% en conformidad con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) (resolución 330 del 8 de junio de 2017). Para el sector agrícola, se considera un coeficiente de retorno de 35% para el total de cultivos sin considerar el arroz, ya que para este se asigna el 83%, tal como lo establece el IDEAM (2010). En el caso del sector pecuario, conforme lo establece el Instituto de Manejo del Agua y Medio Ambiente (IMA, 2010), se asigna un coeficiente de retorno del 80%, que constituye el agua que regresa al sistema a través de la orina y las heces de los animales. Los demás usos, entre ellos la generación de energía y acuicultura, son definidos como usos no consuntivos (IDEAM, 2015), por consiguiente, el coeficiente de retorno es del 100%.

Para establecer los retornos dentro del área de estudio de la ERA se tomó como insumo la distribución espacial de las concesiones en cada Subzona Hidrográfica. Estas concesiones se agruparon y se formaron núcleos representativos los cuales por condiciones topográficas se define un punto de retorno en común. El valor de retorno asignado es igual a la sumatoria de los retornos de las concesiones agrupadas. La distribución espacial de los puntos de retorno definidos por el equipo técnico de la ERA se presenta en la *Figura 339*.

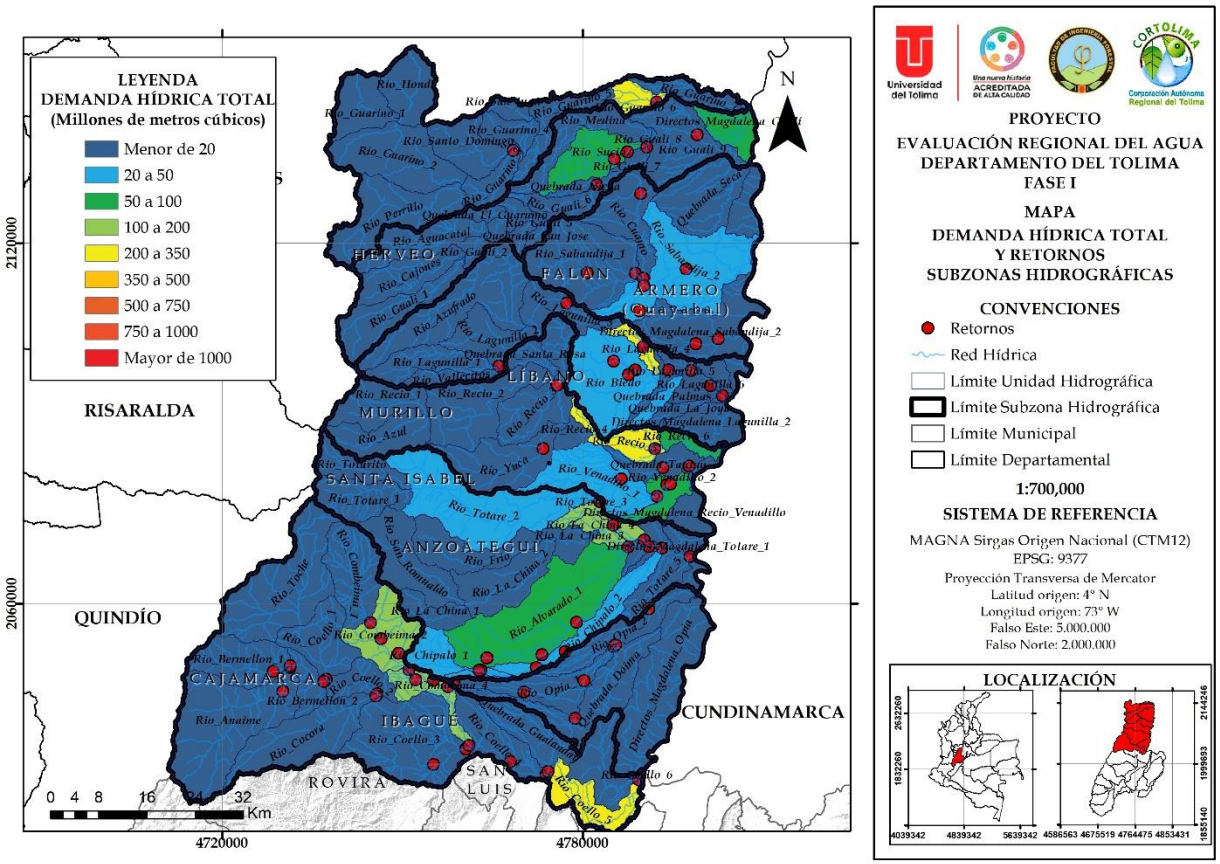


Figura 339. Distribución de la demanda hídrica Total por Subzona Hidrográfica y localización de puntos de retorno

19.5. Proyecciones por sector

La proyección de la demanda se realizó mediante modelos estadísticos basados en información histórica de dinámica poblacional, la eficiencia de consumo de agua municipal, y el comportamiento económico y agropecuario de la región. Se tomó la siguiente información de línea base para este cálculo:

1. Censo Nacional de Población 2018 reportado por el DANE
2. Censo Pecuario Nacional 2016 -2021 desarrollado por el ICA
3. Las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2006 – 2020 realizadas por la UPRA

Los resultados de proyección de demanda hídrica por sector se encuentran en la sección “22 Cálculo de Proyecciones de Demanda Hídrica Sectorial”.

19.6. Espacialización de la demanda hídrica

El cálculo y espacialización de la demanda hídrica total y sectorial, se condiciona al nivel detalle y calidad de la información recopilada para la ERA. En la Figura 340 se resume el procedimiento metodológico considerado para la espacialización de la demanda hídrica.

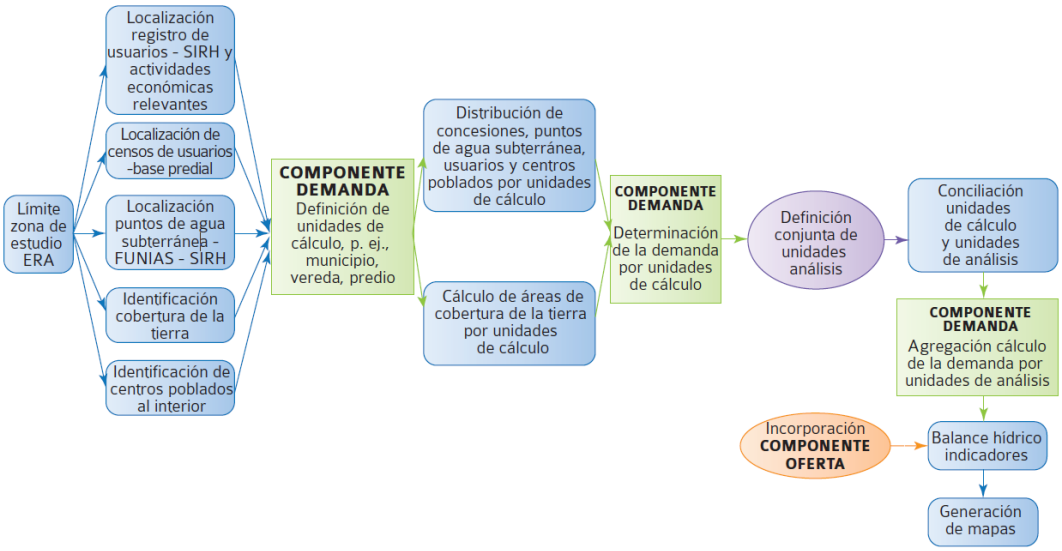


Figura 340. Modelamiento espacial para la demanda hídrica. Fuente: IDEAM (2013)

En la Tabla 229 se relacionan los colores con los cuales se representa la demanda hídrica total y sectorial por unidad hidrográfica, tal como lo sugiere el IDEAM (2013).

Tabla 229. Leyenda para mapas temáticos de la demanda hídrica. Fuente: IDEAM (2013)

Color	DEMANDA HÍDRICA TOTAL	DEMANDA HÍDRICA POR SECTORES
	Menor de 20	Menor de 2
	20 a 50	2 a 5
	50 a 100	5 a 20
	100 a 200	20 a 50
	200 a 350	50 a 100
	350 a 500	100 a 200
	500 a 750	200 a 400
	750 a 1000	400 a 600
	Mayor de 1000	Mayor de 600

19.7. Productos

De acuerdo con la metodología planteada, los resultados para el componente de demanda hídrica corresponden a:

1. Bases de datos consolidadas:
   - Demanda hídrica superficial y subterránea por tipo de uso y unidades hidrográficas.
   - Proyección de demanda hídrica agrícola
   - Proyección de demanda hídrica para consumo humano y doméstico
   - Proyección de demanda hídrica pecuaria

2. Mapas temáticos por unidad hidrográfica en formato vectorial (shapefile y Mxd) y raster (jpg).
   - Demanda hídrica superficial, total y sectorial, concesionada por Subzona Hidrográfica
   - Demanda hídrica subterránea, total y sectorial, concesionada para los sistemas acuífero de Ibagué y acuífero del norte

19.8. Análisis de Información de los Instrumentos de Planificación Existentes

Con el objetivo de realizar un diagnóstico de la situación actual del recurso hídrico en cada una de las unidades hidrográficas objeto de estudio, e identificar algunos factores que puedan ser importantes para el cálculo de la demanda hídrica, se procedió, en primera instancia, evaluar el estado de los POMCAS y la reglamentación vigente de las corrientes hídrica. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de esta información.

19.8.1. Estado de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas

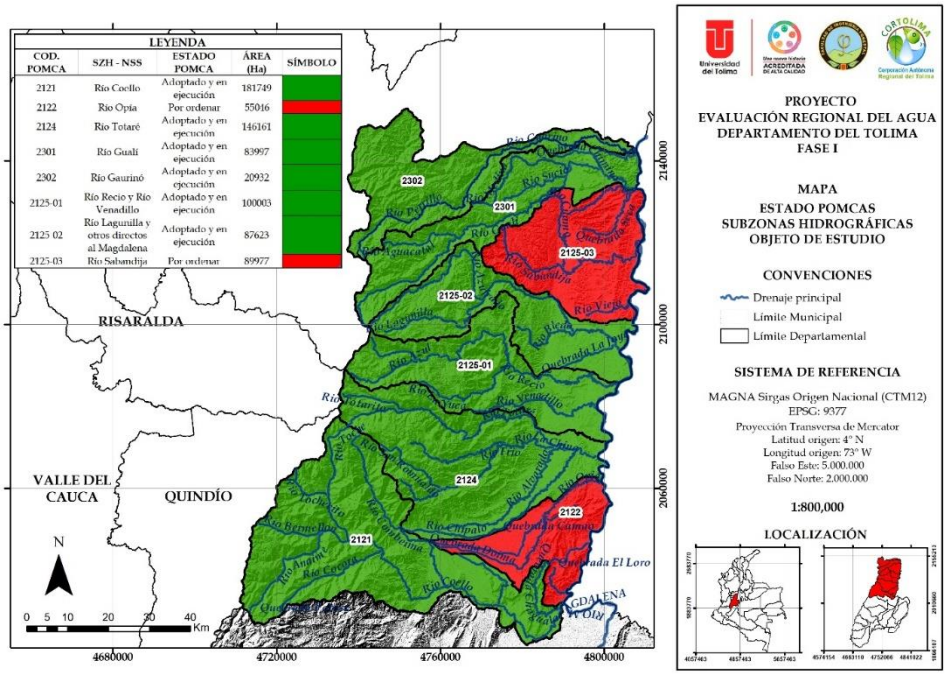


Figura 341. Estado de los Planes de Ordenación y Manejo (POMCAS) de las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio

Con base en el Plan de Acción Cuatrienal 2020- 2023 "Siembra Tú Futuro", de la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA, 2020) y el Plan de Desarrollo Departamental “El Tolima Nos Une 2020-2023” (Gobernación del Tolima 2020), las Subzonas Hidrográficas (SZH) objeto de estudio en la primera fase de la Evaluación Regional del Agua del departamento del Tolima, que cuentan actualmente con Planes de Ordenación y Manejo (POMCAS), adoptados y en ejecución son: el río Lagunilla (2010), el río Gualí (2014), el río Guarinó compartido con CORPOCALDAS (2017), el río Coello (2019), el río Totare (2019) y el río Recio - Venadillo (2019), Por ordenar se encuentran el río Opia y Sabandija (*Figura 341*).

19.8.2. Reglamentación de corrientes

Del total de corrientes hídricas reglamentadas vigentes en el departamento del Tolima, 10 de ellas se encuentran localizadas en el área de estudio (*Figura 342*). La vigencia de la reglamentación de algunas de estas, según Cortolima (2019), está sujeta a la realización del censo de usuarios o la autorización de la revisión de la reglamentación (Tabla 230).

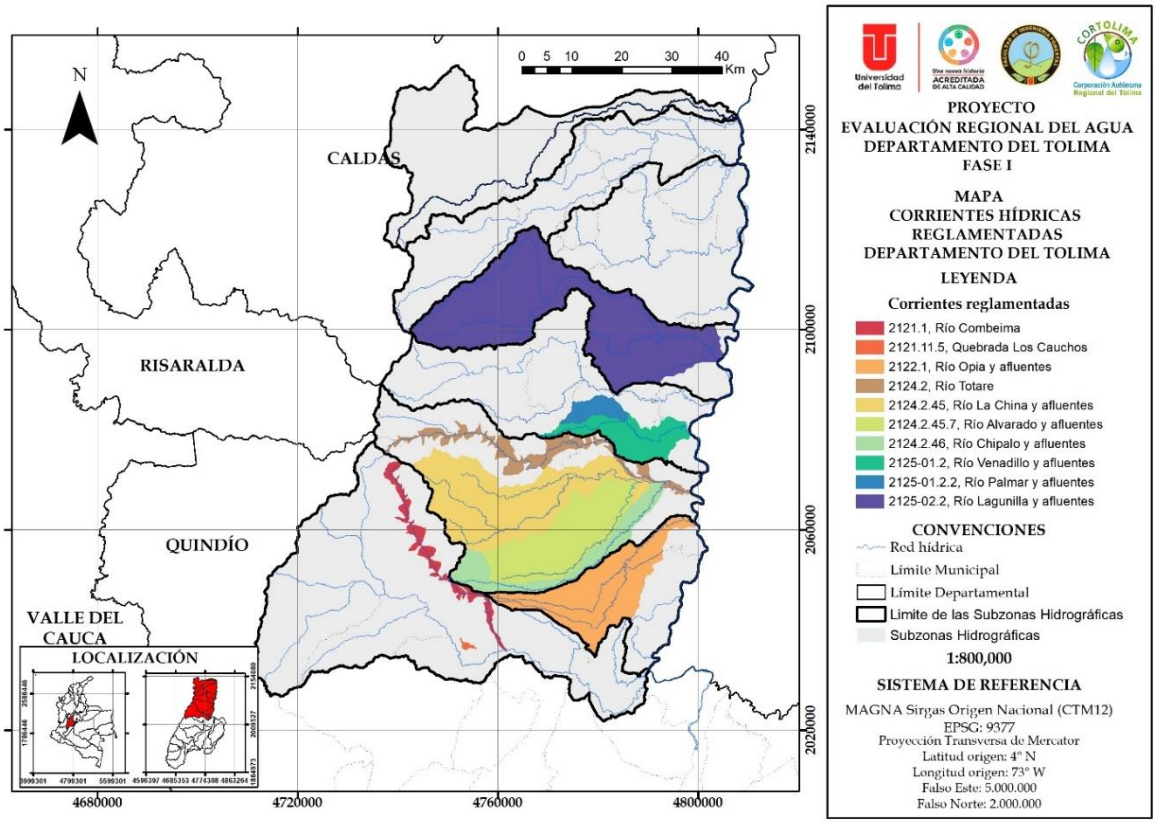


Figura 342. Reglamentación de corrientes vigentes de acuerdo con Cortolima (2019)

Tabla 230. Corrientes hídricas reglamentadas actuales y su vigencia. Fuente: Cortolima (2019)

Código	Corriente hídrica	Área (ha)	Vencimiento
2121.1	Río Combeima	27.301,2	Hasta tener el censo
2121.11.5	Quebrada Los cauchos	310,8	Hasta realizar revisión
2122.1	Río Opia y afluentes	32.281,4	Hasta tener el censo
2124.2	Río Totare	1.2817,4	Hasta realizar revisión
2124.2.45	Río La China y afluentes	43.865,8	Hasta tener el censo
2124.2.45.7	Río Alvarado y afluentes	30.606,6	2025
2124.2.46	Río Chipalo y afluentes	15.723,3	Hasta tener el censo
2125-01.2	Río Venadillo y afluentes	14.032,1	2021
2125-01.2.2	Río Palmar y afluentes	4.458,4	2021
2125-02.2	Río Lagunilla y afluentes	79.327,1	Hasta tener el censo

19.9. Información de demanda hídrica de línea base

En esta sección se presentan los resultados de la revisión y análisis de la información derivada de instrumentos de planificación como lo son los Planes de Ordenación y

Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS) y los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) existentes, y el Plan de Desarrollo Departamental, que incluyen las Subzonas Hidrográficas (SZH): río Coello, río Opia, río Totare, río Recio y Venadillo, río Sabandija, río Lagunilla, río Gualí y río Guarinó, con el fin de identificar los principales usuarios del recurso hídrico, asi como tambien, la distribución de la demanda por tipo de uso y unidad hidrográfica. Dicha información, se consideró como línea base para la caracterización y cuantificación de la demanda hídrica superficial y subterránea.

19.9.1. Subzona Hidrográfica del río Coello

El Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica del río Coello (Cortolima, 2019) reporta información de demanda hídrica correspondiente a concesiones de agua superficial y subterránea otorgadas por la corporación. Dado que el caudal concesionado se define para los diferentes usos estipulados en el artículo 36 del Decreto 1541 de 1978, para efectos de análisis, estos resultados se ajustaron a los usos del agua contemplados en el Decreto 3930 de 2010 y los lineamientos del IDEAM (2013) (*Tabla 231*).

Tabla 231. Caudal concesionado por tipo de uso de agua para la Subzona Hidrográfica del rio Coello

Uso (Decreto 3930/10; IDEAM, 2013)	Uso según POMCA (decreto 1541/78)	Usuarios concesionados	Caudal concesionado (l/s)
Consumo humano y doméstico	Acueductos, Doméstico y Consumo Humano	585	3,884.94
Preservación de flora y fauna	Flora y Fauna	1	1
Agrícola	Riego, Agrícola	259	15423.61
Pecuario	Pecuario	18	336.33
Recreativo	Recreativo	8	42.48
Industrial	Industrial	17	48.41
Generación de energía	Generación Eléctrica	3	8497
Total		**891**	**28,233.77**

De acuerdo con los resultados reportados en el POMCA (Tabla 231), la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Coello se estima en 28,233.77 l/s con 891 usuarios, lo cual es cercano a lo reportado en el Plan de Desarrollo Departamental (Gobernación del Tolima 2020) con 28,110 l/s. En la *Figura 343* se puede observar que, del caudal concesionado en la subzona, el sector con mayor cantidad de agua demandada es el sector agrícola con 15,423.61 l/s (54.63%), seguido de la generación de energía con 8,497 l/s (30.10%). El consumo humano y doméstico representa tan solo el 13.76% (3,884.94 l/s) de la demanda hídrica total, mientras que el uso pecuario,

industrial, recreativo y preservación de flora y fauna, representan el 1.52% que equivalente a 428.22 l/s.

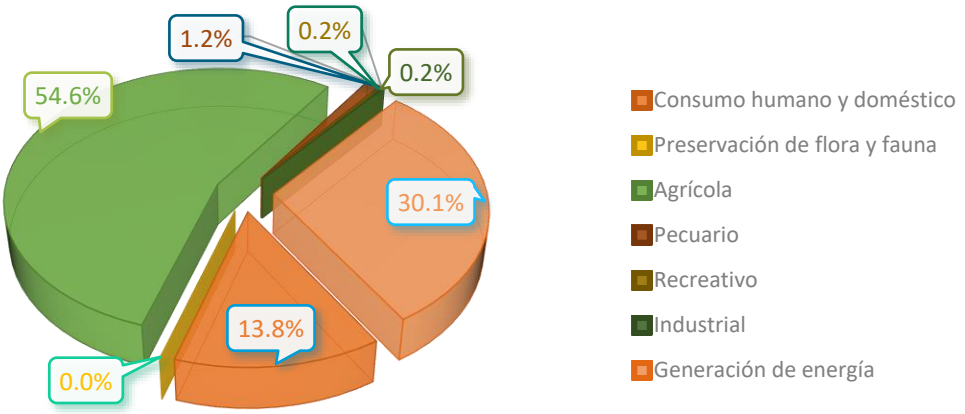


Figura 343. Caudal concesionado por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Coello

En la *Tabla 232* se presentan los resultados de la demanda hídrica por cada unidad hidrológica que conforman la Subzona Hidrográfica del río Coello, según lo establecido en el POMCA. Se evidencia que las unidades hidrográficas que ejercen mayor presión en la demanda hídrica son la del Río Combeima con 15,762.06 l/s (56%) y el Tramo del río Coello con 10,361.13 l/s (37%).

Tabla 232. Caudal concesionado por unidad hidrográfica que conforman la Subzona Hidrográfica del rio Coello. Fuente: Cortolima (2019)

Unidades hidrográficas	Usuarios concesionados	Caudal concesionado (l/s)
Río Combeima	298	15,762.06
Tramo Río Coello	360	10,361.13
Río Cócora	6	1,010.34
Quebrada Gallego	60	601.8
Río Bermellón	127	429.56
Quebrada Gualanday	4	34.51
Quebrada Chaguala	27	31.32
Río Toche	9	3.01
Total	**891**	**28,233.76**

La distribución de los usuarios con caudales concesionados superiores a 20 l/s en esta Subzona Hidrográfica, se evidencian en la *Figura 344*, mientras que la demanda total concesionada por unidad hidrográfica se presenta en la *Figura 345*.

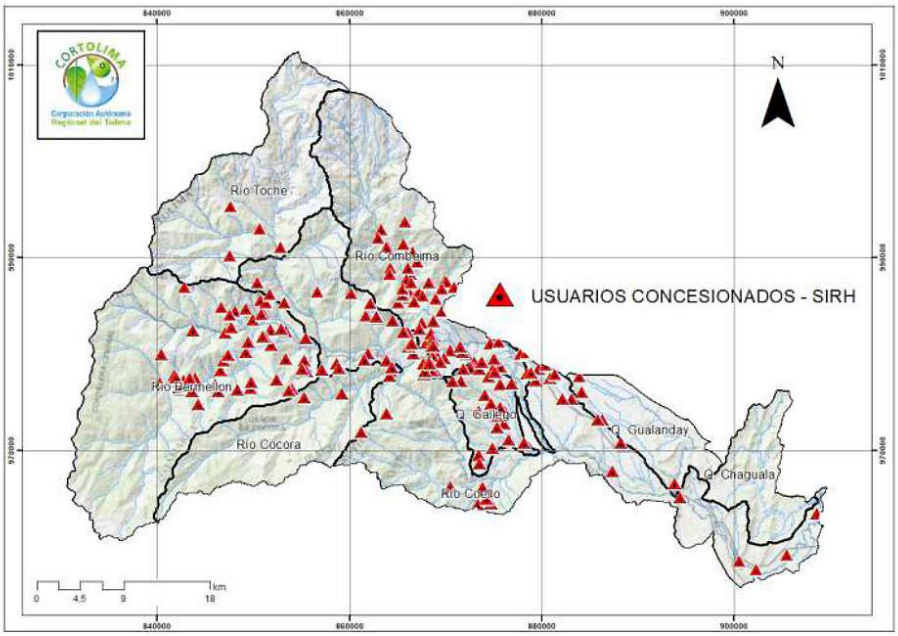


Figura 344. Distribución de usuarios concesionados y georreferenciados en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Fuente: Cortolima (2019)

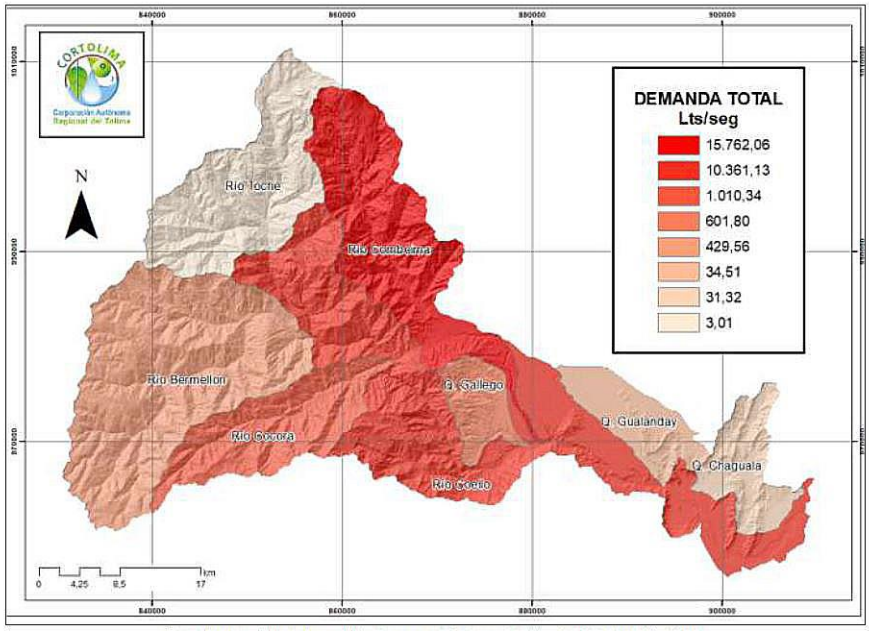


Figura 345. Demanda hídrica total concesionada en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Fuente: Cortolima (2019)

19.9.2. Subzona Hidrográfica del río Opia

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Departamental "El Tolima Nos Une 2020-2023" (Gobernación del Tolima 2020), la demanda hídrica para la Subzona Hidrográfica del río Opia se estima en 760 l/s equivalente al 0.40% de la demanda hídrica total del departamento del Tolima estimada en 188,960 l/s. No se registra información del POMCA ya que hasta el momento no se encuentra formulado, considerando el orden de priorización para la ordenación y/o ajuste de las Subzonas Hidrográficas del departamento (Acuerdo 014 de 2017 s.f.), la Subzona Hidrográfica del río Opia ocupa el puesto No. 15.

19.9.3. Subzona Hidrográfica del río Totare

La demanda hídrica correspondiente a las concesiones de aguas en la Subzona Hidrográfica del río Totare, de acuerdo con el POMCA (Cortolima, 2019), se estima en 19,086.42 l/s mientras que, en el Plan de Desarrollo Departamental (Gobernación del Tolima 2020), se estima en 15,290 l/s que equivalen al 8% de la demanda hídrica total en el departamento. Tal como se mencionó en la Subzona Hidrográfica del río Coello, el caudal concesionado, definido para los usos reglamentados en artículo 36 del Decreto 1541 de 1978, se ajustaron a los usos del agua contemplados en el Decreto 3930 de 2010 y los lineamientos del IDEAM (2013), para efectos de análisis del presente estudio (*Tabla 233*).

Tabla 233. Caudal concesionado por tipo de uso de agua para la Subzona Hidrográfica del río Totare

Uso (decreto 3930/10; IDEAM, 2013)	Uso según POMCA (decreto 1541/78)	Usuarios concesionados	Caudal concesionado (l/s)
Consumo humano y doméstico	Acueductos, Doméstico y Consumo Humano	205	593.23
Preservación de flora y fauna	Flora y Fauna	1	1
Agrícola	Agrícola y Trasvases	382	17927.3
Pecuario	Pecuario	19	99.85
Recreativo	Recreativo	3	192
Industrial	Industrial	4	12.05
Generación de energía	Generación de energía	5	261
Total		**619**	**19086.43**

De acuerdo con los resultados reportados (Tabla 233), el sector que demanda mayor cantidad de agua es el sector agrícola con 17,927.3 l/s que representan el 94% de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del rio Totare. De la demanda restante, un 3% (593.23 l/s) es destinada para el consumo humano y doméstico y, el otro 3% (565.90 l/s), se destinada para otros usos tales como uso pecuario, industrial, recreativo y preservación de flora y fauna (*Figura 346*).

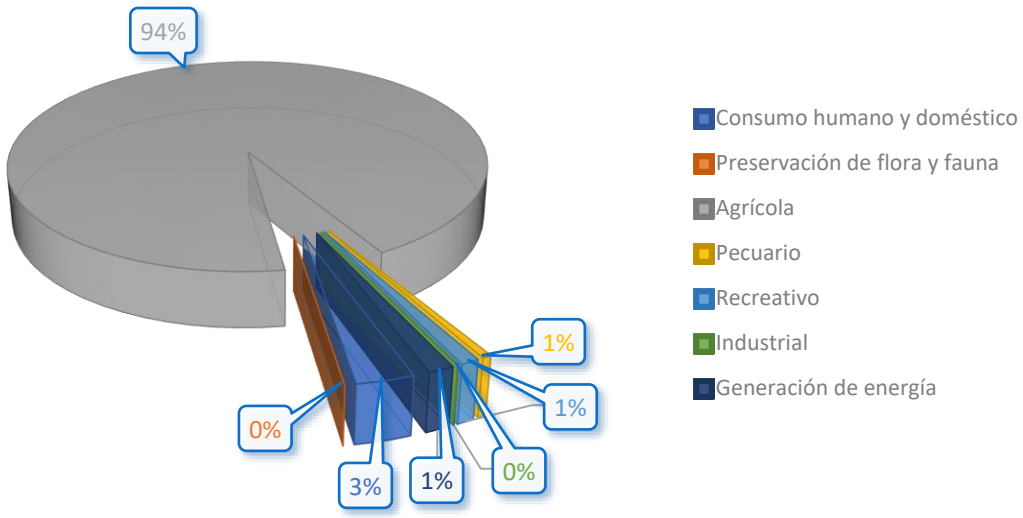


Figura 346. Caudal concesionado por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Totare

La demanda hídrica por cada unidad hidrográfica definida en el POMCA se presenta en la Tabla 234. Se evidencia que las mayores demandas se concentran en las unidades del Tramo Río Totare con 9,175.54 l/s y Río La China con 2,148.45 l/s, que representan el 48% y 31%, respectivamente de la demanda hídrica total en esta subzona.

Tabla 234. Caudal concesionado por unidad hidrológica que conforma la Subzona Hidrográfica del río Totare. Fuente: Cortolima (2019)

Unidades hidrográficas	Usuarios concesionados	Caudal concesionado l/s
Río Alvarado	169	2,148.45
Río La China	88	5,879.03
Sector Gibraltar	-	-
Quebrada Toqui Toqui	-	-
Quebrada Guarapo	1	45.6
Quebrada La Arenosa	4	40.41
Río Chipalo	102	1,796.38

Unidades hidrográficas	Usuarios concesionados	Caudal concesionado l/s
Tramo Río Totare	254	9,175.54
Sector La Ovejera	-	-
Río Frío	1	1.00
Río San Romualdo	-	-
Río Totarito	-	-
Total	**619**	**19,086.43**

En la Figura 347 se observa la distribución de los usuarios con caudales concesionados superiores a 20 l/s en esta Subzona Hidrográfica y en la *Figura 348* la demanda total concesionada por cada unidad hidrográfica que la conforman.

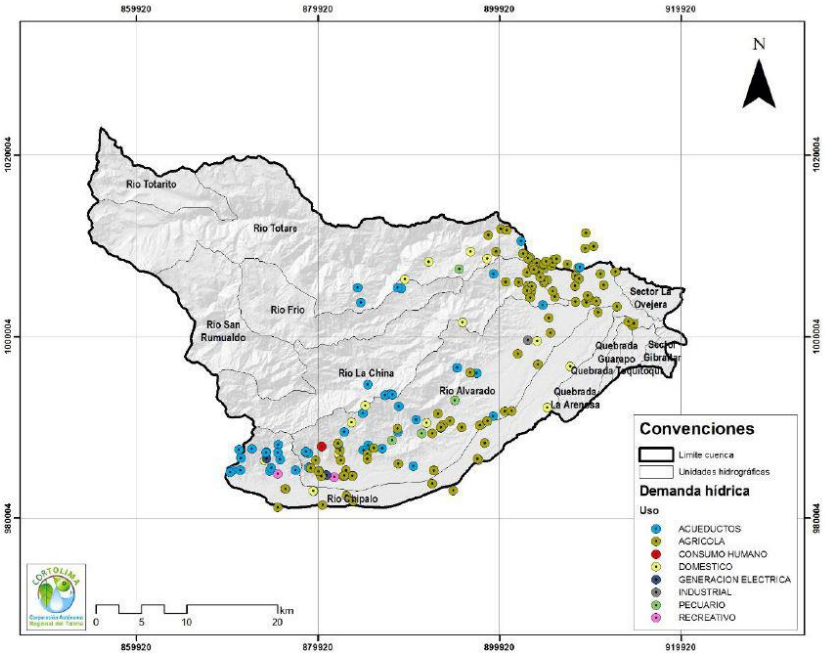


Figura 347. Distribución de usuarios concesionados y georreferenciados en la Subzona Hidrográfica del río Totare. Fuente: Cortolima (2019)

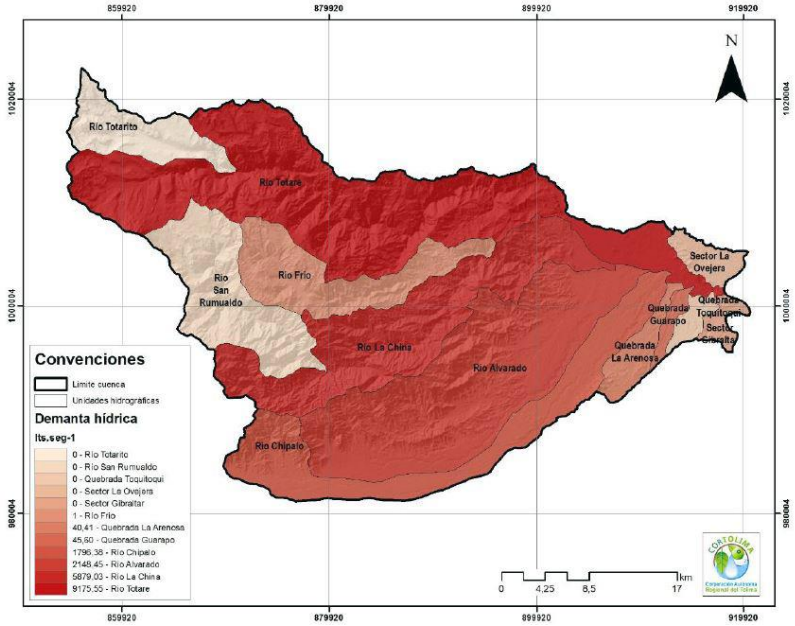


Figura 348. Demanda hídrica total concesionada en la Subzona Hidrográfica del río Totare. Fuente: Cortolima (2019)

19.9.4. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Departamental (Gobernación del Tolima, 2020), la demanda hídrica en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo, se estima en 17,270 l/s, correspondiente al 9% de la demanda hídrica total en el departamento. En el POMCA (Corporación de Cuencas del Tolima, 2019) se reporta una demanda de 17,260.97 l/s por tipo de uso de agua (Tabla 12), mientras que por unidades hidrográficas se estima en 18,880 l/s puesto que considera la demanda de los usuarios no concesionados en la cuenca del río Venadillo (Tabla 13). Los resultados de la demanda hídrica por tipo de uso de agua, reportados en el POMCA, se ajustaron a los usos del agua contemplados en el Decreto 3930 de 2010 y los lineamientos del IDEAM (2013), para efectos de análisis del presente estudio (Tabla 12).

Tabla 235. Caudal concesionado por tipo de uso de agua para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Uso (Decreto 3930/10; IDEAM, 2013)	Uso según POMCA (Decreto 1541/78)	Usuarios concesionados	Caudal concesionado (l/s)
Consumo humano y doméstico	Acueductos, Doméstico y Consumo Humano	44	60.24

Uso (Decreto 3930/10; IDEAM, 2013)	Uso según POMCA (Decreto 1541/78)	Usuarios concesionados	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	Riego, Agrícola	74	17199.86
Recreativo	Recreativo	1	0.03
Industrial	Industrial	1	0.84
Total		**120**	**17260.97**

Por tipo de uso de agua, el mayor volumen de agua concesionada en esta Subzona Hidrográfica es para el sector agrícola con 17,199.86 l/s, correspondiente al 99,7% de la demanda hídrica total (*Figura 349*). En cuanto a las unidades hidrográficas, la mayor demanda de agua se concentra en Recio parte baja con 13,823 l/s que representan el 73% de la demanda en esta Subzona Hidrográfica (Tabla 236).

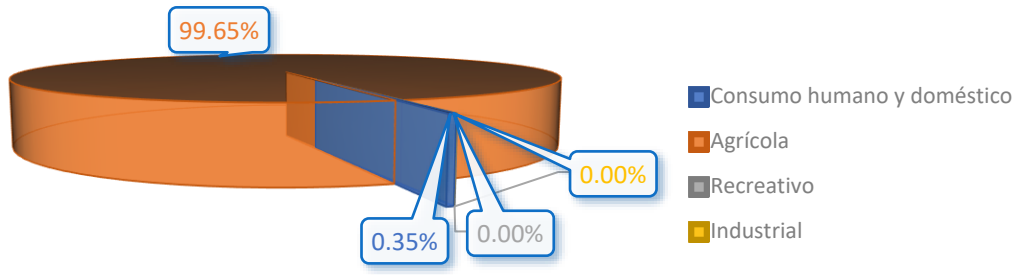


Figura 349. Caudal concesionado por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Tabla 236. Demanda hídrica total para cada unidad hidrológica que conforma la Subzona Hidrográfica de los ríos Recio y Venadillo. Fuente: Corcuencas (2019)

Unidad hidrográfica	Demanda SIRH Concesionado m3.seg	Demanda Censo de Usuarios Informales m3.seg	Demanda Total m3.seg
Quebrada Santa Rosa	0.001		0.00
Quebrada La Honda	0.008		0.01
Rio La Yuca	0.004		0.00
Rio Recio parte Alta	0.003		0.00
Quebrada De Megue	0.000		0.00
Rio Recio parte Baja	13.823		13.82
Directos Magdalena	0.012	0.012	0.06
Directos Magdalena Tautau	0.002	0.002	0.84

Unidad hidrográfica	Demanda SIRH Concesionado m3.seg	Demanda Censo de Usuarios Informales m3.seg	Demanda Total m3.seg
Rio Venadillo parte Alta	0.124	0.106	0.23
Rio Palmar directo al Venadillo	0.336	0.286	0.62
Rio Venadillo parte Baja	3.256	0.042	3.30
Total	**17.568**	**0.448**	**18.88**

La distribución espacial de los de los usuarios del recurso hídrico de esta Subzona Hidrográfica, con caudales concesionados superiores a 20 l/s, se presentan en la *Figura 350*.

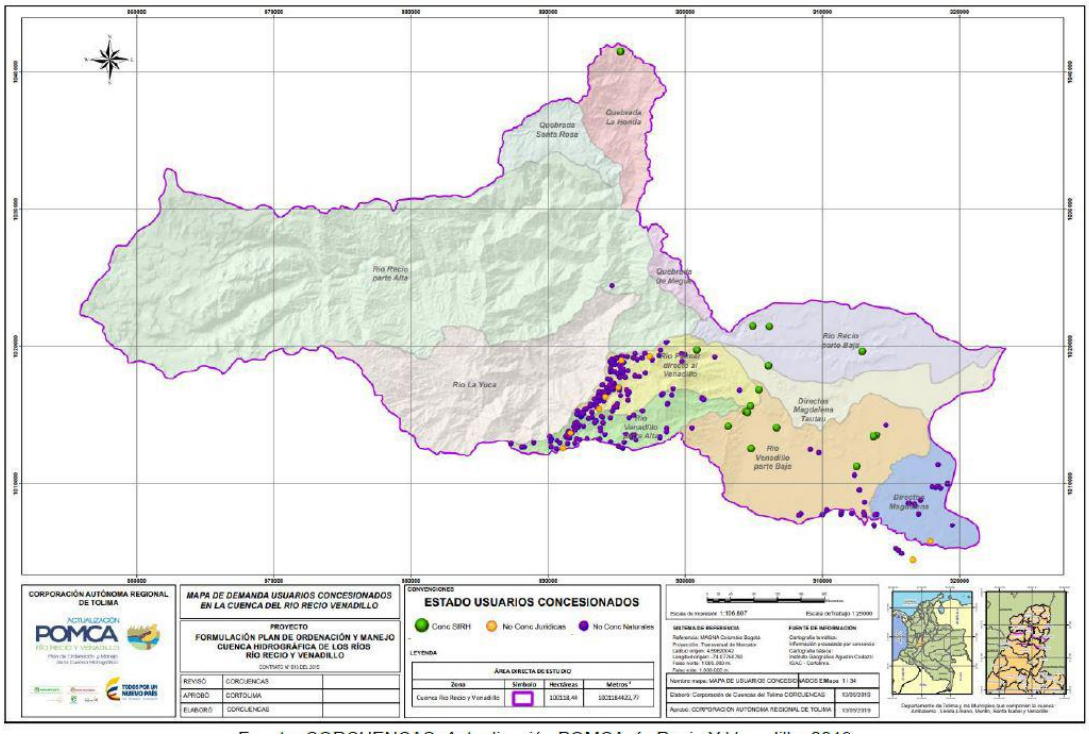


Figura 350. Distribución espacial de usuarios concesionados y georreferenciados en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo. Fuente: Corcuencas (2019)

19.9.5. Subzona Hidrográfica del río Sabandija

La demanda hídrica para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija, con base en el Plan de Desarrollo Departamental "El Tolima Nos Une 2020-2023 (Gobernación del Tolima 2020), se estima en 1,390 l/s que equivalen al 0.74% de la demanda hídrica total del departamento del Tolima. Conforme al Acuerdo 014 del 2017, esta Subzona Hidrográfica ocupa el puesto No. 17 de priorización para adelantar los procesos de

ordenación y manejo, por tanto, no se presentan los resultados de demanda hídrica por tipo de uso de agua y por unidades hidrográficas.

19.9.6. Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Departamental, la demanda hídrica en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla, se estima en 13,050 l/s, que corresponden al 6.9% de la demanda hídrica total en el departamento, mientras que en el POMCA (Cortolima et al, 2010) se estima en 3861.16 l/s (121.76 Mm3/año) que se concentra principalmente en la unidad hidrológica Lagunilla 2 con 1786.38 l/s (*Tabla 237*). Se establece que el 99.3% de la demanda la ejerce el sector agrícola, el 0.5 % es destinado para consumo humano y 0.2% corresponde al consumo bovino.

Tabla 237. Demanda hídrica total para cada unidad hidrológica que conforma la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla. Fuente: Cortolima et al, (2010)

Cuenca Mayor	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Total Demanda (m3/año)	Total Demanda (l/s)
		Qda. Negra		1.7048	54.06
		Rio Vallecitos		4.58976	145.54
		Qda. Mina Pobre		0.3714	11.78
		Qda. Cantarrona		0.04837	1.53
		Lagunilla 1		7.94585	251.96
		Q. Entrevalles		1.04032	32.99
		Qda. Cañada		0.33644	10.67
			Qda.Tesorito	0.38452	12.19
		Azufrado 1		0.02349	0.74
		Qda. Guayabal		0.27803	8.82
			Qda. La Española	0.00655	0.21
			Qda. La Mina	0.73049	23.16
Rio Lagunilla			Qda. San Ignacio	0.00059	0.02
			Qda. Negra	0.11374	3.61
	Rio Azufrado		Qda. Bejucos	0.0179	0.57
			Qda. Palo Grande	0.01593	0.51
			Qda. Palmital	0.12893	4.09
		Azufrado 2		2.19151	69.49
			Qda. La Bonita	0.16804	5.33
			Qda. La Soñadora	0.15235	4.83
			Qda. La Quiebra	0.03743	1.19
		Azufrado 3		0.86436	27.41
		Qda. San lorenzo		0.08735	2.77
			Qda. La Esmeralda	0.12865	4.08

Cuenca Mayor	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Total Demanda (m3/año)	Total Demanda (l/s)
			Qda. La Flor	0.03149	1.00
		Total san Lorenzo		0.2475	7.85
		Total Cuenca Río Azufrado		6.73812	213.66
			Qda. La Honda	0.01565	0.50
			Qda. La Esmeralda	0.02028	0.64
			Qda. El Dorado	0.00976	0.31
		Qda. La Cristalina		0.14891	4.72
			Qda. La Mina	0.00493	0.16
		Total Qda. Cristalina		0.15384	4.88
			Qda. Campo Hermoso	0.04146	1.31
			Qda. San Pablo	0.09274	2.94
			Qda. Las Animas	0.07718	2.45
			Qda. Motilón	0.00765	0.24
		Lagunilla 2		56.3353	1786.38
		Rio Bledo		12.10462	383.83
			Qda. Vivi	2.09686	66.49
	Rio Bledo	Qda. La Sierra o Agua Fria		5.361	170.00
			Qda. La Hondita	0.00525	0.17
		Rio Nuevo		5.84067	185.21
		Qda. Doña María		16.029	508.28
		Total Cuenca Río Bledo		25.4084	805.70
		Qda. Las Palmas		11.2871	357.91
			Qda. Gulupal	6.91784	219.36
		Total Qda. Las Palmas		18.20494	577.27
		Qda. La Joya		63.13079	2001.86
		Lagunilla 3		14.39737	456.54
	Total Cuenca Mayor río Lagunilla			**121.76549**	**3861.16**

19.9.7. Subzona Hidrográfica del río Guarinó

A diferencia de la información reportada en los POMCAS de las anteriores subzonas, la estimación de demanda hídrica sectorial y total para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se realiza mediante la adopción de módulos de consumo, definidos por la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) en la Resolución 027 de 2011, así como también, a partir de la información proveniente de estudios previos, teniendo en cuenta los usos del agua reglamentados en el Decreto 3930 de 2010 y los lineamientos del IDEAM (2013). Con base en lo anterior, la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se estima en 1,272.07 l/s (Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó 2015), lo cual difiere de lo

reportado en el Plan de Desarrollo Departamental del Tolima (Gobernación del Tolima 2020) en donde equivale a 70 l/s, esto se presenta probablemente por diferencias en la metodología implementada para el cálculo y el área de jurisdicción de los estudios; cabe aclarar que, de acuerdo con el POMCA, el 75% (62.935 ha) del área de la Subzona Hidrográfica esta en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), y el 25% (20.894 Ha) restante, le corresponde a la Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA).

Adicionalmente a esta demanda hídrica se le asigna una captación del acueducto la Dorada de 290 l/s destinados para consumo humano y otra del trasvase del río Guarinó al río la Miel de aproximadamente 10,000 l/s realizada por la empresa ISAGEN S.A. E.S.P. para generación de energia, quedando asi una demanda hídrica total de 11562.07 l/s para esta Subzona Hidrográfica (*Tabla 238*).

La distribucion porcentual de la demanda hídrica para los diferentes tipos de usos de agua se presenta en la *Figura 351*. Se evidencia que en esta Subzona Hidrográfica, el 86.5% (10,000 l/s) de la demanda hídrica total esta destinada para la generación de energía. El consumo humano y doméstico junto con el sector agrícola integran solo el 11.5% (1330.15 l/s) de la demanda hídrica total, los demas sectores (pecuario, industrial y minería) participan con solo con el 2.01% (231.92 l/s) de esta demanda.

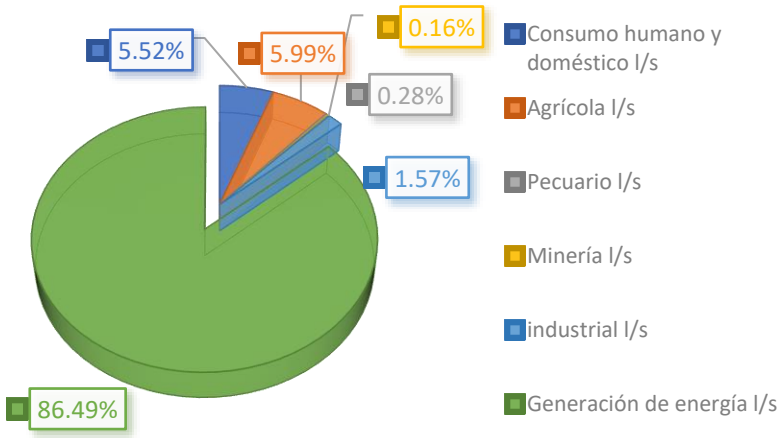


Figura 351. Demanda hídrica por tipo de uso para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Por unidad hidrográfica, la mayor demanda hídrica se presenta en el Río Guarinó Cuenca Baja Confluencia Río Magdalena, con una partipación del 31% (396.86 l/s) con respecto al total, seguido por la Quebrada Barreto con el 26% (330.23). En la *Tabla 238* se presentan los resultados de la demanda hídrica de cada una de las unidades hidrográficas que conforman la Subzona Hidrográfica del río Guarinó.

Tabla 238. Demanda hídrica sectorial y total por cada unidad hidrográfica que conforman la Subzona Hidrográfica del río Guarinó. Fuente: Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó (2015)

Unidad Hidrográfica	Consumo humano y doméstico (l/s)	Agrícola (l/s)	Pecuario (l/s)	Minería (l/s)	industrial (l/s)	Generación de energía (l/s)	Demanda total (l/s)
Quebrada Alto - El Salado	0.13	2.34	1.02	0.00	3.83		7.32
Quebrada Barreto	2.47	294.60	4.86	3.78	24.52		330.24
Quebrada Bocorna	0.65	0.08	0.48	0.70	4.06		5.97
Quebrada Casanguilla	1.15	3.10	1.37	2.67	1.69		9.98
Quebrada el Hacha	0.17	3.12	0.25	0.36	2.26		6.16
Quebrada el Jardín	3.39	0.59	0.36	0.70	0.44		5.48
Quebrada el Retiro	0.05	1.98	0.64	0.00	2.41		5.08
Quebrada el Salado	0.14	3.19	2.18	0.00	8.23		13.74
Quebrada El Salado – R. Hondo	0.06	1.36	0.74	0.00	2.78		4.94
Quebrada La Laguna	0.10	11.07	0.48	0.00	1.82		13.47
Quebrada La Plata	0.34	5.55	0.37	0.00	6.66		12.93
Quebrada La Suecia	0.02	2.74	0.76	0.00	2.87		6.39
Quebrada La Unión	0.54	17.30	0.77	1.12	6.98		26.71
Quebrada los Santos	0.26	0.02	0.20	0.00	3.62		4.11
Quebrada Mesones	1.01	59.96	0.33	0.00	5.82		67.12
Quebrada San Antonio	0.09	36.38	0.73	0.00	2.74		39.93
Quebrada Santa Bárbara	1.57	12.66	1.02	1.13	7.04		23.42
Río Guarinó Alto	0.33	15.50	2.25	0.00	8.51		26.59
Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	5.80	2.09	0.54	0.96	2.18		11.56
Río Guarinó arriba río Santo Domingo	5.37	6.63	2.76	2.11	15.85		32.73
Río Guarinó -arriba trasvase la miel	16.42	16.44	0.55	0.34	6.70		40.44
Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	291.04	98.02	0.87	0.28	6.66		396.86
Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.35	2.55	0.73	0.24	3.45		7.32
Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	1.50	5.51	0.59	0.36	3.24		11.21
Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	1.53	1.39	0.85	0.67	4.63		9.06
Rio Hondo Cuenca alta	0.14	3.04	1.43	0.00	5.42		10.03
Río Hondo cuenca baja	2.96	13.37	1.07	0.00	4.04		21.43
Río Perrillo alto	0.29	25.63	0.56	0.00	3.07		29.56
Río Perrillo Bajo	1.07	4.89	0.31	0.00	3.30		9.58
Río Perrillo medio	0.72	1.46	0.65	0.00	9.50		12.33
Río San Juan	2.82	29.83	0.38	0.34	3.67		37.03
Rio Santo Domingo Cuenca alta	2.61	0.96	0.59	0.66	4.09		8.90
Rio Santo Domingo cuenca baja	2.84	8.88	1.41	1.57	9.76		24.45
Total Unidades Hidrográficas							**1272.07**

Unidad Hidrográfica	Consumo humano y doméstico (l/s)	Agrícola (l/s)	Pecuario (l/s)	Minería (l/s)	industrial (l/s)	Generación de energía (l/s)	Demanda total (l/s)
Captación Acueducto La Dorada	290	0	0	0	0	0	290
Trasvase del río Guarinó al río la Miel	0	0	0	0	0	10000	10000
Total Subzona Hidrográfica	**637.934**	**692.22**	**32.08**	**17.99**	**181.85**	**10000**	**11562.074**

19.9.8. Subzona Hidrográfica del río Gualí

La demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Gualí, de acuerdo con el POMCA (Cortolima, 2014), se estima en 1,363 l/s conforme a los resultados del censo de usuarios realizado por PROAGUA (2012) y UT HTM-GOTTA (2013), mientras que, en el Plan de Desarrollo Departamental (Gobernación del Tolima 2020), se estima en 5,280 l/s, que corresponden aproximadamente al 3% de la demanda hídrica total del departamento. Según el POMCA la unidad hidrográfica con mayor caudal demandado es río Bajo Gualí con 637 l/s (47%), seguido por río Sucio con el 16% (217.054 l/s) y la quebrada Padilla con el 15% (204.64 l/s) de la demanda hídrica total (Tabla 239).

Tabla 239. Demanda hídrica por unidad hidrográfica de la Subzona Hidrográfica del río Gualí, según censos PROAGUA (2012) y HTM-GOTTA (2013). Fuente: Cortolima (2014)

Unidad Hidrográfica		Demanda Hídrica (l/s)
Quebrada Padilla	Quebrada Padilla	196
	Quebrada Rabo de Gallo	8.64
	Río Aguacatal	0.228
Río Aguacatal	Quebrada Dantas	Sin información
	Quebrada Tasajeras	Sin información
	Río Cajones	17.902
Río Cajones	Río San Luís	Sin información
	Quebrada Peñales	17.509
Río Medina		46.549
Río Sucio		217.054
Río Alto Gualí		77.086
Río Bajo Gualí		637
Río Medio Gualí		83.087
Quebrada Agua de Dios		0.006
Quebrada Campeón		3.84
Quebrada Chimine		0.311
Quebrada El Guarumo		57.99
Quebrada Nicua		0.065

Unidad Hidrográfica	Demanda Hídrica (l/s)
Quebrada San José	0.063
Quebrada Morales	Sin información
Quebrada Oromazo	Sin información
Quebrada San Rafael	Sin información
Total	**1363.33**

Por otra parte, de acuerdo con el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) del río Gualí (Cortolima et al, 2013), para esta Subzona Hidrográfica se reporta un caudal concesionado por CORTOLIMA de 3762.8 l/s, destinado principalmente para uso agrícola en un 74% (2784.2 l/s) y para consumo humano y doméstico en un 24.5% (922.5 l/s). Considerando la densidad poblacional urbana y rural de los municipios que integran la cuenca hidrográfica del río Gualí (Herveo, Fresno, Honda, Falan, Palocabildo, Mariquita y Casabianca), se estimó para un horizonte de 10 años (2023) la demanda hídrica de cada unidad hidrográfica con relación a su área. En la Tabla 240 se muestra la proyección de demanda hídrica realizada en el PORH para las cuencas y subcuencas del Río Gualí con base en tres escenarios: óptimo, intermedio y pesimista. La demanda proyectada urbana sólo la presentan para las cuencas que tienen centros urbanos en su área.

Tabla 240. Proyección de demanda al año 2023 para las cuencas y subcuencas del Río Gualí según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH). Fuente: Cortolima et al, (2013)

Cuencas	Área cuenca (km^2)	Demanda Bruta Urbana			Demanda Bruta Rural		
		Proyección Demanda (L/s)			Proyección Demanda (L/s)		
		Óptimo	Intermedio	Pesimista	Óptimo	Intermedio	Pesimista
Quebrada Padilla	47.59	-	-	-	53.41	53.52	53.36
Río Aguacatal	98.02	-	-	-	15.04	15.22	15.38
Río Cajones	83.93	-	-	-	12.88	13.03	13.17
Río Medina	91.64	-	-	-	84.57	84.74	84.50
Río Sucio	87.94	-	-	-	88.18	88.35	88.11
Q. Rabo de Gallo	9.44	-	-	-	13.51	13.54	13.50
Río Alto Gualí	392.06	0.32	0.33	0.32	85.05	85.92	85.67
Río Bajo Gualí	791.13	4.78	4.91	4.75	274.24	279.53	276.91
Río Medio Gualí	465.14	0.32	0.33	0.32	132.19	133.83	132.80
Quebrada Agua de Dios	15.36	-	-	-	4.22	4.23	4.21
Quebrada Campeón	13.54	-	-	-	4.74	4.75	4.74
Quebrada Chimine	36.65	-	-	-	45.03	45.12	44.99
Quebrada El Guarumo	15.95	-	-	-	4.11	4.13	4.13
Quebrada Nicua	12.85	-	-	-	4.50	4.51	4.50

Cuencas	Área cuenca (km^2)	Demanda Bruta Urbana			Demanda Bruta Rural		
		Proyección Demanda (L/s)			Proyección Demanda (L/s)		
		Óptimo	Intermedio	Pesimista	Óptimo	Intermedio	Pesimista
Quebrada San José	10.57	-	-	-	6.16	6.44	6.03
Q. Las Dantas	1.66	-	-	-	0.25	0.26	0.26
Q. Tasajeras	2.04	-	-	-	0.31	0.32	0.32
R. San Luis	1.59	-	-	-	0.24	0.25	0.25
Q. Peñales	14.01	-	-	-	2.15	2.17	2.20
Quebrada Morales	7.26	-	-	-	10.39	10.41	10.38
Quebrada Oromazo	5.26	-	-	-	4.27	4.51	4.19
Quebrada San Rafael	8.03	-	-	-	2.81	2.82	2.81

19.10. Bases de datos de concesiones hídricas

19.10.1. Bases de datos revisadas

Para la caracterización y cuantificación de la demanda hídrica de las Subzonas Hidrográficas río Coello, río Opia, río Totare, río Recio y Venadillo, río Sabandija, río Lagunilla, río Gualí y río Guarinó, se emplearon los siguientes reportes oficiales expedidos por la autoridad ambiental territorial (CORTOLIMA):

- El Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) el cual integra la información del Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH)
- El Reporte de licencias ambientales generado por CORTOLIMA y el ANLA
- El Registro de usuarios prestadores del servicio de acueducto
- Registro de usuarios de aguas subterráneas (FUNIAS)
- El Sistema de Información Geográfica (SIG) de la autoridad ambiental
- Los reportes de Tasa por Uso (TUA) que comprende la base de datos de liquidación del periodo 2016 a 2020, el maestro de concesiones y la información del último reporte de cumplimiento de la Resolución 0866 de 2004 del MADS.

19.10.2. Análisis exploratorio de la información concesiones hídricas

Considerando que para la determinación y espacialización de la demanda hídrica total y sectorial se requiere contar como mínimo con información referente al caudal concesionado, la georreferenciación del punto de captación y usos del agua concesionada, se observó que, en general, de las 2766 concesiones que se registran en las bases de datos de la corporación (subsección 19.10.1) para las unidades hidrográficas de estudio, en el 51% (1416 concesiones) se identificaron vacíos e inconsistencias en

estos datos. En la *Tabla 241* se resumen los resultados encontrados en este proceso de análisis. La principal falencia observada es la carencia de la georreferenciación del punto de captación que se evidencia en el 51% (1377 concesiones) del total de concesiones lo cual dificulta la espacialización de la demanda hídrica por usuarios. En cuanto a las inconsistencias, estas se relacionan con los valores de caudal concesionado de 0 l/s en cuyo caso se registraron en un 0.3% de las concesiones revisadas (*Tabla 242*).

Para suplir la carencia en estos datos se hizo necesaria la revisión de la información legal de las concesiones hídricas consignada en sus respectivos expedientes y resoluciones; en los casos en los cuales no se evidencia tal información, se optó por trabajar solo con la información oficial reportada en la base de datos de la corporación.

Tabla 241. Información registrada en bases de datos analizadas

Unidad Hidrográfica	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)	Fuente de Abastecimiento	Uso del Agua	Usuarios Georreferenciados Punto Captación
Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	178	178	178	175	142
Pozos Subterráneos Acuífero Norte	15	15	15	15	14
Río Coello	1008	1008	1008	999	480
Río Gualí	171	171	171	169	63
Río Guarinó	21	21	21	21	7
Río Lagunilla	439	439	439	435	148
Río Recio y Río Venadillo	132	132	132	132	75
Río Sabandija y otros Directos al Magdalena	121	121	121	119	57
Río Opia	56	56	56	54	28
Río Totare	625	625	625	621	338
Total	**2766**	**2766**	**2766**	**2740**	**1352**

Tabla 242. Usuarios con registro de caudal concesionado de cero (0) l/s

Unidad Hidrográfica	Llave de Aguas	Usuario	Expediente	Res. Inicial	Volumen Concesionado (l/s)
Río Coello	5291	Corporación Colombia Mágica Capitulo Tolima Corcoma Col		3274	0
Río Gualí	3989	Asogramal		251	0
Río Lagunilla	4227	Hacienda Zapayan S.A.		442	0
Río Opia	2115	María Marilu Zarta y Otros	33	4359	0
	2222	Diaz Villanueva Álvaro	1667	886	0
Río Sabandija y otros Directos al Magdalena	203	J.A.C. Vda. La Mireya	2630-13	100	0
	3844	Luis Enrique López Caicedo	265	74	0
Río Totare	4060	Rodríguez Falla Jose Alfredo	283	260	0

19.10.3. Subzona Hidrográfica del río Coello

De acuerdo con la información registrada en las bases de datos de CORTOLIMA, la demanda hídrica concesionada en la Subzona Hidrográfica del río Coello es de 28,233.7 l/s. Lo anterior es consistente con lo reportado en el POMCA (28,233 l/s) y el Plan de Desarrollo Departamental del Tolima (28,110 l/s) para esta unidad hidrográfica. Dentro del análisis de la información se evidenció una concesión con caudal de cero (0) l/s que fue necesario validar en el proceso de revisión de expedientes (*Tabla 242*).

La distribución de la demanda hídrica por usuarios y tipo de uso se presenta en la *Tabla 243* y *Figura 352*. Se observa que el 54.5% (15386.4 l/s) del caudal superficial concesionado, representado por 259 usuarios, es destinado para el uso agrícola; el 30.1% (8,497 l/s) es para la generación de energía, la cual es demanda por la empresa Hidrotolima S.A.S E.S.P., con 3 concesiones hídricas y, el 13.7% (3872.9 l/s) lo demandan 651 usuarios para consumo humano y doméstico. La demanda restante (451.6 l/s) que representa el 1.6% de la demanda hídrica total, es destinada para uso: industrial, pecuario, pesca y acuicultura, recreativo y conservación de flora y fauna. El número de concesiones en las cuales no se especifica el uso del agua representan el 0.1% (25 l/s) de toda la información reportada para esta subzona.

Tabla 243. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	259	15386.4
Consumo Humano y Doméstico	651	3872.9
Flora y Fauna	1	1
Generación de energía	3	8497
Industrial	38	73.4
Pecuario	33	347.8
Pesca y Acuicultura	5	23.3
Recreativo	7	6.1
Sin Información	11	25.8
Total	**1008**	**28,233.70**

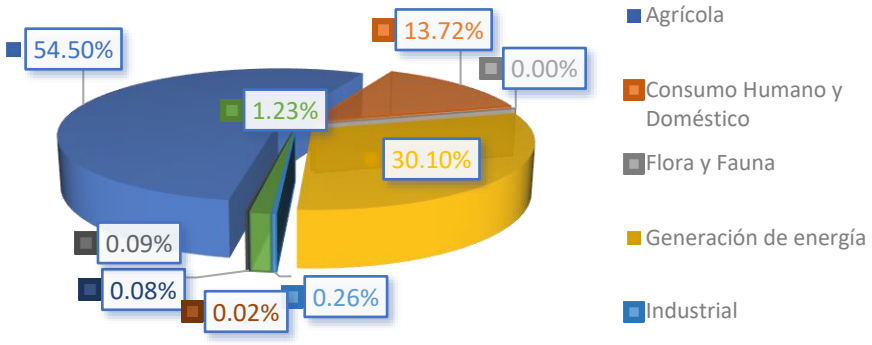


Figura 352. Demanda hídrica concesionada para la Subzona Hidrográfica del río Coello

19.10.4. Subzona Hidrográfica del río Opia

En la Subzona Hidrográfica del río Opia la demanda hídrica es de 777.6 l/s, un valor muy cercano a lo reportado en el Plan de Desarrollo Departamental, el cual es de 760 l/s. Se evidenciaron dos concesiones con un valor concesionado de 0 l/s que fue necesario revisar en el expediente físico para verificar dicha información (*Tabla 242*).

En cuanto a los usos, tal como se observa en la *Tabla 244* y *Figura 353* el sector agrícola es el que retiene la mayor parte de la demanda hídrica con 712 l/s, que representan el 91.6% del total, mientras que la demanda restante se concentra principalmente en los usos de consumo humano y domestico con el 5.3% (41.3 l/s) y el sector pecuario con el 2.6% (20 l/s).

Tabla 244. Demanda hídrica por usos y usuarios en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	31	712
Consumo Humano y Doméstico	20	41.3
Flora y Fauna	1	3
Industrial	1	1.3
Pecuario	1	20
Sin Información	2	0
Total	**56**	**777.6**

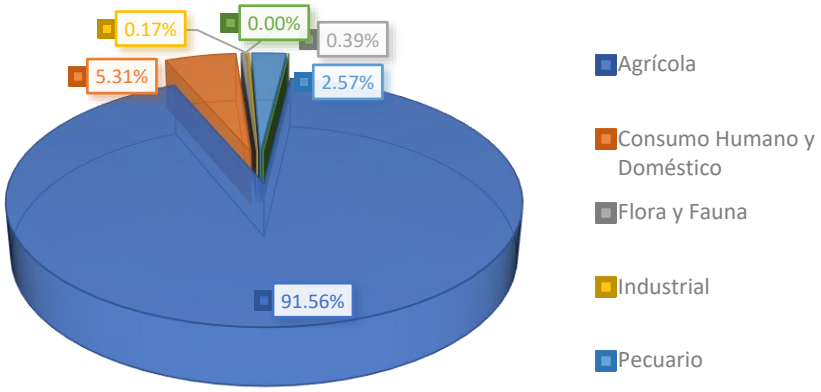


Figura 353. Distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Opia

19.10.5. Subzona Hidrográfica del río Totare

La demanda hídrica en la Subzona Hidrográfica del río Totare, de acuerdo con el registro de las concesiones hídricas de CORTOLIMA, es de 15,219.19 l/s siendo consistente con lo reportado en el Plan de Desarrollo Departamental del Tolima (15,290 l/s), pero distante a lo consignado en el POMCA de unidad hidrográfica (19,086 l/s) (*Tabla 245*). En la *Figura 354*, se presenta la distribución porcentual de la demanda hídrica por cada tipo de uso o sector. Se observa que la mayor presión del recurso se ejerce por parte del sector agrícola, el cual demanda 13,959.5 l/s que representa el 91.7% de la demanda hídrica total, seguido por el consumo humano y domestico con el 4.1% (621.99 l/s). Dentro del reporte de información para esta subzona se evidenció una concesión de caudal de 0 l/s que se consideró en el proceso de revisión de expedientes con el objetivo de validar dicha información (*Tabla 242*).

Tabla 245. Demanda hídrica por usuario y tipo de uso de agua en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	345	13959.5
Consumo Humano y Doméstico	234	621.99
Flora y Fauna	1	1
Generación de energía	3	165
Industrial	5	14.4
Minería	1	5

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Pecuario	22	120.7
Pesca y Acuicultura	4	16.3
Recreativo	3	192
Sin Información	7	123.3
Total	**625**	**15219.19**

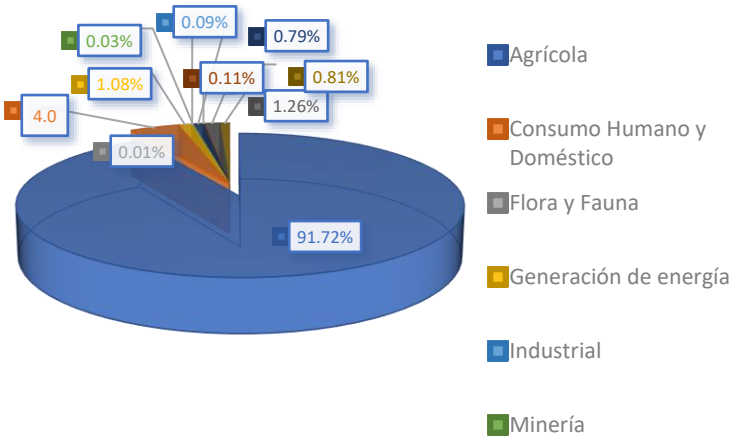


Figura 354. Distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Totare

19.10.6. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Conforme a los reportes del POMCA y el Plan de Desarrollo Departamental, la demanda de esta unidad hidrográfica varía entre 17,260 a 17,270 l/s, respectivamente, lo cual concuerda con los 17,275 l/s obtenidos con base en el registro de concesiones de CORTOLIMA (*Tabla 246*). Como se presenta en la *Figura 355*, el 99.5% (17,189 l/s) de la demanda se concentra en el sector agrícola, mientras que el 0.5% restante se distribuye para el consumo humano y doméstico (74.4 l/s), la pesca y acuicultura (6.2 l/s), la industrial (4.4 l/s), el consumo pecuario (0.5 l/s) y el sector recreativo (0.03 l/s).

Tabla 246. Demanda hídrica por usuario y tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	73	17189.9
Consumo Humano y Doméstico	54	74.4

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Industrial	2	4.4
Pecuario	1	0.5
Pesca y Acuicultura	1	6.2
Recreativo	1	0.03
Total	**132**	**17275.43**

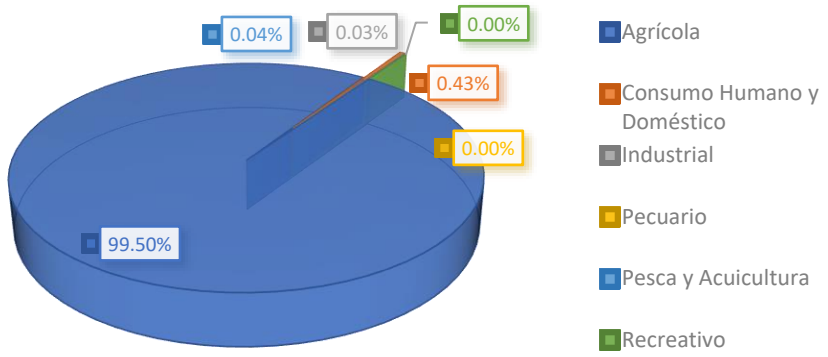


Figura 355. Distribución porcentual de la demanda hídrica por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

19.10.7. Subzona Hidrográfica del río Sabandija

La demanda hídrica concesionada para esta Subzona Hidrográfica se determina en 1857.3 l/s, a diferencia de lo reportado en el Plan de Desarrollo Departamental en el cual la demanda se estima en 1,390 l/s. Con base en la *Tabla 247* y *Figura 356*, es posible identificar, que en el sector agrícola es donde se demanda la mayor parte del recurso hídrico, con 1609.8 l/s que representan el 86.7% de la demanda hídrica total de esta unidad, seguido por el consumo humano y doméstico que demanda el 11.5% con 213.5 l/s. Dentro del registro de concesiones consultadas para esta unidad hidrográfica se evidenciaron dos concesiones de caudal de 0 l/s que fueron posteriormente verificadas mediante la revisión de expedientes físicos (*Tabla 242*).

Tabla 247. Demanda hídrica concesionada por usuario y tipo de uso en el Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	38	1609.8
Consumo Humano y Doméstico	75	213.5
Industrial	2	10.7
Pecuario	4	21.9

Sin Información	2	1.4
Total	**121**	**1857.3**

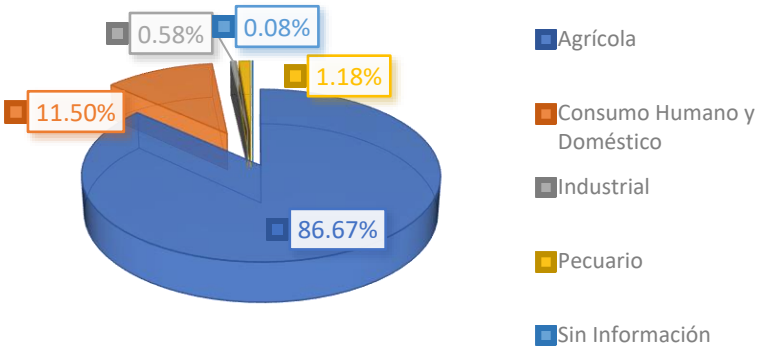


Figura 356. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

19.10.8. Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

De acuerdo con el Plan Desarrollo Departamental, en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla se demanda 13,0550 l/s, sin embargo, conforme al registro de concesiones de CORTOLIMA (Tabla 19), la demanda en esta unidad hidrográfica es de 12,869.9 l/s. Tal como sucede en las Subzonas Hidrográficas descritas anteriormente, la mayor parte del recurso hídrico concesionado es para uso agrícola, que en este caso representa el 93.9% de la demanda total con 12,083.1 l/s (*Figura 357*), los demás usos (consumo humano y doméstico, minería y pecuario), representan el 4.3% restante con 553 l/s. Dentro del análisis de la información se evidencian 4 concesiones en las cuales no se especifica el uso del agua asignado, y 1 concesión con un caudal de 0 l/s (*Tabla 242*). Dichos casos fueron considerados en el proceso de revisión de expedientes para validar y complementar la información reportada.

Tabla 248. Demanda hídrica concesionada por usuario y tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	344	12083.1
Consumo Humano y Doméstico	88	447.4
Minería	1	3.6
Pecuario	2	102
Sin Información	4	233.8
Total	**439**	**12869.9**

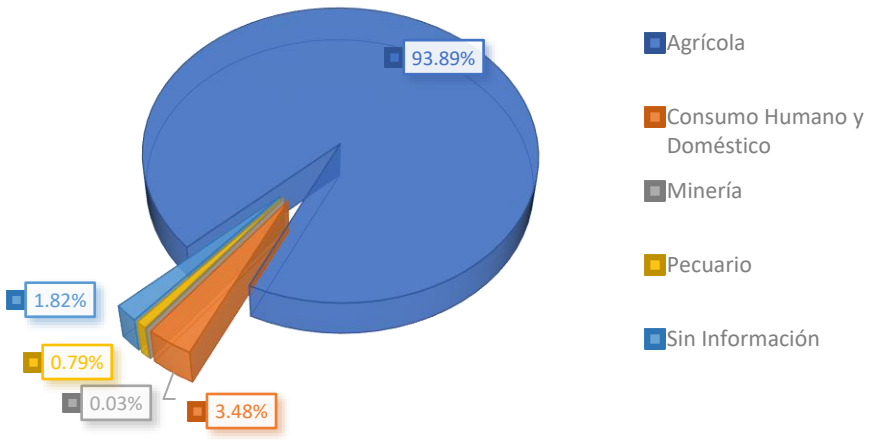


Figura 357. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

19.10.9. Subzona Hidrográfica del río Guarinó

La demanda hídrica para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó, según el registro de concesiones de CORTOLIMA, es de 74.3 l/s (*Tabla 249*), siendo similar a lo reportado en el Plan de Desarrollo Departamental (70 l/s), pero difiere con lo establecido en el POMCA de esta unidad hidrográfica (11562.07 l/s). En cuanto al caudal concesionado, por tipo de uso de agua, por parte de CORTOLIMA, es posible identificar que el 85% (63 l/s) se destina para el para el consumo humano y doméstico y, el 15% (11.3 l/s) es para el sector agrícola (*Figura 358*).

Tabla 249. Demanda hídrica concesionada por CORTOLIMA para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	3	11.3
Consumo Humano y Doméstico	18	63
Total	**21**	**74.3**

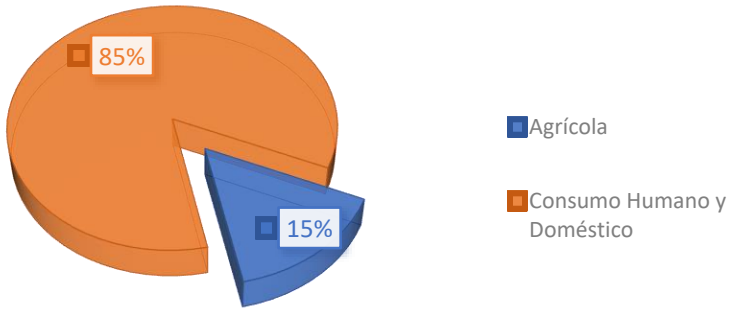


Figura 358. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso, de acuerdo con CORTOLIMA, para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

19.10.10. Subzona Hidrográfica del río Gualí

De acuerdo con los resultados obtenido del análisis de la información de las concesiones hídricas, para la Subzona Hidrográfica del río Gualí se destinan 5,507.3 l/s (*Tabla 250*), lo cual corrobora lo reportado en el Plan de Desarrollo Departamental (5,280 l/s), pero difiere de lo estimado en POMCA (1,363 l/s). Dentro de la información analizada se evidenció una concesión de 0 l/s que fue necesario confrontar en su expediente físico (*Tabla 242*). Como se observa en la *Tabla 250* y *Figura 359*, el sector agrícola con 2,630.4 l/s (47.8%), la pesca y acuicultura con 2,031 l/s (36.9%) y el consumo humano y doméstico con 831.6 l/s (15.1%), son los mayores demandantes del recurso hídrico en esta subzona hidrográfica.

Tabla 250. Demanda Hídrica concesionada para la Subzona Hidrográfica del río Gualí por usuarios y tipo de uso

Uso del Agua	Usuarios Concesionados	Caudal Concesionado (l/s)
Agrícola	35	2630.4
Consumo Humano y Doméstico	123	831.6
Industrial	3	3.2
Pecuario	5	9.9
Pesca y Acuicultura	3	2031
Sin Información	2	1.2
Total	**171**	**5507.3**

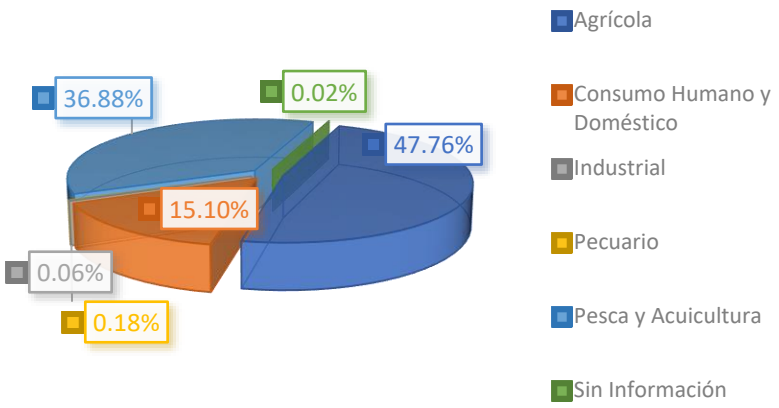


Figura 359. Distribución porcentual de la demanda hídrica concesionada por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

19.10.11. Análisis exploratorio de la Información de permisos de captación expedidos por el ANLA

La base de datos de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) reporta un total de 35 proyectos entre lineales (líneas de transmisión de energía y de infraestructura vial) y de área (bloques de hidrocarburos y minería) localizados en la zona de estudio con 122 puntos de captación (*Tabla 251*). Del análisis de la información se obtiene que el 33.3% de los permisos de captación no reportan el caudal concesionado, el 34.1% no presentan las coordenadas del punto de captación de agua del proyecto y solo el 30.1% menciona el uso para el cual se asigna el recurso. En cuanto al estado de estos permisos se estableció que el 94.26% se encuentran activos, el 3.28% están archivados, y el 2.46% no registra esta información (*Figura 360*).

Con base en la cartografía de la ANLA asociada a cada uno de los proyectos y la información de la georreferenciación del punto de captación, se realizó la espacialización de las captaciones y su distribución por Subzona Hidrográfica. Se logró evidenciar que la Subzona Hidrográfica del río Coello es la principal fuente de extracción del recurso hídrico de los proyectos establecidos en el área dado que en ella se localizan el 50.4% (62 captaciones) de total de captaciones autorizadas por la ANLA en la zona centro y norte del departamento del Tolima (*Tabla 251* y *Figura 361*). En la siguientes subsecciones(19.10.11.1, 19.10.11.2, 19.10.11.3, 0 y 19.10.11.5) se presenta en mayor detalle esta información por cada Subzona Hidrográfica.

Tabla 251. Permisos de captación otorgados por la ANLA en el área de estudio

Subzona Hidrográfica	No. Expediente del Proyecto	Sector	Tipo de Proyecto	Estado	Puntos de Captación	Caudal Concesionado (l/s)	Georreferenciación punto captación	Uso del Agua
Río Coello	LAM2028	101	Hidrocarburos	Activo	8	8	8	8
	LAM2537	101	Hidrocarburos	Activo	4	4	4	4
	LAM4121	102	Infraestructura	Activo	5	5	4	5
	LAM4205	102	Infraestructura	Activo	8	8	8	8
	LAM4750	101	Hidrocarburos	Activo	5	5	5	5
	LAV0084-00-2015	102	Infraestructura	Activo	32	32	32	
Río Opia - SZH	LAM2523	101	Hidrocarburos	Activo	1	1	1	
	LAM3617	101	Hidrocarburos	Activo	2	2	2	2
	LAM3839	101	Hidrocarburos	Activo	1	1	1	1
	LAM4783	101	Hidrocarburos	Activo	4	3	3	4
Río Recio y Río Venadillo - NSS	LAM4199	101	Hidrocarburos	Activo	1	1	1	
Río Sabandija y otros Directos al Magdalena - NSS	LAM3796	101	Hidrocarburos	Activo	3	3	3	
Río Totare - SZH	LAM3862	101	Hidrocarburos	Activo	6	6	6	
	LAV0046-00-2015	101	Hidrocarburos	Sin información	3	3	3	
Sin información	LAM0022	101	Hidrocarburos	Activo	1			
	LAM0069	101	Hidrocarburos	Activo	11			
	LAM0081	101	Hidrocarburos	Activo	1			
	LAM0138	101	Hidrocarburos	Activo	1			
	LAM0170	101	Hidrocarburos	Activo	2			
	LAM0203	101	Hidrocarburos	Activo	2			
	LAM0299	101	Hidrocarburos	Activo	1			
	LAM0304	104	Energía	Activo	1			
	LAM0674	101	Hidrocarburos	Activo	4			
	LAM1178	104	Energía	Activo	1			
	LAM1432	102	Infraestructura	Archivado	3			
	LAM1460	104	Energía	Activo	1			
	LAM1499	103	Minería	Activo	1			
	LAM1807	101	Hidrocarburos	Activo	1			
	LAM1834	102	Infraestructura	Activo	1			
	LAM4055	101	Hidrocarburos	Archivado	1			
	LAM4602	102	Infraestructura	Activo	2			
	LAM6705-00	102	Infraestructura	Activo	1			
	LAV0067-00-2015	102	Infraestructura	Activo	1			
	LAV0076-13	102	Infraestructura	Activo	2			

Subzona Hidrográfica	No. Expediente del Proyecto	Sector	Tipo de Proyecto	Estado	Puntos de Captación	Caudal Concesionado (l/s)	Georreferenciación punto captación	Uso del Agua
Total general					122	82	81	37

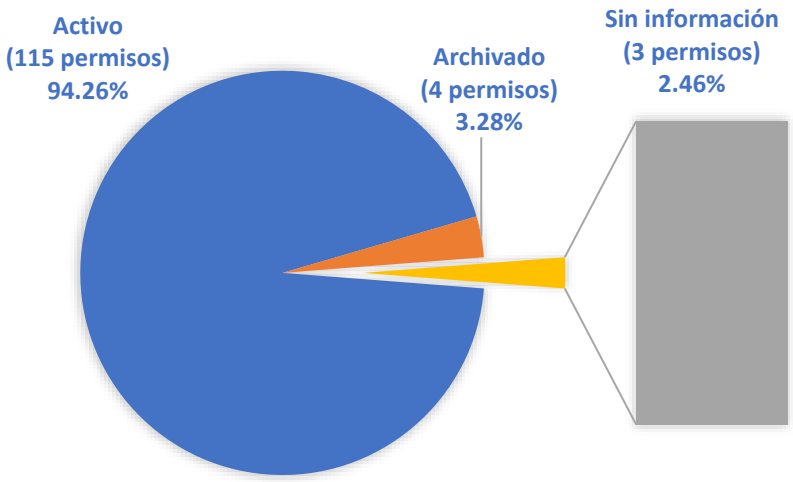


Figura 360. Estado de los permisos de captación otorgados por la ANLA en el área de estudio

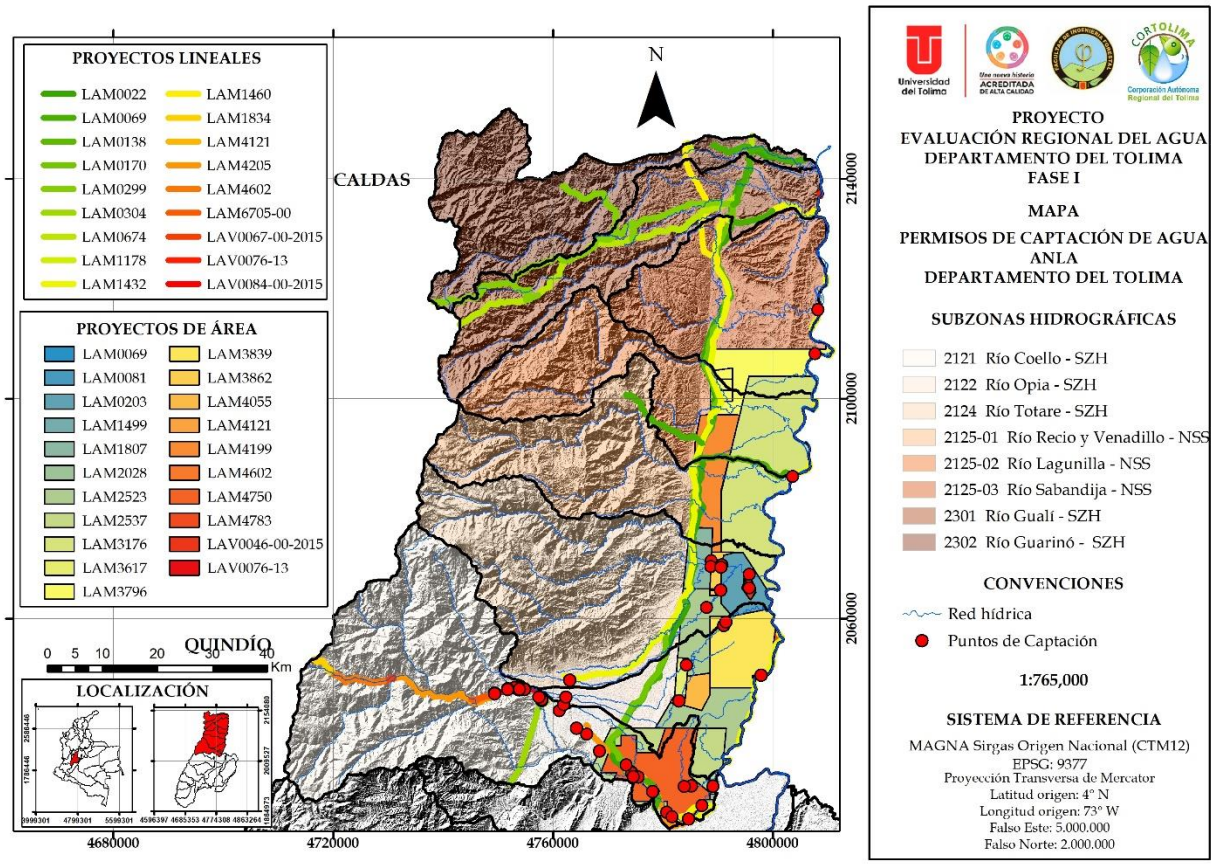


Figura 361. Distribución de los permisos de captación otorgados por el ANLA en el área de estudio

19.10.11.1. Subzona Hidrográfica del río Coello

En la Subzona Hidrográfica del río Coello se localizan 6 proyectos (3 del sector de hidrocarburos y 3 del sector de infraestructura) con 62 puntos de captación, para las cuales se les ha concesionado un total de 89 l/s (*Tabla 252*). Como se observa en la *Figura 362*, no se reporta información del tipo de uso en el 36% (32 l/s) de los datos, sin embargo, el 64% del caudal concesionado por la Autoridad Ambiental, se distribuye de la siguiente manera: 36% (32 l/s) para uso industrial y el 28% (25.68 l/s) para la explotación de petróleo. Según el reporte del ANLA, el proyecto relacionado con el expediente No. LAM 2537 actualmente no está haciendo captación.

Tabla 252. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Uso del Agua	Expediente del Proyecto	Tipo de Proyecto	Puntos de captación	Caudal Concesionado (l/s)
Explotación petrolera	LAM 2028	Hidrocarburos	8	25.68

Uso del Agua	Expediente del Proyecto	Tipo de Proyecto	Puntos de captación	Caudal Concesionado (l/s)
Uso industrial	LAM 2537	Hidrocarburos	4	8.8
Uso industrial	LAM 4121	Infraestructura	5	3
Uso industrial	LAM 4205	Infraestructura	8	6.9
Uso industrial	LAM 4750	Hidrocarburos	5	13.5
Sin información	LAV 0084-00-2015	Infraestructura	32	32
Total			**62**	**89.88**

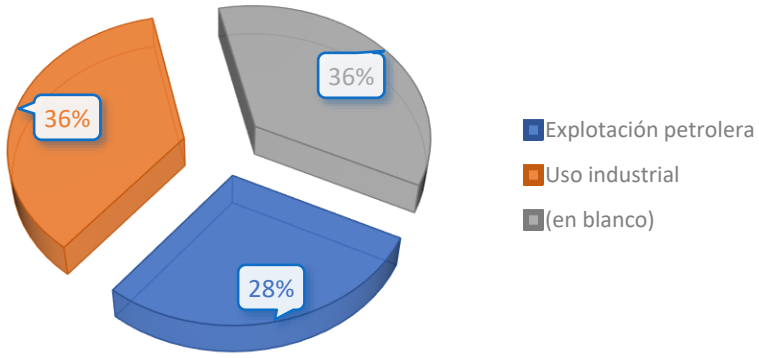


Figura 362. Distribución porcentual del caudal concesionado por tipo de uso del agua

19.10.11.2. Subzona Hidrográfica del río Opia

De acuerdo con los resultados presentados en la *Tabla 253* y la *Figura 363* en la Subzona Hidrográfica del río Opia, se localizan 4 proyectos de hidrocarburos con 8 puntos de captación de agua, a los cuales la Autoridad Ambiental ha autorizado 17.2 l/s. El 63% (10.8 l/s) del agua es destinada para uso industrial y el 34% (5.8 l/s) es para explotación petrolera; el 3% (0.6 l/s) restante (Expediente LAM 2523), hace referencia a un pozo subterráneo el cual se encuentra en estado de abandono desde el año 2003.

Tabla 253. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Uso del Agua	Expediente del Proyecto	Tipo de Proyecto	Puntos de captación	Caudal Concesionado (l/s)
Explotación petrolera	LAM 3617	Hidrocarburos	2	5.8
Uso industrial	LAM 3839	Hidrocarburos	1	1.8
Uso industrial	LAM 4783	Hidrocarburos	4	9
Sin información	LAM 2523	Hidrocarburos	1	0.6
Total			**8**	**17.2**

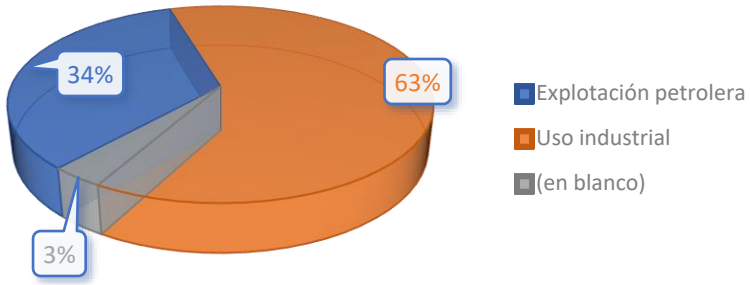


Figura 363. Distribución porcentual del caudal concesionado por tipo de uso del agua

19.10.11.3. Subzona Hidrográfica del río Totare

En esta Subzona Hidrográfica, de acuerdo con la ANLA, se localizan dos proyectos de hidrocarburos que cuentan con permiso de captación para hacer uso del recurso hídrico. En total, son 40.2 l/s concesionados entre los dos proyectos, sin embargo, según el reporte de la Autoridad Ambiental, el proyecto con el número de expediente LAM 3862, no se encuentra haciendo uso del permiso de captación, mientras que el del LAV 0046-00-2015 tiene el permiso por 10 años.

Tabla 254. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Uso del Agua	Expediente del Proyecto	Tipo de Proyecto	Puntos de captación	Caudal Concesionado (l/s)
Sin información	LAM 3862	Hidrocarburos	6	35.4
Sin información	LAV 0046-00-2015	Hidrocarburos	3	4.8
Total			**9**	**40.2**

19.10.11.4. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

De acuerdo con los datos reportados por el ANLA, el proyecto de hidrocarburos LAM 4199 operado por Rancho Hermoso S.A., tiene un permiso de captación de 2.5 l/s (*Tabla 255*), aguas arriba de la desembocadura Río Recio, sin embargo, desde abril de 2010, la empresa no está haciendo uso de este permiso.

Tabla 255. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Uso del Agua	Expediente del Proyecto	Tipo de Proyecto	Puntos de captación	Caudal Concesionado (l/s)
Sin información	LAM 4199	Hidrocarburos	1	2.5
Total			**1**	**2.5**

19.10.11.5. Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Con base en la información suministrada, el proyecto de hidrocarburos, expediente No. LAM 3796, operado por Varosa Energy L.T.D.A, tiene 3 permisos de captación por un total de 8.1 l/s (*Tabla 256*), localizados en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija, sin embargo, no se está haciendo uso de estos permisos.

Tabla 256. Permisos de captación otorgados por el ANLA en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Uso del Agua	Expediente del Proyecto	Tipo de Proyecto	Puntos de captación	Caudal Concesionado (l/s)
Sin información	LAM 3796	Hidrocarburos	3	8.1
Total			**3**	**8.1**

19.10.12. Registro de Puntos de Aguas Subterránea Consolidado por la Autoridad Ambiental

Teniendo en cuenta el registro de usuarios del Formulario Único Nacional de Aguas Subterráneas (FUNIAS) y las concesiones hídricas otorgadas por la autoridad ambiental, se consideraron un total de 183 puntos de captación para el cálculo de la demanda hídrica subterránea, dado que de los 194 puntos registrados 11 de ellos se encuentran desde hace varios años atrás, según lo reportado, en un estado de abandono o inactivo. Tal como se puede observar en la *Tabla 257*, el caudal otorgado es en su mayoría (41.2%) de los pozos profundos del Acuífero de Ibagué para actividades productivas. El 43.3% de la información no reporta el estado actual del punto de captación.

Tabla 257. Puntos de captación subterránea en el Acuífero de Ibagué y Acuífero Norte

Nombre	Tipo de punto	Estado	Puntos de captación	Base de Datos Consultada
Acuífero de Ibagué	Aljibe	Sin información	1	FUNIAS
		Doméstico	2	
		Productivo	8	
	Manantial	Productivo	2	
		Reserva	1	
	Pozo profundo	Abandonado	3	

Nombre	Tipo de punto	Estado	Puntos de captación	Base de Datos Consultada
		Doméstico	1	
		Inactivo	7	
		Productivo	70	
		Reserva	2	
			4	Maestro de concesiones (Activas)
			10	Reporte TUA (Res. 866_2004) Maestro de concesiones (Activas) SIRH
	Sin información	Sin información	2	Acueductos Reporte TUA (Res. 866_2004)
			27	Maestro de concesiones (Activas) SIRH Reporte TUA (Res. 866_2004) Maestro de concesiones (Activas)
		Doméstico	1	SIRH
	Pozo profundo	Productivo	7	Reporte TUA (Res. 866_2004) Maestro de concesiones (Activas)
		Reserva	1	FUNIAS
	Sin información	Sin información	2	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020)
	Pozo profundo	Productivo	1	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020) FUNIAS
	Sin información	Sin información	1	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020) Reporte TUA (Res. 866_2004)
	Pozo profundo	Inactivo	1	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020) Reporte TUA (Res. 866_2004) FUNIAS
	Sin información	Sin información	20	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020) Reporte TUA (Res. 866_2004) Maestro de concesiones (Activas)
	Pozo profundo	Doméstico	1	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020)
		Productivo	2	Reporte TUA (Res. 866_2004) Maestro de concesiones (Activas) FUNIAS
	Sin información	Sin información	2	Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020) Reporte TUA (Res. 866_2004)
			1	Maestro de concesiones (Ilegales) Reporte TUA (Res. 866_2004)
Acuífero Norte	Sin información	Sin información	1	Maestro de concesiones (Activas) SIRH Reporte TUA (Res. 866_2004)
			13	Maestro de concesiones (Activas) Reporte TUA (liquidación 2016 - 2020) Reporte TUA (Res. 866_2004) Maestro de concesiones (Activas)
Total			**194**	

19.10.12.1. Plan de Manejo Ambiental Acuífero de Ibagué

Con base en el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero de Ibagué (Cortolima y Consorcio Alvarado, 2015) la demanda hídrica subterránea es de 3079.2 l/s, la cual es

extraída de 143 puntos de captación, principalmente de pozos profundos tal como se evidencia en la Figura 364.

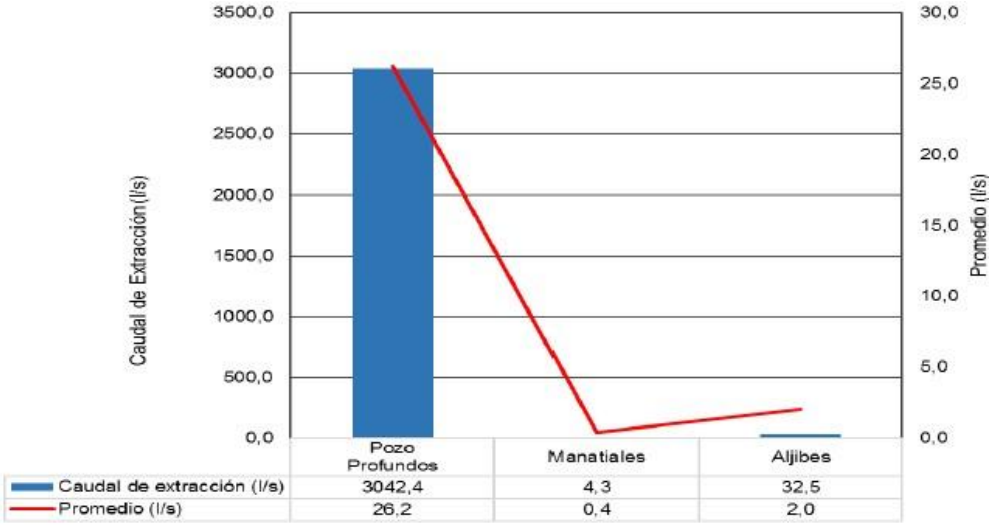


Figura 364. Distribución de la demanda hídrica subterránea en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015)

Los municipios con mayor participación en esta demanda hídrica es Ibagué con el 48% (1467.3 l/s) y Piedras con el 41% (1271.8). En menor proporción se encuentran los municipios de Alvarado con el 11% (339.7 l/s) y San Luís con el 0.01% (0.4 l/s) (*Tabla 258* y *Figura 365*).

Tabla 258. Demanda hídrica subterránea por municipio en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015)

Municipio	Número de puntos	Caudal (l/s)
Alvarado	29	3397
Ibagué	64	14673
Piedras	49	12718
San Luis	1	4
Total	**143**	**30792**

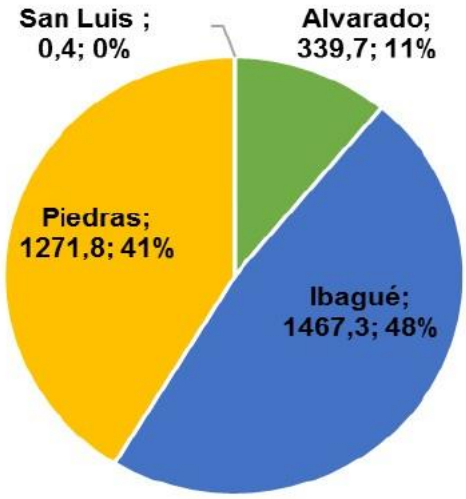


Figura 365. Distribución de la demanda hídrica subterránea por municipio en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015)

El recurso hídrico subterráneo es demandado principalmente para uso agrícola con un 65% (2003.7 l/s), seguido por el doméstico con el 25% (784.0 l/s) y el pecuario con el 5% (147 l/s). De los 143 puntos de captación considerados en el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero de Ibagué (PMMA) 7 se encontraron en estado de abandono o inactivo. En la *Tabla 259* y *Figura 366* se presentan los usos del agua existentes del acuífero de Ibagué y el caudal demandado por cada uno de ellos el l/s.

Tabla 259. Usos del recurso hídrico del acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015)

Uso del Agua	Punto de Agua	Porcentaje	Caudal (l/s)
Agrícola	66	0.46	2003.7
Doméstico	38	0.27	784.0
Abastecimiento Público	2	0.01	15.4
Industrial	4	0.03	44.5
Pecuario	21	0.15	147.0
Otros	5	0.03	84.6
Abandonado/inactivo	7	0.05	-
Total	**143**		**3079.2**

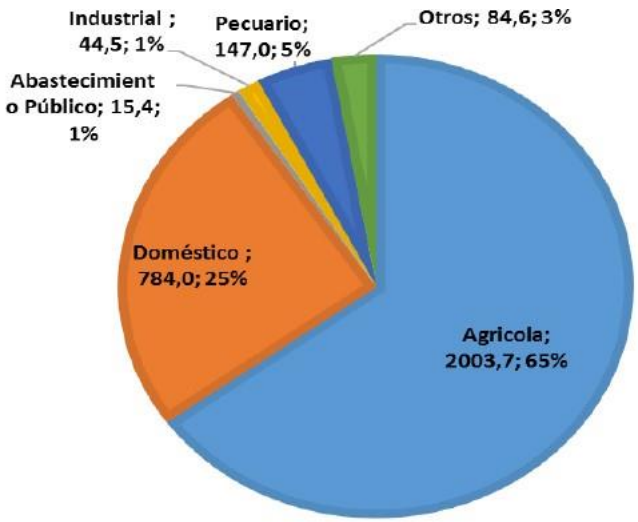


Figura 366. Distribución porcentual de la demanda hídrica subterránea por tipo de uso en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015)

Se estima que la zona centro oriental del acuífero de Ibagué es la zona más explotada principalmente por actividad agrícola, sin embargo, en la parte norte del acuífero donde transitan los ríos Alvarado y Chipalo, se registran caudales de extracción significativos para actividades agropecuarias (*Figura 367*).

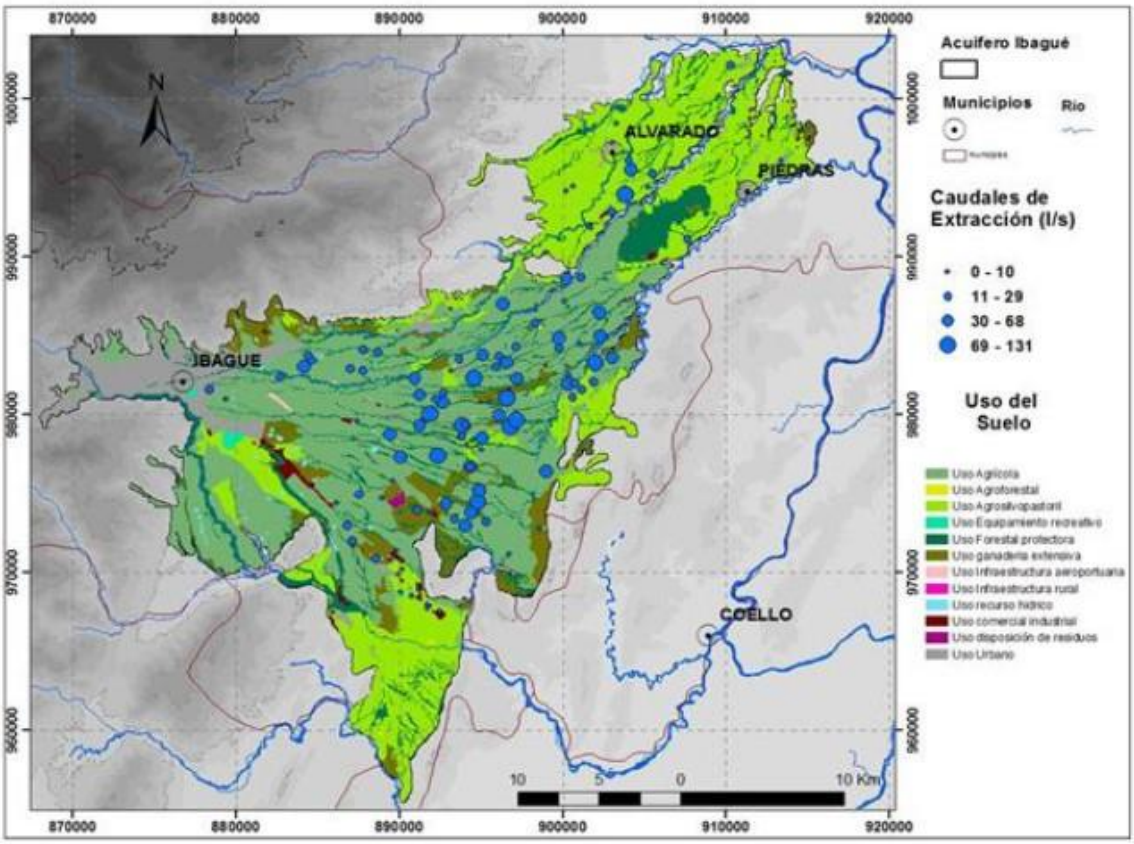


Figura 367. Distribución de los caudales de extracción de acuerdo con el uso del suelo en el acuífero de Ibagué. Fuente: Cortolima y Consorcio Alvarado (2015)

20. Demanda Hídrica Superficial

20.1. Subzona Hidrográfica del río Coello

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Coello se estima en 28,058.15 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 260*). En las siguientes subsecciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 260. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	169	4269.52
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	45	586.20
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	67	106.07
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	13	170.58
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	4	25.98
Agrícola - Pecuario	20	525.43
Agrícola - Pecuario - Piscícola	1	18.00
Agrícola - Piscícola	2	9640.66
Consumo Humano y Doméstico	554	3811.69
Consumo Humano y Doméstico - Industrial	4	8.80
Consumo Humano y Doméstico - Industrial - Recreativo	1	1.19
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	12	2.69
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	1	0.52
Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	9	11.12
Consumo Humano y Doméstico - Recreativo	1	0.59
Generación de Energía	3	8497.00
Industrial	70	128.53
Pecuario	18	27.41
Pecuario - Piscícola	2	41.10
Piscícola	11	179.04
Recreativo	6	6.05
Total	**1013**	**28058.15**

En la *Tabla 261* se presenta la distribución del caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en el río Combeima con el 52% (14589.61 l/s) y el río Coello con el 36% (10170.72 l/s), las demás fuentes hídricas solo suplen el 12% (3297.81 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica.

Tabla 261. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm³/año)	%
2121	Río Coello	10170.72	320.74	36.25
2121.1	Quebrada Chaguala	14.55	0.46	0.05
2121.1.4	Quebrada Naranjala	0.68	0.02	0.00
2121.10	Río Combeima	14589.61	460.10	52.00
2121.10.16	Quebrada La Tribuna	0.23	0.01	0.00
2121.10.17.1.1	Quebrada La Palma	0.07	0.00	0.00
2121.10.17.2	Quebrada La Esmeralda	2.06	0.06	0.01

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm³/año)	%
2121.10.18	Quebrada La Sierra	3.31	0.10	0.01
2121.10.19	Quebrada La Palma O El Salto	2.00	0.06	0.01
2121.10.20	Quebrada Gonzales	1.60	0.05	0.01
2121.10.21	Quebrada El Secreto	0.73	0.02	0.00
2121.10.22	Quebrada Samu O Corazon	5.08	0.16	0.02
2121.10.23	Quebrada NN 2 Combeima	10.70	0.34	0.04
2121.10.24	Quebrada La Calera	1.11	0.04	0.00
2121.10.25	Quebrada La Cristalina	5.54	0.17	0.02
2121.10.26	Quebrada Piedecuesta	3.10	0.10	0.01
2121.10.27	Quebrada El Tejar	68.85	2.17	0.25
2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	33.86	1.07	0.12
2121.10.27.2	Quebrada Los Granates	11.39	0.36	0.04
2121.10.27.2.1	Quebrada La Esmeralda	1.10	0.03	0.00
2121.10.27.2.2	Zanja Santa Rita	0.05	0.00	0.00
2121.10.27.3	Quebrada Salerito	3.00	0.09	0.01
2121.10.27.4	Quebrada La Volcana	7.60	0.24	0.03
2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	7.46	0.24	0.03
2121.10.28	Quebrada San Agustin	1.60	0.05	0.01
2121.10.29	Quebrada El Volcan	7.79	0.25	0.03
2121.10.3	Quebrada Cay	393.99	12.42	1.40
2121.10.30	Quebrada Madroñal	1.86	0.06	0.01
2121.10.31	Quebrada El Salto	4.52	0.14	0.02
2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	14.87	0.47	0.05
2121.10.4	Quebrada NN 1 Combeima	0.09	0.00	0.00
2121.10.5	Quebrada La Plata	503.29	15.87	1.79
2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	3.80	0.12	0.01
2121.11	Quebrada Gallego	3.19	0.10	0.01
2121.11.1	Quebrada Potrero Grande	6.33	0.20	0.02
2121.11.1.1	Quebrada El Cural	126.04	3.97	0.45
2121.11.2	Quebrada La Montaña	294.97	9.30	1.05
2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	14.22	0.45	0.05
2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	23.69	0.75	0.08
2121.11.3	Quebrada La Capanza	48.74	1.54	0.17
2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	23.35	0.74	0.08
2121.13	Quebrada La Tigra	0.31	0.01	0.00
2121.15	Quebrada Noria	1.90	0.06	0.01
2121.16	Quebrada El Salero	23.82	0.75	0.08
2121.17	Quebrada Guayabal	1.99	0.06	0.01
2121.18	Quebrada Palmita	26.23	0.83	0.09
2121.18.1	Quebrada Calaima	1.43	0.05	0.01
2121.18.2	Quebrada Puntezuelas	8.52	0.27	0.03

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm³/año)	%
2121.19	Quebrada Corrales	3.24	0.10	0.01
2121.2	Quebrada El Potrerillo	0.25	0.01	0.00
2121.20	Quebrada Azufral	4.50	0.14	0.02
2121.22	Rio Toche	0.91	0.03	0.00
2121.22.1	Quebrada San Jose	0.37	0.01	0.00
2121.22.8	Quebrada Campo Alegre	0.78	0.02	0.00
2121.22.9.2	Quebrada San Rafael	2.54	0.08	0.01
2121.22.9.4.4	Quebrada Chucali	23.00	0.73	0.08
2121.23	Quebrada Las Lajas	14.76	0.47	0.05
2121.24	Quebrada Chorros Blanco	12.88	0.41	0.05
2121.25	Río Bermellón	3.14	0.10	0.01
2121.25.11	Quebrada Perales	1.80	0.06	0.01
2121.25.12	Quebrada Del Violin	0.04	0.00	0.00
2121.25.13	Quebrada El Porvenir	11.19	0.35	0.04
2121.25.14	Quebrada La Estrella	2.92	0.09	0.01
2121.25.15	Rio Anaime	8.70	0.27	0.03
2121.25.15.1	Quebrada La Tigrera	0.98	0.03	0.00
2121.25.15.13	Quebrada La Union	0.03	0.00	0.00
2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	10.93	0.34	0.04
2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	0.70	0.02	0.00
2121.25.15.16	Quebrada Las Hormas	8.28	0.26	0.03
2121.25.15.17	Quebrada La Plata	0.09	0.00	0.00
2121.25.15.19	Quebrada El Espartillal	1.43	0.05	0.01
2121.25.15.2	Quebrada Chorrito	0.10	0.00	0.00
2121.25.15.3	Quebrada De Letras	0.13	0.00	0.00
2121.25.15.6	Quebrada de Arenillal	0.05	0.00	0.00
2121.25.15.7	Quebrada La Leona	7.09	0.22	0.03
2121.25.15.8	Quebrada Carrizales	289.54	9.13	1.03
2121.25.15.8.2	Quebrada Maravelez	4.06	0.13	0.01
2121.25.17	Quebrada Cuba	0.04	0.00	0.00
2121.25.18	Quebrada El Tigre	2.45	0.08	0.01
2121.25.18.1	Quebrada El Lombo	0.04	0.00	0.00
2121.25.19	Quebrada La Cerrajosa	8.02	0.25	0.03
2121.25.2	Quebrada San Antonio	4.99	0.16	0.02
2121.25.3	Quebrada El Espejo	2.40	0.08	0.01
2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	48.43	1.53	0.17
2121.25.4.1	Quebrada El Tigre	2.64	0.08	0.01
2121.25.6	Quebrada La Guala	0.34	0.01	0.00
2121.26	Quebrada Curalito	3.52	0.11	0.01
2121.27	Quebrada Cajones	0.25	0.01	0.00
2121.29	Quebrada Cañadas	1.31	0.04	0.00

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm³/año)	%
2121.3	Rio Cocora	1012.12	31.92	3.61
2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	2.60	0.08	0.01
2121.30.2	Quebrada Encajonado	0.15	0.00	0.00
2121.30.5	Quebrada El Escobo	1.00	0.03	0.00
2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	3.05	0.10	0.01
2121.33	Quebrada La Osera	6.32	0.20	0.02
2121.34	Quebrada Chimba	0.03	0.00	0.00
2121.34.2	Quebrada Andes	3.97	0.13	0.01
2121.34.3	Quebrada Los Organos	0.03	0.00	0.00
2121.34.4	Quebrada Las Abras	6.96	0.22	0.02
2121.35	Quebrada Salado	1.45	0.05	0.01
2121.35.1	Quebrada Guamalito	0.05	0.00	0.00
2121.35.2	Quebrada Las Palmas	1.94	0.06	0.01
2121.35.3	Quebrada La Arenosa	0.07	0.00	0.00
2121.38	Quebrada La Morena	1.00	0.03	0.00
2121.4	Quebrada Gualanday	36.01	1.14	0.13
2121.4.5	Quebrada Borbona	0.70	0.02	0.00
2121.5	Quebrada Ocona	0.50	0.02	0.00
2121.6	Quebrada La Honda	8.83	0.28	0.03
2121.8	Quebrada El Rodeo	1.40	0.04	0.00
2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	0.20	0.01	0.00
Total		**28058.15**	**884.84**	**100**

El equipo técnico de la ERA definió 17 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) para esta Subzona Hidrográfica (*Figura 368*). Para lograr distribuir esta demanda hídrica por cada UHA se consideró la demanda hídrica asignada por cada fuente hídrica abastecedora y la localización del punto de captación de las concesiones (por coordenadas o por veredas, según el caso). En la *Tabla 262* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA definida en la Subzona Hidrográfica del río Coello.

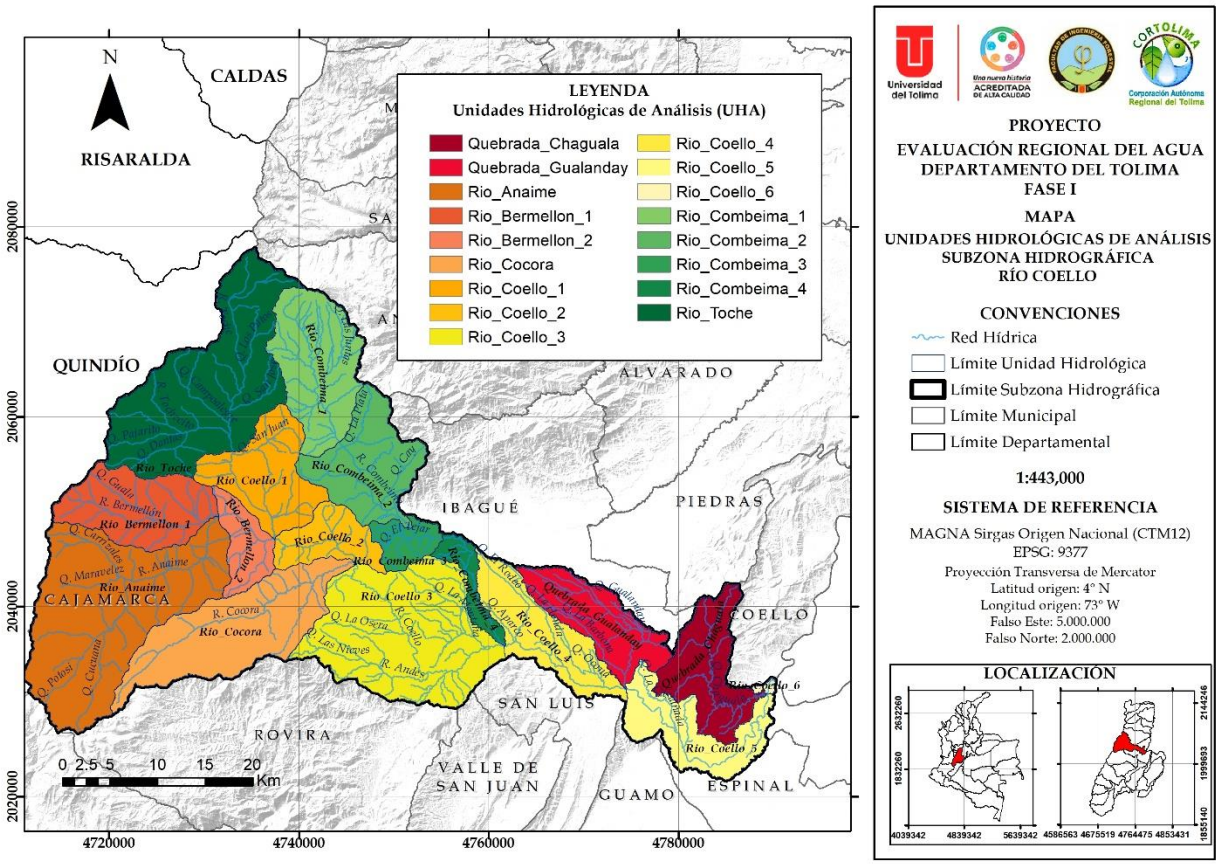


Figura 368. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Coello

Tabla 262. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Quebrada_Chaguala	2121.1	Quebrada Chaguala	14.55	15.23	0.48	0.05
	2121.1.4	Quebrada Naranjala	0.68			
Quebrada_Gualanday	2121.4	Quebrada Gualanday	36.01	36.71	1.16	0.13
	2121.4.5	Quebrada Borbona	0.70			
Rio_Anaime	2121.25.15	Rio Anaime	8.70	332.10	10.47	1.18
	2121.25.15.1	Quebrada La Tigrera	0.98			
	2121.25.15.13	Quebrada La Union	0.03			
	2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	10.93			
	2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	0.70			
	2121.25.15.16	Quebrada Las Hormas	8.28			
	2121.25.15.17	Quebrada La Plata	0.09			
	2121.25.15.19	Quebrada El Espartillal	1.43			
	2121.25.15.2	Quebrada Chorrito	0.10			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
	2121.25.15.3	Quebrada De Letras	0.13			
	2121.25.15.6	Quebrada de Arenillal	0.05			
	2121.25.15.7	Quebrada La Leona	7.09			
	2121.25.15.8	Quebrada Carrizales	289.54			
	2121.25.15.8.2	Quebrada Maravelez	4.06			
	2121.25	Río Bermellón	1.20			
	2121.25.11	Quebrada Perales	1.80			
	2121.25.12	Quebrada Del Violin	0.04			
	2121.25.13	Quebrada El Porvenir	11.19			
Rio_Bermellon_1	2121.25.14	Quebrada La Estrella	2.92	70.95	2.24	0.25
	2121.25.3	Quebrada El Espejo	2.40			
	2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	48.43			
	2121.25.4.1	Quebrada El Tigre	2.64			
	2121.25.6	Quebrada La Guala	0.34			
	2121.25	Río Bermellón	1.94			
	2121.25.17	Quebrada Cuba	0.04			
Rio_Bermellon_2	2121.25.18	Quebrada El Tigre	2.45	17.47	0.55	0.06
	2121.25.18.1	Quebrada El Lombo	0.04			
	2121.25.19	Quebrada La Cerrajosa	8.02			
	2121.25.2	Quebrada San Antonio	4.99			
	2121.3	Rio Cocora	1012.12			
	2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	2.60			
Rio_Cocora	2121.30.2	Quebrada Encajonado	0.15	1018.93	32.13	3.63
	2121.30.5	Quebrada El Escobo	1.00			
	2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	3.05			
	2121	Río Coello	18.43			
	2121.19	Quebrada Corrales	3.24			
Rio_Coello_1	2121.20	Quebrada Azufral	4.50	53.81	1.70	0.19
	2121.23	Quebrada Las Lajas	14.76			
	2121.24	Quebrada Chorros Blanco	12.88			
	2121	Río Coello	43.10			
	2121.16	Quebrada El Salero	23.82			
	2121.17	Quebrada Guayabal	1.99			
	2121.18	Quebrada Palmita	26.23			
Rio_Coello_2	2121.18.1	Quebrada Calaima	1.43	110.17	3.47	0.39
	2121.18.2	Quebrada Puntezuelas	8.52			
	2121.26	Quebrada Curalito	3.52			
	2121.27	Quebrada Cajones	0.25			
	2121.29	Quebrada Cañadas	1.31			
	2121	Río Coello	67.37			
	2121.11	Quebrada Gallego	3.19			
	2121.11.1	Quebrada Potrero Grande	6.33			
Rio_Coello_3	2121.11.1.1	Quebrada El Cural	126.04	630.94	19.90	2.25
	2121.11.2	Quebrada La Montaña	294.97			
	2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	14.22			
	2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	23.69			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
	2121.11.3	Quebrada La Capanza	48.74			
	2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	23.35			
	2121.13	Quebrada La Tigra	0.31			
	2121.15	Quebrada Noria	1.90			
	2121.33	Quebrada La Osera	6.32			
	2121.34	Quebrada Chimba	0.03			
	2121.34.2	Quebrada Andes	3.97			
	2121.34.3	Quebrada Los Organos	0.03			
	2121.34.4	Quebrada Las Abras	6.96			
	2121.35	Quebrada Salado	1.45			
	2121.35.1	Quebrada Guamalito	0.05			
	2121.35.2	Quebrada Las Palmas	1.94			
	2121.35.3	Quebrada La Arenosa	0.07			
	2121	Río Coello	29.98			
	2121.5	Quebrada Ocona	0.50			
Rio_Coello_4	2121.6	Quebrada La Honda	8.83	40.91	1.29	0.15
	2121.8	Quebrada El Rodeo	1.40			
	2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	0.20			
	2121	Río Coello	10011.84			
Rio_Coello_5	2121.2	Quebrada El Potrerillo	0.25	10013.09	315.77	35.69
	2121.38	Quebrada La Morena	1.00			
	2121.10	Río Combeima	7.96			
	2121.10.16	Quebrada La Tribuna	0.23			
	2121.10.17.1.1	Quebrada La Palma	0.07			
	2121.10.17.2	Quebrada La Esmeralda	2.06			
Rio_Combeima_1	2121.10.18	Quebrada La Sierra	3.31	21.03	0.66	0.07
	2121.10.19	Quebrada La Palma O El Salto	2.00			
	2121.10.20	Quebrada Gonzales	1.60			
	2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	3.80			
	2121.10	Río Combeima	5100.71			
	2121.10.21	Quebrada El Secreto	0.73			
	2121.10.22	Quebrada Samu O Corazon	5.08			
	2121.10.23	Quebrada NN 2 Combeima	10.70			
	2121.10.24	Quebrada La Calera	1.11			
Rio_Combeima_2	2121.10.25	Quebrada La Cristalina	5.54	6024.34	189.98	21.47
	2121.10.26	Quebrada Piedecuesta	3.10			
	2121.10.3	Quebrada Cay	393.99			
	2121.10.4	Quebrada NN 1 Combeima	0.09			
	2121.10.5	Quebrada La Plata	503.29			
	2121.10	Río Combeima	4839.48			
	2121.10.27	Quebrada El Tejar	68.85			
	2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	33.86			
Rio_Combeima_3	2121.10.27.2	Quebrada Los Granates	11.39	4982.18	157.12	17.76
	2121.10.27.2.1	Quebrada La Esmeralda	1.10			
	2121.10.27.2.2	Zanja Santa Rita	0.05			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Combeima_4	2121.10.27.3	Quebrada Salerito	3.00	4662.71	147.04	16.62
	2121.10.27.4	Quebrada La Volcana	7.60			
	2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	7.46			
	2121.10.28	Quebrada San Agustin	1.60			
	2121.10.29	Quebrada El Volcan	7.79			
	2121.10	Río Combeima	4641.47			
	2121.10.30	Quebrada Madroñal	1.86			
	2121.10.31	Quebrada El Salto	4.52			
	2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	14.87			
Rio_Toche	2121.22	Rio Toche	0.91	27.60	0.87	0.10
	2121.22.1	Quebrada San Jose	0.37			
	2121.22.8	Quebrada Campo Alegre	0.78			
	2121.22.9.2	Quebrada San Rafael	2.54			
	2121.22.9.4.4	Quebrada Chucali	23.00			

Se determinó que la demanda hídrica se concentra principalmente en la UHA Rio_Coello_5 con el 35.69% (10,013.09 l/s) seguido por las UHA Rio_Combeima_2 con el 21.47% (6,024.34 l/s), Rio_Combeima_3 con el 17.76% (4,982.18 l/s) y Rio_Combeima_4 con el 16.62% (4,662.71 l/s); las demás fuentes hídricas cubren solo el 8.47% (2,375.83 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica en donde la UHA Rio_Cocora participa con el 3.63% (1,018.93 l/s) (*Tabla 262*). En la *Figura 369* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013). Como se puede observar la mayor presión por el recurso hídrico se determina en la UHA cercanas a la zona urbana de Ibagué y Espinal.

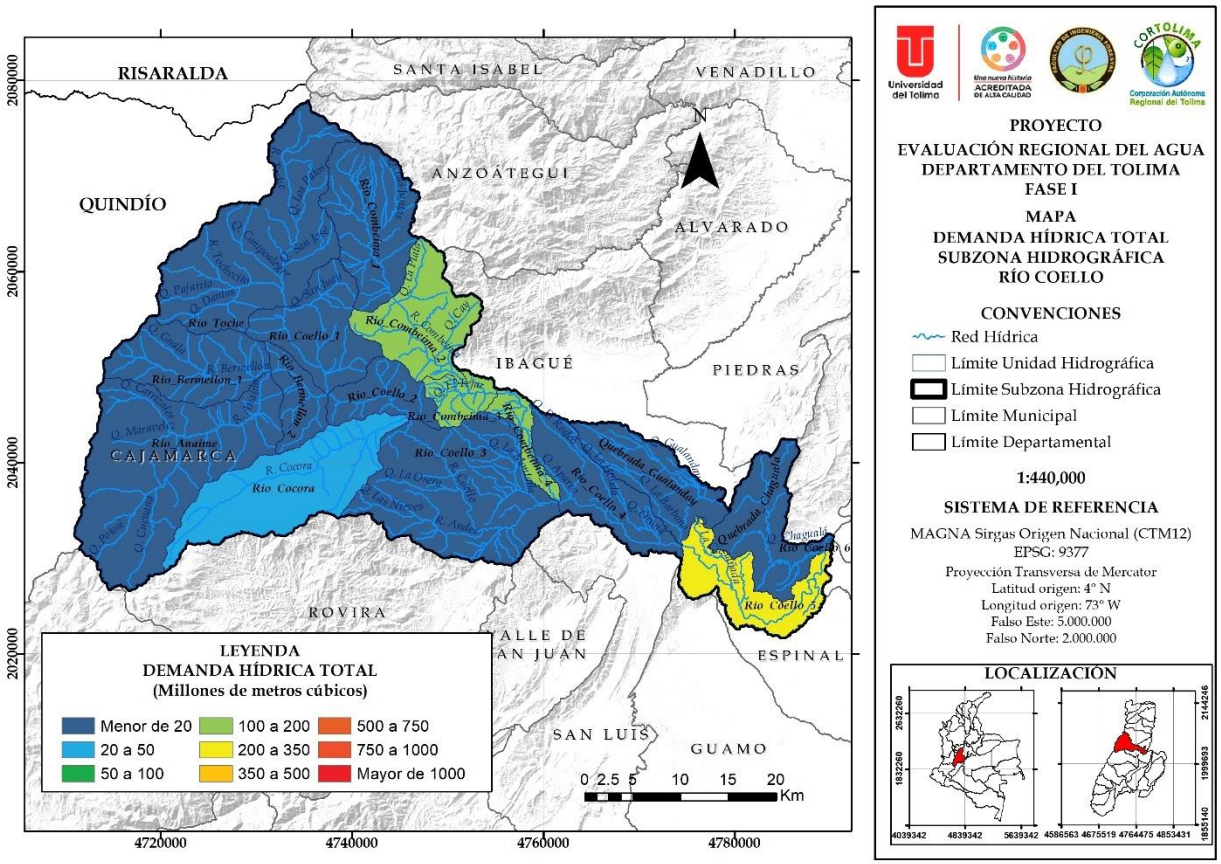


Figura 369. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los establecidos en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la Tasa por Uso como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos.

De acuerdo con la *Tabla 263* la demanda agrícola para la Subzona Hidrográfica del río Coello corresponde a 14,865.67 l/s, la cual está localizada principalmente en la fuente hídrica río Coello con el 67% (10002.86 l/s), correspondiente a 87 usuarios donde su principal demandante es la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de los Ríos Coello y Cucuana – USOCOELLO con 9630 l/s; luego le sigue el río Combeima con el 28% (4235.06 l/s) correspondiente a 141 usuarios, siendo Ángel Gustavo Sarmiento Lindo, el mayor demandante con 255 l/s. Entre los 100 y 1000 l/s, se localizan

la quebrada La Montaña con el 256.68 l/s (2%), quebrada Carrizales con 139.54 l/s (1%), y por último la quebrada El Cural con 112.24 l/s (1%).

Tabla 263. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2121	Rio Coello	87	10002.86	315.45	67.29
2121.1	Quebrada Chaguala	4	6.45	0.20	0.04
2121.1	Rio Combeima	141	4235.06	133.56	28.49
2121.15	Quebrada Noria	1	0.13	0.00	0.00
2121.22	Rio Toche	1	0.40	0.01	0.00
2121.24	Quebrada Chorros Blanco	1	2.67	0.08	0.02
2121.25	Rio Bermellon	4	0.50	0.02	0.00
2121.35	Quebrada Salado	1	0.02	0.00	0.00
2121.4	Quebrada Gualanday	1	2.13	0.07	0.01
2121.6	Quebrada La Honda	2	2.55	0.08	0.02
2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	1	0.07	0.00	0.00
2121.1.4	Quebrada Naranjala	3	0.35	0.01	0.00
2121.10.17.1.1	Quebrada La Palma	1	0.02	0.00	0.00
2121.10.17.2	Quebrada La Esmeralda	2	0.05	0.00	0.00
2121.10.21	Quebrada El Secreto	1	0.01	0.00	0.00
2121.10.25	Quebrada La Cristalina	3	1.16	0.04	0.01
2121.10.27	Quebrada El Tejar	2	0.63	0.02	0.00
2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	2	13.40	0.42	0.09
2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	1	0.19	0.01	0.00
2121.10.30	Quebrada Madroñal	2	0.64	0.02	0.00
2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	5	3.96	0.12	0.03
2121.10.5	Quebrada La Plata	2	0.39	0.01	0.00
2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	2	1.35	0.04	0.01
2121.11.1.1	Quebrada El Cural	6	112.24	3.54	0.76
2121.11.2	Quebrada La Montaña	5	256.68	8.09	1.73
2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	1	0.84	0.03	0.01
2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	1	3.00	0.09	0.02
2121.11.3	Quebrada La Capanza	3	48.00	1.51	0.32
2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	3	15.80	0.50	0.11
2121.25.15	Rio Anaime	3	0.98	0.03	0.01
2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	4	3.59	0.11	0.02
2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	1	0.05	0.00	0.00
2121.25.15.2	Quebrada Chorrito	1	0.10	0.00	0.00
2121.25.15.7	Quebrada La Leona	3	2.61	0.08	0.02
2121.25.15.8	Quebrada Carrizales	2	139.54	4.40	0.94
2121.25.15.8.2	Quebrada Maravelez	1	2.00	0.06	0.01

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2121.25.18	Quebrada El Tigre	1	1.00	0.03	0.01
2121.25.2	Quebrada San Antonio	3	1.46	0.05	0.01
2121.25.3	Quebrada El Espejo	8	0.85	0.03	0.01
2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	1	0.09	0.00	0.00
2121.25.6	Quebrada La Guala	1	0.25	0.01	0.00
2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	2	1.11	0.04	0.01
2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	1	0.52	0.02	0.00
Total		**321**	**14865.67**	**468.80**	**100**

La distribución del anterior caudal por UHA se presenta en la Tabla 264. Como se puede observar en la UHA Rio_Coello_5 se concentra el 66.97% (9955.40 l/s) de la demanda hídrica agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Coello seguida por la UHA Rio_Combeima_4 con el 28.49% (4234.85 l/s). La demanda agrícola de estas UHA representa el 35% y el 15.09% de la demanda hídrica total de esta subzona (28058.15 l/s), respectivamente. En la *Figura 370* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados para uso agrícola en cada UHA. Se identifica que la mayor presión por uso del recurso para el sector agrícola la hacen los municipios de Espinal e Ibagué.

Tabla 264. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Chaguala	2121.1	Quebrada Chaguala	6.450	6.8	0.21	0.05	0.02
	2121.1.4	Quebrada Naranjala	0.350				
Quebrada_Gualanday	2121.4	Quebrada Gualanday	2.130	2.13	0.07	0.01	0.01
Rio_Anaime	2121.25.15	Rio Anaime	0.980	148.87	4.69	1.00	0.53
	2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	3.590				
	2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	0.050				
	2121.25.15.2	Quebrada Chorrito	0.100				
	2121.25.15.7	Quebrada La Leona	2.610				
	2121.25.15.8	Quebrada Carrizales	139.540				
	2121.25.15.8.2	Quebrada Maravelez	2.000				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Bermellon_1	2121.25	Río Bermellón	0.200	1.39	0.04	0.01	0
	2121.25.3	Quebrada El Espejo	0.850				
	2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	0.090				
	2121.25.6	Quebrada La Guala	0.250				
Rio_Bermellon_2	2121.25	Río Bermellón	0.300	2.76	0.09	0.02	0.01
	2121.25.18	Quebrada El Tigre	1.000				
	2121.25.2	Quebrada San Antonio	1.460				
Rio_Cocora	2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	1.110	1.63	0.05	0.01	0.01
	2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	0.520				
Rio_Coello_1	2121	Río Coello	5.530	8.19	0.26	0.06	0.03
	2121.24	Quebrada Chorros Blanco	2.670				
Rio_Coello_2	2121	Río Coello	5.500	5.5	0.17	0.04	0.02
Rio_Coello_3	2121	Río Coello	28.920	465.63	14.68	3.13	1.66
	2121.11.1.1	Quebrada El Cural	112.240				
	2121.11.2	Quebrada La Montaña	256.680				
	2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	0.840				
	2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	3.000				
	2121.11.3	Quebrada La Capanza	48.000				
	2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	15.800				
	2121.15	Quebrada Noria	0.130				
	2121.35	Quebrada Salado	0.020				
Rio_Coello_4	2121	Río Coello	7.520	10.13	0.32	0.07	0.04
	2121.6	Quebrada La Honda	2.550				
	2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	0.070				
Rio_Coello_5	2121	Río Coello	9955.400	9955.4	313.95	66.97	35.48
Rio_Combeima_1	2121.1	Río Combeima	1.380	2.81	0.09	0.02	0.01

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Combeima_2	2121.10.17.1.1	Quebrada La Palma	0.020	1.98	0.06	0.01	0.01
	2121.10.17.2	Quebrada La Esmeralda	0.050				
	2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	1.350				
	2121.1	Río Combeima	0.420				
	2121.10.21	Quebrada El Secreto	0.010				
	2121.10.25	Quebrada La Cristalina	1.160				
	2121.10.5	Quebrada La Plata	0.390				
Rio_Combeima_3	2121.1	Río Combeima	3.000	17.22	0.54	0.12	0.06
	2121.10.27	Quebrada El Tejar	0.630				
	2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	13.400				
	2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	0.190				
Rio_Combeima_4	2121.1	Río Combeima	4230.250	4234.85	133.55	28.49	15.09
	2121.10.30	Quebrada Madroñal	0.640				
	2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	3.960				
Rio_Toche	2121.22	Rio Toche	0.400	0.4	0.01	0.00	0
Total			**14865.67**	**14865.67**	**468.80**	**100**	**52.98**

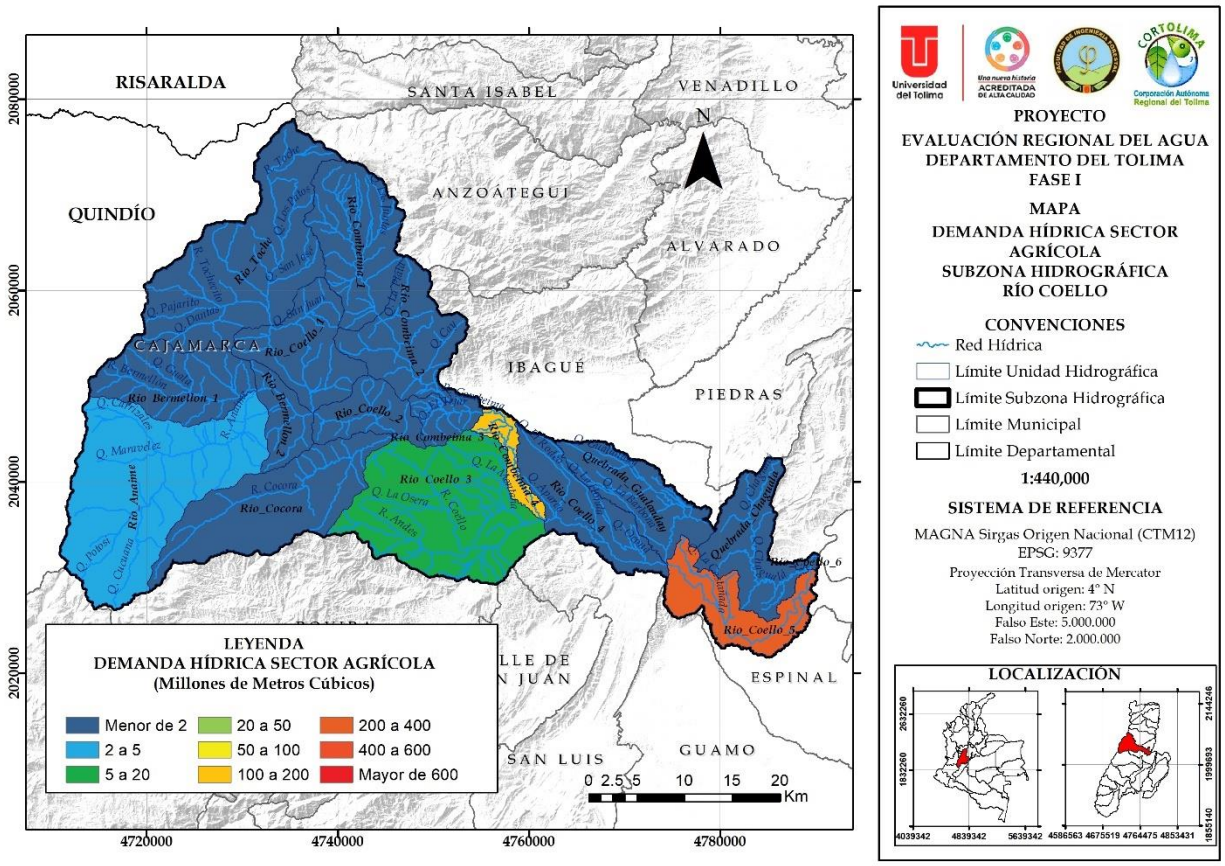


Figura 370. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. Se estima que para la Subzona Hidrográfica del río Coello la demanda para Consumo Humano y Doméstico corresponde a 4,054.89 l/s distribuida en 711 usuarios cuyo principal demandante es la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado - IBAL S.A. E.S.P. De acuerdo con el volumen de agua concesionado, las fuentes hídricas con mayores demandas de caudal corresponden a: en primer lugar, el río Combeima con el 52% (2123.90 l/s), en segundo lugar, el río Cocora con el 25% (1011.62 l/s) y, en tercer lugar, se encuentra la quebrada Cay con el 9% (373.19 l/s) (*Tabla 265*).

Tabla 265. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2121	Rio Coello	194	71.05	2.24	1.75
2121.1	Quebrada Chaguala	5	2.64	0.08	0.07
2121.1	Rio Combeima	84	2123.9	66.98	52.38
2121.11	Quebrada Gallego	4	3.19	0.10	0.08
2121.13	Quebrada La Tigra	1	0.31	0.01	0.01
2121.15	Quebrada Noria	3	1.77	0.06	0.04
2121.16	Quebrada El Salero	9	23.82	0.75	0.59
2121.17	Quebrada Guayabal	3	1.99	0.06	0.05
2121.18	Quebrada Palmita	7	26.23	0.83	0.65
2121.19	Quebrada Corrales	2	3.24	0.10	0.08
2121.2	Quebrada Azufral	2	4.5	0.14	0.11
2121.2	Quebrada El Potrerillo	1	0.25	0.01	0.01
2121.22	Rio Toche	2	0.09	0.00	0.00
2121.23	Quebrada Las Lajas	3	14.76	0.47	0.36
2121.24	Quebrada Chorros Blanco	4	10.21	0.32	0.25
2121.25	Rio Bermellon	20	2.62	0.08	0.06
2121.26	Quebrada Curalito	2	3.52	0.11	0.09
2121.27	Quebrada Cajones	1	0.25	0.01	0.01
2121.29	Quebrada Cañadas	10	1.31	0.04	0.03
2121.3	Rio Cocora	9	1011.62	31.90	24.95
2121.33	Quebrada La Osera	3	6.32	0.20	0.16
2121.34	Quebrada Chimba	1	0.03	0.00	0.00
2121.35	Quebrada Salado	7	1.28	0.04	0.03
2121.4	Quebrada Gualanday	4	30.24	0.95	0.75
2121.6	Quebrada La Honda	3	0.08	0.00	0.00
2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	1	0.07	0.00	0.00
2121.1.4	Quebrada Naranjala	3	0.21	0.01	0.01
2121.10.16	Quebrada La Tribuna	1	0.23	0.01	0.01
2121.10.17.1.1	Quebrada La Palma	2	0.05	0.00	0.00
2121.10.17.2	Quebrada La Esmeralda	6	2.01	0.06	0.05
2121.10.18	Quebrada La Sierra	1	3.31	0.10	0.08
2121.10.19	Quebrada La Palma O El Salto	1	2	0.06	0.05
2121.10.20	Quebrada Gonzales	1	1.6	0.05	0.04
2121.10.21	Quebrada El Secreto	2	0.71	0.02	0.02
2121.10.22	Quebrada Samu O Corazon	5	5.08	0.16	0.13
2121.10.23	Quebrada NN 2 Combeima	4	10.7	0.34	0.26
2121.10.24	Quebrada La Calera	5	1.11	0.04	0.03
2121.10.25	Quebrada La Cristalina	11	2.95	0.09	0.07

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2121.10.26	Quebrada Piedecuesta	2	3.1	0.10	0.08
2121.10.27	Quebrada El Tejar	14	60.19	1.90	1.48
2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	2	15.06	0.47	0.37
2121.10.27.2	Quebrada Los Granates	4	11.39	0.36	0.28
2121.10.27.2.1	Quebrada La Esmeralda	1	1.1	0.03	0.03
2121.10.27.2.2	Zanja Santa Rita	1	0.05	0.00	0.00
2121.10.27.3	Quebrada Salerito	2	3	0.09	0.07
2121.10.27.4	Quebrada La Volcana	6	7.56	0.24	0.19
2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	3	2.78	0.09	0.07
2121.10.28	Quebrada San Agustin	1	1.6	0.05	0.04
2121.10.29	Quebrada El Volcan	4	3.79	0.12	0.09
2121.10.3	Quebrada Cay	10	373.19	11.77	9.20
2121.10.30	Quebrada Madroñal	2	0.66	0.02	0.02
2121.10.31	Quebrada El Salto	2	0.52	0.02	0.01
2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	6	3.15	0.10	0.08
2121.10.4	Quebrada NN 1 Combeima	3	0.09	0.00	0.00
2121.10.5	Quebrada La Plata	5	2.8	0.09	0.07
2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	1	1.8	0.06	0.04
2121.11.1	Quebrada Potrero Grande	6	6.33	0.20	0.16
2121.11.1.1	Quebrada El Cural	20	7.72	0.24	0.19
2121.11.2	Quebrada La Montaña	9	3.85	0.12	0.09
2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	8	12.38	0.39	0.31
2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	5	0.68	0.02	0.02
2121.11.3	Quebrada La Capanza	4	0.19	0.01	0.00
2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	5	6.85	0.22	0.17
2121.18.1	Quebrada Calaima	2	1.43	0.05	0.04
2121.18.2	Quebrada Puntezuelas	6	8.52	0.27	0.21
2121.22.1	Quebrada San Jose	2	0.37	0.01	0.01
2121.22.8	Quebrada Campo Alegre	1	0.78	0.02	0.02
2121.22.9.2	Quebrada San Rafael	2	2.54	0.08	0.06
2121.22.9.4.4	Quebrada Chucali	1	23	0.73	0.57
2121.25.12	Quebrada Del Violin	1	0.04	0.00	0.00
2121.25.13	Quebrada El Porvenir	2	7.19	0.23	0.18
2121.25.14	Quebrada La Estrella	2	2.92	0.09	0.07
2121.25.15	Rio Anaime	42	7.05	0.22	0.17
2121.25.15.1	Quebrada La Tigrera	2	0.48	0.02	0.01
2121.25.15.13	Quebrada La Union	1	0.03	0.00	0.00
2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	8	3.85	0.12	0.09
2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	2	0.63	0.02	0.02
2121.25.15.16	Quebrada Las Hormas	2	8.28	0.26	0.20
2121.25.15.17	Quebrada La Plata	3	0.09	0.00	0.00

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2121.25.15.19	Quebrada El Espartillal	7	1.43	0.05	0.04
2121.25.15.3	Quebrada De Letras	4	0.13	0.00	0.00
2121.25.15.6	Quebrada de Arenillal	1	0.05	0.00	0.00
2121.25.15.7	Quebrada La Leona	3	3.38	0.11	0.08
2121.25.15.8.2	Quebrada Maravelez	2	2.06	0.06	0.05
2121.25.17	Quebrada Cuba	1	0.04	0.00	0.00
2121.25.18	Quebrada El Tigre	3	1.29	0.04	0.03
2121.25.18.1	Quebrada El Lombo	1	0.04	0.00	0.00
2121.25.19	Quebrada La Cerrajosa	7	8.02	0.25	0.20
2121.25.2	Quebrada San Antonio	8	2.15	0.07	0.05
2121.25.3	Quebrada El Espejo	13	1.55	0.05	0.04
2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	9	48.26	1.52	1.19
2121.25.4.1	Quebrada El Tigre	2	2.64	0.08	0.07
2121.25.6	Quebrada La Guala	1	0.02	0.00	0.00
2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	2	0.75	0.02	0.02
2121.30.2	Quebrada Encajonado	1	0.15	0.00	0.00
2121.30.5	Quebrada El Escobo	1	1	0.03	0.02
2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	3	1.68	0.05	0.04
2121.34.2	Quebrada Andes	2	3.97	0.13	0.10
2121.34.3	Quebrada Los Organos	1	0.03	0.00	0.00
2121.34.4	Quebrada Las Abras	2	1.96	0.06	0.05
2121.35.1	Quebrada Guamalito	1	0.05	0.00	0.00
2121.35.2	Quebrada Las Palmas	2	1.94	0.06	0.05
2121.35.3	Quebrada La Arenosa	2	0.07	0.00	0.00
Total		**711**	**4054.89**	**127.88**	**100**

En relación con las UHA donde se concentra la mayor demanda hídrica del consumo humano y doméstico de la Subzona Hidrográfica del río Coello, a partir de la *Tabla 266* se puede deducir que corresponden al Rio_Combeima_2 y Rio_Cocora en donde se registran demandas de 2294.85 l/s (56.59%) y 1015.20 l/s (25.04%). La *Figura 371* señala al municipio de Ibagué como el principal demandante del recurso hídrico para consumo humano y doméstico.

Tabla 266. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Doméstico SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Chaguala	2121.1	Quebrada Chaguala	2.64	2.85	0.09	0.07	0.01
	2121.1.4	Quebrada Naranjala	0.21				
Quebrada_Gualanday	2121.4	Quebrada Gualanday	30.24	30.24	0.95	0.75	0.11
Rio_Anaime	2121.25.15	Rio Anaime	7.05	27.45	0.87	0.68	0.10
	2121.25.15.1	Quebrada La Tigrera	0.48				
	2121.25.15.13	Quebrada La Union	0.03				
	2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	3.85				
	2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	0.63				
	2121.25.15.16	Quebrada Las Hormas	8.28				
	2121.25.15.17	Quebrada La Plata	0.09				
	2121.25.15.19	Quebrada El Espartillal	1.43				
	2121.25.15.3	Quebrada De Letras	0.13				
	2121.25.15.6	Quebrada de Arenillal	0.05				
	2121.25.15.7	Quebrada La Leona	3.38				
	2121.25.15.8.2	Quebrada Maravelez	2.06				
Rio_Bermellon_1	2121.25	Río Bermellón	0.98	63.59	2.01	1.57	0.23
	2121.25.12	Quebrada Del Violin	0.04				
	2121.25.13	Quebrada El Porvenir	7.19				
	2121.25.14	Quebrada La Estrella	2.92				
	2121.25.3	Quebrada El Espejo	1.55				
	2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	48.26				
	2121.25.4.1	Quebrada El Tigre	2.64				
	2121.25.6	Quebrada La Guala	0.02				
Rio_Bermellon_2	2121.25	Río Bermellón	1.64	13.17	0.42	0.32	0.05
	2121.25.17	Quebrada Cuba	0.04				
	2121.25.18	Quebrada El Tigre	1.29				
	2121.25.18.1	Quebrada El Lombo	0.04				
	2121.25.19	Quebrada La Cerrajosa	8.02				
	2121.25.2	Quebrada San Antonio	2.15				
Rio_Cocora	2121.3	Rio Cocora	1011.62	1015.20	32.02	25.04	3.62
	2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	0.75				
	2121.30.2	Quebrada Encajonado	0.15				
	2121.30.5	Quebrada El Escobo	1.00				
	2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	1.68				
Rio_Coello_1	2121	Río Coello	10.54	43.25	1.36	1.07	0.15
	2121.19	Quebrada Corrales	3.24				
	2121.2	Quebrada Azufral	4.50				
	2121.23	Quebrada Las Lajas	14.76				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Doméstico SZH	% DH Total SZH
Rio_Coello_2	2121.24	Quebrada Chorros Blanco	10.21	97.91	3.09	2.41	0.35
	2121	Río Coello	30.84				
	2121.16	Quebrada El Salero	23.82				
	2121.17	Quebrada Guayabal	1.99				
	2121.18	Quebrada Palmita	26.23				
	2121.18.1	Quebrada Calaima	1.43				
	2121.18.2	Quebrada Puntezuelas	8.52				
	2121.26	Quebrada Curalito	3.52				
	2121.27	Quebrada Cajones	0.25				
	2121.29	Quebrada Cañadas	1.31				
Rio_Coello_3	2121	Río Coello	25.22	84.14	2.65	2.07	0.30
	2121.11	Quebrada Gallego	3.19				
	2121.11.1	Quebrada Potrero Grande	6.33				
	2121.11.1.1	Quebrada El Cural	7.72				
	2121.11.2	Quebrada La Montaña	3.85				
	2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	12.38				
	2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	0.68				
	2121.11.3	Quebrada La Capanza	0.19				
	2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	6.85				
	2121.13	Quebrada La Tigra	0.31				
	2121.15	Quebrada Noria	1.77				
	2121.33	Quebrada La Osera	6.32				
	2121.34	Quebrada Chimba	0.03				
	2121.34.2	Quebrada Andes	3.97				
	2121.34.3	Quebrada Los Organos	0.03				
	2121.34.4	Quebrada Las Abras	1.96				
	2121.35	Quebrada Salado	1.28				
	2121.35.1	Quebrada Guamalito	0.05				
	2121.35.2	Quebrada Las Palmas	1.94				
	2121.35.3	Quebrada La Arenosa	0.07				
Rio_Coello_4	2121	Río Coello	2.86	3	0.09	0.07	0.01
	2121.6	Quebrada La Honda	0.08				
	2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	0.07				
Rio_Coello_5	2121	Río Coello	1.59	1.84	0.06	0.05	0.01
	2121.2	Quebrada El Potrerillo	0.25				
Rio_Combeima_1	2121.1	Río Combeima	2.84	1.84	0.44	0.34	0.05
	2121.10.16	Quebrada La Tribuna	0.23				
	2121.10.17.1.1	Quebrada La Palma	0.05				
	2121.10.17.2	Quebrada La Esmeralda	2.01				
	2121.10.18	Quebrada La Sierra	3.31				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Doméstico SZH	% DH Total SZH
Rio_Combeima_2	2121.10.19	Quebrada La Palma O El Salto	2.00	2294.85	72.37	56.59	8.18
	2121.10.20	Quebrada Gonzales	1.60				
	2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	1.80				
	2121.1	Río Combeima	1895.13				
	2121.10.21	Quebrada El Secreto	0.71				
	2121.10.22	Quebrada Samu O Corazon	5.08				
	2121.10.23	Quebrada NN 2 Combeima	10.70				
	2121.10.24	Quebrada La Calera	1.11				
	2121.10.25	Quebrada La Cristalina	2.95				
	2121.10.26	Quebrada Piedecuesta	3.10				
	2121.10.3	Quebrada Cay	373.19				
	2121.10.4	Quebrada NN 1 Combeima	0.09				
	2121.10.5	Quebrada La Plata	2.80				
Rio_Combeima_3	2121.1	Río Combeima	1.43	107.95	3.4	2.66	0.38
	2121.10.27	Quebrada El Tejar	60.19				
	2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	15.06				
	2121.10.27.2	Quebrada Los Granates	11.39				
	2121.10.27.2.1	Quebrada La Esmeralda	1.10				
	2121.10.27.2.2	Zanja Santa Rita	0.05				
	2121.10.27.3	Quebrada Salerito	3.00				
	2121.10.27.4	Quebrada La Volcana	7.56				
	2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	2.78				
	2121.10.28	Quebrada San Agustin	1.60				
	2121.10.29	Quebrada El Volcan	3.79				
Rio_Combeima_4	2121.1	Río Combeima	224.51	228.84	7.22	5.64	0.82
	2121.10.30	Quebrada Madroñal	0.66				
	2121.10.31	Quebrada El Salto	0.52				
	2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	3.15				
Rio_Toche	2121.22	Rio Toche	0.09	26.78	0.84	0.66	0.10
	2121.22.1	Quebrada San Jose	0.37				
	2121.22.8	Quebrada Campo Alegre	0.78				
	2121.22.9.2	Quebrada San Rafael	2.54				
	2121.22.9.4.4	Quebrada Chucali	23.00				
Total			**4054.89**	**4054.89**	**127.88**	**100**	**14.46**

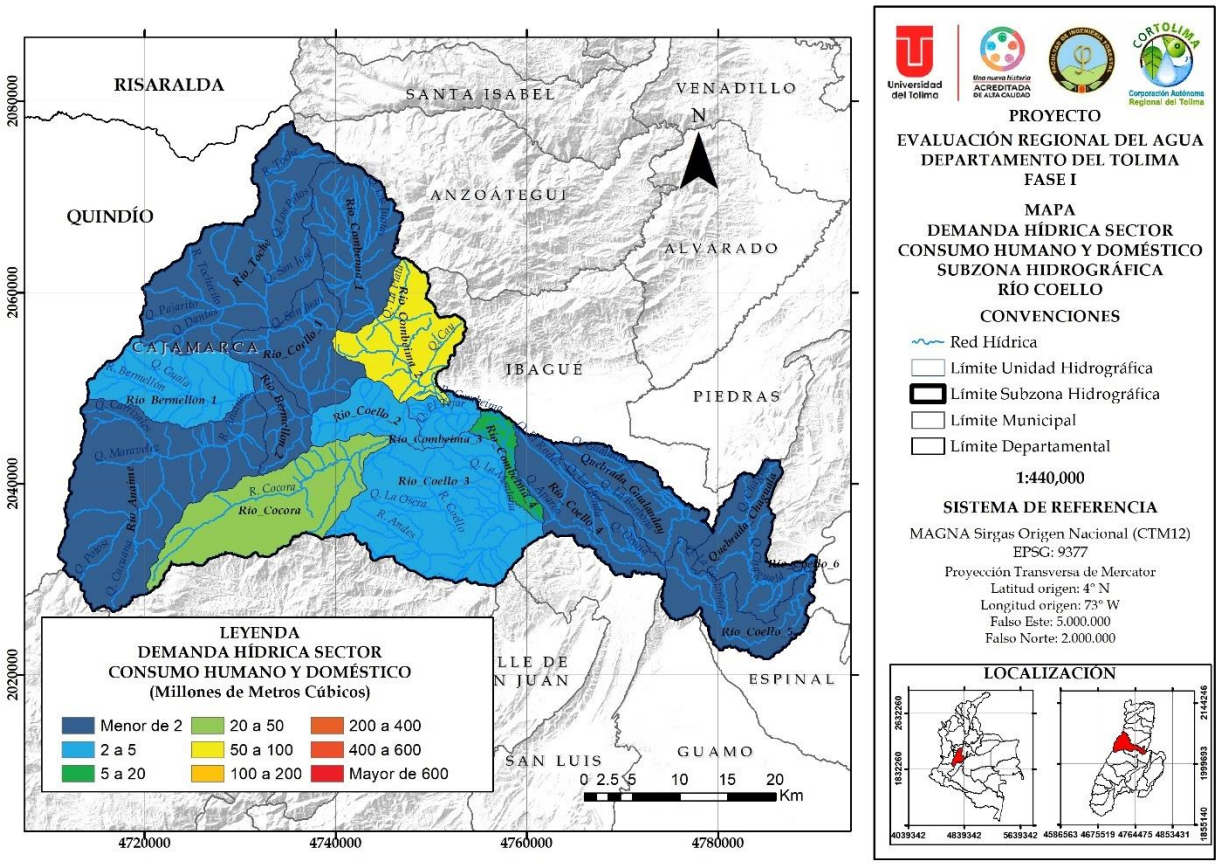


Figura 371. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.3. Uso Generación de Energía

En la Subzona Hidrográfica del río Coello la demanda hídrica para Generación de Energía corresponde a 8,497 l/s los cuales se otorgaron a Hidrotolima S.A.S E.S.P en dos fuentes hídricas, el 94% (7,997 l/s) en el río Combeima y el 6% (500 l/s) en la quebrada La Plata (*Tabla 267*). En las UHA que mayor presión ejercen sobre el recurso hídrico son el Rio_Combeima_3 que comprende el 56.81% (56.81% l/s) de esta demanda y el Rio_Combeima_2 que integra el 43.19% (3,670.00 l/s) restante (*Tabla 268* y *Figura 372*)

Tabla 267. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Generación de Energía (l/s)	DH. Generación de Energía (Mm³/año)	%
2121.1	Rio Combeima	2	7997.00	252.19	94.12
2121.10.5	Quebrada La Plata	1	500.00	15.77	5.88
Total		**3**	**8497.00**	**267.96**	**100**

Tabla 268. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Generación Energía (l/s)	UHA DH Generación Energía (l/s)	UHA DH Generación Energía (Mm^3/año)	% DH Sector Generación Energía SZH	% DH Total SZH
Rio_Combeima_2	2121.10 2121.10.5	Río Combeima Quebrada La Plata	3170.00 500.00	3670.00	115.74	43.19	13.08
Rio_Combeima_3	2121.10	Río Combeima	4827.00	4827.00	152.22	56.81	17.20
Total			**8497.00**	**8497.00**	**267.96**	**100**	**30.28**

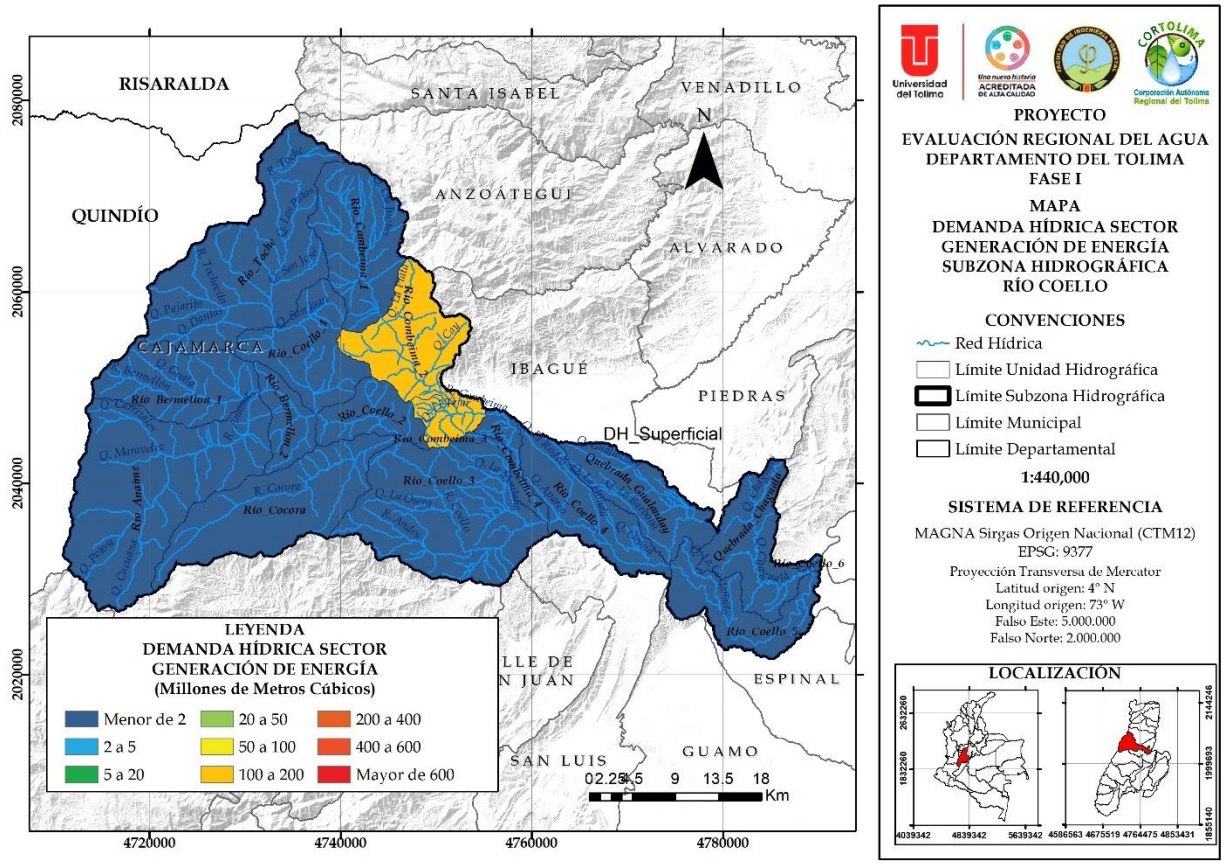


Figura 372. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.4. Uso Industrial

En la Subzona Hidrográfica del río Coello para el sector industrial actualmente se demanda un total de 136.32 l/s, donde sus principales demandantes se abastecen del recurso hídrico del río Coello en 48.48 l/s, lo cual corresponde al 36% de la demanda hídrica total, de los cuales 22.28 l/s están a nombre de la Sociedad Pacific Stratus Energy Colombia Corp; le sigue el río Combeima con 45.35 l/s que representan 33% de la demanda hídrica total, donde 20 l/s pertenecen a la Asociación para el Desarrollo del Tolima A.D.T (*Tabla 269*).

Tabla 269. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2121	Rio Coello	19	48.48	1.53	35.6
2121.1	Quebrada Chaguala	2	5.40	0.17	4.0
2121.1	Rio Combeima	19	45.35	1.43	33.3
2121.3	Rio Cocora	1	0.50	0.02	0.4
2121.38	Quebrada La Morena	1	1.00	0.03	0.7
2121.4	Quebrada Gualanday	3	1.50	0.05	1.1
2121.5	Quebrada Ocona	1	0.50	0.02	0.4
2121.6	Quebrada La Honda	2	1.20	0.04	0.9
2121.8	Quebrada El Rodeo	2	1.40	0.04	1.0
2121.10.27	Quebrada El Tejar	5	8.00	0.25	5.9
2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	4	4.00	0.13	2.9
2121.10.29	Quebrada El Volcan	4	4.00	0.13	2.9
2121.10.31	Quebrada El Salto	4	4.00	0.13	2.9
2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	4	4.00	0.13	2.9
2121.25.11	Quebrada Perales	1	1.80	0.06	1.3
2121.25.13	Quebrada El Porvenir	1	4.00	0.13	2.9
2121.25.15.1	Quebrada La Tigrera	1	0.50	0.02	0.4
2121.4.5	Quebrada Borbona	1	0.70	0.02	0.5
Total		**75**	**136.32**	**4.30**	**100**

De acuerdo con la Tabla 270 la UHA en donde se presenta la mayor demanda de agua con fines de uso industrial es en el Rio_Coello_5 con el (45.68 l/s) seguido por las UHA Rio_Combeima_2 y Rio_Combeima_3 con el 24.46% (33.35 l/s) y 17.61% (24 l/s), respectivamente. La representación espacial de la demanda hídrica industrial en las UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello se presenta en la *Figura 373*. Se evidencia que el grado de presión de la demanda de agua industrial en todas las UHA de esta subzona es muy bajo no superándose 2 Mm³/año.

Tabla 270. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Chaguala	2121.1	Quebrada Chaguala	5.40	5.4	0.17	3.96	0.02
Quebrada_Gualanday	2121.4	Quebrada Gualanday	1.50	2.2	0.07	1.61	0.01
	2121.4.5	Quebrada Borbona	0.70				
Rio_Anaime	2121.25.15.1	Quebrada La Tigrera	0.50	0.5	0.02	0.37	0.00
Rio_Bermellon_1	2121.25.11	Quebrada Perales	1.80	5.8	0.18	4.25	0.02
	2121.25.13	Quebrada El Porvenir	4.00				
Rio_Cocora	2121.3	Rio Cocora	0.50	0.50	0.02	0.37	0.002
Rio_Coello_2	2121	Río Coello	2.40	2.4	0.08	1.76	0.01
Rio_Coello_3	2121	Río Coello	1.40	1.4	0.04	1.03	0.00
Rio_Coello_4	2121.5	Quebrada Ocona	0.50	3.1	0.1	2.27	0.01
	2121.8	Quebrada El Rodeo	1.40				
	2121.6	Quebrada La Honda	1.20				
Rio_Coello_5	2121	Río Coello	44.68	45.68	1.44	33.51	0.16
	2121.38	Quebrada La Morena	1.00				
Rio_Combeima_2	2121.1	Río Combeima	33.35	33.35	1.05	24.46	0.12
Rio_Combeima_3	2121.1	Río Combeima	8.00	24	0.76	17.61	0.09
	2121.10.27	Quebrada El Tejar	8.00				
	2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	4.00				
	2121.10.29	Quebrada El Volcan	4.00				
Rio_Combeima_4	2121.1	Río Combeima	4.00	12	0.38	8.80	0.04
	2121.10.31	Quebrada El Salto	4.00				
	2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	4.00				
Total			**136.32**	**136.32**	**4.30**	**100**	**0.48**

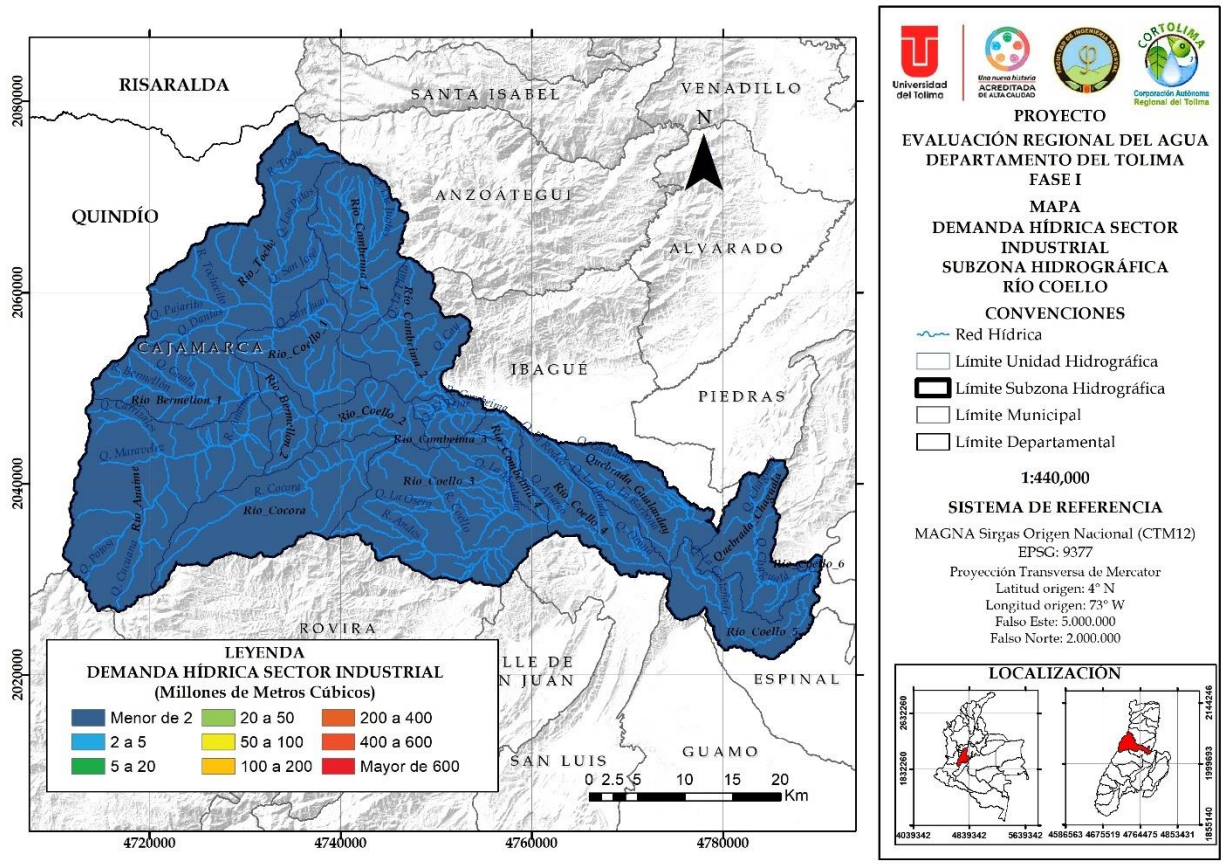


Figura 373. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.5. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Coello se demandan un total de 239.06 l/s, de los cuales el 66% (157.94 l/s) corresponden al río Combeima. La Arrocera Potrerito S.A.S es la mayor demandante en esta fuente hídrica abastecedora con una concesión de 60 l/s, seguido de Casas Matiz María Anastasia con 21 l/s (*Tabla 271*).

Tabla 271. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2121	Rio Coello	58	28.03	0.88	11.7
2121.1	Quebrada Chaguala	2	0.06	0.00	0.0
2121.1	Rio Combeima	22	157.94	4.98	66.1

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2121.22	Rio Toche	1	0.06	0.00	0.0
2121.25	Rio Bermellon	2	0.01	0.00	0.0
2121.35	Quebrada Salado	1	0.01	0.00	0.0
2121.4	Quebrada Gualanday	2	2.14	0.07	0.9
2121.6	Quebrada La Honda	1	5	0.16	2.1
2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	1	0.07	0.00	0.0
2121.1.4	Quebrada Naranjala	1	0.13	0.00	0.1
2121.10.21	Quebrada El Secreto	1	0.01	0.00	0.0
2121.10.25	Quebrada La Cristalina	2	1.05	0.03	0.4
2121.10.27	Quebrada El Tejar	1	0.03	0.00	0.0
2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	1	5.4	0.17	2.3
2121.10.27.4	Quebrada La Volcana	1	0.04	0.00	0.0
2121.10.30	Quebrada Madroñal	2	0.56	0.02	0.2
2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	4	3.6	0.11	1.5
2121.10.5	Quebrada La Plata	1	0.1	0.00	0.0
2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	1	0.65	0.02	0.3
2121.11.1.1	Quebrada El Cural	2	6	0.19	2.5
2121.11.2	Quebrada La Montaña	4	12.72	0.40	5.3
2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	1	0.84	0.03	0.4
2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	1	0.02	0.00	0.0
2121.11.3	Quebrada La Capanza	1	0.54	0.02	0.2
2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	3	0.65	0.02	0.3
2121.25.15	Rio Anaime	1	0.67	0.02	0.3
2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	3	3.49	0.11	1.5
2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	1	0.02	0.00	0.0
2121.25.15.7	Quebrada La Leona	2	1.1	0.03	0.5
2121.25.2	Quebrada San Antonio	2	1.39	0.04	0.6
2121.25.3	Quebrada El Espejo	2	0	0.00	0.0
2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	1	0.09	0.00	0.0
2121.25.6	Quebrada La Guala	1	0.07	0.00	0.0
2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	2	0.74	0.02	0.3
2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	1	0.85	0.03	0.4
2121.34.4	Quebrada Las Abras	1	5	0.16	2.1
Total		**134**	**239.06**	**7.54**	**100**

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) se observa que la mayor presión del recurso hídrico por el sector pecuario se centra en la UHA Rio_Combeima_4 la cual integra el 67.50% (161.37 l/s) de la demanda hídrica pecuaria de esta Subzona Hidrográfica. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 374* en la cual se representa espacialmente la presión por el uso del agua por cada UHA.

Tabla 272. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Chaguala	2121.1	Quebrada Chaguala	0.06	0.19	0.01	0.08	0.00
	2121.1.4	Quebrada Naranjala	0.13				
Quebrada_Gualanday	2121.4	Quebrada Gualanday	2.14	2.14	0.07	0.89	0.01
Rio_Anaime	2121.25.15	Rio Anaime	0.67	5.27	0.17	2.21	0.02
	2121.25.15.14	Quebrada El Aguila	3.49				
	2121.25.15.15	Quebrada Santa Rita	0.02				
	2121.25.15.7	Quebrada La Leona	1.1				
Rio_Bermellon_1	2121.25	Río Bermellón	0.01	0.17	0.01	0.07	0.00
	2121.25.4	Quebrada Chorros Blancos	0.09				
	2121.25.6	Quebrada La Guala	0.07				
Rio_Bermellon_2	2121.25.2	Quebrada San Antonio	1.39	1.39	0.04	0.58	0.00
Rio_Cocora	2121.30.10.1	Quebrada La Pedregosa	0.74	1.59	0.05	0.67	0.01
	2121.30.9	Quebrada Chorros Blancos	0.85				
Rio_Coello_1	2121	Río Coello	0.36	0.36	0.01	0.15	0.00
Rio_Coello_2	2121	Río Coello	1.78	1.78	0.06	0.75	0.01
Rio_Coello_3	2121	Río Coello	9.06	34.83	1.1	14.57	0.12
	2121.11.1.1	Quebrada El Cural	6				
	2121.11.2	Quebrada La Montaña	12.72				
	2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	0.84				
	2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	0.02				
	2121.11.3	Quebrada La Capanza	0.54				
	2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	0.65				
	2121.34.4	Quebrada Las Abras	5				
	2121.35	Quebrada Salado	0.01				
Rio_Coello_4	2121	Río Coello	16.66	21.72	0.69	9.09	0.08
	2121.6	Quebrada La Honda	5				
	2121.9	Quebrada Aparco O Agua Sucia	0.07				
Rio_Coello_5	2121	Río Coello	0.17	0.17	0.01	0.07	0.0001
Rio_Combeima_1	2121.1	Río Combeima	0.68	1.33	0.04	0.56	0.00
	2121.10.7	Quebrada Las Perlas O Las Juntas	0.65				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Rio_Combeima_2	2121.10.21	Quebrada El Secreto	0.01	1.16	0.04	0.49	0.00
	2121.10.25	Quebrada La Cristalina	1.05				
	2121.10.5	Quebrada La Plata	0.1				
	2121.1	Río Combeima	0.05				
Rio_Combeima_3	2121.10.27	Quebrada El Tejar	0.03	5.52	0.17	2.31	0.02
	2121.10.27.1	Quebrada La Arenosa	5.4				
	2121.10.27.4	Quebrada La Volcana	0.04				
Rio_Combeima_4	2121.1	Río Combeima	157.21	161.37	5.09	67.50	0.58
	2121.10.30	Quebrada Madroñal	0.56				
	2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	3.6				
Rio_Toche	2121.22	Rio Toche	0.06	0.06	0	0.03	0.00
Total			**239.06**	**239.06**	**7.54**	**100**	**0.85**

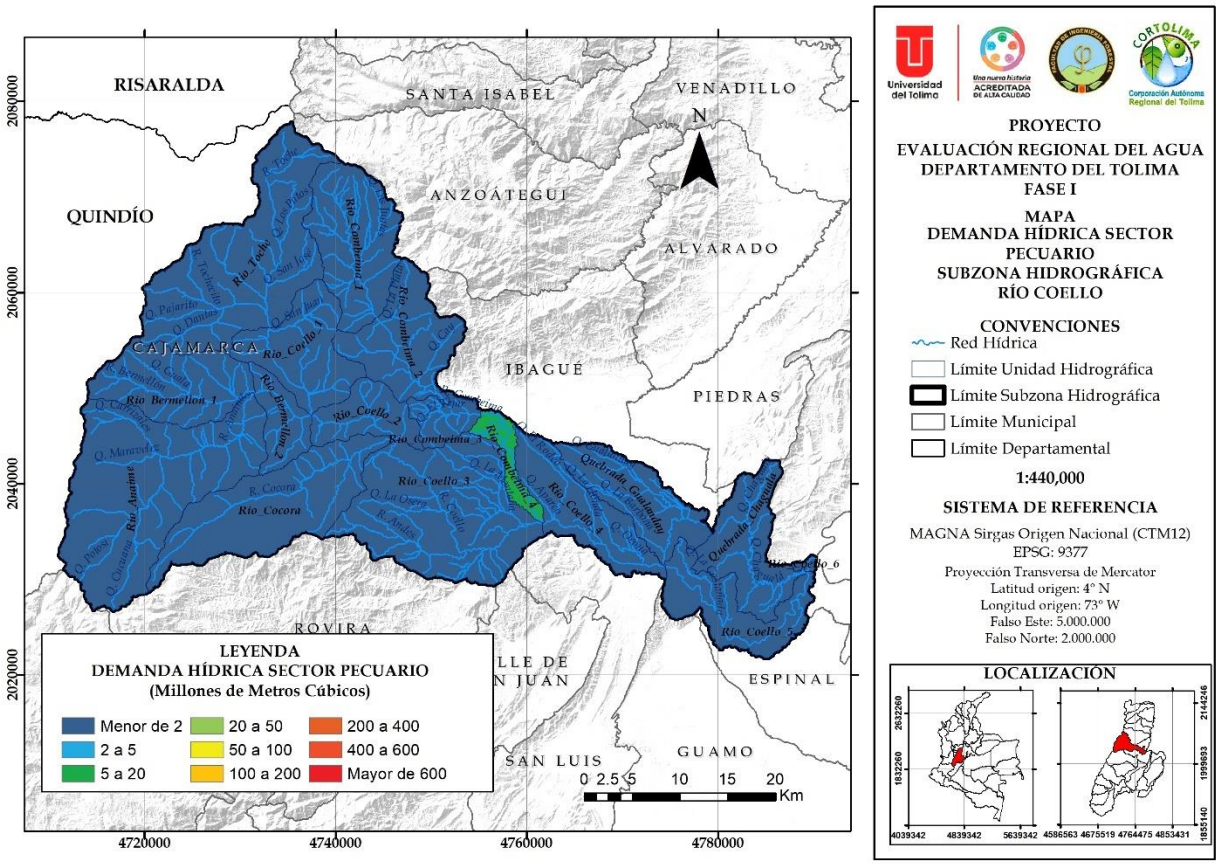


Figura 374. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.6. Uso Piscícola

En la Subzona Hidrográfica del río Coello la demanda para uso piscícola corresponde a 258.47 l/s, correspondiente a la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La fuente hídrica abastecedora donde se concentra la mayor demanda, con un 58%, corresponde a la quebrada Carrizales con 150 l/s la cual se relaciona a una concesión otorgada al señor Miguel Antonio Rubiano (*Tabla 273*).

Tabla 273. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2121	Rio Coello	20	17.62	0.56	6.82
2121.1	Rio Combeima	4	26.32	0.83	10.18

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2121.22	Rio Toche	1	0.36	0.01	0.14
2121.35	Quebrada Salado	1	0.15	0.00	0.06
2121.10.25	Quebrada La Cristalina	1	0.39	0.01	0.15
2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	1	0.50	0.02	0.19
2121.10.3	Quebrada Cay	2	20.80	0.66	8.05
2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	1	0.16	0.01	0.06
2121.11.1.1	Quebrada El Cural	1	0.08	0.00	0.03
2121.11.2	Quebrada La Montaña	6	21.72	0.68	8.40
2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	1	0.17	0.01	0.07
2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	1	20.00	0.63	7.74
2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	1	0.05	0.00	0.02
2121.25.15.8	Quebrada Carrizales	1	150.00	4.73	58.03
2121.25.18	Quebrada El Tigre	1	0.16	0.01	0.06
Total		**43**	**258.47**	**8.15**	**100**

En relación con las UHA, la demanda del sector piscícola se integra principalmente en la UHA Rio_Anaime con 150 l/s correspondientes al 58.03% de la demanda hídrica total de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Coello. La *Figura 375* permite identificar espacialmente que, en general, la presión por el uso del agua ejercida por el sector piscícola de la zona es relativamente baja con valores inferiores a 5 Mm³/año (158.5 l/s).

Tabla 274. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Anaime	2121.25.15.8	Quebrada Carrizales	150.00	150	4.73	58.03	0.53
Rio_Bermellon_2	2121.25.18	Quebrada El Tigre	0.16	0.16	0.01	0.06	0.00
Rio_Coello_2	2121	Río Coello	2.18	2.18	0.07	0.84	0.01
Rio_Coello_3	2121	Río Coello	2.48	44.65	1.41	17.27	0.16
	2121.11.1.1	Quebrada El Cural	0.08				
	2121.11.2	Quebrada La Montaña	21.72				
	2121.11.2.2	Quebrada El Guadual	0.17				
	2121.11.2.3	Quebrada Monterredondo	20.00				
	2121.11.5	Quebrada Los Cauchos	0.05				
	2121.35	Quebrada Salado	0.15				
Rio_Coello_4	2121	Río Coello	2.96	2.96	0.09	1.14	0.01
Rio_Coello_5	2121	Río Coello	10.00	10	0.32	3.87	0.04

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
	2121.1	Río Combeima	1.82				
Rio_Combeima_2	2121.10.25	Quebrada La Cristalina	0.39	23.01	0.73	8.90	0.08
	2121.10.3	Quebrada Cay	20.80				
Rio_Combeima_3	2121.10.27.5	Quebrada Aguafria	0.50	0.5	0.02	0.19	0.00
Rio_Combeima_4	2121.1	Río Combeima	24.50	24.66	0.78	9.54	0.09
	2121.10.32	Quebrada Zanja Honda	0.16				
Rio_Toche	2121.22	Rio Toche	0.36	0.36	0.01	0.14	0.00
Total			**258.47**	**258.47**	**8.15**	**100**	**0.92**

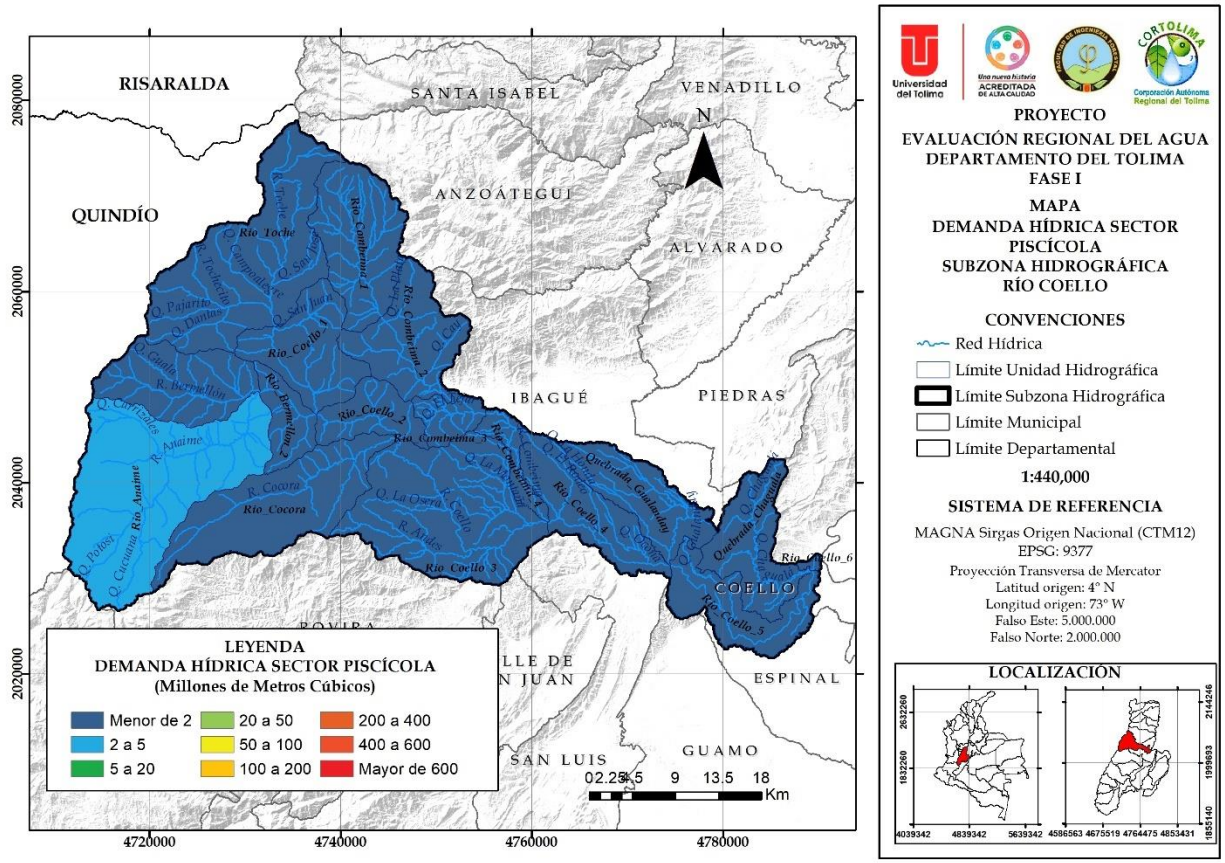


Figura 375. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.1.7. Uso Recreativo

La demanda para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Coello se determina en un total de 6.74 l/s distribuida en un 60% (4.05 l/s) en el río Combeima y

en un 40% (2.69 l/s) en el río Coello (*Tabla 275*), siendo el principal usuario Inversiones Hotel Iguaima S.A.

Tabla 275. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Recreativo (l/s)	DH. Recreativo (Mm³/año)	%
2121	Rio Coello	3	2.69	0.08	39.91
2121.1	Rio Combeima	4	4.05	0.13	60.09
Total		**7**	**6.74**	**0.21**	**100**

Como se presenta en la Tabla 276, la demanda hídrica para uso recreativo de esta subzona hidrográfica se concentra principalmente en las UHA Rio_Combeima_1 y Rio_Coello_1 en un 45.45% (3.05 l/s) y 29.67% (2 l/s), respectivamente. La representación espacial de las presiones por uso de agua de cada UHA se evidencia en la *Figura 376* establece que la demanda hídrica del sector recreativo presenta una baja presión sobre el recurso hídrico de esta subzona.

Tabla 276. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Recreativo (l/s)	UHA DH Recreativo (l/s)	UHA DH Recreativo (Mm³/año)	% DH Sector Recreativo SZH	% DH Total SZH
Rio_Coello_1	2121	Río Coello	2.00	2	0.06	29.67	0.01
Rio_Coello_2	2121	Río Coello	0.40	0.4	0.01	5.86	0.00
Rio_Coello_3	2121	Río Coello	0.30	0.3	0.01	4.38	0.00
Rio_Combeima_1	2121.1	Río Combeima	3.05	3.05	0.1	45.25	0.01
Rio_Combeima_4	2121.1	Río Combeima	1.00	1	0.03	14.84	0.00
Total			**6.74**	**6.74**	**0.21**	**100**	**0.02**

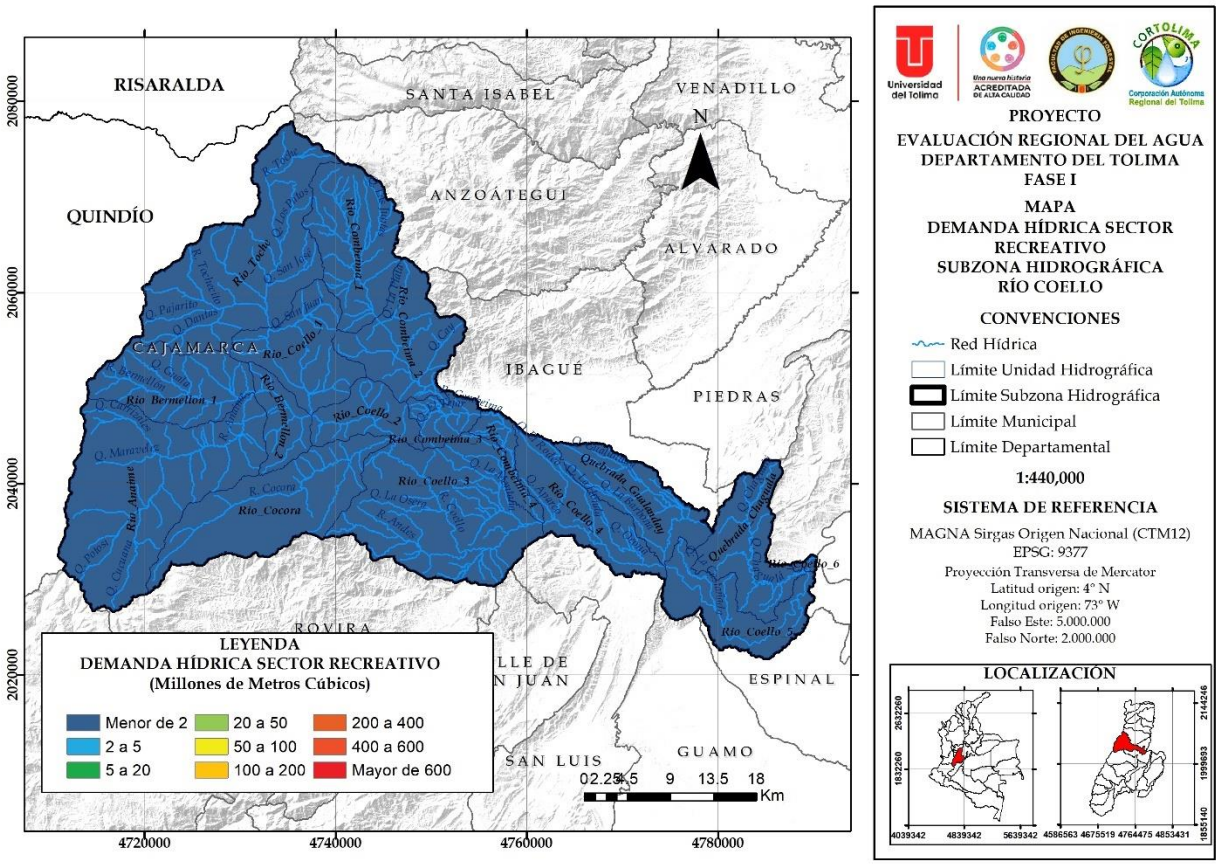


Figura 376. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Coello

20.2. Subzona Hidrográfica del río Opia

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Opia se estima en 786.84 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 277*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 277. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	23	604.40
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	4	27.88

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	2	6.46
Agrícola - Pecuario	4	93.07
Consumo Humano y Doméstico	18	42.61
Consumo Humano y Doméstico - Industrial	3	7.60
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	1	0.02
Fauna y Flora	1	3.00
Industrial	1	1.30
Pecuario	1	0.00
Piscícola	1	0.50
Total	**59**	**786.84**

En la Tabla 278 se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora de la Subzona Hidrográfica del río Opia. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en el río Opia con el 88.4% (695.31 l/s) y río Doima con el 6.4% (50.267 l/s), el resto de las fuentes hídricas que suplen esta demanda solo lo hacen en un 5.2% lo cual representa 41.26 l/s.

Tabla 278. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2122.1	Río Opia	695.31	21.93	88.37
2122.1.1	Quebrada Honda	0.05	0	0.01
2122.1.6	Quebrada Los Monos	1.81	0.06	0.23
2122.1.7	Rio Doima	50.27	1.59	6.39
2122.1.7.10	Quebrada Camao	0.02	0	0.00
2122.2	Directos Magdalena	2.5	0.08	0.32
2122.2.2	Quebrada Vindi	1.39	0.04	0.18
2122.2.4	Quebrada El Loro	13	0.41	1.65
2122.2.4.2	Quebrada Agua Negra	6	0.19	0.76
2122.2.5	Quebrada La Lucha	15	0.47	1.91
2122.2.6	Quebrada Naguachi	0.03	0	0.00
2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	1.46	0.05	0.19
Total		**786.84**	**24.82**	**100**

Para esta Subzona Hidrográfica se definieron 4 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) (*Figura 377*). La distribución de la demanda hídrica por cada una de estas UHA se presenta en la *Tabla 279*. Se establece que la demanda hídrica se concentra principalmente en la UHA Rio_Opia_1 con el 76.14% (599.10 l/s). En la *Figura 378* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013). Como se puede observar la demanda hídrica total en todas las UHA se encuentran por debajo de los 20 Mm³/año lo cual representa una baja presión por el uso del recurso hídrico en esta subzona.

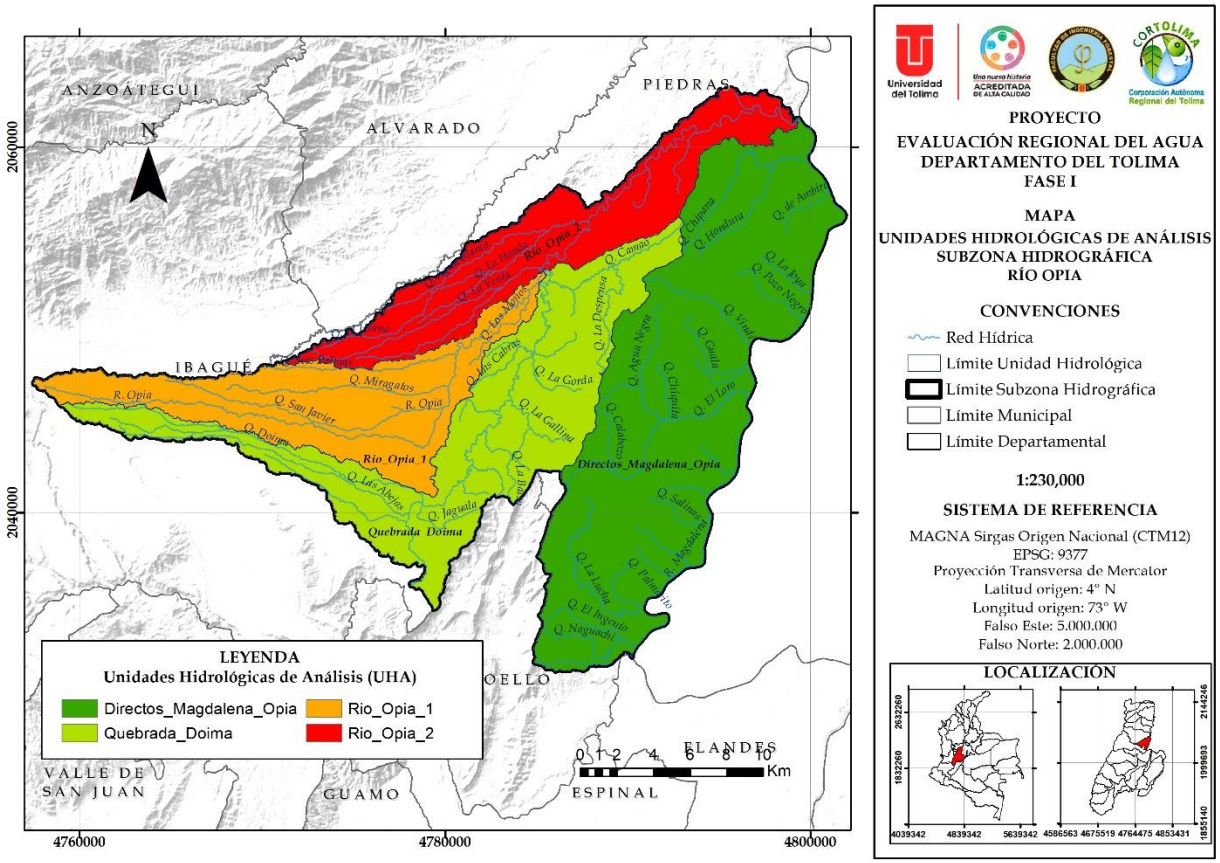


Figura 377. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Opia

Tabla 279. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Directos_Magdalena_Opia	2122.2	Directos Magdalena	2.50	39.38	1.24	5.01

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Quebrada_Doima	2122.2.2	Quebrada Vindi	1.39	50.29	1.59	6.39
	2122.2.4	Quebrada El Loro	13.00			
	2122.2.4.2	Quebrada Agua Negra	6.00			
	2122.2.5	Quebrada La Lucha	15.00			
	2122.2.6	Quebrada Naguachi	0.03			
	2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	1.46			
	2122.1.7	Rio Doima	50.27			
	2122.1.7.10	Quebrada Camao	0.02			
Rio_Opia_1	2122.1	Río Opia	597.29	599.10	18.89	76.14
	2122.1.6	Quebrada Los Monos	1.81			
Rio_Opia_2	2122.1	Río Opia	98.02	98.07	3.09	12.46
	2122.1.1	Quebrada Honda	0.05			

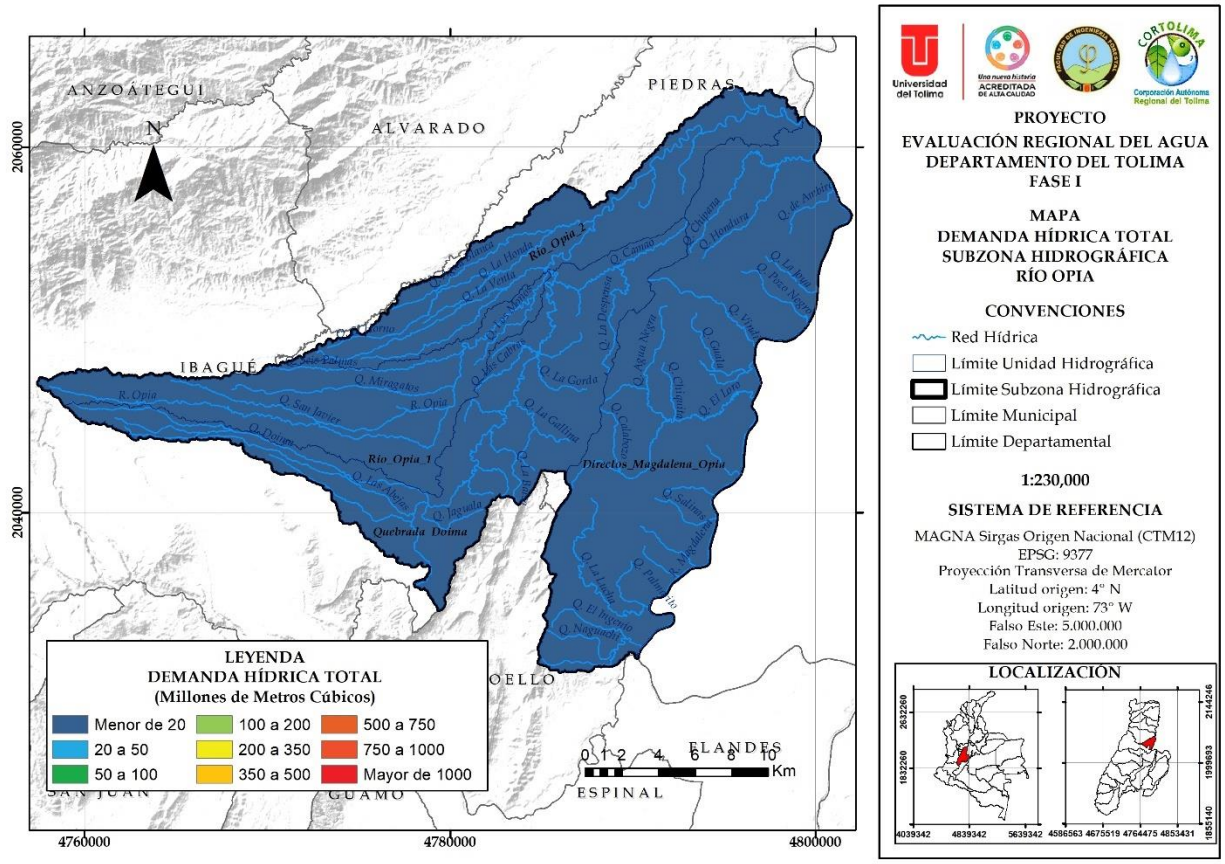


Figura 378. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.2.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los establecidos en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la Tasa por Uso como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos.

Como se presenta en la *Tabla 280*, la demanda hídrica para la Subzona Hidrográfica del río Opia corresponde a 708.62 l/s, la cual está concentrada principalmente en un 94% en la fuente hídrica abastecedora río Opia con 663.80 l/s, correspondiente a 27 usuarios donde sus principales demandantes, según caudal concesionado, son Ernesto Navarro y Cia S en C con 176.7 l/s, Montealegre Carvajal Plinio y Otro con 77.75 l/s, Montealegre de Barreto Diva con 77.75 l/s, Aniceta Martínez de Rodríguez y Otro con 67.20 y, Félix, Gustavo y Alirio Rodríguez con 60 l/s.

Tabla 280. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2122.1	Rio Opia	27	663.8	20.93	93.7
2122.1.6	Quebrada Los Monos	2	0.87	0.03	0.1
2122.1.7	Rio Doima	2	32.95	1.04	4.6
2122.2.4	Quebrada El Loro	1	10	0.32	1.4
2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	1	1	0.03	0.1
Total		**33**	**708.62**	**22.35**	**100**

La distribución del caudal demandando para uso agrícola por cada UHA se presenta en la *Tabla 281*. Se evidencia que en la UHA Rio_Opia_1 se concentra el 80.53% (570.64 l/s) de la demanda hídrica agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Opia. Esta caudal representa el 72.52% de la demanda hídrica total de esta subzona (786.84 l/s). En la *Figura 379* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados en cada UHA. Se identifica que la mayor presión por uso del recurso para el sector agrícola la ejercen los municipios de Piedras e Ibagué.

Tabla 281. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Opia	2122.2.4	Quebrada El Loro	10.00	11.00	0.35	1.55	1.40
	2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	1.00				
Quebrada_Doima	2122.1.7	Rio Doima	32.95	32.95	1.04	4.65	4.19
Rio_Opia_1	2122.1	Río Opia	569.77	570.64	18.00	80.53	72.52
	2122.1.6	Quebrada Los Monos	0.87				
Rio_Opia_2	2122.1	Río Opia	94.03	94.03	2.97	13.27	11.95
Total			**708.62**	**708.62**	**22.35**	**100**	**90.06**

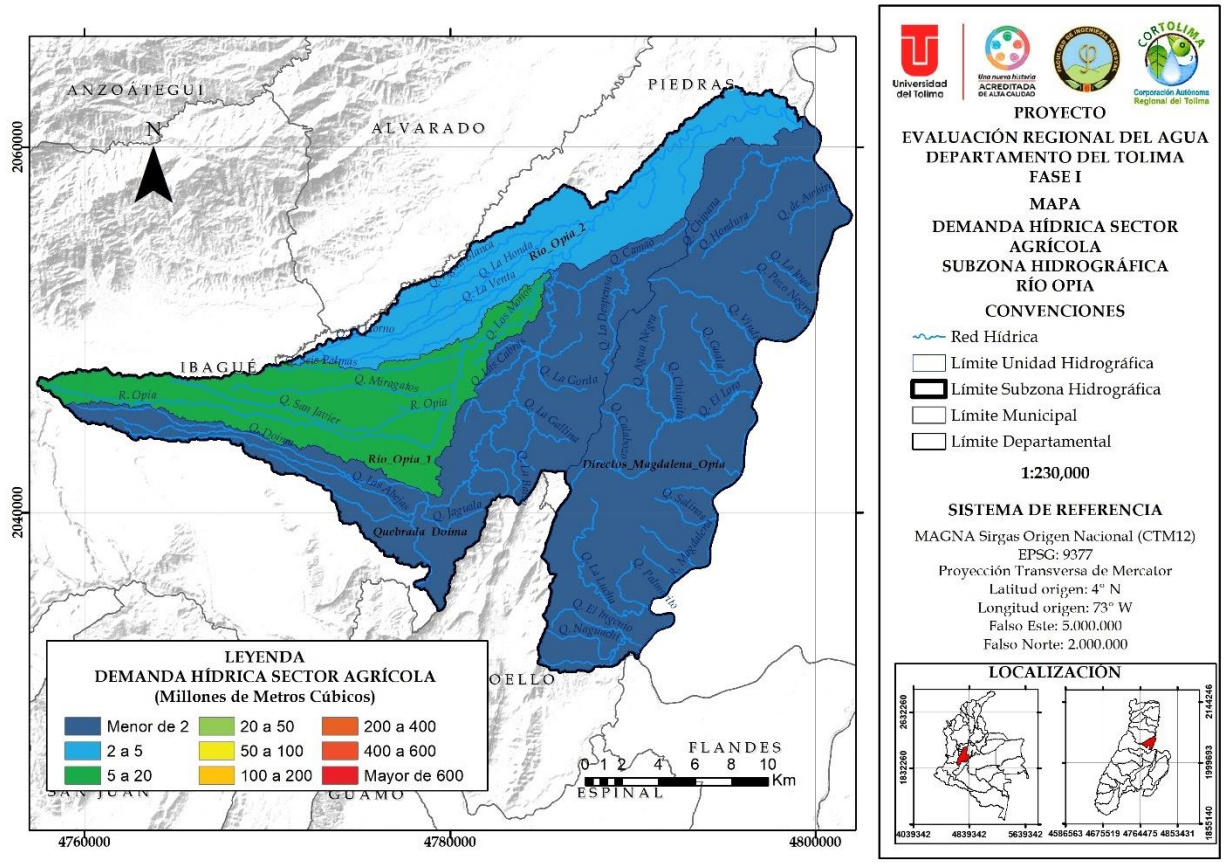


Figura 379. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.2.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda hídrica de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. De acuerdo con la ***Tabla 282*** la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Opia corresponde a 57.08 l/s, la cual se distribuye en 11 fuentes hídricas, concentrándose principalmente en el río Opia con 18.61 l/s que representan el 32.6% de la demanda hídrica total, la quebrada La Lucha con 15 l/s que equivalen al 26.3% y el río Doima con 13.17 l/s que representan el 23.1% (***Tabla 282***). Los principales usuarios demandantes son el municipio de Piedras, en el caso del río Opia, con 16.09 l/s, la Empresa de Servicios Públicos de Coello Tolima E.S.P, en la quebrada la Lucha, con 15 l/s y, Lucía Consuelo Díaz Rodríguez, en el río Doima, con 13 l/s.

Tabla 282. *Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Opia*

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm3/año)	%
2122.1	Rio Opia	14	18.61	0.59	32.6
2122.2	Directos Magdalena	1	2	0.06	3.5
2122.1.1	Quebrada Honda	1	0.05	0.00	0.1
2122.1.6	Quebrada Los Monos	1	0.77	0.02	1.3
2122.1.7	Rio Doima	4	13.17	0.42	23.1
2122.1.7.10	Quebrada Camao	1	0.01	0.00	0.0
2122.2.2	Quebrada Vindi	2	1.39	0.04	2.4
2122.2.4.2	Quebrada Agua Negra	1	6	0.19	10.5
2122.2.5	Quebrada La Lucha	1	15	0.47	26.3
2122.2.6	Quebrada Naguachi	1	0.03	0.00	0.1
2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	1	0.05	0.00	0.1
Total		**28**	**57.08**	**1.80**	**100**

En relación con las UHA donde se concentra la mayor demanda hídrica del consumo humano y doméstico de la Subzona Hidrográfica del río Opia, se puede deducir a partir de la *Tabla 283* que estas corresponden, en primer lugar, a la UHA Directos_Magdalena_Opia con el 42.88% (24.47 l/s), le sigue la UHA Rio_Opia_1 con el 30.12% (17.19 l/s) y luego la UHA Quebrada_Doima con el 23.08% (13.18 l/s). En la *Figura 380* se evidencia una baja presión por el uso del recurso hídrico para el consumo humano y doméstico.

Tabla 283. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Opia	2122.2	Directos Magdalena	2.00	24.47	0.77	42.88	3.11
	2122.2.2	Quebrada Vindi	1.39				
	2122.2.4.2	Quebrada Agua Negra	6.00				
	2122.2.5	Quebrada La Lucha	15.00				
	2122.2.6	Quebrada Naguachi	0.03				
	2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	0.05				
Quebrada_Doima	2122.1.7	Rio Doima	13.17	13.18	0.42	23.08	1.67
	2122.1.7.10	Quebrada Camao	0.01				
Rio_Opia_1	2122.1	Río Opia	16.42	17.19	0.54	30.12	2.19
	2122.1.6	Quebrada Los Monos	0.77				
Rio_Opia_2	2122.1	Río Opia	2.19	2.24	0.07	3.92	0.28
	2122.1.1	Quebrada Honda	0.05				
Total			**57.08**	**57.08**	**1.80**	**100**	**7.25**

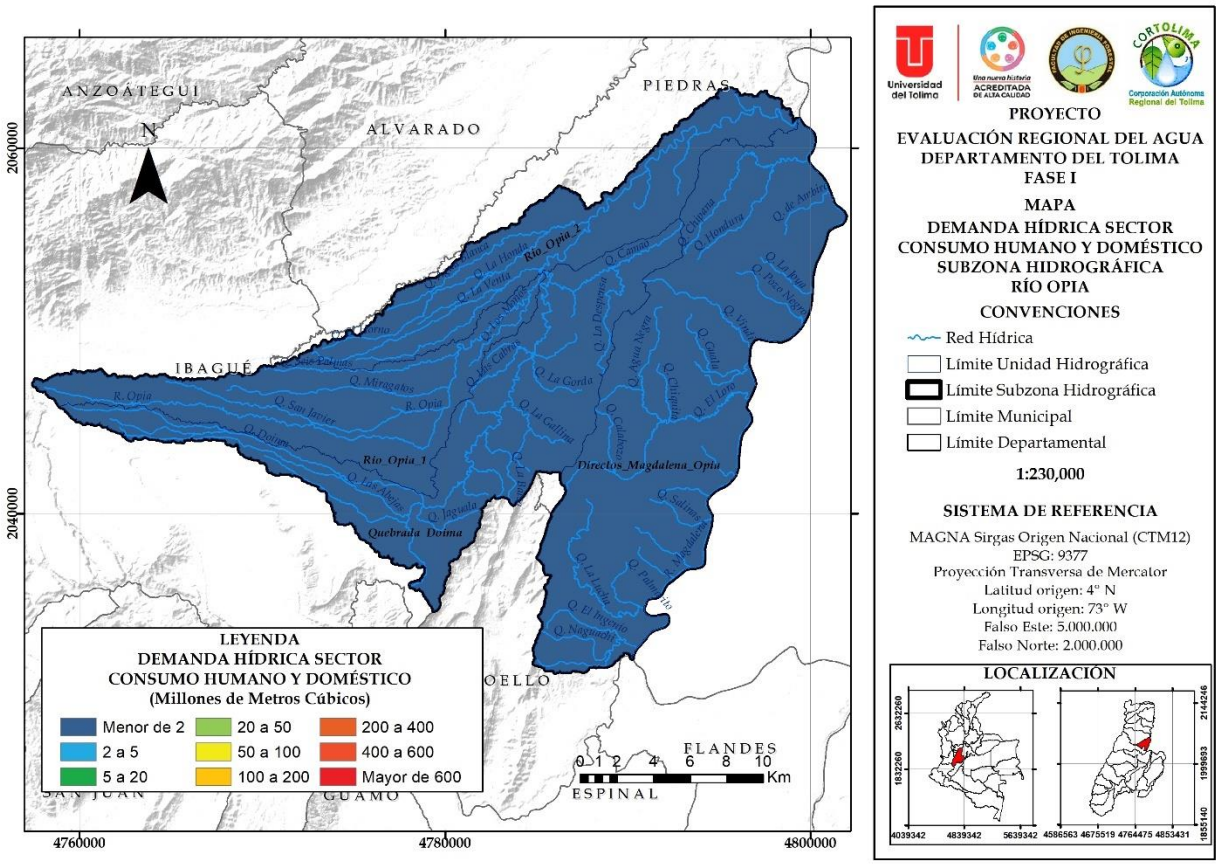


Figura 380. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.2.3. Uso Preservación de Flora y Fauna

De acuerdo con las bases de datos de Tasa por Uso y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA, esta demanda de 3 l/s corresponde a una concesión otorgada a la empresa Avicola Colombiana S.A AVICOL bajo Resolución 14 del 2 de febrero de 2008. Como se presenta en la *Tabla 284* y *Tabla 285* esta demanda se localiza en la quebrada El Loro de la Subzona Hidrográfica del río Opia e integra solo una UHA de esta subzona, la cual corresponde a la UHA Directos_Magdalena_Opia. En la *Figura 381* se evidencia que la presión del recurso hídrico por este tipo de uso no es representativa en la subzona.

Tabla 284. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Preservación de Flora y Fauna en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Preservación de Flora y Fauna (l/s)	DH. Preservación de Flora y Fauna (Mm³/año)	%
2122.2.4	Quebrada El Loro	1	3.00	0.09	100
Total		**1**	**3.00**	**0.09**	**100**

Tabla 285. Distribución de la demanda hídrica para Preservación de Flora y Fauna por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Flora y Fauna (l/s)	UHA Flora y Fauna (l/s)	UHA DH Flora y Fauna (Mm³/año)	% DH Sector Flora y Fauna SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Opia	2122.2.4	Quebrada El Loro	3.00	3.00	0.09	100	0.38
Total			**3.00**	**3.00**	**0.09**	**100**	**0.38**

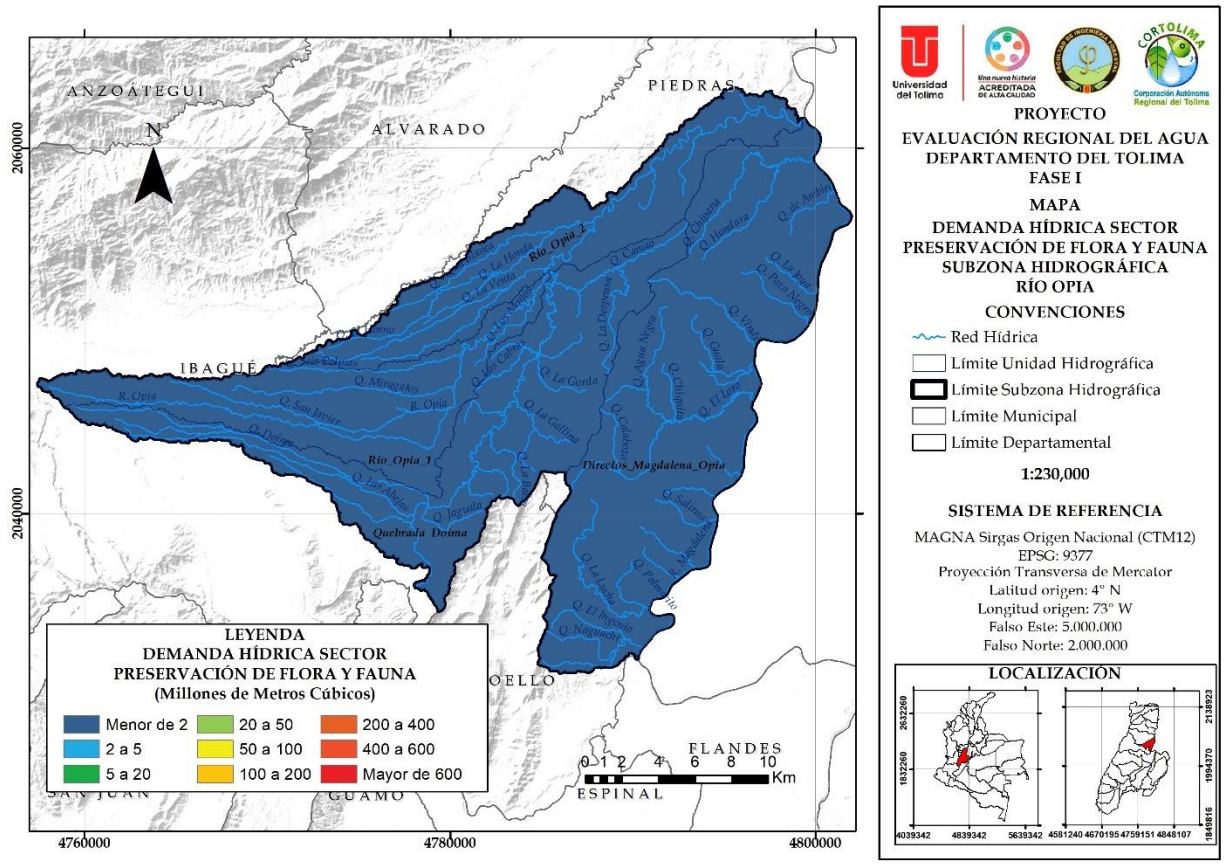


Figura 381. Distribución de la demanda hídrica para Preservación de Flora y Fauna en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.2.4. Uso Industrial

En la Subzona Hidrográfica del río Opia para el sector industrial actualmente se demanda un total de 8.50 l/s distribuidos en un 52% (4.40 l/s) en el río Opia y un 48% (4.10 l/) en el río Doima (*Tabla 286*), siendo la empresa Occidental de Colombia INC la mayor demandante con 2.80 l/s en cada una de estas fuentes hídricas.

Tabla 286. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2122.1	Rio Opia	2	4.40	0.14	51.8
2122.1.7	Rio Doima	2	4.10	0.13	48.2
Total		**4**	**8.50**	**0.27**	**100**

De acuerdo con la *Tabla 287* la UHA en donde se presenta la mayor demanda de agua para uso industrial es la Quebrada_Doima con el 48.24% (4.10 l/s) seguida por la UHA Rio_Opia_1 con el 32.94% (2.80 l/s). La representación espacial de la demanda hídrica industrial por UHA en la Subzona Hidrográfica del río Opia se presenta en la *Figura 382* se evidencia que la demanda de agua para uso industrial en todas las UHA de esta subzona no ejerce una presión significativa sobre el recurso hídrico.

Tabla 287. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Doima	2122.1.7	Rio Doima	4.10	4.10	0.13	48.24	0.52
Rio_Opia_1	2122.1	Río Opia	2.80	2.80	0.09	32.94	0.36
Rio_Opia_2	2122.1	Río Opia	1.60	1.60	0.05	18.82	0.20
Total			**8.50**	**8.50**	**0.27**	**100**	**1.08**

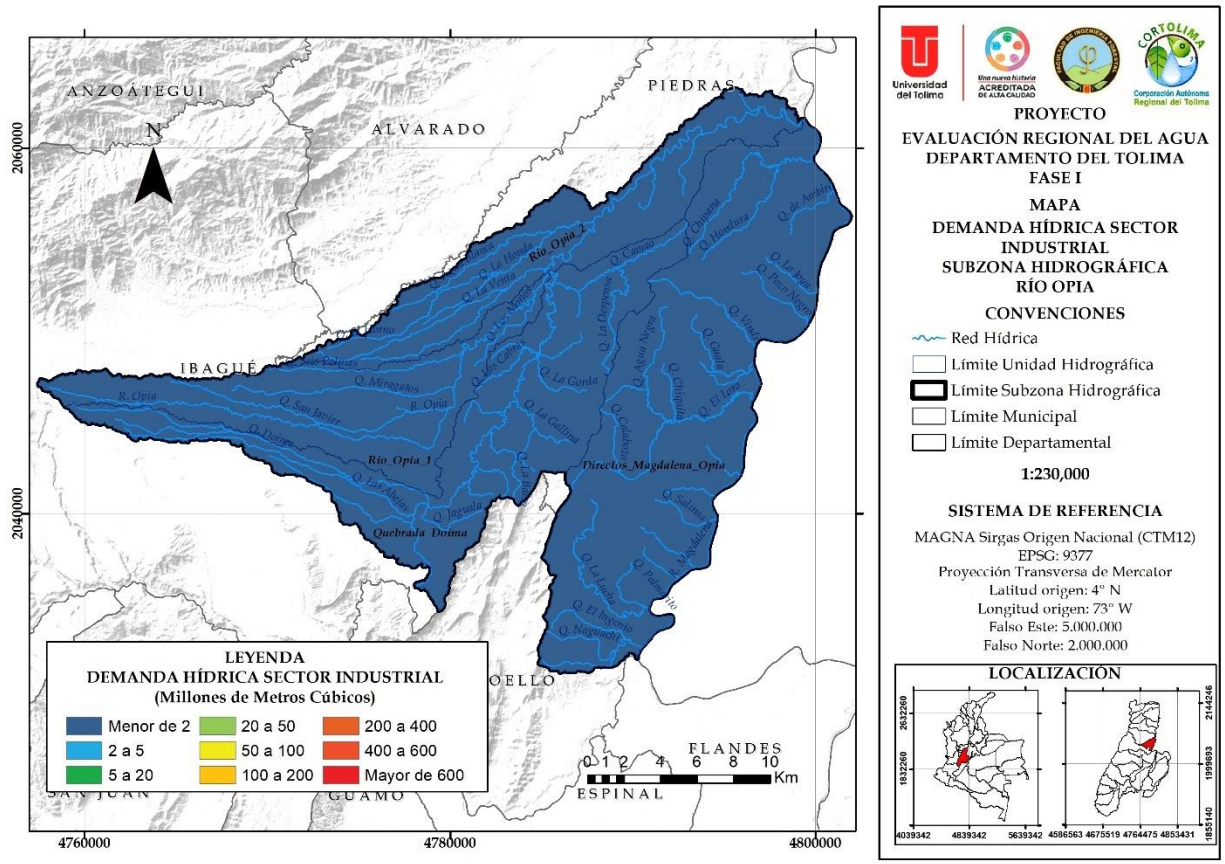


Figura 382. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.2.5. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Opia se demanda para uso pecuario un total de 9.14 l/s, de los cuales el 93% (8.50 l/s) corresponden al río Opia, y de estos 7.80 l/s están a nombre de Félix, Gustavo y Alirio Rodríguez (*Tabla 288*).

Tabla 288. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2122.1	Rio Opia	3	8.5	0.27	93.0
2122.1.6	Quebrada Los Monos	1	0.17	0.01	1.9
2122.1.7	Rio Doima	1	0.05	0.00	0.5

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2122.1.7.10	Quebrada Camao	1	0.01	0.00	0.1
2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	1	0.41	0.01	4.5
Total		**7**	**9.14**	**0.29**	**100**

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) se observa que la mayor presión del recurso hídrico por el sector pecuario se presenta en la UHA Rio_Opia_1 en donde se genera el 92.67% (8.47 l/s) de la demanda hídrica pecuaria de esta Subzona Hidrográfica. De acuerdo con la *Figura 383* los volúmenes de agua demandados para uso pecuario en la SZH Opia no son representativos en la presión por uso del recurso.

Tabla 289. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Opia	2122.2.6.1	Quebrada El Ingenio	0.41	0.41	0.01	4.49	0.05
Quebrada_Doima	2122.1.7	Rio Doima	0.05	0.06	0.00	0.66	0.01
	2122.1.7.10	Quebrada Camao	0.01				
Rio_Opia_1	2122.1	Río Opia	8.30	8.47	0.27	92.67	1.08
	2122.1.6	Quebrada Los Monos	0.17				
Rio_Opia_2	2122.1	Río Opia	0.20	0.20	0.01	2.19	0.03
Total			**9.14**	**9.14**	**0.29**	**100**	**1.17**

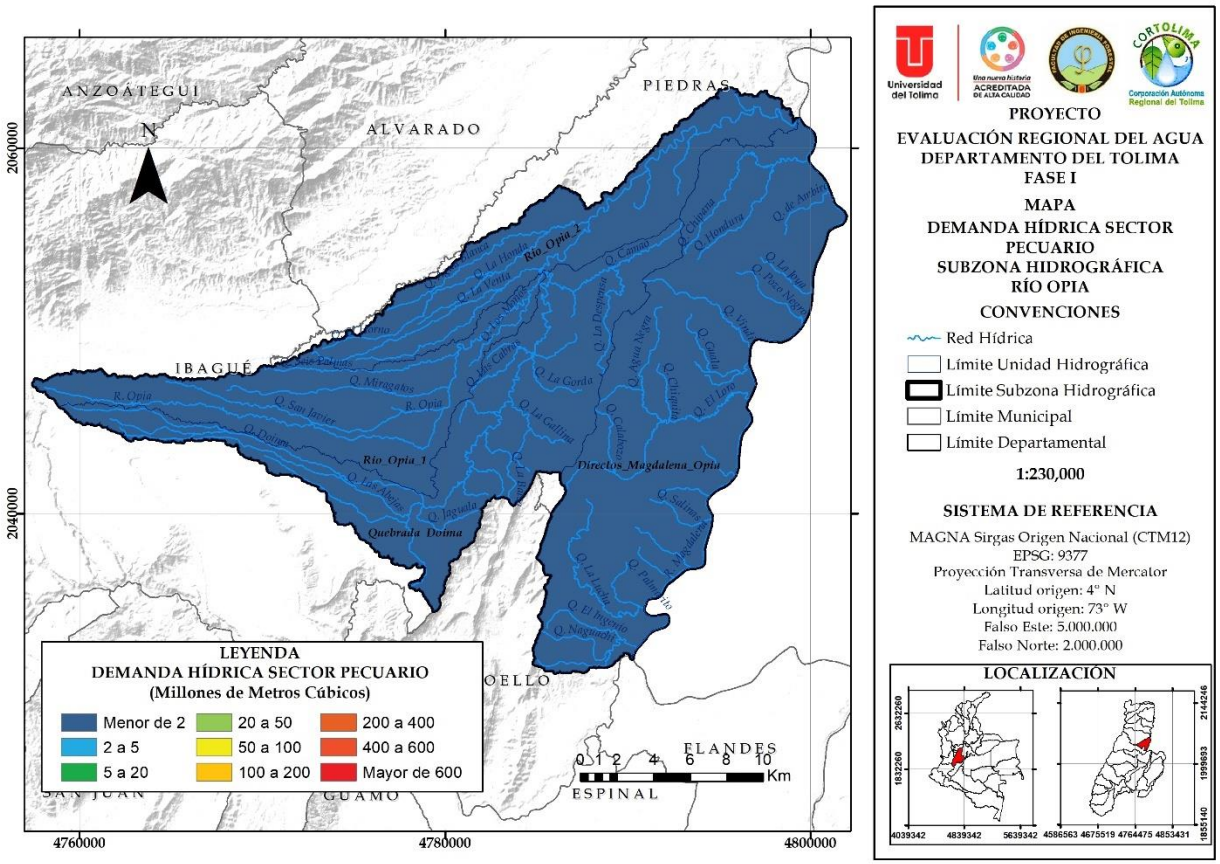


Figura 383. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.2.6. Uso Piscícola

La demanda para el sector Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia, corresponde a la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA, según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Como se presenta en la *Tabla 290* y *Tabla 291* esta demanda corresponde a un volumen de 0.50 l/s que es captado de la fuente hídrica Directos Magdalena e integra solo una UHA de esta subzona, la cual corresponde a la UHA Directos_Magdalena_Opia. Según las bases de datos de Tasa por Uso y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA este caudal se relaciona a una concesión otorgada al señor Reinaldo Góngora Orjuela bajo resolución 1542 del 22 de julio de 1996. En la *Figura 384* se evidencia que la presión del recurso hídrico por este tipo de uso no es representativa en la subzona.

Tabla 290. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2122.2	Directos Magdalena	1	0.50	0.02	100
Total		**1**	**0.50**	**0.02**	**100**

Tabla 291. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Opia	2122.2	Directos Magdalena	0.50	0.50	0.02	100	0.06
Total			**0.50**	**0.50**	**0.02**	**100**	**0.06**

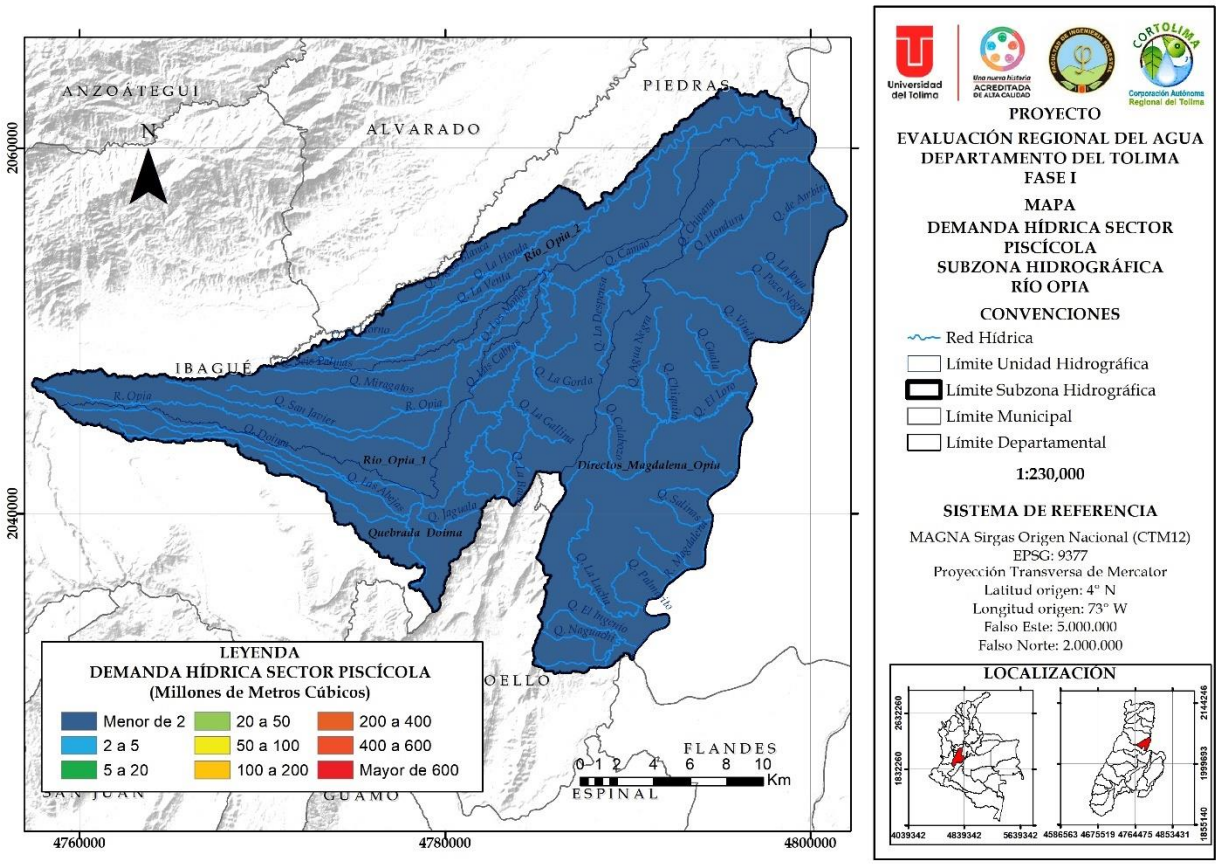


Figura 384. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia

20.3. Subzona Hidrográfica del río Totare

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Totare se estima en 15281.16 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 292*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 292. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	312	12294.43

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	8	32.60
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	16	1146.51
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	5	5.36
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	4	40.03
Agrícola - Pecuario	10	440.40
Agrícola - Pecuario - Piscícola	1	4.00
Agrícola - Piscícola	3	94.71
Consumo Humano y Doméstico	222	581.35
Consumo Humano y Doméstico - Industrial	7	78.47
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	5	3.17
Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	4	4.26
Consumo Humano y Doméstico - Recreativo	1	30.00
Generación de Energía	4	225.00
Industrial	5	14.42
Industrial - Piscícola	1	55.00
Minería	1	5.00
Pecuario	13	11.10
Piscícola	8	53.34
Recreativo	2	162.00
Total	**632**	**15281.16**

En la *Tabla 293* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Totare. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en el río Totare en un 38.9% (5944.46 l/s), el río La China en un 32.4% (4953.18 l/s), el río Chipalo en un 12.2% (1862.76 l/s) y el río Alvarado en un 10.2% (1551.82 l/s), las demás fuentes hídricas solo suplen el 6.3% (968.94 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica.

Tabla 293. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2124.2	Rio Totare	5944.46	187.46	38.90
2124.2.1	Quebrada Guaratapo	6.32	0.20	0.04
2124.2.12	Quebrada Las Damas	5.24	0.17	0.03
2124.2.14	Quebrada La Estrella	1.36	0.04	0.01
2124.2.14.1	Quebrada El Queso	2.00	0.06	0.01
2124.2.14.2	Quebrada La Noria	0.60	0.02	0.00

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2124.2.18	Quebrada Agua Blanca	1.00	0.03	0.01
2124.2.23	Quebrada El Placer	1.50	0.05	0.01
2124.2.31	Quebrada Hoyo Frio	0.03	0.00	0.00
2124.2.32	Quebrada El Silencio	1.19	0.04	0.01
2124.2.40	Quebrada Del Fierro	27.90	0.88	0.18
2124.2.41	Rio Cumina	5.35	0.17	0.04
2124.2.44	Quebrada Anunday	33.83	1.07	0.22
2124.2.44.1	Quebrada Guamal	0.36	0.01	0.00
2124.2.44.2	Quebrada La Chapa	1.00	0.03	0.01
2124.2.45	Rio La China	4953.18	156.20	32.41
2124.2.45.1.1	Quebrada El Neme	45.00	1.42	0.29
2124.2.45.1.2	Quebrada Sto. Domingo	0.04	0.00	0.00
2124.2.45.1.4	Rio Frio	5.00	0.16	0.03
2124.2.45.1.5	Quebrada Pitala	1.64	0.05	0.01
2124.2.45.2.3	Quebrada Vallecita	4.05	0.13	0.03
2124.2.45.2.4	Quebrada Laguneta	0.26	0.01	0.00
2124.2.45.2.5	Quebrada La Vieja	0.92	0.03	0.01
2124.2.45.3.1	Quebrada La Mina	16.21	0.51	0.11
2124.2.45.7	Rio Alvarado	1551.82	48.94	10.16
2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	129.07	4.07	0.84
2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	392.62	12.38	2.57
2124.2.45.7.3	Quebrada Manjarres	4.56	0.14	0.03
2124.2.45.7.4	Rio Alvarado	14.00	0.44	0.09
2124.2.45.7.5	Quebrada Chembe	70.80	2.23	0.46
2124.2.46	Rio Chipalo	1862.76	58.74	12.19
2124.2.46.2	Quebrada La Tusa	13.33	0.42	0.09
2124.2.46.3	Quebrada Las Panelas	62.32	1.97	0.41
2124.2.46.4	Quebrada Ambala	41.27	1.30	0.27
2124.2.47	Quebrada La Arenosa	29.67	0.94	0.19
2124.2.48	Quebrada Guarapo	45.60	1.44	0.30
2124.2.49	Quebrada Toquitoqui	2.00	0.06	0.01
2124.2.5	Quebrada El Oso	0.02	0.00	0.00
2124.2.7	Quebrada La Rica	2.88	0.09	0.02
Total		**15281.16**	**481.91**	**100**

Para esta Subzona Hidrográfica se definieron 16 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) (*Figura 385*). En la *Tabla 262* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA definida en la Subzona Hidrográfica del río Totare. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en la UHA Rio_La_China_4 con el 32.45% (4959.03 l/s) seguido por las UHA Rio_Totare_3 con el

31.93% (4878.62 l/s) (*Tabla 294*). En la *Figura 386* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) en la Subzona Hidrográfica del río Coello. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013).

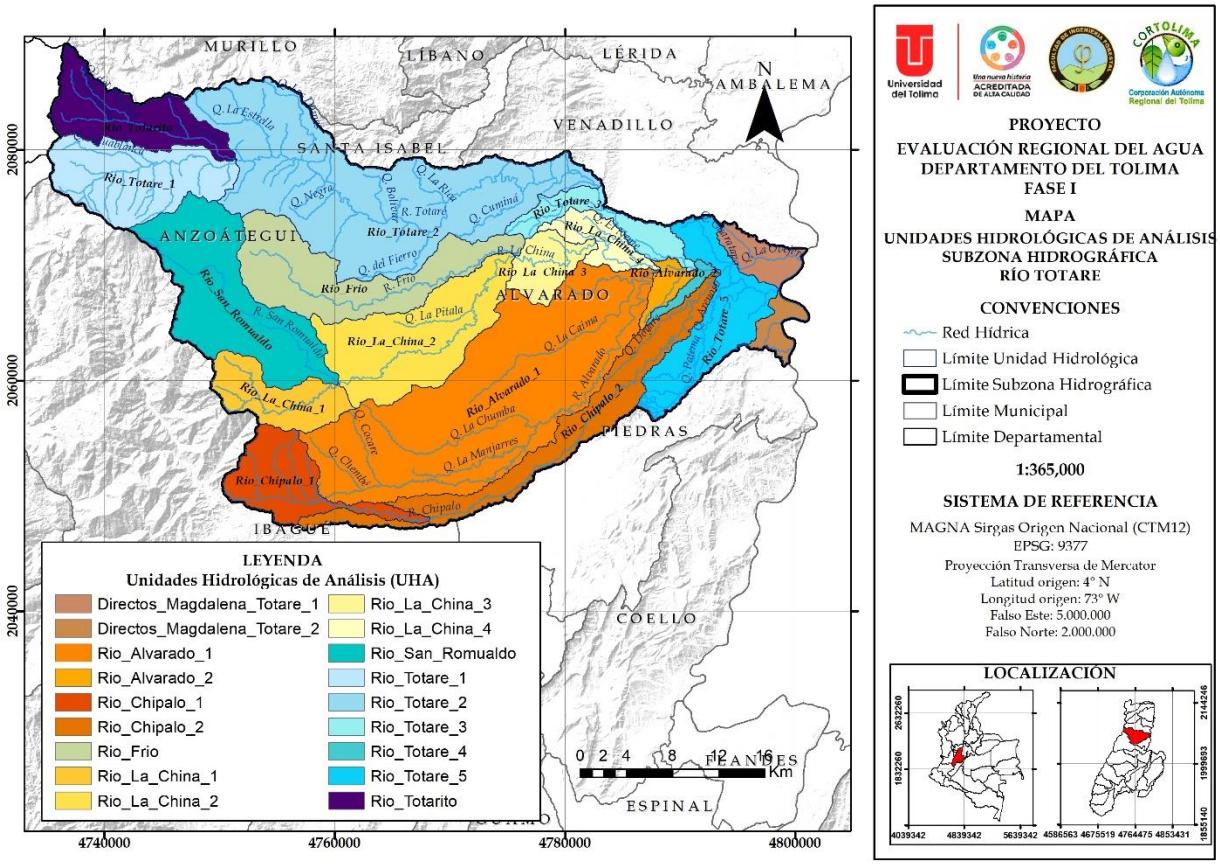


Figura 385. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Totare

Tabla 294. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Alvarado_1	2124.2.45	Río Alvarado	14.00	2142.67	67.57	14.02
	2124.2.45.7	Río Alvarado	1531.62			
	2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	129.07			
	2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	392.62			
	2124.2.45.7.3	Quebrada Manjarres	4.56			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Alvarado_2	2124.2.45.7.5	Quebrada Chembe	70.80	20.20	0.64	0.13
	2124.2.45.7	Río Alvarado	20.20			
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	919.69	1036.61	32.69	6.78
	2124.2.46.2	Quebrada La Tusa	13.33			
	2124.2.46.3	Quebrada Las Panelas	62.32			
	2124.2.46.4	Quebrada Ambala	41.27			
Rio_Chipalo_2	2124.2.46	Río Chipalo	943.07	943.07	29.74	6.17
Rio_Frio	2124.2.45.1.4	Rio Frio	5.00	5.00	0.16	0.03
Rio_La_China_1	2124.2.45.1	Río La China	27.35	27.35	0.86	0.18
Rio_La_China_2	2124.2.45.1	Río La China	17.71	17.71	0.56	0.12
Rio_La_China_3	2124.2.45.1	Río La China	1.00	17.21	0.54	0.11
	2124.2.45.3	Quebrada La Mina	16.21			
Rio_La_China_4	2124.2.45.1	Quebrada El Neme	45.00	4959.03	156.39	32.45
	2124.2.45.1	Quebrada Pitala	1.64			
	2124.2.45.1	Quebrada Sto. Domingo	0.04			
	2124.2.45.1	Río La China	4907.12			
	2124.2.45.2	Quebrada La Vieja	0.92			
	2124.2.45.2	Quebrada Laguneta	0.26			
	2124.2.45.2	Quebrada Vallecita	4.05			
Rio_Totare_1	2124.2	Río Totare	0.00	2.50	0.08	0.02
	2124.2.18	Quebrada Agua Blanca	1.00			
	2124.2.23	Quebrada El Placer	1.50			
Rio_Totare_2	2124.2	Río Totare	740.24	786.81	24.81	5.15
	2124.2.12	Quebrada Las Damas	5.24			
	2124.2.14	Quebrada La Estrella	1.36			
	2124.2.14.1	Quebrada El Queso	2.00			
	2124.2.14.2	Quebrada La Noria	0.60			
	2124.2.31	Quebrada Hoyo Frio	0.03			
	2124.2.32	Quebrada El Silencio	1.19			
	2124.2.40	Quebrada Del Fierro	27.90			
	2124.2.41	Rio Cumina	5.35			
	2124.2.5	Quebrada El Oso	0.02			
	2124.2.7	Quebrada La Rica	2.88			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Totare_3	2124.2	Río Totare	4843.43	4878.62	153.85	31.93
	2124.2.44	Quebrada Anunday	33.83			
	2124.2.44.1	Quebrada Guamal	0.36			
	2124.2.44.2	Quebrada La Chapa	1.00			
Rio_Totare_4	2124.2	Río Totare	334.26	334.26	10.54	2.19
Rio_Totare_5	2124.2	Río Totare	26.53	110.13	3.47	0.72
	2124.2.1	Quebrada Guaratapo	6.32			
	2124.2.47	Quebrada La Arenosa	29.67			
	2124.2.48	Quebrada Guarapo	45.60			
	2124.2.49	Quebrada Toquitoqui	2.00			

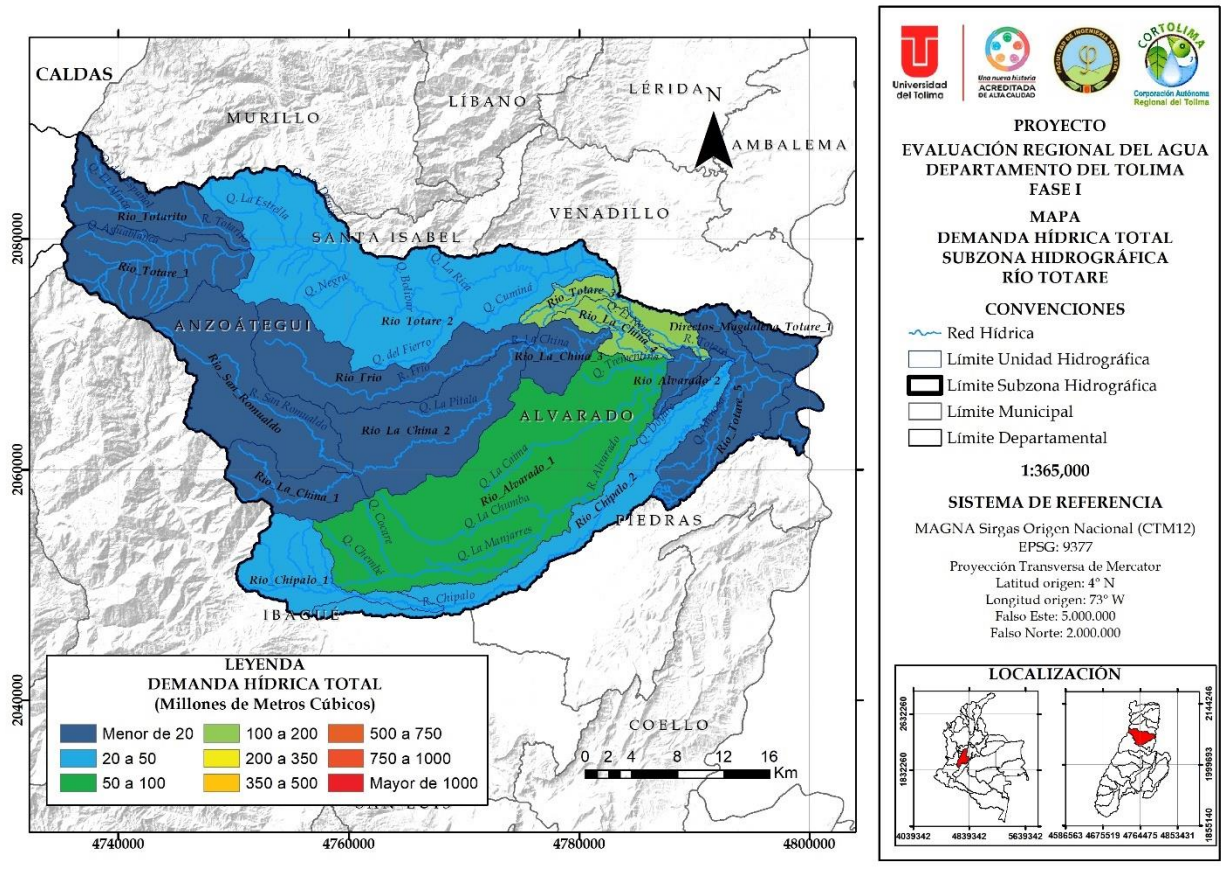


Figura 386. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013), en este sector se reúnen los usos denominados por la Tasa por Uso como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos, reglamentados en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De acuerdo con lo anterior, la demanda para uso agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare se determina en 13496.03 l/s, siendo las principales fuentes abastecedoras el río Totare con el 41.5% (5599.16 l/s), el río La China con el 33.6% (4532.02 l/s), el río Chipalo con el 11.3% (1529.50 l/s) y el río Alvarado con el 10.1% (1360.74 l/s) (*Tabla 296*). En el caso de los usuarios con mayor demanda en estas fuentes hídricas, estos son: en el río Totare la Sociedad Jaime Uribe y Hermanas Ltda y Juan José Sierra Figueroa con 336.2 l/s y 330.03 l/s, respectivamente; en el río La China, la sociedad Cultivos Casa S.A.S con 556.67 l/s y Constanza del Pilar Vila Bernal y Otros con 346.8 l/s; en el río Chipalo se encuentran José Elías Acosta Ortiz con 192.05 l/, Zorroza y Suarez S.A.S con 151.53 l/s y Romecai S.A.S con 150.7 l/s; mientras que en el río Alvarado están Luís Fernando Agudelo Lloreda con 219.69 l/s, Álvaro Sierra Figueroa con 165.3 l/s y Elías Acosta y Cia. S.A.S con 150.3 l/s.

Tabla 295. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2124.2	Rio Totare	189	5599.16	176.58	41.49
2124.2.1	Quebrada Guaratapo	2	6.32	0.20	0.05
2124.2.12	Quebrada Las Damas	4	3.25	0.10	0.02
2124.2.14	Quebrada La Estrella	2	0.80	0.03	0.01
2124.2.18	Quebrada Agua Blanca	1	1.00	0.03	0.01
2124.2.44	Quebrada Anunday	6	33.00	1.04	0.24
2124.2.45	Rio La China	84	4532.02	142.92	33.58
2124.2.45.1.1	Quebrada El Neme	1	45.00	1.42	0.33
2124.2.45.1.5	Quebrada Pitala	5	0.25	0.01	0.00
2124.2.45.2.3	Quebrada Vallecita	3	1.33	0.04	0.01
2124.2.45.2.5	Quebrada La Vieja	3	0.32	0.01	0.00
2124.2.45.7	Rio Alvarado	105	1360.74	42.91	10.08
2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	15	71.60	2.26	0.53
2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	68	283.75	8.95	2.10
2124.2.46	Rio Chipalo	88	1529.50	48.23	11.33
2124.2.47	Quebrada La Arenosa	4	8.00	0.25	0.06
2124.2.48	Quebrada Guarapo	1	20.00	0.63	0.15
Total		**581**	**13496.03**	**425.61**	**100**

La distribución del caudal demandando para uso agrícola por cada UHA se presenta en la *Tabla 296*. Se evidencia que esta demanda se concentra principalmente en las UHA Rio_La_China_4 y Rio_Totare_3 con el 34.17% (4611.18 l/s) y el 33.93% (4578.83 l/s), respectivamente. El caudal de estas UHA representa el 60.14% de la demanda hídrica total de la Subzona Hidrográfica del río Totare (15281.16 l/s). En la *Figura 387* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados en cada UHA. Se identifica que la mayor presión del recurso hídrico para uso agrícola la ejercen los municipios de Alvarado y Venadillo en donde se localizan las UHA anteriormente mencionadas además de UHA Rio_Alvarado_1 en la cual se demandan 1713.59 l/s que representan el 12.70% de toda la demanda hídrica para uso agrícola en esta subzona.

Tabla 296. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
	2124.2.45.7	Río Alvarado	1358.24				
Rio_Alvarado_1	2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	71.60	1713.59	54.04	12.70	11.21
	2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	283.75				
Rio_Alvarado_2	2124.2.45.7	Río Alvarado	2.50	2.50	0.08	0.02	0.02
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	619.88	619.88	19.55	4.59	4.06
Rio_Chipalo_2	2124.2.46	Río Chipalo	909.62	909.62	28.69	6.74	5.95
Rio_La_China_2	2124.2.45.1	Río La China	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00
	2124.2.45.1	Quebrada El Neme	45.00				
	2124.2.45.1	Quebrada Pitala	0.25				
Rio_La_China_4	2124.2.45.1	Río La China	4531.93	4578.83	144.40	33.93	29.96
	2124.2.45.2	Quebrada La Vieja	0.32				
	2124.2.45.2	Quebrada Vallecita	1.33				
Rio_Totare_1	2124.2.18	Quebrada Agua Blanca	1.00	1.00	0.03	0.01	0.01
	2124.2	Río Totare	685.40				
Rio_Totare_2	2124.2.12	Quebrada Las Damas	3.25	689.45	21.74	5.11	4.51
	2124.2.14	Quebrada La Estrella	0.80				
Rio_Totare_3	2124.2	Río Totare	4578.18	4611.18	145.42	34.17	30.18
	2124.2.44	Quebrada Anunday	33.00				
Rio_Totare_4	2124.2	Río Totare	331.12	331.12	10.44	2.45	2.17
	2124.2	Río Totare	4.45				
Rio_Totare_5	2124.2.1	Quebrada Guaratapo	6.32	38.77	1.22	0.29	0.25
	2124.2.47	Quebrada La Arenosa	8.00				
	2124.2.48	Quebrada Guarapo	20.00				
Total			**13496.03**	**13496.03**	**425.61**	**100**	**88.32**

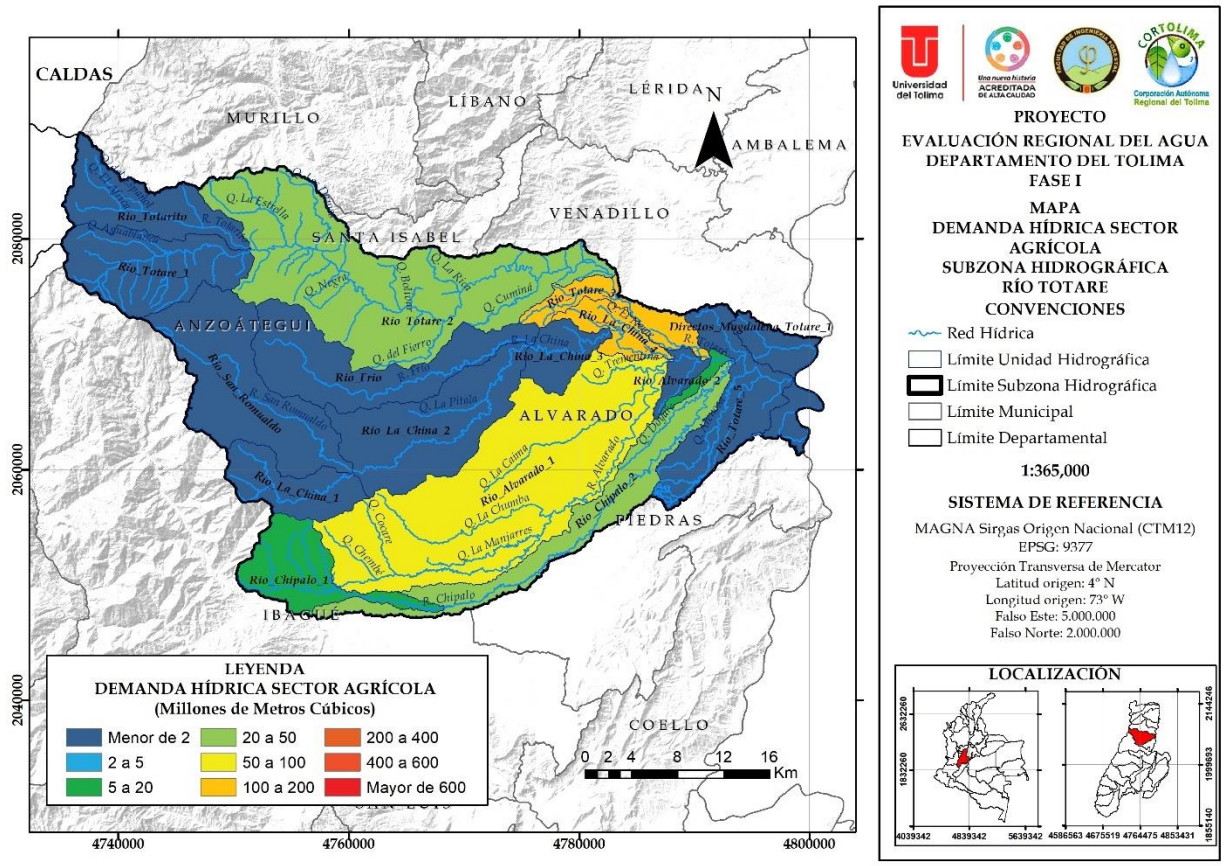


Figura 387. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. Para la Subzona Hidrográfica del río Totare la demanda para Consumo Humano y Doméstico corresponde a 738.94 l/s distribuida en 271 usuarios (*Tabla 297*). Las tres principales fuentes hídricas abastecedoras con mayor demanda son: el río La China con 135.98 l/s (18%) cuyo principal demandante es la sociedad Cultivos Casa S.A.S con 100 l/s, el río Totare con 98.80 l/s (13%) de los cuales el municipio Venadillo capta 40.44 l/s, y la quebrada Chembe con 70.80 l/s (10%) de cuales corresponden 69.8 l/s a la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado S.A.

Tabla 297. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm3/año)	%
2124.2	Rio Totare	60	98.80	3.12	13.37
2124.2.12	Quebrada Las Damas	3	1.99	0.06	0.27
2124.2.14	Quebrada La Estrella	2	0.53	0.02	0.07
2124.2.14.1	Quebrada El Queso	1	2.00	0.06	0.27
2124.2.14.2	Quebrada La Noria	1	0.60	0.02	0.08
2124.2.23	Quebrada El Placer	1	1.50	0.05	0.20
2124.2.31	Quebrada Hoyo Frio	1	0.03	0.00	0.00
2124.2.32	Quebrada El Silencio	1	1.19	0.04	0.16
2124.2.40	Quebrada Del Fierro	2	27.90	0.88	3.78
2124.2.41	Rio Cumina	6	5.35	0.17	0.72
2124.2.44	Quebrada Anunday	2	0.83	0.03	0.11
2124.2.44.1	Quebrada Guamal	1	0.36	0.01	0.05
2124.2.45	Rio La China	26	135.98	4.29	18.40
2124.2.45.1.2	Quebrada Sto. Domingo	1	0.04	0.00	0.01
2124.2.45.1.4	Rio Frio	4	5.00	0.16	0.68
2124.2.45.1.5	Quebrada Pitala	5	1.14	0.04	0.15
2124.2.45.2.3	Quebrada Vallecita	3	1.38	0.04	0.19
2124.2.45.2.4	Quebrada Laguneta	4	0.26	0.01	0.04
2124.2.45.2.5	Quebrada La Vieja	1	0.10	0.00	0.01
2124.2.45.3.1	Quebrada La Mina	6	16.21	0.51	2.19
2124.2.45.7	Rio Alvarado	51	67.61	2.13	9.15
2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	8	50.29	1.59	6.81
2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	34	40.24	1.27	5.45
2124.2.45.7.3	Quebrada Manjarres	2	3.01	0.09	0.41
2124.2.45.7.4	Rio Alvarado	1	14.00	0.44	1.89
2124.2.45.7.5	Quebrada Chembe	2	70.80	2.23	9.58
2124.2.46	Rio Chipalo	26	50.33	1.59	6.81
2124.2.46.2	Quebrada La Tusa	1	13.33	0.42	1.80
2124.2.46.3	Quebrada Las Panelas	4	62.32	1.97	8.43
2124.2.46.4	Quebrada Ambala	5	41.27	1.30	5.59
2124.2.47	Quebrada La Arenosa	3	21.64	0.68	2.93
2124.2.5	Quebrada El Oso	1	0.02	0.00	0.00
2124.2.7	Quebrada La Rica	2	2.88	0.09	0.39
Total		**271**	**738.94**	**23.30**	**100**

En relación con las UHA donde se concentra la mayor demanda hídrica del consumo humano y doméstico de la Subzona Hidrográfica del río Totare, se determina que estas

corresponden, en primer lugar, a la UHA Rio_Alvarado_1 con el 33.20% (245.35 l/s), le sigue la UHA Rio_Chipalo_1 con el 21.43% (158.33 l/s), la UHA Rio_La_China_4 con el 15.98% (118.11 l/s) y Rio_Totare_2 con el 12.46% (92.10% l/s) (*Tabla 298*). En la *Figura 388* se puede evidenciar a través de la escala de colores sugeridos por el IDEAM (2013) el grado de presión que ejerce la demanda de estas UHA sobre el recurso hídrico de la Subzona Hidrográfica del río Totare.

Tabla 298. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm^3/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Rio_Alvarado_1	2124.2.45	Río Alvarado	14.00	245.35	7.74	33.20	1.61
	2124.2.45.7	Río Alvarado	67.01				
	2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	50.29				
	2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	40.24				
	2124.2.45.7.3	Quebrada Manjarres	3.01				
	2124.2.45.7.5	Quebrada Chembe	70.80				
Rio_Alvarado_2	2124.2.45.7	Río Alvarado	0.60	0.60	0.02	0.08	0.00
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	41.41	158.33	4.99	21.43	1.04
	2124.2.46.2	Quebrada La Tusa	13.33				
	2124.2.46.3	Quebrada Las Panelas	62.32				
	2124.2.46.4	Quebrada Ambala	41.27				
Rio_Chipalo_2	2124.2.46	Río Chipalo	8.93	8.93	0.28	1.21	0.06
Rio_Frio	2124.2.45.1.4	Rio Frio	5.00	5.00	0.16	0.68	0.03
Rio_La_China_1	2124.2.45.1	Río La China	2.35	2.35	0.07	0.32	0.02
Rio_La_China_2	2124.2.45.1	Río La China	17.44	17.44	0.55	2.36	0.11
Rio_La_China_3	2124.2.45.1	Río La China	1.00	17.21	0.54	2.33	0.11
	2124.2.45.3	Quebrada La Mina	16.21				
Rio_La_China_4	2124.2.45.1	Quebrada Pitala	1.14	118.11	3.72	15.98	0.77
	2124.2.45.1	Quebrada Sto. Domingo	0.04				
	2124.2.45.1	Río La China	115.19				
	2124.2.45.2	Quebrada La Vieja	0.10				
	2124.2.45.2	Quebrada Laguneta	0.26				
	2124.2.45.2	Quebrada Vallecita	1.38				
Rio_Totare_1	2124.2.23	Quebrada El Placer	1.50	1.50	0.05	0.20	0.01
Rio_Totare_2	2124.2	Río Totare	49.60	92.10	2.90	12.46	0.60
	2124.2.12	Quebrada Las Damas	1.99				
	2124.2.14	Quebrada La Estrella	0.53				
	2124.2.14.1	Quebrada El Queso	2.00				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
	2124.2.14.2	Quebrada La Noria	0.60				
	2124.2.31	Quebrada Hoyo Frio	0.03				
	2124.2.32	Quebrada El Silencio	1.19				
	2124.2.40	Quebrada Del Fierro	27.90				
	2124.2.41	Rio Cumina	5.35				
	2124.2.5	Quebrada El Oso	0.02				
	2124.2.7	Quebrada La Rica	2.88				
	2124.2	Río Totare	24.81				
Rio_Totare_3	2124.2.44	Quebrada Anunday	0.83	26.00	0.82	3.52	0.17
	2124.2.44.1	Quebrada Guamal	0.36				
Rio_Totare_4	2124.2	Río Totare	2.31	2.31	0.07	0.31	0.02
Rio_Totare_5	2124.2	Río Totare	22.08	43.73	1.38	5.92	0.29
	2124.2.47	Quebrada La Arenosa	21.64				
Total			**738.94**	**738.94**	**23.30**	**100**	**4.84**

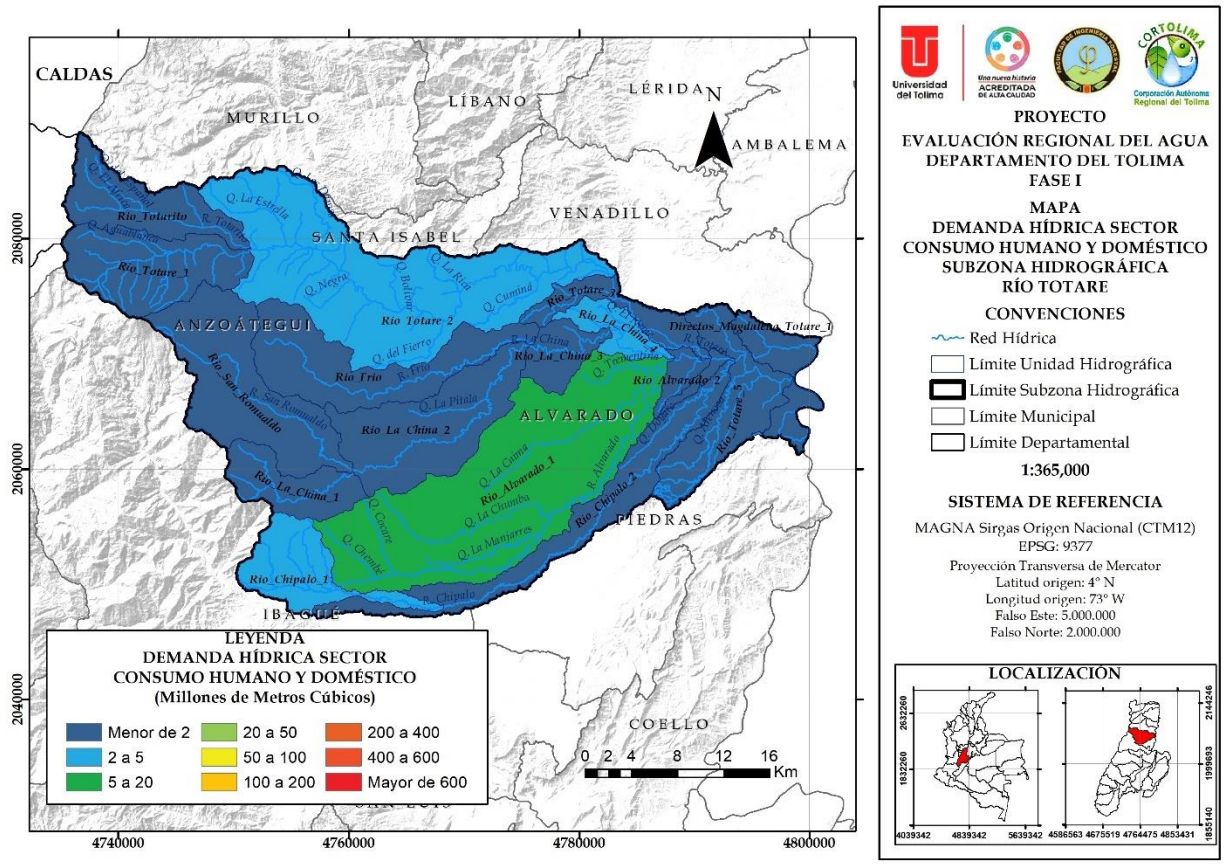


Figura 388. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.3. Uso Generación de Energía

En la Subzona Hidrográfica del río Totare la demanda hídrica para generación de energía corresponde a 225 l/s. El río Totare cubre la mayor demanda en un 49% con 110 l/s, lo cual corresponde a dos concesiones hídricas a nombre de Pedro José Prada Beltrán con 60 l/s y Oscar Gilberto Díaz Jiménez con 50 l/s. En la quebrada La Chumba solo se encuentra una concesión a nombre de Roberto Antonio Rengifo Machado con 60 l/s (27%) mientras que en la que en el río Chipalo la única concesión para este tipo de uso se encuentra a nombre de German, Guillermo, Jose Iván Sánchez Ramírez y Otros con 55 l/s equivalente al 24% de la demanda hídrica total (*Tabla 299*).

Tabla 299. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Generación de Energía (l/s)	DH. Generación de Energía (Mm³/año)	%
2124.2	Rio Totare	2	110.00	3.47	48.89

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Generación de Energía (l/s)	DH. Generación de Energía (Mm³/año)	%
2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	1	60.00	1.89	26.67
2124.2.46	Rio Chipalo	1	55.00	1.73	24.44
Total		**4**	**225.00**	**7.10**	**100**

En la UHA que se evidencia la mayor presión sobre el recurso hídrico es la UHA Rio_Totare_3 que comprende el 48.89% (110.00 l/s) del total de la demanda hídrica para consumo humano y domestico de esta Subzona Hidrográfica (*Tabla 300* y *Figura 389*).

Tabla 300. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Generación Energía (l/s)	UHA DH Generación Energía (l/s)	UHA DH Generación Energía (Mm³/año)	% DH Sector Generación Energía SZH	% DH Total SZH
Rio_Alvarado_1	2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	60	60.00	1.89	26.67	0.39
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	55	55.00	1.73	24.44	0.36
Rio_Totare_3	2124.2	Río Totare	110	110.00	3.47	48.89	0.72
Total			**225**	**225**	**7.10**	**100**	**1.47**

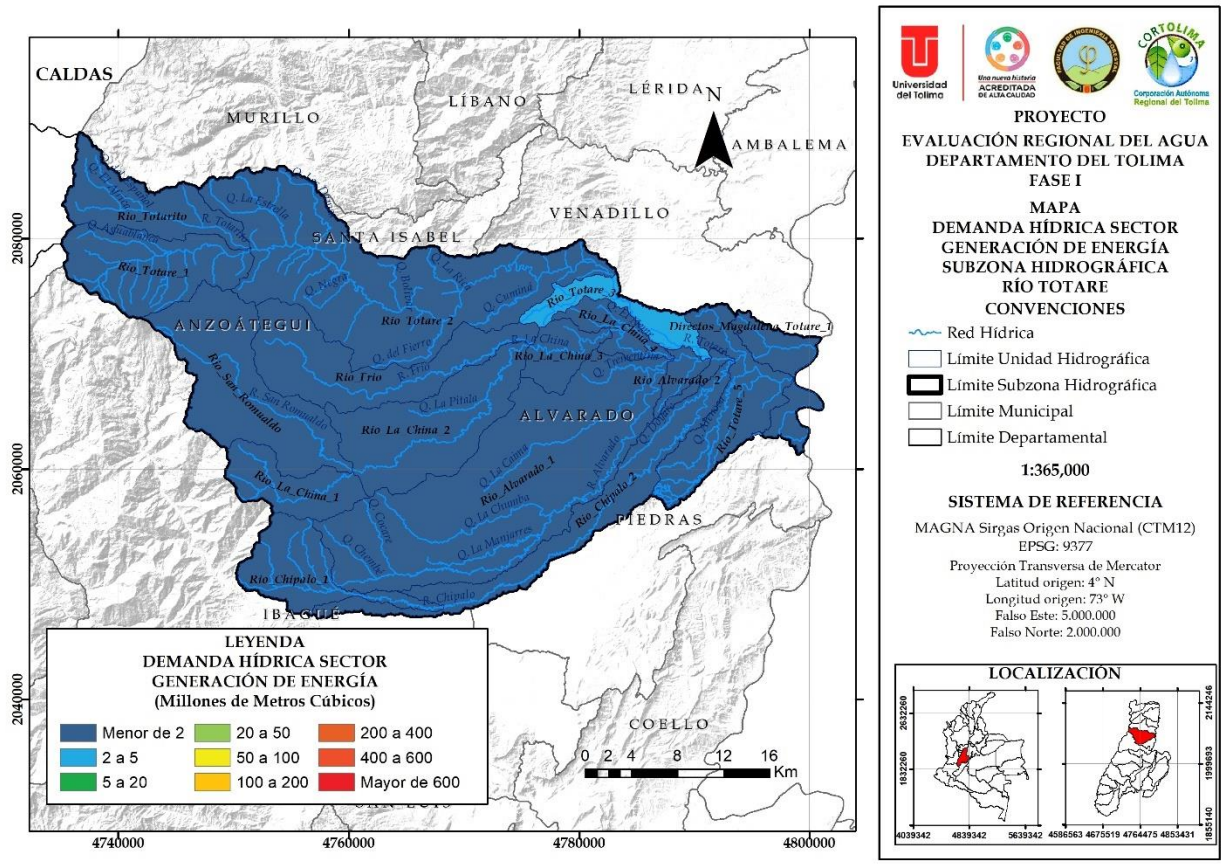


Figura 389. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.4. Uso Industrial

En la Subzona Hidrográfica del río Totare se demanda actualmente un total de 108.59 l/s para uso Industrial, principalmente del río Chipalo en 46.07 l/s, correspondiente al 42% de la demanda total y el río Alvarado en 44.60 l/s que equivale al 41% (*Tabla 301*). En el caso de los usuarios el principal demandante en el río Chipalo es Cemex Colombia S.A con 33.07 l/s, mientras que en el río Alvarado corresponde al Instituto Colombiano de Desarrollo Rural – Incoder actualmente denominado Agencia Nacional de Tierras (OCA-IDEA-UN) con 27.5 l/s.

Tabla 301. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2124.2	Rio Totare	3	15.7	0.50	14.5
2124.2.45.7	Rio Alvarado	4	44.6	1.41	41.1

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	1	0.22	0.01	0.2
2124.2.46	Rio Chipalo	4	46.07	1.45	42.4
2124.2.49	Quebrada Toquitoqui	1	2	0.06	1.8
Total		**13**	**108.59**	**3.42**	**100**

Entre las dos principales UHA en donde se concentra la mayor parte de la demanda hídrica para uso industrial, se encuentran las UHA Rio_Chipalo_1 y Rio_Alvarado_1, en las cuales se establece el 32.11% (34.87 l/s) y 25.53% (27.72 l/s), respectivamente, del total de la demanda hídrica para uso industrial de esta subzona hidrográfica (*Tabla 302*). En la *Figura 390* se evidencia la baja presión por el recurso que ejerce el sector industrial en toda la Subzona Hidrográfica del río Totare.

Tabla 302. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Rio_Alvarado_1	2124.2.45.7 2124.2.45.7.1	Río Alvarado Quebrada La Caima	27.5 0.2	27.72	0.87	25.53	0.18
Rio_Alvarado_2	2124.2.45.7	Río Alvarado	17.1	17.10	0.54	15.75	0.11
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	34.9	34.87	1.10	32.11	0.23
Rio_Chipalo_2	2124.2.46	Río Chipalo	11.2	11.20	0.35	10.31	0.07
Rio_Totare_2	2124.2	Río Totare	4.5	4.50	0.14	4.14	0.03
Rio_Totare_3	2124.2	Río Totare	11.2	11.20	0.35	10.31	0.07
Rio_Totare_5	2124.2.49	Quebrada Toquitoqui	2.0	2.00	0.06	1.84	0.01
Total			**108.59**	**108.59**	**3.42**	**100**	**0.7**

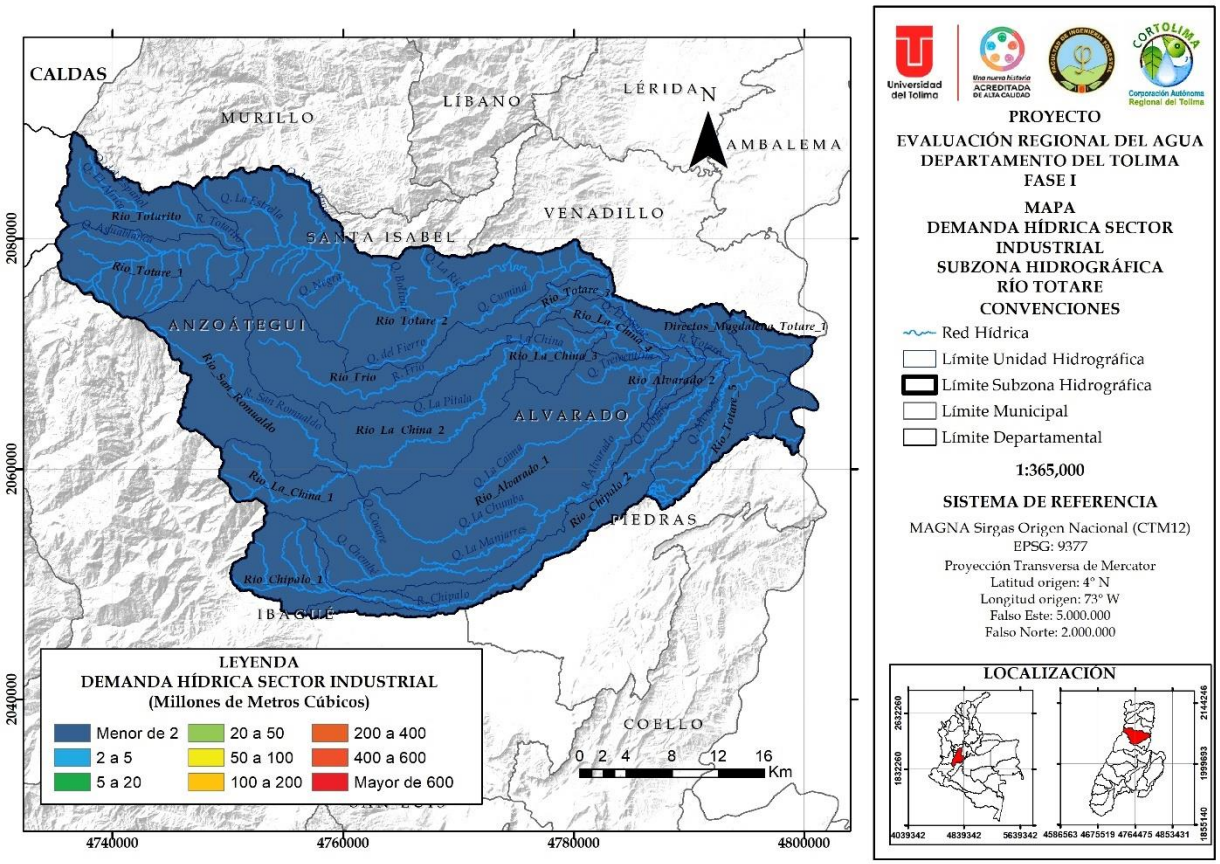


Figura 390. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.5. Uso Minería

La demanda para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Totare corresponde a 5 l/s únicamente, la cual se encuentra localizada en la fuente hídrica río Chipalo (*Tabla 303*) y se relaciona con una concesión a nombre de Feldespatos El Vergel y Cia S.A.S, otorgada bajo Resolución 3594 del 26 de octubre del 2017, según el reporte del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) y las bases de datos de Tasa por Uso de Agua y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA. Esta demanda se concentra en la UHA Rio_Chipalo_1 (*Tabla 304*) en la cual no se evidencia una presión significativa sobre el recurso hídrico de la SZH río Totare (*Figura 391*).

Tabla 303. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
2124.2.46	Rio Chipalo	1	5.00	0.16	100

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
Total		**1**	**5.00**	**0.16**	**100**

Tabla 304. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (Mm³/año)	% DH Sector Minería SZH	% DH Total SZH
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	5.00	5.00	0.16	100	0.03
Total			**5.00**	**5.00**	**0.16**	**100**	**0.03**

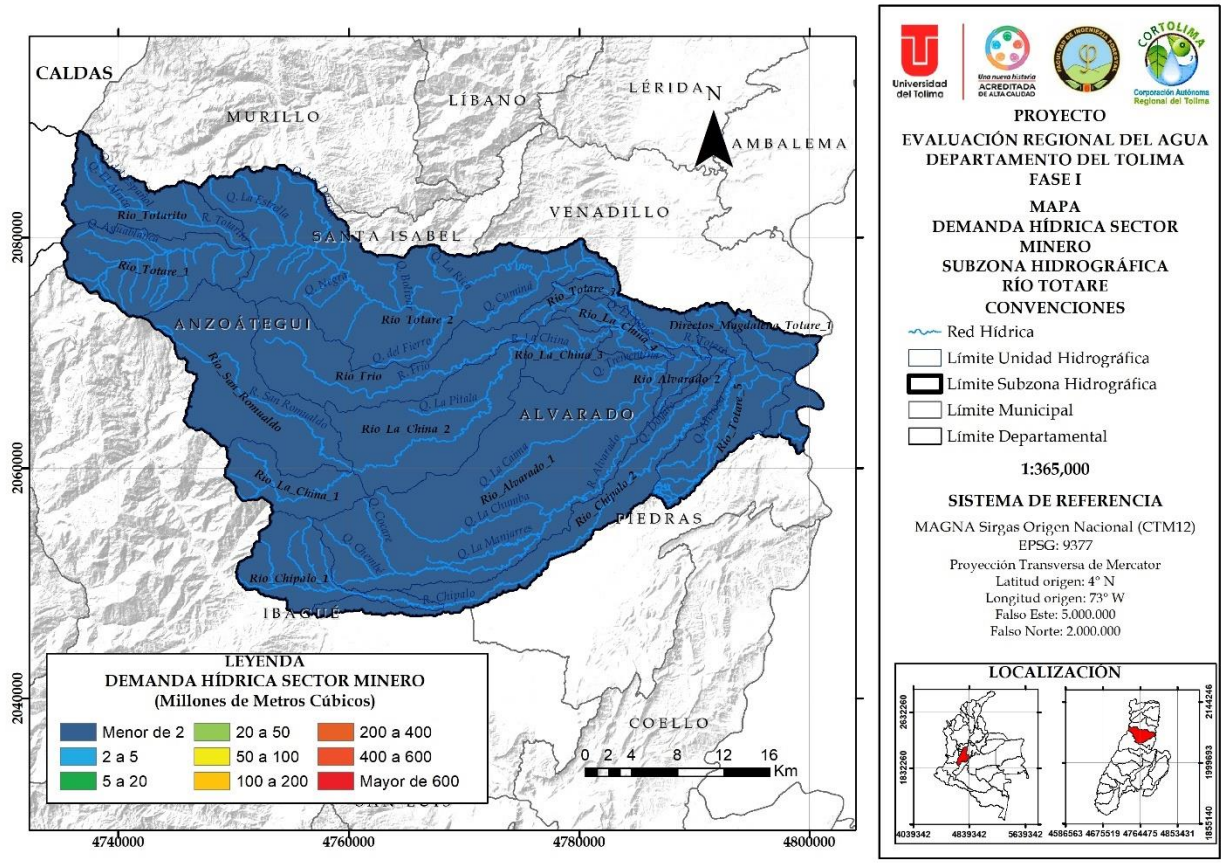


Figura 391. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.6. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Totare se demandan 396.84 l/s, de los cuales el 63% (250.09 l/s) corresponden al río La China y el 27% (106.67 l/s) al río Totare (*Tabla 305*). De estas fuentes hídricas, los usuarios con mayor demanda son la sociedad Cultivos Casa S.A.S, en el caso del río La China, con 200 l/s y, en el río Totare, Inversiones Agrocasita S.A.S con 40 l/s.

Tabla 305. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2124.2	Rio Totare	12	106.67	3.36	26.9
2124.2.14	Quebrada La Estrella	1	0.03	0.00	0.0
2124.2.45	Rio La China	6	250.09	7.89	63.0
2124.2.45.1.5	Quebrada Pitala	1	0.2	0.01	0.1
2124.2.45.2.3	Quebrada Vallecita	1	1.33	0.04	0.3
2124.2.45.2.5	Quebrada La Vieja	2	0.5	0.02	0.1
2124.2.45.7	Rio Alvarado	9	9.71	0.31	2.4
2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	1	6.96	0.22	1.8
2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	9	6.42	0.20	1.6
2124.2.45.7.3	Quebrada Manjarres	2	1.55	0.05	0.4
2124.2.46	Rio Chipalo	5	13.35	0.42	3.4
2124.2.47	Quebrada La Arenosa	1	0.03	0.00	0.0
Total		**50**	**396.84**	**12.51**	**100**

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) la mayor presión por el uso del agua para el sector pecuario se establece en la UHA Rio_La_China_4 la cual integra el 63.51% (252.03 l/s) de la demanda hídrica pecuaria de esta Subzona Hidrográfica. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 392* en donde se presenta la distribución espacial del volumen de agua demandada por cada UHA.

Tabla 306. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare.

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Rio_Alvarado_1	2124.2.45.7	Río Alvarado	9.71	24.64	0.78	6.21	0.16

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
	2124.2.45.7.1	Quebrada La Caima	6.96				
	2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	6.42				
	2124.2.45.7.3	Quebrada Manjarres	1.55				
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00
Rio_Chipalo_2	2124.2.46	Río Chipalo	13.32	13.32	0.42	3.36	0.09
Rio_La_China_2	2124.2.45.1	Río La China	0.09	0.09	0.00	0.02	0.00
Rio_La_China_4	2124.2.45.1	Quebrada Pitala	0.20	252.03	7.95	63.51	1.65
	2124.2.45.1	Río La China	250.00				
	2124.2.45.2	Quebrada La Vieja	0.50				
	2124.2.45.2	Quebrada Vallecita	1.33				
Rio_Totare_2	2124.2	Río Totare	0.60	0.63	0.02	0.16	0.00
	2124.2.14	Quebrada La Estrella	0.03				
Rio_Totare_3	2124.2	Río Totare	105.24	105.24	3.32	26.52	0.69
Rio_Totare_4	2124.2	Río Totare	0.83	0.83	0.03	0.21	0.01
Rio_Totare_5	2124.2.47	Quebrada La Arenosa	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00
Total			**396.84**	**396.84**	**12.51**	**100**	**2.6**

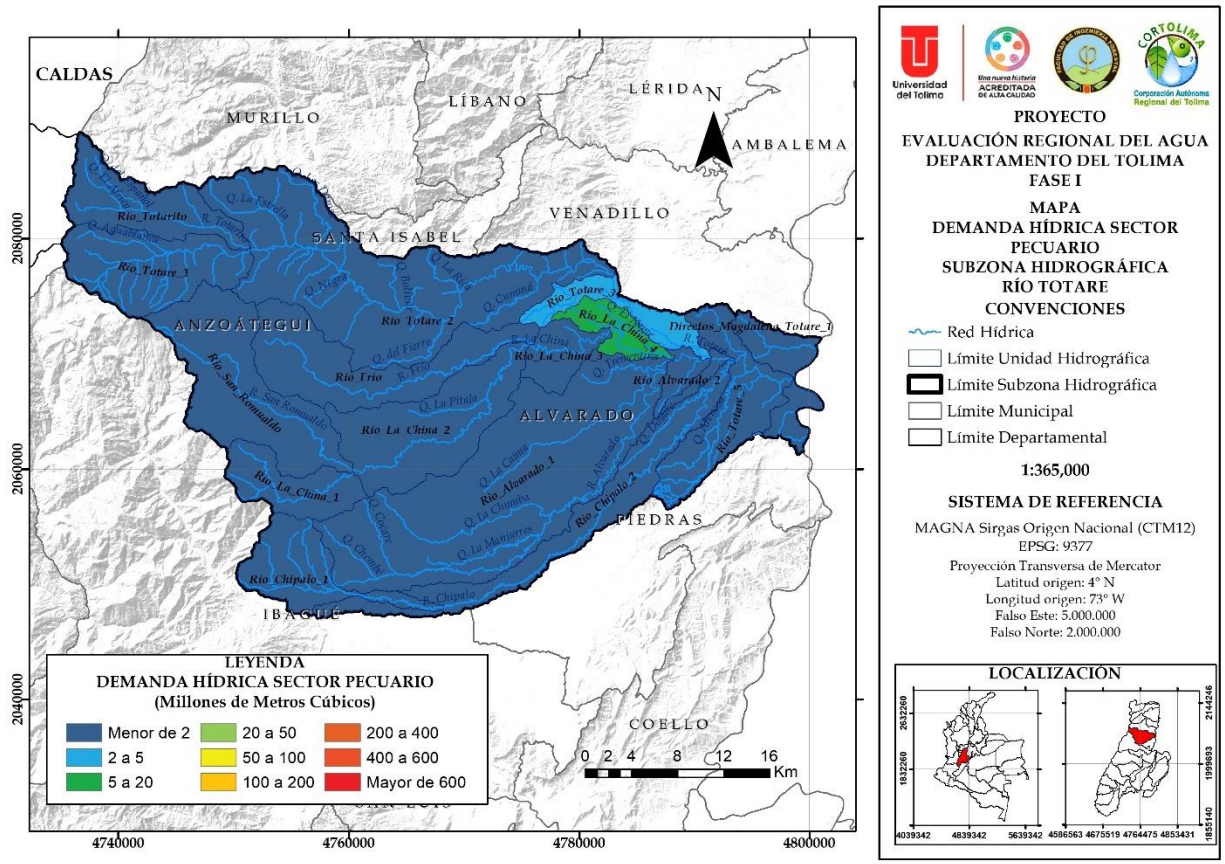


Figura 392. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.7. Uso Piscícola

En la Subzona Hidrográfica del río Totare la demanda para uso Piscícola corresponde a 133.76 l/s, correspondiente a la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta demanda hídrica concesionada se concentrada principalmente en el río Alvarado con 42.16 l/s (31.5%) y el río La China con 35.09 l/s (26.2 %) (*Tabla 307*). El Instituto Colombiano de Desarrollo Rural – Incoder hoy Agencia Nacional de Tierras (OCA-IDEA-UN) es el mayor demandante en el río Alvarado con 27.5 l/s, mientras que José Carmelo Castillo Murcia es el del río La China con 25 l/s.

Tabla 307. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2124.2	Rio Totare	6	14.14	0.45	10.6

2124.2.44.2	Quebrada La Chapa	1	1	0.03	0.7
2124.2.45	Rio La China	5	35.09	1.11	26.2
2124.2.45.1.5	Quebrada Pitala	1	0.05	0.00	0.0
2124.2.45.7	Rio Alvarado	7	42.16	1.33	31.5
2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	3	2.21	0.07	1.7
2124.2.46	Rio Chipalo	2	13.51	0.43	10.1
2124.2.48	Quebrada Guarapo	1	25.6	0.81	19.1
Total		**26**	**133.76**	**4.22**	**100**

En relación con las UHA, la demanda del sector piscícola se concentra principalmente en la UHA Rio_Alvarado_1 con 44.37 l/s correspondientes al 33.17% de la demanda hídrica total de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Totare. La *Figura 393* permite identificar que, en general, la presión por el uso del agua ejercida por el sector piscícola de la zona es relativamente baja con valores inferiores a 2 Mm3/año (158.5 l/s)

Tabla 308. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Alvarado_1	2124.2.45.7	Río Alvarado	42.16	44.37	1.40	33.17	0.29
	2124.2.45.7.2	Quebrada La Chumba	2.21				
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	13.51	13.51	0.43	10.10	0.09
Rio_La_China_1	2124.2.45.1	Río La China	25.00	25.00	0.79	18.69	0.16
Rio_La_China_2	2124.2.45.1	Río La China	0.09	0.09	0.00	0.07	0.00
Rio_La_China_4	2124.2.45.1	Quebrada Pitala	0.05	10.05	0.32	7.51	0.07
	2124.2.45.1	Río La China	10.00				
Rio_Totare_2	2124.2	Río Totare	0.13	0.13	0.00	0.10	0.00
Rio_Totare_3	2124.2	Río Totare	14.01	15.01	0.47	11.22	0.10
	2124.2.44.2	Quebrada La Chapa	1.00				
Rio_Totare_5	2124.2.48	Quebrada Guarapo	25.60	25.60	0.81	19.14	0.17
Total			**133.76**	**133.76**	**4.22**	**100**	**0.88**

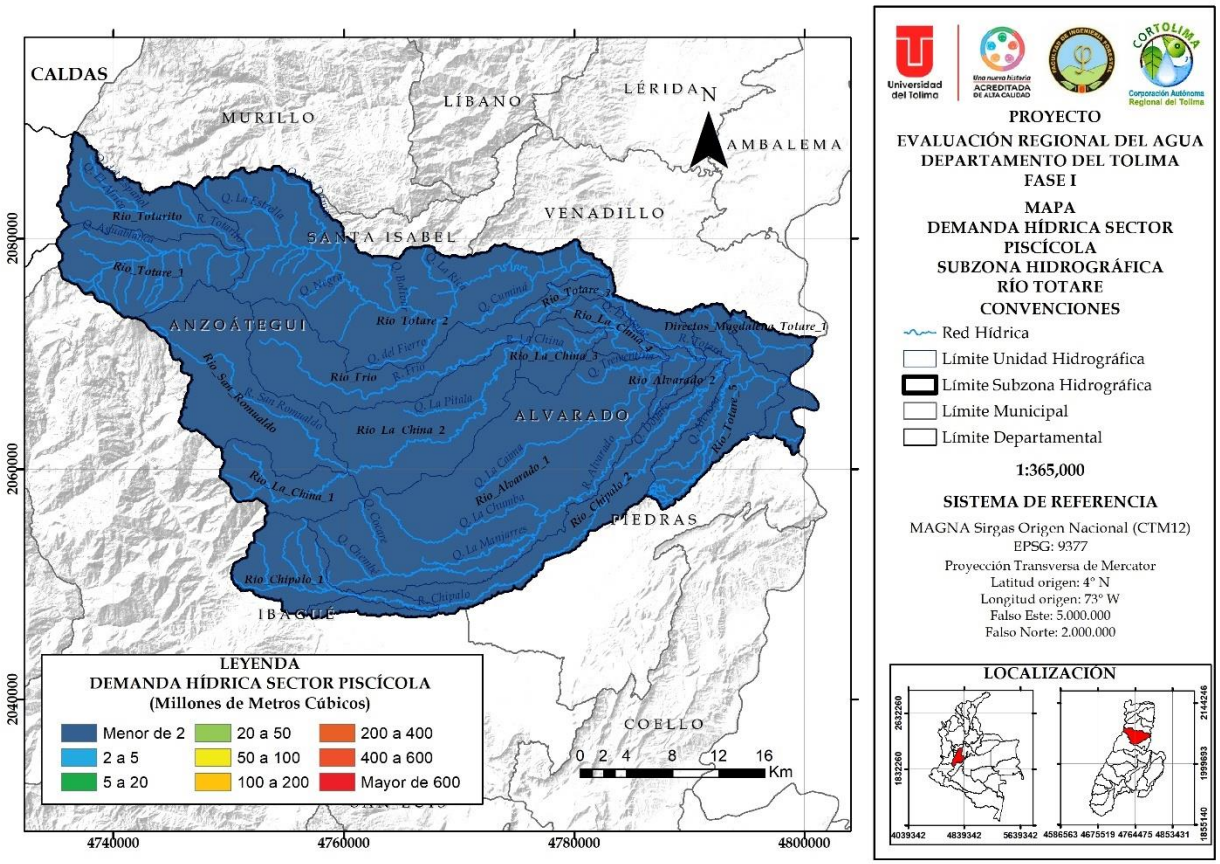


Figura 393. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.3.8. Uso Recreativo

De acuerdo con la *Tabla 309*, en la Subzona Hidrográfica del río Totare se demandan 177 l/s para uso Recreativo, de los cuales el río Chipalo concentra el 88% de esta demanda con 150 l/s, concesión otorgada a la Universidad de Ibagué bajo Resolución 29 del 6 de febrero de 2012.

Tabla 309. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Recreativo (l/s)	DH. Recreativo (Mm³/año)	%
2124.2.45.7	Rio Alvarado	2	27	0.85	15
2124.2.46	Rio Chipalo	1	150	4.73	85
Total		**3**	**177**	**5.58**	**100**

Esta demanda se distribuye únicamente en dos UHA tal como se presenta en la *Tabla 310*, sin embargo, en la que se evidencia la mayor presión por el uso del recurso hídrico es en la UHA Rio_Chipalo_1, la cual cubre el 84.75% del total de la demanda hídrica para uso recreativo de la Subzona Hidrográfica del río Totare (*Figura 394*).

Tabla 310. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Recreativo (l/s)	UHA DH Recreativo (l/s)	UHA DH Recreativo (Mm³/año)	% DH Sector Recreativo SZH	% DH Total SZH
Rio_Alvarado_1	2124.2.45.7	Río Alvarado	27	27.00	0.85	15.25	0.18
Rio_Chipalo_1	2124.2.46	Río Chipalo	150	150.00	4.73	84.75	0.98
Total			**177**	**177**	**5.58**	**100**	**1.16**

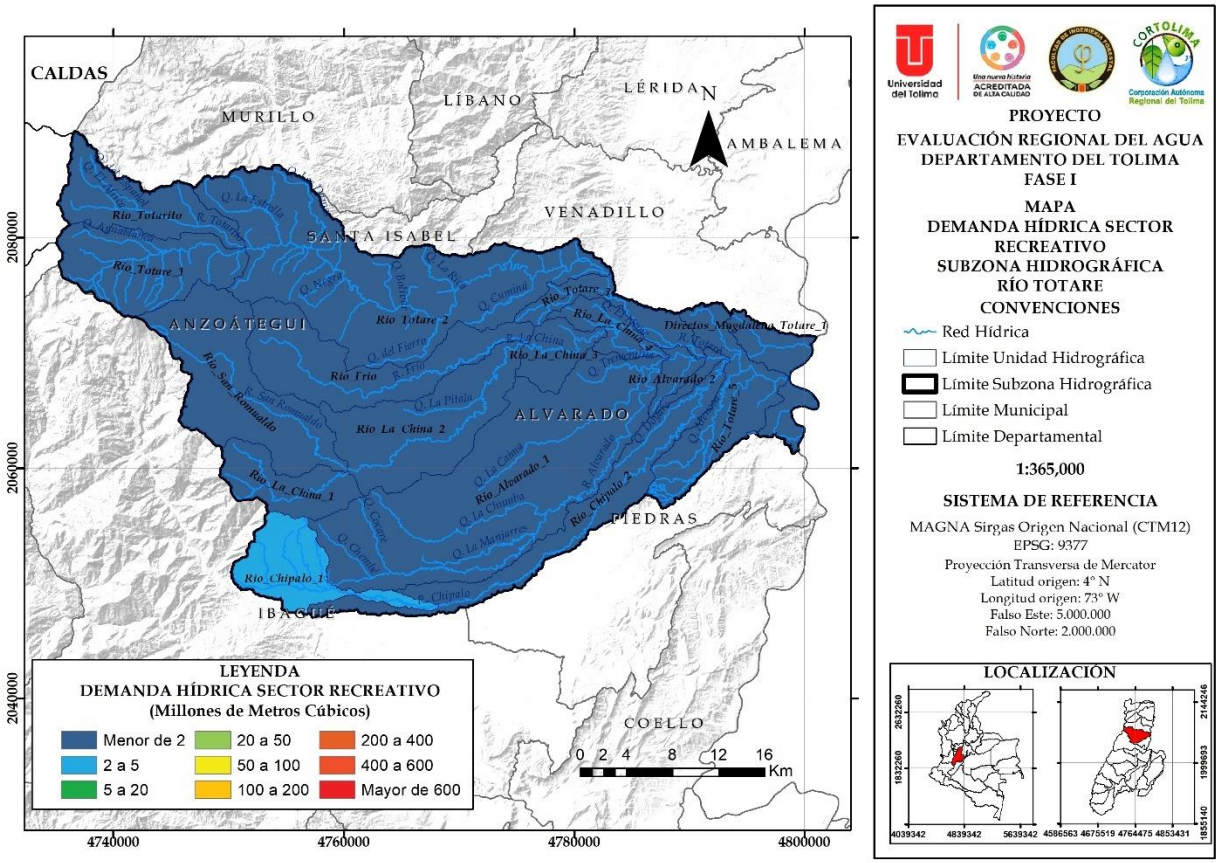


Figura 394. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Totare

20.4. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo se estima en 17278.01 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 311*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 311. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	50	3686.43
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	1	0.50
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	10	10870.05
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	2	7.75
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Piscícola - Recreación	1	1.05
Agrícola - Pecuario	12	256.46
Agrícola - Piscícola	2	96.00
Consumo Humano y Doméstico	43	49.75
Consumo Humano y Doméstico - Industrial	2	2291.50
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	4	4.91
Consumo Humano y Doméstico - Recreativo	1	0.03
Industrial	2	4.39
Pecuario	3	9.19
Total	**133**	**17278.01**

En la *Tabla 312* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo. Se determina que la demanda se concentra principalmente en el río Recio en un 78.3% (13523.88 l/s) y el río Venadillo en un 19% (3288.51 l/s), las demás fuentes hídricas solo suplen el 2.7% (465.62 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica.

Tabla 312. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2125.01.1	Río Recio	13523.88	426.49	78.27
2125.01.2	Río Venadillo	3288.51	103.71	19.03
2125-01.1.13	Rio La Yuca	5.01	0.16	0.03
2125-01.1.3	Quebrada La Honda	1.63	0.05	0.01
2125-01.1.3.4	Quebrada El Aguador	8	0.25	0.05
2125-01.1.3.5	Quebrada El Tigre	1.09	0.03	0.01
2125-01.1.4	Quebrada Santa Rosa	0.03	0	0.00
2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	1.25	0.04	0.01
2125-01.1.7	Quebrada El Oso	4.09	0.13	0.02
2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	92.15	2.91	0.53
2125-01.2.2	Rio Palmar	330.68	10.43	1.91
2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	4.48	0.14	0.03
2125-01.2.2.3	Quebrada Purgatorio	0.8	0.03	0.00
2125-01.2.2.6	Quebrada San Antonio	0.63	0.02	0.00
2125-01.2.9	Rio Manura	1.05	0.03	0.01
2125-01.3	Directos Magdalena	14.74	0.46	0.09
Total		**17278.01**	**544.88**	**100**

En la ERA se definieron para esta Subzona 12 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) (*Figura 395*). En la *Tabla 262* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA definida. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en la UHA Rio_Recio_5 con el 63.76% (11016.00 l/s). En la *Figura 396* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) en la Subzona Hidrográfica del Recio y Venadillo. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013).

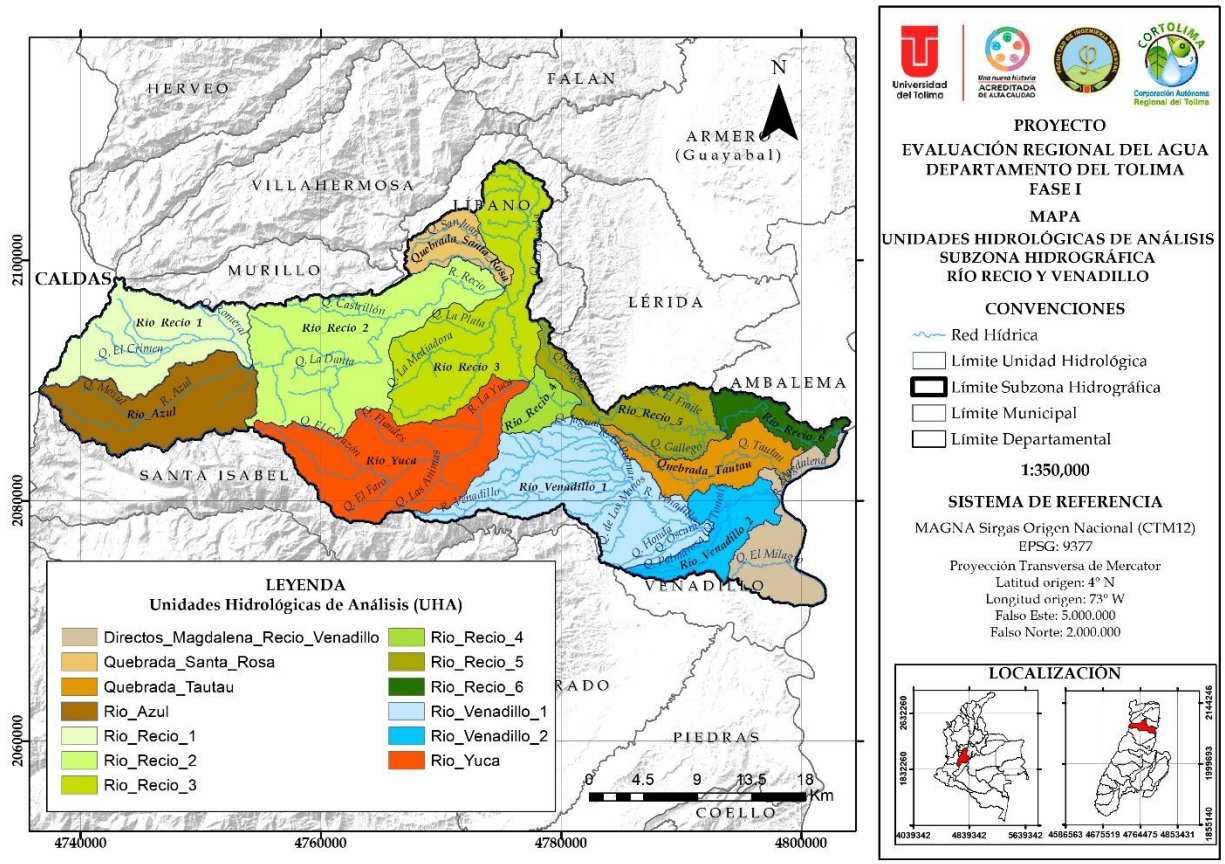


Figura 395. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Tabla 313. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Quebrada_Santa_Rosa	2125-01.1.4	Quebrada Santa Rosa	0.03	1.28	0.04	0.01
	2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	1.25			
Quebrada_Tautau	2125-01.3	Directos Magdalena	14.74	14.74	0.46	0.09
Rio_Recio_1	2125-01.1.7	Quebrada El Oso	4.09	4.09	0.13	0.02
Rio_Recio_2	2125.01.1	Río Recio	3.28	3.28	0.10	0.02
Rio_Recio_3	2125.01.1	Río Recio	4.99	15.71	0.50	0.09
	2125-01.1.3	Quebrada La Honda	1.63			
	2125-01.1.3.4	Quebrada El Aguador	8.00			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
	2125-01.1.3.5	Quebrada El Tigre	1.09			
Rio_Recio_5	2125.01.1	Río Recio	11016.00	11016.00	347.40	63.76
Rio_Recio_6	2125.01.1	Río Recio	2499.60	2499.60	78.83	14.47
	2125.01.2	Río Venadillo	411.87			
	2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	92.15			
	2125-01.2.2	Rio Palmar	330.68			
Rio_Venadillo_1	2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	4.48	841.65	26.54	4.87
	2125-01.2.2.3	Quebrada Purgatorio	0.80			
	2125-01.2.2.6	Quebrada San Antonio	0.63			
	2125-01.2.9	Rio Manura	1.05			
Rio_Venadillo_1	2125.01.2	Río Venadillo	2876.64	2876.64	90.72	16.65
Rio_Yuca	2125-01.1.13	Rio La Yuca	5.01	5.01	0.16	0.03

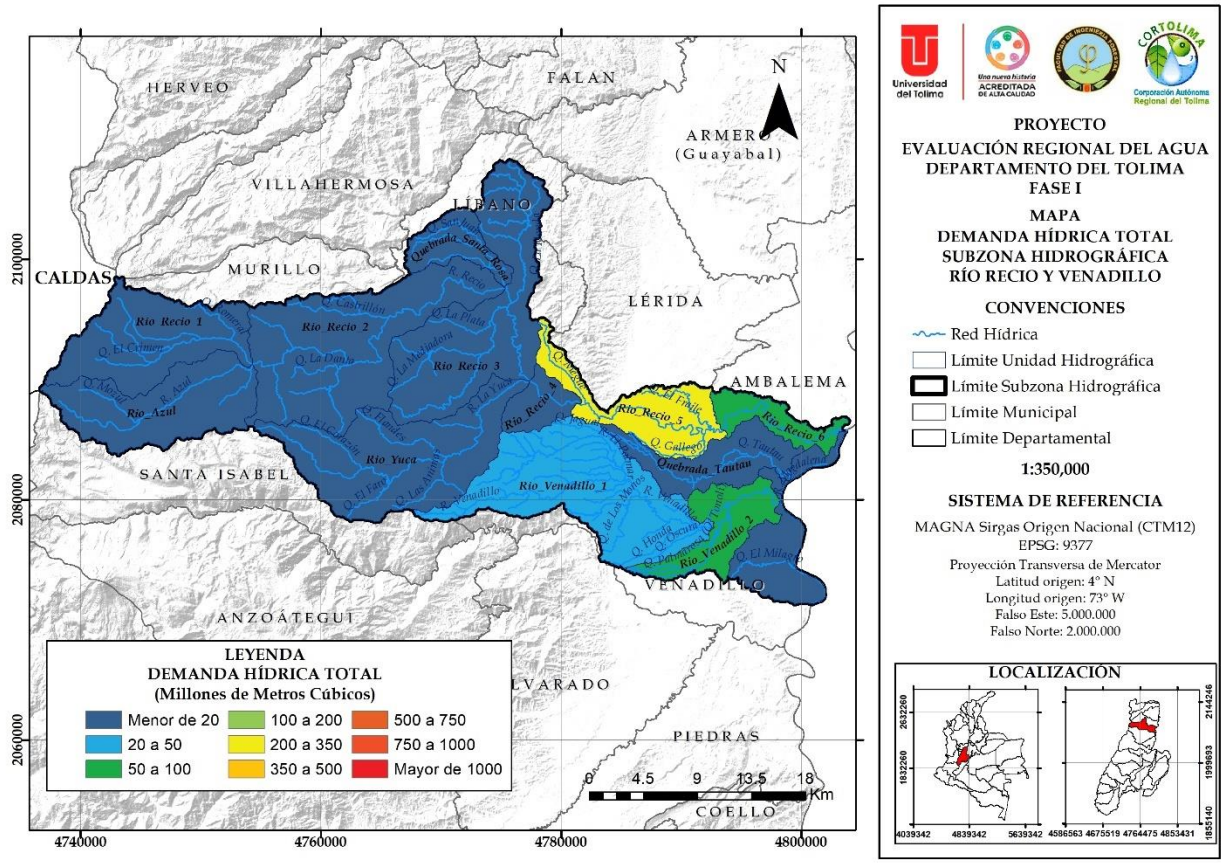


Figura 396. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.4.1. Uso Agrícola

Considerando los usos establecidos en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los señalados en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la TUA como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos. Con base en lo anterior, la demanda agrícola para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo se determina en 7682.99 l/s, de los cuales el río Recio participa con el 53% (4079.27 l/s) y el río Venadillo con el 42% (3218.15 l/s) (*Tabla 314*). La Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras Río Recio – ASORRECIO es la mayor demandante del recurso hídrico del río Recio con 3566.67 l/s, mientras tanto la Organización Pajonales S.A.S es del río Venadillo con 2622 l/s.

Tabla 314. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2125-01.1	Rio Recio	6	4079.27	128.64	53.1
2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	1	0.6	0.02	0.01
2125-01.2	Rio Venadillo	23	3218.15	101.49	41.9
2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	3	84.15	2.65	1.1
2125-01.2.2	Rio Palmar	42	296.55	9.35	3.9
2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	1	1	0.03	0.01
2125-01.2.9	Rio Manura	1	0.26	0.01	0.003
2125-01.3	Directos Magdalena	1	3.01	0.09	0.04
Total		**78**	**7682.99**	**242.29**	**100**

La distribución del caudal demandando para uso agrícola por cada UHA se presenta en la *Tabla 315*. Se evidencia que entre las UHA Rio_Recio_5 y Rio_Venadillo_2 se concentra el 87.15% del total de la demanda de agua destinado para uso agrícola en esta subzona hidrográfica, con caudales de 3868.67 l/s y 2827.60 l/s, respectivamente. En la *Figura 397* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados en cada UHA. Se identifica que la mayor presión por uso del recurso para el sector agrícola la ejercen los municipios de Lérida, Venadillo y Ambalema.

Tabla 315. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm^3/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Santa_Rosa	2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	0.60	0.60	0.02	0.01	0.00
Quebrada_Tautau	2125-01.3	Directos Magdalena	3.01	3.01	0.09	0.04	0.02
Rio_Recio_5	2125.01.1	Río Recio	3868.67	3868.67	122.00	50.35	22.39
Rio_Recio_6	2125.01.1	Río Recio	210.60	210.60	6.64	2.74	1.22
	2125.01.2	Río Venadillo	390.55				
	2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	84.15				
Rio_Venadillo_1	2125-01.2.2	Rio Palmar	296.55	772.51	24.36	10.05	4.47
	2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	1.00				
	2125-01.2.9	Rio Manura	0.26				
Rio_Venadillo_2	2125.01.2	Río Venadillo	2827.60	2827.60	89.17	36.80	16.37
Total			**7682.99**	**7682.99**	**242.29**	**100**	**44.47**

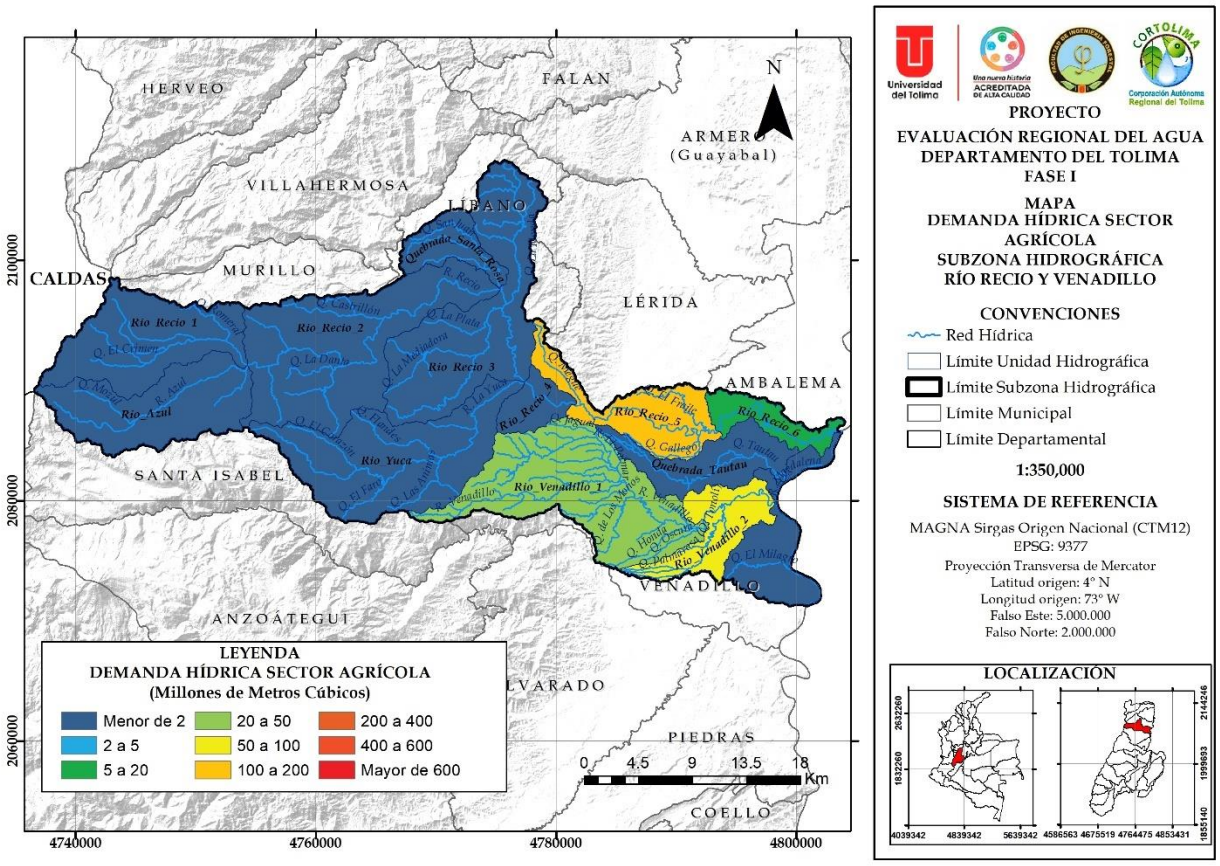


Figura 397. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.4.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. Se estima que para la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo la demanda para Consumo Humano y Doméstico corresponde a 4775.46 l/s, la cual se concentra en un 98.9% en el río Recio con 4722.6 l/s (*Tabla 316*), cuyos principales demandantes son la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras Río Recio – ASORRECIO con 3566.67 l/s y la Organización Pajonales S.A.S con 1144.5 l/s.

Tabla 316. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2125-01.1	Rio Recio	11	4722.6	148.93	98.9

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2125-01.1.13	Rio La Yuca	3	5.01	0.16	0.1
2125-01.1.3	Quebrada La Honda	3	1.63	0.05	0.03
2125-01.1.3.4	Quebrada El Aguador	3	8	0.25	0.2
2125-01.1.3.5	Quebrada El Tigre	1	1.09	0.03	0.02
2125-01.1.4	Quebrada Santa Rosa	1	0.02	0.00	0.00
2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	2	0.04	0.00	0.00
2125-01.1.7	Quebrada El Oso	2	4.09	0.13	0.1
2125-01.2	Rio Venadillo	8	12.48	0.39	0.3
2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	1	3	0.09	0.1
2125-01.2.2	Rio Palmar	21	5.44	0.17	0.1
2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	2	2.95	0.09	0.1
2125-01.2.2.3	Quebrada Purgatorio	1	0.8	0.03	0.02
2125-01.2.2.6	Quebrada San Antonio	1	0.63	0.02	0.01
2125-01.2.9	Rio Manura	1	0.26	0.01	0.01
2125-01.3	Directos Magdalena	3	7.43	0.23	0.2
Total		**64**	**4775.46**	**150.60**	**100**

En relación con las UHA donde se evidencia la mayor demanda hídrica para consumo humano y doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Vendadillo, se determina que estas corresponden, en su orden, a la UHA Rio_Recio_5 con el 74.77% (3570.67 l/s) y la UHA Rio_Recio_6 con el 23.97% (1144.50 l/s) (*Tabla 317*). En la *Figura 398* se puede evidenciar a través de la escala de colores sugeridos por el IDEAM (2013) el grado de presión que ejerce la demanda de estas UHA sobre el recurso hídrico de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo.

Tabla 317. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Santa_Rosa	2125-01.1.4	Quebrada Santa Rosa	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
	2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	0.04				
Quebrada_Tautau	2125-01.3	Directos Magdalena	7.43	7.43	0.23	0.16	0.04
Rio_Recio_1	2125-01.1.7	Quebrada El Oso	4.09	4.09	0.13	0.09	0.02
Rio_Recio_2	2125.01.1	Río Recio	2.44	2.44	0.08	0.05	0.01
Rio_Recio_3	2125.01.1	Río Recio	4.99	15.71	0.50	0.33	0.09
	2125-01.1.3	Quebrada La Honda	1.63				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
	2125-01.1.3.4	Quebrada El Aguador	8.00				
	2125-01.1.3.5	Quebrada El Tigre	1.09				
Rio_Recio_5	2125.01.1	Río Recio	3570.67	3570.67	112.60	74.77	20.67
Rio_Recio_6	2125.01.1	Río Recio	1144.50	1144.50	36.09	23.97	6.62
	2125.01.2	Río Venadillo	6.44				
	2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	3.00				
	2125-01.2.2	Rio Palmar	5.44				
Rio_Venadillo_1	2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	2.95	19.52	0.62	0.41	0.11
	2125-01.2.2.3	Quebrada Purgatorio	0.80				
	2125-01.2.2.6	Quebrada San Antonio	0.63				
	2125-01.2.9	Rio Manura	0.26				
Rio_Venadillo_2	2125.01.2	Río Venadillo	6.04	6.04	0.19	0.13	0.03
Rio_Yuca	2125-01.1.13	Rio La Yuca	5.01	5.01	0.16	0.10	0.03
Total			**4775.46**	**4775.46**	**150.6**	**100**	**27.62**

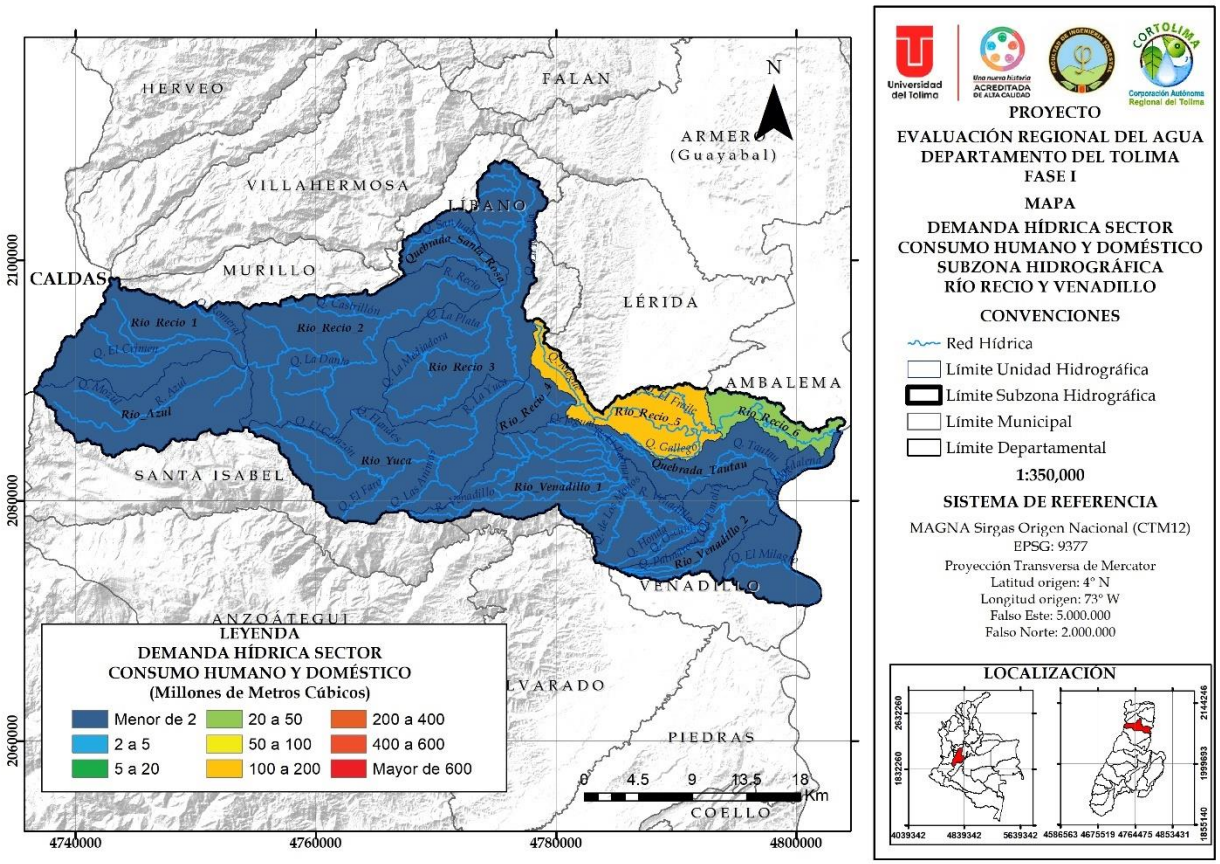


Figura 398. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.4.3. Uso Industrial

La demanda industrial en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo es de 1150.18 l/s, los cuales son captados principalmente del río Recio en un 99.6% (1145.34 l/s) (*Tabla 318*). De acuerdo con la base de datos de concesiones hídricas de CORTOLIMA, la Organización Pajonales S.A.S es la mayor demandante en este sector con 1144.5 l/s. *Tabla 318*

Tabla 318. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2125-01.1	Rio Recio	2	1145.34	36.12	99.6
2125-01.2	Rio Venadillo	1	3.55	0.11	0.3
2125-01.3	Directos Magdalena	1	1.29	0.04	0.1
Total		**4**	**1150.18**	**36.27**	**100**

De acuerdo con la *Tabla 319* la UHA en donde se presenta la mayor demanda de agua para uso industrial es en la UHA Rio_Recio_6 con el 99.51% (1144.50 l/s). La representación espacial de los volúmenes de agua demandados para uso industrial en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo se presenta en la *Figura 399*.

Tabla 319. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm^3/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Tautau	2125-01.3	Directos Magdalena	1.29	1.29	0.04	0.11	0.01
Rio_Recio_2	2125.01.1	Río Recio	0.84	0.84	0.03	0.07	0.00
Rio_Recio_6	2125.01.1	Río Recio	1144.50	1144.50	36.09	99.51	6.62
Rio_Venadillo_1	2125.01.2	Río Venadillo	3.55	3.55	0.11	0.31	0.02
Total			**1150.18**	**1150.18**	**36.27**	**100**	**6.65**

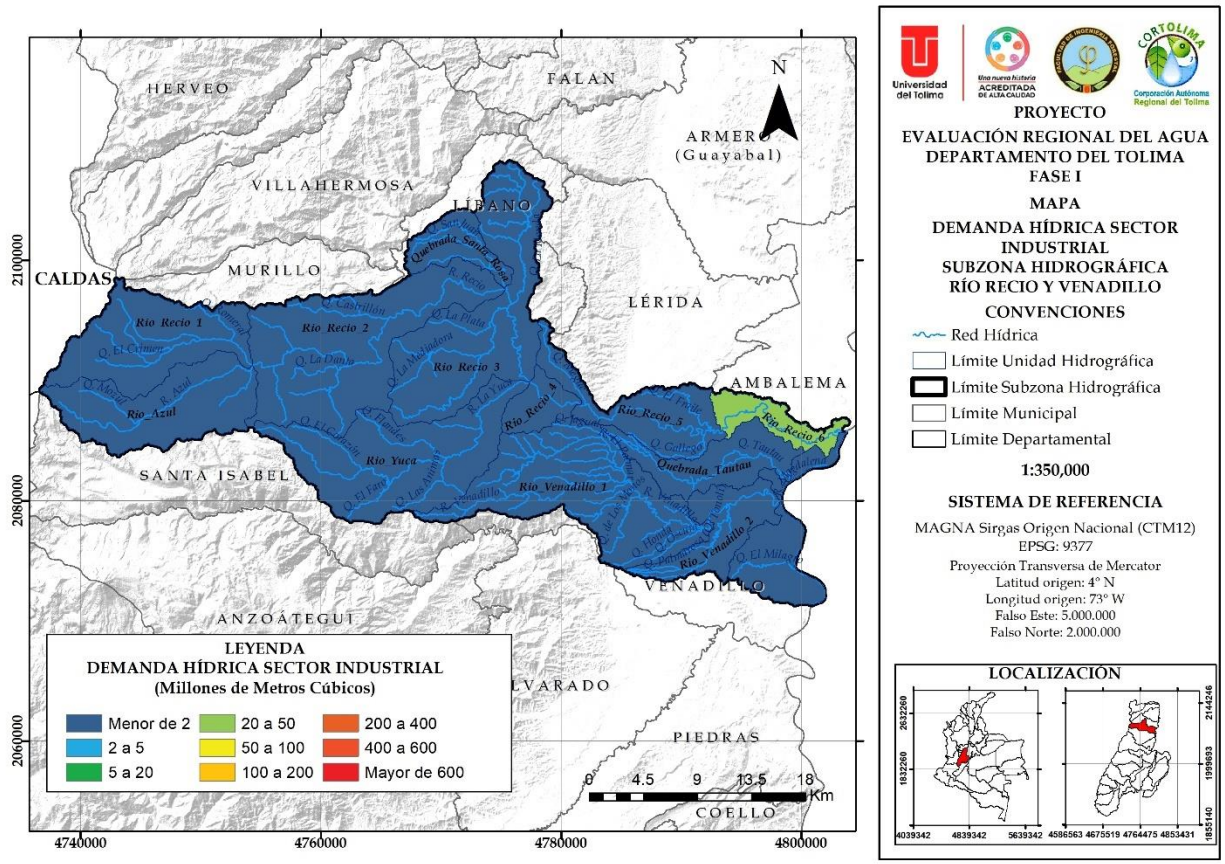


Figura 399. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.4.4. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo se demandan un total de 3629.94 l/s, de los cuales el 98.5% (3576.67 l/s) corresponden al río Recio (*Tabla 320*). La Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras Río Recio – ASORRECIO es la mayor demandante del recurso hídrico para este uso con una concesión de 3566.66 l/s.

Tabla 320. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2125-01.1	Rio Recio	2	3576.67	112.79	98.5
2125-01.1.4	Quebrada Santa Rosa	1	0.02	0.00	0.001

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	1	0.6	0.02	0.02
2125-01.2	Rio Venadillo	8	18.33	0.58	0.5
2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	1	5	0.16	0.1
2125-01.2.2	Rio Palmar	16	26.29	0.83	0.7
2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	1	0.03	0.00	0.001
2125-01.3	Directos Magdalena	1	3.01	0.09	0.1
Total		**31**	**3629.94**	**114.47**	**100**

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) se observa que la mayor presión por uso del recuso por el sector pecuario se exhibe en la UHA Rio_Recio_5 la cual integra el 98.53% (3576.67 l/s) de la demanda hídrica pecuaria de esta Subzona Hidrográfica. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 400* en la cual se representa espacialmente la presión por el uso del agua por cada UHA.

Tabla 321. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Santa_Rosa	2125-01.1.4	Quebrada Santa Rosa	0.02	0.62	0.02	0.02	0.00
	2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	0.60				
Quebrada_Tautau	2125-01.3	Directos Magdalena	3.01	3.01	0.09	0.08	0.02
Rio_Recio_5	2125.01.1	Río Recio	3576.67	3576.67	112.79	98.53	20.70
Rio_Venadillo_1	2125.01.2	Río Venadillo	11.33	42.64	1.34	1.17	0.25
	2125-01.2.10.1	Quebrada Los Monos	5.00				
	2125-01.2.2	Rio Palmar	26.29				
	2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	0.03				
Rio_Venadillo_2	2125.01.2	Río Venadillo	7.00	7.00	0.22	0.19	0.04
Total			**3629.94**	**3629.94**	**114.47**	**100**	**21.01**

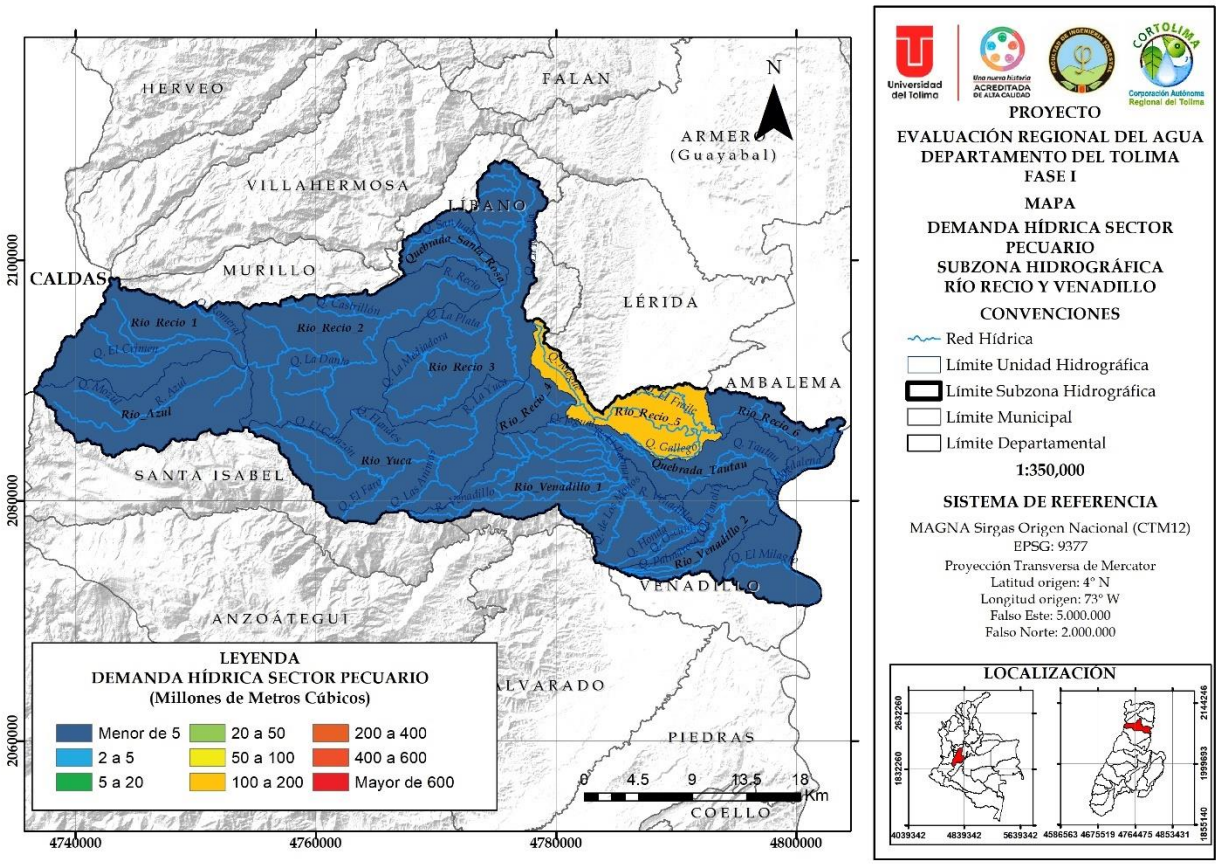


Figura 400. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.4.5. Uso Piscícola

En la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo la demanda para uso Piscícola corresponde a 39.16 l/s. El 91.9% de esta demanda se localiza en el río Venadillo con 36 l/s (*Tabla 322*), lo cuales corresponden a la concesión otorgada a la Hacienda Vile S.A antes Hacienda Vile E.U, bajo Resolución 125 del 27 de junio de 2008, según el reporte del Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH) y las bases de datos de Tasa por Uso del Agua y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA.

Tabla 322. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2125-01.2	Rio Venadillo	2	36	1.14	91.93
2125-01.2.2	Rio Palmar	1	2.4	0.08	6.13
2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	1	0.5	0.02	1.28

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2125-01.2.9	Rio Manura	1	0.26	0.01	0.66
Total		**5**	**39.16**	**1.24**	**100**

En relación con las UHA, la demanda del sector piscícola se presenta principalmente en la UHA Rio_Venadillo_2 con 36 l/s correspondientes al 91.92% del total de la demanda hídrica de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo. La *Figura 401* permite identificar que la presión por el uso del agua ejercida por el sector piscícola de la zona es relativamente baja con valores inferiores a 2 Mm³/año (63.4 l/s).

Tabla 323. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Venadillo_1	2125-01.2.2	Rio Palmar	2.40	3.16	0.10	8.08	0.02
	2125-01.2.2.2	Quebrada Jagual	0.50				
	2125-01.2.9	Rio Manura	0.26				
Rio_Venadillo_2	2125.01.2	Río Venadillo	36.00	36.00	1.14	91.92	0.21
Total			**39.16**	**39.16**	**1.24**	**100**	**0.23**

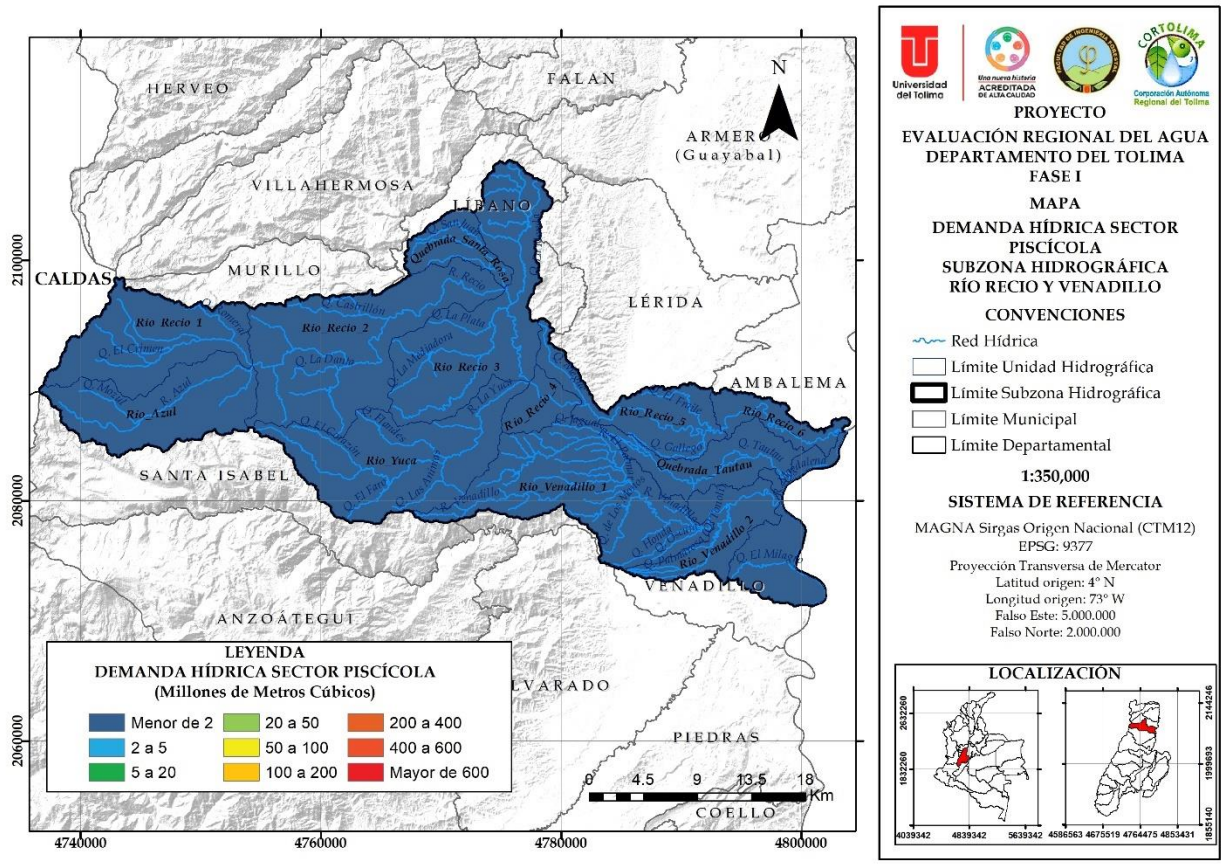


Figura 401. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.4.6. Uso Recreativo

La demanda hídrica para uso recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo corresponde a 0.28 l/s, que son demandados principalmente del río Manura en un 92.9% (0.26 l/s). De acuerdo con las bases de datos concesiones hídricas de CORTOLIMA este volumen de agua se relaciona con la concesión otorgada a la señora Ana Berty Perdomo y Cia S en C bajo Resolución 631 del 2 de mayo de 2002.

Tabla 324. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Recreativo (l/s)	DH. Recreativo (Mm³/año)	%
2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	1	0.02	0.00	7.1
2125-01.2.9	Rio Manura	1	0.26	0.01	92.9
Total		**2**	**0.28**	**0.01**	**100**

Como se presenta en la *Tabla 325*, la demanda hídrica para uso recreativo de esta subzona hidrográfica se concentra principalmente en las UHA Rio_Venadillo_1 en un 94.59% (0.26 l/s). La representación espacial de las presiones por uso de agua de cada UHA se evidencia en la *Figura 402* se establece que la demanda hídrica del sector recreativo presenta una baja presión sobre el recurso hídrico de esta subzona.

Tabla 325. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo por fuente hídrica abastecedora en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Recreativo (l/s)	UHA DH Recreativo (l/s)	UHA DH Recreativo (Mm³/año)	% DH Sector Recreativo SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Santa_Rosa	2125-01.1.4.1	Quebrada San Juan	0.02	0.02	0.00	5.41	0.00
Rio_Venadillo_1	2125-01.2.9	Rio Manura	0.26	0.26	0.01	94.59	0.002
Total			**0.28**	**0.28**	**0.01**	**100**	**0.002**

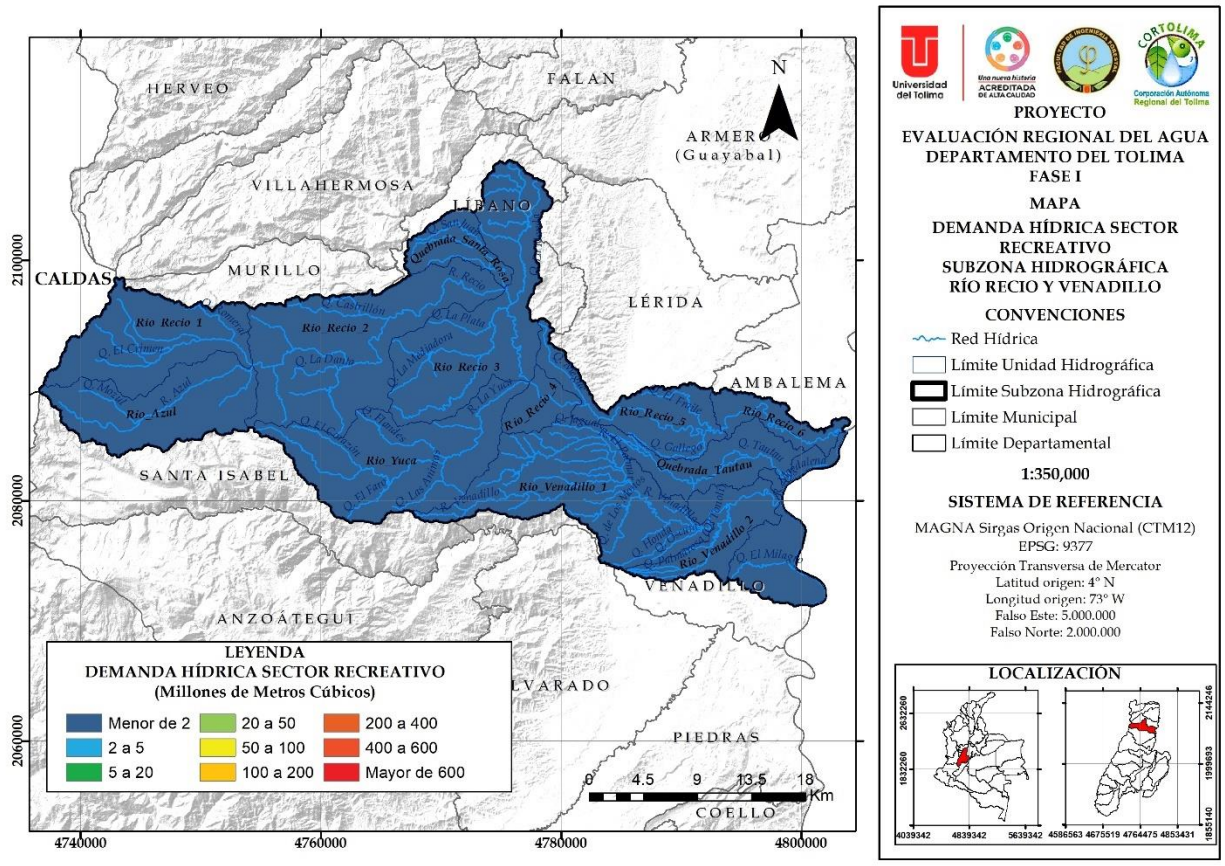


Figura 402. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

20.5. Subzona Hidrográfica del río Sabandija

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija se estima en 1857.30 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 326*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 326. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	25	944.11

Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	4	124.27
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	6	439.86
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	1	10.00
Agrícola - Pecuario	2	75.04
Agrícola - Piscícola	1	50.00
Consumo Humano y Doméstico	68	160.52
Consumo Humano y Doméstico - Minería	1	0.80
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	5	17.84
Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	1	1.00
Industrial	2	10.72
Pecuario	4	21.88
Piscícola	1	1.26
Total	**121**	**1857.30**

En la *Tabla 327* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en el río Sabandija en un 47.6% (883.38 l/s), el río Cuamo en un 10.1% (187.80 l/s), la quebrada Colombia en un 8.1% (150.23 l/s), la quebrada Santo Domingo en un 8% (148.27 l/s), la quebrada Morales en un 7.8% (145.60 l/s) y la quebrada Cimarrona en un 7.1% (130.91 l/s), las demás fuentes hídricas solo suplen el 11.4% (211.1 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica.

Tabla 327. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm^3/año)	%
2125.03.2	Río Sabandija	883.38	27.86	47.56
2125-03.1.1	Quebrada Seca	1.93	0.06	0.10
2125-03.1.5	Quebrada Santa Helena	2	0.06	0.11
2125-03.2.10	Quebrada Pompona	0.6	0.02	0.03
2125-03.2.10.1	Quebrada Mirador	0.81	0.03	0.04
2125-03.2.11	Quebrada Chispero	6.26	0.2	0.34
2125-03.2.12	Quebrada Quebradon	2.82	0.09	0.15
2125-03.2.13.1	Quebrada Santa Lucia	2.5	0.08	0.13
2125-03.2.15	Quebrada La Maria	18	0.57	0.97
2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	148.27	4.68	7.98
2125-03.2.18	Quebrada Colombia	150.23	4.74	8.09
2125-03.2.3	Quebrada Seca	32.02	1.01	1.72
2125-03.2.4	Rio Cuamo	187.8	5.92	10.11
2125-03.2.4.1	Caño El Silencio	4.8	0.15	0.26
2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	30.06	0.95	1.62

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm³/año)	%
2125-03.2.4.3	Quebrada Morales	145.6	4.59	7.84
2125-03.2.5	Rio Jimenez	49.91	1.57	2.69
2125-03.2.5.1	Quebrada de Salinas	42.38	1.34	2.28
2125-03.2.7	Quebrada Santa Gueda	3.32	0.1	0.18
2125-03.2.9	Quebrada Del Rompe	2.8	0.09	0.15
2125-03.3.4	Rio Viejo	10.9	0.34	0.59
2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	130.91	4.13	7.05
Total		**1857.3**	**58.58**	**100**

La demanda agrícola se distribuyó en las 6 UHA asignada para esta Subzona Hidrográfica (*Figura 403*). A partir de esta distribución se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en la Rio_Sabandija_2 con el 39.39% (731.53 l/s) seguido por la UHA Rio_Sabandija_1 con el 32.94% (611.77 l/s) (*Tabla 328*). En la *Figura 404* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013). Como se puede observar la mayor presión por el recurso hídrico de esta Subzona Hidrográfica la ejerce el municipio de Armero Guayabal.

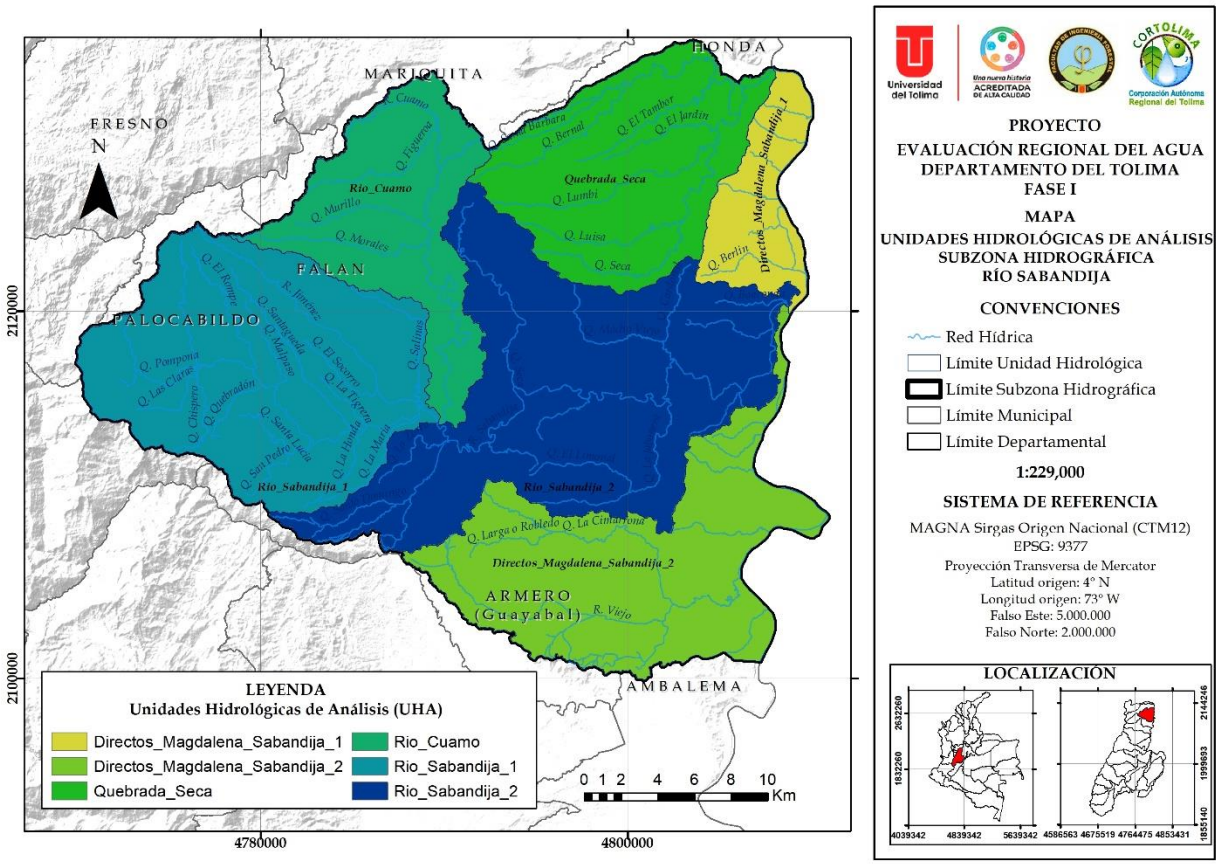


Figura 403. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Tabla 328. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Directos_Magdalena_Sabandija_1	2125-03.1.5	Quebrada Santa Helena	2.00	2.00	0.06	0.11
Directos_Magdalena_Sabandija_2	2125-03.3.4	Rio Viejo	10.90	141.81	4.47	7.64
	2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	130.91			
Quebrada_Seca	2125-03.1.1	Quebrada Seca	1.93	1.93	0.06	0.10
Rio_Cuamo	2125-03.2.4	Rio Cuamo	187.80	368.26	11.61	19.83
	2125-03.2.4.1	Caño El Silencio	4.80			
	2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	30.06			
	2125-03.2.4.3	Quebrada Morales	145.60			
Rio_Sabandija_1	2125.03.2	Río Sabandija	482.37	611.77	19.29	32.94
	2125-03.2.10	Quebrada Pompona	0.60			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Sabandija_2	2125-03.2.10.1	Quebrada Mirador	0.81	731.53	23.07	39.39
	2125-03.2.11	Quebrada Chispero	6.26			
	2125-03.2.12	Quebrada Quebradon	2.82			
	2125-03.2.13.1	Quebrada Santa Lucia	2.50			
	2125-03.2.15	Quebrada La Maria	18.00			
	2125-03.2.5	Rio Jimenez	49.91			
	2125-03.2.5.1	Quebrada de Salinas	42.38			
	2125-03.2.7	Quebrada Santa Gueda	3.32			
	2125-03.2.9	Quebrada Del Rompe	2.80			
	2125.03.2	Río Sabandija	401.01			
	2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	148.27			
	2125-03.2.18	Quebrada Colombia	150.23			
	2125-03.2.3	Quebrada Seca	32.02			

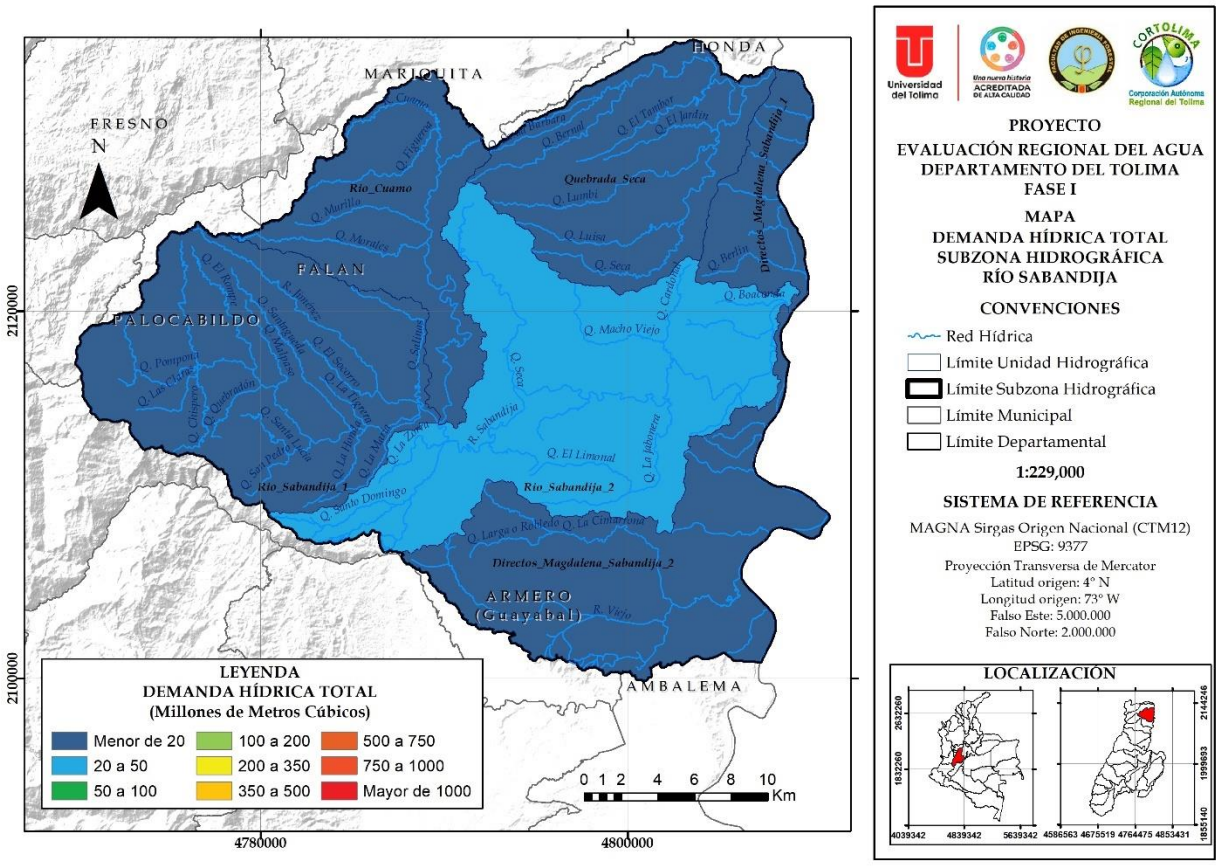


Figura 404. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.5.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los establecidos en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos. De acuerdo con lo anterior, la demanda agrícola para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija corresponde a 1205.88 l/s, distribuida en 14 fuentes hídricas abastecedoras de las cuales el río Sabandija comprende el 40.6% (489.82 l/s) de esta demanda, seguido por la quebrada Colombia con el 12.5% (150.23 l/s), el río Cuamo con el 11.5% (138.69 l/s), la quebrada Cimarrona con el 10.8% (130.26 l/s) y la quebrada Morales con 10% (120 l/s) (*Tabla 329*).

Los usuarios con mayor demanda en estas fuentes hídricas son: en el río Sabandija el señor Pedro Carlos Gonzalez López con 150 l/s y la Hacienda Michu S.A.S con 135.59 l/s; en la quebrada Colombia el señor Gabriel Jaramillo Roncancio con 150.23 l/s; en el

río Cuamo la Sociedad Agropecuaria Vásquez Lozano S en C con 118 l/s; en la quebrada Cimarrona el señor Luís Fernando Pereira Liévano con 130 l/s; y en la quebrada Morales la empresa Agrovar S.A.S con 120 l/s.

Tabla 329. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2125-03.1.1	Quebrada Seca	1	0.57	0.02	0.0
2125-03.1.5	Quebrada Santa Helena	1	1	0.03	0.1
2125-03.2	Rio Sabandija	10	489.82	15.45	40.6
2125-03.2.15	Quebrada La Maria	2	6	0.19	0.5
2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	4	75.95	2.40	6.3
2125-03.2.18	Quebrada Colombia	1	150.23	4.74	12.5
2125-03.2.3	Quebrada Seca	1	32	1.01	2.7
2125-03.2.4	Rio Cuamo	6	138.69	4.37	11.5
2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	3	12.5	0.39	1.0
2125-03.2.4.3	Quebrada Morales	1	120	3.78	10.0
2125-03.2.5	Rio Jimenez	2	1.44	0.05	0.1
2125-03.2.5.1	Quebrada de Salinas	3	36.53	1.15	3.0
2125-03.3.4	Rio Viejo	1	10.9	0.34	0.9
2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	3	130.26	4.11	10.8
Total		**39**	**1205.88**	**38.03**	**100**

La distribución del caudal demandando para uso agrícola por cada UHA se presenta en la *Tabla 330*. Se evidencia que en las UHA Rio_Sabandija_2, Rio_Cuamo, Rio_Sabandija_1 y Directos_Magdalena_Sabandija_2, se genera la mayor demanda del recurso hídrico para este tipo de uso. En términos de porcentajes estas UHA participan, en su orden, con el 45.53% (549.02 l/s), 22.49% (271.19 l/s), 20.15% (242.95 l/s) y 11.71% (141.16 l/s), respectivamente, del total de la demanda hídrica para uso agrícola de esta subzona. En la *Figura 405* se muestra el grado de presión que ejerce la demanda de estas UHA sobre el recurso hídrico de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija.

Tabla 330. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Sabandija_1	2125-03.1.5	Quebrada Santa Helena	1.00	1.00	0.03	0.08	0.05
Directos_Magdalena_Sabandija_2	2125-03.3.4	Rio Viejo	10.90	141.16	4.45	11.71	7.60

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Seca	2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	130.26	0.57	0.02	0.05	0.03
	2125-03.1.1	Quebrada Seca	0.57				
Rio_Cuamo	2125-03.2.4	Rio Cuamo	138.69	271.19	8.55	22.49	14.60
	2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	12.50				
	2125-03.2.4.3	Quebrada Morales	120.00				
Rio_Sabandija_1	2125.03.2	Río Sabandija	198.99	242.95	7.66	20.15	13.08
	2125-03.2.15	Quebrada La Maria	6.00				
	2125-03.2.5	Rio Jimenez	1.44				
	2125-03.2.5.1	Quebrada de Salinas	36.53				
Rio_Sabandija_2	2125.03.2	Río Sabandija	290.83	549.02	17.31	45.53	29.56
	2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	75.95				
	2125-03.2.18	Quebrada Colombia	150.23				
	2125-03.2.3	Quebrada Seca	32.00				
Total			**1205.88**	**1205.88**	**38.03**	**100**	**64.92**

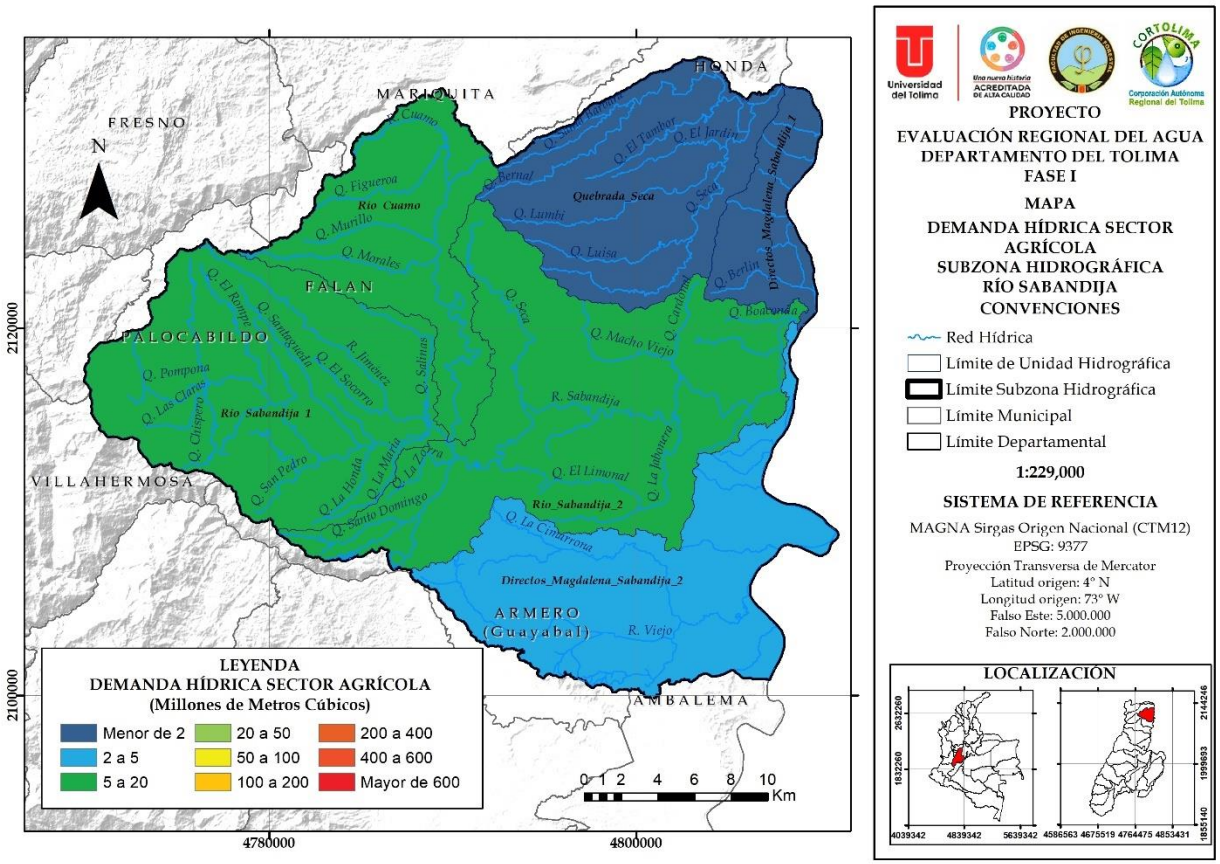


Figura 405. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.5.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de este sector corresponde a los usos establecidos en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. Se estima que para la Subzona Hidrográfica del río Sabandija la demanda para Consumo Humano y Doméstico corresponde a 380.53 l/s, la cual está distribuida en 86 usuarios, el 27% de ellos con una concesión de agua en el río Sabandija (*Tabla 331*), en donde se concentra el 60% de la demanda hídrica de la subzona; aquí el principal demandante, según la base de datos de concesiones de CORTOLIMA, es la Hacienda Michu S.A.S con 135.58 l/s.

Tabla 331. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2125-03.1.1	Quebrada Seca	2	0.97	0.03	0.3

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2125-03.1.5	Quebrada Santa Helena	1	1	0.03	0.3
2125-03.2	Rio Sabandija	23	228.29	7.20	60.0
2125-03.2.10	Quebrada Pompona	1	0.6	0.02	0.2
2125-03.2.10.1	Quebrada Mirador	1	0.81	0.03	0.2
2125-03.2.11	Quebrada Chispero	2	6.26	0.20	1.6
2125-03.2.12	Quebrada Quebradon	3	2.82	0.09	0.7
2125-03.2.13.1	Quebrada Santa Lucia	1	2.5	0.08	0.7
2125-03.2.15	Quebrada La Maria	2	6	0.19	1.6
2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	7	16.18	0.51	4.3
2125-03.2.3	Quebrada Seca	1	0.01	0.00	0.003
2125-03.2.4	Rio Cuamo	9	11.09	0.35	2.9
2125-03.2.4.1	Caño El Silencio	6	4.78	0.15	1.3
2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	5	12.56	0.40	3.3
2125-03.2.4.3	Quebrada Morales	7	25.6	0.81	6.7
2125-03.2.5	Rio Jimenez	3	48.47	1.53	12.7
2125-03.2.5.1	Quebrada de Salinas	4	5.86	0.18	1.5
2125-03.2.7	Quebrada Santa Gueda	2	3.32	0.10	0.9
2125-03.2.9	Quebrada Del Rompe	3	2.8	0.09	0.7
2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	3	0.61	0.02	0.2
Total		**86**	**380.53**	**12.00**	**100**

En relación con las UHA donde se concentra la mayor demanda hídrica del consumo humano y doméstico de la Subzona Hidrográfica del río Opia, se deduce que estas corresponden a la UHA Rio_Sabandija_1 con el 59.38% (225.97 l/s) y Rio_Sabandija_2 con el 25.74% (97.95 l/s). Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 406* en donde se representa por colores (recomendados el IDEAM (2013)) el grado de presión que ejerce el uso del recurso hídrico para el consumo humano y doméstico en esta subzona.

Tabla 332. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Sabandija_1	2125-03.1.5	Quebrada Santa Helena	1.00	1.00	0.03	0.26	0.05
Directos_Magdalena_Sabandija_2	2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	0.61	0.61	0.02	0.16	0.03
Quebrada_Seca	2125-03.1.1	Quebrada Seca	0.97	0.97	0.03	0.25	0.05
Rio_Cuamo	2125-03.2.4	Rio Cuamo	11.09	54.03	1.70	14.20	2.91
	2125-03.2.4.1	Caño El Silencio	4.78				

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm^3/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
	2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	12.56				
	2125-03.2.4.3	Quebrada Morales	25.60				
	2125.03.2	Río Sabandija	146.54				
	2125-03.2.10	Quebrada Pompona	0.60				
	2125-03.2.10.1	Quebrada Mirador	0.81				
	2125-03.2.11	Quebrada Chispero	6.26				
	2125-03.2.12	Quebrada Quebradon	2.82				
Rio_Sabandija_1	2125-03.2.13.1	Quebrada Santa Lucia	2.50	225.97	7.13	59.38	12.17
	2125-03.2.15	Quebrada La Maria	6.00				
	2125-03.2.5	Rio Jimenez	48.47				
	2125-03.2.5.1	Quebrada de Salinas	5.86				
	2125-03.2.7	Quebrada Santa Gueda	3.32				
	2125-03.2.9	Quebrada Del Rompe	2.80				
	2125.03.2	Río Sabandija	81.76				
Rio_Sabandija_2	2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	16.18	97.95	3.09	25.74	5.27
	2125-03.2.3	Quebrada Seca	0.01				
Total			**380.53**	**380.53**	**12.00**	**100**	**20.48**

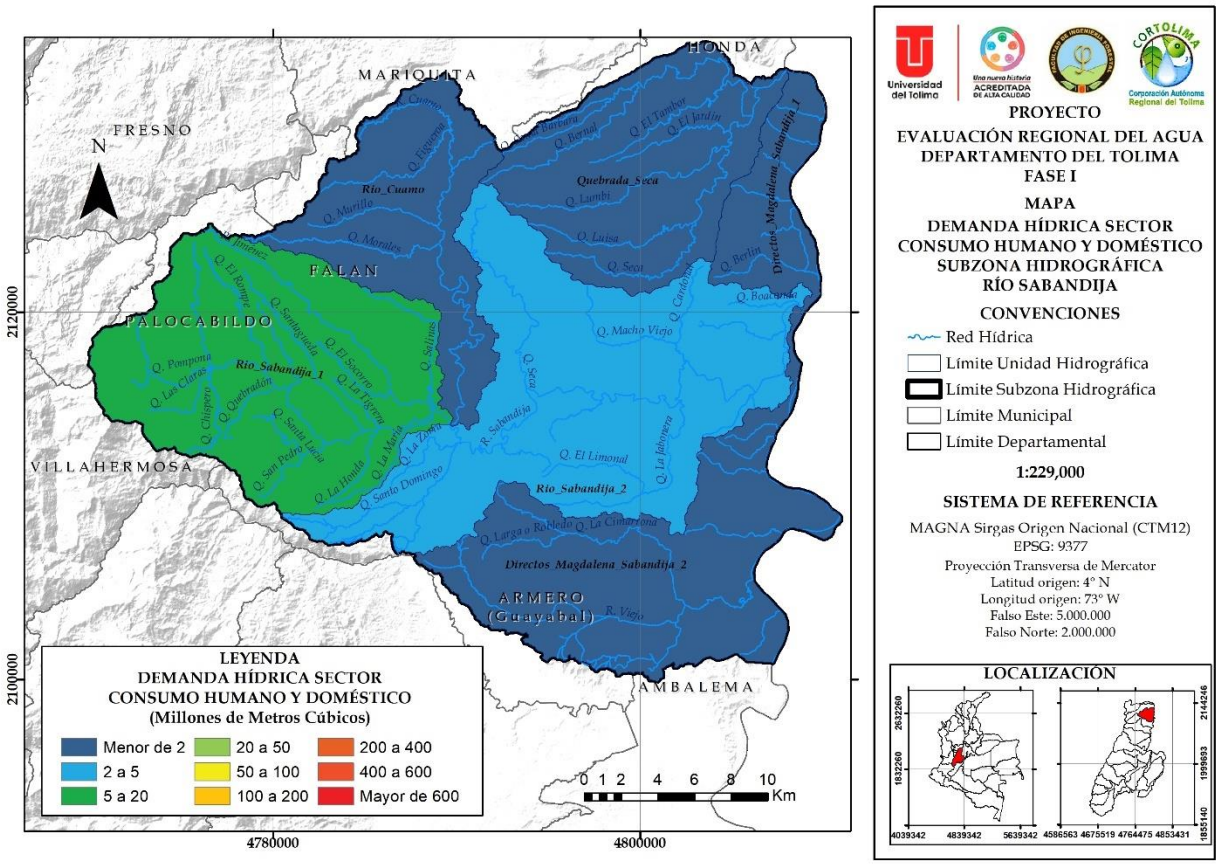


Figura 406. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.5.3. Uso Industrial

Para uso industrial solo se demandan 10.72 l/s en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija, provenientes en un 100% de la quebrada Santo Domingo (*Tabla 333*) que se integra en la UHA Rio_Sabandija_2 (*Tabla 334*). Esta demanda corresponde a dos usuarios, siendo el mayor demandante el señor Alexander Moller Bustos con 10.41 l/s, mientras que Icein Ingenieros Constructores S.A.S solo le corresponden 0.31 l/s. En la *Figura 407* se evidencia que la presión del recurso hídrico por este tipo de uso no es representativa en la subzona.

Tabla 333. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	2	10.72	0.34	100
Total		**2**	**10.72**	**0.34**	**100**

Tabla 334. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total
Rio_Sabandija_2	2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	10.72	10.72	0.34	100	0.58
Total			**10.72**	**10.72**	**0.34**	**100**	**0.58**

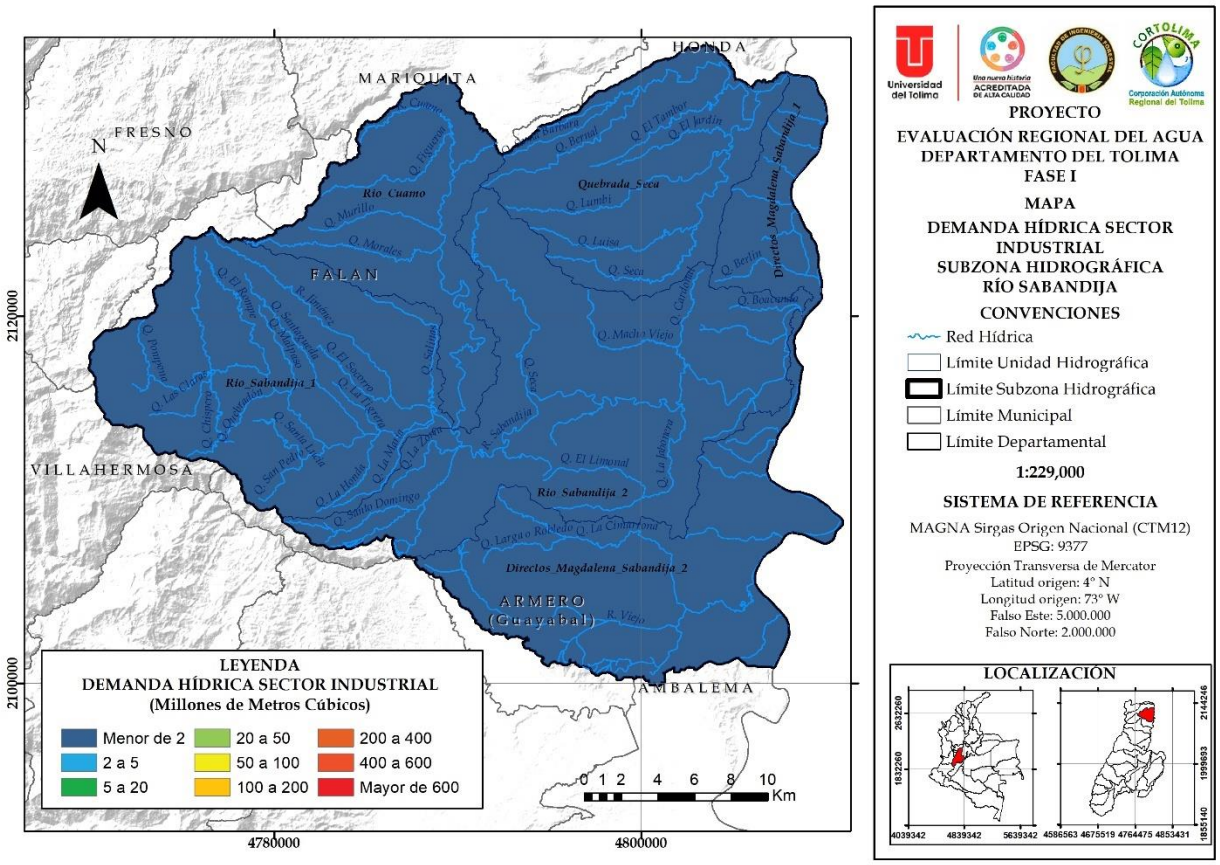


Figura 407. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.5.4. Uso Minería

En la Subzona Hidrográfica del río Sabandija, la demanda para Minería es de 0.40 l/s provenientes de la quebrada Seca (*Tabla 335*), la cual hace parte de la UHA Quebrada_Seca

definida en la ERA para esta subzona hidrográfica (*Tabla 336*). Esta demanda corresponde a Anglogold Ashanti Colombia S.A según Resolución 1434 del 27 de mayo de 2010, tal como se registra en la base de datos de Tasa por Uso del Agua de CORTOLIMA. En la *Figura 408* se evidencia que la presión del recurso hídrico por este tipo de uso no es representativa en la subzona.

Tabla 335. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
2125-03.1.1	Quebrada Seca	1	0.40	0.01	100
Total		**1**	**0.40**	**0.01**	**100**

Tabla 336. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (Mm³/año)	% DH Sector Minería SZH	% DH Total SZH
Quebrada_Seca	2125-03.1.1	Quebrada Seca	0.40	0.40	0.01	100	0.02
Total			**0.40**	**0.40**	**0.01**	**100**	**0.02**

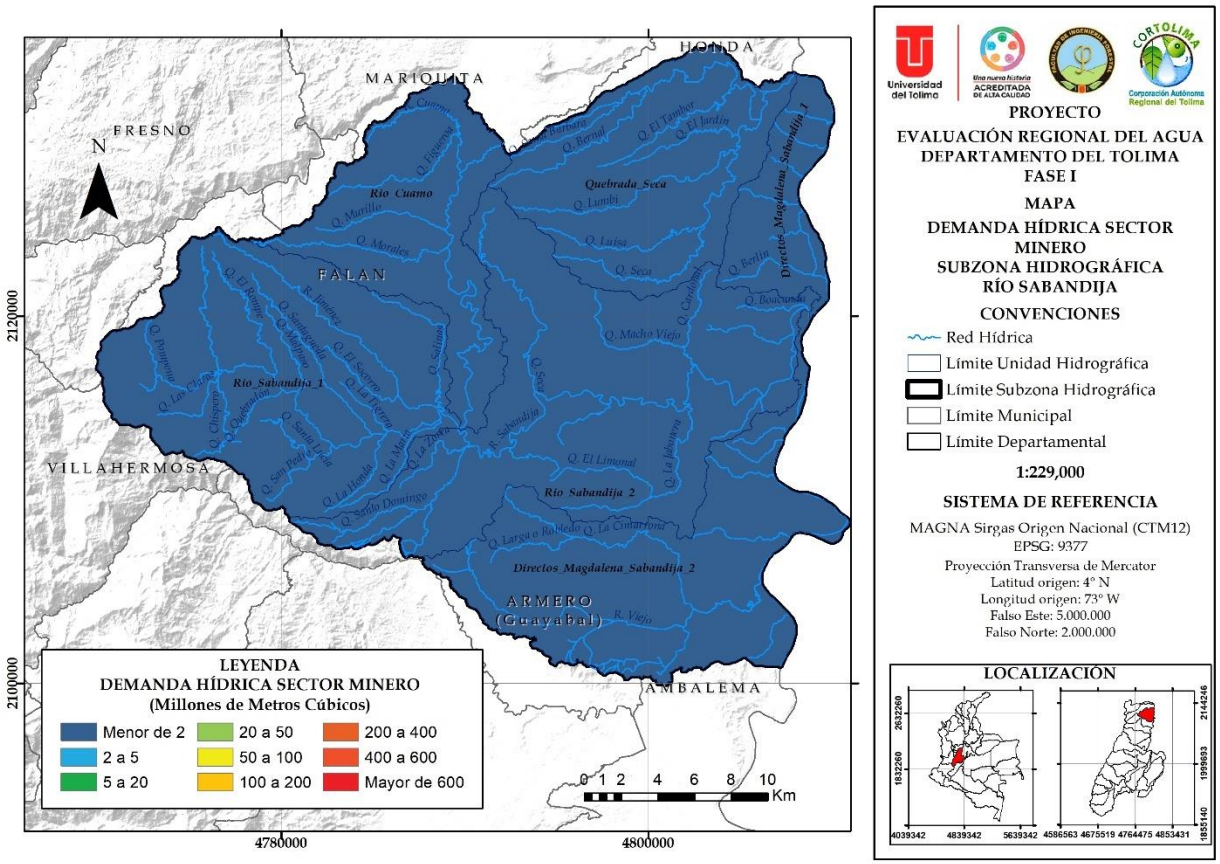


Figura 408. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.5.5. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Sabandija se demandan 215.59 l/s, de los cuales el 76.1% (164 l/s), corresponden al río Sabandija con 4 usuarios (*Tabla 337*), siendo el mayor demandante la Hacienda Michu S.A.S con 135.59 l/s.

Tabla 337. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2125-03.2	Rio Sabandija	4	164	5.17	76.1
2125-03.2.15	Quebrada La Maria	2	6	0.19	2.8
2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	1	5	0.16	2.3

2125-03.2.3	Quebrada Seca	1	0.01	0.00	0.005
2125-03.2.4	Rio Cuamo	7	38.02	1.20	17.6
2125-03.2.4.1	Caño El Silencio	1	0.02	0.00	0.009
2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	1	2.5	0.08	1.2
2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	1	0.03	0.00	0.014
Total		**18**	**215.59**	**6.80**	**100**

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) se observa que la mayor presión del recurso hídrico por el sector pecuario se presenta en la UHA Rio_Sabandija_1 en donde se genera el 65.68% (141.59 l/s) de la demanda hídrica pecuaria de esta Subzona Hidrográfica. De acuerdo con la *Figura 409* la principal presión del recuso para uso pecuario la ejercen los municipios de Falan y Palocabildo.

Tabla 338. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Sabandija_2	2125-03.3.4.1	Quebrada Cimarrona	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00
Rio_Cuamo	2125-03.2.4	Rio Cuamo	38.02	40.54	1.28	18.80	2.18
	2125-03.2.4.1	Caño El Silencio	0.02				
	2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	2.50				
Rio_Sabandija_1	2125.03.2	Río Sabandija	135.59	141.59	4.47	65.68	7.62
	2125-03.2.15	Quebrada La Maria	6.00				
Rio_Sabandija_2	2125.03.2	Río Sabandija	28.42	33.43	1.05	15.51	1.80
	2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	5.00				
	2125-03.2.3	Quebrada Seca	0.01				
Total			**215.59**	**215.59**	**6.80**	**100**	**11.6**

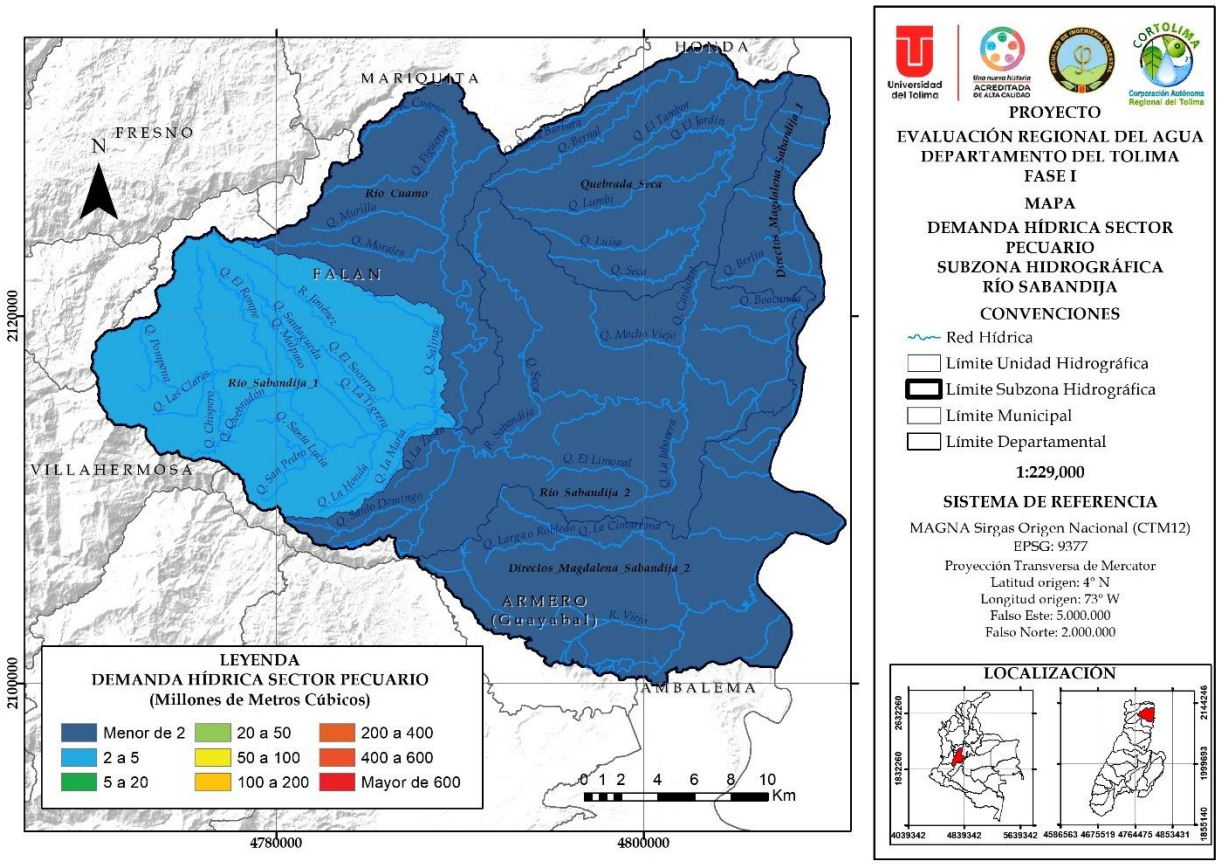


Figura 409. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.5.6. Uso Piscícola

La demanda de este sector corresponde a la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De acuerdo con lo anterior, en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija la demanda para uso Piscícola corresponde a 44.26 l/s, el 91.5% de ella (40.50 l/s) localizada en la quebrada Santo Domingo (*Tabla 339*). El mayor demandante del recurso hídrico para uso piscícola en esta Subzona Hidrográfica es el señor Fabio Beltrán el cual tiene concesionados 40 l/s para este fin.

Tabla 339. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2125-03.2	Rio Sabandija	1	1.26	0.04	2.8
2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	2	40.5	1.28	91.5

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	1	2.5	0.08	5.6
Total		**4**	**44.26**	**1.40**	**100**

En relación con las UHA, la demanda del sector piscícola se concentra principalmente en la UHA Rio_Sabandija_2 con 40.50 l/s correspondientes al 91.50% del total de la demanda hídrica de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Totare. La *Figura 410* permite identificar que, en general, la presión por el uso del agua ejercida por el sector piscícola de la zona es relativamente baja con valores inferiores a 2 Mm³/año (158.5 l/s)

Tabla 340. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Cuamo	2125-03.2.4.2	Quebrada Murillo	2.50	2.50	0.08	5.65	2.18
Rio_Sabandija_1	2125.03.2	Río Sabandija	1.26	1.26	0.04	2.85	7.62
Rio_Sabandija_2	2125-03.2.16	Quebrada Santo Domingo	40.50	40.50	1.28	91.50	1.80
Total			**44.26**	**44.26**	**1.40**	**100**	**11.6**

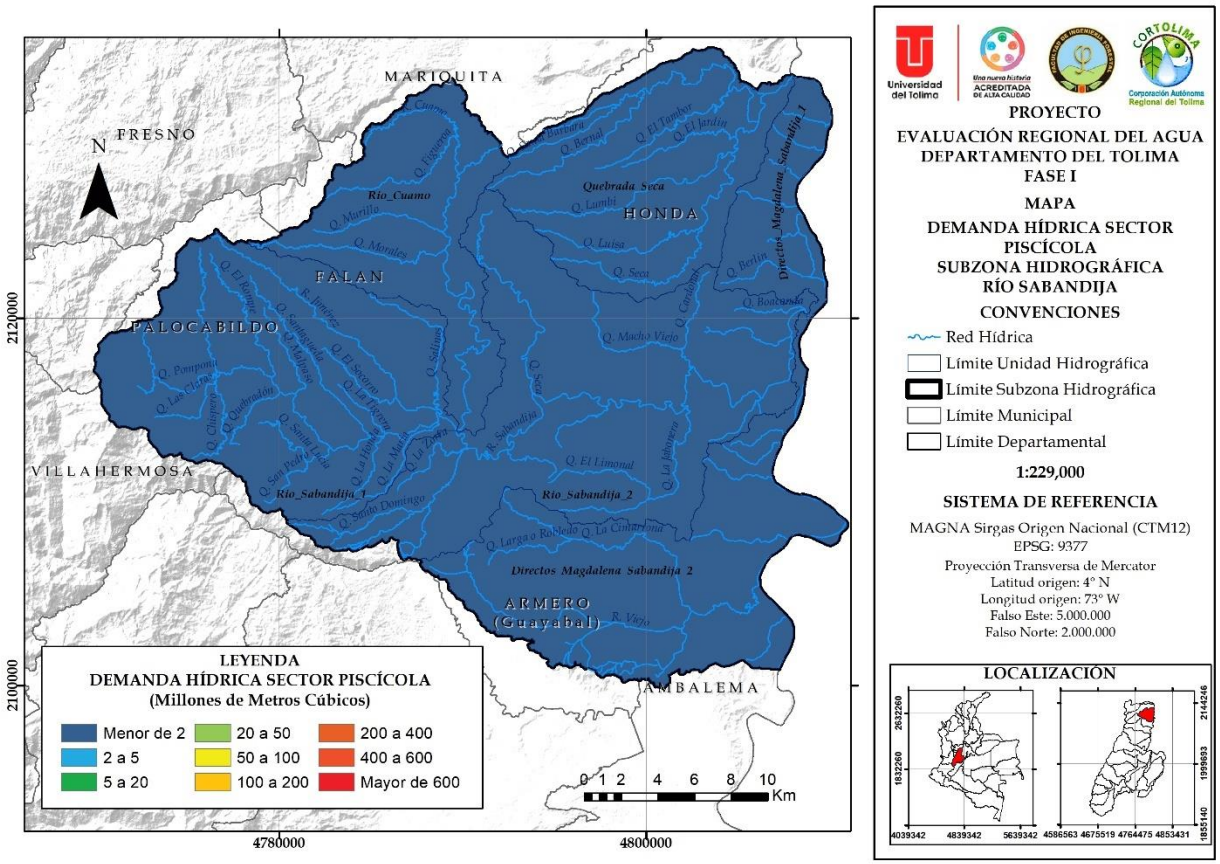


Figura 410. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

20.6. Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla se estima en 12832.27 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 341*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 341. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	317	11136.21

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	12	27.57
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Industrial	1	1.60
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	9	648.91
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	1	0.24
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	1	0.45
Agrícola - Pecuario	14	425.03
Agrícola - Piscícola	2	14.77
Consumo Humano y Doméstico	72	445.65
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	5	1.16
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	1	3.04
Minería	1	3.60
Pecuario	2	102.04
Pecuario - Piscícola	1	22.00
Total	**439**	**12832.27**

En la *Tabla 342* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en el río Lagunilla en un 85.3% (10940.42 l/s), las demás fuentes hídricas solo suplen el 14.7% (1891.85 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica.

Tabla 342. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2125.02.2	Río Lagunilla	10940.42	345.02	85.26
2125-02.2.1	Quebrada NN 1 Lagunilla	0.04	0	0.00
2125-02.2.11	Quebrada Santa Barbara	1.4	0.04	0.01
2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	6.01	0.19	0.05
2125-02.2.14	Rio Vallecitos	422.95	13.34	3.30
2125-02.2.16	Quebrada El Rosario	0.8	0.03	0.01
2125-02.2.18	Quebrada San Pablo	0.42	0.01	0.00
2125-02.2.19	Quebrada Las Animas	2.82	0.09	0.02
2125-02.2.2	Quebrada La Honda	21.26	0.67	0.17
2125-02.2.21	Rio Bledo	212.07	6.69	1.65
2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	419.78	13.24	3.27
2125-02.2.21.1.1	Quebrada La Calera	0.73	0.02	0.01
2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	20.99	0.66	0.16
2125-02.2.23	Quebrada Las Palmas	716.84	22.61	5.59

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2125-02.2.24	Quebrada La Joya	2	0.06	0.02
2125-02.2.3	Quebrada Patiburri	3	0.09	0.02
2125-02.2.5.13	Quebrada Guayabal	33.81	1.07	0.26
2125-02.2.5.15	Quebrada Bonita	9.55	0.3	0.07
2125-02.2.5.16	Quebrada Lorena	0.13	0	0.00
2125-02.2.5.8	Quebrada El Español	17.25	0.54	0.13
Total		**12832.27**	**404.67**	**100**

La demanda hídrica se distribuyó en las 14 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) que el equipo técnico del ERA definió para esta SZH (*Figura 411*). En la *Tabla 343* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA definida en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en la UHA Rio_Lagunilla_4 con el 80.57% que representa 10339.52 l/s. En la *Figura 412* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por UHA en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013). Se evidencia que en el municipio de Lérida es donde mayor demanda se hace del recurso hídrico de esta Subzona Hidrográfica.

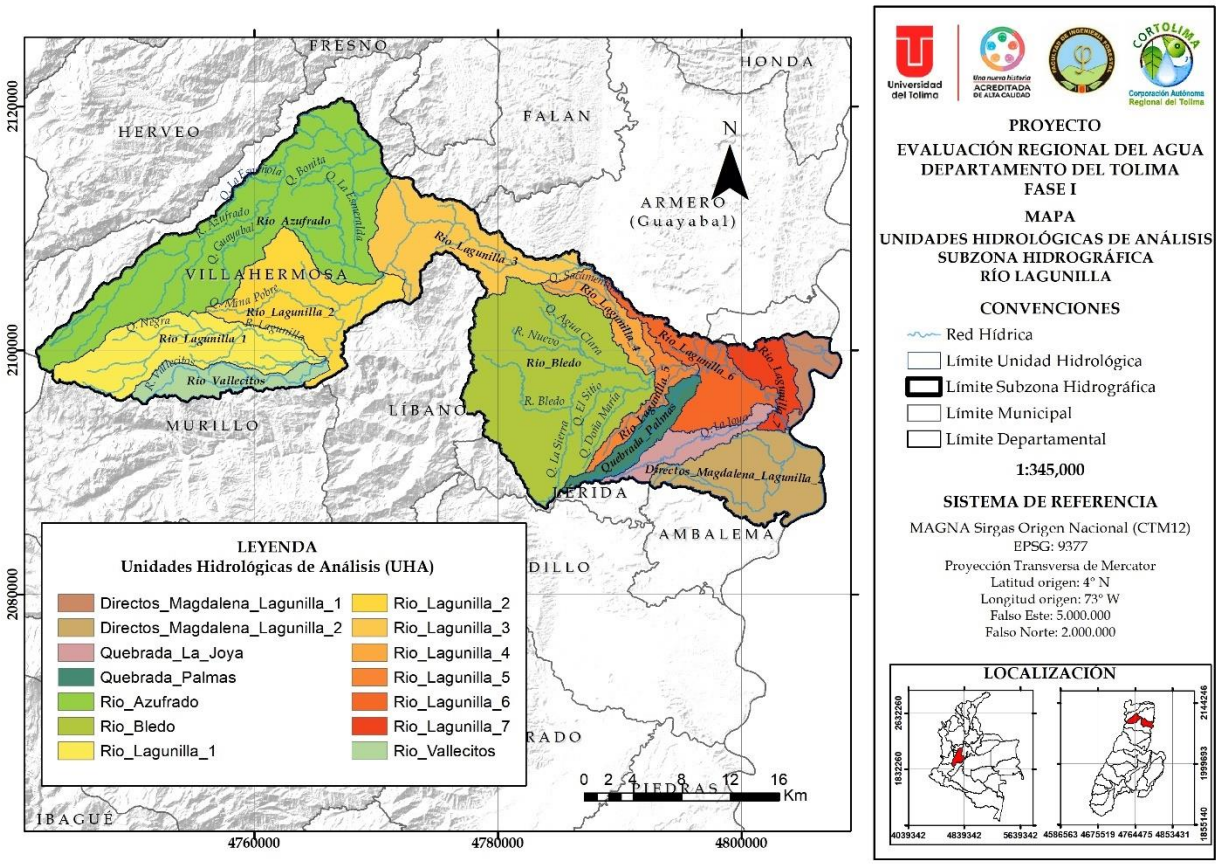


Figura 411. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Tabla 343. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Quebrada_La_Joya	2125-02.2.24	Quebrada La Joya	2.00	2.00	0.06	0.02
Quebrada_Palmas	2125-02.2.23	Quebrada Las Palmas	716.84	716.84	22.61	5.59
Rio_Azufrado	2125-02.2.5.13	Quebrada Guayabal	33.81	60.74	1.92	0.47
	2125-02.2.5.15	Quebrada Bonita	9.55			
	2125-02.2.5.16	Quebrada Lorena	0.13			
	2125-02.2.5.8	Quebrada El Español	17.25			
Rio_Bledo	2125-02.2.21	Rio Bledo	212.07	653.57	20.61	5.09
	2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	419.78			
	2125-02.2.21.1.1	Quebrada La Calera	0.73			
	2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	20.99			

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Lagunilla_1	2125.02.2	Río Lagunilla	5.12	12.53	0.40	0.10
	2125-02.2.11	Quebrada Santa Barbara	1.40			
	2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	6.01			
Rio_Lagunilla_2	2125.02.2	Río Lagunilla	10.75	10.75	0.34	0.08
Rio_Lagunilla_2	2125.02.2	Río Lagunilla	11.21	39.51	1.25	0.31
	2125-02.2.16	Quebrada El Rosario	0.80			
	2125-02.2.18	Quebrada San Pablo	0.42			
	2125-02.2.19	Quebrada Las Animas	2.82			
	2125-02.2.2	Quebrada La Honda	21.26			
	2125-02.2.3	Quebrada Patiburri	3.00			
Rio_Lagunilla_4	2125.02.2	Río Lagunilla	10339.52	10339.52	326.07	80.57
Rio_Lagunilla_6	2125.02.2	Río Lagunilla	573.82	573.86	18.10	4.47
	2125-02.2.1	Quebrada NN 1 Lagunilla	0.04			
Rio_Lagunilla_7	2125.02.2	Río Lagunilla	0.00	0.00	0.00	0.00
Rio_Vallecitos	2125-02.2.14	Rio Vallecitos	422.95	422.95	13.34	3.30

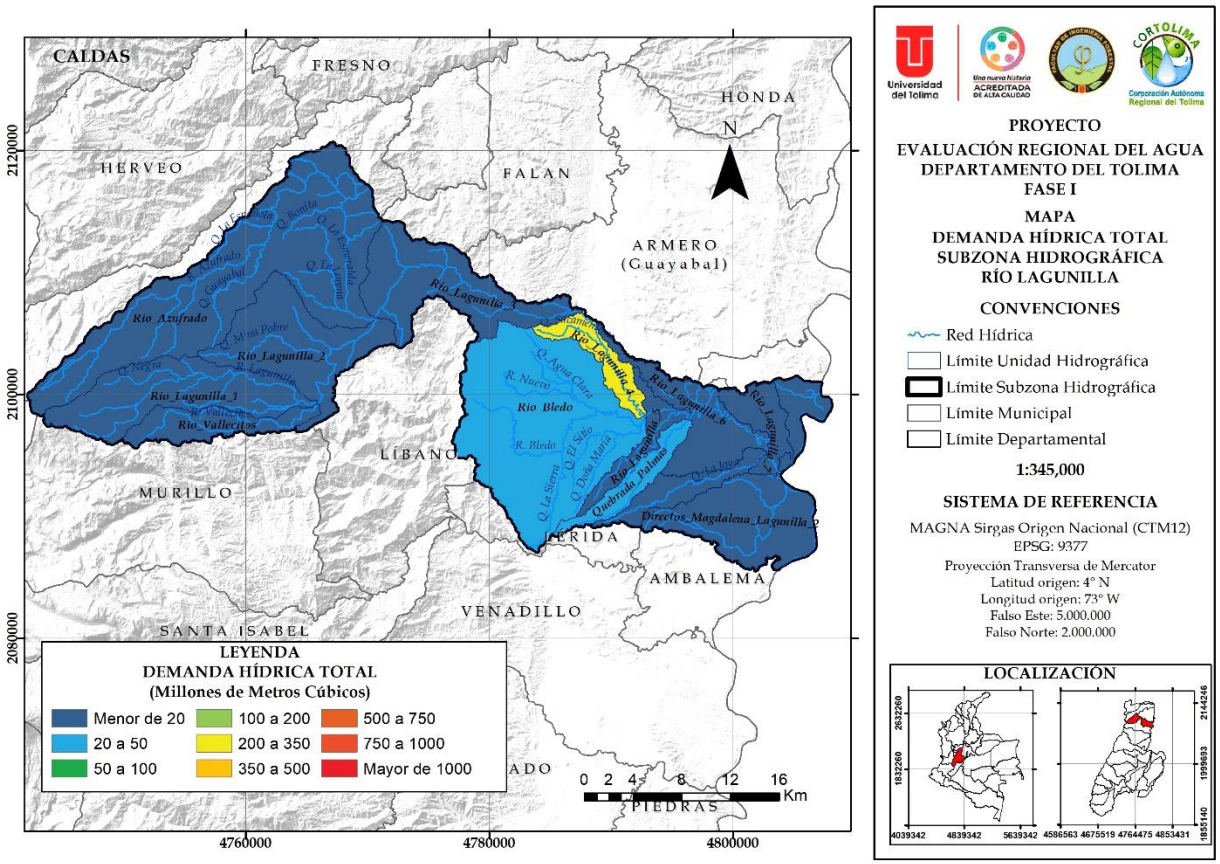


Figura 412. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.6.1. Uso Agrícola

Considerando los usos establecidos en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los señalados en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la TUA como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos. Con base en lo anterior, la demanda agrícola para la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla se determina en 11721.87 l/s. Las tres principales fuentes hídricas abastecedoras, tal como se evidencia en la *Tabla 344*, son en primer lugar, el río Lagunilla con el 87.9% (10307.19 l/s), en segundo lugar, la quebrada Las Palmas con el 6.1% (716.84 l/s), y en tercer lugar el río Nuevo con el 3.5% (407.15 l/s). Los usuarios con mayor demanda en estas fuentes hídricas son: en el río Lagunilla y la quebrada Las Palmas, la Organización Pajonales S.A.S con 911.25 l/s y 715.84 l/s, respectivamente, y en río Nuevo la Empresa Comunitaria La Victoria con 135 l/s.

Tabla 344. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm3/año)	%
2125-02.2	Rio Lagunilla	295	10307.19	325.05	87.9
2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	1	0.51	0.02	0.0
2125-02.2.14	Rio Vallecitos	43	85.47	2.70	0.7
2125-02.2.21	Rio Bledo	1	200	6.31	1.7
2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	9	407.15	12.84	3.5
2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	3	2.72	0.09	0.0
2125-02.2.23	Quebrada Las Palmas	2	716.84	22.61	6.1
2125-02.2.24	Quebrada La Joya	1	2	0.06	0.0
Total		**355**	**11721.87**	**369.66**	**100**

La distribución del caudal demandando para uso agrícola por cada UHA se presenta en la *Tabla 345*. Se evidencia que en la UHA Rio_Lagunilla_4 se concentra el 82.99% (9728.36 l/s) de la demanda hídrica para uso agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla. Esta caudal representa el 75.81% de la demanda hídrica total de esta subzona (12832.27 l/s). En la *Figura 413* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados en cada UHA. Se identifica que la mayor presión por uso del recurso para el sector agrícola la ejerce el municipio de Lérida, Tolima.

Tabla 345. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Quebrada_La_Joya	2125-02.2.24	Quebrada La Joya	2.00	2.00	0.06	0.02	0.02
Quebrada_Palmas	2125-02.2.23	Quebrada Las Palmas	716.84	716.84	22.61	6.12	5.59
Rio_Bledo	2125-02.2.21	Rio Bledo	200.00	609.87	19.23	5.20	4.75
	2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	407.15				
	2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	2.72				
Rio_Lagunilla_1	2125.02.2	Río Lagunilla	3.37	3.88	0.12	0.03	0.03
	2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	0.51				
Rio_Lagunilla_2	2125.02.2	Río Lagunilla	0.66	0.66	0.02	0.01	0.01
Rio_Lagunilla_3	2125.02.2	Río Lagunilla	0.98	0.98	0.03	0.01	0.01

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Lagunilla_4	2125.02.2	Río Lagunilla	9728.36	9728.36	306.79	82.99	75.81
Rio_Lagunilla_6	2125.02.2	Río Lagunilla	573.82	573.82	18.10	4.90	4.47
Rio_Vallecitos	2125-02.2.14	Rio Vallecitos	85.47	85.47	2.70	0.73	0.67
Total			**11721.87**	**11721.87**	**369.66**	**100**	**91.36**

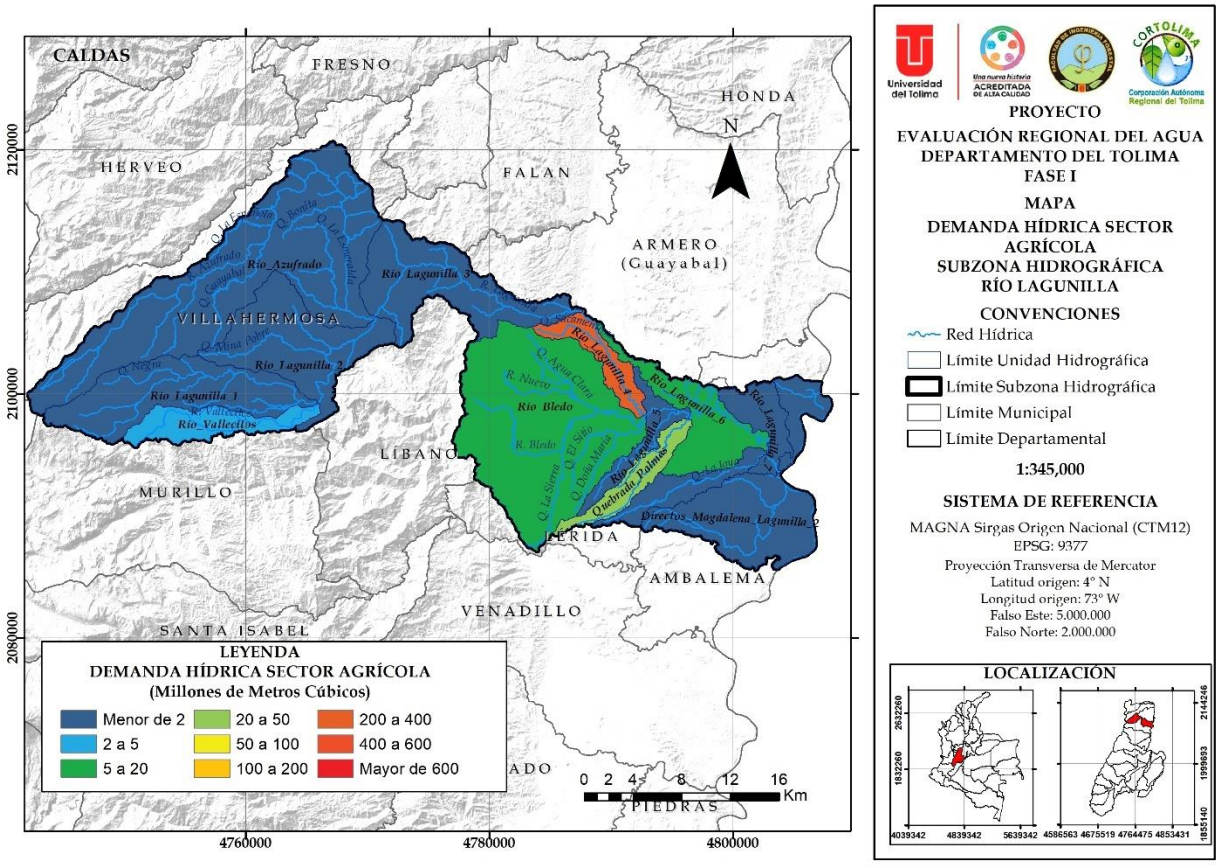


Figura 413. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.6.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. Se estima que para la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla la demanda para Consumo Humano y Doméstico corresponde a 678.01 l/s, distribuidos en 18 fuentes hídricas abastecedoras, principalmente en el río Lagunilla

con el 47% (318.81 l/s) y el río Vallecitos con el 33.5% (227.14 l/s) (*Tabla 346*). El mayor demandante en el río Lagunilla corresponde a la Hacienda Mirador S.A.S con 211.13 l/s mientras que en el río Vallecitos es la Empresa de Servicios Públicos del Líbano (EMSER) con 190 l/s.

Tabla 346. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2125-02.2	Rio Lagunilla	56	318.81	10.05	47.0
2125-02.2.1	Quebrada NN 1 Lagunilla	2	0.04	0.00	0.0
2125-02.2.11	Quebrada Santa Barbara	1	1.4	0.04	0.2
2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	4	5.49	0.17	0.8
2125-02.2.14	Rio Vallecitos	8	227.14	7.16	33.5
2125-02.2.16	Quebrada El Rosario	1	0.8	0.03	0.1
2125-02.2.18	Quebrada San Pablo	1	0.42	0.01	0.1
2125-02.2.19	Quebrada Las Animas	1	2.82	0.09	0.4
2125-02.2.2	Quebrada La Honda	2	21.26	0.67	3.1
2125-02.2.21	Rio Bledo	7	12.03	0.38	1.8
2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	4	5.1	0.16	0.8
2125-02.2.21.1.1	Quebrada La Calera	1	0.73	0.02	0.1
2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	7	18.22	0.57	2.7
2125-02.2.3	Quebrada Patiburri	1	3	0.09	0.4
2125-02.2.5.13	Quebrada Guayabal	2	33.81	1.07	5.0
2125-02.2.5.15	Quebrada Bonita	2	9.55	0.30	1.4
2125-02.2.5.16	Quebrada Lorena	1	0.13	0.00	0.0
2125-02.2.5.8	Quebrada El Español	1	17.25	0.54	2.5
Total		**102**	**678.01**	**21.38**	**100**

En relación con las UHA donde se concentra la mayor demanda hídrica del consumo humano y doméstico de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla, se determina que estas corresponden a la UHA Rio_Lagunilla_4 con el 44.53% (301.92 l/s) y la UHA Rio_Vallecitos con el 33.50% (227.14 l/s) (*Tabla 347*). En la *Figura 414* se puede evidenciar a través de la escala de colores sugeridos por el IDEAM (2013) el grado de presión que ejerce la demanda de estas UHA sobre el recurso hídrico de la Subzona Hidrográfica del río Totare.

Tabla 347. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm^3/año)	% DH Sector CH Doméstico SZH	% DH Total SZH
Rio_Azufrado	2125-02.2.5.13	Quebrada Guayabal	33.81	60.74	1.92	8.96	0.47
	2125-02.2.5.15	Quebrada Bonita	9.55				
	2125-02.2.5.16	Quebrada Lorena	0.13				
Rio_Bledo	2125-02.2.5.8	Quebrada El Español	17.25	36.08	1.14	5.32	0.28
	2125-02.2.21	Rio Bledo	12.03				
	2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	5.10				
	2125-02.2.21.1.1	Quebrada La Calera	0.73				
	2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	18.22				
Rio_Lagunilla_1	2125.02.2	Río Lagunilla	1.48	8.37	0.26	1.23	0.07
	2125-02.2.11	Quebrada Santa Barbara	1.40				
	2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	5.49				
Rio_Lagunilla_2	2125.02.2	Río Lagunilla	8.91	8.91	0.28	1.31	0.07
Rio_Lagunilla_3	2125.02.2	Río Lagunilla	6.51	34.80	1.10	5.13	0.27
	2125-02.2.16	Quebrada El Rosario	0.80				
	2125-02.2.18	Quebrada San Pablo	0.42				
	2125-02.2.19	Quebrada Las Animas	2.82				
	2125-02.2.2	Quebrada La Honda	21.26				
	2125-02.2.3	Quebrada Patiburri	3.00				
Rio_Lagunilla_4	2125.02.2	Río Lagunilla	301.92	301.92	9.52	44.53	2.35
Rio_Lagunilla_6	2125-02.2.1	Quebrada NN 1 Lagunilla	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00
Rio_Vallecitos	2125-02.2.14	Rio Vallecitos	227.14	227.14	7.16	33.50	1.77
Total			**678.01**	**678.01**	**21.38**	**100**	**5.28**

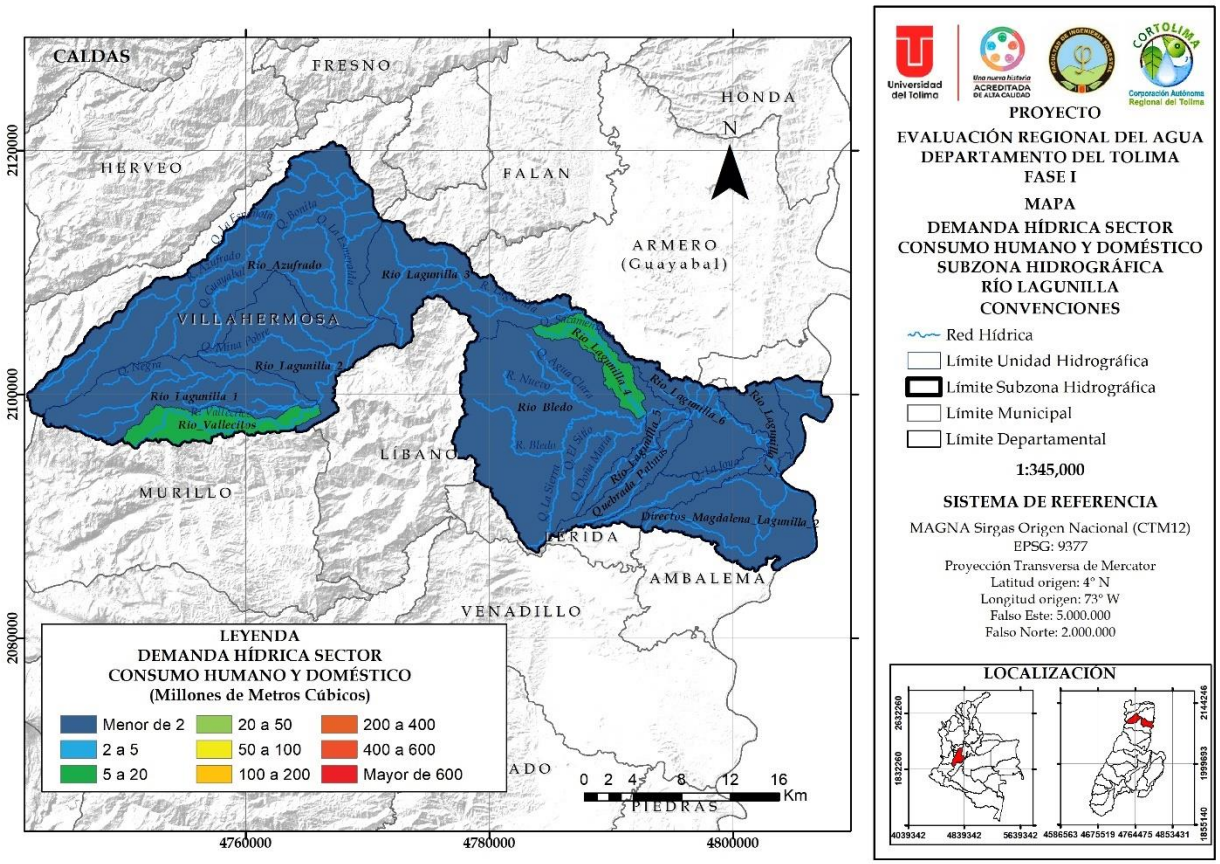


Figura 414. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.6.3. Uso Industrial

La demanda hídrica concesionada para uso industrial en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla se define en 0.53 l/s provenientes del río Vallecitos (*Tabla 348*), el cual hace parte de la Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) Rio_Vallecitos del ERA (*Tabla 349*). Esta demanda corresponde a la concesión de aguas otorgada bajo Resolución 249 del 28 de febrero de 2008 a nombre del señor Luís Alfonso Covaleda Herrera, según el reporte en las bases de datos de Tasa por Uso del Agua y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA. En la *Figura 415* se evidencia que la presión del recurso hídrico por este tipo de uso no es representativa en la subzona.

Tabla 348. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2125-02.2.14	Rio Vallecitos	1	0.53	0.02	100

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
Total		**1**	**0.53**	**0.02**	**100**

Tabla 349. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Rio_Vallecitos	2125-02.2.14	Rio Vallecitos	0.53	0.53	0.02	100	0.004
Total			**0.53**	**0.53**	**0.02**	**100**	**0.004**

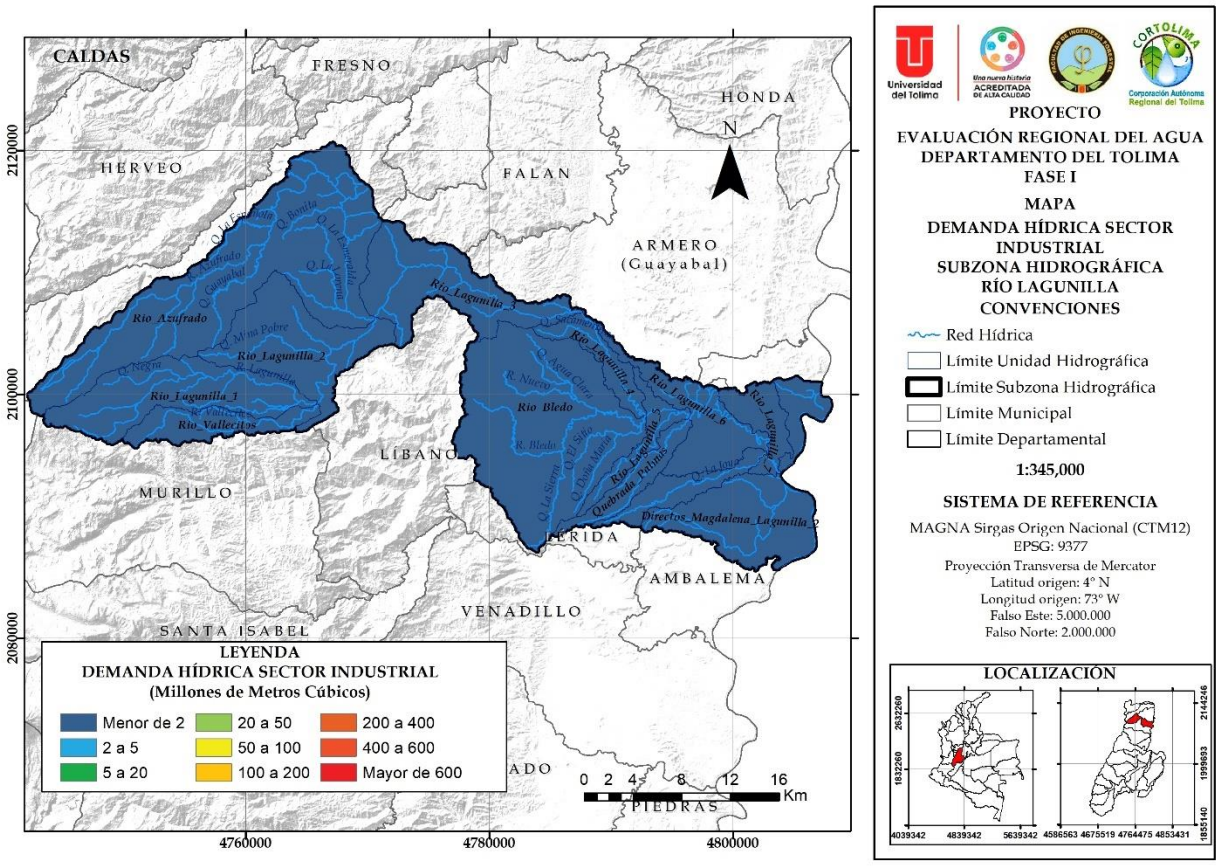


Figura 415. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.6.4. Uso Minería

Tal como se evidencia en la *Tabla 350*, la demanda para Minería en esta Subzona Hidrográfica corresponde a 3.60 l/s concesionados a la Mina El Gran Porvenir S.A en el río Lagunilla bajo Resolución 378 del 5 de noviembre de 2009, lo cual se encuentra consignado en las bases de datos de datos de Tasa por Uso del Agua y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA. La demanda de este sector se identifica en la UHA Rio_Lagunilla_3 definida en la ERA (*Tabla 351*) en la que se evidencia la baja presión que ejerce el sector minero en el recurso hídrico de la SZH del río Lagunilla (*Figura 416*).

Tabla 350. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
2125-02.2	Rio Lagunilla	1	3.60	0.11	100
Total		**1**	**3.60**	**0.11**	**100**

Tabla 351. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (Mm³/año)	% DH Sector Minería SZH	% DH Total SZH
Rio_Lagunilla_3	2125.02.2	Río Lagunilla	3.60	3.60	0.11	100	0.03
Total			**3.60**	**3.60**	**0.11**	**100**	**0.03**

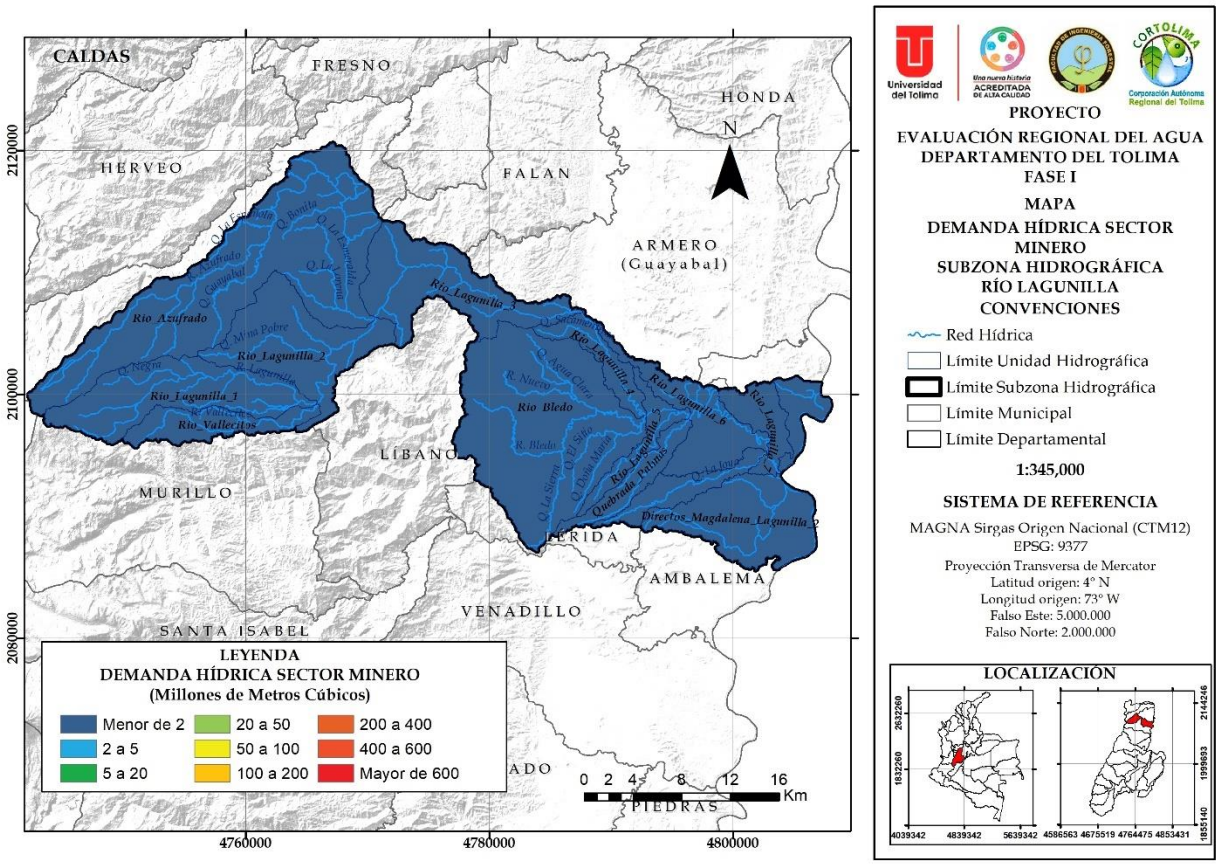


Figura 416. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.6.5. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla se demanda 404.60 l/s para este sector, de los cuales el 71% corresponde al río Lagunilla con 287.17 l/s y el 27.1% al río Vallecitos con 109.8 l/s (*Tabla 352*). Los usuarios con mayor demanda en estas fuentes hídricas son: en el río Lagunilla La Hacienda Cauchos S.A.S con 211.13 l/s y en el río Vallecitos el señor Jhon Fredy Salgado Montes con 102 l/s.

Tabla 352. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2125-02.2	Rio Lagunilla	22	287.17	9.06	71.0
2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	1	0.01	0.00	0.002

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2125-02.2.14	Rio Vallecitos	6	109.8	3.46	27.1
2125-02.2.21	Rio Bledo	1	0.04	0.00	0.010
2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	1	7.53	0.24	1.9
2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	2	0.05	0.00	0.012
Total		**33**	**404.6**	**12.76**	**100**

Con relación a las UHA de la SZH del río Lagunilla se observa que la mayor presión del recurso hídrico por el sector pecuario se centra en las UHA Rio_Lagunilla_4 y Rio_Vallecitos, las cuales integran el 70.77% (286.34 l/s) y 27.14% (109.80 l/s), respectivamente, del total de la demanda hídrica pecuaria de esta Subzona Hidrográfica. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 417* en la cual se representa espacialmente la presión por el uso del agua por cada UHA.

Tabla 353. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Rio_Bledo	2125-02.2.21	Rio Bledo	0.04	7.62	0.24	1.88	0.06
	2125-02.2.21.1	Rio Nuevo	7.53				
	2125-02.2.21.2	Quebrada La Sierra	0.05				
Rio_Lagunilla_1	2125.02.2	Río Lagunilla	0.27	0.28	0.01	0.07	0.00
	2125-02.2.12	Quebrada Sabanalarga	0.01				
Rio_Lagunilla_2	2125.02.2	Río Lagunilla	0.53	0.53	0.02	0.13	0.00
Rio_Lagunilla_3	2125.02.2	Río Lagunilla	0.02	0.02	0.00	0.01	0.00
Rio_Lagunilla_4	2125.02.2	Río Lagunilla	286.34	286.34	9.03	70.77	2.23
Rio_Vallecitos	2125-02.2.14	Rio Vallecitos	109.80	109.80	3.46	27.14	0.86
Total			**404.6**	**404.6**	**12.76**	**100**	**3.15**

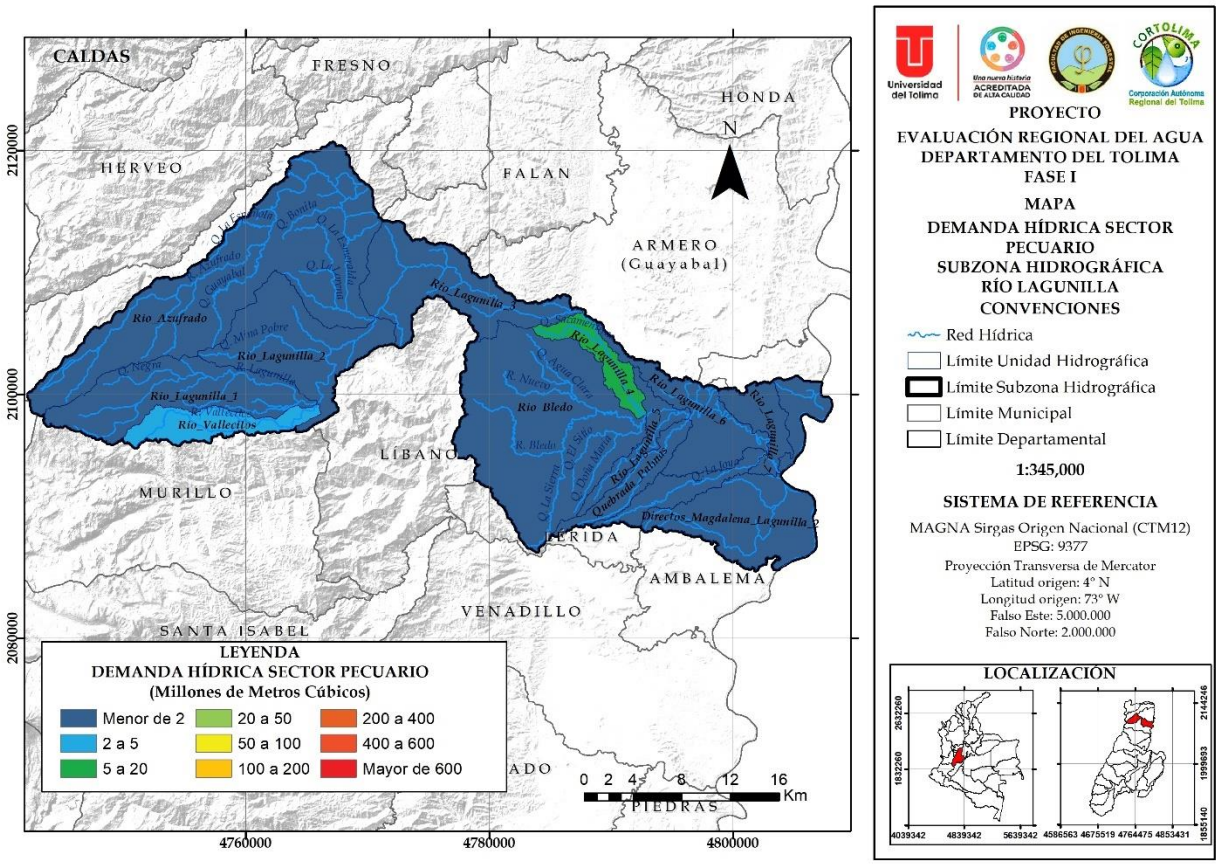


Figura 417. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.6.6. Uso Piscícola

La demanda para uso Piscícola en esta Subzona Hidrográfica corresponde a 23,65 l/s concesionados a 6 usuarios en el río Lagunilla (*Tabla 354*). Esta demanda está relacionada a la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Los principales demandantes de este sector son Jhon Fredy Salgado Montes con 15 l/s y la Piscifactoría Remar S.A.S con 6.885 l/s.

Tabla 354. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2125-02.2	Rio Lagunilla	6	23.65	0.75	100
Total		**6**	**23.65**	**0.75**	**100**

En relación con las UHA, la demanda del sector piscícola se concentra principalmente en la UHA Rio_Lagunilla_4 con 22.90 l/s que corresponden al 96.83% de la demanda hídrica total de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Totare. En la *Figura 418* se evidencia que la presión del recurso hídrico por este tipo de uso no es representativa en la subzona.

Tabla 355. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Lagunilla_2	2125.02.2	Río Lagunilla	0.65	0.65	0.02	2.75	0.01
Rio_Lagunilla_3	2125.02.2	Río Lagunilla	0.10	0.10	0.00	0.42	0.00
Rio_Lagunilla_4	2125.02.2	Río Lagunilla	22.90	22.90	0.72	96.83	0.18
Total			**23.65**	**23.65**	**0.75**	**100**	**0.19**

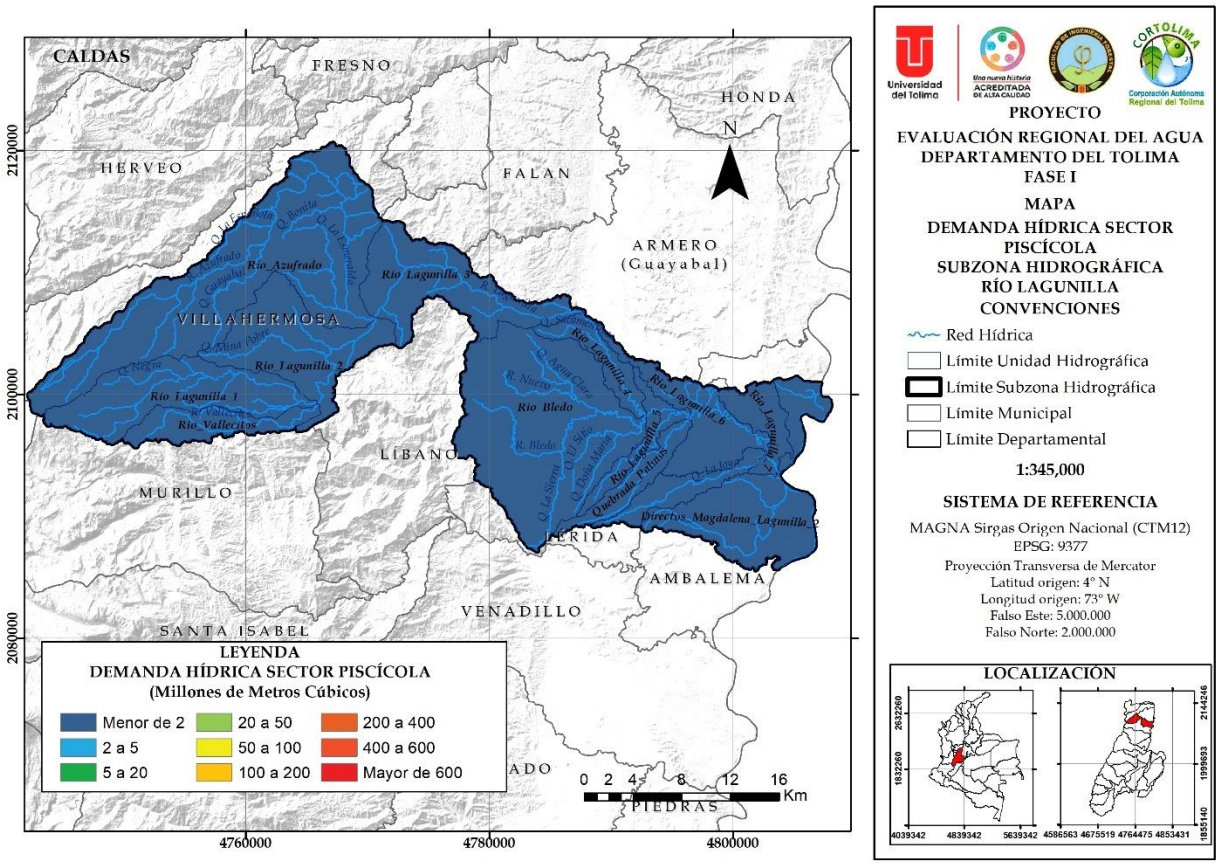


Figura 418. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

20.7. Subzona Hidrográfica del río Guarinó

De acuerdo con la información oficial de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) la demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se estima en 1272.07 l/s siendo consistente con la información registrada en el POMCA del río Guarinó (Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó 2015). En la *Tabla 356* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrográfica (UH) del POMCA. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en un 31.20% (396.86 l/s) en la UH Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena seguida por la UH Quebrada Barreto con el 25.96% que representan a 330.24 l/s.

Tabla 356. Distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrográfica (UH) definida en el POMCA del río Guarinó

Cod. Unidad Hidrográfica	Unidad Hidrográfica POMCA	DH Total (l/s)	DH Total (Mm3/año)	%
23020101	Río Perrillo alto	29.56	0.93	2.32
23020102	Quebrada La Plata	12.93	0.41	1.02
23020103	Quebrada Alto - El Salado	7.32	0.23	0.58
23020104	Río Perrillo medio	12.33	0.39	0.97
23020105	Quebrada La Laguna	13.47	0.42	1.06
23020106	Quebrada los Santos	4.11	0.13	0.32
23020107	Río Perrillo Bajo	9.58	0.3	0.75
23020108	Quebrada Mesones	67.12	2.12	5.28
230202	Quebrada San Antonio	39.93	1.26	3.14
230203	Río Guarinó Alto	26.59	0.84	2.09
230204	Quebrada el Salado	13.74	0.43	1.08
23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	8.9	0.28	0.70
23020502	Quebrada La Unión	26.71	0.84	2.10
23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	24.45	0.77	1.92
23020504	Quebrada el Hacha	6.16	0.19	0.48
23020601	Rio Hondo Cuenca alta	10.03	0.32	0.79
23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	4.94	0.16	0.39
23020603	Río Hondo cuenca baja	21.43	0.68	1.68
230207	Quebrada el Retiro	5.08	0.16	0.40
230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	7.32	0.23	0.58
230209	Quebrada La Suecia	6.39	0.2	0.50
230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	11.21	0.35	0.88
230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	32.73	1.03	2.57
230212	Quebrada Santa Bárbara	23.42	0.74	1.84
230213	Río San Juan	37.03	1.17	2.91
230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	9.06	0.29	0.71
230215	Quebrada Barreto	330.24	10.41	25.96
230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	40.44	1.28	3.18
230217	Quebrada Bocorna	5.97	0.19	0.47
230218	Quebrada Casanguilla	9.98	0.31	0.78
230219	Quebrada el Jardín	5.48	0.17	0.43
230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	11.56	0.36	0.91
230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	396.86	12.52	31.20
Total		**1272.07**	**40.11**	**100**

De forma adicional, a esta demanda hídrica se le asignan las siguientes captaciones registradas de igual modo en el POMCA de esta Subzona Hidrográfica:

Tabla 357. Localización de captaciones sobre el río Guarinó

Nombre de la captación	Caudal captado (l/s)	Georreferenciación del punto de captación: Magna Sirgas Origen Nacional (CTM12)		Uso asignado al recurso
		Latitud	Longitud	
Acueducto La Dorada	290	2144846.5956	4794078.5736	Consumo Humano y Doméstico
Trasvase del río Guarinó al río la Miel	10000	2145397.7082	4785113.0698	Generación de energía

En función de lo anterior la demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se determina en 11562.07 l/s (*Tabla 358*). Como objeto del presente estudio, esta demanda se redistribuye en 11 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas por la ERA para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó (*Figura 419*). Para realizar esta distribución, se consideró el mapa temático en formato vectorial de demandas hídricas de CORPOCALDAS, en el cual fue posible identificar por Unidad Hidrográfica (UH) el caudal estimado por cada tipo de uso de agua, información que se soporta en los resultados del POMCA del río Guarinó. En la *Tabla 358* se presentan los resultados de la redistribución de la demanda hídrica. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente la UHA Rio_Guarino_6 con 10313 l/s que representan el 89.20% de la DH total de esta Subzona. En la *Figura 420* se presenta la distribución espacial de la demanda hídrica total por UHA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013).

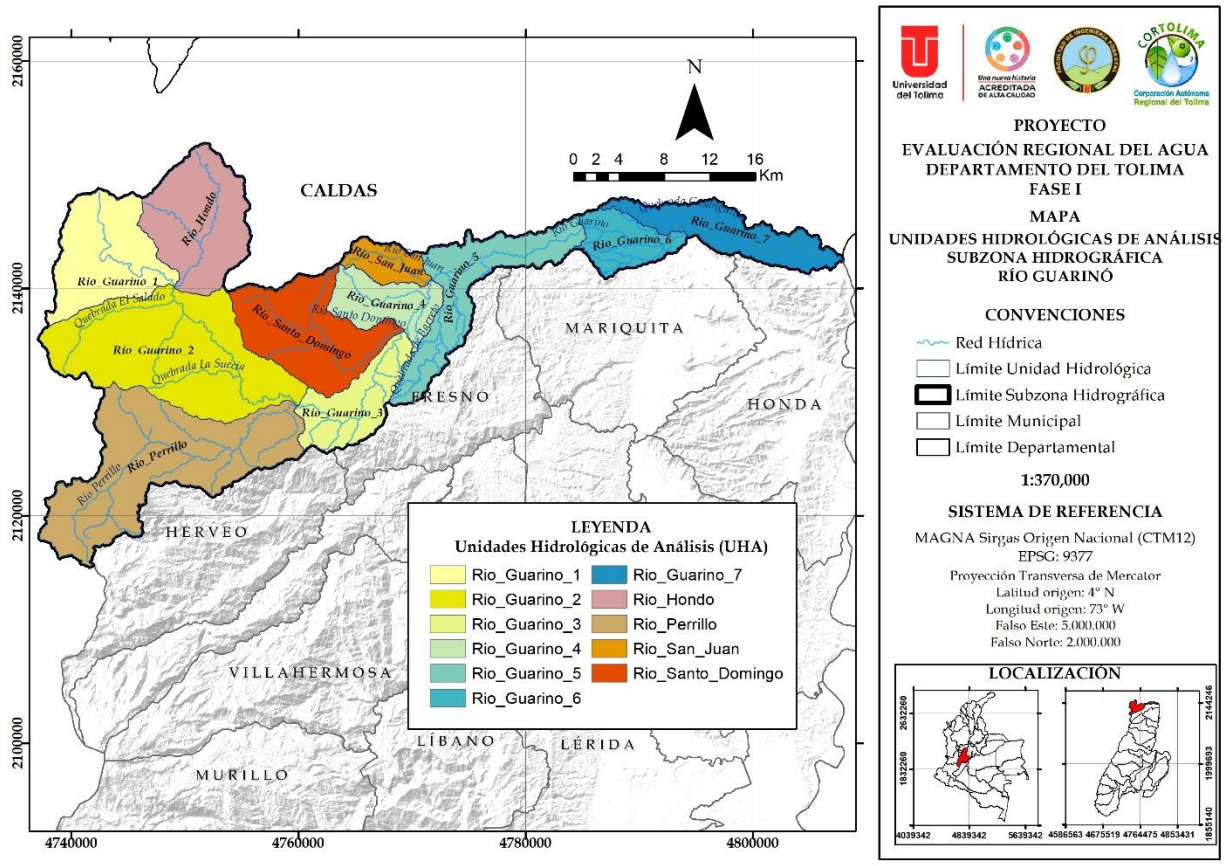


Figura 419. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Tabla 358. Distribución de la demanda hídrica total en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Cod. UH	Nombre de la Unidad Hidrográfica (UH)	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Guarino_1	230202	Quebrada San Antonio	39.93	66.52	2.1	0.58
	230203	Río Guarinó Alto	26.59			
	230204	Quebrada el Salado	13.74			
	230207	Quebrada el Retiro	5.08			
Rio_Guarino_2	230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	7.32	43.74	1.38	0.38
	230209	Quebrada La Suecia	6.39			
	230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	11.21			
Rio_Guarino_3	230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	32.73	32.73	1.03	0.28
Rio_Guarino_4	230212	Quebrada Santa Bárbara	23.42	32.48	1.02	0.28
	230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	9.06			

UHA	Cod. UH	Nombre de la Unidad Hidrográfica (UH)	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Guarino_5	230215	Quebrada Barreto	330.24	370.68	11.69	3.21
	230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	40.44			
	230217	Quebrada Bocorna	5.97			
	230219	Quebrada el Jardín	5.48			
Rio_Guarino_6	230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	11.56	10313.01	325.23	89.20
		Acueducto La Dorada	10000			
		Trasvase del río Guarinó al río la Miel	290			
Rio_Guarino_7	230218	Quebrada Casanguilla	9.98	406.84	12.83	3.52
	230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	396.86			
Rio_Hondo	23020601	Rio Hondo Cuenca alta	10.03	36.41	1.15	0.31
	23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	4.94			
	23020603	Río Hondo cuenca baja	21.43			
Rio_Perrillo	23020101	Río Perrillo alto	29.56	156.41	4.93	1.35
	23020102	Quebrada La Plata	12.93			
	23020103	Quebrada Alto - El Salado	7.32			
	23020104	Río Perrillo medio	12.33			
	23020105	Quebrada La Laguna	13.47			
	23020106	Quebrada los Santos	4.11			
	23020107	Río Perrillo Bajo	9.58			
	23020108	Quebrada Mesones	67.12			
Rio_San_Juan	230213	Río San Juan	37.03	37.03	1.17	0.32
Rio_Santo_Domingo	23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	8.9	66.22	2.09	0.57
	23020502	Quebrada La Unión	26.71			
	23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	24.45			
	23020504	Quebrada el Hacha	6.16			
		Total	**11562.07**	**11562.07**	**364.62**	**100**

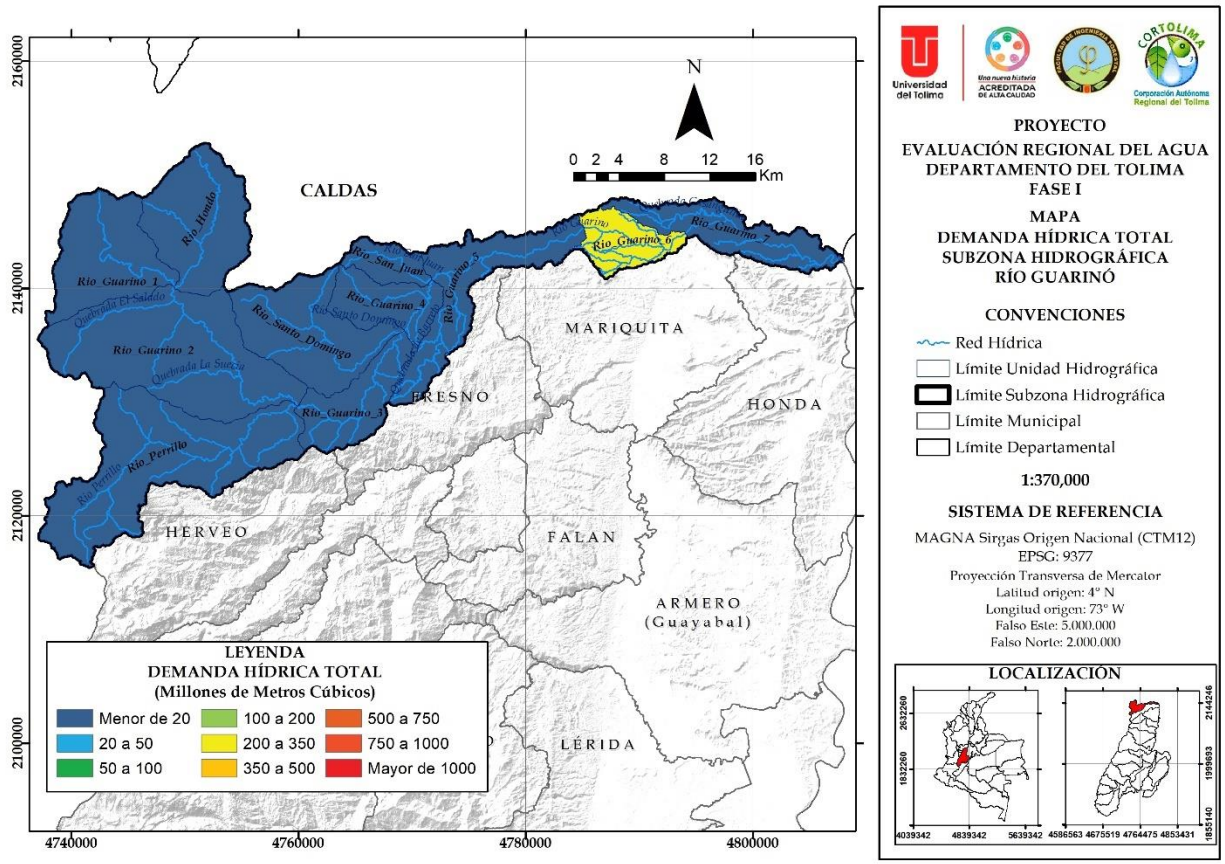


Figura 420. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.7.1. Uso Agrícola

De acuerdo con la información registrada en el POMCA del río Guarinó y en los datos cartográficos de CORPOCALDAS, la demanda hídrica para uso Agrícola es esta Subzona Hidrográfica corresponde a 692.22 l/s, distribuida en 33 Unidades Hidrográficas entre las cuales la UH Quebrada Barreto cubre el 42.56% (294.60 l/s) de esta demanda (*Tabla 359*).

Tabla 359. Demanda hídrica para uso Agrícola por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
23020103	Quebrada Alto - El Salado	2.34	0.07	0.34
230215	Quebrada Barreto	294.6	9.29	42.56
230217	Quebrada Bocorna	0.08	0.00	0.01
230218	Quebrada Casanguilla	3.1	0.10	0.45
23020504	Quebrada el Hacha	3.12	0.10	0.45
230219	Quebrada el Jardín	0.59	0.02	0.09
230207	Quebrada el Retiro	1.98	0.06	0.29

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
230204	Quebrada el Salado	3.19	0.10	0.46
23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	1.36	0.04	0.2
23020105	Quebrada La Laguna	11.07	0.35	1.6
23020102	Quebrada La Plata	5.55	0.18	0.8
230209	Quebrada La Suecia	2.74	0.09	0.4
23020502	Quebrada La Unión	17.3	0.55	2.5
23020106	Quebrada los Santos	0.02	0.00	0
23020108	Quebrada Mesones	59.96	1.89	8.66
230202	Quebrada San Antonio	36.38	1.15	5.26
230212	Quebrada Santa Bárbara	12.66	0.40	1.83
230203	Río Guarinó Alto	15.5	0.49	2.24
230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	2.09	0.07	0.3
230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	6.63	0.21	0.96
230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	16.44	0.52	2.38
230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	98.02	3.09	14.16
230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	2.55	0.08	0.37
230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	5.51	0.17	0.8
230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	1.39	0.04	0.2
23020601	Rio Hondo Cuenca alta	3.04	0.10	0.44
23020603	Río Hondo cuenca baja	13.37	0.42	1.93
23020101	Río Perrillo alto	25.63	0.81	3.7
23020107	Río Perrillo Bajo	4.89	0.15	0.71
23020104	Río Perrillo medio	1.46	0.05	0.21
230213	Río San Juan	29.83	0.94	4.31
23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	0.96	0.03	0.14
23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	8.88	0.28	1.28
Total		**692.22**	**21.83**	**100**

En relación con las UHA del ERA donde se concentra la mayor demanda hídrica del sector agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó, se puede deducir a partir de la *Tabla 360* que estas corresponden, en primer lugar, a la UHA Rio_Guarino_5 con el 44.93% (311.04 l/s), le sigue la UHA Rio_Perrillo con el 16.02% (110.92 l/s) y en tercer lugar se encuentra la UHA Rio_Guarino_7 con el 14.61% (101.12 l/s). Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 421* en donde se representa por colores (sugeridos por el IDEAM (2013)) el grado de presión que ejercen las demandas de las UHA sobre el recurso hídrico de la subzona.

Tabla 360. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_1	230202	Quebrada San Antonio	36.38	51.88	1.64	7.49	0.45
	230203	Río Guarinó Alto	15.5				
Rio_Guarino_2	230204	Quebrada el Salado	3.19	15.97	0.5	2.31	0.14
	230207	Quebrada el Retiro	1.98				

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
	230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	2.55				
	230209	Quebrada La Suecia	2.74				
	230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	5.51				
Rio_Guarino_3	230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	6.63	6.63	0.21	0.96	0.06
Rio_Guarino_4	230212	Quebrada Santa Bárbara	12.66	14.05	0.44	2.03	0.12
	230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	1.39				
	230215	Quebrada Barreto	294.6				
Rio_Guarino_5	230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	16.44	311.04	9.81	44.93	2.69
	230217	Quebrada Bocorna	0.08				
	230219	Quebrada el Jardín	0.59				
Rio_Guarino_6	230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	2.09	2.76	0.09	0.40	0.02
	230218	Quebrada Casanguilla	3.1				
Rio_Guarino_7	230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	98.02	101.12	3.19	14.61	0.87
	23020601	Rio Hondo Cuenca alta	3.04				
Rio_Hondo	23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	1.36	17.77	0.56	2.57	0.15
	23020603	Río Hondo cuenca baja	13.37				
	23020101	Río Perrillo alto	25.63				
	23020102	Quebrada La Plata	5.55				
	23020103	Quebrada Alto - El Salado	2.34				
Rio_Perrillo	23020104	Río Perrillo medio	1.46	110.92	3.5	16.02	0.96
	23020105	Quebrada La Laguna	11.07				
	23020106	Quebrada los Santos	0.02				
	23020107	Río Perrillo Bajo	4.89				
	23020108	Quebrada Mesones	59.96				
Rio_San_Juan	230213	Río San Juan	29.83	29.83	0.94	4.31	0.26
	23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	0.96				
Rio_Santo_Domingo	23020502	Quebrada La Unión	17.3	30.26	0.95	4.37	0.26
	23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	8.88				
	23020504	Quebrada El Hacha	3.12				
Total			**692.22**	**692.22**	**21.83**	**100**	**6**

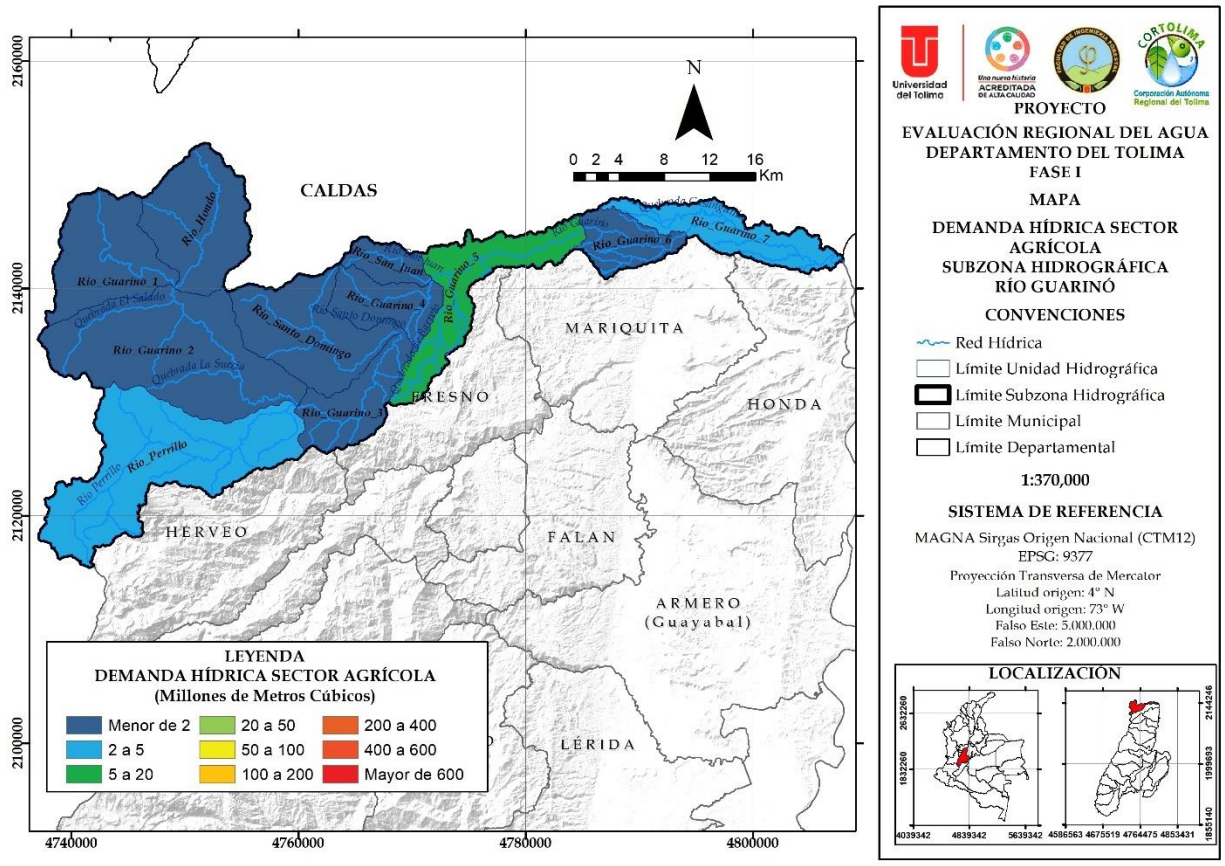


Figura 421. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.7.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para consumo humano y doméstico corresponde a 637.93 l/s, que se distribuye en 33 Unidades Hidrográficas del POMCA, dentro de las cuales la UH "Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena" participa con el 45.62% (291.042 l/s). De la demanda hídrica restante, se evidencia que la captación del Acueducto La Dorada es la más significativa, dado que esta representa el 45.46% (290 l/s) de la demanda total de este sector, el 8.92% (56.892 l/s) pendiente lo cubren las demás UH del POMCA.

Tabla 361. Demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Consumo humano y doméstico (l/s)	DH. Consumo humano y doméstico (Mm³/año)	%
23020103	Quebrada Alto - El Salado	0.132	0.00	0.02
230215	Quebrada Barreto	2.47	0.08	0.39
230217	Quebrada Bocorna	0.654	0.02	0.10

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Consumo humano y doméstico (l/s)	DH. Consumo humano y doméstico (Mm³/año)	%
230218	Quebrada Casanguilla	1.148	0.04	0.18
23020504	Quebrada el Hacha	0.172	0.01	0.03
230219	Quebrada el Jardín	3.39	0.11	0.53
230207	Quebrada el Retiro	0.054	0.00	0.01
230204	Quebrada el Salado	0.136	0.00	0.02
23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	0.064	0.00	0.01
23020105	Quebrada La Laguna	0.096	0.00	0.02
23020102	Quebrada La Plata	0.344	0.01	0.05
230209	Quebrada La Suecia	0.022	0.00	0.00
23020502	Quebrada La Unión	0.536	0.02	0.08
23020106	Quebrada los Santos	0.258	0.01	0.04
23020108	Quebrada Mesones	1.012	0.03	0.16
230202	Quebrada San Antonio	0.086	0.00	0.01
230212	Quebrada Santa Bárbara	1.57	0.05	0.25
230203	Río Guarinó Alto	0.334	0.01	0.05
230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	5.796	0.18	0.91
230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	5.372	0.17	0.84
230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	16.416	0.52	2.57
230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	291.042	9.18	45.62
230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.352	0.01	0.06
230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	1.498	0.05	0.23
230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	1.53	0.05	0.24
23020601	Rio Hondo Cuenca alta	0.138	0.00	0.02
23020603	Río Hondo cuenca baja	2.958	0.09	0.46
23020101	Río Perrillo alto	0.294	0.01	0.05
23020107	Río Perrillo Bajo	1.072	0.03	0.17
23020104	Río Perrillo medio	0.724	0.02	0.11
230213	Río San Juan	2.818	0.09	0.44
23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	2.608	0.08	0.41
23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	2.838	0.09	0.44
Total por Unidad Hidrográfica		**347.93**	**10.97**	**54.54**
Captación Acueducto La Dorada		290	9.15	45.46
Total por Subzona Hidrográfica		**637.93**	**20.12**	**100**

Al considerar la demanda hídrica para consumo humano y doméstico de la SZH río Guarinó por Unidad Hidrológica de Análisis de la ERA, se evidencia que las dos principales UHA en donde se concentra la mayor parte de esta demanda son, en su orden, la UHA Rio_Guarino_6 con 299.84 L/S que representan el 47% de la demanda de este sector y la UHA Rio_Guarino_7 con 292.19 l/s que constituyen el 45.80% de la misma. En la *Figura 422* se observa a partir de colores recomendados por el IDEAM (2013), el grado de presión que ejerce la demanda de estas UHA sobre el recurso hídrico.

Tabla 362. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm^3/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_1	230202	Quebrada San Antonio	0.09	0.42	0.01	0.07	0.00
	230203	Río Guarinó Alto	0.33				
	230204	Quebrada el Salado	0.14				
	230207	Quebrada el Retiro	0.05				
Rio_Guarino_2	230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.35	2.06	0.06	0.32	0.02
	230209	Quebrada La Suecia	0.02				
	230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	1.5				
Rio_Guarino_3	230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	5.37	5.37	0.17	0.84	0.05
Rio_Guarino_4	230212	Quebrada Santa Bárbara	1.57	3.1	0.10	0.49	0.03
	230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	1.53				
Rio_Guarino_5	230215	Quebrada Barreto	2.47	18.89	0.60	2.96	0.16
	230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	16.42				
	230217	Quebrada Bocorna	0.65				
Rio_Guarino_6	230219	Quebrada el Jardín	3.39	299.84	9.46	47.00	2.59
	230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	5.8				
		Captación Acueducto La Dorada	290				
	230218	Quebrada Casanguilla	1.15				
Rio_Guarino_7	230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	291.04	292.19	9.21	45.80	2.53
Rio_Hondo	23020601	Rio Hondo Cuenca alta	0.14	3.16	0.10	0.50	0.03
	23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	0.06				
	23020603	Río Hondo cuenca baja	2.96				
Rio_Perrillo	23020101	Río Perrillo alto	0.29	3.93	0.12	0.62	0.03
	23020102	Quebrada La Plata	0.34				
	23020103	Quebrada Alto - El Salado	0.13				
	23020104	Río Perrillo medio	0.72				
	23020105	Quebrada La Laguna	0.1				
	23020106	Quebrada los Santos	0.26				
	23020107	Río Perrillo Bajo	1.07				
	23020108	Quebrada Mesones	1.01				
Rio_San_Juan	230213	Río San Juan	2.82	2.82	0.09	0.44	0.02
Rio_Santo_Domingo	23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	2.61	6.15	0.19	0.96	0.05
	23020502	Quebrada La Unión	0.54				

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
	23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	2.84				
	23020504	Quebrada el Hacha	0.17				
Total			**637.93**	**637.93**	**20.12**	**100**	**5.51**

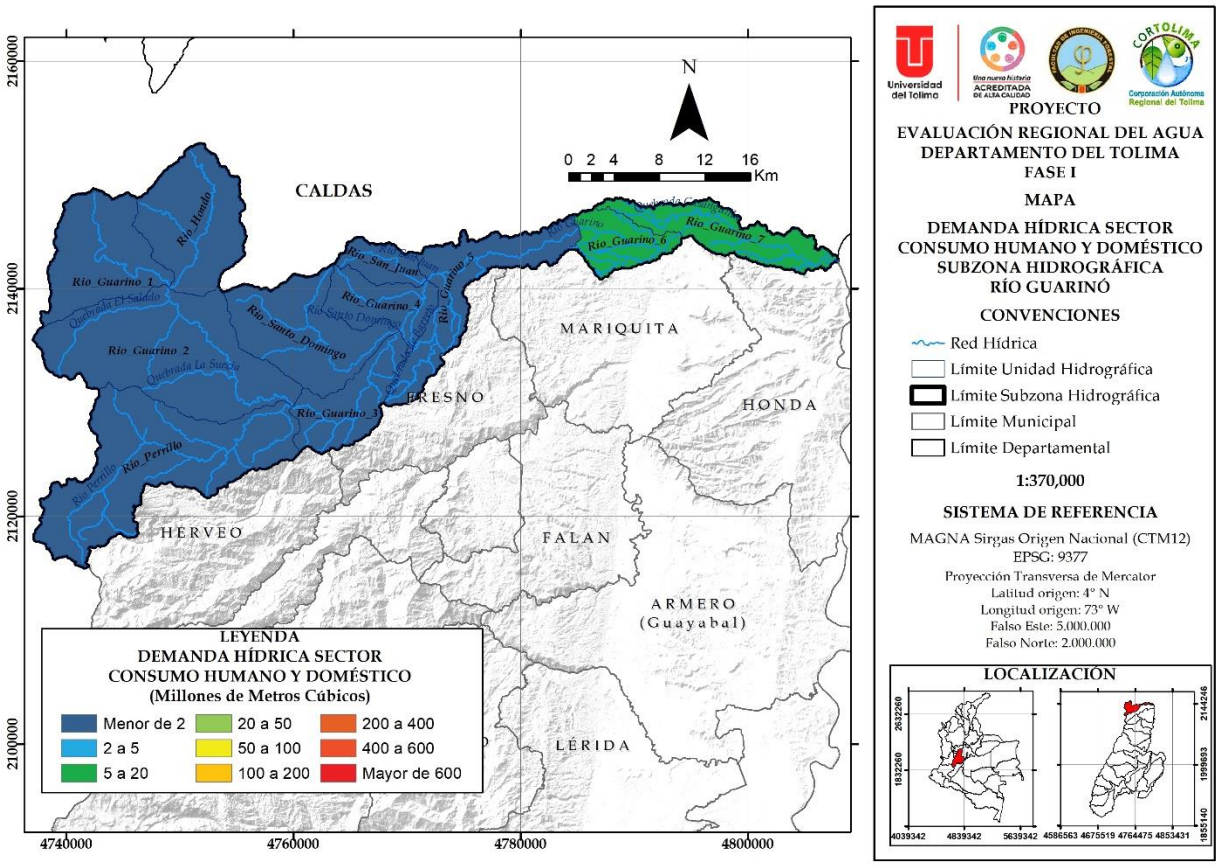


Figura 422. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.7.3. Uso Generación de Energía

La demanda de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se relaciona con el trasvase que del río Guarinó se hace hacia el río La Miel en 10000 l/s (315.36 Mm³/año). La presión que ejerce esta demanda sobre el recurso hídrico de la subzona se puede denotar en la Figura 423, específicamente en la UHA Rio_Guarino_6.

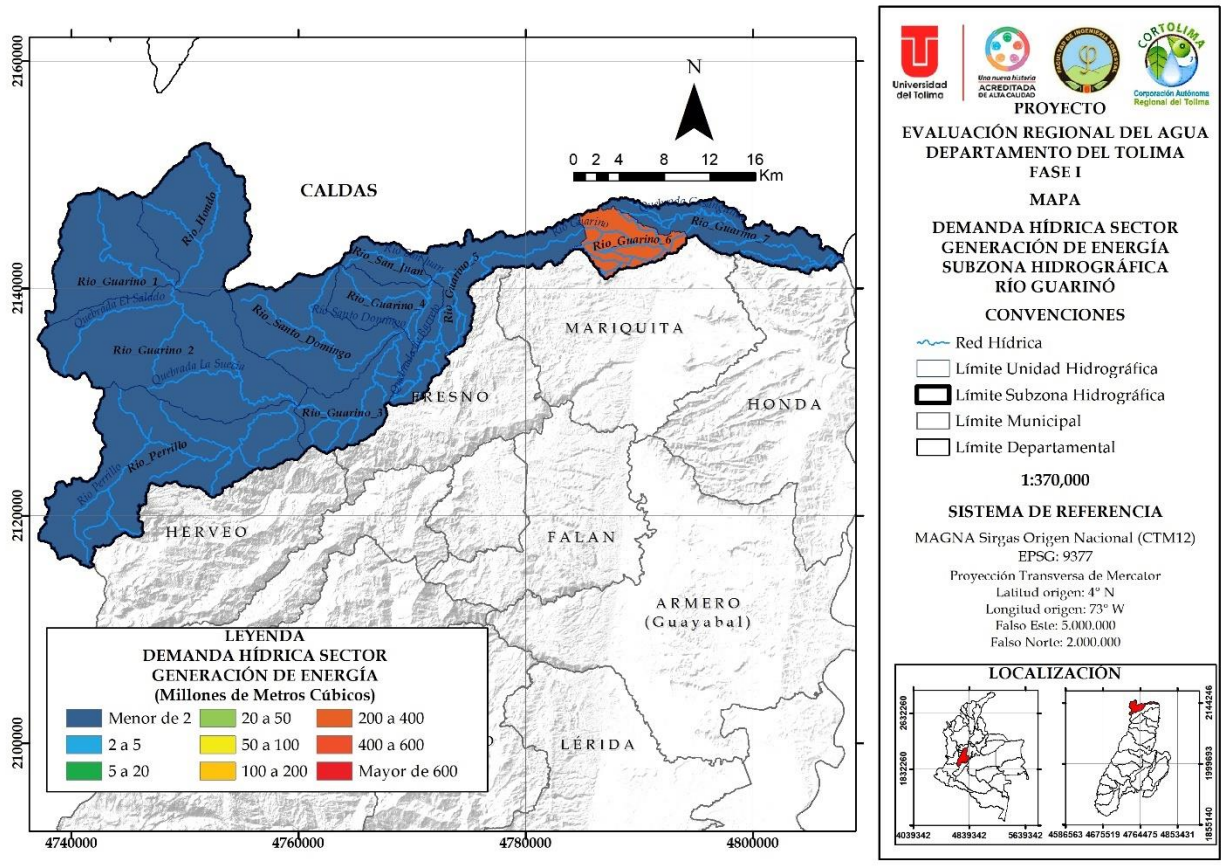


Figura 423. Distribución de la demanda hídrica para Generación de Energía en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.7.4. Uso Industrial

La demanda industrial de Subzona Hidrográfica del río Guarinó corresponde a 181.85 l/s (*Tabla 363*). En las unidades hidrográficas que reporta el POMCA de esta subzona, la mayor demanda hídrica para uso industrial se observa en la UH Quebrada Barreto con un caudal de 24.52 l/s que representan el 13.48% del total de esta demanda. Por otra parte, en relación con las unidades de análisis de la ERA, la UHA Rio_Perrillo comprende el 21% de la demanda con 37.63 l/s seguido por la UHA Rio_Guarino_5 con el 17% que representan 31.22 l/s (*Tabla 364*). En la *Figura 424* se evidencia que la demanda hídrica de este sector no ejerce una presión significativa sobre el recurso hídrico de la SZH río Guarino.

Tabla 363. Demanda hídrica para uso Industrial por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
23020103	Quebrada Alto - El Salado	3.83	0.12	2.11

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
230215	Quebrada Barreto	24.52	0.77	13.48
230217	Quebrada Bocorna	4.06	0.13	2.23
230218	Quebrada Casanguilla	1.69	0.05	0.93
23020504	Quebrada el Hacha	2.26	0.07	1.24
230219	Quebrada el Jardín	0.44	0.01	0.24
230207	Quebrada el Retiro	2.41	0.08	1.33
230204	Quebrada el Salado	8.23	0.26	4.53
23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	2.78	0.09	1.53
23020105	Quebrada La Laguna	1.82	0.06	1.00
23020102	Quebrada La Plata	6.66	0.21	3.66
230209	Quebrada La Suecia	2.87	0.09	1.58
23020502	Quebrada La Unión	6.98	0.22	3.84
23020106	Quebrada los Santos	3.62	0.11	1.99
23020108	Quebrada Mesones	5.82	0.18	3.20
230202	Quebrada San Antonio	2.74	0.09	1.51
230212	Quebrada Santa Bárbara	7.04	0.22	3.87
230203	Río Guarinó Alto	8.51	0.27	4.68
230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	2.18	0.07	1.20
230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	15.85	0.50	8.72
230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	6.70	0.21	3.69
230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	6.66	0.21	3.66
230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	3.45	0.11	1.89
230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	3.24	0.10	1.78
230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	4.63	0.15	2.55
23020601	Rio Hondo Cuenca alta	5.42	0.17	2.98
23020603	Río Hondo cuenca baja	4.04	0.13	2.22
23020101	Río Perrillo alto	3.07	0.10	1.69
23020107	Río Perrillo Bajo	3.30	0.10	1.82
23020104	Río Perrillo medio	9.50	0.30	5.22
230213	Río San Juan	3.67	0.12	2.02
23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	4.09	0.13	2.25
23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	9.76	0.31	5.37
Total		**181.85**	**5.73**	**100**

Tabla 364. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_1	230202	Quebrada San Antonio	2.74	11.25	0.35	6.00	0.00
	230203	Río Guarinó Alto	8.51				
Rio_Guarino_2	230207	Quebrada el Retiro	2.41	20.21	0.64	11.00	0.00
	230204	Quebrada el Salado	8.23				
	230209	Quebrada La Suecia	2.87				
	230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	3.45				
	230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	3.24				
Rio_Guarino_3	230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	15.85	15.85	0.5	9.00	0.00

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_4	230212	Quebrada Santa Bárbara	7.04	11.67	0.37	6.00	0.00
	230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	4.63				
Rio_Guarino_5	230215	Quebrada Barreto	24.52	31.22	0.98	17.00	0.00
	230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	6.7				
Rio_Guarino_6	230217	Quebrada Bocorna	4.06	6.68	0.21	4.00	0.00
	230219	Quebrada el Jardín	0.44				
	230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	2.18				
Rio_Guarino_7	230218	Quebrada Casanguilla	1.69	8.35	0.26	5.00	0.00
	230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	6.66				
Rio_Hondo	23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	2.78	12.23	0.39	7.00	0.00
	23020601	Rio Hondo Cuenca alta	5.42				
	23020603	Río Hondo cuenca baja	4.04				
Rio_Perrillo	23020103	Quebrada Alto - El Salado	3.83	37.63	1.19	21.00	0.00
	23020105	Quebrada La Laguna	1.82				
	23020102	Quebrada La Plata	6.66				
	23020106	Quebrada los Santos	3.62				
	23020108	Quebrada Mesones	5.82				
	23020101	Río Perrillo alto	3.07				
	23020107	Río Perrillo Bajo	3.3				
	23020104	Río Perrillo medio	9.5				
Rio_San_Juan	230213	Río San Juan	3.67	3.67	0.12	2.00	0.00
Rio_Santo_Domingo	23020504	Quebrada el Hacha	2.26	23.08	0.73	13.00	0.00
	23020502	Quebrada La Unión	6.98				
	23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	4.09				
	23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	9.76				
Total			**181.85**	**181.85**	**5.73**	**100**	**2.00**

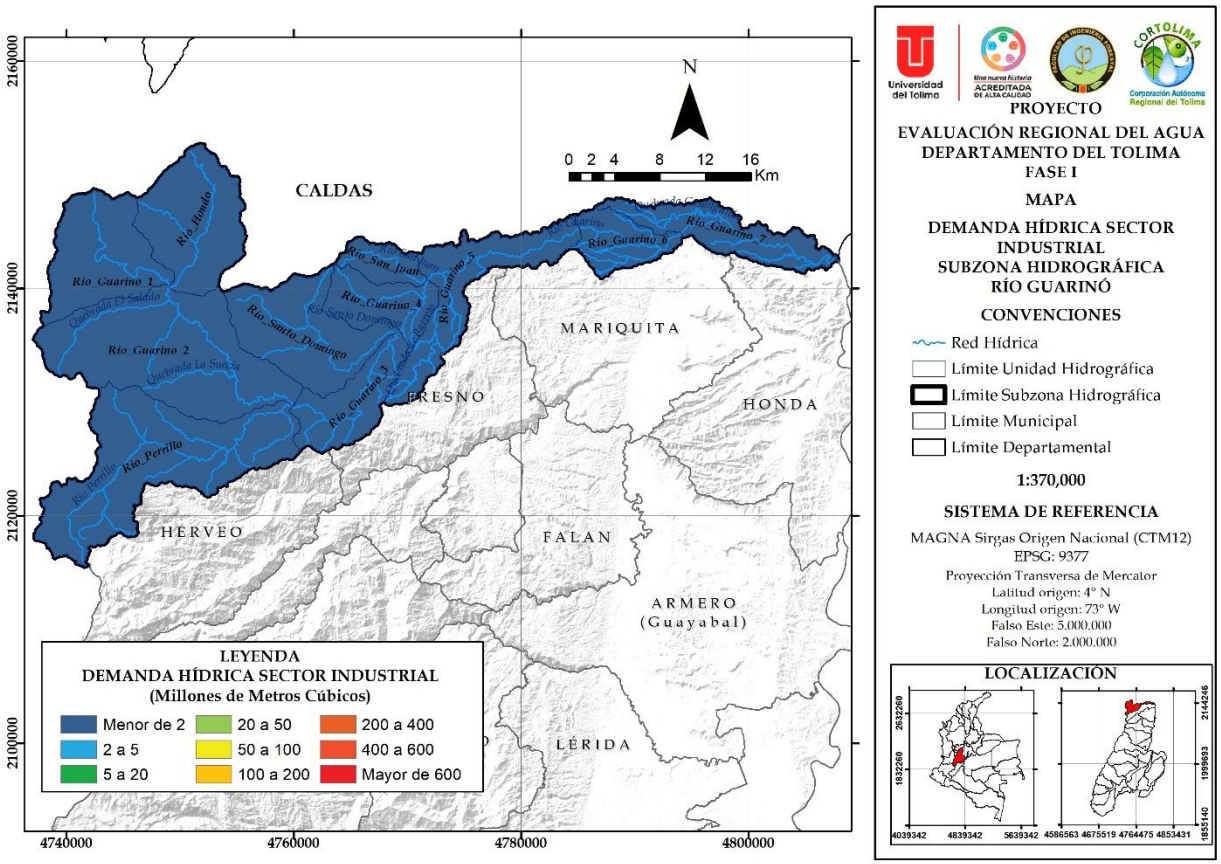


Figura 424. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.7.5. Uso Minería

La demanda hídrica de este sector en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se determina en 17.99 l/s (*Tabla 365*). Entre las 33 unidades hidrográficas en las que se distribuye esta demanda hídrica, las que mayor participación tienen en ella son la UH Quebrada Barreto con 3.78 l/s (21.01%) y la UH Quebrada Casanguilla con 2.67 l/s (14.84%). En la *Tabla 366* se presenta la distribución de la demanda por cada Unidad Hidrográfica de Análisis de la ERA. Se evidencia que la demanda de agua para uso industrial en todas las UHA de esta subzona no ejerce una presión significativa sobre el recurso hídrico (*Figura 425*).

Tabla 365. Demanda hídrica para Minería por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
23020103	Quebrada Alto - El Salado	0	0.00	0.00
230215	Quebrada Barreto	3.78	0.12	21.01
230217	Quebrada Bocorna	0.7	0.02	3.87

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
230218	Quebrada Casanguilla	2.67	0.08	14.84
23020504	Quebrada el Hacha	0.36	0.01	2.02
230219	Quebrada el Jardín	0.7	0.02	3.88
230207	Quebrada el Retiro	0	0.00	0.00
230204	Quebrada el Salado	0	0.00	0.00
23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	0	0.00	0.00
23020105	Quebrada La Laguna	0	0.00	0.00
23020102	Quebrada La Plata	0	0.00	0.00
230209	Quebrada La Suecia	0	0.00	0.00
23020502	Quebrada La Unión	1.12	0.04	6.25
23020106	Quebrada los Santos	0	0.00	0.00
23020108	Quebrada Mesones	0	0.00	0.00
230202	Quebrada San Antonio	0	0.00	0.00
230212	Quebrada Santa Bárbara	1.13	0.04	6.30
230203	Río Guarinó Alto	0	0.00	0.00
230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	0.96	0.03	5.33
230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	2.11	0.07	11.75
230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	0.34	0.01	1.86
230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	0.28	0.01	1.55
230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.24	0.01	1.34
230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	0.36	0.01	2.02
230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	0.67	0.02	3.70
23020601	Rio Hondo Cuenca alta	0	0.00	0.00
23020603	Río Hondo cuenca baja	0	0.00	0.00
23020101	Río Perrillo alto	0	0.00	0.00
23020107	Río Perrillo Bajo	0	0.00	0.00
23020104	Río Perrillo medio	0	0.00	0.00
230213	Río San Juan	0.34	0.01	1.89
23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	0.66	0.02	3.66
23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	1.57	0.05	8.74
Total		**17.99**	**0.57**	**100**

Tabla 366. Distribución de la demanda hídrica para Minería en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (Mm³/año)	% DH Sector Minería SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_2	230209	Quebrada La Suecia	0	0.6	0.02	3.36	0.01
	230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.24				
	230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	0.36				
Rio_Guarino_3	230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	2.11	2.11	0.07	11.75	0.02
Rio_Guarino_4	230212	Quebrada Santa Bárbara	1.13	1.8	0.06	10.00	0.02
	230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	0.67				
Rio_Guarino_5	230215	Quebrada Barreto	3.78	4.12	0.13	22.88	0.04
	230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	0.34				
Rio_Guarino_6	230217	Quebrada Bocorna	0.7	2.35	0.07	13.08	0.02
	230219	Quebrada el Jardín	0.7				
	230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	0.96				

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (Mm³/año)	% DH Sector Minería SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_7	230218	Quebrada Casanguilla	2.67	2.95	0.09	16.38	0.03
	230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	0.28				
Rio_Hondo	23020603	Río Hondo cuenca baja	0	0	0	0.00	0.00
Rio_Perrillo	23020108	Quebrada Mesones	0	0	0	0.00	0.00
Rio_San_Juan	230213	Río San Juan	0.34	0.34	0.01	1.89	0.00
Rio_Santo_Domingo	23020504	Quebrada el Hacha	0.36	3.7	0.12	20.66	0.03
	23020502	Quebrada La Unión	1.12				
	23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	0.66				
	23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	1.57				
Total			**17.99**	**17.99**	**0.57**	**100**	**0.17**

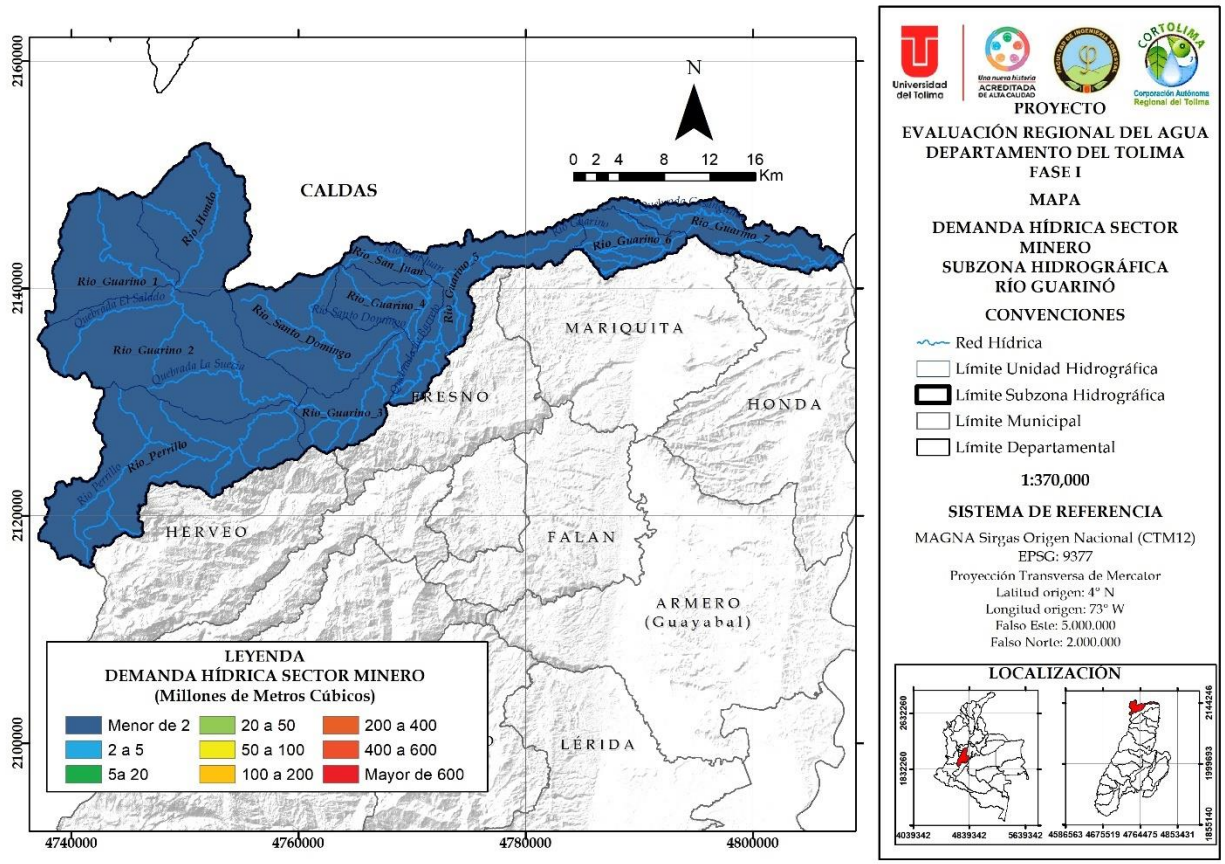


Figura 425. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.7.6. Uso Pecuario

En la Subzona Hidrográfica del río Guarino se demanda un total de 32.08 l/s para uso pecuario. La Unidad Hidrográfica del POMCA que mayor representación tiene en esta demanda es la Quebrada Barreto con el 15.16% (4.86 l/s) (*Tabla 367*).

Tabla 367. Demanda hídrica para uso Pecuario por Unidad Hidrográfica (UH) POMCA en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
23020103	Quebrada Alto - El Salado	1.02	0.03	3.16
230215	Quebrada Barreto	4.86	0.15	15.16
230217	Quebrada Bocorna	0.48	0.02	1.49
230218	Quebrada Casanguilla	1.37	0.04	4.26
23020504	Quebrada el Hacha	0.25	0.01	0.78
230219	Quebrada el Jardín	0.36	0.01	1.11
230207	Quebrada el Retiro	0.64	0.02	1.99
230204	Quebrada el Salado	2.18	0.07	6.80
23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	0.74	0.02	2.29
23020105	Quebrada La Laguna	0.48	0.02	1.50
23020102	Quebrada La Plata	0.37	0.01	1.16
230209	Quebrada La Suecia	0.76	0.02	2.37
23020502	Quebrada La Unión	0.77	0.02	2.40
23020106	Quebrada los Santos	0.20	0.01	0.63
23020108	Quebrada Mesones	0.33	0.01	1.02
230202	Quebrada San Antonio	0.73	0.02	2.27
230212	Quebrada Santa Bárbara	1.02	0.03	3.17
230203	Río Guarinó Alto	2.25	0.07	7.02
230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	0.54	0.02	1.69
230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	2.76	0.09	8.60
230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	0.55	0.02	1.71
230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	0.87	0.03	2.70
230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.73	0.02	2.28
230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	0.59	0.02	1.83
230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	0.85	0.03	2.65
23020601	Rio Hondo Cuenca alta	1.43	0.05	4.47
23020603	Río Hondo cuenca baja	1.07	0.03	3.33
23020101	Río Perrillo alto	0.56	0.02	1.76
23020107	Río Perrillo Bajo	0.31	0.01	0.97
23020104	Río Perrillo medio	0.65	0.02	2.02
230213	Río San Juan	0.38	0.01	1.17
23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	0.59	0.02	1.84
23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	1.41	0.04	4.39
Total		**32.08**	**1.01**	**100**

En relación con las Unidades Hidrológicas de Análisis definidas en la ERA para esta Subzona Hidrográfica, se observa que en las UHA Rio_Guarino_5, Rio_Guarino_2 y Rio_Perrillo es donde mayor volumen de agua demandan para uso pecuario (*Tabla 368*),

sin embargo, se evidencia que, en general, la presión por el uso del recurso del sector pecuario no es significativa en la Subzona Hidrográfica del río Guarino (*Figura 426*).

Tabla 368. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Rio_Guarino_1	230202	Quebrada San Antonio	0.73	2.98	0.09	9.29	0.23
	230203	Río Guarinó Alto	2.25				
	230204	Quebrada el Salado	2.18				
	230207	Quebrada el Retiro	0.64				
Rio_Guarino_2	230208	Río Guarinó CMedia _arriba Qda La Suecia	0.73	4.90	0.15	15.27	0.39
	230209	Quebrada La Suecia	0.76				
	230210	Rio Guarinó Cuenca media arriba Río Perillo	0.59				
Rio_Guarino_3	230211	Río Guarinó arriba río Santo Domingo	2.76	2.76	0.09	8.60	0.22
Rio_Guarino_4	230212	Quebrada Santa Bárbara	1.02	1.87	0.06	5.82	0.15
	230214	Río Guarinó-Arriba Qda Barreto	0.85				
Rio_Guarino_5	230215	Quebrada Barreto	4.86	5.41	0.17	16.87	0.43
	230216	Río Guarinó -arriba trasvase la miel	0.55				
	230217	Quebrada Bocorna	0.48				
Rio_Guarino_6	230219	Quebrada el Jardín	0.36	1.38	0.04	4.30	0.11
	230220	Río Guarinó -Arr captación acueducto Dorada	0.54				
Rio_Guarino_7	230218	Quebrada Casanguilla	1.37	2.23	0.07	6.96	0.18
	230221	Río Guarinó C baja confluencia Río Magdalena	0.87				
Rio_Hondo	23020601	Rio Hondo Cuenca alta	1.43	3.24	0.10	10.10	0.25
	23020602	Quebrada El Salado – R. Hondo	0.74				
	23020603	Río Hondo cuenca baja	1.07				
Rio_Perrillo	23020101	Río Perrillo alto	0.56	3.92	0.12	12.22	0.31
	23020102	Quebrada La Plata	0.37				
	23020103	Quebrada Alto - El Salado	1.02				
	23020104	Río Perrillo medio	0.65				
	23020105	Quebrada La Laguna	0.48				

UHA	Cod. UH	Unidad Hidrográfica (UH)	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
	23020106	Quebrada los Santos	0.20				
	23020107	Río Perrillo Bajo	0.31				
	23020108	Quebrada Mesones	0.33				
Rio_San_Juan	230213	Río San Juan	0.38	0.38	0.01	1.17	0.03
Rio_Santo_Domingo	23020501	Rio Santo Domingo Cuenca alta	0.59	3.02	0.10	9.41	0.24
	23020502	Quebrada La Unión	0.77				
	23020503	Rio Santo Domingo cuenca baja	1.41				
	23020504	Quebrada el Hacha	0.25				
Total			**32.08**	**32.08**	**1.01**	**100**	**2.54**

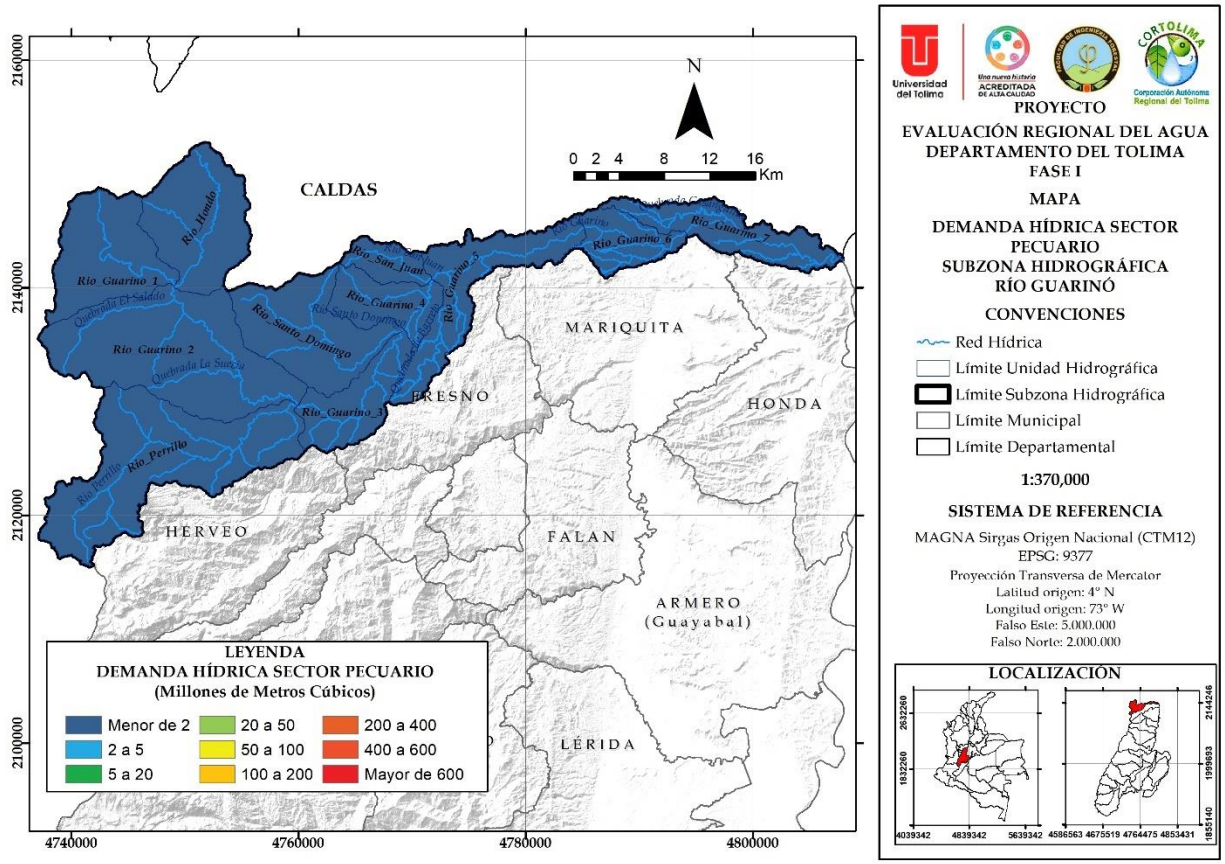


Figura 426. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

20.8. Subzona Hidrográfica del río Gualí

La demanda hídrica total para la Subzona Hidrográfica del río Gualí se estima en 5506.67 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 369*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta Subzona Hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 369. Caudal concesionado por tipo de uso en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	21	2589.57
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	6	10.69
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	17	7.54
Agrícola - Pecuario	2	10.24
Agrícola - Piscícola	1	0.25
Consumo Humano y Doméstico	93	823.76
Consumo Humano y Doméstico - Industrial	2	0.71
Consumo Humano y Doméstico - Minería	2	1.20
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	11	13.17
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	4	0.53
Consumo Humano y Doméstico - Piscícola	1	0.55
Industrial	3	3.23
Pecuario	5	6.13
Piscícola	4	2039.10
Total	**172**	**5506.67**

En la *Tabla 370* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Gualí. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en un 43.1% (2374.22 l/s) en Directos Magdalena y en un 39.8% (2191.49 l/s) en río Sucio, las demás fuentes hídricas solo suplen el 17.1% (941.56 l/s) de la demanda hídrica total en esta subzona hidrográfica.

Tabla 370. Caudal concesionado por fuente hídrica abastecedora en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2301.2	Río Gualí	11.34	0.36	0.21

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Caudal concesionado (l/s)	Caudal concesionado (Mm3/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	2374.22	74.87	43.12
2301.2	Río Gualí	186.19	5.87	3.38
2301.2.10	Rio Cajones	0.05	0	0.00
2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	19.1	0.6	0.35
2301.2.10.5	Rio San Luis	0.55	0.02	0.01
2301.2.18	Quebrada Agua De Dios	22.14	0.7	0.40
2301.2.19	Quebrada San Jose 2	22.02	0.69	0.40
2301.2.2	Rio Medina	282.58	8.91	5.13
2301.2.2.2	Quebrada La Estrella	0.63	0.02	0.01
2301.2.2.3	Quebrada El Guayabo	1.29	0.04	0.02
2301.2.2.4	Quebrada Alegrias	4.5	0.14	0.08
2301.2.2.5	Quebrada Todos Los Santos	7.19	0.23	0.13
2301.2.22	Quebrada El Jordan (La Rica)	3	0.09	0.05
2301.2.24	Quebrada Morales	17	0.54	0.31
2301.2.26	Rio Padilla	194.54	6.14	3.53
2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	23.82	0.75	0.43
2301.2.3	Rio Sucio	2191.49	69.11	39.80
2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	33.78	1.07	0.61
2301.2.3.3	Quebrada Aguasal	3.77	0.12	0.07
2301.2.3.3.1	Quebrada Cabrera	13.04	0.41	0.24
2301.2.3.6	Quebrada Cachipay	2.23	0.07	0.04
2301.2.3.7	Quebrada Grande	2.62	0.08	0.05
2301.2.4	Quebrada Nicua	1.98	0.06	0.04
2301.2.5	Quebrada Campeon	14.94	0.47	0.27
2301.2.6	Quebrada San Rafael	0.08	0	0.00
2301.2.7	Quebrada Guarumo	67.93	2.14	1.23
2301.2.9	Rio Aguacatal	2.4	0.08	0.04
2301.2.9.4	Quebrada El Salto	1.66	0.05	0.03
2301.2.9.8	Quebrada Tasajeras	0.6	0.02	0.01
Total		**5506.67**	**173.65**	**100**

Considerando el caudal concesionado por fuente abastecedora y la localización veredal o georreferenciada de las concesiones, la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica distribuyó en 18 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definas en el marco de la ERA para la Subzona Hidrográfica del río Guali (*Figura 427*). En la *Tabla 371* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA. Se determina que la demanda hídrica se concentra principalmente en la UHA Directos_Magdalena_Gualí y Rio_Sucio con el 43.12% (2374.22 l/s) y 40.80%

(2246.92 l/s), respectivamente. En la *Figura 428* se presenta la distribución de la demanda hídrica total por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) en la Subzona Hidrográfica del río Gualí. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013).

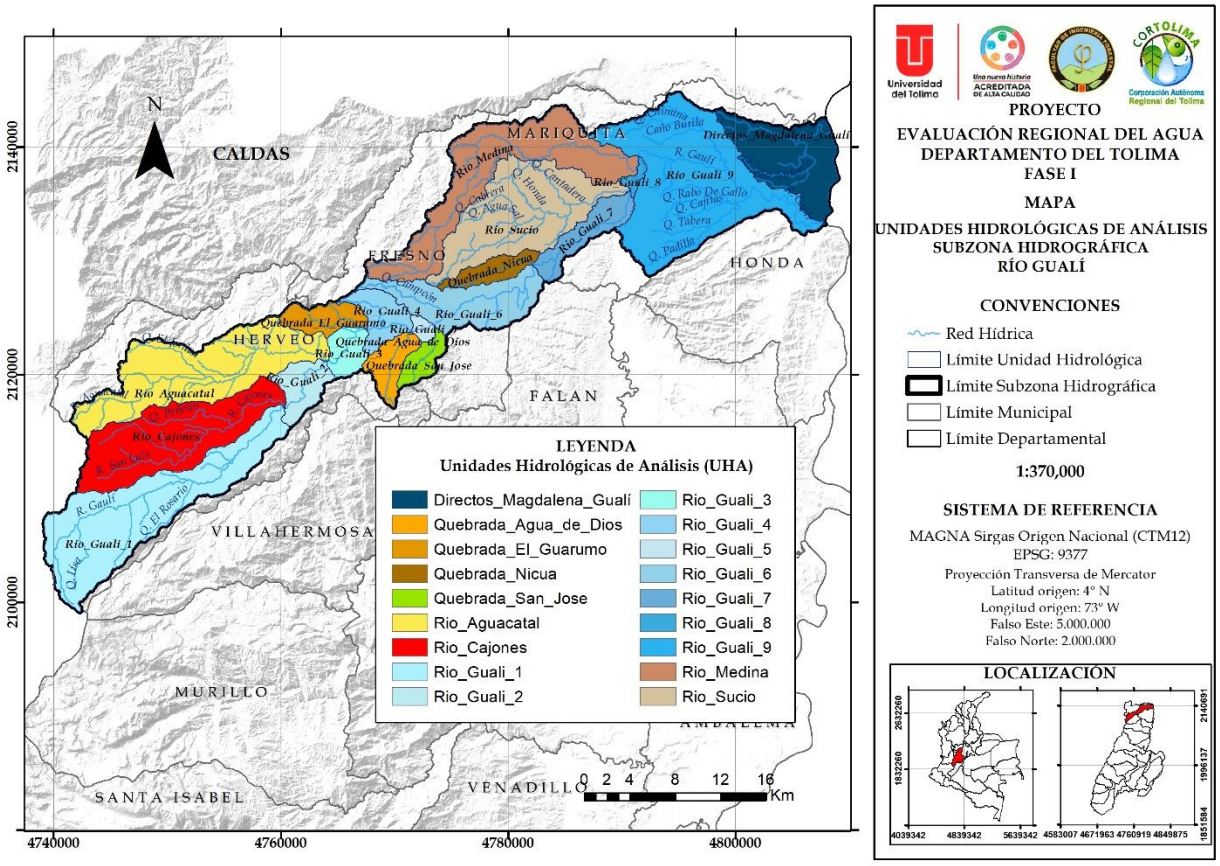


Figura 427. Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) definidas para la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Tabla 371. Distribución de la demanda hídrica total por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	2374.22	2374.22	74.87	43.12
Quebrada_Agua_de_Dios	2301.2.18	Quebrada Agua De Dios	22.14	22.14	0.70	0.40
Quebrada_El_Guarumo	2301.2.7	Quebrada Guarumo	67.93	67.93	2.14	1.23
Quebrada_Nicua	2301.2.4	Quebrada Nicua	1.98	1.98	0.06	0.04
Quebrada_San_Jose	2301.2.19	Quebrada San Jose 2	22.02	22.02	0.69	0.40
Rio_Aguacatal	2301.2.9	Rio Aguacatal	2.40	4.66	0.15	0.08

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Total (l/s)	UHA DH Total (l/s)	UHA DH Total (Mm³/año)	% DH Total
Rio_Cajones	2301.2.9.4	Quebrada El Salto	1.66	19.70	0.62	0.36
	2301.2.9.8	Quebrada Tasajeras	0.60			
	2301.2.10	Rio Cajones	0.05			
	2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	19.10			
	2301.2.10.5	Rio San Luis	0.55			
Rio_Guali_1	2301.2	Río Gualí	0.02	0.02	0.00	0.00
Rio_Guali_2	2301.2	Río Gualí	0.06	0.06	0.00	0.00
Rio_Guali_4	2301.2	Río Gualí	0.51	0.59	0.02	0.01
	2301.2.6	Quebrada San Rafael	0.08			
Rio_Guali_6	2301.2	Río Gualí	9.67	27.61	0.87	0.50
	2301.2.22	Quebrada El Jordan (La Rica)	3.00			
	2301.2.5	Quebrada Campeon	14.94			
Rio_Guali_7	2301.2	Río Gualí	23.97	23.97	0.76	0.44
Rio_Guali_8	2301.2	Río Gualí	11.26	11.26	0.36	0.20
Rio_Guali_9	2301.2	Río Gualí	152.03	387.39	12.22	7.03
	2301.2.24	Quebrada Morales	17.00			
	2301.2.26	Rio Padilla	194.54			
	2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	23.82			
Rio_Medina	2301.2.2	Rio Medina	282.58	296.19	9.34	5.38
	2301.2.2.2	Quebrada La Estrella	0.63			
	2301.2.2.3	Quebrada El Guayabo	1.29			
	2301.2.2.4	Quebrada Alegrias	4.50			
	2301.2.2.5	Quebrada Todos Los Santos	7.19			
Rio_Sucio	2301.2.3	Rio Sucio	2191.49	2246.92	70.86	40.80
	2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	33.78			
	2301.2.3.3	Quebrada Aguasal	3.77			
	2301.2.3.3.1	Quebrada Cabrera	13.04			
	2301.2.3.6	Quebrada Cachipay	2.23			
	2301.2.3.7	Quebrada Grande	2.62			

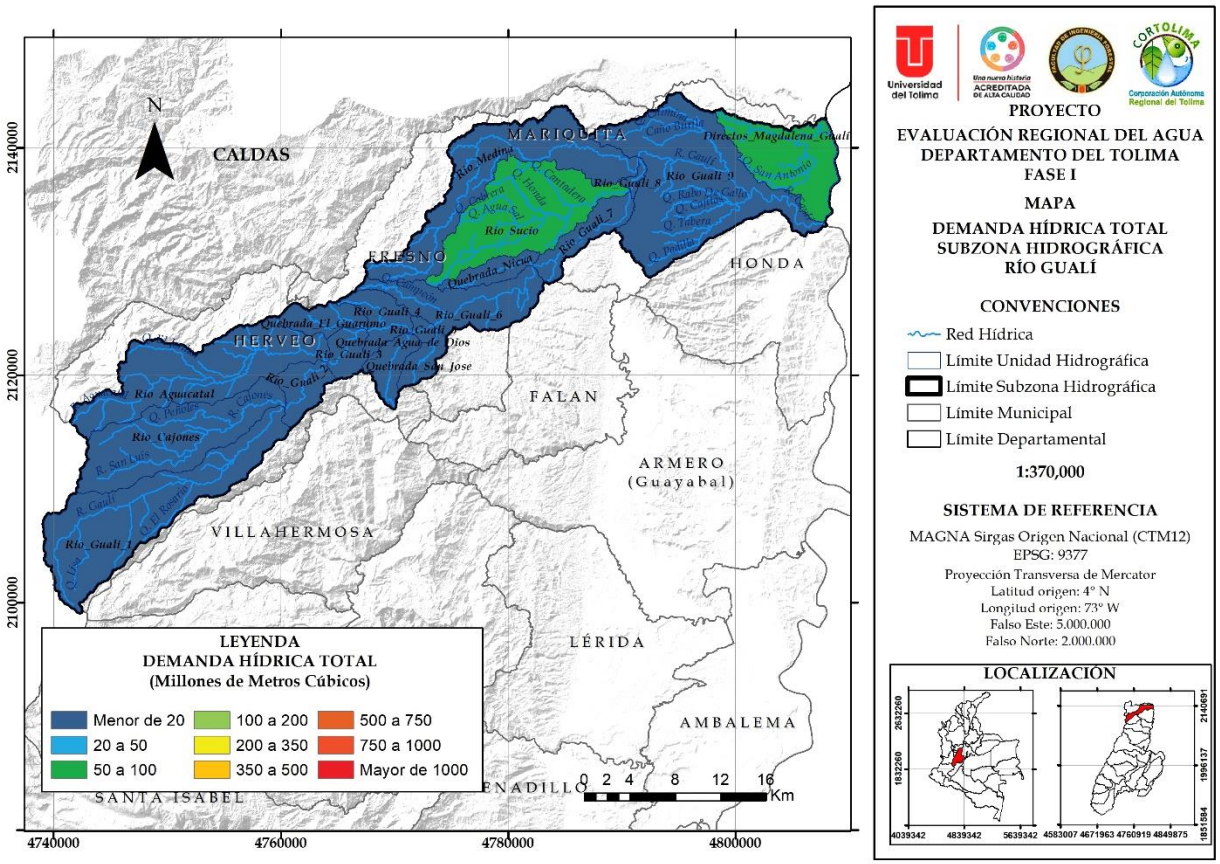


Figura 428. Distribución de la demanda hídrica total en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

20.8.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los establecidos en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la TUA como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos.

De acuerdo con la *Tabla 372*, la demanda hídrica total para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí se determina en 2603.82 l/s, siendo las principales fuentes hídricas abastecedoras en un 90.4% Directos Magdalena con 2353.13 l/s y con el 6% el río Gualí con 156.48 l/s. Los usuarios con mayor demanda en estas fuentes hídricas son, en Directos Magdalena, la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras Río Recio – ASORRECIO con 2348.149 l/s y en el río Gualí la Sociedad de Comercialización Internacional Agrícolas Unidas S.A. (C.I. Agrounidas S.A.)

Tabla 372. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

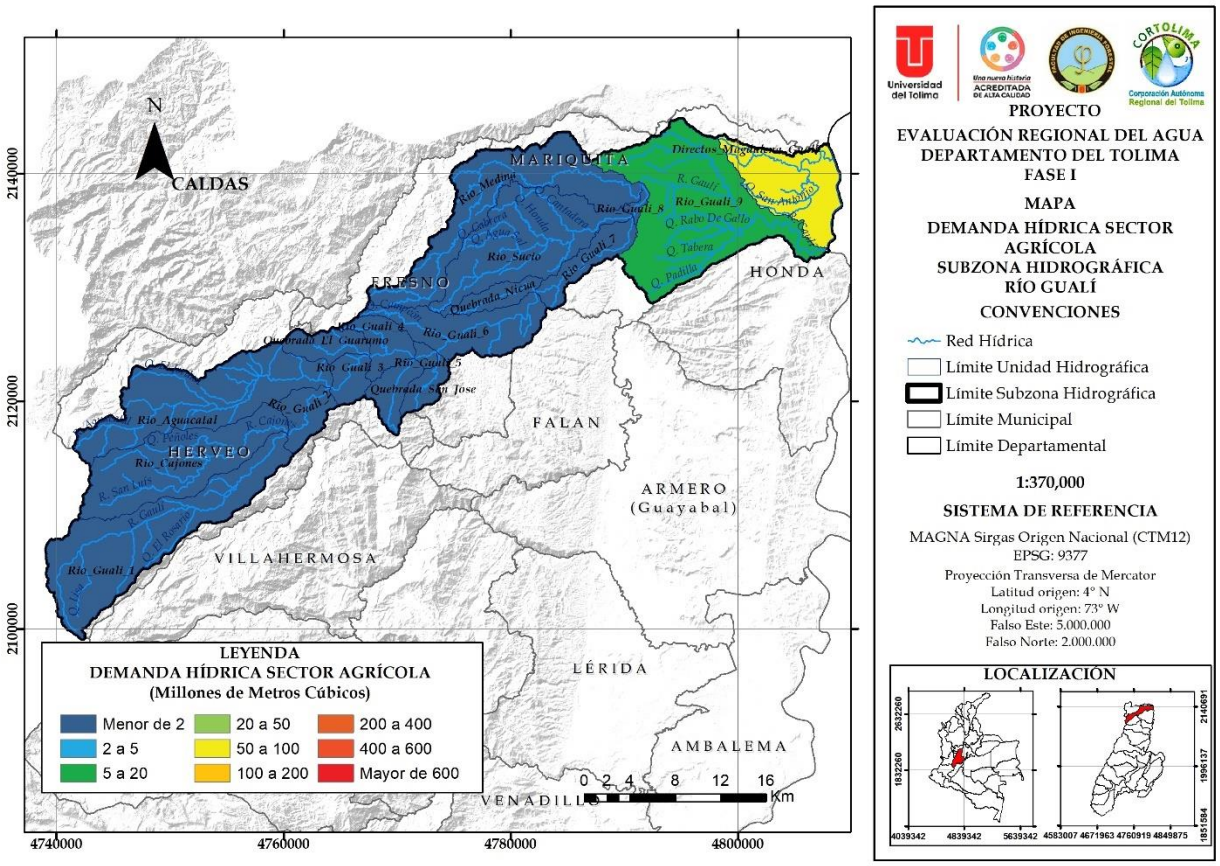
Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	20	2353.13	74.21	90.4
2301.2	Rio Guali	14	156.48	4.93	6.0
2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	1	0.8	0.03	0.03
2301.2.10.5	Rio San Luis	1	0.55	0.02	0.02
2301.2.2	Rio Medina	2	51.75	1.63	2.0
2301.2.24	Quebrada Morales	1	17	0.54	0.7
2301.2.26	Rio Padilla	1	6.3	0.20	0.2
2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	3	5.43	0.17	0.2
2301.2.3.3.1	Quebrada Cabrera	1	0.66	0.02	0.03
2301.2.5	Quebrada Campeon	1	11.17	0.35	0.4
2301.2.9.4	Quebrada El Salto	1	0.55	0.02	0.02
Total		**46**	**2603.82**	**82.11**	**100**

La distribución del caudal demandando para uso agrícola por cada UHA se presenta en la *Tabla 373*. Se evidencia que en la UHA Directos_Magdalena_Gualí se concentra el 90.37% (2353.13 l/s) de la demanda hídrica para uso agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Gualí. Esta caudal representa el 42.73% de la demanda hídrica total de esta subzona (5506.67 l/). En la *Figura 429* se muestra la distribución espacial de los volúmenes de agua demandados en cada UHA. Se identifica que la mayor presión del recurso hídrico de la SZH para uso agrícola la ejercen los municipios de Honda y Mariquita.

Tabla 373. Distribución de la demanda hídrica Agrícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	2353.13	2353.13	74.21	90.37	42.73
Rio_Aguacatal	2301.2.9.4	Quebrada El Salto	0.55	0.55	0.02	0.02	0.01
Rio_Cajones	2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	0.80	1.35	0.04	0.05	0.02
	2301.2.10.5	Rio San Luis	0.55				
Rio_Guali_6	2301.2	Río Gualí	0.59	11.76	0.37	0.45	0.21
	2301.2.5	Quebrada Campeon	11.17				
Rio_Guali_7	2301.2	Río Gualí	8.31	8.31	0.26	0.32	0.15
Rio_Guali_8	2301.2	Río Gualí	3.09	3.09	0.10	0.12	0.06

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (l/s)	UHA DH Agrícola (Mm³/año)	% DH Sector Agrícola SZH	% DH Total SZH
Rio_Guali_9	2301.2	Río Gualí	144.50	173.23	5.46	6.65	3.15
	2301.2.24	Quebrada Morales	17.00				
	2301.2.26	Rio Padilla	6.30				
	2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	5.43				
Rio_Medina	2301.2.2	Rio Medina	51.75	51.75	1.63	1.99	0.94
Rio_Sucio	2301.2.3.3.1	Quebrada Cabrera	0.66	0.66	0.02	0.03	0.01
Total			**2603.82**	**2603.82**	**82.11**	**100**	**47.28**


N
CALDAS
MARIQUITA
FRESNO
HONDA
FALAN
HERVEO
ARMERO (Guayabal)
VILLAHERMOSA
LÉRIDA
AMBALEMA
VENADILLO
Río_Gualí_8
Río_Gualí_9
Río_Gualí_7
Río_Gualí_6
Río_Gualí_5
Río_Gualí_4
Río_Gualí_3
Río_Gualí_2
Río_Gualí_1
Río_Sucio
Río_Medina
Río_Agua_Clara
Río_Agua_Tibia
Río_Agua_Caliente
Río_Agua_Fría
Río_Agua_Tibia_2
Río_Agua_Caliente_2
Río_Agua_Fría_2
Río_Agua_Clara_2
Río_Agua_Tibia_3
Río_Agua_Caliente_3
Río_Agua_Fría_3
Río_Agua_Clara_3
Río_Agua_Tibia_4
Río_Agua_Caliente_4
Río_Agua_Fría_4
Río_Agua_Clara_4
Río_Agua_Tibia_5
Río_Agua_Caliente_5
Río_Agua_Fría_5
Río_Agua_Clara_5
Río_Agua_Tibia_6
Río_Agua_Caliente_6
Río_Agua_Fría_6
Río_Agua_Clara_6
Río_Agua_Tibia_7
Río_Agua_Caliente_7
Río_Agua_Fría_7
Río_Agua_Clara_7
Río_Agua_Tibia_8
Río_Agua_Caliente_8
Río_Agua_Fría_8
Río_Agua_Clara_8
Río_Agua_Tibia_9
Río_Agua_Caliente_9
Río_Agua_Fría_9
Río_Agua_Clara_9
Río_Agua_Tibia_10
Río_Agua_Caliente_10
Río_Agua_Fría_10
Río_Agua_Clara_10
Río_Agua_Tibia_11
Río_Agua_Caliente_11
Río_Agua_Fría_11
Río_Agua_Clara_11

20.8.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda hídrica de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos.

De acuerdo con la *Tabla 374*, la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Gualí corresponde a 838.5 l/s, la cual es suministrada por 26 fuentes hídricas, principalmente por el río Medina con 229.72 l/s que corresponden al 27% de la demanda hídrica total para este sector, seguido por el río Padilla con 187.84 l/s (22.4%) y río Sucio con 185.47 l/s (22.1%). Los usuarios con mayor demanda en estas fuentes hídricas son, Honda Triple A S.A.S. E.S.P, en el caso del río Medina y río Padilla, con 205 l/s y 187.32 l/s, respectivamente; y Urbes S.A.S. E.S.P, en río Sucio, con 180 l/s.

Tabla 374. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	39	15.26	0.48	1.8
2301.2	Rio Guali	34	28.19	0.89	3.4
2301.2.10	Rio Cajones	1	0.05	0.00	0.0
2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	1	17.5	0.55	2.1
2301.2.18	Quebrada Agua De Dios	3	22.14	0.70	2.6
2301.2.19	Quebrada San Jose 2	2	22.02	0.69	2.6
2301.2.2	Rio Medina	8	229.72	7.24	27.4
2301.2.2.2	Quebrada La Estrella	1	0.63	0.02	0.1
2301.2.2.3	Quebrada El Guayabo	1	1.29	0.04	0.2
2301.2.2.4	Quebrada Alegrias	2	4.25	0.13	0.5
2301.2.2.5	Quebrada Todos Los Santos	1	6.21	0.20	0.7
2301.2.22	Quebrada El Jordan (La Rica)	1	3	0.09	0.4
2301.2.26	Rio Padilla	3	187.84	5.92	22.4
2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	3	11.28	0.36	1.3
2301.2.3	Rio Sucio	9	185.47	5.85	22.1
2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	3	7.74	0.24	0.9
2301.2.3.3	Quebrada Aguasal	2	3.77	0.12	0.4
2301.2.3.3.1	Quebrada Cabrera	3	12.38	0.39	1.5
2301.2.3.6	Quebrada Cachipay	4	2.23	0.07	0.3
2301.2.3.7	Quebrada Grande	2	2.62	0.08	0.3
2301.2.4	Quebrada Nicua	1	1.98	0.06	0.2
2301.2.5	Quebrada Campeon	2	3.77	0.12	0.4
2301.2.6	Quebrada San Rafael	2	0.08	0.00	0.0
2301.2.7	Quebrada Guarumo	5	67.93	2.14	8.1

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)	%
2301.2.9.4	Quebrada El Salto	1	0.55	0.02	0.1
2301.2.9.8	Quebrada Tasajeras	1	0.6	0.02	0.1
Total		**135**	**838.51**	**26.44**	**100**

En relación con las UHA donde se evidencia la mayor demanda hídrica para consumo humano y doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí, se determina que estas corresponden, en su orden, a la UHA Rio_Medina con el 28.87% (242.09 l/s), la UHA Rio_Sucio con el 25.55% (214.21 l/s) y Rio_Guali_9 con el 24.27% (203.48 l/s) (*Tabla 375*). En la *Figura 430* se puede evidenciar a través de la escala de colores sugeridos por el IDEAM (2013) el grado de presión que ejerce la demanda de estas UHA sobre el recurso hídrico de la Subzona Hidrográfica del río Gualí.

Tabla 375. Distribución de la demanda hídrica del Consumo Humano y Doméstico por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm³/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	15.26	15.26	0.48	1.82	0.28
Quebrada_Agua_de_Dios	2301.2.18	Quebrada Agua De Dios	22.14	22.14	0.70	2.64	0.40
Quebrada_El_Guarumo	2301.2.7	Quebrada Guarumo	67.93	67.93	2.14	8.10	1.23
Quebrada_Nicua	2301.2.4	Quebrada Nicua	1.98	1.98	0.06	0.24	0.04
Quebrada_San_Jose	2301.2.19	Quebrada San Jose 2	22.02	22.02	0.69	2.63	0.40
Rio_Aguacatal	2301.2.9.4	Quebrada El Salto	0.55	1.15	0.04	0.14	0.02
	2301.2.9.8	Quebrada Tasajeras	0.60				
Rio_Cajones	2301.2.10	Rio Cajones	0.05	17.55	0.55	2.09	0.32
	2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	17.50				
Rio_Guali_1	2301.2	Río Gualí	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
Rio_Guali_2	2301.2	Río Gualí	0.06	0.06	0.00	0.01	0.00
Rio_Guali_4	2301.2	Río Gualí	0.51	0.59	0.02	0.07	0.01
	2301.2.6	Quebrada San Rafael	0.08				
Rio_Guali_6	2301.2	Río Gualí	8.71	15.48	0.49	1.85	0.28
	2301.2.22	Quebrada El Jordan (La Rica)	3.00				
	2301.2.5	Quebrada Campeon	3.77				
Rio_Guali_7	2301.2	Río Gualí	6.71	6.71	0.21	0.80	0.12
Rio_Guali_8	2301.2	Río Gualí	7.83	7.83	0.25	0.93	0.14
Rio_Guali_9	2301.2	Río Gualí	4.36	203.48	6.42	24.27	3.70

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (l/s)	UHA DH CH Doméstico (Mm^3/año)	% DH Sector CH Domestico SZH	% DH Total SZH
Rio_Medina	2301.2.26	Rio Padilla	187.84	242.09	7.63	28.87	4.40
	2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	11.28				
	2301.2.2	Rio Medina	229.72				
	2301.2.2.2	Quebrada La Estrella	0.63				
	2301.2.2.3	Quebrada El Guayabo	1.29				
	2301.2.2.4	Quebrada Alegrias	4.25				
	2301.2.2.5	Quebrada Todos Los Santos	6.21				
Rio_Sucio	2301.2.3	Rio Sucio	185.47	214.21	6.76	25.55	3.89
	2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	7.74				
	2301.2.3.3	Quebrada Aguasal	3.77				
	2301.2.3.3.1	Quebrada Cabrera	12.38				
	2301.2.3.6	Quebrada Cachipay	2.23				
	2301.2.3.7	Quebrada Grande	2.62				
Total			**838.51**	**838.51**	**26.44**	**100**	**15.23**

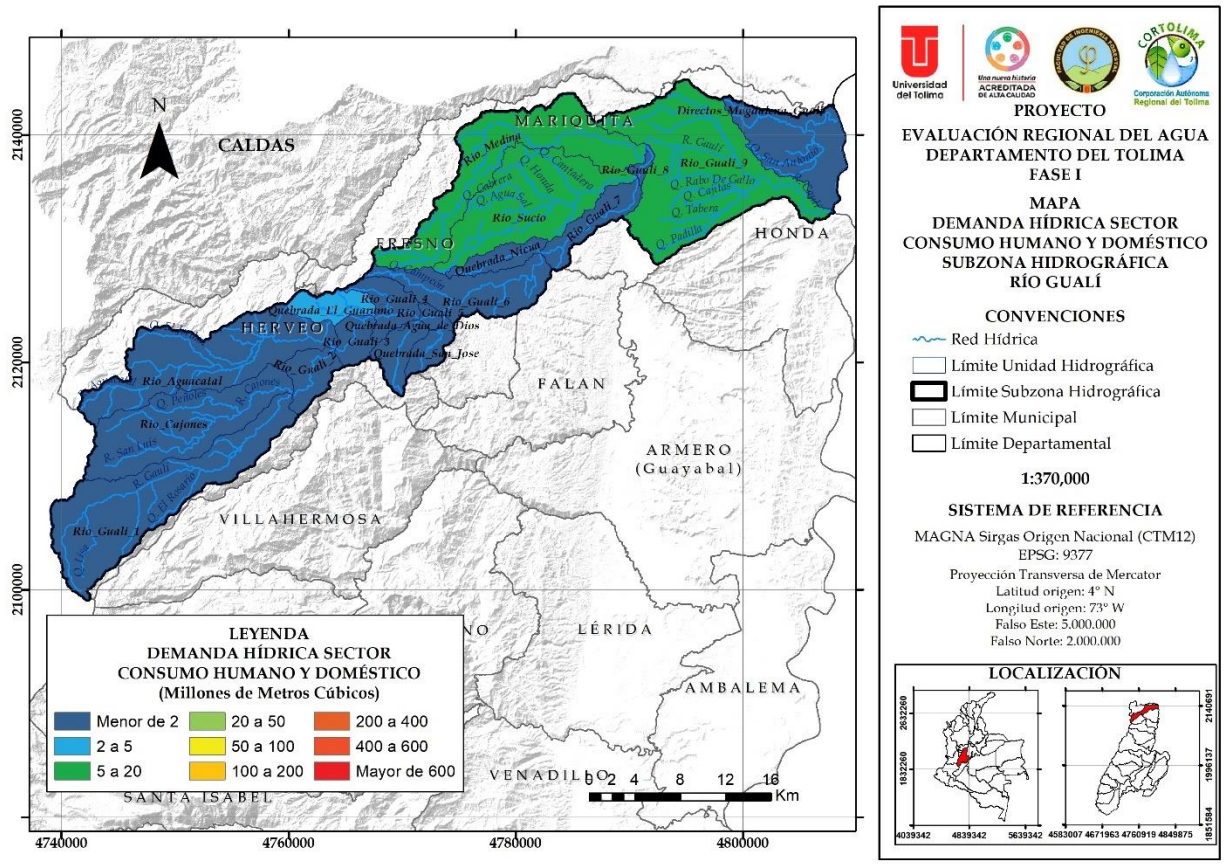


Figura 430. Distribución de la Demanda Hídrica para Consumo Humano y Doméstico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

20.8.3. Uso Industrial

En la Subzona Hidrográfica del río Gualí se demanda para uso industrial un total de 3.58 l/s, los cuales son provistos por 4 fuentes hídricas, siendo el río Aguacatal el que concentra la mayor demanda en un 67%, que equivale a 2.4 l/s de la Sociedad Cuenca del Cumanday Ltda; le sigue el río Gualí en un 23%, (0.83 l/s) cuyo principal demandante es la empresa Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos S.A.S con 0.5 l/s (*Tabla 376*).

Tabla 376. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	1	0.1	0.00	2.8
2301.2	Rio Guali	2	0.83	0.03	23.2
2301.2.2.4	Quebrada Alegrias	1	0.25	0.01	7.0
2301.2.9	Rio Aguacatal	1	2.4	0.08	67.0
Total		**5**	**3.58**	**0.11**	**100**

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) la mayor demanda hídrica para uso industrial se registra en las UHA Rio_Aguacatal y Rio_Guali_7 con caudales de 2.40 l/s (66.96%) y 0.83 l/s (23.16%), respectivamente (*Tabla 377*). De acuerdo con la *Figura 431* los volúmenes de agua demandados para uso industrial en la SZH río Gualí no son representativos en la presión por uso del recurso.

Tabla 377. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (l/s)	UHA DH Industrial (Mm³/año)	% DH Sector Industrial SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	0.10	0.10	0.00	2.90	0.00
Rio_Aguacatal	2301.2.9	Rio Aguacatal	2.40	2.40	0.08	66.96	0.04
Rio_Guali_7	2301.2	Río Gualí	0.83	0.83	0.03	23.16	0.02
Rio_Medina	2301.2.2.4	Quebrada Alegrias	0.25	0.25	0.01	6.98	0.00
Total			**3.58**	**3.58**	**0.11**	**100**	**0.06**

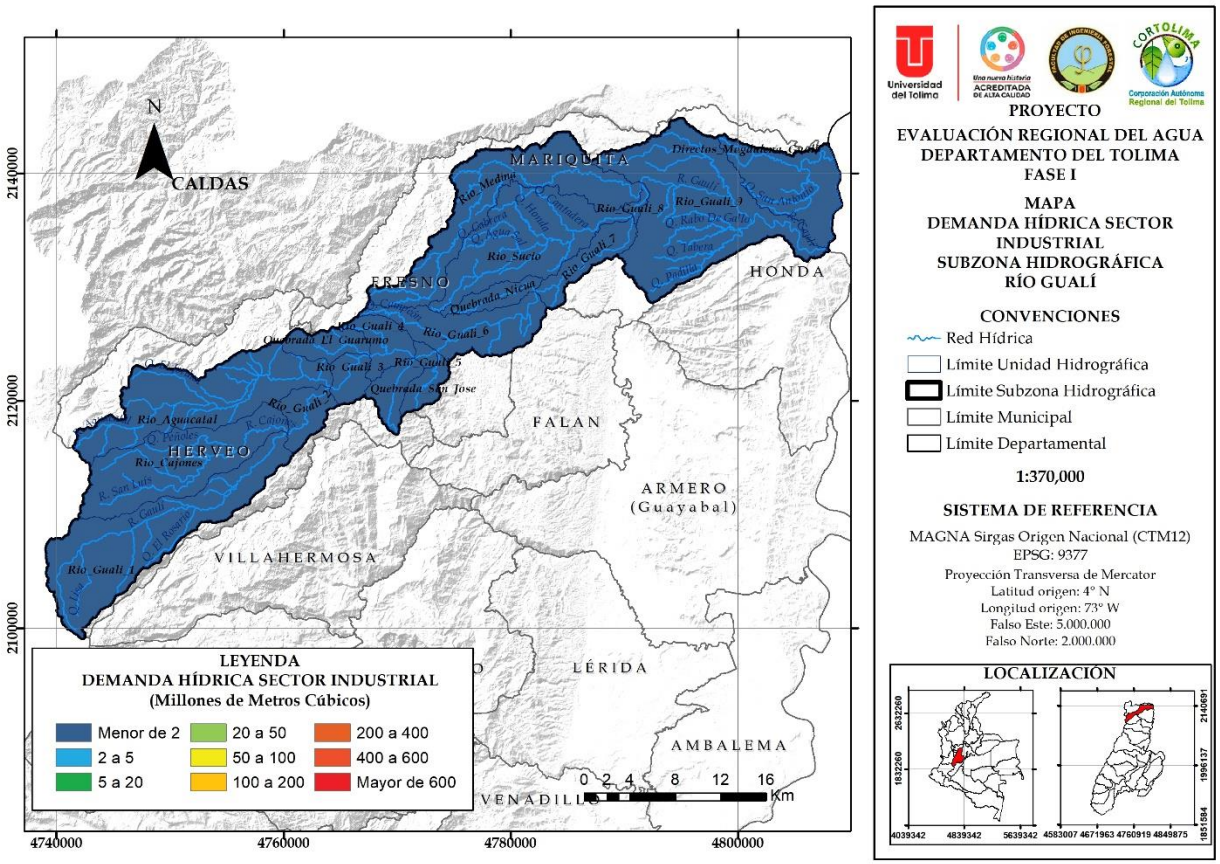


Figura 431. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

20.8.4. Uso Minería

La demanda para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Gualí corresponde a 0.60 l/s de la fuente hídrica Directos Magdalena (*Tabla 378*), la cual corresponden a dos concesiones otorgadas a Anglogold Ashanti Colombia S.A con un caudal de 0.30 l/s cada una. La demanda de este sector se identifica en la UHA Directos_Magdalena_Gualí de la ERA (*Tabla 379*). Se evidencia la baja presión que ejerce el sector minero en el recurso hídrico de la SZH del río Guali (*Figura 432*).

Tabla 378. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Minería (l/s)	DH. Minería (Mm³/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	2	0.60	0.02	100
Total		**2**	**0.60**	**0.02**	**100**

Tabla 379. Distribución de la demanda hídrica para Minería por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guali

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (l/s)	UHA DH Minería (Mm³/año)	% DH Sector Minería SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	0.60	0.60	0.02	100	0.01
Total			**0.60**	**0.60**	**0.02**	**100**	**0.01**

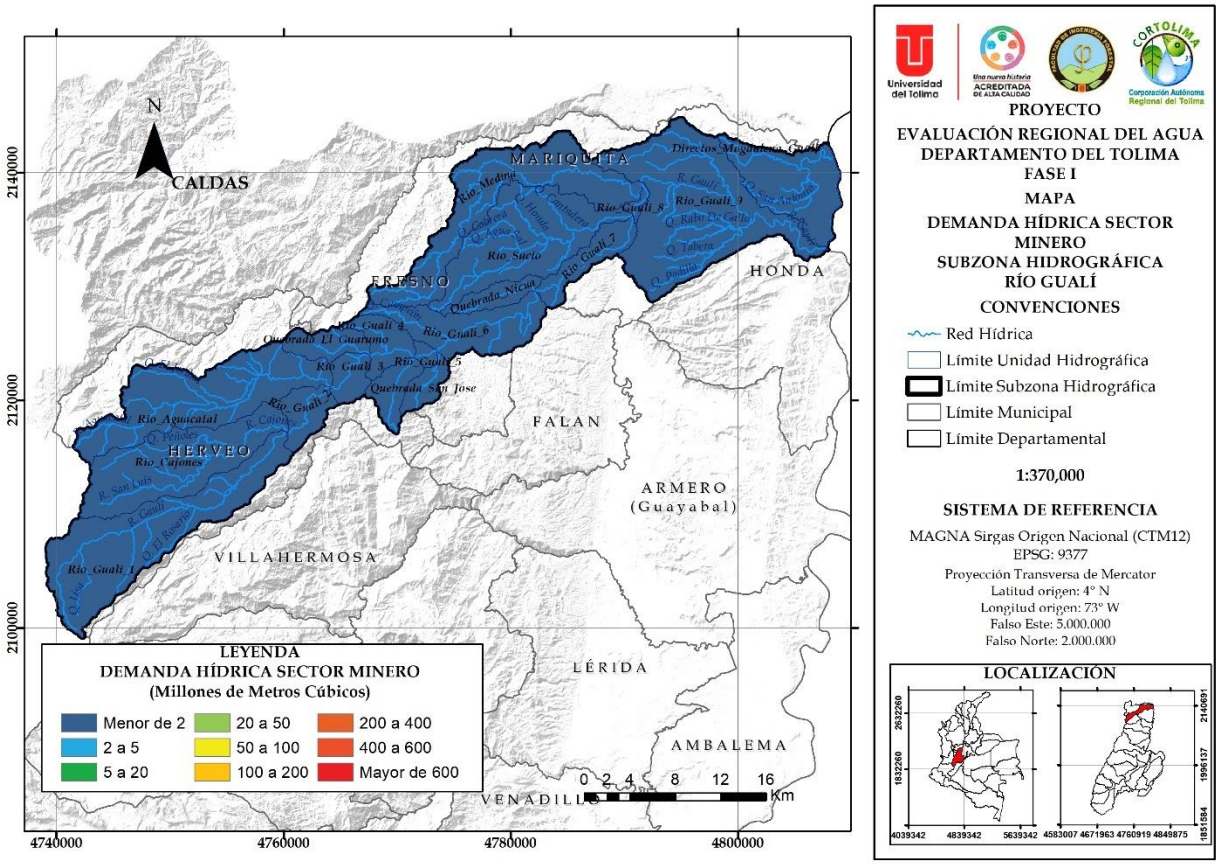


Figura 432. Distribución de la demanda hídrica para Minería en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

20.8.5. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En la Subzona Hidrográfica del río Gualí se demanda un total de 20.49 l/s para 39 usuarios, siendo la quebrada Rabo de Gallo la que concentra la mayor demanda en un 34.7% de esta, que corresponde a 7.1 l/s, seguida por Directos Magdalena con el 23.7% (4.85 l/s) y el río Gualí con el 17.7% (3.63 l/s) (*Tabla 380*). En cuanto a los usuarios con mayor demanda se encuentran: La empresa Valcaba S.A.S la cual demanda 4.32 l/s de la quebrada Rabo de Gallo; Julio Nelson Jordan Garzón con 3.10 l/s de Directos Magdalena y la Asociación Agropecuaria de Mariquita (ASOGRAMAR) con 3.01 l/s del río Gualí.

Tabla 380. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	14	4.85	0.15	23.7
2301.2	Rio Guali	13	3.63	0.11	17.7
2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	1	0.8	0.03	3.9
2301.2.2	Rio Medina	2	1.12	0.04	5.5
2301.2.2.5	Quebrada Todos Los Santos	1	0.98	0.03	4.8
2301.2.26	Rio Padilla	1	0.4	0.01	2.0
2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	3	7.1	0.22	34.7
2301.2.3	Rio Sucio	2	0.02	0.00	0.1
2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	1	1.04	0.03	5.1
2301.2.9.4	Quebrada El Salto	1	0.55	0.02	2.7
Total		**39**	**20.49**	**0.65**	**100**

Con relación a las UHA de la SZH del río Gualí, se observa que la mayor demanda hídrica para uso pecuario se concentra en las UHA Rio_Guali_9 y Directos_Magdalena_Gualí, las cuales integran el 52.12% (10.68 l/s) y 23.68% (4.85 l/s), respectivamente, del total demandado en esta subzona. De acuerdo con la *Figura 433* la demanda hídrica para uso pecuario en la SZH Guali no es representativa en la presión por uso del recurso.

Tabla 381. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Gualí

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (l/s)	UHA DH Pecuario (Mm³/año)	% DH Sector Pecuario SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	4.85	4.85	0.15	23.68	0.09
Rio_Aguacatal	2301.2.9.4	Quebrada El Salto	0.55	0.55	0.02	2.70	0.01
Rio_Cajones	2301.2.10.1	Quebrada Peñoles	0.80	0.80	0.03	3.90	0.01
Rio_Guali_6	2301.2	Río Gualí	0.25	0.25	0.01	1.23	0.00
Rio_Guali_7	2301.2	Río Gualí	0.03	0.03	0.00	0.12	0.00
Rio_Guali_8	2301.2	Río Gualí	0.17	0.17	0.01	0.85	0.00
Rio_Guali_9	2301.2	Río Gualí	3.18	10.68	0.34	52.12	0.19
	2301.2.26	Rio Padilla	0.40				
	2301.2.26.1	Quebrada Rabo de Gallo	7.10				
Rio_Medina	2301.2.2	Rio Medina	1.12	2.10	0.07	10.23	0.04
	2301.2.2.5	Quebrada Todos Los Santos	0.98				
Rio_Sucio	2301.2.3	Rio Sucio	0.02	1.06	0.03	5.16	0.02
	2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	1.04				
Total			**20.49**	**20.49**	**0.65**	**100**	**0.36**

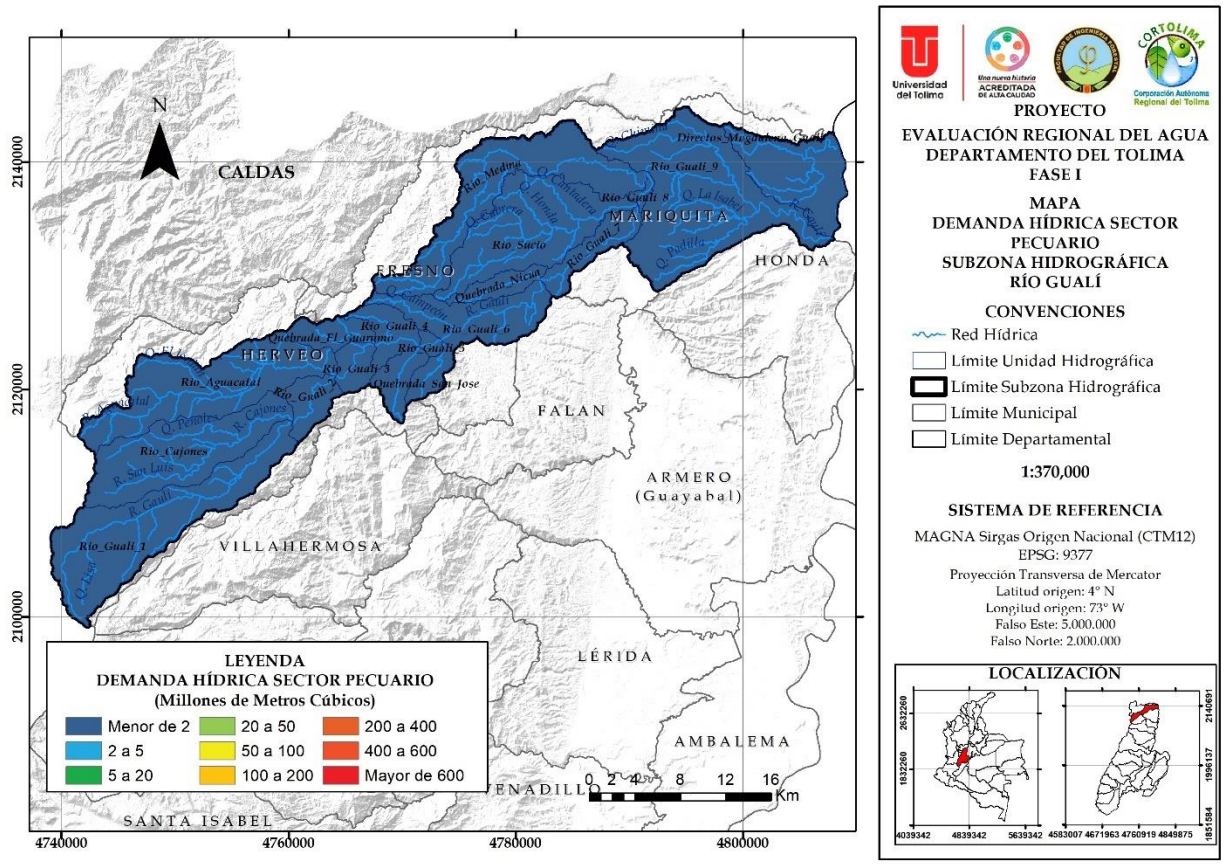


Figura 433. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

20.8.6. Uso Piscícola

De acuerdo con la *Tabla 382*, la demanda para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí corresponde a 2039.68 l/s, procedentes principalmente de río Sucio en un 98% (2006 l/s) en el cual se reportan dos concesiones de agua (de 1000 y 1006 l/s) otorgadas a nombre de la empresa Natturale y Cia S.C.A bajo Resolución 125 del 22 de febrero de 2020.

Tabla 382. Demanda hídrica por fuente hídrica abastecedora para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)	%
2301.1	Directos Magdalena	1	0.28	0.01	0.01
2301.2	Rio Guali	6	8.4	0.26	0.4
2301.2.3	Rio Sucio	2	2006	63.26	98.3
2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	1	25	0.79	1.2

Total	**10**	**2039.68**	**64.32**	**100**

En relación con las UHA definidas en la ERA para esta Subzona Hidrográfica, la demanda del sector piscícola se concentra principalmente en la UHA Rio_Sucio con 2031 l/s correspondientes al 99.57% del total de la demanda hídrica de este sector en la SZH río Guali. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 434* en la cual se representa espacialmente la presión que ejerce la demanda hídrica de cada UHA sobre el recurso hídrico.

Tabla 383. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola por fuente hídrica abastecedora en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guali

UHA	Cod. Fuente Hídrica	Fuente Hídrica	DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (l/s)	UHA DH Piscícola (Mm³/año)	% DH Sector Piscícola SZH	% DH Total SZH
Directos_Magdalena_Gualí	2301.1	Directos Magdalena	0.28	0.28	0.01	0.01	0.00
Rio_Guali_6	2301.2	Río Gualí	0.13	0.13	0.00	0.01	0.00
Rio_Guali_7	2301.2	Río Gualí	8.10	8.10	0.26	0.40	0.15
Rio_Guali_8	2301.2	Río Gualí	0.17	0.17	0.01	0.01	0.00
Rio_Sucio	2301.2.3	Rio Sucio	2006.00	2031.00	64.05	99.57	36.88
	2301.2.3.1	Quebrada Cantadera	25.00				
Total			**2039.68**	**2039.68**	**64.33**	**100**	**37.03**

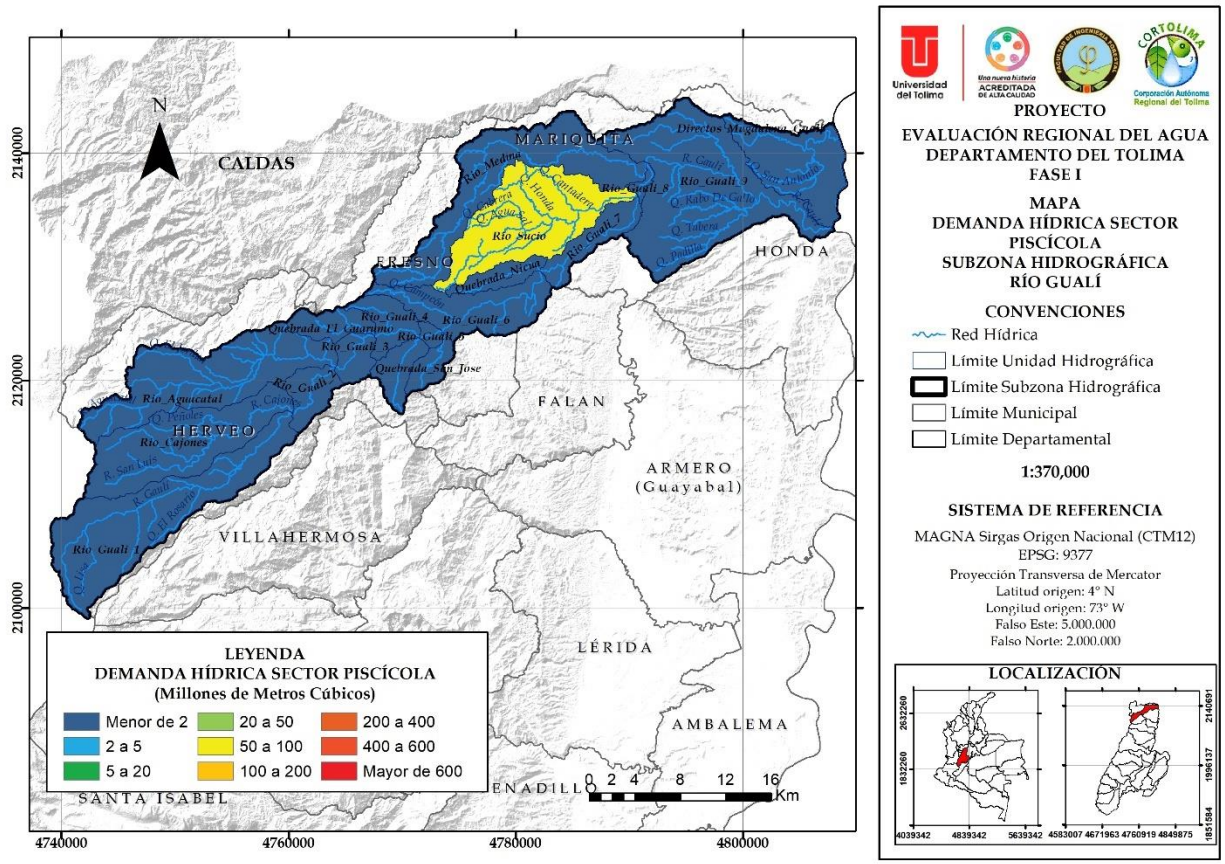


Figura 434. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

21. Demanda Hídrica Subterránea

21.1. Pozos Subterráneos Abanico de Ibagué

La demanda hídrica total en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué se estima en 4029.544 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 384*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta unidad hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 384. Caudal concesionado por tipo de uso en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	64	2739.97
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico	14	355.87
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	4	105.305
Agrícola - Pecuario	4	252.33
Consumo Humano y Doméstico	51	323.579
Consumo Humano y Doméstico - Industrial	2	37.16
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	9	26.49
Consumo Humano y Doméstico - Recreativo	1	1.67
Industrial	4	19.22
Pecuario	12	128.35
Piscícola	2	36.9
Recreativo	1	2.7
Total	**168**	**4029.544**

En la *Figura 435* se presenta la distribución espacial de la demanda hídrica total subterránea, de los usuarios georreferenciados en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013).

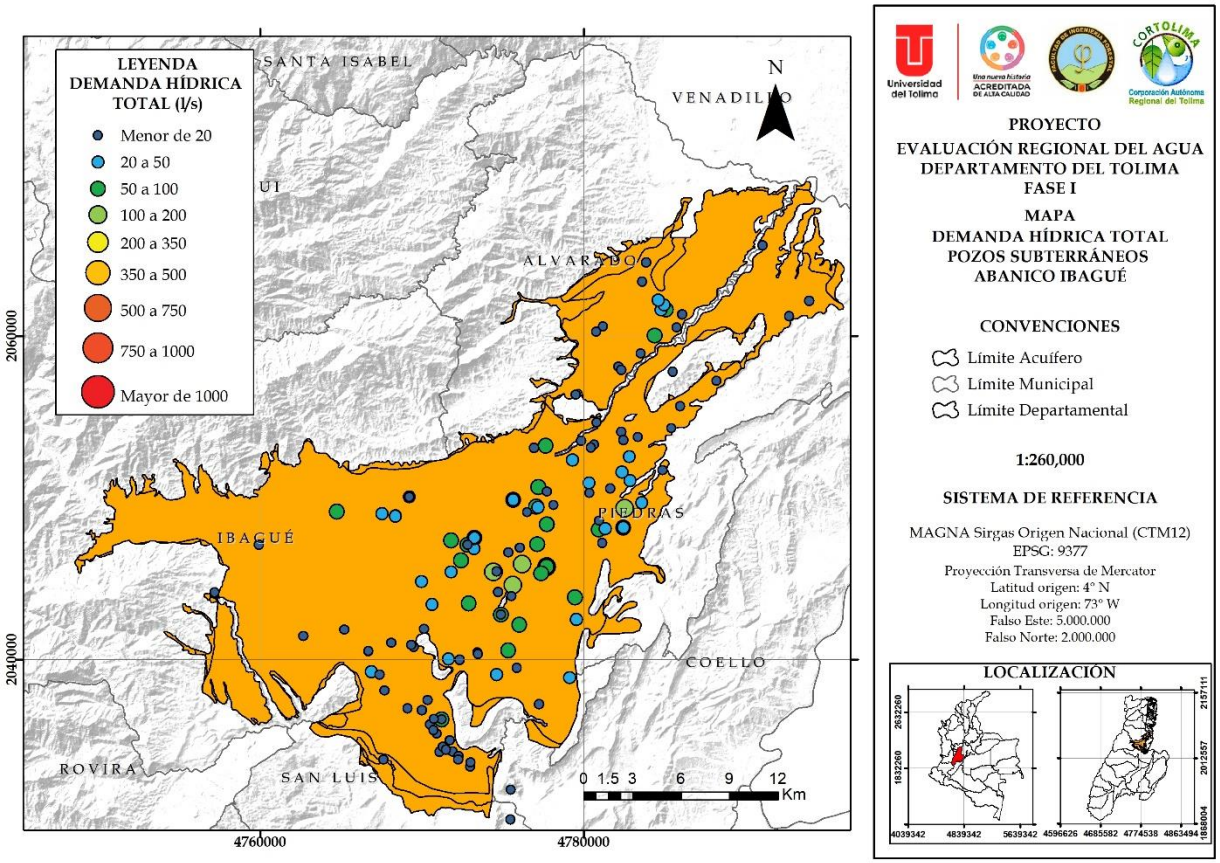


Figura 435. Distribución de la demanda hídrica total en el Abanico de Ibagué

21.1.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los establecidos en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la TUA, dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la Tasa por Uso como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos.

La demanda para uso Agrícola en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué corresponde a 3094.53 l/s para 86 usuarios (*Tabla 385*), de los cuales los mayores demandantes corresponden a Meléndez y Meléndez Ltda con 131.13 l/s, Gómez Caballero y Cia con 104.55 y, el Consorcio Agrícola Buenos Aires con 101.64 l/s. En la *Figura 436* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 385. Demanda hídrica para uso Agrícola en el Acuífero Abanico de Ibagué

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)
C.1	Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	86	3094.53	97.59
Total		**86**	**3094.53**	**97.59**

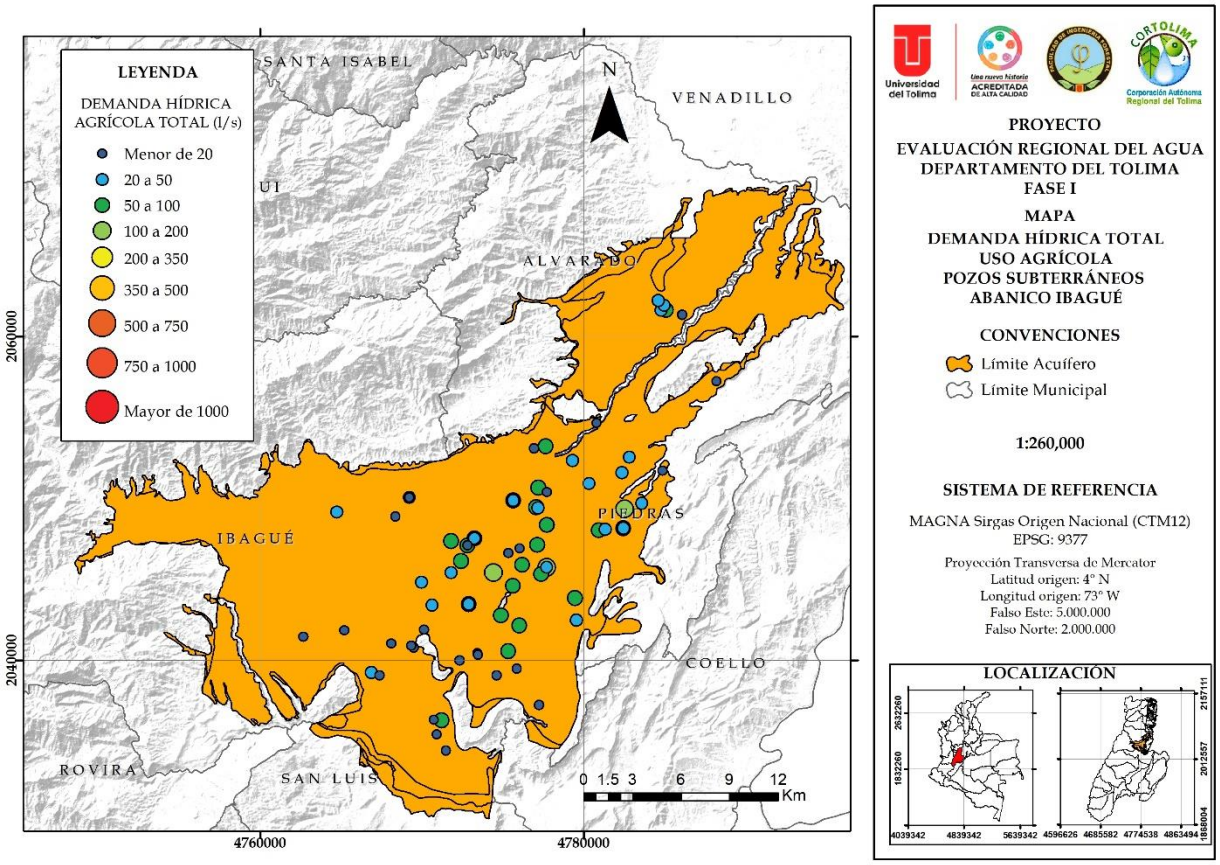


Figura 436. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en el Abanico de Ibagué

21.1.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos.

En los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué se demanda para Consumo Humano y Doméstico un total de 551.332 l/s para 81 usuarios (*Tabla 386*), de los cuales los mayores demandantes son Inversiones Agropecuarias Doima S.A con 45.5 l/s y el municipio de Piedras con 40 l/s. En la *Figura 437* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 386. Demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en el Acuífero Abanico de Ibagué

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)
C.1	Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	81	551.332	17.39
Total		**81**	**551.332**	**17.39**

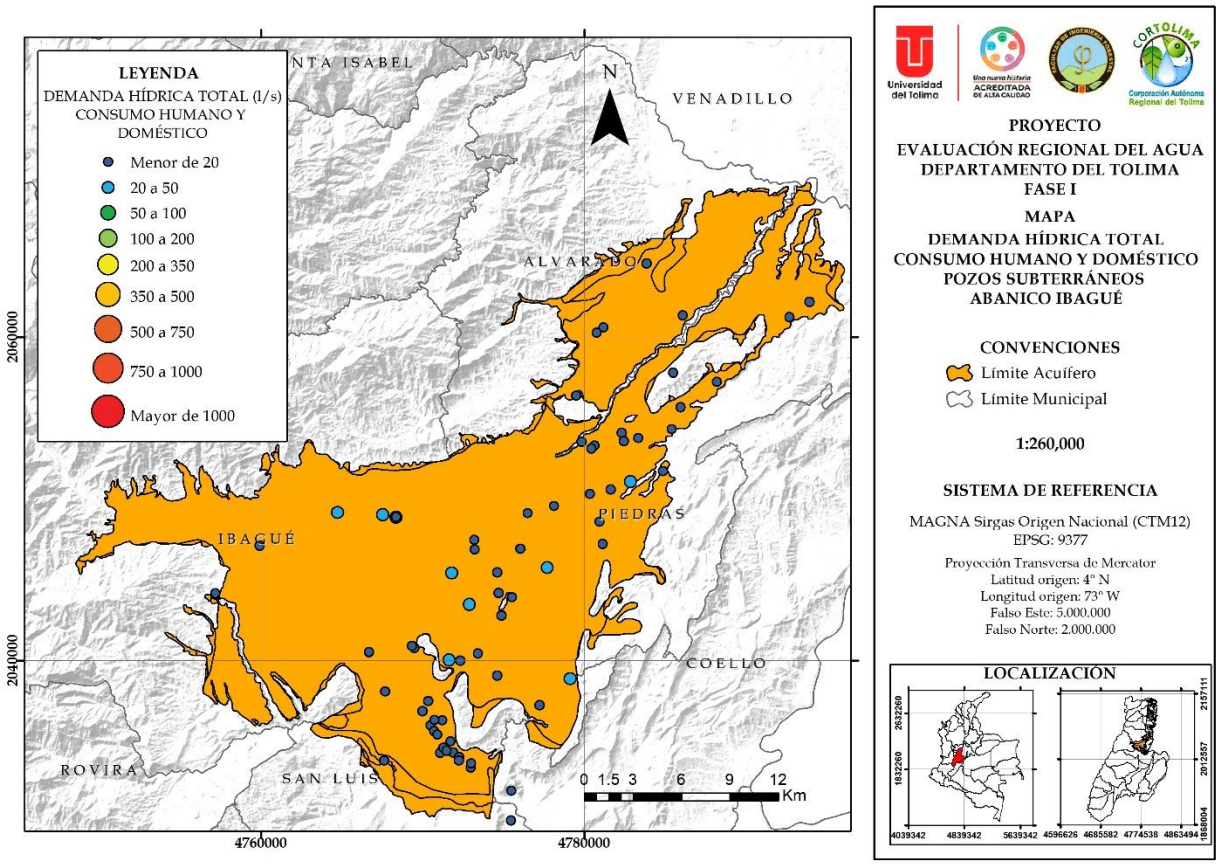


Figura 437. Distribución de la demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en el Abanico de Ibagué

21.1.3. Uso Industrial

La demanda de este sector en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué es de 37.8 l/s (*Tabla 387*), siendo Desarrollos Campesinos Teucali y Cemex Colombia S.A los usuarios con mayor demanda, la cual corresponde a 16.5 l/s y 16 l/s, respectivamente. En la *Figura 438* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 387. Demanda hídrica para uso Industrial en el Acuífero Abanico de Ibagué

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)
C.1	Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	6	37.8	1.19
Total		**6**	**37.8**	**1.19**

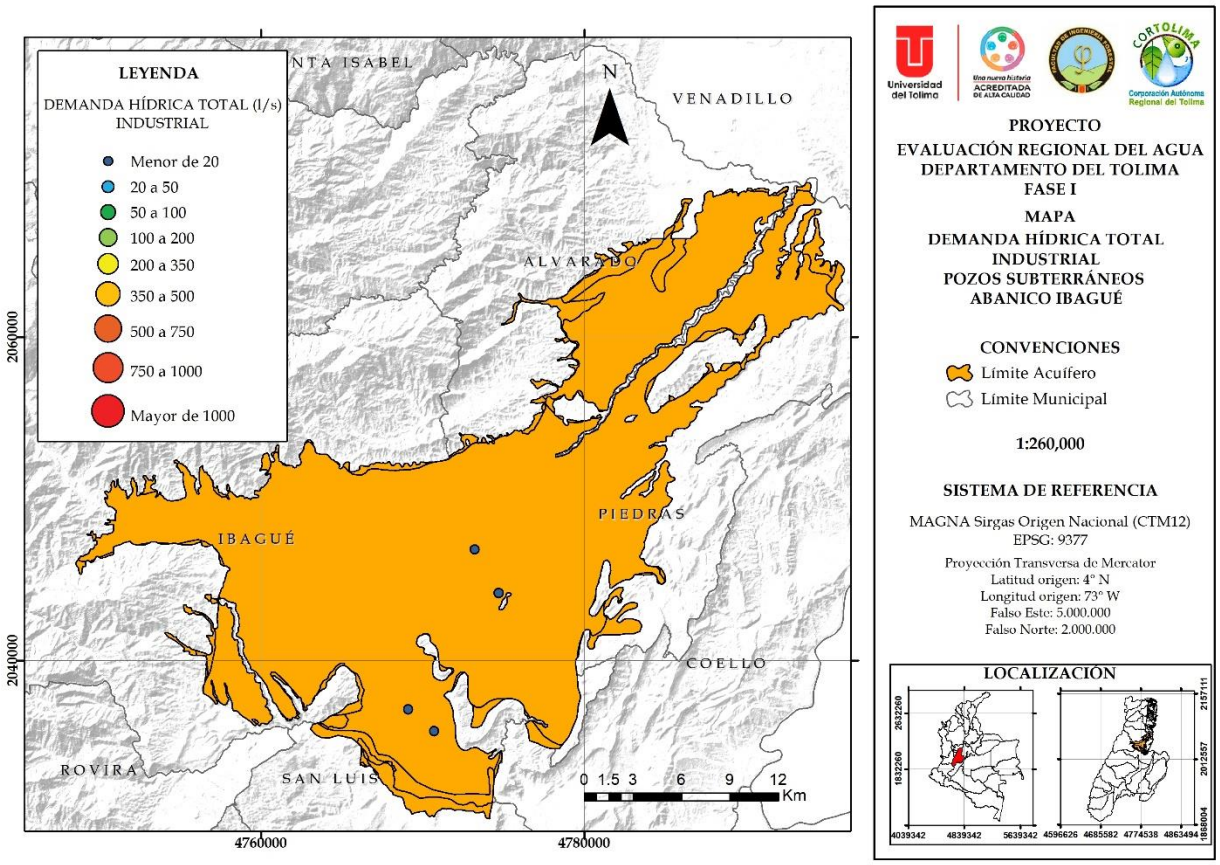


Figura 438. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en el Abanico de Ibagué

21.1.4. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué se demanda para uso Pecuario un total de 305.447 l/s para 29 usuarios (*Tabla 388*), siendo Avícola Triple A S.A.S el mayor demandante con 90 l/s, seguido por Meléndez y Meléndez Ltda con dos concesiones de 57 l/s cada una. En la *Figura 439* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 388. Demanda hídrica para uso Pecuario en el Acuífero Abanico de Ibagué

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)
C.1	Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	29	305.447	9.63
Total		**29**	**305.447**	**9.63**

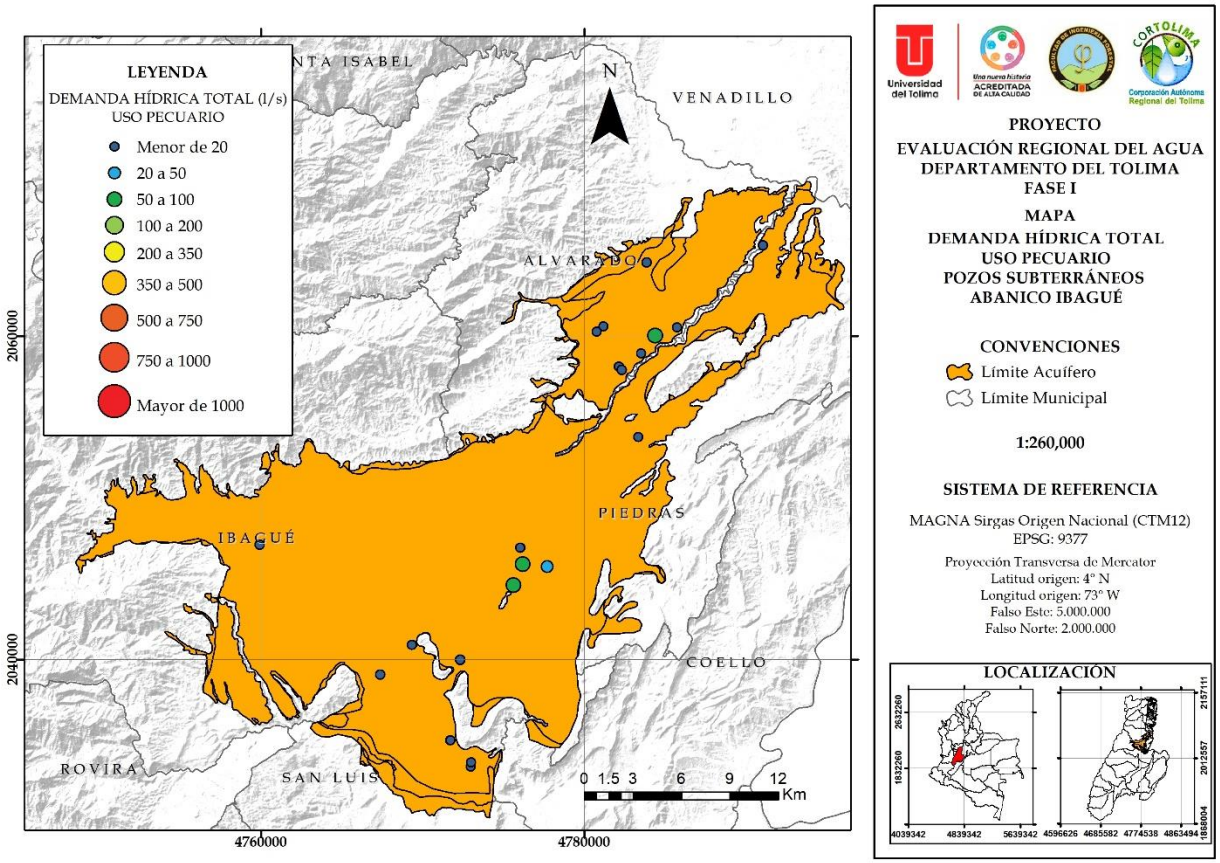


Figura 439. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en el Abanico de Ibagué

21.1.5. Uso Piscícola

En los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué la demanda para uso Piscícola corresponde a 36.9 l/s, correspondiente a la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA, según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta demanda se relaciona con dos concesiones hídricas (una de 7.45 l/s y otra de 29.45 l/s) otorgadas a la señora Norma Rojas de Rodríguez bajo Resolución 1715 del del 1 de octubre de 2020 y 1434 del 8 de septiembre de 2020. En la *Figura 440* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 389. Demanda hídrica para uso Piscícola en el Acuífero Abanico de Ibagué

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)
C.1	Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	2	36.9	1.16
Total		**2**	**36.9**	**1.16**

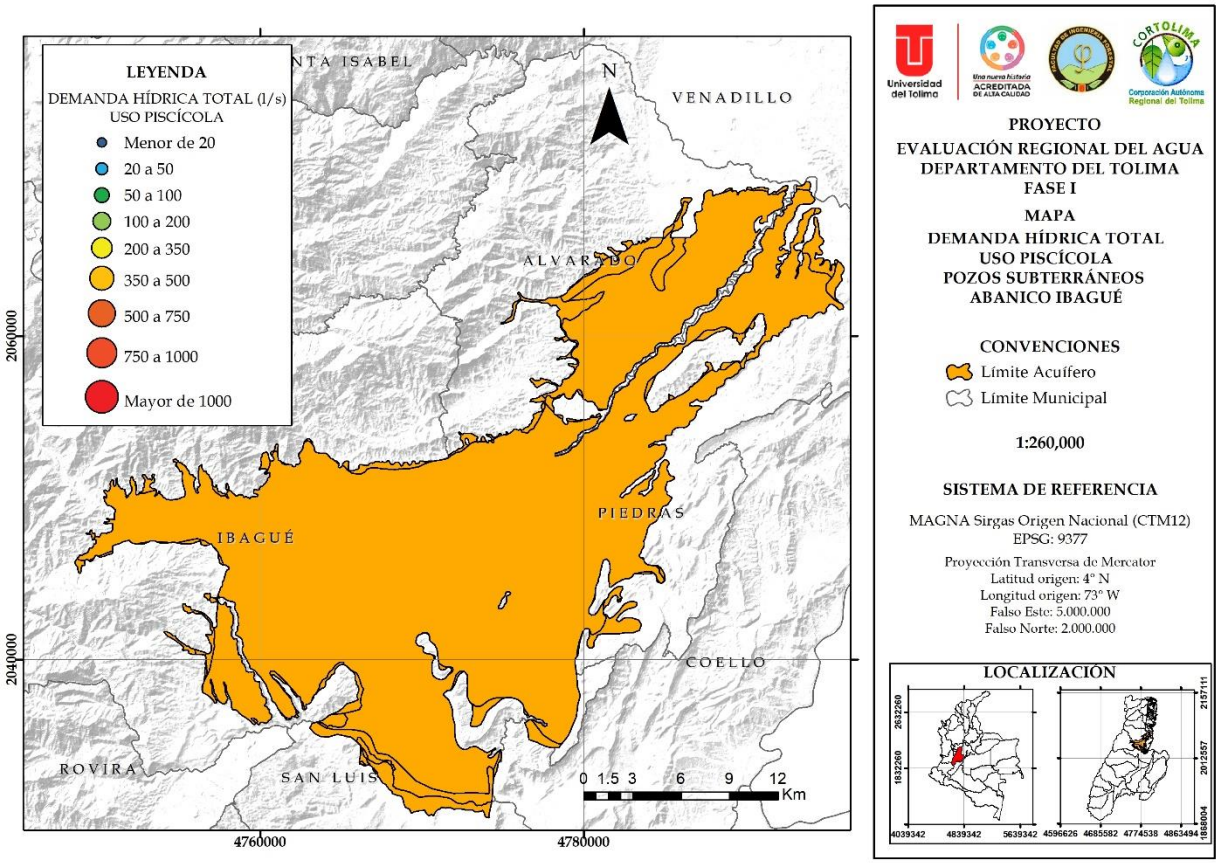


Figura 440. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en el Abanico de Ibagué

21.1.6. Uso Recreativo

Tal como se relaciona en la *Tabla 390*, la demanda hídrica total para uso Recreativo en los pozos subterráneos del Abanico de Ibagué corresponde a 3.535 l/s, la cual de acuerdo con el reporte FUNIAS, corresponde a los señores Luís Rivas y José Alveiro Martínez con un caudal concesionado de 0.835 l/s y 2.7 l/s, respectivamente. En la *Figura 441* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 390. Demanda hídrica para uso Recreativo en el Acuífero Abanico de Ibagué

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Recreativo (l/s)	DH. Recreativo (Mm³/año)
C.1	Pozos Subterráneos Abanico Ibagué	2	3.535	0.11
Total		**2**	**3.535**	**0.11**

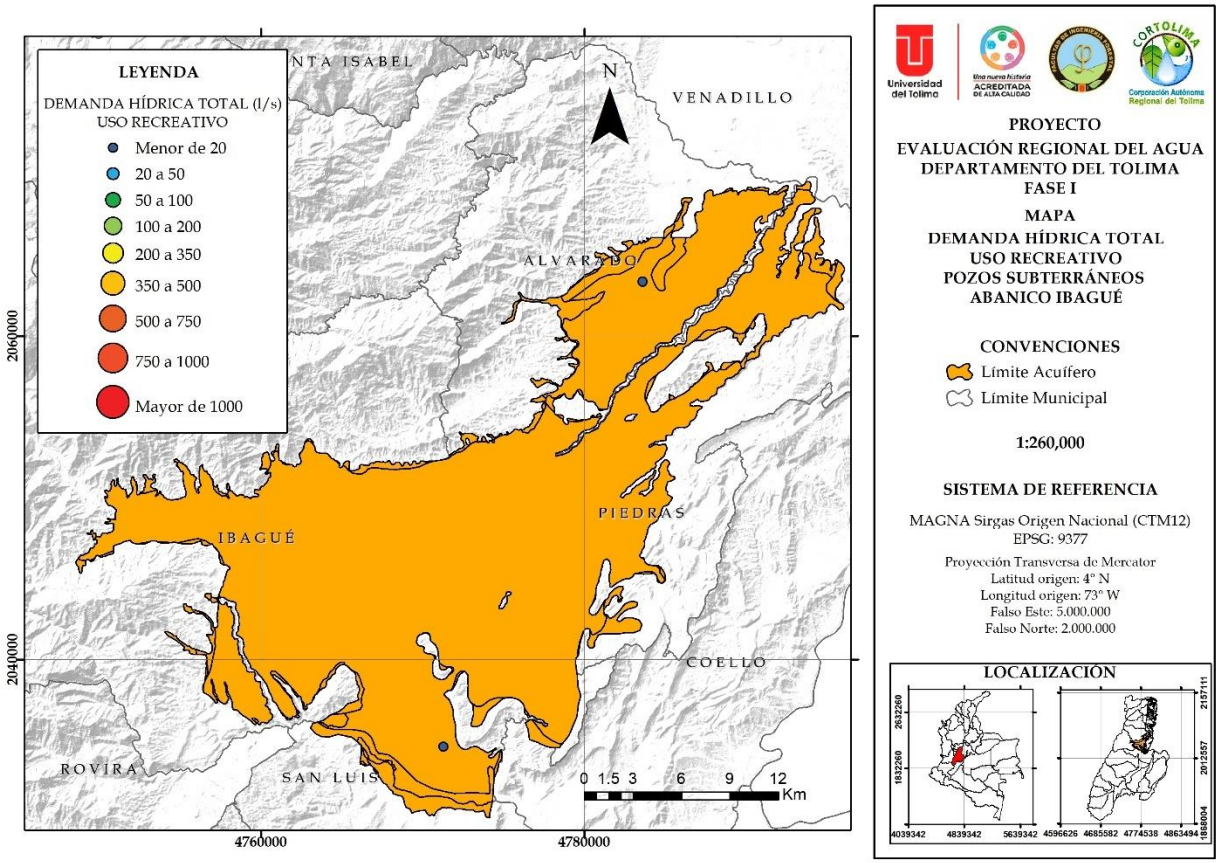


Figura 441. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en el Abanico de Ibagué

21.2. Pozos Subterráneos Acuífero Norte

La demanda hídrica total en los pozos subterráneos del Acuífero Norte se estima en 139.46 l/s, si bien, el caudal concesionado en las resoluciones otorgadas por la autoridad ambiental estipula un uso específico del mismo, en ocasiones este uso es combinado (más de un uso específico) en una misma captación; por tanto, al momento de definir los tipos de uso de caudales concesionados, fue necesario contemplar las posibles combinaciones o usos múltiples del recurso (*Tabla 391*). En las siguientes secciones se caracterizará la demanda de esta unidad hidrográfica por cada tipo de uso de agua.

Tabla 391. Caudal concesionado por tipo de uso en los pozos subterráneos del Acuífero Norte

Tipo de Uso	Usuarios	Caudal concesionado (l/s)
Agrícola	2	38.86
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	2	14.872
Agrícola - Consumo Humano y Doméstico - Pecuario - Piscícola	1	7.95
Consumo Humano y Doméstico	5	43.1274
Consumo Humano y Doméstico - Industrial - Pecuario	1	2.06
Consumo Humano y Doméstico - Pecuario	1	0.5
Consumo Humano y Doméstico - Recreativo	1	10.31
Industrial	2	21.78
Total	**15**	**139.4594**

En la *Figura 442* se presenta la distribución de la demanda hídrica subterránea total, de los usuarios georreferenciados en los pozos subterráneos del Acuífero Norte. Las categorías y colores presentados corresponden a los sugeridos por IDEAM (2013).

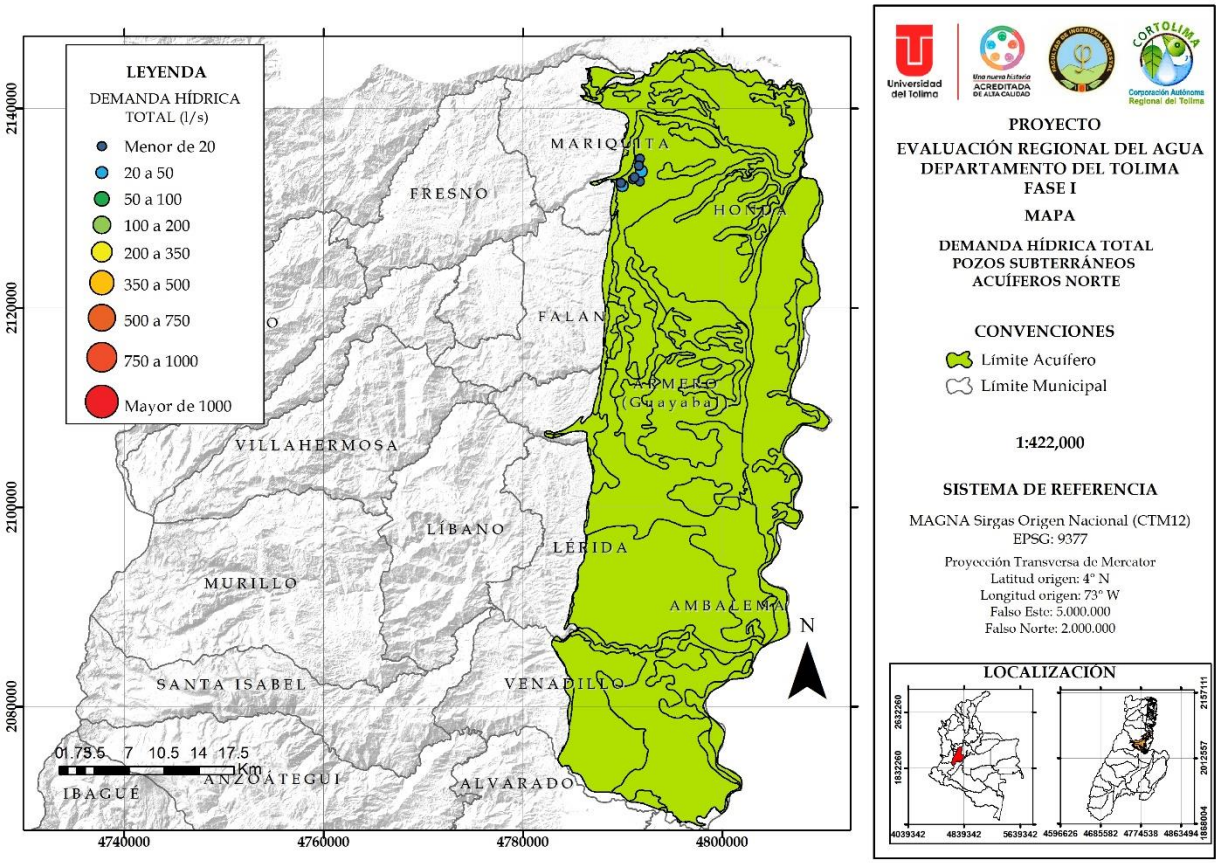


Figura 442. Distribución de la demanda hídrica total en el Acuífero Norte

21.2.1. Uso Agrícola

Teniendo en cuenta los usos considerados en el Decreto 3930 de 2010, según los lineamientos del IDEAM (2013) y los establecidos en el Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 para efectos de la liquidación de la Tasa por Uso (TUA), dentro de este sector se reúnen los usos denominados por la Tasa por Uso como Agrícola (Riego y Silvicultura) y Riego – Distritos.

La demanda Agrícola en los pozos subterráneos del Acuífero Norte corresponde a 52.330 l/s, distribuidos en 5 usuarios (*Tabla 392*), de los cuales los mayores demandantes corresponden a Inversiones Indura Ltda con 22 l/s, e Inversiones Los Abarcos S.A.S con 16.86 l/s. En la *Figura 443* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados en esta área.

Tabla 392. Demanda hídrica para uso Agrícola en el Acuífero Norte

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Agrícola (l/s)	DH. Agrícola (Mm³/año)
C.4	Pozos Subterráneos Acuífero Norte	5	52.330	1.65
Total		**5**	**52.330**	**1.65**

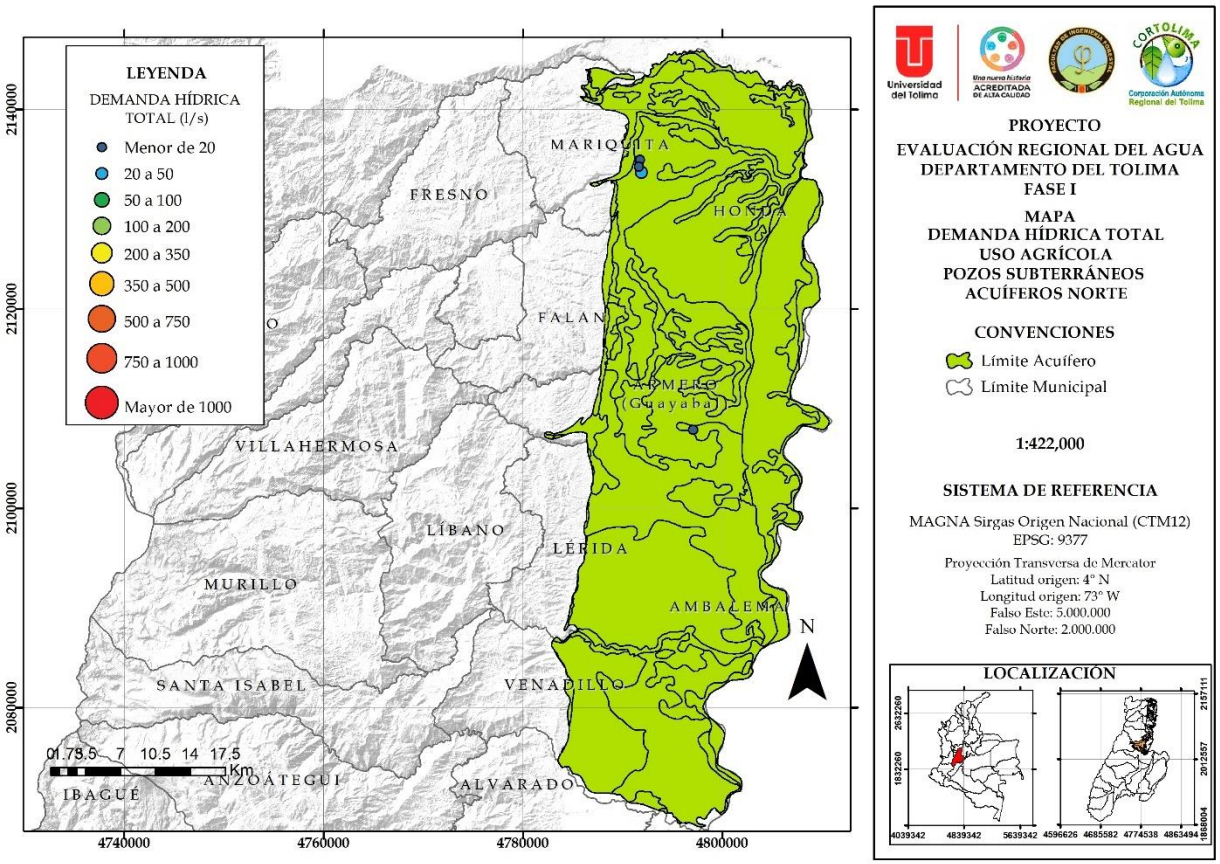


Figura 443. Distribución de la demanda hídrica para uso Agrícola en el Acuífero Norte

21.2.2. Uso Consumo Humano y Doméstico

La demanda de sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Doméstico, Consumo Humano y Acueductos. En los pozos subterráneos del Acuífero Norte la demanda para Consumo Humano y Doméstico corresponde a 50.025 l/s distribuidos en 11 usuarios (*Tabla 393*), de los cuales solo uno de ellos tiene una concesión mayor de 20 l/s (*Figura 444*), la cual corresponde al Urbes S.A.S. E.S.P con 20.02 l/s.

Tabla 393. Demanda hídrica para Consumo Humano y Doméstico en el Acuífero Norte

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Consumo Humano y Doméstico (l/s)	DH. Consumo Humano y Doméstico (Mm³/año)
C.4	Pozos Subterráneos Acuífero Norte	11	50.025	1.58
Total		**11**	**50.025**	**1.58**

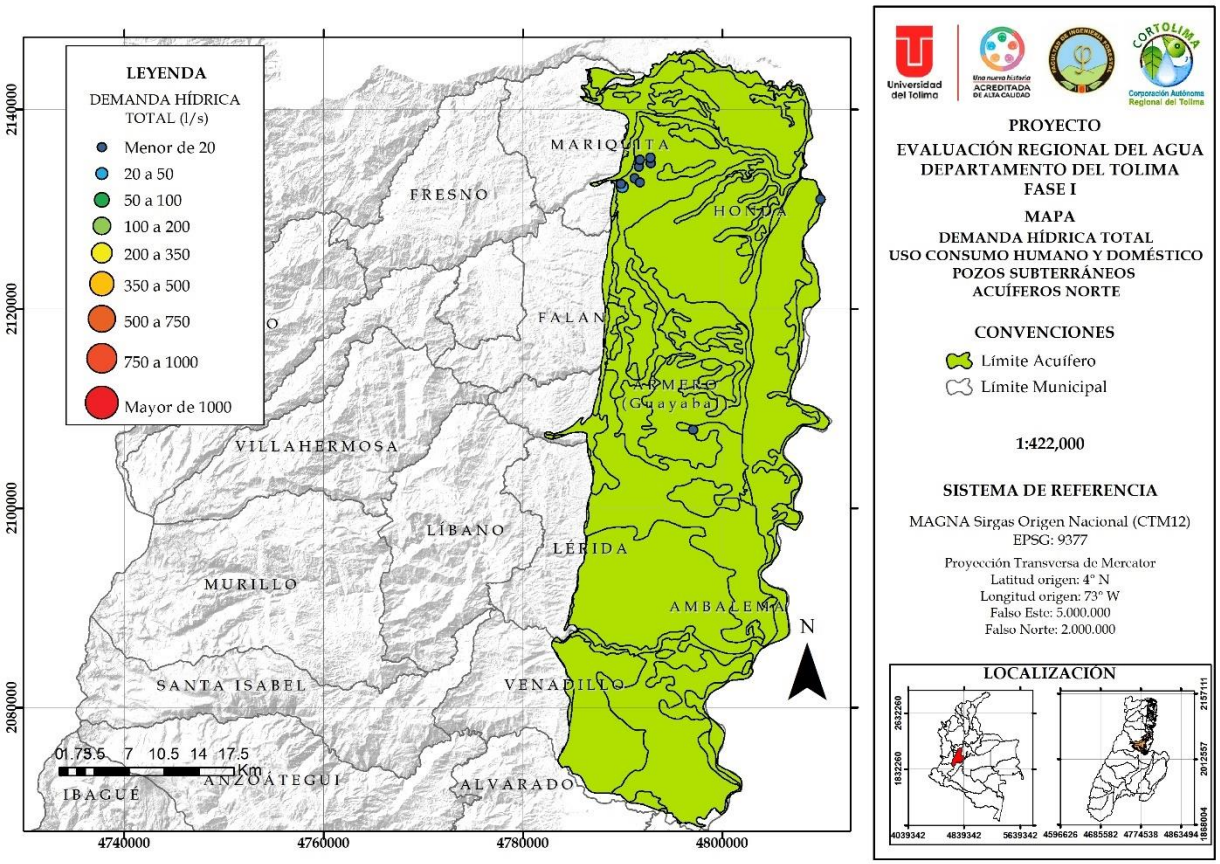


Figura 444. Distribución de la demanda hídrica para consumo Humano y Doméstico en el Acuífero Norte

21.2.3. Uso Industrial

La demanda para uso Industrial en los pozos subterráneos del Acuífero Norte corresponde a 23.220 l/s (*Tabla 394*), de los cuales 12.54 l/s corresponden a la empresa Embotelladora de Bebidas Tolima S.A. (Embebidas S.A), 9.24 l/s a la Gaseosas Mariquita S.A y 1.44 l/s a Mr. Pig de Colombia S.A.S. En la *Figura 445* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados en esta área.

Tabla 394. Demanda hídrica para uso Industrial en el Acuífero Norte

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Industrial (l/s)	DH. Industrial (Mm³/año)
C.4	Pozos Subterráneos Acuífero Norte	3	23.220	0.73
Total		**3**	**23.220**	**0.73**

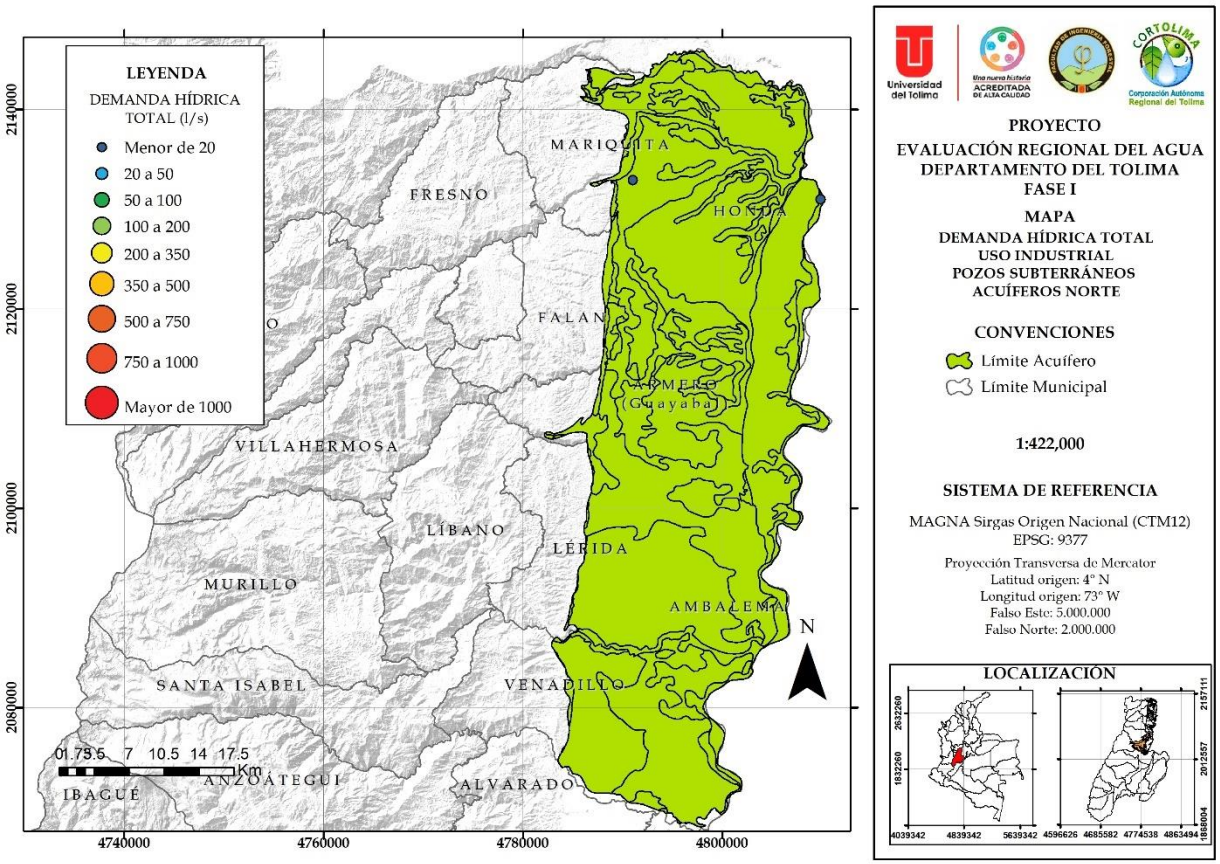


Figura 445. Distribución de la demanda hídrica para uso Industrial en el Acuífero Norte

21.2.4. Uso Pecuario

La demanda de este sector corresponde a los usos denominados en la TUA bajo Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como: Abrevaderos y Pecuario. En los pozos subterráneos del Acuífero Norte se demanda para uso Pecuario un total de 2.568 l/s, correspondiente a 5 usuarios (*Tabla 395*), de los cuales 1.52 l/s pertenecen a Jose Armando Bernal Campuzano y 0.54 l/s a Mr. Pig de Colombia S.A.S, siendo estos los mayores demandantes del recurso en este sector. En la *Figura 446* se presenta la distribución espacial de los usuarios georreferenciados.

Tabla 395. Demanda hídrica para uso Pecuario en el Acuífero Norte

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Pecuario (l/s)	DH. Pecuario (Mm³/año)
C.4	Pozos Subterráneos Acuífero Norte	5	2.568	0.08
Total		**5**	**2.568**	**0.08**

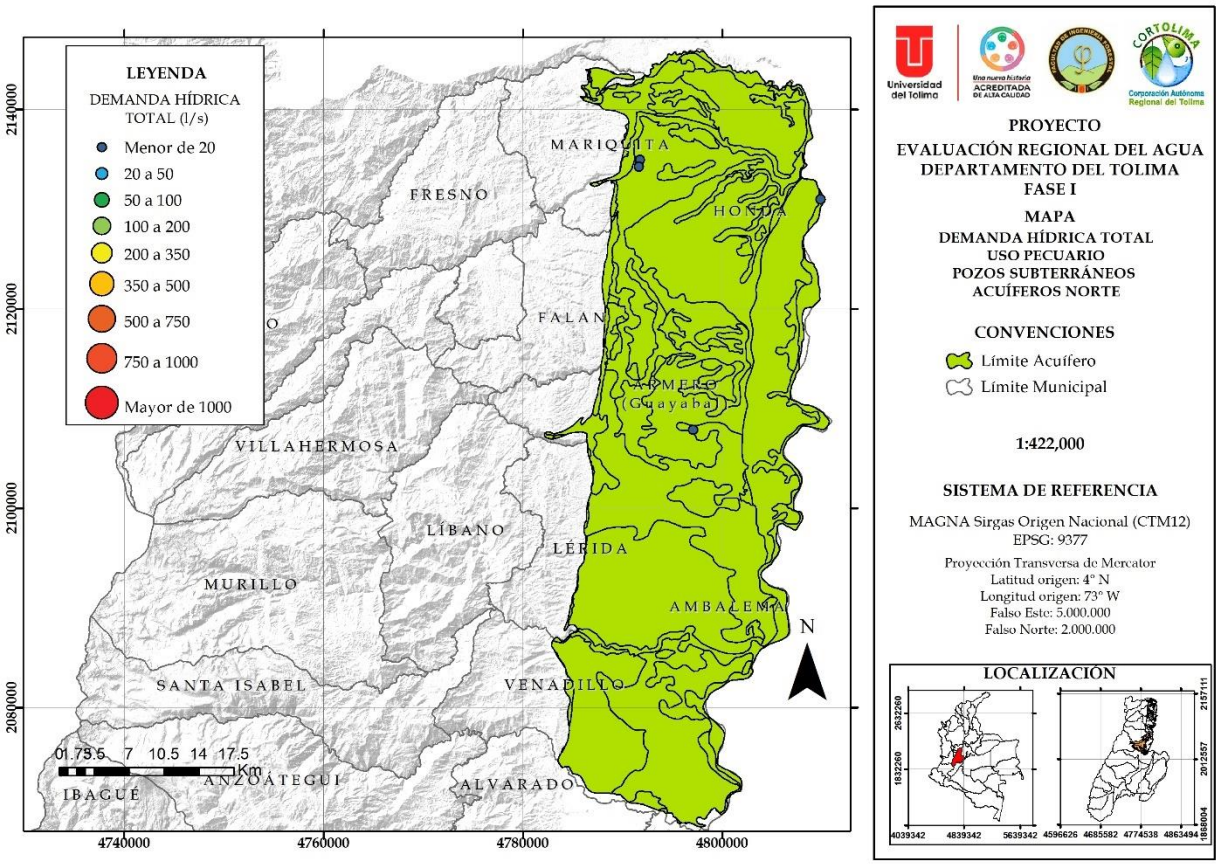


Figura 446. Distribución de la demanda hídrica para uso Pecuario en el Acuífero Norte

21.2.5. Uso Piscícola

Este uso se relaciona con la categoría de uso Acuícultura y Pesca de la TUA según Decreto 1155 del 7 de julio de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Tal como se presenta en la *Tabla 396*, el caudal concesionado en los pozos subterráneos del Acuífero Norte para uso Piscícola corresponde a 6.160 l/s, los cuales corresponden a la concesión de agua subterránea otorgada a la Sociedad Inmacolata S.A.S bajo Resolución 138 del 18 de abril de 2017. En la *Figura 447* se presenta la distribución espacial de esta demanda hídrica, la cual corresponde solo a un usuario.

Tabla 396. Demanda hídrica para uso Piscícola en el Acuífero Norte

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Piscícola (l/s)	DH. Piscícola (Mm³/año)
C.4	Pozos Subterráneos Acuífero Norte	1	6.160	0.19
Total		**1**	**6.160**	**0.19**

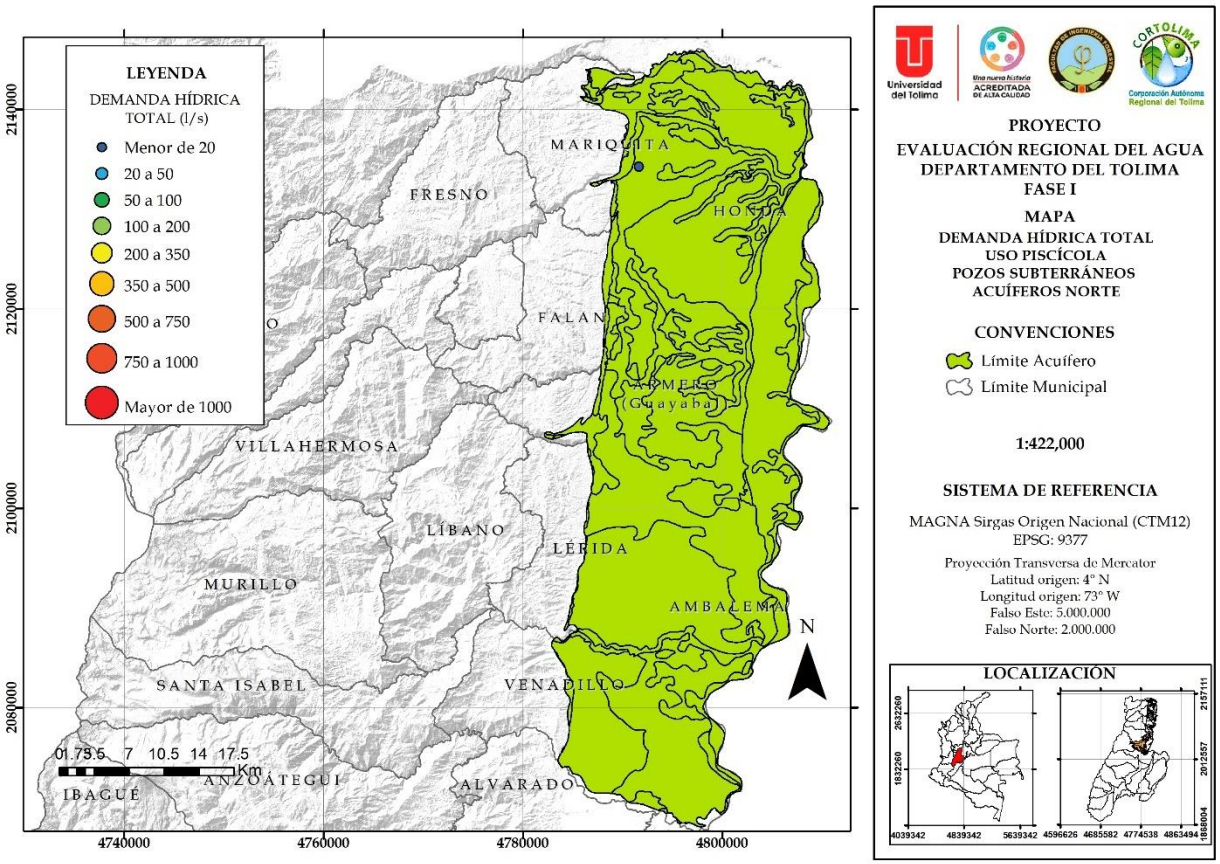


Figura 447. Distribución de la demanda hídrica para uso Piscícola en el Acuífero Norte

21.2.6. Uso Recreativo

La demanda hídrica para uso Recreativo en los pozos subterráneos del Acuífero Norte se establece en 5.155 l/s, los cuales corresponden a la concesión de aguas otorgada al Ejército Nacional Centro Recreacional San Sebastián-Mariquita bajo Resolución 229 del 10 de mayo de 2019, según lo reportado bases de datos de la Tasa por Uso del Agua y el Maestro de Concesiones de CORTOLIMA. En la *Figura 448* se presenta la distribución espacial de esta demanda hídrica.

Tabla 397. Demanda hídrica para uso Recreativo el Acuífero Norte

Código	Nombre del Acuífero	Usuarios	DH. Recreativo (l/s)	DH. Recreativo (Mm³/año)
C.4	Pozos Subterráneos Acuífero Norte	1	5.155	0.16
Total		**1**	**5.155**	**0.16**

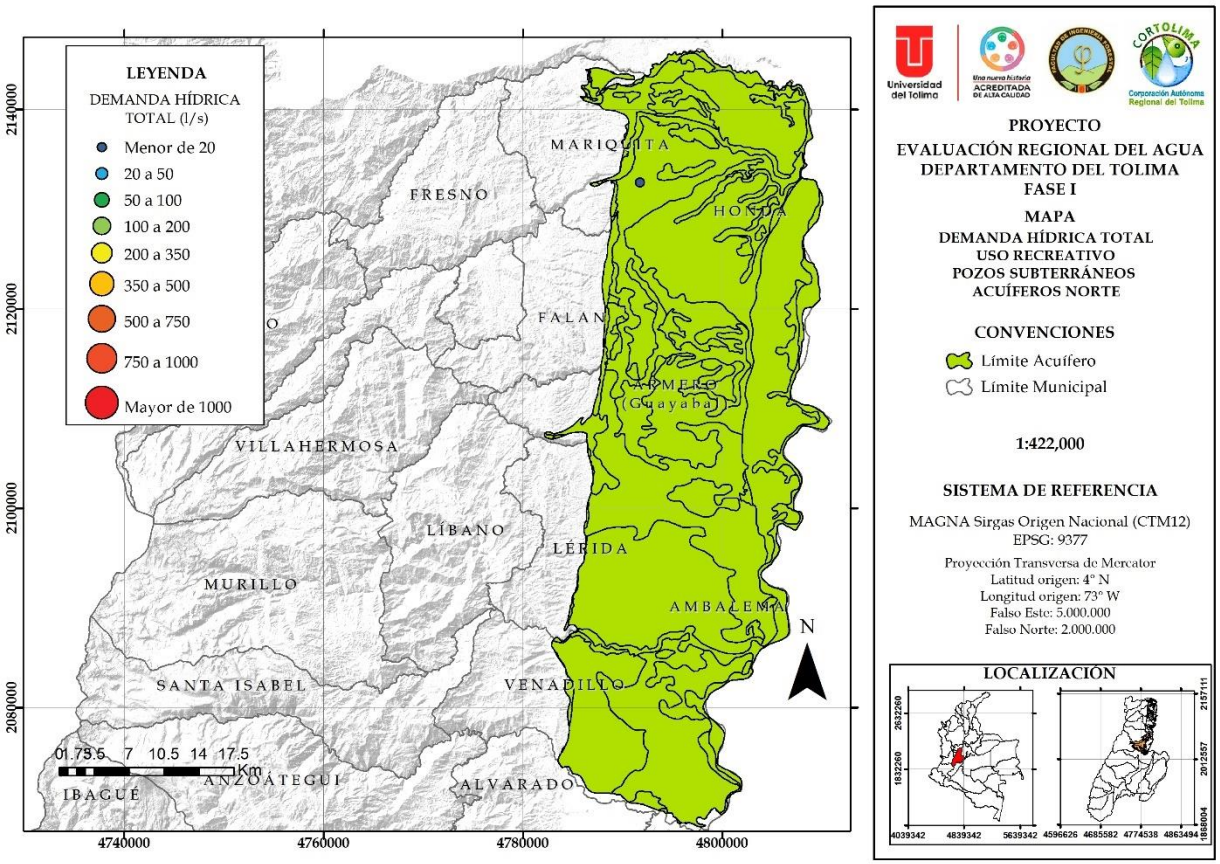


Figura 448. Distribución de la demanda hídrica para uso Recreativo en el Acuífero Norte

22. Cálculo de Proyecciones de Demanda Hídrica Sectorial

A continuación, se presentan los resultados de la proyección de la demanda hídrica para uso agrícola, consumo humano y doméstico, y pecuario para el periodo 2021 - 2032. Para los sectores industrial, recreativo, minería, generación de energía y piscícola no se realizaron proyecciones por la baja demanda hídrica en estos sectores (*Figura 449*), lo cual está se asociado al bajo número de concesiones para estos usos como se detalló en las secciones 20 y 21 de este documento. Además de ello los reportes históricos de producción asociados a estos sectores no permite aplicar una metodología de proyección de demandas tal es el caso del sector piscícola y minería (Anexo 2 y 3).

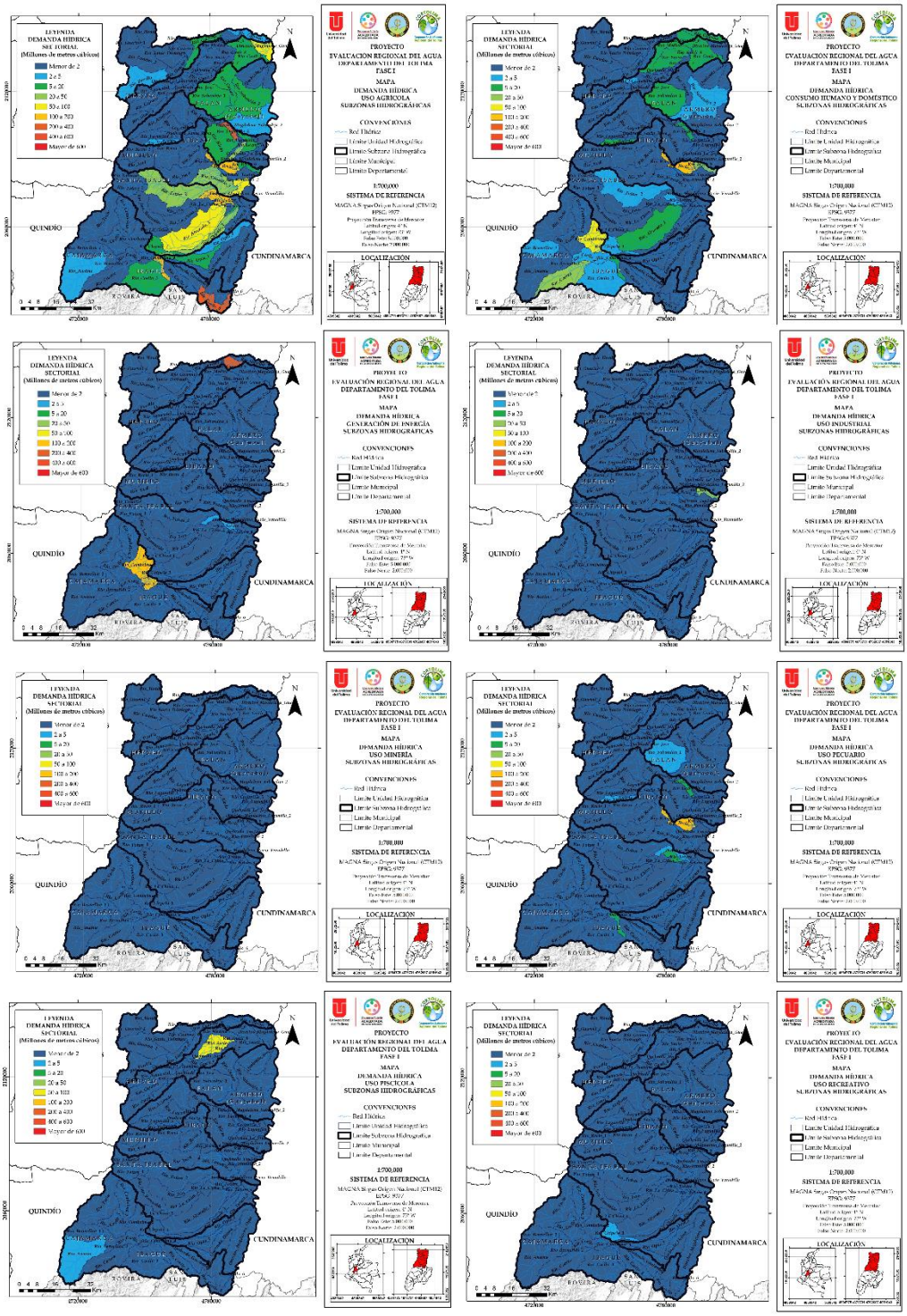


Figura 449. Distribución de la demanda hídrica sectorial en las Subzonas Hidrográficas ERA Fase I

22.1. Demanda Hídrica Agrícola

Representa la cantidad de agua requerida para abastecer el déficit de riego de un cultivo (IDEAM, 2010). Se determina como la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva; cuando esta última es mayor, la demanda es igual a cero (0).

De acuerdo con el IDEAM (2013), los requerimientos de riego de un cultivo dependen de ciertos factores tales como la precipitación, las características fenológicas del cultivo, las condiciones climáticas, el sistema de riego y las características del suelo. La expresión de cálculo es la siguiente:

$$Da = 10 \sum_{d=1}^{ip} \frac{\left[(Kc * ETp) - \frac{P * Ke}{100}\right]}{Kr} x\ A$$

Donde:

Da: requerimiento de agua del cultivo (m3/ha)
10: es factor que aplica para convertir a m3/ha
Lp: duración del período de crecimiento
Kc: coeficiente cultivo (adimensional)
ETo: evapotranspiración de referencia potencial (mm)
P: precipitación en mm
Ke: coeficiente de escorrentía (adimensional)
Kr: coeficiente eficiencia de riego (adimensional)
A: área sembrada (ha)

22.1.1. Cálculo de la demanda hídrica

La primera parte del cálculo se obtiene aplicando el enfoque del coeficiente del cultivo conforme a la metodología FAO Penman-Monteith, donde los efectos del clima sobre los requerimientos de agua del cultivo vienen reflejados en la evapotranspiración del cultivo de referencia ETp y las características del cultivo, y los efectos promedio de la evaporación del suelo en el coeficiente Kc.

Los cultivos y áreas cultivadas por municipio se tomaron de las estadísticas de la última Evaluación Agropecuaria del Tolima (UPRA, 2021) y, sus estados fenológicos más probables a nivel mensual se estimaron a partir de los valores del coeficiente cultivo (Kc) (inicial, medio y final) reportados por la FAO (2006) y los calendarios de siembra reportados para diferentes cultivos. El 3% de la información recopilada no se consideró

en el cálculo de la demanda teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona y los requerimientos del cultivo.

De acuerdo con la disponibilidad de información, el coeficiente de escorrentía (Ke) es determinado a través del método de Prevert (1986) la cual está en función del tipo de uso de suelo, la pendiente (%) y la textura de suelo. El coeficiente de eficiencia de riego (Kr), depende del sistema de riego recomendado para cada tipo de cultivo, siendo Kr = 0.50 si es por gravedad, 0.75 si es por aspersión y 0.90 si es por goteo (IDEAM, 2019).

En la Tabla 399 se presenta el resumen de la demanda hídrica actual del sector agrícola calculada para cada uno de los municipios que componen las Subzonas Hidrográficas del río Coello, río Opia, río Totare, río Recio y Venadillo, río Sabandija, río Lagunilla, río Gualí y río Guarinó. La distribución de la demanda hídrica por tipo de cultivo en cada uno de estos municipios se presenta en la *Tabla 399*.

Tabla 398. Demanda hídrica del sector agrícola para el año 2021 de cada uno de los municipios con jurisdicción en las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio

Municipio	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
Alvarado	135.80	4306.26
Ambalema	100.36	3182.31
Anzoátegui	144.36	4577.56
Armero	140.58	4457.88
Cajamarca	177.74	5636.17
Casabianca	114.48	3630.08
Coello	28.01	888.33
Falan	157.09	4981.37
Fresno	359.63	11403.86
Herveo	82.45	2614.57
Honda	2.86	90.60
Ibagué	459.50	14570.75
Lérida	130.53	4139.18
Líbano	230.36	7304.54
Murillo	9.83	311.59
Palocabildo	126.13	3999.65
Piedras	70.44	2233.53
San Sebastián de Mariquita	172.01	5454.34
Santa Isabel	58.96	1869.73
Venadillo	99.47	3154.05
Villahermosa	111.29	3529.13

Tabla 399. Distribución de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cultivo en los municipios que componen las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio para el año 2021

Municipio	Cultivo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
Alvarado	Aguacate	14.74	467.40
	Arroz	44.00	1395.33
	Cacao	9.72	308.22
	Café	18.32	580.77
	Caña Panelera	38.66	1226.04
	Maíz	0.75	23.69
	Plátano	9.61	304.81
Total municipio Alvarado		**135.80**	**4306.26**
Ambalema	Algodón	0.76	24.12
	Arroz	92.29	2926.62
	Maíz	5.95	188.57
	Mango	0.38	11.90
	Plátano	0.98	31.10
Total municipio Ambalema		**100.36**	**3182.31**
Anzoátegui	Aguacate	6.35	201.34
	Arracacha	3.15	99.86
	Arveja	2.02	64.18
	Cacao	3.82	121.13
	Café	76.00	2409.91
	Caña Panelera	30.87	978.78
	Cebolla de rama	0.58	18.47
	Fríjol	4.68	148.29
	Granadilla	2.32	73.57
	Lulo	0.18	5.82
	Maíz	1.60	50.75
	Papa	1.69	53.48
	Plátano	6.77	214.68
	Tomate	0.48	15.27
	Yuca	3.85	122.02
Total municipio Anzoátegui		**144.36**	**4577.56**
Armero	Aguacate	1.65	52.20
	Algodón	6.72	213.10
	Arroz	73.81	2340.39
	Banano	17.22	546.10
	Cacao	4.68	148.47
	Café	3.55	112.46
	Caña Panelera	4.34	137.74
	Limón	0.58	18.51
	Maíz	24.98	792.16
	Plátano	3.05	96.76
Total municipio Armero		**140.58**	**4457.88**
Cajamarca	Arracacha	99.64	3159.59
	Arveja	0.47	14.98
	Café	24.53	777.76
	Fríjol	47.24	1498.10
	Lulo	0.25	7.81

Municipio	Cultivo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Mora	0.89	28.25
	Papa	0.53	16.93
	Plátano	2.77	87.99
	Repollo	0.14	4.45
	Tomate de árbol	1.11	35.27
	Zanahoria	0.16	5.02
Total municipio Cajamarca		**177.74**	**5636.17**
Casabianca	Aguacate	16.90	535.90
	Café	34.93	1107.50
	Caña Panelera	15.67	496.82
	Cebolla de rama	0.07	2.16
	Fríjol	0.85	26.90
	Maíz	0.27	8.61
	Papa	1.39	44.05
	Plátano	44.41	1408.14
Total municipio Casabianca		**114.48**	**3630.08**
Coello	Algodón	1.95	61.99
	Arroz	4.54	144.07
	Limón	5.06	160.55
	Maíz	3.06	97.12
	Mango	5.39	170.80
	Sorgo	0.99	31.34
	Yuca	7.02	222.46
Total municipio Coello		**28.01**	**888.33**
Falan	Aguacate	10.82	343.22
	Cacao	22.29	706.81
	Café	23.44	743.28
	Caña Panelera	56.09	1778.58
	Fríjol	1.21	38.42
	Guanábana	0.55	17.39
	Maíz	3.86	122.41
	Maracuyá	0.82	26.10
	Plátano	36.15	1146.17
	Tomate	0.27	8.56
	Yuca	1.59	50.43
Total municipio Falan		**157.09**	**4981.37**
Fresno	Aguacate	114.41	3627.96
	Cacao	12.17	385.81
	Café	107.16	3397.86
	Caña Panelera	26.46	839.16
	Fríjol	6.99	221.69
	Guanábana	16.99	538.79
	Maíz	9.58	303.82
	Plátano	65.65	2081.75
	Yuca	0.22	7.02
Total municipio Fresno		**359.63**	**11403.86**
Herveo	Aguacate	20.35	645.29
	Café	25.10	795.92
	Caña Panelera	13.10	415.40

Municipio	Cultivo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Fríjol	0.39	12.31
	Hortalizas Varias	0.29	9.29
	Maíz	0.49	15.51
	Papa	2.69	85.33
	Plátano	20.04	635.51
Total municipio Herveo		**82.45**	**2614.57**
Honda	Aguacate	0.17	5.51
	Ahuyama	0.22	7.04
	Guanábana	0.26	8.40
	Limón	0.37	11.63
	Maíz	0.26	8.28
	Patilla	0.09	2.97
	Plátano	1.10	34.90
	Yuca	0.37	11.87
Total municipio Honda		**2.86**	**90.60**
Ibagué	Aguacate	7.31	231.70
	Algodón	0.12	3.95
	Arracacha	7.89	250.04
	Arroz	138.19	4382.05
	Arveja	0.44	13.90
	Banano	17.61	558.54
	Cacao	6.54	207.32
	Café	178.46	5659.06
	Caña Panelera	39.72	1259.56
	Fríjol	5.66	179.42
	Habichuela	4.00	126.99
	Maíz	13.76	436.43
	Mango	3.67	116.44
	Mora	4.25	134.67
	Naranja	1.57	49.88
	Plátano	24.24	768.54
	Tomate	2.44	77.32
	Tomate de árbol	2.47	78.20
	Yuca	1.16	36.74
Total municipio Ibagué		**459.50**	**14570.75**
Lérida	Aguacate	5.15	163.18
	Arroz	78.64	2493.79
	Cacao	17.56	556.82
	Café	4.15	131.66
	Caña Panelera	11.06	350.72
	Maíz	4.03	127.64
	Mango	4.62	146.45
	Plátano	5.33	168.92
Total municipio Lérida		**130.53**	**4139.18**
Líbano	Aguacate	12.37	392.25
	Cacao	14.42	457.26
	Café	144.69	4588.11
	Caña Panelera	14.03	444.87
	Fríjol	0.81	25.84

Municipio	Cultivo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Maíz	0.61	19.39
	Plátano	42.18	1337.45
	Yuca	1.24	39.37
Total municipio Líbano		230.36	7304.54
Murillo	Arracacha	0.29	9.26
	Arveja	0.61	19.22
	Café	1.81	57.28
	Fríjol	0.26	8.24
	Mora	0.42	13.22
	Papa	5.15	163.35
	Tomate de árbol	1.29	41.01
Total municipio Murillo		**9.83**	**311.59**
Palocabildo	Aguacate	25.76	816.77
	Cacao	8.61	273.02
	Café	45.39	1439.34
	Caña Panelera	22.93	727.21
	Fríjol	1.57	49.87
	Maíz	2.81	88.96
	Plátano	12.34	391.33
	Yuca	6.72	213.14
Total municipio Palocabildo		**126.13**	**3999.65**
Piedras	Arroz	62.71	1988.63
	Limón	0.27	8.57
	Maíz	6.82	216.28
	Mango	0.23	7.30
	Plátano	0.40	12.74
Total municipio Piedras		**70.44**	**2233.53**
San Sebastián de Mariquita	Aguacate	24.51	777.26
	Ahuyama	0.85	26.93
	Cacao	15.92	504.97
	Café	8.59	272.42
	Caña Panelera	98.60	3126.74
	Guanábana	5.23	165.84
	Limón	4.30	136.35
	Maíz	1.39	44.01
	Mangostino	0.84	26.53
	Maracuyá	0.52	16.50
	Naranja	2.95	93.42
	Papaya	1.00	31.63
	Patilla	0.04	1.35
	Plátano	5.57	176.50
	Yuca	1.70	53.91
Total municipio San Sebastián de Mariquita		**172.01**	**5454.34**
Santa Isabel	Arracacha	0.11	3.38
	Arveja	2.25	71.22
	Café	19.11	605.96
	Fríjol	1.29	41.03
	Lulo	1.57	49.83
	Mora	3.11	98.62

Municipio	Cultivo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Papa	2.20	69.65
	Plátano	13.68	433.79
	Tomate de árbol	15.65	496.26
Total municipio Santa Isabel		**58.96**	**1869.73**
Venadillo	Aguacate	2.21	69.94
	Arroz	53.60	1699.63
	Cacao	2.29	72.56
	Café	28.16	892.86
	Caña Panelera	3.18	100.78
	Limón	1.15	36.56
	Maíz	1.17	37.02
	Plátano	6.66	211.13
	Yuca	1.06	33.57
Total municipio Venadillo		**99.47**	**3154.05**
Villahermosa	Aguacate	2.27	72.02
	Café	59.83	1897.19
	Caña Panelera	14.89	472.19
	Fríjol	0.33	10.46
	Maíz	1.10	34.74
	Papa	0.27	8.55
	Plátano	31.57	1001.08
	Tomate	0.16	5.10
	Yuca	0.88	27.78
Total municipio Villahermosa		**111.29**	**3529.13**

La espacialización de la anterior demanda hídrica por Subzonas Hidrográficas y Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) se realizó a partir del mapa de Coberturas y Usos de la Tierra del departamento del Tolima a escala 1:25000 (Cortolima y Universidad del Tolima, 2018). Para ello fue necesario establecer las coberturas que tuvieran relación con cada uno de los cultivos de la *Tabla 399* (incluyendo su demanda proyectada) y el área total de estas en cada municipio según el mapa de coberturas del departamento. A partir de esta información se definió un módulo de consumo por cobertura en cada municipio que luego al multiplicarse por el área de cada polígono de la cobertura respectiva permitió determinar la demanda hídrica por Subzona Hidrográfica y UHA. En la *Tabla 400* se presenta el listado de coberturas asignadas a los diferentes cultivos con su respectivo valor de demanda hídrica y en la Tabla 401 los módulos de consumo definidos para cada cobertura en los municipios para el año 2021.

Los resultados de demanda hídrica detallados por Subzona Hidrográfica y UHA se presentan en las subsecciones 1.a.i.1.a, 1.a.i.1.b, 1.a.i.1.c, 1.a.i.1.d, 1.a.i.1.e, 1.a.i.1.f, 1.a.i.1.g y 1.a.i.1.h.

Tabla 400. Coberturas asignadas a los cultivos demandantes del recurso hídrico por municipio

Municipio	Cultivo	Cobertura asignada	Área cobertura (ha)	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
Alvarado	Arroz	2.1.2.1. Arroz	4766.65	88.65	2811.01
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1.25	18.32	580.77
	Aguacate				
	Cacao				
	Caña Panelera	2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	0.18	73.48	2330.15
	Maíz				
	Plátano				
Total municipio de Alvarado			**4768.08**	**180.45**	**5721.94**
Ambalema	Arroz	2.1.2.1. Arroz	8081.78	210.73	6682.13
	Maíz	2.1.2.2. Maíz	352.59	7.72	244.75
	Algodón	2.1.3.1. Algodón	136.06	1.52	48.24
	Mango	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	33.82	0.38	11.90
	Plátano	2.4.1. Mosaico de cultivos	4.08	0.98	31.10
Total municipio de Ambalema			**8608.33**	**221.32**	**7018.12**
Anzoátegui	Arveja	2.1.1. Otros cultivos transitorios	24.45	2.02	64.18
	Papa	2.1.5.1. Papa	23.77	1.69	53.48
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	77.72	82.41	2613.31
	Aguacate				
	Arracacha				
	Cacao				
	Caña Panelera				
	Cebolla de rama				
	Fríjol	2.4.1. Mosaico de cultivos	26.68	64.65	2049.99
	Granadilla				
	Lulo				
	Maíz				
	Plátano				
	Tomate				
	Yuca				
Total municipio de Anzoátegui			**152.62**	**150.77**	**4780.96**
Armero	Arroz	2.1.2.1. Arroz	4329.27	247.21	7839.13
	Maíz	2.1.2.2. Maíz	752.49	31.17	988.55
	Algodón	2.1.3.1. Algodón	1903.75	8.96	284.19
	Café	2.2.2.2. Café	26.58	3.58	113.59
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	26.06	2.37	75.27
	Aguacate	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	64.50	2.18	69.20
	Limón	2.2.3.3. Cítricos	21.00	0.58	18.51
	Banano				
	Cacao	2.4.1. Mosaico de cultivos	100.80	37.50	1189.13
	Caña panelera				

Municipio	Cultivo	Cobertura asignada	Área cobertura (ha)	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Plátano				
Total municipio de Armero			**7224.45**	**333.57**	**10577.57**
Cajamarca	Arveja	2.1.1. Otros cultivos transitorios	277.86	0.64	20.42
	Fríjol	2.1.3.3. Fríjol	1996.40	54.54	1729.43
	Arracacha Papa	2.1.5. Tubérculos	51.16	100.17	3176.53
	Café	2.2.2.2. Café	1.95	1.06	33.49
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	3.36	1.82	57.62
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	40.07	21.65	686.64
	Lulo Plátano Tomate de árbol Mora Repollo Zanahoria	2.4.1. Mosaico de cultivos	472.56	8.24	261.17
Total municipio de Cajamarca			**2843.37**	**188.12**	**5965.31**
Casabianca	Papa	2.1.5.1. Papa	355.38	1.52	48.08
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	537.13	18.59	589.43
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	531.55	15.49	491.31
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	274.45	7.14	226.30
	Aguacate Caña panelera Cebolla de rama Fríjol Maíz Plátano	2.4.1. Mosaico de cultivos	46.01	84.50	2679.46
Total municipio de Casabianca			**1744.51**	**127.23**	**4034.59**
Coello	Arroz	2.1.2.1. Arroz	867.31	4.88	154.71
	Maíz	2.1.2.2. Maíz	646.86	3.38	107.07
	Sorgo	2.1.2.3. Sorgo	41.88	0.99	31.34
	Algodón	2.1.3.1. Algodón	473.29	2.57	81.45
	Limón	2.2.3.3. Cítricos	34.02	5.06	160.55
	Mango	2.2.3.4. Mango	141.55	6.39	202.69
	Yuca	2.4.1. Mosaico de cultivos	0.01	7.02	222.46
Total municipio de Coello			**2204.94**	**30.28**	**960.27**
Falan	Cacao	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	12.71	22.29	706.81
	Café	2.2.2.2. Café	18.26	0.88	27.93
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	117.44	5.66	179.58
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	350.37	18.89	599.03
	Aguacate	2.2.3.5. Aguacate	26.41	18.86	597.90
	Guanábana	2.2.3.6. Guanábana	44.58	0.83	26.39

Municipio	Cultivo	Cobertura asignada	Área cobertura (ha)	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Caña panelera				
	Fríjol				
	Tomate				
	Maíz	2.4.1. Mosaico de cultivos	273.20	106.13	3365.39
	Maracuyá				
	Plátano				
	Yuca				
Total municipio de Falan			**842.96**	**173.54**	**5503.04**
Fresno	Cacao	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	34.68	16.32	517.49
	Café	2.2.2.2. Café	115.34	7.33	232.52
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1808.70	89.42	2835.37
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	894.92	40.53	1285.29
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	258.35	10.61	336.47
	Aguacate	2.2.3.5. Aguacate	15.40	114.41	3627.96
	Guanábana	2.2.3.6. Guanábana	232.03	19.22	609.58
	Caña panelera				
	Fríjol				
	Maíz	2.4.1. Mosaico de cultivos	664.35	134.20	4255.30
	Plátano				
	Yuca				
Total municipio de Fresno			**4023.78**	**432.04**	**13699.97**
Herveo	Papa	2.1.5.1. Papa	294.15	3.48	110.49
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	161.63	22.96	728.00
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	56.89	5.05	160.10
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	64.28	8.03	254.79
	Aguacate	2.2.3.5. Aguacate	39.67	20.35	645.29
	Caña panelera				
	Fríjol				
	Hortalizas varias	2.4.1. Mosaico de cultivos	166.05	39.27	1245.20
	Maíz				
	Plátano				
Total municipio de Herveo			**782.66**	**99.15**	**3143.88**
Honda	Maíz	2.1.2.2. Maíz	172.54	0.26	8.28
	Aguacate	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	11.74	0.54	17.14
	Limón				
	Guanábana	2.2.3.6. Guanábana	2.32	0.26	8.40
	Ahuyama				
	Patilla	2.4.1. Mosaico de cultivos	59.85	1.79	56.78
	Plátano				
	Yuca				
Total municipio de Honda			**246.45**	**2.86**	**90.60**

Municipio	Cultivo	Cobertura asignada	Área cobertura (ha)	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
Ibagué	Arveja	2.1.1. Otros cultivos transitorios	42.60	0.44	13.90
	Arroz	2.1.2.1. Arroz	21133.44	317.34	10062.70
	Yuca Arracacha	2.1.5. Tubérculos	7.94	9.04	286.77
	Cacao Tomate de árbol	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	49.62	9.00	285.52
	Mora	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	11.83	6.67	211.45
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1205.02	126.08	3998.06
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	648.72	67.61	2143.82
	Aguacate Algodón Banano Caña panelera Fríjol Habichuela Maíz Mango Naranja Plátano Tomate	2.4.1. Mosaico de cultivos	47.48	209.81	6652.93
Total municipio de Ibagué			**23146.65**	**745.99**	**23655.15**
Lérida	Arroz	2.1.2.1. Arroz	5315.28	183.54	5819.94
	Maíz	2.1.2.2. Maíz	251.53	5.74	181.94
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	89.97	4.07	129.15
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	1.75	0.08	2.51
	Aguacate Mango Cacao	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	23.93	11.22	355.87
	Caña panelera Plátano	2.4.1. Mosaico de cultivos	7.67	33.95	1076.46
Total municipio de Lérida			**5690.13**	**238.60**	**7565.88**
Líbano	Plátano	2.2.1.3.1. Plátano	15.70	42.18	1337.45
	Cacao	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.45	14.42	457.26
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1537.24	101.08	3205.15
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	905.17	64.04	2030.80
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	408.36	26.89	852.63
	Aguacate	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	22.33	18.87	598.35
	Caña panelera Fríjol Maíz Yuca	2.4.1. Mosaico de cultivos	192.08	24.87	788.50

Municipio	Cultivo	Cobertura asignada	Área cobertura (ha)	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
Total municipio del Líbano			**3083.32**	**292.34**	**9270.13**
Murillo	Arveja	2.1.1. Otros cultivos transitorios	6.26	0.97	30.64
	Papa	2.1.5.1. Papa	1210.57	6.52	206.80
	Mora	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	20.21	0.42	13.22
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	32.59	2.50	79.20
	Tomate de árbol	2.2.2.6. Tomate de árbol	320.10	1.39	44.03
	Arracacha	2.4.1. Mosaico de cultivos	30.90	0.55	17.50
	Fríjol				
Total municipio de Murillo			**1620.63**	**12.34**	**391.39**
Palocabildo	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	203.96	9.14	289.70
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	1036.77	40.05	1269.82
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	12.88	0.53	16.91
	Aguacate	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	271.91	27.14	860.49
	Cacao	2.4.1. Mosaico de cultivos	374.25	59.72	1893.78
	Caña panelera				
	Fríjol				
	Maíz				
	Plátano				
	Yuca				
Total municipio de Palocabildo			**1899.78**	**136.57**	**4330.70**
Piedras	Maíz	2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.86	6.82	216.28
	Arroz	2.1.2.1. Arroz	8406.67	161.63	5125.24
	Plátano	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	11.36	0.70	22.12
	Mango	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	62.57	0.37	11.71
	Limón	2.2.3.3. Cítricos	11.40	0.27	8.57
Total municipio de Piedras			**8495.86**	**169.79**	**5383.92**
San Sebastián de Mariquita	Maíz	2.1.2.2. Maíz	570.14	1.95	61.74
	Yuca	2.1.5.2. Yuca	17.63	2.01	63.60
	Caña panelera	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	28.07	98.60	3126.74
	Papaya	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	24.97	1.00	31.63
	Plátano	2.2.1.3.1. Plátano	20.18	7.43	235.56
	Maracuyá	2.2.1.7. Maracuyá	19.68	0.52	16.50
	Café	2.2.2.2. Café	0.08	0.01	0.28
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.46	0.28	8.74
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	74.13	10.29	326.40
	Limón	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	437.52	8.31	263.51
	Naranja				
	Aguacate	2.2.3.5. Aguacate	249.41	31.68	1004.66
	Guanábana	2.2.3.6. Guanábana	1296.55	6.77	214.72

Municipio	Cultivo	Cobertura asignada	Área cobertura (ha)	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Mangostino	2.2.3.8. Mangostino	569.98	0.84	26.53
	Ahuyama				
	Cacao	2.4.1. Mosaico de cultivos	393.91	18.56	588.66
	Patilla				
Total municipio de San Sebastián de Mariquita			**3704.72**	**188.25**	**5969.28**
Santa Isabel	Papa	2.1.5.1. Papa	12.31	2.30	73.06
	Mora	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	136.05	3.24	102.62
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	69.23	19.11	605.96
	Tomate de árbol	2.2.2.6. Tomate de árbol	321.46	19.72	625.20
	Arracacha	2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	57.04	18.90	599.25
	Arveja				
	Fríjol				
	Lulo				
	Plátano				
Total municipio de Santa Isabel			**596.09**	**63.26**	**2006.09**
Venadillo	Arroz	2.1.2.1. Arroz	5257.75	267.21	8473.17
	Maíz	2.1.2.2. Maíz	4.00	1.17	37.02
	Aguacate	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.91	3.36	106.50
	Limón				
	Cacao	2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	23.30	41.34	1310.89
	Café				
	Caña panelera				
	Plátano				
	Yuca				
Total municipio de Venadillo			**5287.96**	**313.08**	**9927.59**
Villahermosa	Papa	2.1.5.1. Papa	388.98	0.27	8.55
	Café	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	845.94	26.55	841.74
	Café	2.2.2.2.2. Café con semisombra	1096.74	40.58	1286.94
	Café	2.2.2.2.3. Café con sombra	13.29	0.41	12.89
	Aguacate	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	99.37	51.20	1623.38
	Caña panelera				
	Fríjol				
	Maíz				
	Plátano				
	Tomate				
	Yuca				
Total municipio de Villahermosa			**2444.33**	**119.00**	**3773.51**

Tabla 401. Módulos de consumo por cobertura en cada municipio para la espacialización de la demanda hídrica calculada del sector agrícola por Subzona Hidrográfica y Unidad Hidrológica de Análisis para el año 2021

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2021 (Mm^3/año/ha)	Municipio
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.001700698	Cajamarca
	0.010291971	Ibagué
	0.082789273	Anzoátegui
	0.096776748	Murillo
	1.768714526	Piedras
2.1.2.1. Arroz	0.005238318	Coello
	0.006539039	Ibagué
	0.007459967	Piedras
	0.009231445	Alvarado
	0.010194383	Venadillo
	0.011419987	Ambalema
	0.014795856	Lérida
	0.017048259	Armero
	0.001512565	Honda
	0.002434262	San Sebastián de Mariquita
2.1.2.2. Maíz	0.004734813	Coello
	0.016002368	Lérida
	0.016866184	Ambalema
	0.033198517	Armero
	0.291547184	Venadillo
2.1.2.3. Sorgo	0.023598056	Coello
	0.003530094	Armero
2.1.3.1. Algodón	0.004130573	Coello
	0.005590552	Ambalema
2.1.3.3. Fríjol	0.023664695	Cajamarca
2.1.5. Tubérculos	1.13838995	Ibagué
	1.958030475	Cajamarca
	0.0006935	Villahermosa
2.1.5.1. Papa	0.003909235	Casabianca
	0.004255442	Murillo
	0.009148132	Herveo
	0.070941677	Anzoátegui
	0.178440792	Santa Isabel
2.1.5.2. Yuca	0.096426181	San Sebastián de Mariquita
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.512381339	San Sebastián de Mariquita
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.035355331	Piedras
	0.039945045	San Sebastián de Mariquita
2.2.1.3.1. Plátano	0.275756084	San Sebastián de Mariquita

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2021 (Mm^3/año/ha)	Municipio
	2.687233607	Líbano
2.2.1.7. Maracuyá	0.026437625	San Sebastián de Mariquita
	0.18145363	Ibagué
	0.350844558	Fresno
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	1.753429486	Falan
	5.88538487	Líbano
	0.020634215	Murillo
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	0.022858899	Santa Isabel
	0.358941914	Ibagué
	0.034820933	Fresno
	0.048223814	Falan
2.2.2.2. Café	0.067372178	Armero
	0.112048924	San Sebastián de Mariquita
	0.540413392	Cajamarca
	0.026003554	Casabianca
	0.030588302	Villahermosa
	0.034820933	Fresno
	0.036207982	Palocabildo
	0.048223814	Falan
	0.050755068	Líbano
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.055430091	Murillo
	0.088756527	Herveo
	0.096272396	Ibagué
	0.112048924	San Sebastián de Mariquita
	0.276036768	Santa Isabel
	0.540413392	Cajamarca
	0.977905949	Anzoátegui
	14.65800806	Alvarado
	0.026003554	Casabianca
	0.030588302	Villahermosa
	0.034820933	Fresno
	0.036207982	Palocabildo
	0.045269704	Lérida
	0.048223814	Falan
2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.050755068	Líbano
	0.067372178	Armero
	0.088756527	Herveo
	0.096272396	Ibagué
	0.112048924	San Sebastián de Mariquita
	0.540413392	Cajamarca
	0.026003554	Casabianca
2.2.2.2.3. Café con sombra	0.030588302	Villahermosa

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2021 (Mm^3/año/ha)	Municipio
	0.034820933	Fresno
	0.036207982	Palocabildo
	0.045269704	Lérida
	0.050755068	Líbano
	0.088756527	Herveo
2.2.2.6. Tomate de árbol	0.004040398	Murillo
	0.048683581	Santa Isabel
	0.011098287	Ambalema
	0.016561578	San Sebastián de Mariquita
	0.025521862	Armero
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.046048942	Honda
	0.094728543	Palocabildo
	0.408124442	Lérida
	0.554010672	Líbano
	1.155919395	Venadillo
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.003681454	Piedras
	0.0237118	Piedras
2.2.3.3. Cítricos	0.027798019	Armero
	0.148842897	Coello
2.2.3.4. Mango	0.038051378	Coello
	0.098279288	San Sebastián de Mariquita
2.2.3.5. Aguacate	0.409844407	Falan
	0.513042313	Herveo
	7.429289358	Fresno
	0.004033612	San Sebastián de Mariquita
2.2.3.6. Guanábana	0.012300211	Falan
	0.073227221	Fresno
	0.11405686	Honda
2.2.3.8. Mangostino	0.001467703	San Sebastián de Mariquita
2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	1.774538899	Venadillo
	413.0197868	Alvarado
	0.011264288	Cajamarca
	0.017860942	Murillo
	0.029921572	Honda
	0.04269144	San Sebastián de Mariquita
	0.086929024	Líbano
2.4.1. Mosaico de cultivos	0.146918899	Palocabildo
	0.163930698	Fresno
	0.206642632	Herveo
	0.240410466	Ambalema
	0.290655273	Armero
	0.366001252	Falan

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2021 (Mm³/año/ha)	Municipio
	1.698664058	Casabianca
	2.423247773	Anzoátegui
	2.530025844	Ibagué
	4.424111211	Lérida
	526.8883314	Coello
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.51520776	Villahermosa
2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	0.331304571	Santa Isabel

a. Subzona Hidrográfica del río Coello

En la Subzona Hidrográfica del río Coello se evidencian 11 coberturas representativas del sector agrícola entre las que sobresalen el mosaico de cultivos, arroz, el café y los tubérculos como las mayores demandantes del recurso hídrico en el área con 5692.69 l/s, 5194.42 l/s, 4250.31 l/s y 3463.30 l/s, respectivamente (*Tabla 402*). La distribución espacial de estas coberturas se presenta en la *Figura 450*.

Tabla 402. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Coello para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	1.08	34.33	0.17
2.1.2.1. Arroz	163.81	5194.42	25.17
2.1.2.2. Maíz	0.79	25.10	0.12
2.1.3.1. Algodón	1.81	57.52	0.28
2.1.3.3. Fríjol	54.54	1729.43	8.38
2.1.5. Tubérculos	109.22	3463.30	16.78
2.2.2.2. Café	1.06	33.49	0.16
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	89.59	2841.02	13.77
2.2.2.2.2. Café con semisombra	43.39	1375.80	6.67
2.2.3.4. Mango	5.97	189.17	0.92
2.4.1. Mosaico de cultivos	179.52	5692.69	27.59
Total	**650.79**	**20636.27**	**100**

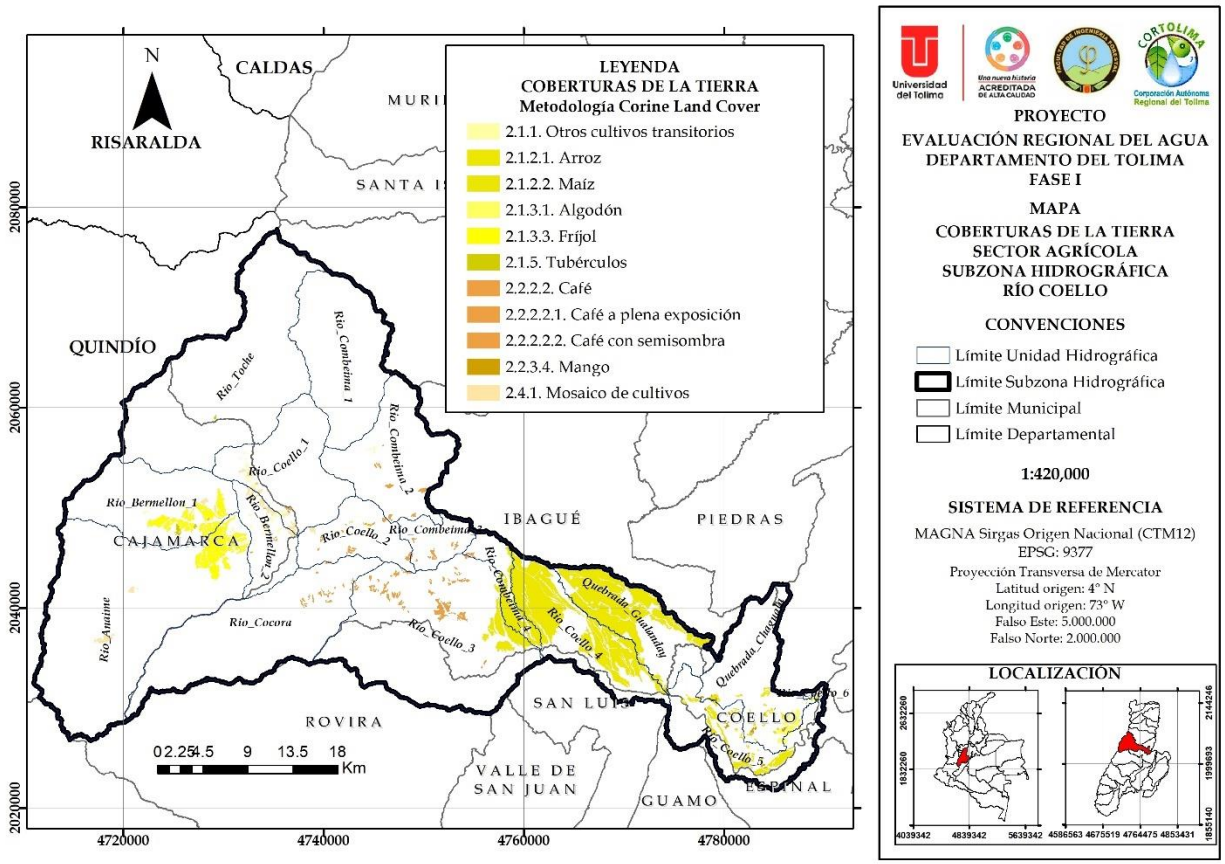


Figura 450. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Coello

La demanda hídrica calculada para el sector agrícola en esta Subzona Hidrográfica se estima en 20636.27 l/s (*Tabla 402*), que es un valor superior al determinado a partir de las concesiones hídricas de Cortolima el cual corresponde a 14865.67 l/s (subsección 20.1.1). Al observar la demanda hídrica de cada cobertura agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de la SZH, tal como se presenta en la *Tabla 403*, el Rio_Bermellon_1 con el 19.59% y Rio_Coello_2 con el 17.33% son las UHA en donde se concentra la mayor demanda de esta subzona debido principalmente a la presencia de las coberturas de tubérculos (demanda 3176.53 l/s) y el mosaico de cultivos (demanda 3083.57 l/s), respectivamente. En la *Figura 451* se muestra la distribución espacial de la demanda hídrica para uso agrícola en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Coello.

Tabla 403. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Coello

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Coello	Quebrada_Chaguala	2.1.2.1. Arroz	1.03	32.60	19.44	0.16
		2.1.2.2. Maíz	0.38	12.03	7.17	0.06
		2.1.3.1. Algodón	1.19	37.66	22.46	0.18
		2.2.3.4. Mango	2.69	85.42	50.94	0.41
	Total Quebrada_Chaguala		**5.29**	**167.71**	**100**	**0.81**
	Quebrada_Gualanday	2.1.2.1. Arroz	49.37	1565.65	100	7.59
	Total Quebrada_Gualanday		**49.37**	**1565.65**	**100**	**7.59**
	Rio_Anaime	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.13	4.06	0.41	0.02
		2.1.3.3. Fríjol	29.60	938.59	95.67	4.55
		2.4.1. Mosaico de cultivos	1.21	38.38	3.91	0.19
	Total Rio_Anaime		**30.94**	**981.02**	**100**	**4.75**
	Rio_Bermellon_1	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.07	2.25	0.06	0.01
		2.1.3.3. Fríjol	24.94	790.84	19.56	3.83
		2.1.5. Tubérculos	100.17	3176.53	78.56	15.39
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1.82	57.62	1.43	0.28
		2.4.1. Mosaico de cultivos	0.51	16.16	0.40	0.08
	Total Rio_Bermellon_1		**127.51**	**4043.40**	**100**	**19.59**
	Rio_Bermellon_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.22	7.04	1.55	0.03
		2.2.2.2. Café	1.06	33.49	7.38	0.16
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	9.76	309.39	68.18	1.50
		2.4.1. Mosaico de cultivos	3.28	103.86	22.89	0.50
	Total Rio_Bermellon_2		**14.31**	**453.78**	**100**	**2.20**
	Rio_Cocora	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.68	433.73	100	2.10
	Total Rio_Cocora		**13.68**	**433.73**	**100**	**2.10**
	Rio_Coello_1	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.22	7.08	0.27	0.03
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	11.90	377.25	14.44	1.83
		2.4.1. Mosaico de cultivos	70.27	2228.26	85.29	10.80
	Total Rio_Coello_1		**82.39**	**2612.59**	**100**	**12.66**
	Rio_Coello_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.26	8.11	0.23	0.04
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	8.97	284.42	7.95	1.38
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	6.31	200.01	5.59	0.97
		2.4.1. Mosaico de cultivos	97.24	3083.57	86.23	14.94
	Total Rio_Coello_2		**112.78**	**3576.12**	**100**	**17.33**
	Rio_Coello_3	2.1.2.1. Arroz	9.35	296.58	14.57	1.44
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	50.89	1613.78	79.30	7.82
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.93	124.75	6.13	0.60
	Total Rio_Coello_3		**64.18**	**2035.11**	**100**	**9.86**
	Rio_Coello_4	2.1.2.1. Arroz	72.41	2296.13	100	11.13

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Total Rio_Coello_4			**72.41**	**2296.13**	**100**	**11.13**
	Rio_Coello_5	2.1.2.1. Arroz	8.04	254.86	41.51	1.24
		2.1.2.2. Maíz	0.41	13.07	2.13	0.06
		2.1.3.1. Algodón	0.63	19.86	3.23	0.10
		2.2.3.4. Mango	3.27	103.75	16.90	0.50
		2.4.1. Mosaico de cultivos	7.02	222.46	36.23	1.08
	Total Rio_Coello_5		**19.36**	**613.99**	**100**	**2.98**
	Rio_Coello_6	2.1.2.1. Arroz	0.10	3.07	100	0.01
	Total Rio_Coello_6		**0.10**	**3.07**	**100**	**0.01**
	Rio_Combeima_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.18	5.79	1.54	0.03
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	4.56	144.50	38.48	0.70
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	7.10	225.25	59.98	1.09
	Total Rio_Combeima_2		**11.84**	**375.55**	**100**	**1.82**
	Rio_Combeima_3	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	7.48	237.14	69.19	1.15
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.33	105.58	30.81	0.51
	Total Rio_Combeima_3		**10.81**	**342.73**	**100**	**1.66**
	Rio_Combeima_4	2.1.2.1. Arroz	23.51	745.54	87.82	3.61
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.20	69.82	8.22	0.34
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.06	33.56	3.95	0.16
	Total Rio_Combeima_4		**26.77**	**848.92**	**100**	**4.11**
	Rio_Toche	2.1.5. Tubérculos	9.04	286.77	100	1.39
	Total Rio_Toche		**9.04**	**286.77**	**100**	**1.39**
Total general			**650.79**	**20636.27**		**100**

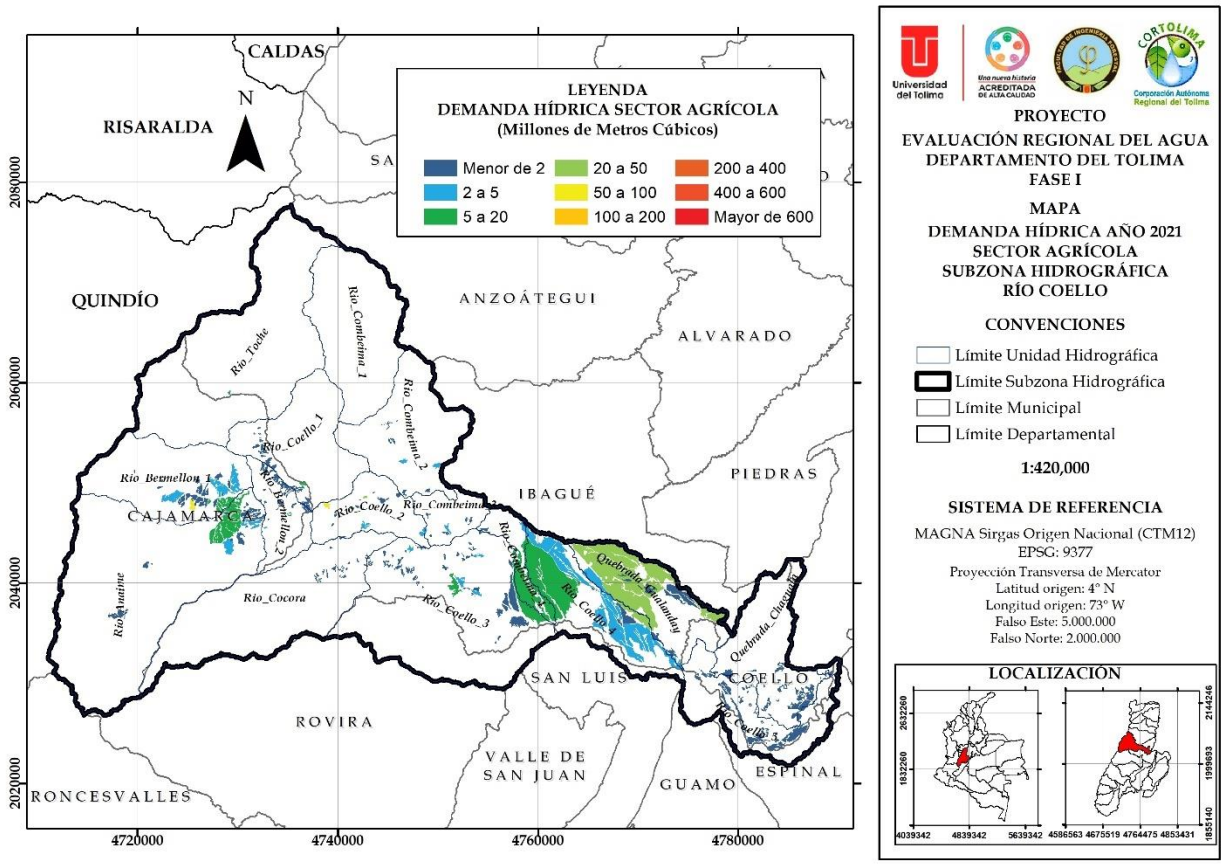


Figura 451. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello para el año 2021

b. Subzona Hidrográfica del río Opia

La demanda hídrica calculada para el sector agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Opia corresponde a 7125.36 l/s que están relacionados al volumen de agua requerido por 9 tipos de coberturas en los que el arroz participa con el 92.31% (6577.72 l/s) (*Tabla 404*). En este caso, el valor de la demanda hídrica calculada supera a la demanda estimada a partir de las concesiones hídricas que corresponde a 708.62 l/s (subsección 20.2.1). Lo anterior se explica considerando que con la metodología de cálculo aplicada se tienen en cuenta la evapotranspiración de los cultivos y su fenología, además de las condiciones climáticas y edáficas de cada zona. La distribución espacial de las coberturas agrícolas demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Opia se presenta en la Figura 452.

Tabla 404. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Opia para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	6.82	216.28	3.04
2.1.2.1. Arroz	207.44	6577.72	92.31
2.1.2.2. Maíz	2.59	81.98	1.15
2.1.2.3. Sorgo	0.99	31.34	0.44
2.1.3.1. Algodón	0.75	23.93	0.34
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.40	12.74	0.18
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.23	7.30	0.10
2.2.3.3. Cítricos	5.06	160.55	2.25
2.2.3.4. Mango	0.43	13.52	0.19
Total	**224.71**	**7125.36**	**100**

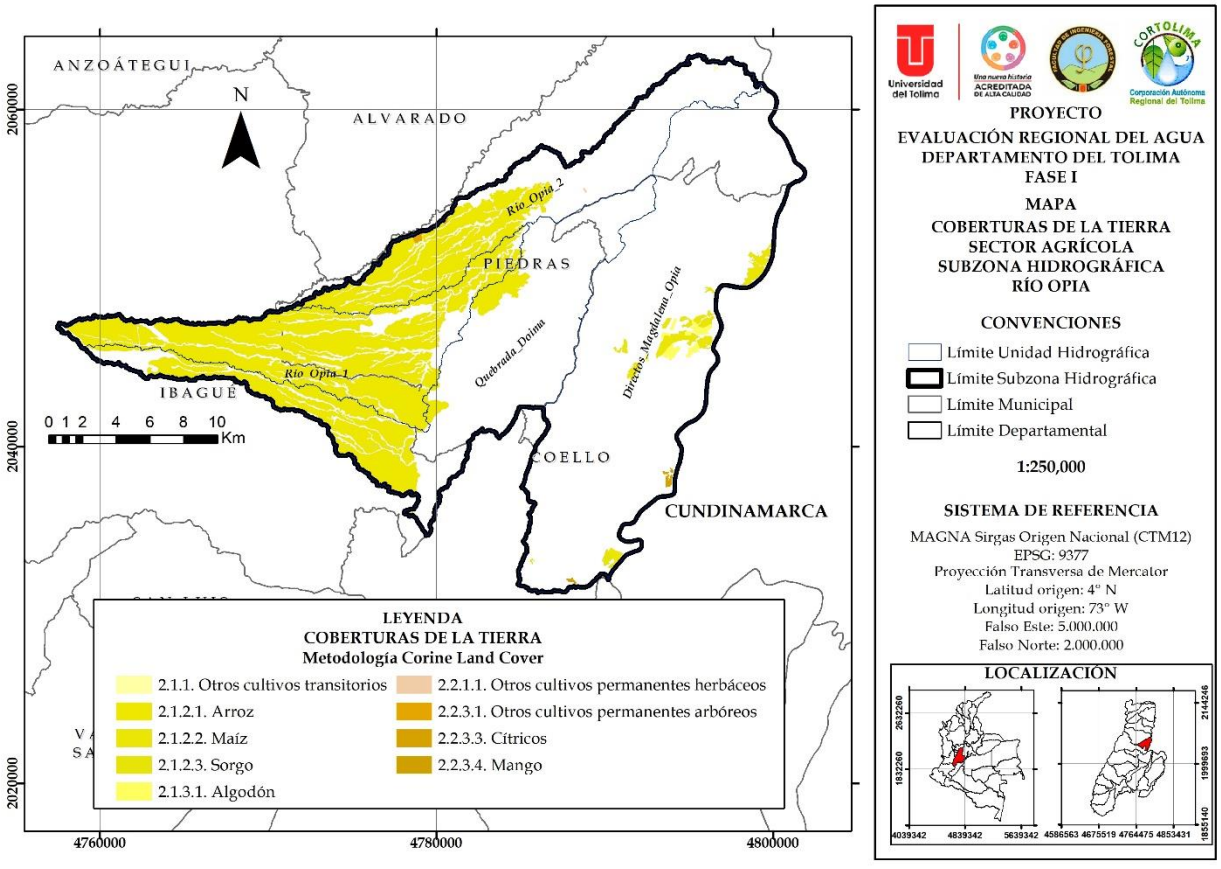


Figura 452. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA), la demanda hídrica se concentra en un 38.31% (2729.78 l/s) en el Rio_Opia_1, el 31% (2208.98 l/s) en la Quebrada_Doima y con el 26.22% (1868.08 l/s) en el Rio_Opia_2. Referente a las coberturas es el arroz el que representa la demanda en las UHA mencionadas anteriormente; en el caso de Directos_Magdalena_Opia, donde se encuentra el 4.47% de la demanda de esta subzona, son los cítricos y el maíz los que ejercen la mayor presión sobre el recurso hídrico con 160.55 l/s y 81.98 l/s, respectivamente. Lo anterior se puede evidenciar en la *Figura 453* en la cual se representa espacialmente la presión por el uso del agua por cobertura en cada UHA en la Subzona Hidrográfica del río Opia.

Tabla 405. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Opia

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Opia	Directos_Magdalena_Opia	2.1.2.1. Arroz	0.23	7.20	2.26	0.10
		2.1.2.2. Maíz	2.59	81.98	25.74	1.15
		2.1.2.3. Sorgo	0.99	31.34	9.84	0.44
		2.1.3.1. Algodón	0.75	23.93	7.51	0.34
		2.2.3.3. Cítricos	5.06	160.55	50.41	2.25
		2.2.3.4. Mango	0.43	13.52	4.24	0.19
	Total Directos_Magdalena_Opia		**10.04**	**318.51**	**100**	**4.47**
	Quebrada_Doima	2.1.2.1. Arroz	69.66	2208.98	100	31.00
	Total Quebrada_Doima		**69.66**	**2208.98**	**100**	**31.00**
	Rio_Opia_1	2.1.2.1. Arroz	86.09	2729.78	100	38.31
	Total Rio_Opia_1		**86.09**	**2729.78**	**100**	**38.31**
	Rio_Opia_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	6.82	216.28	11.58	3.04
		2.1.2.1. Arroz	51.46	1631.76	87.35	22.90
		2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.40	12.74	0.68	0.18
		2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.23	7.30	0.39	0.10
	Total Rio_Opia_2		**58.91**	**1868.08**	**100**	**26.22**
Total general			**224.71**	**7125.36**		**100**

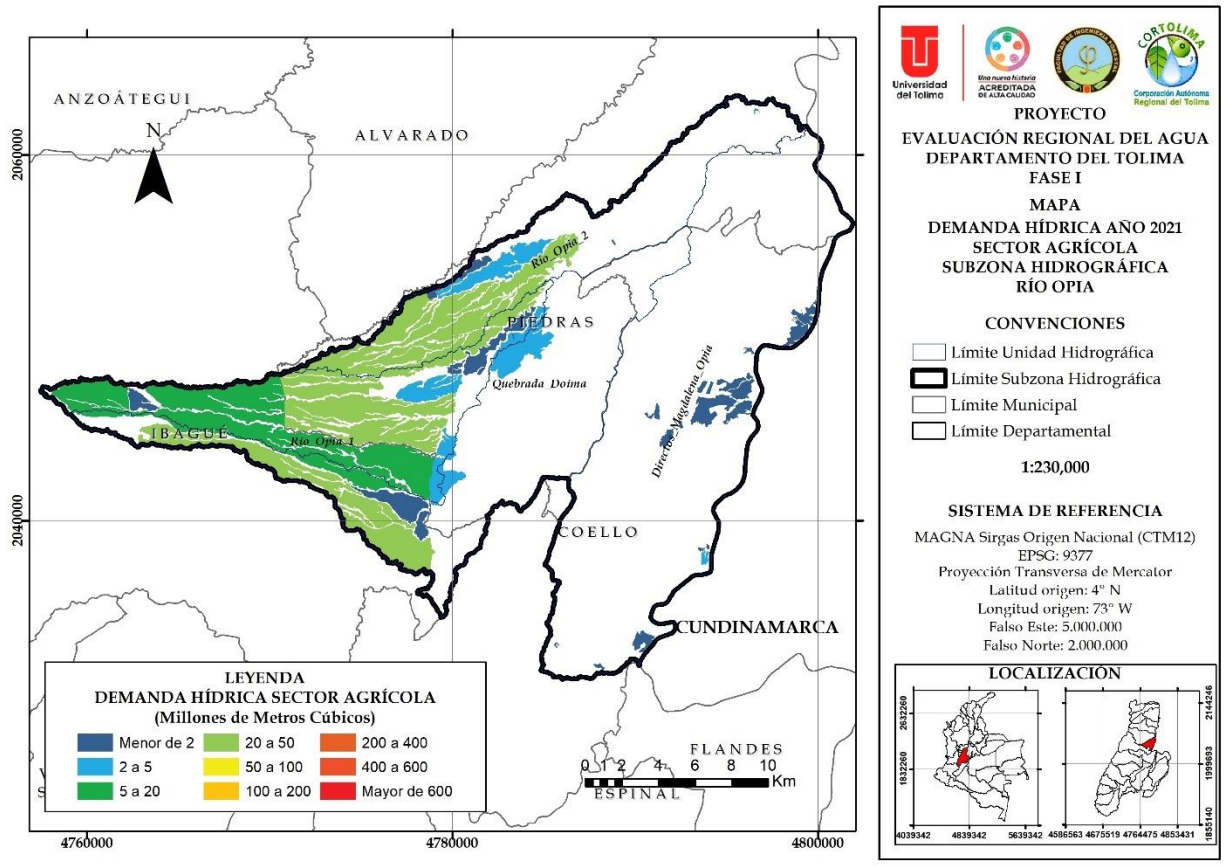


Figura 453. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia para el año 2021

c. Subzona Hidrográfica del río Totare

En la Subzona Hidrográfica del río Totare la demanda hídrica calculada del sector agrícola es de 26938.13 l/s mientras que la demanda estimada a partir de las concesiones fue de 13496.03 l/s (subsección 20.3.1). Como se observa en la *Tabla 406* y *Figura 454* el arroz es la cobertura con mayor demanda de agua de esta Subzona Hidrográfica con el 44.29% (11932.04 l/). Las coberturas de café, cultivos y árboles plantados, y el mosaico de cultivos, ocupan el segundo, tercero y cuarto lugar, respectivamente, con demandas de 6288.91 l/s (23.35%), 3641.05 l/s (13.52%) y 3493.85 l/s (12.97%).

Tabla 406. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Totare para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.02	64.18	0.24
2.1.2.1. Arroz	376.29	11932.04	44.29
2.1.5.1. Papa	3.92	124.28	0.46
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.30	9.38	0.03
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	9.00	285.52	1.06
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	7.92	251.24	0.93
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	152.45	4834.25	17.95
2.2.2.2.2. Café con semisombra	45.87	1454.66	5.40
2.2.2.6. Tomate de árbol	4.07	128.94	0.48
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.36	106.50	0.40
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.14	4.41	0.02
2.2.3.3. Cítricos	0.27	8.57	0.03
2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	114.82	3641.05	13.52
2.4.1. Mosaico de cultivos	110.18	3493.85	12.97
2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	18.90	599.25	2.22
Total	**849.52**	**26938.13**	**100**

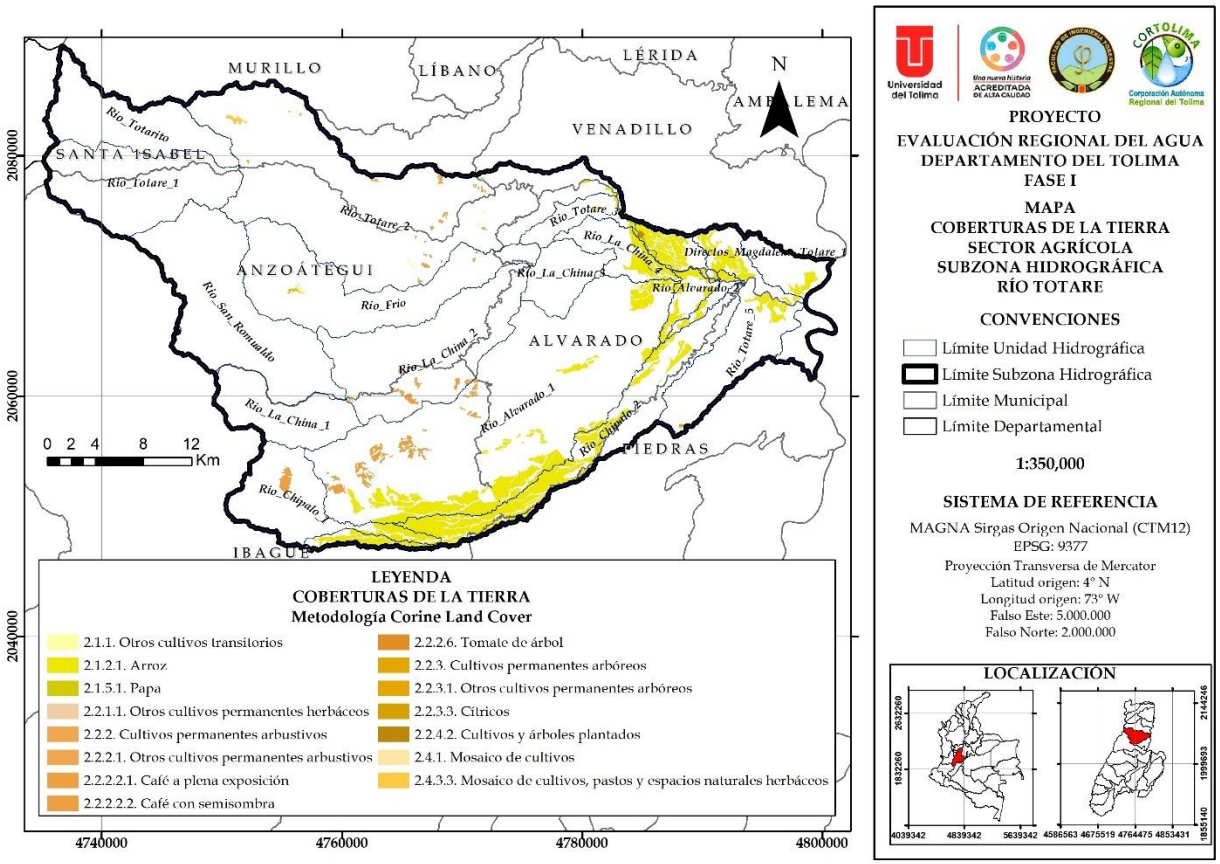


Figura 454. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Totare

El volumen de agua estimado para suplir los requerimientos del sector agrícola de esta Subzona Hidrográfica (26938.13 l/s; *Tabla 406*) se distribuye en 13 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de los cuales el Rio_Totare_3 junto con el Rio_Alvarado_1 son las UHA con mayores requerimientos, con una participación del 19.44% (5235.72 l/s) y 15.31% (4124.96 l/s) con respecto al total. En el primer caso la demanda hídrica está representada principalmente por la cobertura de cultivos y árboles plantados con el 69.54% (3641.05 l/s) mientras que en el siguiente el 57% (2351.3 l/s) del volumen de agua demandado se destina para el cultivo de café (Tabla 407). En la Figura 455 se ilustra la espacialización de la demanda hídrica de todas las coberturas en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Totare.

Tabla 407. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Totare

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Totare	Directos_Magdalena_Totare_1	2.1.2.1. Arroz	1.96	62.14	100	0.23
	Total Directos_Magdalena_Totare_1		**1.96**	**62.14**	**100**	**0.23**
	Rio_Alvarado_1	2.1.2.1. Arroz	49.75	1577.67	38.25	5.86
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	4.36	138.11	3.35	0.51
		2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	1.83	57.88	1.40	0.21
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	43.19	1369.54	33.20	5.08
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	30.96	981.76	23.80	3.64
	Total Rio_Alvarado_1		**130.08**	**4124.96**	**100**	**15.31**
	Rio_Alvarado_2	2.1.2.1. Arroz	55.22	1751.15	100	6.50
	Total Rio_Alvarado_2		**55.22**	**1751.15**	**100**	**6.50**
	Rio_Chipalo_1	2.1.2.1. Arroz	13.99	443.63	48.40	1.65
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	14.91	472.90	51.60	1.76
	Total Rio_Chipalo_1		**28.90**	**916.54**	**100**	**3.40**
	Rio_Chipalo_2	2.1.2.1. Arroz	96.90	3072.79	99.55	11.41
		2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.30	9.38	0.30	0.03
		2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.14	4.41	0.14	0.02
	Total Rio_Chipalo_2		**97.34**	**3086.58**	**100**	**11.46**
	Rio_Frio	2.1.5.1. Papa	1.69	53.48	2.17	0.20
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	11.54	365.96	14.85	1.36
		2.4.1. Mosaico de cultivos	64.51	2045.61	82.98	7.59
	Total Rio_Frio		**77.74**	**2465.06**	**100**	**9.15**
	Rio_La_China_1	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.42	76.78	9.61	0.29
		2.4.1. Mosaico de cultivos	22.77	721.93	90.39	2.68
	Total Rio_La_China_1		**25.19**	**798.71**	**100**	**2.96**
	Rio_La_China_2	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	4.65	147.41	8.19	0.55
		2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.42	76.78	4.27	0.29
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	26.77	848.98	47.18	3.15
		2.4.1. Mosaico de cultivos	22.90	726.30	40.36	2.70
	Total Rio_La_China_2		**56.75**	**1799.48**	**100**	**6.68**
	Rio_La_China_4	2.1.2.1. Arroz	9.29	294.71	100	1.09
	Total Rio_La_China_4		**9.29**	**294.71**	**100**	**1.09**
	Rio_Totare_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.02	64.18	1.96	0.24
		2.1.2.1. Arroz	0.42	13.33	0.41	0.05
		2.1.5.1. Papa	2.23	70.80	2.16	0.26

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
		2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	1.25	39.79	1.22	0.15
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	70.95	2249.76	68.75	8.35
		2.2.2.6. Tomate de árbol	4.07	128.94	3.94	0.48
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.36	106.50	3.25	0.40
		2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	18.90	599.25	18.31	2.22
		Total Rio_Totare_2	**103.20**	**3272.57**	**100**	**12.15**
	Rio_Totare_3	2.1.2.1. Arroz	50.29	1594.68	30.46	5.92
		2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	114.82	3641.05	69.54	13.52
		Total Rio_Totare_3	**165.11**	**5235.72**	**100**	**19.44**
	Rio_Totare_4	2.1.2.1. Arroz	46.47	1473.57	100	5.47
		Total Rio_Totare_4	**46.47**	**1473.57**	**100**	**5.47**
	Rio_Totare_5	2.1.2.1. Arroz	51.98	1648.36	99.48	6.12
		2.2.3.3. Cítricos	0.27	8.57	0.52	0.03
		Total Rio_Totare_5	**52.25**	**1656.93**	**100**	**6.15**
		Total general	**849.52**	**26938.13**		**100**

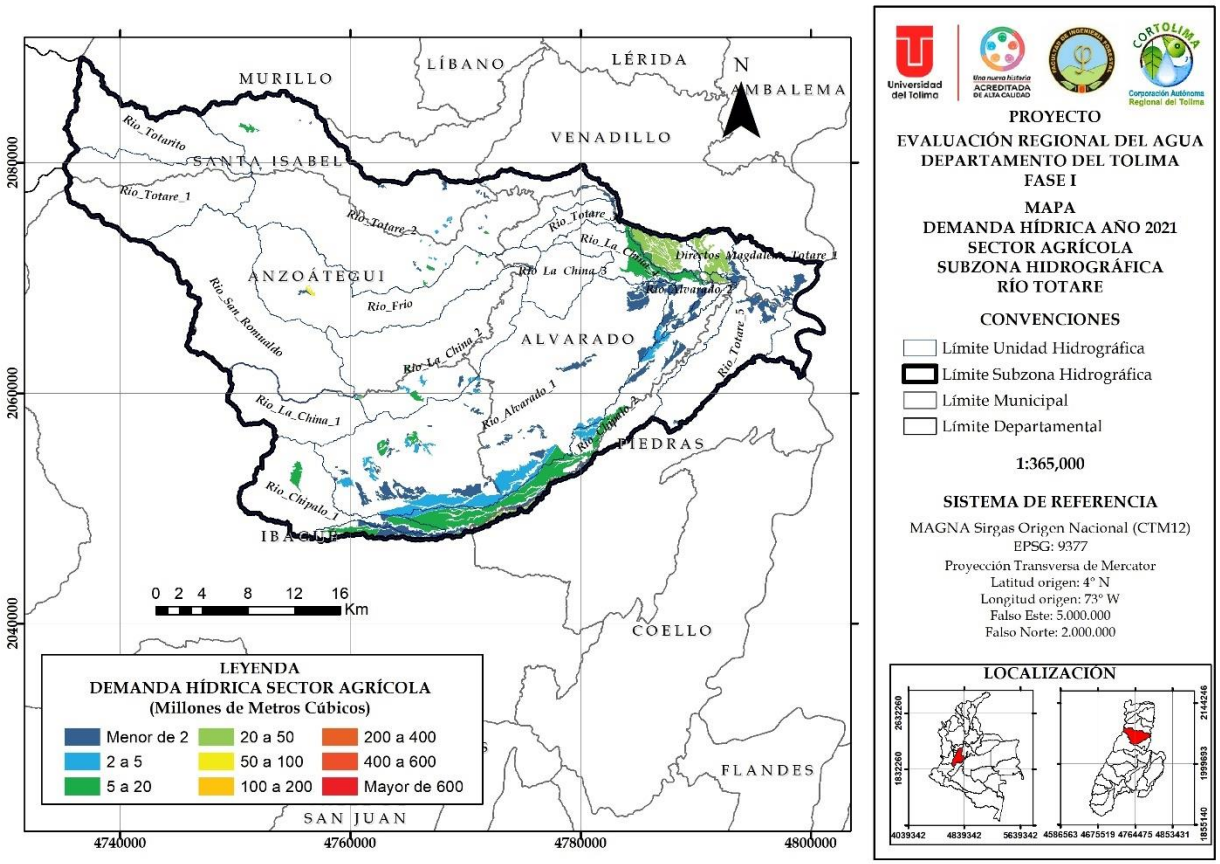


Figura 455. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare para el año 2021

d. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

En la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo se estima una demanda hídrica para el sector agrícola de 13969.95 l/s que está representada por 14 tipos de coberturas como se presenta en la *Tabla 408*. El cultivo de café seguido por el cultivo arroz, son las coberturas que mayor presión ejercen sobre el recurso hídrico en la subzona, con una participación del 37.62% (5255.83 l/s) y 37.20% (5197.42 l/s), respectivamente. En este caso, el valor estimado a partir de la metodología aplicada difiere en 6286.96 l/s en relación con el valor determinado a partir de las concesiones hídricas que corresponde a 7682.99 l/s (subsección 20.4.1). La distribución espacial de las coberturas agrícolas demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo se presenta en la Figura 456.

Tabla 408. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.36	11.42	0.08
2.1.2.1. Arroz	163.91	5197.42	37.20
2.1.2.2. Maíz	4.25	134.86	0.97
2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	0.17
2.1.5.1. Papa	1.11	35.21	0.25
2.2.1.3.1. Plátano	42.18	1337.45	9.57
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	14.42	457.26	3.27
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.40	76.05	0.54
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	101.74	3226.16	23.09
2.2.2.2.2. Café con semisombra	43.68	1385.16	9.92
2.2.2.2.3. Café con sombra	20.33	644.51	4.61
2.2.2.6. Tomate de árbol	17.04	540.29	3.87
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	6.50	206.10	1.48
2.4.1. Mosaico de cultivos	21.88	693.94	4.97
Total	**440.56**	**13969.95**	**100**

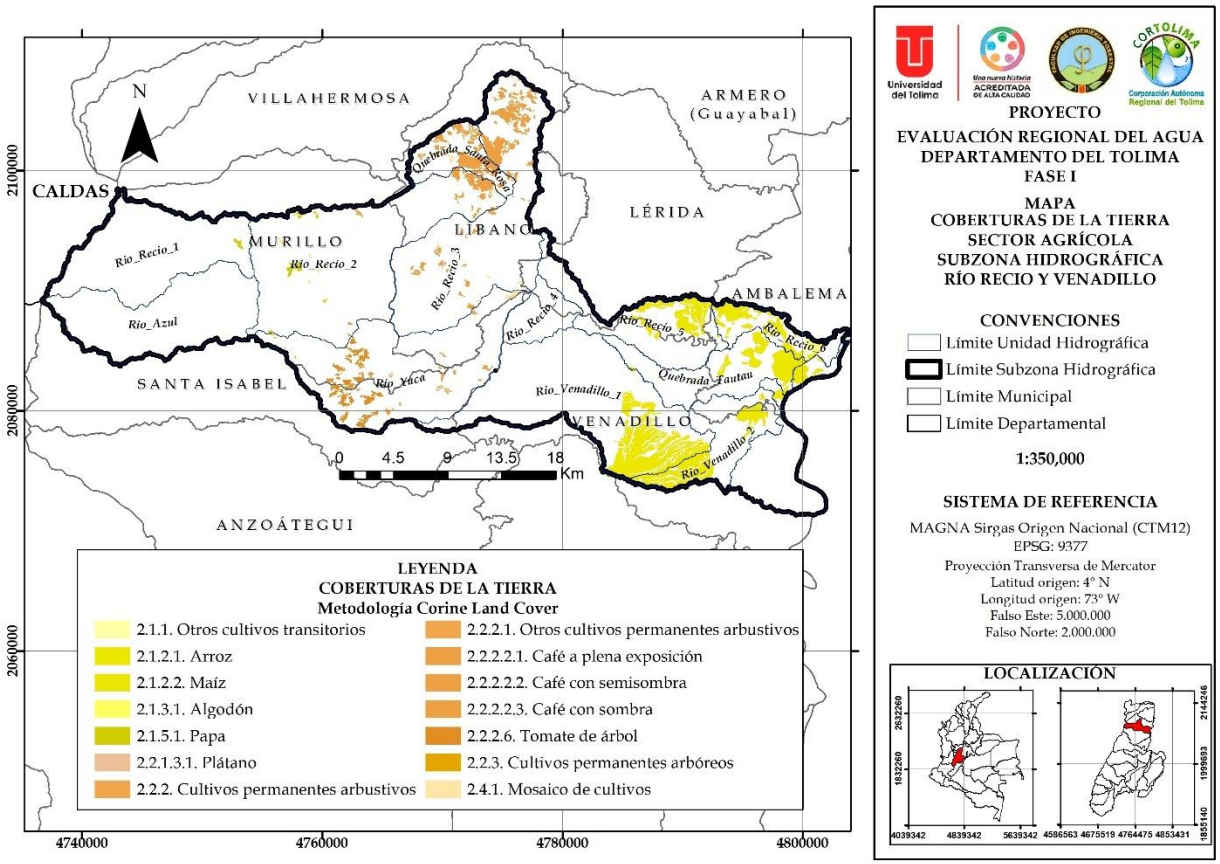


Figura 456. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

En la *Tabla 409* y *Figura 457* se detalla la distribución de la demanda hídrica de cada cultivo por Unidad Hidrológica de Análisis (UHA). Como se observa, la mayor demanda se concentra en la UHA Rio_Recio_3 que contribuye con el 32.10% (4483.92 l/s) del volumen total de agua demandado en la SZH, la cual está destinada en un 50.24% (2252.72 l/s) para el cultivo de café y un 29.83% (1337.45 l/s) para el cultivo de plátano. A esta UHA le sigue la Quebrada_Santa_Rosa, el Rio_Venadillo_1 y el Rio_Venadillo_2, que participan con el 15.9%, 10.44% y 10.43% del total de la demanda, en cuyos casos está representada por los cultivos de café y arroz, respectivamente (*Tabla 409*).

Tabla 409. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Recio	Directos_ Magdalena_Recio _Venadillo	2.1.2.1. Arroz	10.06	318.93	100	2.28

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
	Total Directos_Magdalena_Recio_Venadillo		**10.06**	**318.93**	**100**	**2.28**
	Quebrada_Santa_Rosa	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	45.20	1433.37	64.52	10.26
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	10.63	337.00	15.17	2.41
		2.2.2.2.3. Café con sombra	8.69	275.41	12.40	1.97
		2.4.1. Mosaico de cultivos	5.54	175.67	7.91	1.26
	Total Quebrada_Santa_Rosa		**70.06**	**2221.45**	**100**	**15.90**
	Quebrada_Tautau	2.1.2.1. Arroz	13.61	431.50	90.22	3.09
		2.1.2.2. Maíz	1.48	46.78	9.78	0.33
	Total Quebrada_Tautau		**15.08**	**478.27**	**100**	**3.42**
	Rio_Recio_1	2.1.5.1. Papa	0.13	4.09	100	0.03
	Total Rio_Recio_1		**0.13**	**4.09**	**100**	**0.03**
	Rio_Recio_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.36	11.42	1.35	0.08
		2.1.5.1. Papa	0.75	23.92	2.83	0.17
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.06	414.14	48.94	2.96
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	7.19	228.03	26.95	1.63
		2.2.2.2.3. Café con sombra	2.49	78.91	9.32	0.56
		2.2.2.6. Tomate de árbol	0.12	3.78	0.45	0.03
		2.4.1. Mosaico de cultivos	2.71	86.02	10.16	0.62
	Total Rio_Recio_2		**26.69**	**846.22**	**100**	**6.06**
	Rio_Recio_3	2.2.1.3.1. Plátano	42.18	1337.45	29.83	9.57
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	14.42	457.26	10.20	3.27
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	36.86	1168.80	26.07	8.37
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	25.03	793.73	17.70	5.68
		2.2.2.2.3. Café con sombra	9.15	290.19	6.47	2.08
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	6.50	206.10	4.60	1.48
		2.4.1. Mosaico de cultivos	7.27	230.40	5.14	1.65
	Total Rio_Recio_3		**141.41**	**4483.92**	**100**	**32.10**
	Rio_Recio_5	2.1.2.1. Arroz	24.49	776.70	89.48	5.56
		2.1.2.2. Maíz	0.29	9.15	1.05	0.07
		2.1.3.1. Algodón	0.00003	0.0011	0.0000013	0.0000001
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.59	18.60	2.14	0.13
		2.4.1. Mosaico de cultivos	2.01	63.59	7.33	0.46
	Total Rio_Recio_5		**27.37**	**868.05**	**100**	**6.21**
	Rio_Recio_6	2.1.2.1. Arroz	23.78	754.17	87.98	5.40
		2.1.2.2. Maíz	2.49	78.94	9.21	0.57
		2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	2.81	0.17
	Total Rio_Recio_6		**27.03**	**857.23**	**100**	**6.14**
	Rio_Venadillo_1	2.1.2.1. Arroz	46.01	1458.86	100	10.44
	Total Rio_Venadillo_1		**46.01**	**1458.86**	**100**	**10.44**
	Rio_Venadillo_2	2.1.2.1. Arroz	45.96	1457.26	100	10.43
	Total Rio_Venadillo_2		**45.96**	**1457.26**	**100**	**10.43**

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
	Rio_Yuca	2.1.5.1. Papa	0.23	7.20	0.74	0.05
		2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.40	76.05	7.79	0.54
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	6.62	209.86	21.51	1.50
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.25	7.80	0.80	0.06
		2.2.2.6. Tomate de árbol	16.92	536.51	54.99	3.84
		2.4.1. Mosaico de cultivos	4.36	138.26	14.17	0.99
	Total Rio_Yuca		**30.77**	**975.68**	**100**	**6.98**
Total general			**440.56**	**13969.95**		**100**

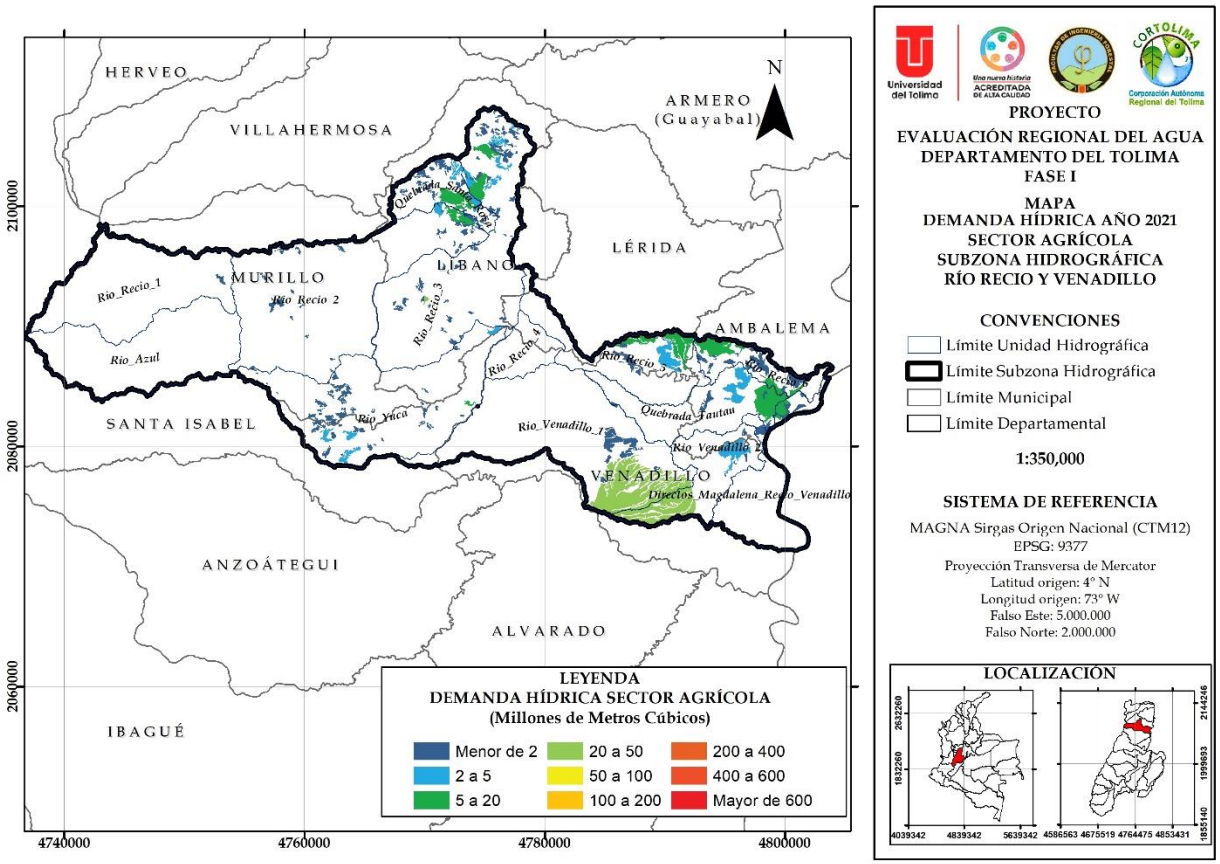


Figura 457. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo para el año 2021

e. Subzona Hidrográfica del río Sabandija

La demanda hídrica calculada para el sector agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija corresponde a 13662.17 l/s que están relacionados al volumen de agua requerido por 14 tipos de coberturas entre las que sobresalen el mosaico de cultivos, con un 41.85% (5718.11 l/s), el arroz, 17.55% (2397.13 l/s), y el café en todas sus presentaciones, 17.01% (2324.71 l/s) (Tabla 410). En este caso, el valor de la demanda hídrica calculada supera en 12456.29 l/s a la demanda estimada a partir de las concesiones hídricas que corresponde a 1205.88 l/s (subsección 20.5.1). Lo anterior se explica considerando que con la metodología de cálculo aplicada se tienen en cuenta la evapotranspiración de los cultivos y su fenología, además de las condiciones climáticas y edáficas de cada zona. La distribución espacial de las coberturas agrícolas demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija se presenta en la *Figura 458*.

Tabla 410. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.2.1. Arroz	75.60	2397.13	17.55
2.1.2.2. Maíz	31.38	995.15	7.28
2.1.3.1. Algodón	8.96	284.19	2.08
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	22.29	706.81	5.17
2.2.2.2. Café	2.67	84.73	0.62
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.18	418.06	3.06
2.2.2.2.2. Café con semisombra	56.92	1805.01	13.21
2.2.2.2.3. Café con sombra	0.53	16.91	0.12
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	29.70	941.66	6.89
2.2.3.3. Cítricos	0.58	18.51	0.14
2.2.3.5. Aguacate	8.03	254.68	1.86
2.2.3.6. Guanábana	0.66	21.05	0.15
2.2.3.8. Mangostino	0.01	0.17	0.001
2.4.1. Mosaico de cultivos	180.33	5718.11	41.85
Total	**430.85**	**13662.17**	**100**

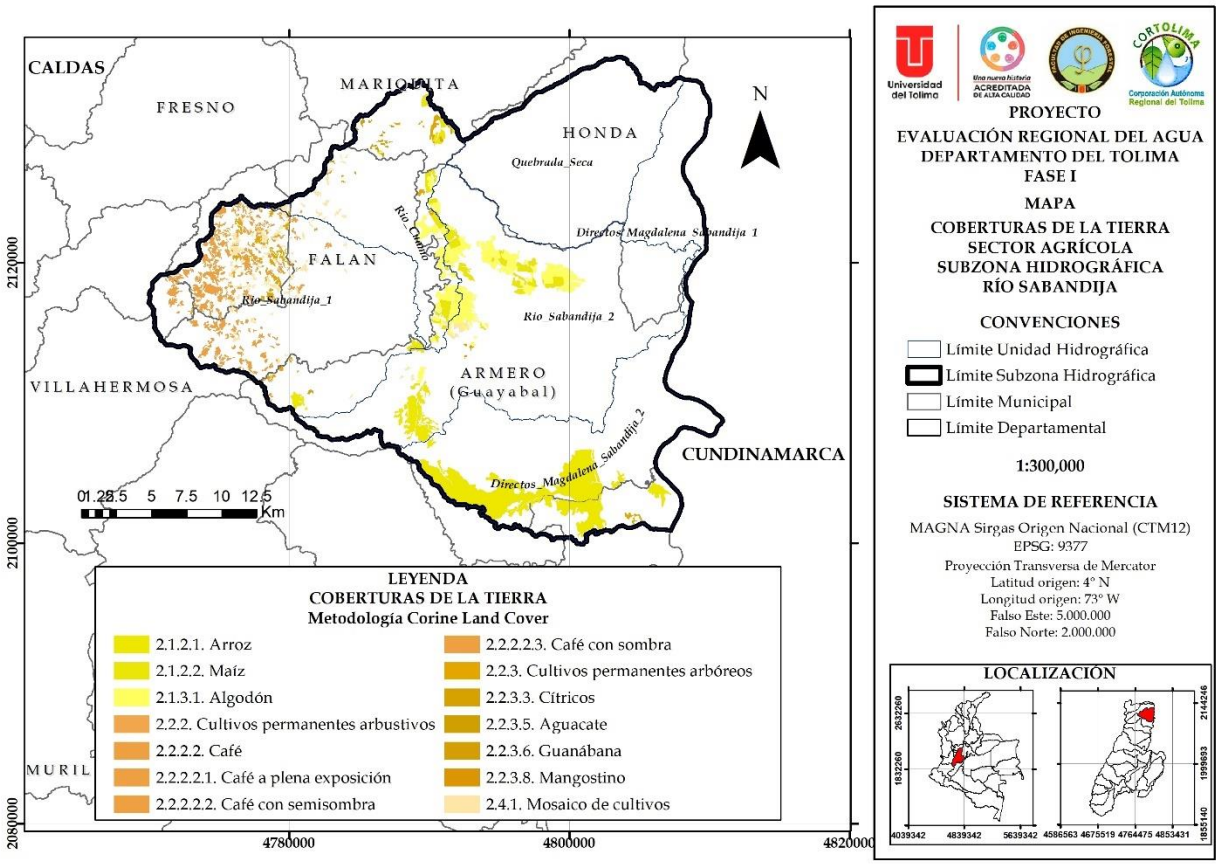


Figura 458. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

La participación porcentual de cada Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija en la anterior demanda hídrica se presenta en la *Tabla 411*. El más alto requerimiento de agua se observa en la UHA Rio_Sabandija_1 con un caudal de 7199.26 l/s que equivalen al 52.69% de la demanda hídrica calculada para el sector agrícola en esta subzona. En la UHA Rio_Sabandija_1 el mosaico de cultivos y el café intervienen en un 45.75% (3293.75 l/s) y 31.7% (2281.26 l/s), respectivamente. La presión que ejerce cada cobertura agrícola en el recurso hídrico de las UHA de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija se ilustra en la Figura 459.

Tabla 411. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Sab	Directos_Magdalena_Sabandija_2	2.1.2.1. Arroz	63.99	2028.99	99.42	14.85
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.38	11.90	0.58	0.09

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Total Directos_Magdalena_Sabandija_2			**64.36**	**2040.89**	**100**	**14.94**
	Rio_Cuamo	2.1.2.2. Maíz	12.93	409.99	16.52	3.00
		2.1.3.1. Algodón	3.33	105.67	4.26	0.77
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.30	41.34	1.67	0.30
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.07	2.12	0.09	0.02
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.81	88.97	3.59	0.65
		2.2.3.5. Aguacate	8.03	254.68	10.26	1.86
		2.2.3.6. Guanábana	0.66	21.05	0.85	0.15
		2.2.3.8. Mangostino	0.01	0.17	0.01	0.00
		2.4.1. Mosaico de cultivos	49.12	1557.44	62.76	11.40
	Total Rio_Cuamo		**78.25**	**2481.43**	**100**	**18.16**
	Rio_Sabandija_1	2.1.2.1. Arroz	2.43	77.04	1.07	0.56
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	22.29	706.81	9.82	5.17
		2.2.2.2. Café	2.67	84.73	1.18	0.62
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.18	418.06	5.81	3.06
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	55.62	1763.68	24.50	12.91
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.47	14.79	0.21	0.11
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	26.28	833.18	11.57	6.10
		2.2.3.3. Cítricos	0.23	7.23	0.10	0.05
		2.4.1. Mosaico de cultivos	103.87	3293.75	45.75	24.11
	Total Rio_Sabandija_1		**227.04**	**7199.26**	**100**	**52.69**
	Rio_Sabandija_2	2.1.2.1. Arroz	9.18	291.10	15.00	2.13
		2.1.2.2. Maíz	18.45	585.16	30.15	4.28
		2.1.3.1. Algodón	5.63	178.51	9.20	1.31
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.24	7.61	0.39	0.06
		2.2.3.3. Cítricos	0.36	11.28	0.58	0.08
		2.4.1. Mosaico de cultivos	27.34	866.92	44.67	6.35
	Total Rio_Sabandija_2		**61.20**	**1940.58**	**100**	**14.20**
Total general			**430.85**	**13662.17**		**100**

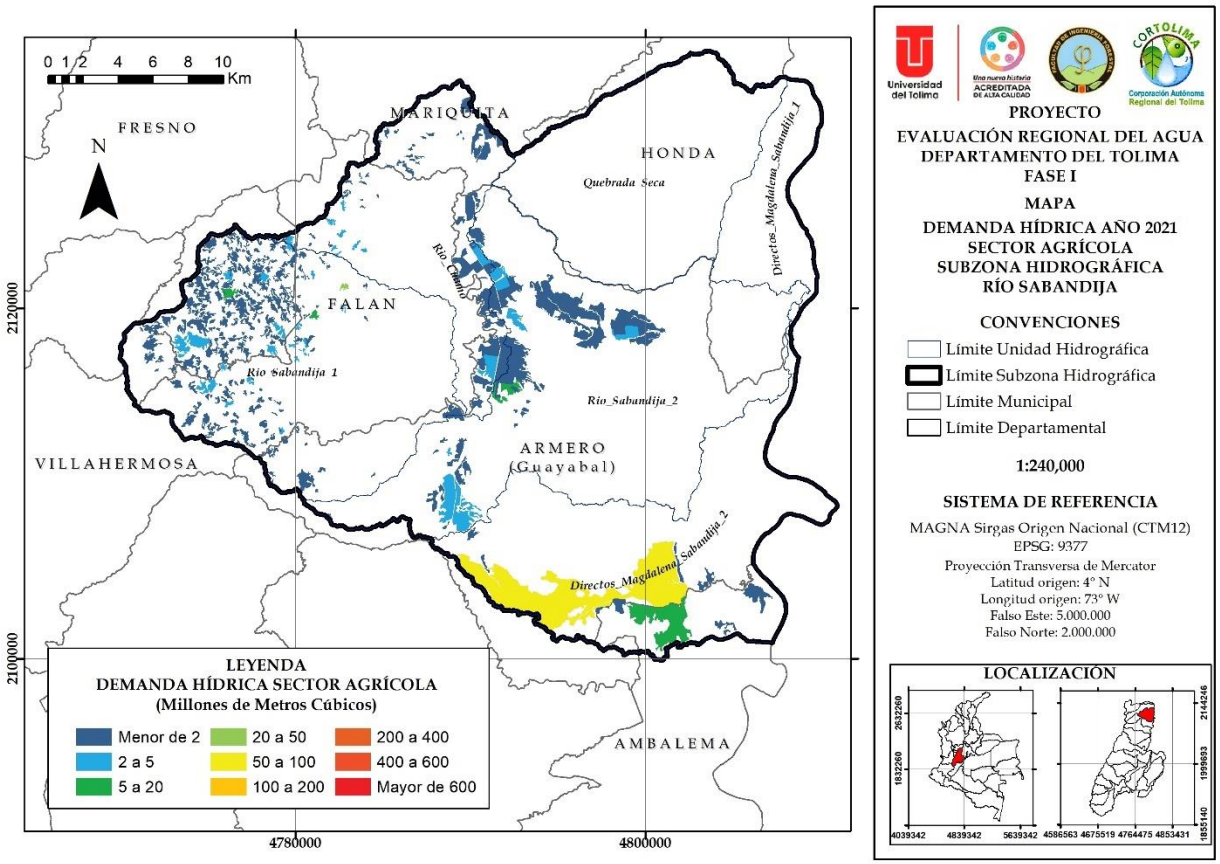


Figura 459. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija para el año 2021

f. Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

La demanda hídrica calculada para el sector agrícola de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla corresponde a 23653.51 l/s que están relacionados al volumen de agua requerido por 12 tipos de coberturas en los que el arroz participa con el 66.25% (15669.31 l/s) (Tabla 412). En este caso, el valor de la demanda hídrica calculada es superior a la estimada a partir de las concesiones hídricas (11721.87 l/s) con una diferencia de 11931.64 l/s (subsección 20.6.1). La distribución espacial de las coberturas agrícolas demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del Lagunilla se presenta en la *Figura 460*.

Tabla 412. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.61	19.22	0.08
2.1.2.1. Arroz	494.15	15669.31	66.25
2.1.2.2. Maíz	10.74	340.58	1.44
2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	0.10
2.1.5.1. Papa	5.88	186.42	0.79
2.2.2.2. Café	1.79	56.79	0.24
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	36.50	1157.29	4.89
2.2.2.2.2. Café con semisombra	70.24	2227.24	9.42
2.2.2.2.3. Café con sombra	11.73	372.02	1.57
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	23.89	757.52	3.20
2.4.1. Mosaico de cultivos	38.46	1219.62	5.16
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	51.20	1623.38	6.86
Total	**745.94**	**23653.51**	**100**

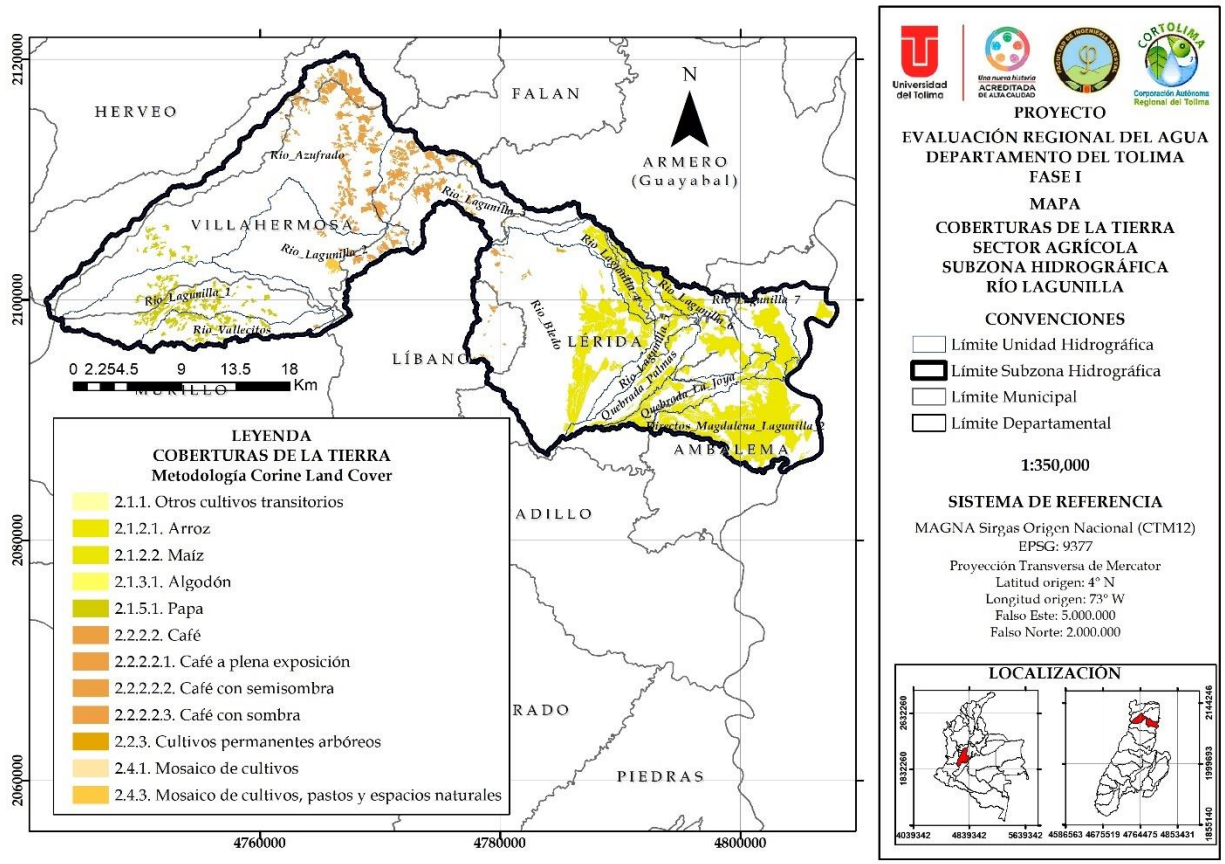


Figura 460. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

El volumen de agua estimado para suplir los requerimientos del sector agrícola de esta Subzona Hidrográfica (*Tabla 412*) se distribuye en 14 Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) donde las mayores concentraciones se encuentran en las UHA Rio_Lagunilla_5, con un 13.35% (3158.1 l/s); Rio_Lagunilla_6, 13.30% (3146.85 l/s); y Directos_Magdalena_Lagunilla_2, 10.18% (2407.77 l/s). El cultivo al cual se destina la mayor cantidad de agua en estas UHA es el arroz que contribuye con el 64.19% (2027.33 l/s), 99.24% (3122.94 l/s), y 91.23% (2196.5 l/s), respectivamente, de su demanda. En la Figura 461 se presenta la espacialización de la demanda hídrica de todas las coberturas en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla.

Tabla 413. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río	Directos_Magdalena_Lagunilla_1	2.1.2.1. Arroz	10.95	347.13	100	1.47

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
	Total Directos_Magdalena_Lagunilla_1		**10.95**	**347.13**	**100**	**1.47**
	Directos_Magdalena _Lagunilla_2	2.1.2.1. Arroz	69.27	2196.50	91.23	9.29
		2.1.2.2. Maíz	4.92	156.05	6.48	0.66
		2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	1.00	0.10
		2.4.1. Mosaico de cultivos	0.98	31.10	1.29	0.13
	Total Directos_Magdalena_Lagunilla_2		**75.93**	**2407.77**	**100**	**10.18**
	Quebrada_La_Joya	2.1.2.1. Arroz	57.93	1837.04	100	7.77
	Total Quebrada_La_Joya		**57.93**	**1837.04**	**100**	**7.77**
	Quebrada_Palmas	2.1.2.1. Arroz	37.21	1179.88	95.60	4.99
		2.1.2.2. Maíz	1.71	54.31	4.40	0.23
	Total Quebrada_Palmas		**38.92**	**1234.19**	**100.00**	**5.22**
	Rio_Azufrado	2.1.5.1. Papa	0.26	8.32	0.52	0.04
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.96	474.36	29.77	2.01
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	29.95	949.57	59.58	4.01
		2.2.2.2.3. Café con sombra	5.09	161.39	10.13	0.68
	Total Rio_Azufrado		**50.26**	**1593.64**	**100**	**6.74**
	Rio_Bledo	2.1.2.1. Arroz	41.71	1322.73	68.58	5.59
		2.1.2.2. Maíz	1.64	52.00	2.70	0.22
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.53	16.67	0.86	0.07
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	6.27	198.76	10.30	0.84
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.08	2.51	0.13	0.01
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	8.41	266.69	13.83	1.13
		2.4.1. Mosaico de cultivos	2.19	69.49	3.60	0.29
	Total Rio_Bledo		**60.83**	**1928.86**	**100**	**8.15**
	Rio_Lagunilla_1	2.1.5.1. Papa	3.22	101.96	100	0.43
	Total Rio_Lagunilla_1		**3.22**	**101.96**	**100**	**0.43**
	Rio_Lagunilla_2	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	6.97	221.14	10.49	0.93
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.42	76.69	3.64	0.32
		2.2.2.2.3. Café con sombra	5.89	186.73	8.86	0.79
		2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	51.20	1623.38	77.01	6.86
	Total Rio_Lagunilla_2		**66.48**	**2107.94**	**100**	**8.91**
	Rio_Lagunilla_3	2.1.2.1. Arroz	1.38	43.65	2.10	0.18
		2.2.2.2. Café	1.79	56.79	2.73	0.24
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.35	423.21	20.34	1.79
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	31.61	1002.22	48.17	4.24
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.67	21.39	1.03	0.09
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	15.48	490.83	23.59	2.08
		2.4.1. Mosaico de cultivos	1.34	42.57	2.05	0.18
	Total Rio_Lagunilla_3		**65.62**	**2080.66**	**100**	**8.80**
	Rio_Lagunilla_4	2.1.2.1. Arroz	72.24	2290.77	100	9.68

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
	Total Rio_Lagunilla_4		**72.24**	**2290.77**	**100**	**9.68**
	Rio_Lagunilla_5	2.1.2.1. Arroz	63.93	2027.33	64.19	8.57
		2.1.2.2. Maíz	1.71	54.31	1.72	0.23
		2.4.1. Mosaico de cultivos	33.95	1076.46	34.09	4.55
	Total Rio_Lagunilla_5		**99.59**	**3158.10**	**100**	**13.35**
	Rio_Lagunilla_6	2.1.2.1. Arroz	98.49	3122.94	99.24	13.20
		2.1.2.2. Maíz	0.75	23.91	0.76	0.10
	Total Rio_Lagunilla_6		**99.24**	**3146.85**	**100**	**13.30**
	Rio_Lagunilla_7	2.1.2.1. Arroz	41.04	1301.34	100	5.50
	Total Rio_Lagunilla_7		**41.04**	**1301.34**	**100**	**5.50**
	Rio_Vallecitos	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.61	19.22	16.39	0.08
		2.1.5.1. Papa	2.40	76.14	64.92	0.32
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.69	21.91	18.69	0.09
	Total Rio_Vallecitos		**3.70**	**117.27**	**100**	**0.50**
	Total general		**745.94**	**23653.51**		**100**

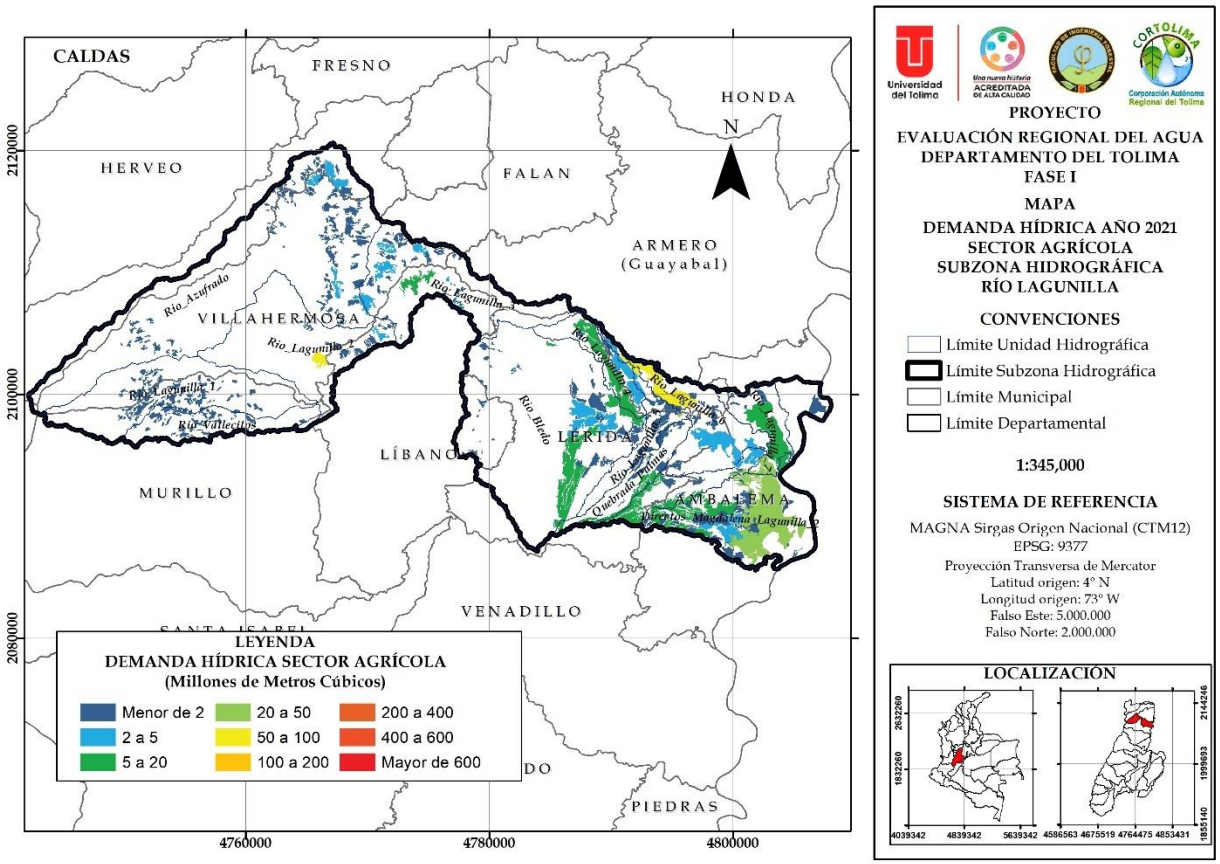


Figura 461. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla para el año 2021

g. Subzona Hidrográfica del río Guarinó

La demanda hídrica del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se determinó únicamente para el área correspondiente al departamento del Tolima ya que de él se contó con la información requerida para el cálculo de esta demanda. Con base en lo anterior, se evidencian 11 coberturas representativas del sector agrícola en esta Subzona Hidrográfica entre las que sobresale el cultivo de café con el 79.52% de la demanda hídrica que equivale a 2031.16 l/s (*Tabla 414*). La distribución espacial de todas las coberturas de esta Subzona Hidrográfica se presenta en la *Figura 462*.

Tabla 414. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.2.2. Maíz	0.07	2.11	0.08

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.5.1. Papa	0.71	22.59	0.88
2.2.1.3.1. Plátano	0.95	30.14	1.18
2.2.2.2. Café	5.74	181.94	7.12
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	39.18	1242.43	48.64
2.2.2.2.2. Café con semisombra	15.08	478.13	18.72
2.2.2.2.3. Café con sombra	4.06	128.66	5.04
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.08	2.41	0.09
2.2.3.5. Aguacate	0.50	15.92	0.62
2.2.3.6. Guanábana	4.55	144.15	5.64
2.4.1. Mosaico de cultivos	9.64	305.66	11.97
Total	**80.55**	**2554.13**	**100**

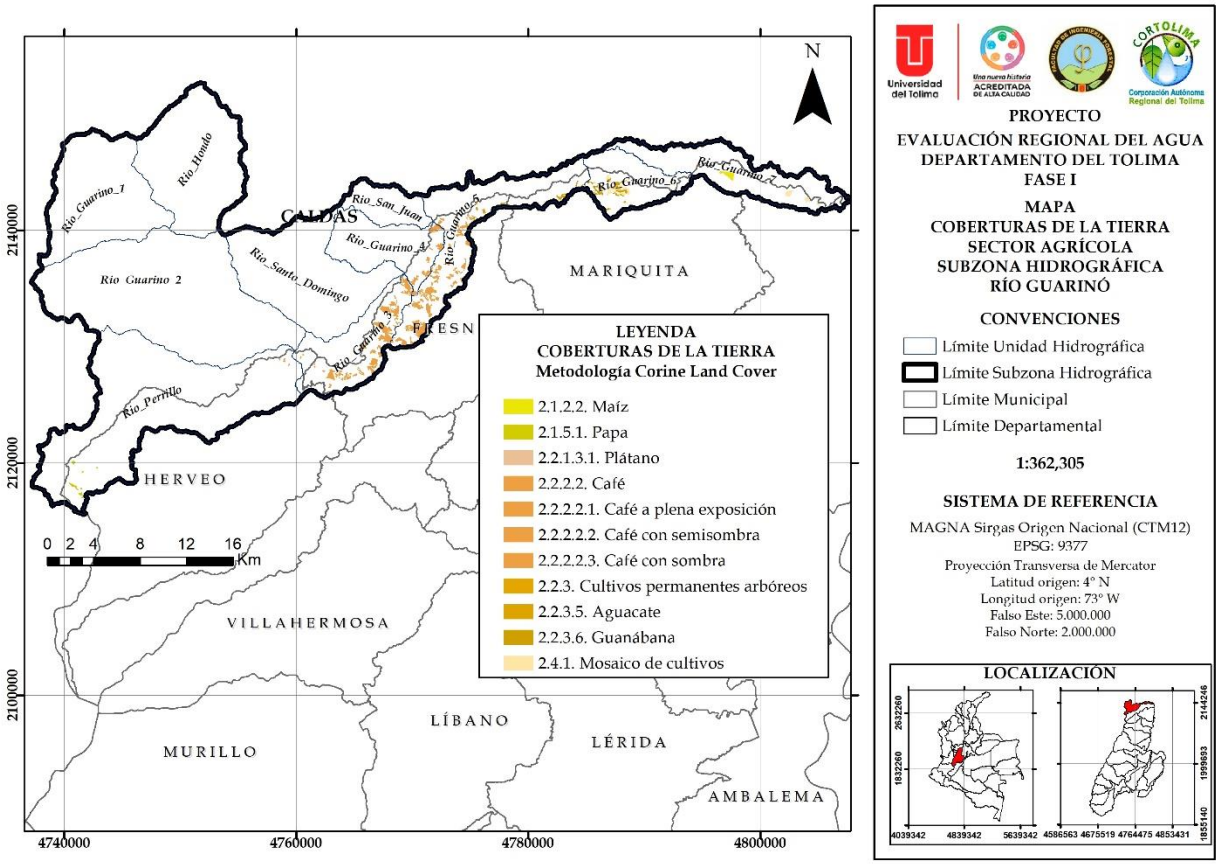


Figura 462. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Para esta Subzona Hidrográfica en el departamento del Tolima, se estima una demanda hídrica del sector agrícola de 2554.13 l/s (*Tabla 414*), que es un valor superior

al determinado a partir de las concesiones hídricas de Cortolima el cual corresponde a 692.22 l/s (subsección 20.7.1). Al observar la demanda hídrica de cada cobertura agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de la SZH, tal como se presenta en la *Tabla 415*, el Rio_Guarino_5 con el 55.71% y el Rio_Guarino_3 con el 25.17% son las UHA en donde se concentra la mayor demanda de esta subzona debido principalmente a la presencia del cultivo de café en un 80.5% (1145.46 l/s) y 100% (642.80 l/s), respectivamente. En la *Figura 451* se muestra la distribución espacial de la demanda hídrica para uso agrícola en cada UHA de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó.

Tabla 415. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Guarinó	Rio_Guarino_3	2.2.2.2. Café	0.02	0.70	0.11	0.03
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.51	459.99	71.56	18.01
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.29	104.29	16.22	4.08
		2.2.2.2.3. Café con sombra	2.45	77.82	12.11	3.05
		Total Rio_Guarino_3	**20.27**	**642.80**	**100**	**25.17**
	Rio_Guarino_4	2.2.2.2. Café	2.34	74.35	34.09	2.91
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1.64	51.93	23.81	2.03
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.90	91.80	42.10	3.59
		Total Rio_Guarino_4	**6.88**	**218.08**	**100**	**8.54**
	Rio_Guarino_5	2.2.2.2. Café	3.37	106.90	7.51	4.19
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	23.04	730.51	51.34	28.60
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	8.11	257.21	18.08	10.07
		2.2.2.2.3. Café con sombra	1.60	50.84	3.57	1.99
		2.2.3.6. Guanábana	3.76	119.11	8.37	4.66
		2.4.1. Mosaico de cultivos	5.00	158.41	11.13	6.20
		Total Rio_Guarino_5	**44.88**	**1422.98**	**100**	**55.71**
	Rio_Guarino_6	2.2.1.3.1. Plátano	0.95	30.14	16.32	1.18
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.08	2.41	1.30	0.09
		2.2.3.5. Aguacate	0.50	15.92	8.62	0.62
		2.2.3.6. Guanábana	0.79	25.04	13.56	0.98
		2.4.1. Mosaico de cultivos	3.51	111.17	60.20	4.35
		Total Rio_Guarino_6	**5.82**	**184.68**	**100**	**7.23**
	Rio_Guarino_7	2.1.2.2. Maíz	0.07	2.11	5.52	0.08
		2.4.1. Mosaico de cultivos	1.14	36.08	94.48	1.41
		Total Rio_Guarino_7	**1.20**	**38.19**	**100**	**1.50**
	Rio_Perrillo	2.1.5.1. Papa	0.71	22.59	47.64	0.88
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.78	24.83	52.36	0.97
		Total Rio_Perrillo	**1.50**	**47.41**	**100**	**1.86**
		Total general	**80.55**	**2554.13**		**100**

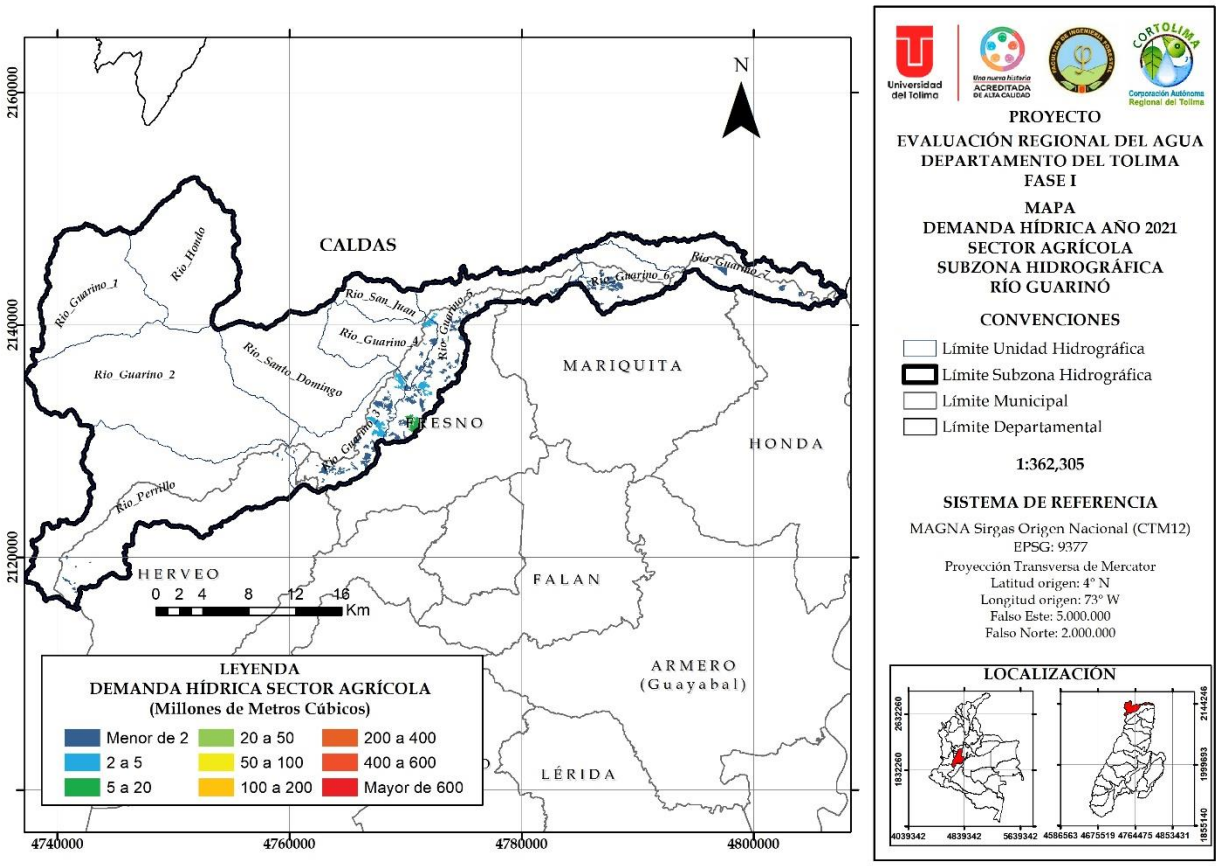


Figura 463. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para el año 2021

h. Subzona Hidrográfica del río Gualí

En la Subzona Hidrográfica del río Gualí se estima una demanda hídrica para el sector agrícola de 25230.36 l/s que está representada por 17 tipos de coberturas como se presenta en la *Tabla 416*. El mosaico de cultivos seguido por el cultivo de aguacate y café son las coberturas que mayor presión ejercen sobre el recurso hídrico en la subzona, con una participación del 36.66% (9249.93 l/s), 22.22% (5605.22 l/s), y 20.78% (5243.25 l/s), respectivamente. En este caso, el valor estimado a partir de la metodología aplicada supera en 22626.54 l/s a la demanda estimada a partir de las concesiones hídricas que corresponde a 2603.82 l/s (subsección 20.8.1). Lo anterior se explica considerando que con la metodología de cálculo aplicada se tienen en cuenta la evapotranspiración de los cultivos y su fenología, además de las condiciones climáticas y edáficas de cada zona.

La distribución espacial de las coberturas agrícolas demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí se presenta en la *Figura 464*.

Tabla 416. Demanda hídrica calculada por cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Gualí para el año 2021

Coberturas	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	%
2.1.2.2. Maíz	1.56	49.58	0.20
2.1.5.1. Papa	4.16	131.96	0.52
2.1.5.2. Yuca	2.01	63.60	0.25
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	98.60	3126.74	12.39
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1.00	31.63	0.13
2.2.1.3.1. Plátano	6.48	205.42	0.81
2.2.1.7. Maracuyá	0.52	16.50	0.07
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	16.32	517.49	2.05
2.2.2.2. Café	1.60	50.86	0.20
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	91.25	2893.42	11.47
2.2.2.2.2. Café con semisombra	55.46	1758.57	6.97
2.2.2.2.3. Café con sombra	17.04	540.40	2.14
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	8.48	268.79	1.07
2.2.3.5. Aguacate	176.77	5605.22	22.22
2.2.3.6. Guanábana	21.88	693.89	2.75
2.2.3.8. Mangostino	0.83	26.36	0.10
2.4.1. Mosaico de cultivos	291.71	9249.93	36.66
Total	**795.66**	**25230.36**	**100**

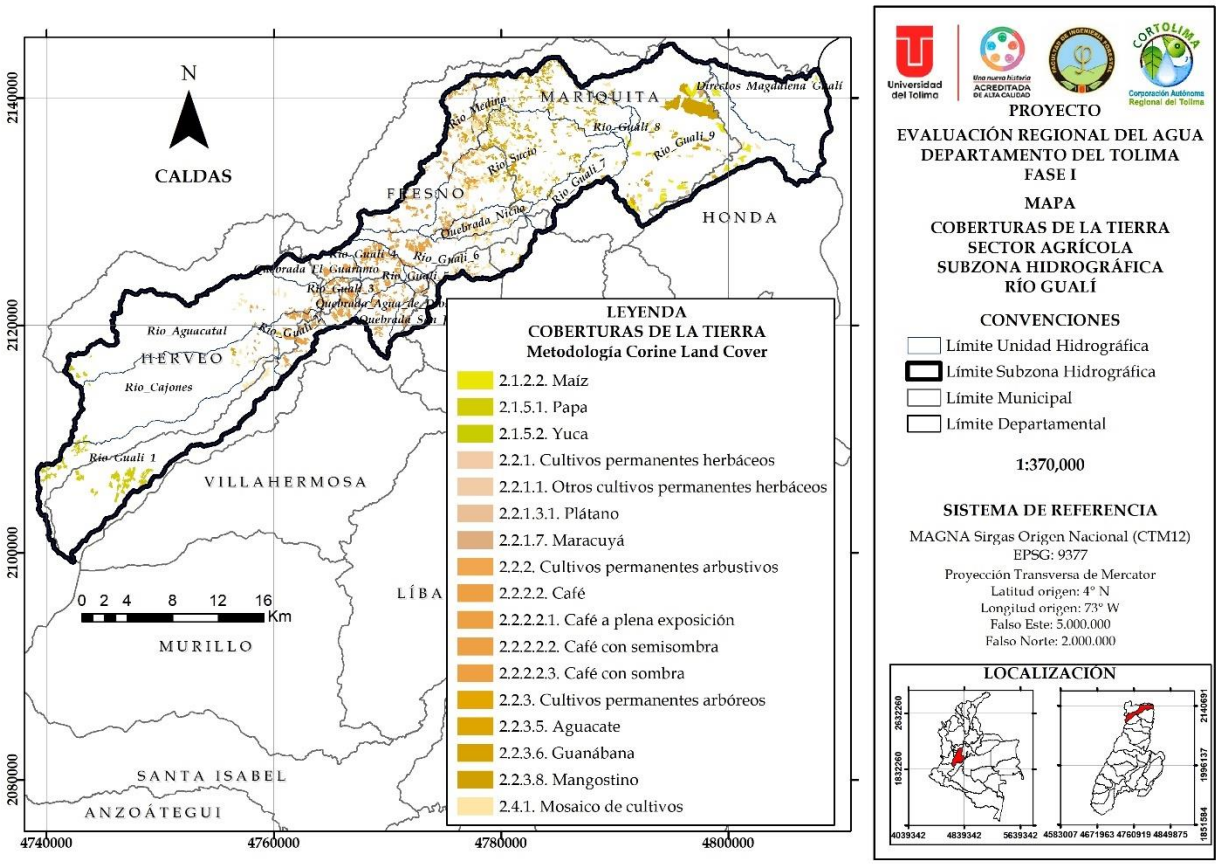


Figura 464. Coberturas del sector agrícola demandantes del recurso hídrico en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

La participación porcentual de cada Unidad Hidrológica de Análisis (UHA) de la Subzona Hidrográfica del río Gualí en la anterior demanda hídrica se presenta en la Tabla 417. Los más altos requerimientos de agua se observan en las UHA Rio_Sucio, Rio_Guali_9, Rio_Medina, Rio_Guali_1 y Rio_Guali_6 con caudales de 7182.15 l/s, 3640.99 l/s, 2706.04 l/s, 2594.33 l/s, y 2427.08 l/s, que representan el 28.47%, 14.43%, 10.73%, 10.28%, y 9.62%, respectivamente, de la demanda hídrica calculada para el sector agrícola en esta subzona. En la UHA Rio_Sucio el cultivo de aguacate interviene en un 58.27% (4185.37 l/s) mientras que en la UHA Rio_Guali_9, los cultivos permanentes herbáceos representan el 85.8% (3126.74 l/s) de su demanda. En las UHA Rio_Medina, Rio_Guali_1 y Rio_Guali_6, el mosaico de cultivos comprende el 38.34% (1037.57 l/s), 96.11% (2493.44 l/s), y 51.05% (1238.97 l/s), respectivamente del volumen de agua total demandado. La presión que ejerce cada cobertura agrícola en el recurso hídrico de la Subzona Hidrográfica del río Gualí se ilustra en la Figura 465.

Tabla 417. Demanda hídrica calculada del sector agrícola por Unidad Hidrológica de Análisis en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
Río Gualí	Directos_Magdalena_Gualí	2.1.2.2. Maíz	0.01	0.33	3.79	0.001
		2.2.3.6. Guanábana	0.26	8.40	96.21	0.03
	Total Directos_Magdalena_Gualí		**0.28**	**8.73**	**100**	**0.03**
	Quebrada_Agua_de_Dios	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	4.76	150.98	67.97	0.60
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.19	69.47	31.27	0.28
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.05	1.69	0.76	0.01
	Total Quebrada_Agua_de_Dios		**7.01**	**222.14**	**100**	**0.88**
	Quebrada_El_Guarumo	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.03	64.44	32.84	0.26
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.23	70.78	36.07	0.28
		2.2.2.2.3. Café con sombra	1.92	61.02	31.09	0.24
	Total Quebrada_El_Guarumo		**6.19**	**196.25**	**100**	**0.78**
	Quebrada_Nicua	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	10.55	334.69	22.49	1.33
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	3.34	105.99	7.12	0.42
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.92	60.90	4.09	0.24
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.34	10.86	0.73	0.04
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.84	26.74	1.80	0.11
		2.4.1. Mosaico de cultivos	29.92	948.68	63.76	3.76
	Total Quebrada_Nicua		**46.92**	**1487.85**	**100**	**5.90**
	Quebrada_San_Jose	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.71	85.93	63.13	0.34
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.58	50.18	36.87	0.20
	Total Quebrada_San_Jose		**4.29**	**136.11**	**100**	**0.54**
	Rio_Aguacatal	2.1.5.1. Papa	0.61	19.28	1.98	0.08
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	10.04	318.26	32.63	1.26
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.23	70.80	7.26	0.28
		2.2.2.2.3. Café con sombra	3.82	121.15	12.42	0.48
		2.2.3.5. Aguacate	2.09	66.13	6.78	0.26
		2.4.1. Mosaico de cultivos	11.98	379.73	38.93	1.51
	Total Rio_Aguacatal		**30.76**	**975.35**	**100**	**3.87**
	Rio_Cajones	2.1.5.1. Papa	0.45	14.34	1.60	0.06
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.76	24.20	2.70	0.10
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.03	64.47	7.19	0.26
		2.2.3.5. Aguacate	10.98	348.13	38.82	1.38
		2.4.1. Mosaico de cultivos	14.05	445.66	49.69	1.77
	Total Rio_Cajones		**28.28**	**896.81**	**100**	**3.55**
	Rio_Guali_1	2.1.5.1. Papa	3.10	98.34	3.79	0.39
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.08	2.55	0.10	0.01
		2.4.1. Mosaico de cultivos	78.63	2493.44	96.11	9.88
	Total Rio_Guali_1		**81.81**	**2594.33**	**100**	**10.28**
	Rio_Guali_2	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.17	449.33	30.84	1.78

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.54	80.45	5.52	0.32
		2.2.2.2.3. Café con sombra	2.85	90.49	6.21	0.36
		2.2.3.5. Aguacate	7.29	231.03	15.86	0.92
		2.4.1. Mosaico de cultivos	19.11	605.84	41.58	2.40
		Total Rio_Guali_2	**45.95**	**1457.14**	**100**	**5.78**
	Rio_Guali_3	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	6.00	190.33	40.87	0.75
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	4.49	142.39	30.57	0.56
		2.2.2.2.3. Café con sombra	4.20	133.03	28.56	0.53
		Total Rio_Guali_3	**14.69**	**465.74**	**100**	**1.85**
	Rio_Guali_4	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	12.46	395.25	69.29	1.57
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.37	106.85	18.73	0.42
		2.2.2.2.3. Café con sombra	2.16	68.35	11.98	0.27
		Total Rio_Guali_4	**17.99**	**570.45**	**100**	**2.26**
	Rio_Guali_5	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.69	85.20	77.92	0.34
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.76	24.14	22.08	0.10
		Total Rio_Guali_5	**3.45**	**109.34**	**100**	**0.43**
	Rio_Guali_6	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	5.76	182.80	7.53	0.72
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.25	451.71	18.61	1.79
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	4.15	131.48	5.42	0.52
		2.2.2.2.3. Café con sombra	1.14	36.24	1.49	0.14
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.88	27.94	1.15	0.11
		2.2.3.5. Aguacate	10.82	343.22	14.14	1.36
		2.2.3.6. Guanábana	0.46	14.73	0.61	0.06
		2.4.1. Mosaico de cultivos	39.07	1238.97	51.05	4.91
		Total Rio_Guali_6	**76.54**	**2427.08**	**100**	**9.62**
	Rio_Guali_7	2.1.2.2. Maíz	0.07	2.30	1.81	0.01
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.21	6.58	5.17	0.03
		2.2.3.5. Aguacate	2.65	84.02	66.12	0.33
		2.2.3.6. Guanábana	0.27	8.66	6.81	0.03
		2.4.1. Mosaico de cultivos	0.80	25.52	20.08	0.10
		Total Rio_Guali_7	**4.01**	**127.08**	**100**	**0.50**
	Rio_Guali_8	2.1.2.2. Maíz	0.08	2.38	8.89	0.01
		2.1.5.2. Yuca	0.58	18.39	68.65	0.07
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.19	6.02	22.46	0.02
		Total Rio_Guali_8	**0.84**	**26.79**	**100**	**0.11**
	Rio_Guali_9	2.1.2.2. Maíz	1.41	44.57	1.22	0.18
		2.1.5.2. Yuca	1.11	35.04	0.96	0.14
		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	98.60	3126.74	85.88	12.39
		2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1.00	31.63	0.87	0.13
		2.2.1.3.1. Plátano	4.05	128.27	3.52	0.51

SZH	UHA	Cobertura	DH 2021 (Mm³/año)	DH 2021 (l/s)	% DH. Agrícola UHA	% DH. Agrícola SZH
		2.2.1.7. Maracuyá	0.52	16.50	0.45	0.07
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	1.76	55.90	1.54	0.22
		2.2.3.5. Aguacate	1.60	50.63	1.39	0.20
		2.2.3.6. Guanábana	0.46	14.46	0.40	0.06
		2.2.3.8. Mangostino	0.83	26.36	0.72	0.10
		2.4.1. Mosaico de cultivos	3.50	110.90	3.05	0.44
		Total Rio_Guali_9	**114.82**	**3640.99**	**100**	**14.43**
	Rio_Medina	2.2.1.3.1. Plátano	1.86	59.06	2.18	0.23
		2.2.2.2. Café	1.60	50.86	1.88	0.20
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.65	432.75	15.99	1.72
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	14.80	469.26	17.34	1.86
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.48	15.22	0.56	0.06
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	1.43	45.22	1.67	0.18
		2.2.3.5. Aguacate	9.36	296.68	10.96	1.18
		2.2.3.6. Guanábana	9.44	299.41	11.06	1.19
		2.4.1. Mosaico de cultivos	32.72	1037.57	38.34	4.11
		Total Rio_Medina	**85.34**	**2706.04**	**100**	**10.73**
	Rio_Sucio	2.1.5.2. Yuca	0.32	10.17	0.14	0.04
		2.2.1.3.1. Plátano	0.57	18.09	0.25	0.07
		2.2.2.2.1. Café a plena exposición	4.39	139.05	1.94	0.55
		2.2.2.2.2. Café con semisombra	12.89	408.83	5.69	1.62
		2.2.2.2.3. Café con sombra	0.07	2.36	0.03	0.01
		2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.36	106.42	1.48	0.42
		2.2.3.5. Aguacate	131.99	4185.37	58.27	16.59
		2.2.3.6. Guanábana	10.98	348.23	4.85	1.38
		2.4.1. Mosaico de cultivos	61.93	1963.63	27.34	7.78
		Total Rio_Sucio	**226.50**	**7182.15**	**100**	**28.47**
		Total general	**795.66**	**25230.36**		**100**

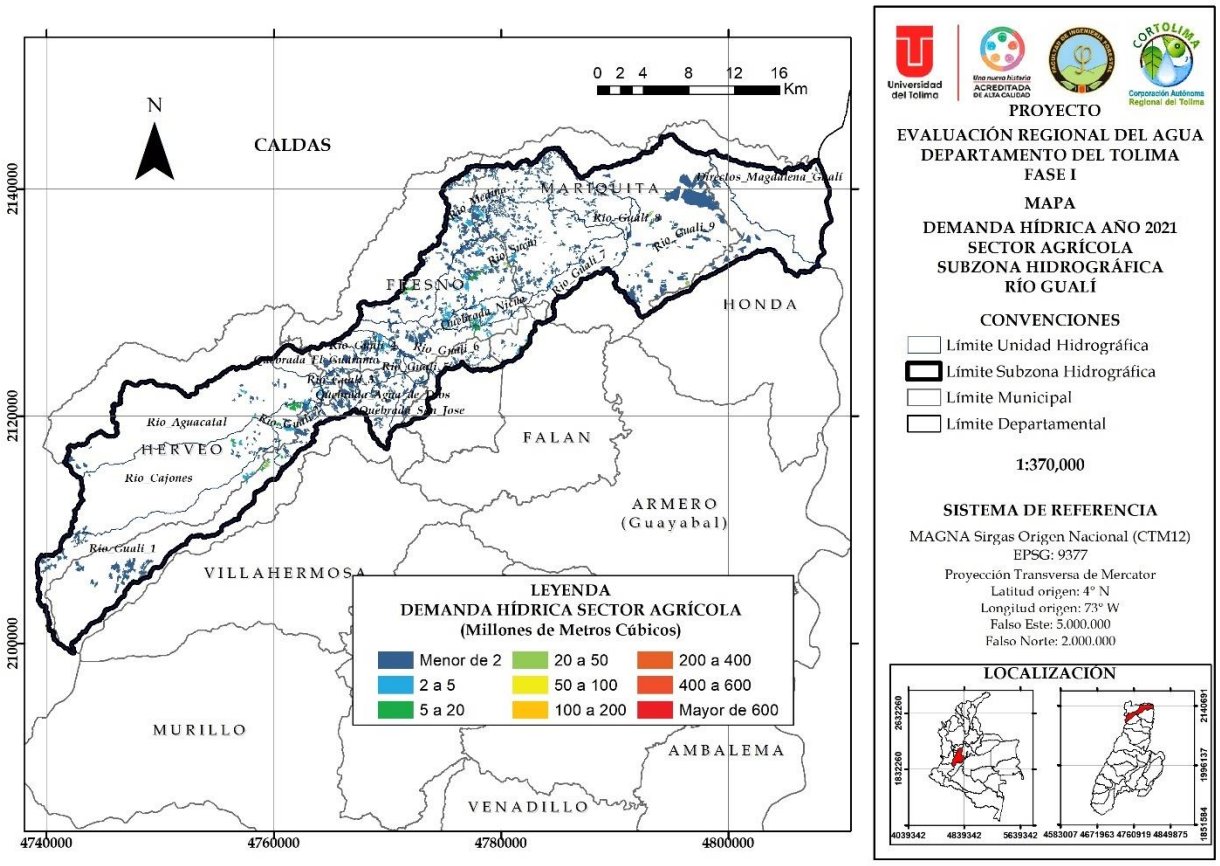


Figura 465. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí para el año 2021

22.1.2. Proyección de la demanda hídrica agrícola

La proyección de la demanda hídrica calculada para uso agrícola se realizó para las Subzonas Hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio y Venadillo, Sabandija, Lagunilla, Guarinó y Gualí, considerando los resultados de la demanda hídrica de los cultivos de cada municipio, que contaran con información por un periodo de tiempo superior a los 10 años, según la última Evaluación Agropecuaria del Tolima (UPRA, 2021).

La metodología de proyección consistió principalmente en evaluar el mejor ajuste entre los modelos aritmético, exponencial y geométrico que se implementaron para la proyección de la población en la subsección 22.2.1. En la *Figura 466* y *Figura 467* se presenta como ejemplo la proyección de la demanda hídrica del cultivo de aguacate en el municipio de Alvarado, la cual se realizó a partir del modelo aritmético que mostró el

mejor ajuste a los datos con el menor Error Cuadrático Medio (RMSE). El resumen de los resultados finales de la demanda hídrica proyectada al año 2032, por tipo de cultivo en cada uno de los municipios que hacen parte de las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio, se indican en la *Tabla 418*. En el Anexo 5 del presente documento se encuentran en mayor detalle los cálculos realizados para obtener la demanda hídrica proyectada.

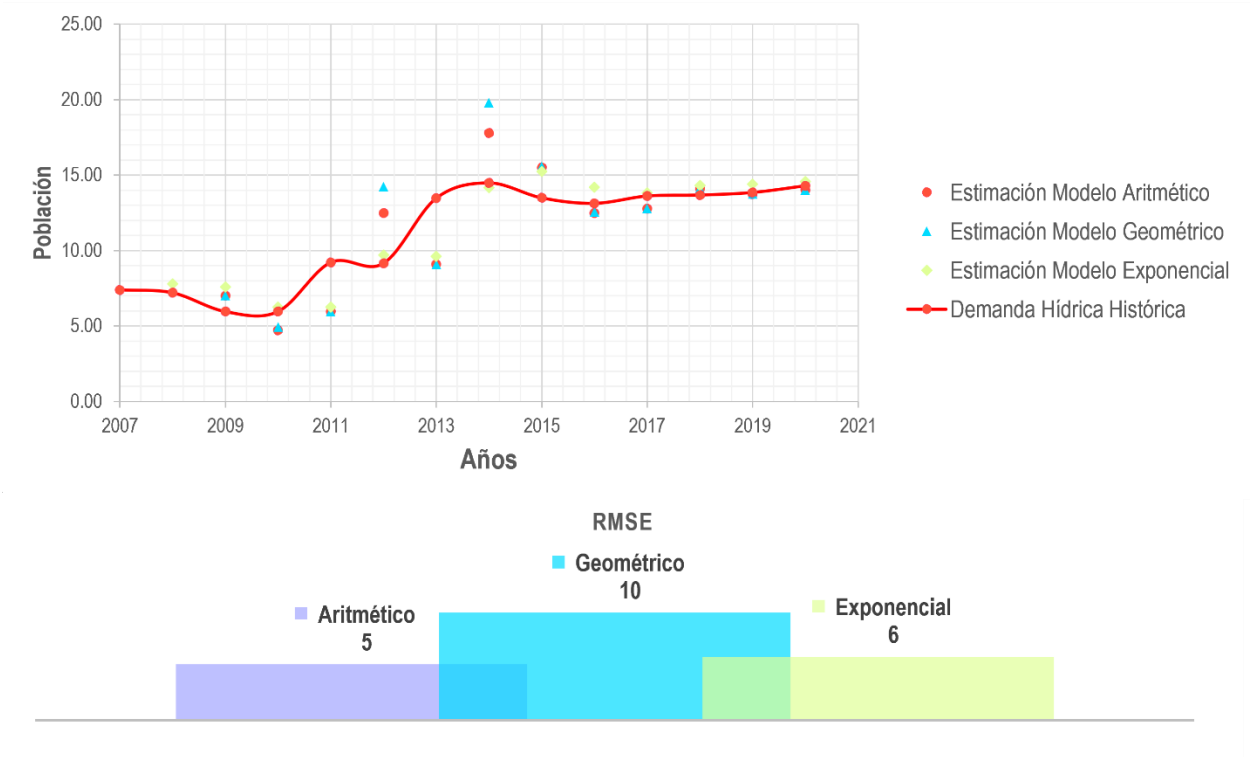


Figura 466. Evaluación de modelos de proyección de la demanda hídrica calculada del sector agrícola. Ejemplo: comportamiento de los modelos evaluados en el cultivo de aguacate del municipio de Alvarado

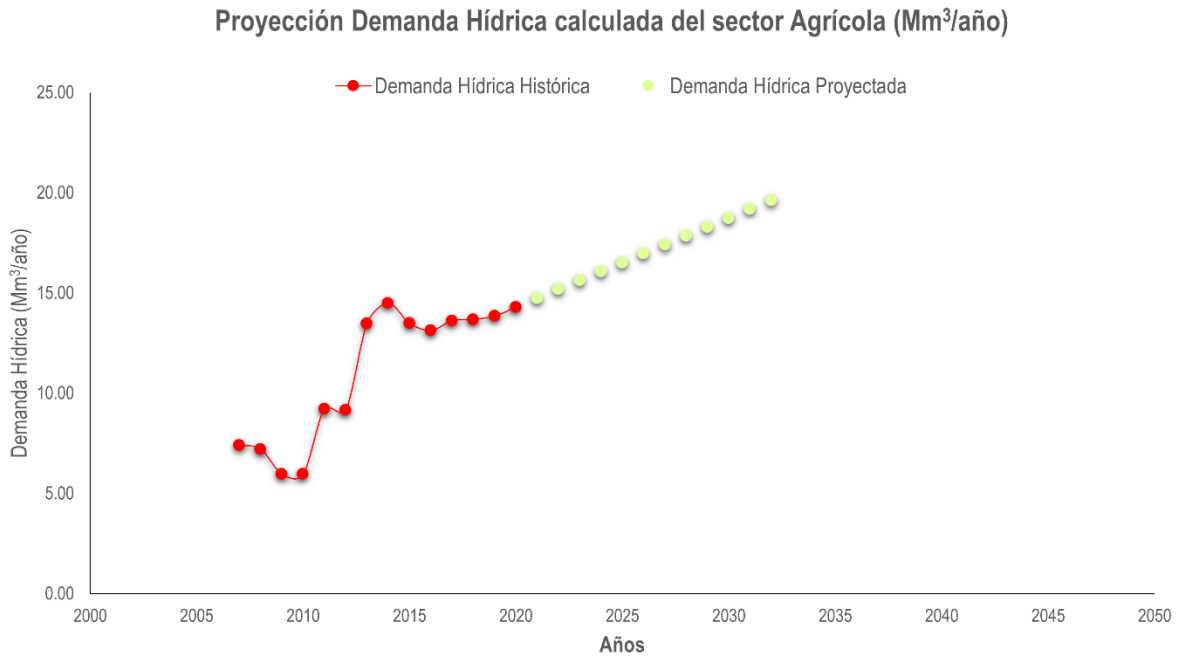


Figura 467. Ejemplo de la proyección de la demanda hídrica del cultivo de aguacate del municipio de Alvarado a través del modelo de mejor ajuste (aritmético).

Tabla 418. Distribución de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cultivo en los municipios que componen las Subzonas Hidrográficas objeto de estudio para el año 2032

Municipio	Cultivo	Mejor Modelo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
Alvarado	**Aguacate**	Aritmético	19.62	622.15
	Arroz	Exponencial	49.46	1568.29
	Cacao	Aritmético	14.40	456.62
	Café	Exponencial	15.00	475.58
	Caña Panelera	Exponencial	32.08	1017.13
	Maíz	Exponencial	0.16	5.17
	Plátano	Exponencial	6.02	190.81
	Total municipio Alvarado		**136.73**	**4335.75**
Ambalema	**Algodón**	Exponencial	0.12	3.90
	Arroz	Exponencial	76.25	2417.90
	Maíz	Exponencial	15.55	493.09
	Mango	Exponencial	0.05	1.54
	Plátano	Exponencial	0.29	9.08
	Total municipio Ambalema		**92.26**	**2925.52**
Anzoátegui	**Aguacate**	Exponencial	12.68	402.22
	Cacao	Aritmético	9.84	312.02
	Café	Exponencial	88.31	2800.26

Municipio	Cultivo	Mejor Modelo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Caña Panelera	Exponencial	35.67	1131.22
	Fríjol	Exponencial	22.61	717.09
	Hortalizas	Exponencial	0.66	21.01
	Lulo	Exponencial	0.09	2.96
	Maíz	Exponencial	2.72	86.18
	Otros cultivos permanentes herbáceos	Aritmético	6.41	203.26
	Otros cultivos transitorios	Exponencial	5.07	160.72
	Papa	Exponencial	3.37	106.83
	Plátano	Exponencial	3.39	107.50
	Tubérculos	Exponencial	9.37	297.17
	Yuca	Exponencial	19.24	610.15
	Total municipio Anzoátegui		**219.45**	**6958.59**
Armero	Aguacate	Exponencial	1.59	50.42
	Algodón	Exponencial	5.23	165.76
	Arroz	Exponencial	82.63	2620.14
	Cacao	Exponencial	6.43	203.86
	Café	Exponencial	2.07	65.66
	Caña Panelera	Exponencial	3.70	117.48
	Cítricos	Exponencial	0.29	9.29
	Maíz	Exponencial	42.36	1343.33
	Plátano	Exponencial	3.05	96.76
	Plátano y banano	Exponencial	119.80	3798.72
	Total municipio Armero		**267.15**	**8471.43**
Cajamarca	Café	Exponencial	26.27	832.87
	Fríjol	Exponencial	106.63	3381.34
	Hortalizas	Exponencial	0.23	7.21
	Lulo	Exponencial	0.28	8.85
	Otros cultivos permanentes arbustivos	Exponencial	0.73	23.03
	Otros cultivos transitorios	Exponencial	0.06	2.01
	Papa	Exponencial	0.50	15.97
	Plátano	Exponencial	2.26	71.68
	Tomate de árbol	Exponencial	0.81	25.58
	Tubérculos	Exponencial	220.41	6989.19
	Total municipio Cajamarca		**358.18**	**11357.74**
Casabianca	Aguacate	Aritmético	19.27	611.05
	Café	Exponencial	33.68	1067.95
	Caña Panelera	Exponencial	14.66	464.87
	Fríjol	Exponencial	2.33	73.74
	Hortalizas	Exponencial	0.03	0.89
	Maíz	Exponencial	0.09	2.93
	Papa	Exponencial	0.85	26.88

Municipio	Cultivo	Mejor Modelo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Plátano	Exponencial	103.79	3291.09
	Total municipio Casabianca		**174.69**	**5539.41**
	Algodón	Exponencial	0.43	13.77
	Arroz	Exponencial	7.80	247.33
	Cítricos	Exponencial	12.12	384.18
Coello	**Maíz**	Exponencial	0.87	27.74
	Mango	Exponencial	5.83	184.78
	Sorgo	Exponencial	0.10	3.09
	Yuca	Exponencial	22.53	714.33
	Total municipio Coello		**49.68**	**1575.22**
	Aguacate	Exponencial	25.67	814.04
	Cacao	Exponencial	57.07	1809.73
	Café	Exponencial	18.60	589.73
	Caña Panelera	Exponencial	49.05	1555.21
	Fríjol	Exponencial	2.02	63.92
Falan	**Guanábana**	Exponencial	0.17	5.47
	Hortalizas	Aritmético	1.12	35.51
	Maíz	Exponencial	1.95	61.73
	Maracuyá	Exponencial	2.88	91.37
	Plátano	Exponencial	26.58	842.96
	Yuca	Exponencial	1.16	36.70
	Total municipio Falan		**186.26**	**5906.37**
	Aguacate	Exponencial	175.15	5554.02
	Cacao	Aritmético	22.10	700.80
	Café	Exponencial	82.92	2629.43
	Caña Panelera	Exponencial	17.26	547.33
Fresno	**Fríjol**	Exponencial	42.65	1352.37
	Guanábana	Aritmético	8.65	274.27
	Maíz	Exponencial	65.42	2074.49
	Plátano	Aritmético	84.82	2689.62
	Yuca	Exponencial	0.17	5.50
	Total municipio Fresno		**499.15**	**15827.83**
	Aguacate	Aritmético	101.68	3224.25
	Café	Geométrico	10.05	318.68
	Caña Panelera	Aritmético	49.54	1570.90
Herveo	**Fríjol**	Exponencial	0.19	6.08
	Hortalizas	Exponencial	0.58	18.40
	Maíz	Exponencial	0.18	5.56
	Papa	Exponencial	1.58	50.22
	Plátano	Exponencial	19.20	608.94
	Total municipio Herveo		**183.00**	**5803.04**
Honda	**Aguacate**	Exponencial	0.10	3.05

Municipio	Cultivo	Mejor Modelo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Cítricos	Exponencial	0.41	13.10
	Guanábana	Exponencial	0.13	4.19
	Hortalizas	Exponencial	0.11	3.43
	Maíz	Exponencial	0.17	5.33
	Otros cultivos permanentes arbustivos	Exponencial	0.04	1.23
	Plátano	Exponencial	0.62	19.63
	Yuca	Exponencial	0.64	20.36
	Total municipio Honda		**2.22**	**70.31**
Ibagué	**Aguacate**	Exponencial	22.36	708.99
	Algodón	Exponencial	0.003	0.11
	Arroz	Exponencial	159.86	5069.07
	Cacao	Exponencial	21.94	695.67
	Café	Exponencial	197.22	6253.82
	Caña Panelera	Exponencial	20.31	644.17
	Fríjol	Exponencial	5.74	182.05
	Hortalizas	Exponencial	3.13	99.23
	Maíz	Exponencial	26.18	830.30
	Mango	Exponencial	21.82	691.82
	Naranja	Exponencial	1.46	46.34
	Oleaginosas y leguminosas	Exponencial	8.24	261.19
	Otros cultivos permanentes arbustivos	Exponencial	3.96	125.59
	Otros cultivos transitorios	Exponencial	2.32	73.45
	Plátano	Exponencial	16.03	508.45
	Plátano y banano	Exponencial	26.84	850.96
	Tomate de árbol	Exponencial	2.77	87.77
	Tubérculos	Exponencial	10.62	336.77
	Yuca	Exponencial	0.67	21.27
	Total municipio Ibagué		**551.47**	**17487.04**
Lérida	**Aguacate**	Exponencial	10.57	335.08
	Arroz	Exponencial	84.26	2671.82
	Cacao	Exponencial	37.47	1188.11
	Café	Exponencial	1.94	61.49
	Caña Panelera	Exponencial	10.31	326.83
	Maíz	Exponencial	2.08	66.06
	Mango	Exponencial	18.03	571.63
	Plátano	Exponencial	8.55	271.22
	Total municipio Lérida		**173.20**	**5492.25**
Líbano	**Aguacate**	Aritmético	29.14	924.02
	Cacao	Aritmético	15.94	505.45
	Café	Exponencial	124.47	3946.96
	Caña Panelera	Exponencial	22.55	715.19

Municipio	Cultivo	Mejor Modelo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Fríjol	Exponencial	0.47	14.99
	Maíz	Exponencial	0.17	5.30
	Plátano	Exponencial	48.05	1523.79
	Yuca	Exponencial	0.93	29.62
	Total municipio Líbano		**241.73**	**7665.32**
Murillo	**Café**	Exponencial	2.31	73.14
	Fríjol	Exponencial	0.36	11.56
	Otros cultivos permanentes arbustivos	Exponencial	0.54	17.25
	Otros cultivos transitorios	Exponencial	0.14	4.50
	Papa	Exponencial	3.61	114.51
	Tomate de árbol	Exponencial	2.44	77.36
	Tubérculos	Exponencial	0.26	8.18
	Total municipio Murillo		**9.67**	**306.51**
Palocabildo	**Aguacate**	Exponencial	160.47	5088.47
	Cacao	Aritmético	13.84	438.86
	Café	Exponencial	47.06	1492.14
	Caña Panelera	Exponencial	41.29	1309.22
	Fríjol	Exponencial	2.39	75.67
	Maíz	Exponencial	4.59	145.56
	Plátano	Exponencial	13.69	434.00
	Yuca	Exponencial	21.66	686.89
	Total municipio Palocabildo		**304.98**	**9670.82**
Piedras	**Arroz**	Exponencial	86.52	2743.60
	Cítricos	Exponencial	0.27	8.58
	Maíz	Exponencial	1.91	60.54
	Mango	Exponencial	0.01	0.38
	Plátano	Exponencial	0.28	8.96
	Total municipio Piedras		**89.00**	**2822.07**
San Sebastián de Mariquita	**Aguacate**	Exponencial	29.39	931.88
	Cacao	Exponencial	19.77	626.93
	Café	Exponencial	4.94	156.59
	Caña Panelera	Exponencial	95.30	3021.80
	Cítricos	Aritmético	3.45	109.40
	Guanábana	Aritmético	1.59	50.28
	Hortalizas	Exponencial	0.62	19.58
	Maíz	Exponencial	2.58	81.77
	Maracuyá	Exponencial	0.78	24.59
	Naranja	Exponencial	8.64	274.06
	Otros cultivos permanentes arbóreos	Exponencial	1.02	32.36
	Otros cultivos permanentes arbustivos	Exponencial	0.002	0.05

Municipio	Cultivo	Mejor Modelo	DH. Agrícola (Mm³/año)	DH. Agrícola (l/s)
	Otros cultivos permanentes herbáceos	Exponencial	1.16	36.90
	Plátano	Geométrico	9.55	302.75
	Yuca	Exponencial	0.95	30.12
Total municipio San Sebastián de Mariquita			**179.73**	**5699.05**
	Café	Exponencial	18.13	574.92
	Fríjol	Exponencial	2.23	70.74
	Lulo	Aritmético	7.33	232.54
	Otros cultivos permanentes arbustivos	Aritmético	13.16	417.30
Santa Isabel	**Otros cultivos transitorios**	Exponencial	0.92	29.25
	Papa	Exponencial	2.15	68.17
	Plátano	Exponencial	8.78	278.41
	Tomate de árbol	Aritmético	73.57	2332.89
	Tubérculos	Exponencial	0.07	2.16
Total municipio Santa Isabel			**126.35**	**4006.39**
	Aguacate	Exponencial	3.03	96.18
	Arroz	Exponencial	37.36	1184.78
	Cacao	Exponencial	3.29	104.47
	Café	Exponencial	30.89	979.38
Venadillo	**Caña Panelera**	Exponencial	1.86	59.08
	Cítricos	Aritmético	1.15	36.56
	Maíz	Exponencial	0.58	18.52
	Plátano	Exponencial	3.99	126.42
	Yuca	Exponencial	1.44	45.71
Total municipio Venadillo			**83.60**	**2651.08**
	Aguacate	Exponencial	8.79	278.64
	Café	Exponencial	54.15	1716.93
	Caña Panelera	Exponencial	13.11	415.83
	Fríjol	Exponencial	0.68	21.68
Villahermosa	**Hortalizas**	Exponencial	0.10	3.24
	Maíz	Exponencial	1.01	32.01
	Papa	Exponencial	0.03	0.87
	Plátano	Exponencial	34.25	1086.06
	Yuca	Exponencial	0.16	5.05
Total municipio Villahermosa			**112.28**	**3560.32**

De la misma manera como se presentó la demanda hídrica calculada del sector agrícola para el año 2021, los resultados de la proyección de esta al año 2032 se espacializaron por Subzonas Hidrográficas y Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) a partir del mapa de Coberturas y Usos de la Tierra del departamento del Tolima a escala 1:25000 (Cortolima y Universidad del Tolima, 2018). En este caso, el módulo de consumo

se definió considerando la demanda hídrica proyectada al año 2032 de las coberturas de cultivos de la *Tabla 418*, al igual que, el área total de estas en cada municipio según el mapa de coberturas del departamento. La multiplicación de estas dos variables determinó la demanda hídrica del sector agrícola de las Subzonas Hidrográficas con sus respectivas UHA. En la *Tabla 419* se presentan los módulos de consumo definidos por tipo de cobertura para el año 2032 en cada municipio.

Los resultados de la proyección de la demanda hídrica detallados por Subzona Hidrográfica y UHA se presentan en las subsecciones i, j, k, l, m, n, o y p.

Tabla 419. Módulos de consumo por cobertura en cada municipio para la espacialización de la demanda hídrica calculada del sector agrícola por Subzona Hidrográfica y Unidad Hidrológica de Análisis para el año 2032

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2032 (Mm³/año/ha)	Municipio
	0.000228642	Cajamarca
	0.02267793	Murillo
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.05437301	Ibagué
	0.207301513	Anzoátegui
	0.495128441	Piedras
	0.007106313	Venadillo
	0.007564237	Ibagué
	0.008992946	Coello
	0.009434926	Ambalema
2.1.2.1. Arroz	0.010292085	Piedras
	0.010375769	Alvarado
	0.015852145	Lérida
	0.019086104	Armero
	0.000973383	Honda
	0.001352421	Coello
	0.004522867	San Sebastián de Mariquita
2.1.2.2. Maíz	0.008282727	Lérida
	0.044102252	Ambalema
	0.056297494	Armero
	0.145853794	Venadillo
2.1.2.3. Sorgo	0.002329299	Coello
	0.000904418	Ambalema
2.1.3.1. Algodón	0.000917462	Coello
	0.002745834	Armero
2.1.3.3. Fríjol	0.053413125	Cajamarca
2.1.5. Tubérculos	1.421321205	Ibagué
	4.318024375	Cajamarca
2.1.5.1. Papa	7.02863E-05	Villahermosa

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2032 (Mm³/año/ha)	Municipio
	0.002385563	Casabianca
	0.002982978	Murillo
	0.005384529	Herveo
	0.141713586	Anzoátegui
	0.174655074	Santa Isabel
2.1.5.2. Yuca	0.053885219	San Sebastián de Mariquita
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.394488579	San Sebastián de Mariquita
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.024873963	Piedras
	0.046608211	San Sebastián de Mariquita
2.2.1.3.1. Plátano	0.473018475	San Sebastián de Mariquita
	3.061630007	Líbano
2.2.1.7. Maracuyá	0.039408607	San Sebastián de Mariquita
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	0.497890442	Ibagué
	0.637276247	Fresno
	4.489519366	Falan
	6.50575831	Líbano
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	0.026915458	Murillo
	0.096727688	Santa Isabel
	0.334749769	Ibagué
2.2.2.2. Café	0.02694614	Fresno
	0.038261444	Falan
	0.039333942	Armero
	0.064406292	San Sebastián de Mariquita
	0.57870558	Cajamarca
	0.025075151	Casabianca
	0.02694614	Fresno
	0.027681929	Villahermosa
	0.035537972	Herveo
	0.037536285	Palocabildo
	0.038261444	Falan
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.043662446	Líbano
	0.064406292	San Sebastián de Mariquita
	0.070777713	Murillo
	0.106390504	Ibagué
	0.261899549	Santa Isabel
	0.57870558	Cajamarca
	1.136304367	Anzoátegui
	12.00312005	Alvarado
	0.021143418	Lérida
2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.025075151	Casabianca
	0.02694614	Fresno
	0.027681929	Villahermosa

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2032 (Mm^3/año/ha)	Municipio
	0.035537972	Herveo
	0.037536285	Palocabildo
	0.038261444	Falan
	0.039333942	Armero
	0.043662446	Líbano
	0.064406292	San Sebastián de Mariquita
	0.106390504	Ibagué
	0.57870558	Cajamarca
	0.021143418	Lérida
	0.025075151	Casabianca
	0.02694614	Fresno
2.2.2.2.3. Café con sombra	0.027681929	Villahermosa
	0.035537972	Herveo
	0.037536285	Palocabildo
	0.043662446	Líbano
2.2.2.6. Tomate de árbol	0.00762166	Murillo
	0.228859492	Santa Isabel
	0.001439557	Ambalema
	0.024655345	Armero
	0.027639668	San Sebastián de Mariquita
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.043374979	Honda
	0.590158452	Palocabildo
	1.19514671	Lérida
	1.305082536	Líbano
	1.440627826	Venadillo
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.000190321	Piedras
	0.013955356	Armero
2.2.3.3. Cítricos	0.023738095	Piedras
	0.356158128	Coello
2.2.3.4. Mango	0.041165877	Coello
	0.117829309	San Sebastián de Mariquita
2.2.3.5. Aguacate	0.972047963	Falan
	2.5634468	Herveo
	11.37344416	Fresno
	0.00122286	San Sebastián de Mariquita
2.2.3.6. Guanábana	0.003866751	Falan
	0.0372761	Fresno
	0.056941319	Honda
2.2.3.8. Mangostino	0.001790369	San Sebastián de Mariquita
2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	1.780162722	Venadillo
	406.2344388	Alvarado
2.4.1. Mosaico de cultivos	0.009099833	Cajamarca

Coberturas	Módulo Consumo DH. 2032 (Mm³/año/ha)	Municipio
	0.020156498	Murillo
	0.023527888	Honda
	0.051762244	San Sebastián de Mariquita
	0.070172104	Ambalema
	0.125613764	Líbano
	0.260395596	Palocabildo
	0.310216201	Falan
	0.316584729	Fresno
	0.419709923	Herveo
	1.319218851	Armero
	3.046088294	Casabianca
	3.204148368	Ibagué
	4.599220851	Anzoátegui
	7.340892733	Lérida
	1691.87777	Coello
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.584753666	Villahermosa
2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	0.338961714	Santa Isabel

i. Subzona Hidrográfica del río Coello

Se prevé que para el año 2032 la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Coello tenga una variación del 44.46% que equivale a un incremento de 9215.32 l/s respecto a la demanda del año 2021 (20636.27 l/s). Los mayores cambios que se esperan observar serán en las coberturas de fríjol, otros cultivos transitorios y tubérculos, de los cuales se predicen aumentos en un 125.71% (2174.03 l/s), 121.97% (41.87 l/s) y 112.61% (3899.91 l/s), respectivamente. Así mismo, se proyecta una reducción del volumen de agua demandada del cultivo de algodón del 77.79% (44.74 l/s) y del maíz en un 71.44% (17.93 l/s) (*Tabla 420*).

Tabla 420. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Coello

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH 2021 -	
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	1.08	34.33	2.40	76.20	1.32	4
2.1.2.1. Arroz	163.81	5194.42	192.10	6091.42	28.29	89
2.1.2.2. Maíz	0.79	25.10	0.23	7.17	-0.57	-1
2.1.3.1. Algodón	1.81	57.52	0.40	12.78	-1.41	-4
2.1.3.3. Fríjol	54.54	1729.43	123.10	3903.47	68.56	21

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH 2021 -	
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	
2.1.5. Tubérculos	109.22	3463.30	232.21	7363.21	122.99	389
2.2.2.2. Café	1.06	33.49	1.13	35.87	0.07	2
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	89.59	2841.02	98.95	3137.63	9.35	29
2.2.2.2.2. Café con semisombra	43.39	1375.80	47.21	1496.89	3.82	12
2.2.3.4. Mango	5.97	189.17	6.45	204.66	0.49	15
2.4.1. Mosaico de cultivos	179.52	5692.69	237.22	7522.33	57.70	182
Total general	**650.79**	**20636.27**	**941.40**	**29851.60**	**290.61**	**921**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los

De acuerdo con la Tabla 421, las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de esta Subzona Hidrográfica en donde se exhiben los mayores incrementos de la demanda hídrica para el año 2032 son Rio_Bermellon_1 y Rio_Anaime, con el 119.25% y 119.16% que equivale a caudales de 4821.82 l/s y 1169 l/s, respectivamente, que son destinados al cultivo de frijol junto al de tubérculos en el caso del Rio_Bermellon_1. Posteriormente a estas UHA se encuentra el Rio_Coello_5 y Rio_Coello_6 con el 94.17% (578.17 l/s) y 71.68% (2.2 l/s), en las cuales se espera el aumento del cultivo de arroz en un 40.25% y 71.68%, respectivamente, y el mosaico de cultivos en un 221.11% en el Rio_Coello_5.

De manera opuesta, se espera una reducción del volumen de agua demandado en la UHA Quebrada_Chaguala del 4.49% que está reflejado en los cultivos de algodón y maíz y en la UHA Rio_Bermellon_2 en un orden de 0.06% representado por las coberturas: otros cultivos transitorios y el mosaico de cultivos. Al evaluar la reducción de estas UHA en términos de caudal, esto solo representa una diferencia de 7.53 l/s y 0.26 l/s que no son representativos en la presión por uso del recurso en comparación con los incrementos que se esperan observar en esta subzona (Tabla 421). En la Figura 468 se ilustra la distribución de la demanda hídrica del sector agrícola proyectada al año 2032.

Tabla 421. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Coello

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Quebrada_ Chaguala	2.1.2.1. Arroz	1.03	32.60	1.76	55.96	0.74	23.36	71.68
	2.1.2.2. Maíz	0.38	12.03	0.11	3.44	-0.27	-8.59	-71.44
	2.1.3.1. Algodón	1.19	37.66	0.26	8.37	-0.92	-29.30	-77.79
	2.2.3.4. Mango	2.69	85.42	2.91	92.42	0.22	6.99	8.18
Total Quebrada_Chaguala		**5.29**	**167.71**	**5.05**	**160.18**	**-0.24**	**-7.53**	**-4.49**
Quebrada_	2.1.2.1. Arroz	49.37	1565.65	57.12	1811.11	7.74	245.47	15.68

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Gualanday								
Total Quebrada_Gualanday		**49.37**	**1565.65**	**57.12**	**1811.11**	**7.74**	**245.47**	**15.68**
Rio_Anaime	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.13	4.06	0.02	0.55	-0.11	-3.51	-86.56
	2.1.3.3. Fríjol	29.60	938.59	66.81	2118.47	37.21	1179.88	125.71
	2.4.1. Mosaico de cultivos	1.21	38.38	0.98	31.00	-0.23	-7.37	-19.22
Total Rio_Anaime		**30.94**	**981.02**	**67.80**	**2150.02**	**36.87**	**1169.00**	**119.16**
Rio_Bermellon_1	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.07	2.25	0.01	0.30	-0.06	-1.95	-86.56
	2.1.3.3. Fríjol	24.94	790.84	56.29	1784.99	31.35	994.15	125.71
	2.1.5. Tubérculos	100.17	3176.53	220.91	7005.16	120.74	3828.63	120.53
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1.82	57.62	1.95	61.71	0.13	4.08	7.09
	2.4.1. Mosaico de cultivos	0.51	16.16	0.41	13.06	-0.10	-3.11	-19.22
Total Rio_Bermellon_1		**127.51**	**4043.40**	**279.57**	**8865.22**	**152.06**	**4821.82**	**119.25**
Rio_Bermellon_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.22	7.04	0.03	0.95	-0.19	-6.09	-86.56
	2.2.2.2. Café	1.06	33.49	1.13	35.87	0.07	2.37	7.09
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	9.76	309.39	10.45	331.31	0.69	21.92	7.09
	2.4.1. Mosaico de cultivos	3.28	103.86	2.69	85.40	-0.58	-18.46	-17.77
Total Rio_Bermellon_2		**14.31**	**453.78**	**14.30**	**453.53**	**-0.01**	**-0.26**	**-0.06**
Rio_Cocora	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.68	433.73	15.12	479.32	1.44	45.58	10.51
Total Rio_Cocora		**13.68**	**433.73**	**15.12**	**479.32**	**1.44**	**45.58**	**10.51**
Rio_Coello_1	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.22	7.08	0.03	0.95	-0.19	-6.13	-86.56
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	11.90	377.25	12.74	403.98	0.84	26.73	7.09
	2.4.1. Mosaico de cultivos	70.27	2228.26	87.46	2773.35	17.19	545.09	24.46
Total Rio_Coello_1		**82.39**	**2612.59**	**100.23**	**3178.29**	**17.84**	**565.69**	**21.65**
Rio_Coello_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.26	8.11	1.35	42.84	1.10	34.73	428.31
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	8.97	284.42	9.91	314.31	0.94	29.89	10.51
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	6.31	200.01	6.97	221.03	0.66	21.02	10.51
	2.4.1. Mosaico de cultivos	97.24	3083.57	123.15	3905.19	25.91	821.61	26.64
Total Rio_Coello_2		**112.78**	**3576.12**	**141.39**	**4483.38**	**28.61**	**907.26**	**25.37**
Rio_Coello_3	2.1.2.1. Arroz	9.35	296.58	10.82	343.08	1.47	46.50	15.68
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	50.89	1613.78	56.24	1783.38	5.35	169.61	10.51
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.93	124.75	4.35	137.86	0.41	13.11	10.51
Total Rio_Coello_3		**64.18**	**2035.11**	**71.41**	**2264.33**	**7.23**	**229.22**	**11.26**
Rio_Coello_4	2.1.2.1. Arroz	72.41	2296.13	83.76	2656.12	11.35	359.99	15.68

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Total Rio_Coello_4		**72.41**	**2296.13**	**83.76**	**2656.12**	**11.35**	**359.99**	**15.68**
Rio_Coello_5	2.1.2.1. Arroz	8.04	254.86	11.27	357.45	3.24	102.59	40.25
	2.1.2.2. Maíz	0.41	13.07	0.12	3.73	-0.29	-9.33	-71.44
	2.1.3.1. Algodón	0.63	19.86	0.14	4.41	-0.49	-15.45	-77.79
	2.2.3.4. Mango	3.27	103.75	3.54	112.24	0.27	8.49	8.18
	2.4.1. Mosaico de cultivos	7.02	222.46	22.53	714.33	15.51	491.87	221.11
Total Rio_Coello_5		**19.36**	**613.99**	**37.60**	**1192.16**	**18.23**	**578.17**	**94.17**
Rio_Coello_6	2.1.2.1. Arroz	0.10	3.07	0.17	5.26	0.07	2.20	71.68
Total Rio_Coello_6		**0.10**	**3.07**	**0.17**	**5.26**	**0.07**	**2.20**	**71.68**
Rio_Combeima_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.18	5.79	0.97	30.61	0.78	24.81	428.31
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	4.56	144.50	5.04	159.69	0.48	15.19	10.51
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	7.10	225.25	7.85	248.93	0.75	23.67	10.51
Total Rio_Combeima_2		**11.84**	**375.55**	**13.85**	**439.22**	**2.01**	**63.67**	**16.96**
Rio_Combeima_3	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	7.48	237.14	8.26	262.07	0.79	24.92	10.51
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.33	105.58	3.68	116.68	0.35	11.10	10.51
Total Rio_Combeima_3		**10.81**	**342.73**	**11.94**	**378.75**	**1.14**	**36.02**	**10.51**
Rio_Combeima_4	2.1.2.1. Arroz	23.51	745.54	27.20	862.43	3.69	116.89	15.68
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.20	69.82	2.43	77.16	0.23	7.34	10.51
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.06	33.56	1.17	37.09	0.11	3.53	10.51
Total Rio_Combeima_4		**26.77**	**848.92**	**30.80**	**976.68**	**4.03**	**127.75**	**15.05**
Rio_Toche	2.1.5. Tubérculos	9.04	286.77	11.29	358.05	2.25	71.27	24.85
Total Rio_Toche		**9.04**	**286.77**	**11.29**	**358.05**	**2.25**	**71.27**	**24.85**
Total general		**650.79**	**20636.27**	**941.40**	**29851.60**	**290.61**	**9215.32**	**44.66**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

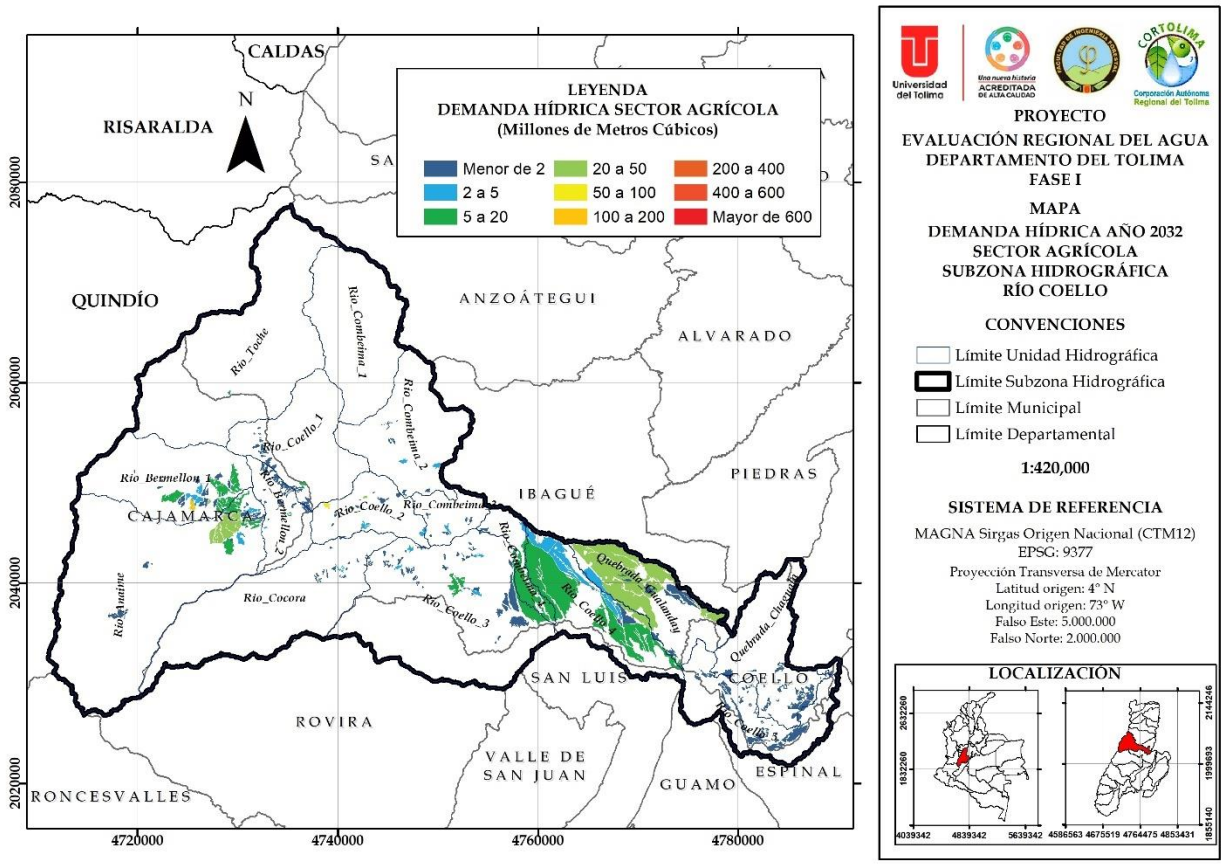


Figura 468. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Coello para el año 2032

j. Subzona Hidrográfica del río Opia

Entre el año 2021 y 2032 se espera que la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Opia sufra una variación del 25.22% al pasar de un caudal de 7125.36 l/s a 8922.19 l/s, como se relaciona en la Tabla 422. Los cambios más significativos que se proyectan obtener en este periodo de tiempo es el incremento de la demanda del cultivo de cítricos en un 139.28% (223.63 l/s) y la reducción de esta en las coberturas de otros cultivos permanentes arbóreos, equivalente al 94.83% (6.93 l/s); el cultivo de sorgo, equivalente al 90.13% (28.25 l/s); en el cultivo de algodón, del 77.79% (18.61 l/s); otros cultivos transitorios, del 72.01% (155.73 l/s); y en el cultivo de maíz, del 71.44% (58.56 l/s).

Tabla 422. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Opia

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	6.82	216.28	1.91	60.54	-4.91	-155.73	-72.01
2.1.2.1. Arroz	207.44	6577.72	265.59	8421.68	58.15	1843.96	28.03
2.1.2.2. Maíz	2.59	81.98	0.74	23.42	-1.85	-58.56	-71.44
2.1.2.3. Sorgo	0.99	31.34	0.10	3.09	-0.89	-28.25	-90.13
2.1.3.1. Algodón	0.75	23.93	0.17	5.31	-0.59	-18.61	-77.79
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.40	12.74	0.28	8.96	-0.12	-3.78	-29.65
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.23	7.30	0.01	0.38	-0.22	-6.93	-94.83
2.2.3.3. Cítricos	5.06	160.55	12.12	384.18	7.05	223.63	139.28
2.2.3.4. Mango	0.43	13.52	0.46	14.62	0.03	1.11	8.18
Total general	**224.71**	**7125.36**	**281.37**	**8922.19**	**56.66**	**1796.83**	**25.22**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

Según la *Tabla 423* en todas las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de la Subzona Hidrográfica del río Opia se evidenciarán incrementos en el volumen de agua demandada superiores al 17%. No obstante, al evaluar los cambios a nivel de coberturas por UHA, se observa que la disminución de la demanda de los cultivos indicados en el párrafo anterior, se centran en las UHA en Directos_Magdalena_Opia y Rio_Opia_2. En la *Figura 469* se expone la distribución de la demanda hídrica del sector agrícola de esta Subzona Hidrográfica, proyectada al año 2032.

Tabla 423. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Opia

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_Magdalena_Opia	2.1.2.1. Arroz	0.23	7.20	0.39	12.36	0.16	5.16	71.68
	2.1.2.2. Maíz	2.59	81.98	0.74	23.42	-1.85	-58.56	-71.44
	2.1.2.3. Sorgo	0.99	31.34	0.10	3.09	-0.89	-28.25	-90.13
	2.1.3.1. Algodón	0.75	23.93	0.17	5.31	-0.59	-18.61	-77.79
	2.2.3.3. Cítricos	5.06	160.55	12.12	384.18	7.05	223.63	139.28
	2.2.3.4. Mango	0.43	13.52	0.46	14.62	0.03	1.11	8.18
Total Directos_Magdalena_Opia		**10.04**	**318.51**	**13.97**	**442.98**	**3.93**	**124.47**	**39.08**
Quebrada_Doima	2.1.2.1. Arroz	69.66	2208.98	82.14	2604.69	12.48	395.71	17.91
Total Quebrada_Doima		**69.66**	**2208.98**	**82.14**	**2604.69**	**12.48**	**395.71**	**17.91**
Rio_Opia_1	2.1.2.1. Arroz	86.09	2729.78	112.06	3553.39	25.97	823.61	30.17

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Total Rio_Opia_1		**86.09**	**2729.78**	**112.06**	**3553.39**	**25.97**	**823.61**	**30.17**
Rio_Opia_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	6.82	216.28	1.91	60.54	-4.91	-155.73	-72.01
	2.1.2.1. Arroz	51.46	1631.76	71.00	2251.24	19.54	619.48	37.96
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.40	12.74	0.28	8.96	-0.12	-3.78	-29.65
	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.23	7.30	0.01	0.38	-0.22	-6.93	-94.83
Total Rio_Opia_2		**58.91**	**1868.08**	**73.20**	**2321.13**	**14.29**	**453.05**	**24.25**
Total general		**224.71**	**7125.36**	**281.37**	**8922.19**	**56.66**	**1796.83**	**25.22**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

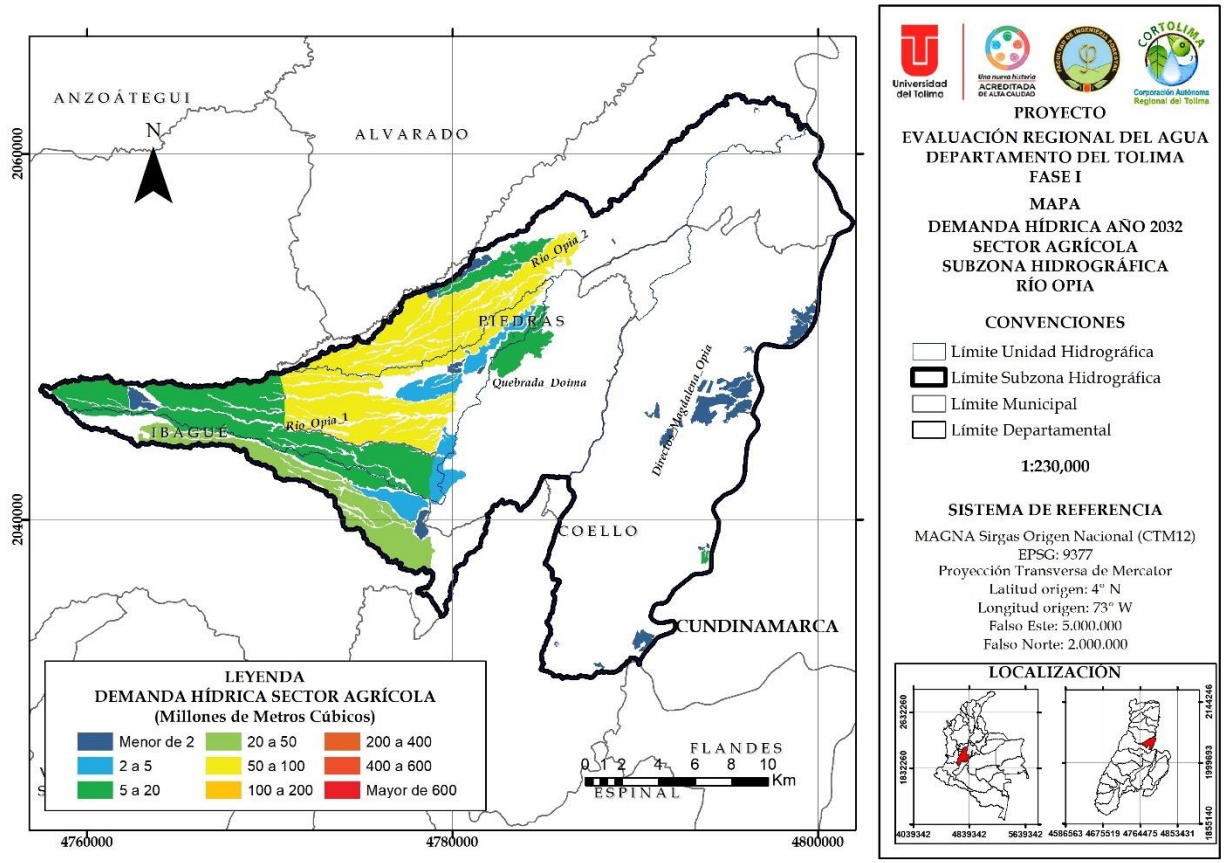


Figura 469. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Opia para el año 2032

k. Subzona Hidrográfica del río Totare

En la Subzona Hidrográfica del río Totare la demanda hídrica del sector agrícola que se proyecta para el año 2032 es de 30537.45 l/s, la cual varía en un 13.36% respecto a la del año 2021 (subsección 20.3.1). De acuerdo con la *Tabla 424*, los cambios más significativos se darán en las coberturas del cultivo tomate de árbol, cultivos permanentes arbustivos, y otros cultivos transitorios, con incrementos porcentuales del orden de 370.10% (477.20 l/s), 174.39% (497.92 l/s) y 150.40% (96.53 l/s), respectivamente. En contraste, las coberturas de cultivos y árboles plantados junto con la de cítricos presentarán cambios mínimos en su demanda hídrica inferiores al 0.94%.

Tabla 424. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Totare

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.02	64.18	5.07	160.72	3.04	96.53	150.40
2.1.2.1. Arroz	376.29	11932.04	362.43	11492.47	-13.86	-439.57	-3.68
2.1.5.1. Papa	3.92	124.28	5.54	175.81	1.62	51.53	41.46
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.30	9.38	0.21	6.60	-0.09	-2.78	-29.65
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	9.00	285.52	24.71	783.44	15.70	497.92	174.39
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	7.92	251.24	11.53	365.57	3.61	114.33	45.51
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	152.45	4834.25	165.82	5258.22	13.37	423.97	8.77
2.2.2.2.2. Café con semisombra	45.87	1454.66	50.70	1607.54	4.82	152.88	10.51
2.2.2.6. Tomate de árbol	4.07	128.94	19.12	606.14	15.05	477.20	370.10
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.36	106.50	4.19	132.74	0.83	26.23	24.63
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.14	4.41	0.01	0.23	-0.13	-4.18	-94.83
2.2.3.3. Cítricos	0.27	8.57	0.27	8.58	0.00	0.01	0.11
2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	114.82	3641.05	113.75	3606.92	-1.08	-34.13	-0.94
2.4.1. Mosaico de cultivos	110.18	3493.85	180.37	5719.37	70.18	2225.52	63.70
2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	18.90	599.25	19.33	613.10	0.44	13.85	2.31
Total general	**849.52**	**26938.13**	**963.03**	**30537.45**	**113.51**	**3599.33**	**13.36**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

Con relación a las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de esta Subzona Hidrográfica, los mayores incrementos de la demanda hídrica que se esperan evidenciar se localizan principalmente en Rio_Frio con 1949.5 l/s que equivalen al 79.09%, la cual comprende especialmente una variación del orden de 99.76% (53.35 l/s) en el volumen de agua destinado al cultivo de papa y del 89.8% (1836.87 l/s) en el mosaico de cultivos. Con relación a las pérdidas de la demanda hídrica estas se podrían observar en las UHA

Directos_Magdalena_Totare_1, Rio_Totare_4, Rio_Totare_5, Rio_Alvarado_2 y Rio_Totare_3, que en términos porcentuales representan el 30.29%, 27.05%, 23.08%, 20.14% y 7.8%, respectivamente, pero que en términos de caudal corresponden a caudales que varían entre los 408.55 l/s a 18.82 l/s. En la *Tabla 425* se exhiben en su totalidad, por UHA, los cambios proyectados de la demanda hídrica del sector agrícola para el año 2032, y en la *Figura 470* se muestra su distribución espacial.

Tabla 425. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Totare

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_ Magdalena_ Totare_1	2.1.2.1. Arroz	1.96	62.14	1.37	43.32	-0.59	-18.82	-30.29
Total Directos_Magdalena_Totare_1		**1.96**	**62.14**	**1.37**	**43.32**	**-0.59**	**-18.82**	**-30.29**
Rio_Alvarado _1	2.1.2.1. Arroz	49.75	1577.67	56.52	1792.17	6.76	214.50	13.60
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	4.36	138.11	11.95	378.95	7.60	240.84	174.39
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	1.83	57.88	1.70	53.98	-0.12	-3.90	-6.74
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	43.19	1369.54	42.49	1347.25	-0.70	-22.29	-1.63
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	30.96	981.76	34.21	1084.94	3.25	103.18	10.51
Total Rio_Alvarado_1		**130.08**	**4124.96**	**146.87**	**4657.29**	**16.79**	**532.33**	**12.91**
Rio_Alvarado _2	2.1.2.1. Arroz	55.22	1751.15	44.10	1398.42	-11.12	-352.73	-20.14
Total Rio_Alvarado_2		**55.22**	**1751.15**	**44.10**	**1398.42**	**-11.12**	**-352.73**	**-20.14**
Rio_Chipalo_ 1	2.1.2.1. Arroz	13.99	443.63	16.18	513.19	2.19	69.55	15.68
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	14.91	472.90	16.48	522.60	1.57	49.70	10.51
Total Rio_Chipalo_1		**28.90**	**916.54**	**32.66**	**1035.79**	**3.76**	**119.25**	**13.01**
Rio_Chipalo_ 2	2.1.2.1. Arroz	96.90	3072.79	121.41	3849.88	24.51	777.09	25.29
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	0.30	9.38	0.21	6.60	-0.09	-2.78	-29.65
	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	0.14	4.41	0.01	0.23	-0.13	-4.18	-94.83
Total Rio_Chipalo_2		**97.34**	**3086.58**	**121.62**	**3856.70**	**24.29**	**770.13**	**24.95**
Rio_Frio	2.1.5.1. Papa	1.69	53.48	3.37	106.83	1.68	53.35	99.76
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	11.54	365.96	13.41	425.24	1.87	59.28	16.20
	2.4.1. Mosaico de cultivos	64.51	2045.61	122.44	3882.49	57.93	1836.87	89.80
Total Rio_Frio		**77.74**	**2465.06**	**139.22**	**4414.56**	**61.48**	**1949.50**	**79.09**
Rio_La_ China_1	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.42	76.78	2.26	71.61	-0.16	-5.18	-6.74
	2.4.1. Mosaico de cultivos	22.77	721.93	28.83	914.29	6.07	192.36	26.64
Total Rio_La_China_1		**25.19**	**798.71**	**31.09**	**985.90**	**5.90**	**187.18**	**23.44**
Rio_La_ China_2	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	4.65	147.41	12.76	404.49	8.11	257.08	174.39

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.42	76.78	2.26	71.61	-0.16	-5.18	-6.74
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	26.77	848.98	30.35	962.27	3.57	113.29	13.34
	2.4.1. Mosaico de cultivos	22.90	726.30	29.09	922.59	6.19	196.28	27.03
	Total Rio_La_China_2	**56.75**	**1799.48**	**74.46**	**2360.95**	**17.71**	**561.48**	**31.20**
Rio_La_China_4	2.1.2.1. Arroz	9.29	294.71	10.45	331.24	1.15	36.53	12.40
	Total Rio_La_China_4	**9.29**	**294.71**	**10.45**	**331.24**	**1.15**	**36.53**	**12.40**
Rio_Totare_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.02	64.18	5.07	160.72	3.04	96.53	150.40
	2.1.2.1. Arroz	0.42	13.33	0.47	14.93	0.05	1.60	11.98
	2.1.5.1. Papa	2.23	70.80	2.18	68.98	-0.06	-1.82	-2.58
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	1.25	39.79	5.31	168.37	4.05	128.58	323.15
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	70.95	2249.76	79.58	2523.46	8.63	273.70	12.17
	2.2.2.6. Tomate de árbol	4.07	128.94	19.12	606.14	15.05	477.20	370.10
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.36	106.50	4.19	132.74	0.83	26.23	24.63
	2.4.3.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales herbáceos	18.90	599.25	19.33	613.10	0.44	13.85	2.31
	Total Rio_Totare_2	**103.20**	**3272.57**	**135.24**	**4288.44**	**32.04**	**1015.87**	**31.04**
Rio_Totare_3	2.1.2.1. Arroz	50.29	1594.68	38.48	1220.25	-11.81	-374.43	-23.48
	2.2.4.2. Cultivos y árboles plantados	114.82	3641.05	113.75	3606.92	-1.08	-34.13	-0.94
	Total Rio_Totare_3	**165.11**	**5235.72**	**152.23**	**4827.17**	**-12.88**	**-408.55**	**-7.80**
Rio_Totare_4	2.1.2.1. Arroz	46.47	1473.57	33.90	1075.01	-12.57	-398.56	-27.05
	Total Rio_Totare_4	**46.47**	**1473.57**	**33.90**	**1075.01**	**-12.57**	**-398.56**	**-27.05**
Rio_Totare_5	2.1.2.1. Arroz	51.98	1648.36	39.55	1254.06	-12.43	-394.30	-23.92
	2.2.3.3. Cítricos	0.27	8.57	0.27	8.58	0.00	0.01	0.11
	Total Rio_Totare_5	**52.25**	**1656.93**	**39.82**	**1262.65**	**-12.43**	**-394.29**	**-23.80**
	Total general	**849.52**	**26938.13**	**963.03**	**30537.45**	**113.51**	**3599.33**	**13.36**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

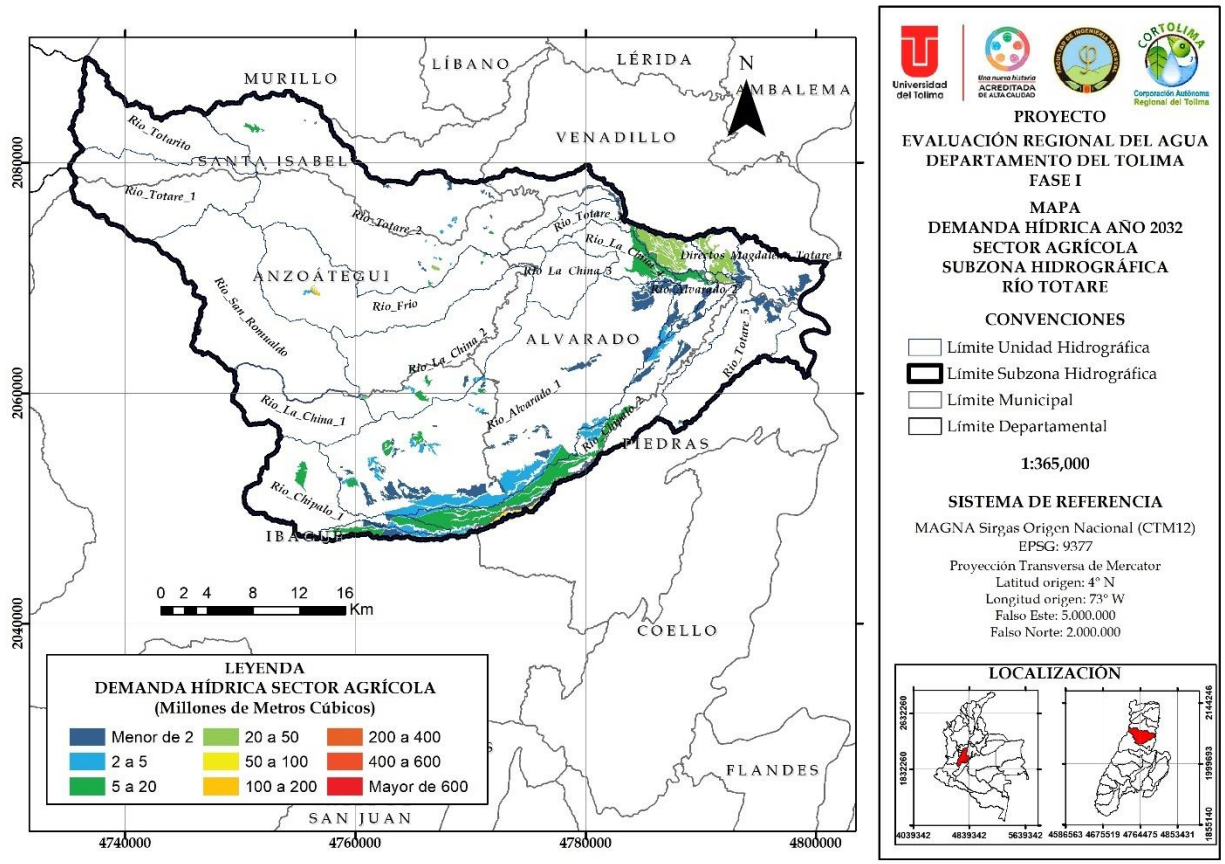


Figura 470. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Totare para el año 2032

l. Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Entre el año 2021 y 2032 se espera que la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo tenga una variación del 8.42% (1176.33 l/s) para un caudal de 15146.28 l/s. Los cambios más significativos que se proyectan obtener en este periodo de tiempo es el incremento de la demanda en un 347.16% (1875.66 l/s) del cultivo de tomate de árbol y del 272.26% (207.06 l/s) de la cobertura de otros cultivos permanentes arbustivos. Aunado a lo anterior, se prevén disminuciones superiores al 13% en la demanda en las coberturas de algodón, otros cultivos transitorios, café y papa (*Tabla 426*).

Tabla 426. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.36	11.42	0.08	2.68	-0.28	-8.75	-76.57
2.1.2.1. Arroz	163.91	5197.42	129.16	4095.79	-34.74	-1101.62	-21.20
2.1.2.2. Maíz	4.25	134.86	8.05	255.18	3.79	120.32	89.21
2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	0.12	3.90	-0.64	-20.22	-83.82
2.1.5.1. Papa	1.11	35.21	0.81	25.63	-0.30	-9.58	-27.21
2.2.1.3.1. Plátano	42.18	1337.45	48.05	1523.79	5.88	186.34	13.93
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	14.42	457.26	15.94	505.45	1.52	48.20	10.54
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.40	76.05	8.93	283.11	6.53	207.06	272.26
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	101.74	3226.16	88.49	2806.04	-13.25	-420.12	-13.02
2.2.2.2.2. Café con semisombra	43.68	1385.16	37.58	1191.60	-6.10	-193.57	-13.97
2.2.2.2.3. Café con sombra	20.33	644.51	17.48	554.44	-2.84	-90.06	-13.97
2.2.2.6. Tomate de árbol	17.04	540.29	76.19	2415.95	59.15	1875.66	347.16
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	6.50	206.10	15.31	485.51	8.81	279.41	135.57
2.4.1. Mosaico de cultivos	21.88	693.94	31.45	997.22	9.56	303.28	43.70
Total general	**440.56**	**13969.95**	**477.65**	**15146.28**	**37.10**	**1176.33**	**8.42**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

De acuerdo con la *Tabla 427*, para el año 2032, el 73% de las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo, disminuirán su demanda hídrica respecto a la estimada para el 2021. Los únicos incrementos que se proyectan son de la UHA Rio_Yuca, con el 217.82% (2125.25 l/s), Rio_Recio_5, 7.14% (61.96 l/s) y Rio_Recio_3, 6.73% (301.68 l/s); los cuales están representados por los cultivos de café, maíz, algodón y papa. En la *Figura 471* se presenta la distribución espacial de la demanda hídrica del sector agrícola estimada para el año 2032.

Tabla 427. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_Magdalena_Recio_Venadillo	2.1.2.1. Arroz	10.06	318.93	8.31	263.49	-1.75	-55.44	-17.38
Total Directos_Magdalena_Recio_Venadillo		**10.06**	**318.93**	**8.31**	**263.49**	**-1.75**	**-55.44**	**-17.38**
Quebrada_Santa_Rosa	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	45.20	1433.37	38.89	1233.06	-6.32	-200.30	-13.97

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	10.63	337.00	9.14	289.91	-1.49	-47.09	-13.97
	2.2.2.2.3. Café con sombra	8.69	275.41	7.47	236.93	-1.21	-38.49	-13.97
	2.4.1. Mosaico de cultivos	5.54	175.67	8.01	253.85	2.47	78.18	44.50
Total Quebrada_Santa_Rosa		**70.06**	**2221.45**	**63.51**	**2013.74**	**-6.55**	**-207.71**	**-9.35**
Quebrada_Tautau	2.1.2.1. Arroz	13.61	431.50	11.22	355.80	-2.39	-75.70	-17.54
	2.1.2.2. Maíz	1.48	46.78	1.39	44.03	-0.09	-2.74	-5.87
Total Quebrada_Tautau		**15.08**	**478.27**	**12.61**	**399.83**	**-2.47**	**-78.44**	**-16.40**
Rio_Recio_1	2.1.5.1. Papa	0.13	4.09	0.09	2.86	-0.04	-1.22	-29.90
Total Rio_Recio_1		**0.13**	**4.09**	**0.09**	**2.86**	**-0.04**	**-1.22**	**-29.90**
Rio_Recio_2	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.36	11.42	0.08	2.68	-0.28	-8.75	-76.57
	2.1.5.1. Papa	0.75	23.92	0.53	16.77	-0.23	-7.15	-29.90
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.06	414.14	11.70	371.00	-1.36	-43.14	-10.42
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	7.19	228.03	6.19	196.16	-1.00	-31.87	-13.97
	2.2.2.2.3. Café con sombra	2.49	78.91	2.14	67.88	-0.35	-11.03	-13.97
	2.2.2.6. Tomate de árbol	0.12	3.78	0.22	7.13	0.11	3.35	88.64
	2.4.1. Mosaico de cultivos	2.71	86.02	3.75	118.76	1.03	32.74	38.06
Total Rio_Recio_2		**26.69**	**846.22**	**24.61**	**780.38**	**-2.08**	**-65.84**	**-7.78**
Rio_Recio_3	2.2.1.3.1. Plátano	42.18	1337.45	48.05	1523.79	5.88	186.34	13.93
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	14.42	457.26	15.94	505.45	1.52	48.20	10.54
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	36.86	1168.80	31.71	1005.47	-5.15	-163.33	-13.97
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	25.03	793.73	21.53	682.81	-3.50	-110.92	-13.97
	2.2.2.2.3. Café con sombra	9.15	290.19	7.87	249.63	-1.28	-40.55	-13.97
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	6.50	206.10	15.31	485.51	8.81	279.41	135.57
	2.4.1. Mosaico de cultivos	7.27	230.40	10.50	332.93	3.23	102.53	44.50
Total Rio_Recio_3		**141.41**	**4483.92**	**150.92**	**4785.60**	**9.51**	**301.68**	**6.73**
Rio_Recio_5	2.1.2.1. Arroz	24.49	776.70	25.78	817.37	1.28	40.67	5.24
	2.1.2.2. Maíz	0.29	9.15	0.15	4.73	-0.14	-4.41	-48.24
	2.1.3.1. Algodón	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-83.82
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.59	18.60	0.50	16.00	-0.08	-2.60	-13.97

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.4.1. Mosaico de cultivos	2.01	63.59	2.90	91.90	0.89	28.30	44.50
Total Rio_Recio_5		**27.37**	**868.05**	**29.33**	**930.01**	**1.95**	**61.96**	**7.14**
Rio_Recio_6	2.1.2.1. Arroz	23.78	754.17	19.65	623.08	-4.13	-131.09	-17.38
	2.1.2.2. Maíz	2.49	78.94	6.51	206.41	4.02	127.47	161.48
	2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	0.12	3.90	-0.64	-20.22	-83.82
Total Rio_Recio_6		**27.03**	**857.23**	**26.28**	**833.39**	**-0.75**	**-23.84**	**-2.78**
Rio_Venadillo_1	2.1.2.1. Arroz	46.01	1458.86	32.07	1016.94	-13.94	-441.92	-30.29
Total Rio_Venadillo_1		**46.01**	**1458.86**	**32.07**	**1016.94**	**-13.94**	**-441.92**	**-30.29**
Rio_Venadillo_2	2.1.2.1. Arroz	45.96	1457.26	32.14	1019.11	-13.82	-438.15	-30.07
Total Rio_Venadillo_2		**45.96**	**1457.26**	**32.14**	**1019.11**	**-13.82**	**-438.15**	**-30.07**
Rio_Yuca	2.1.5.1. Papa	0.23	7.20	0.19	6.00	-0.04	-1.21	-16.74
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.40	76.05	8.93	283.11	6.53	207.06	272.26
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	6.62	209.86	6.20	196.51	-0.42	-13.35	-6.36
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.25	7.80	0.21	6.71	-0.03	-1.09	-13.97
	2.2.2.6. Tomate de árbol	16.92	536.51	75.96	2408.82	59.05	1872.31	348.98
	2.4.1. Mosaico de cultivos	4.36	138.26	6.30	199.78	1.94	61.53	44.50
Total Rio_Yuca		**30.77**	**975.68**	**97.79**	**3100.92**	**67.02**	**2125.25**	**217.82**
Total general		**440.56**	**13969.95**	**477.65**	**15146.28**	**37.10**	**1176.33**	**8.42**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

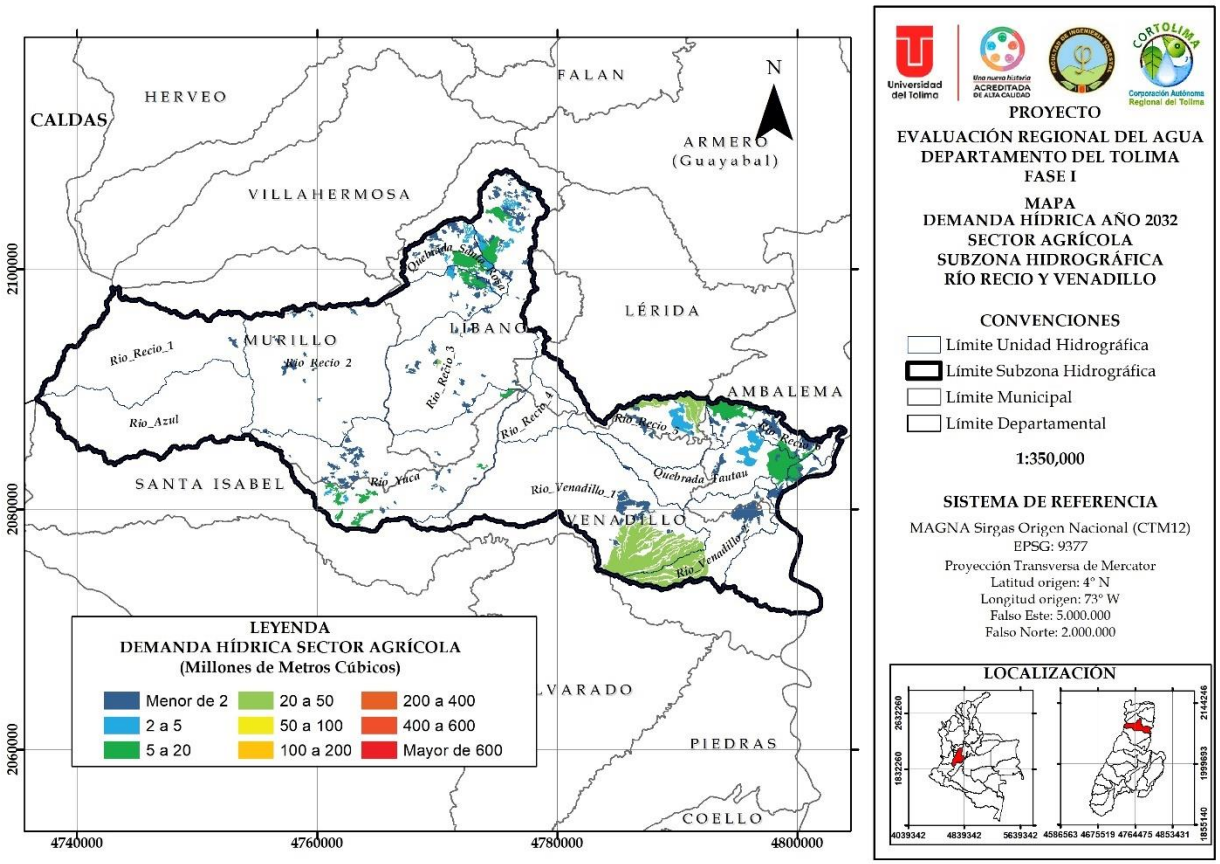


Figura 471. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Recio y Venadillo para el año 2032

m. Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Se prevé que para el año 2032 la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija tenga una variación del 84.14% que equivale a un incremento de 11494.78 l/s respecto a la demanda del año 2021 (13662.17 l/s). Los mayores cambios que se esperan observar serán en las coberturas de cultivos permanentes arbóreos, cultivos permanentes arbustivos y aguacate, de los cuales se predicen aumentos del orden de 463.74% (4366.88 l/s), 156.04% (1102.92 l/s) y 137.17% (349.35 l/s), respectivamente. Así mismo, se proyecta una reducción del volumen de agua demandada del cultivo de guanábana, en un 69.06% (14.54 l/s); cítricos, 49.80% (9.22 l/s); café, 47.12% (150.99 l/s); y algodón, 22.22% (63.14 l/s) (Tabla 428).

Tabla 428. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.2.1. Arroz	75.60	2397.13	82.50	2616.09	6.91	218.97	9.13
2.1.2.2. Maíz	31.38	995.15	53.31	1690.53	21.93	695.38	69.88
2.1.3.1. Algodón	8.96	284.19	6.97	221.05	-1.99	-63.14	-22.22
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	22.29	706.81	57.07	1809.73	34.78	1102.92	156.04
2.2.2.2. Café	2.67	84.73	1.74	55.32	-0.93	-29.41	-34.71
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.18	418.06	12.21	387.16	-0.97	-30.90	-7.39
2.2.2.2.2. Café con semisombra	56.92	1805.01	54.06	1714.34	-2.86	-90.68	-5.02
2.2.2.2.3. Café con sombra	0.53	16.91	0.55	17.53	0.02	0.62	3.67
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	29.70	941.66	167.41	5308.54	137.71	4366.88	463.74
2.2.3.3. Cítricos	0.58	18.51	0.29	9.29	-0.29	-9.22	-49.80
2.2.3.5. Aguacate	8.03	254.68	19.05	604.03	11.02	349.35	137.17
2.2.3.6. Guanábana	0.66	21.05	0.21	6.51	-0.46	-14.54	-69.06
2.2.3.8. Mangostino	0.01	0.17	0.01	0.21	0.00	0.04	21.98
2.4.1. Mosaico de cultivos	180.33	5718.11	337.96	10716.61	157.63	4998.50	87.42
Total general	**430.85**	**13662.17**	**793.35**	**25156.95**	**362.50**	**11494.78**	**84.14**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

Con relación a las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de esta Subzona Hidrográfica, se espera que para el 2032 todas tengan un incremento en el volumen de agua demandado para el sector agrícola. De acuerdo con la *Tabla 429* los mayores cambios se pueden evidenciar en la UHA Rio_Sabandija_2 con 3464.23 l/s de diferencia respecto al 2021, lo cual equivale a 178.52%, que está representado principalmente por el aumento en un 353.88% (3067.83 l/s) de la demanda hídrica de la cobertura del mosaico de cultivos. En la *Figura 472* se ilustra la distribución de la demanda hídrica del sector agrícola proyectada al año 2032.

Tabla 429. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Sabandija

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_ Magdalena_ Sabandija_2	2.1.2.1. Arroz	63.99	2028.99	69.50	2203.95	5.52	174.96	8.62
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.38	11.90	0.05	1.54	-0.33	-10.36	-87.03
Total Directos_Magdalena_Sabandija_2		**64.36**	**2040.89**	**69.55**	**2205.50**	**5.19**	**164.60**	**8.07**

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Rio_Cuamo	2.1.2.2. Maíz	12.93	409.99	22.02	698.23	9.09	288.24	70.30
	2.1.3.1. Algodón	3.33	105.67	2.59	82.20	-0.74	-23.48	-22.22
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.30	41.34	1.22	38.71	-0.08	-2.63	-6.36
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.07	2.12	0.07	2.20	0.00	0.08	3.67
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.81	88.97	8.58	272.02	5.77	183.04	205.73
	2.2.3.5. Aguacate	8.03	254.68	19.05	604.03	11.02	349.35	137.17
	2.2.3.6. Guanábana	0.66	21.05	0.21	6.51	-0.46	-14.54	-69.06
	2.2.3.8. Mangostino	0.01	0.17	0.01	0.21	0.00	0.04	21.98
	2.4.1. Mosaico de cultivos	49.12	1557.44	80.79	2561.90	31.68	1004.46	64.49
Total Rio_Cuamo		**78.25**	**2481.43**	**134.53**	**4266.00**	**56.28**	**1784.57**	**71.92**
Rio_Sabandija_1	2.1.2.1. Arroz	2.43	77.04	2.72	86.25	0.29	9.21	11.95
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	22.29	706.81	57.07	1809.73	34.78	1102.92	156.04
	2.2.2.2. Café	2.67	84.73	1.74	55.32	-0.93	-29.41	-34.71
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.18	418.06	12.21	387.16	-0.97	-30.90	-7.39
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	55.62	1763.68	52.84	1675.63	-2.78	-88.05	-4.99
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.47	14.79	0.48	15.34	0.02	0.54	3.67
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	26.28	833.18	158.55	5027.63	132.28	4194.45	503.43
	2.2.3.3. Cítricos	0.23	7.23	0.11	3.63	-0.11	-3.60	-49.80
	2.4.1. Mosaico de cultivos	103.87	3293.75	133.08	4219.96	29.21	926.21	28.12
Total Rio_Sabandija_1		**227.04**	**7199.26**	**418.82**	**13280.64**	**191.78**	**6081.38**	**84.47**
Rio_Sabandija_2	2.1.2.1. Arroz	9.18	291.10	10.28	325.89	1.10	34.80	11.95
	2.1.2.2. Maíz	18.45	585.16	31.29	992.30	12.84	407.14	69.58
	2.1.3.1. Algodón	5.63	178.51	4.38	138.86	-1.25	-39.66	-22.22
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.24	7.61	0.23	7.35	-0.01	-0.26	-3.40
	2.2.3.3. Cítricos	0.36	11.28	0.18	5.66	-0.18	-5.62	-49.80
	2.4.1. Mosaico de cultivos	27.34	866.92	124.09	3934.75	96.75	3067.83	353.88
Total Rio_Sabandija_2		**61.20**	**1940.58**	**170.45**	**5404.81**	**109.25**	**3464.23**	**178.52**
Total general		**430.85**	**13662.17**	**793.35**	**25156.95**	**362.50**	**11494.78**	**84.14**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

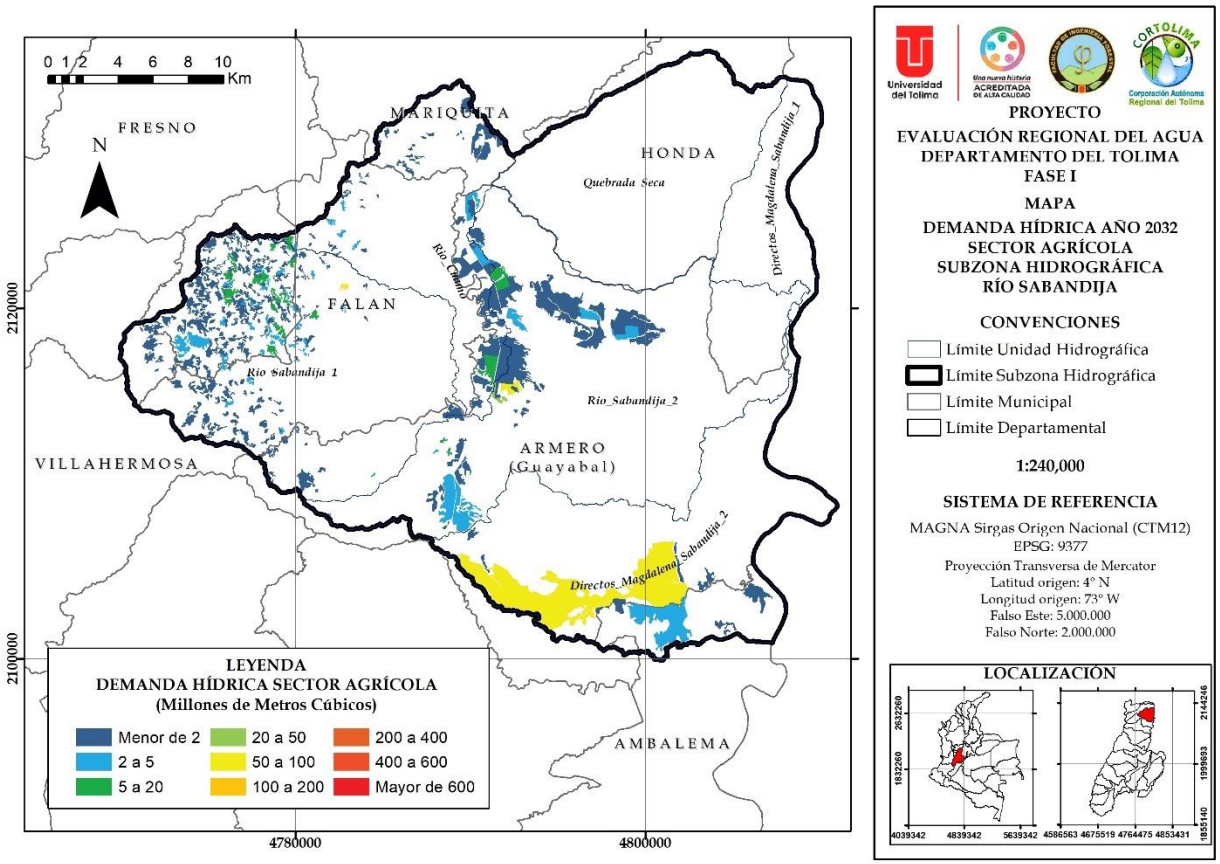


Figura 472. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Sabandija para el año 2032

n. Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

En la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla la demanda hídrica del sector agrícola que se proyecta para el año 2032 es de 25629.14 l/s, que representan un incremento del 8.35% respecto a la demanda del año 2021 (23653.51 l/s). De acuerdo con la Tabla 430, el mayor aumento en los requerimientos de agua se dará por parte de la cobertura cultivos permanentes arbóreos, cuya variación en términos porcentuales sería del 160.75% (1217.72 l/s). En el caso contrario, los descensos más significativos, en términos de presión por el uso del agua, son los que se prevén para el cultivo de café con un caudal de 467.76 l/s (2.58%) que representan un cambio del 73.89%.

Tabla 430. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.61	19.22	0.14	4.50	-0.46	-14.72	-76.57
2.1.2.1. Arroz	494.15	15669.31	500.09	15857.66	5.94	188.35	1.20
2.1.2.2. Maíz	10.74	340.58	16.32	517.38	5.58	176.81	51.91
2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	0.12	3.90	-0.64	-20.22	-83.82
2.1.5.1. Papa	5.88	186.42	3.95	125.18	-1.93	-61.24	-32.85
2.2.2.2. Café	1.79	56.79	1.05	33.16	-0.75	-23.64	-41.62
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	36.50	1157.29	33.41	1059.48	-3.08	-97.81	-8.45
2.2.2.2.2. Café con semisombra	70.24	2227.24	60.48	1917.88	-9.76	-309.36	-13.89
2.2.2.2.3. Café con sombra	11.73	372.02	10.57	335.07	-1.17	-36.95	-9.93
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	23.89	757.52	62.29	1975.24	38.40	1217.72	160.75
2.4.1. Mosaico de cultivos	38.46	1219.62	61.72	1957.17	23.26	737.55	60.47
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	51.20	1623.38	58.11	1842.52	6.91	219.13	13.50
Total general	**745.94**	**23653.51**	**808.24**	**25629.14**	**62.30**	**1975.63**	**8.35**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

De acuerdo con la *Tabla 431*, las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de esta Subzona Hidrográfica en donde se exhiben los mayores incrementos de la demanda hídrica para el año 2032 son Rio_Lagunilla_5, Rio_Bledo y Rio_Lagunilla_3, con el 29.1%, 27.6% y 25.09% que equivale a caudales de 919.1 l/s, 532.33 l/s y 521.96 l/s, respectivamente, que son destinados a cultivos permanentes arbóreos y el mosaico de cultivos. De manera opuesta, se espera una reducción del volumen de agua demandado superior al 17% en las UHA Rio_Lagunilla_1, Rio_Vallecitos, Rio_Lagunilla_7 y Directos_Magdalena_Lagunilla_1, que está reflejado especialmente en los cultivos de arroz y papa. En la *Figura 473* se ilustra la distribución de la demanda hídrica del sector agrícola proyectada al año 2032.

Tabla 431. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_Magdalena_Lagunilla_1	2.1.2.1. Arroz	10.95	347.13	9.04	286.79	-1.90	-60.34	-17.38
Total Directos_Magdalena_Lagunilla_1		**10.95**	**347.13**	**9.04**	**286.79**	**-1.90**	**-60.34**	**-17.38**
	2.1.2.1. Arroz	69.27	2196.50	61.87	1961.95	-7.40	-234.55	-10.68

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_Magdalena_Lagunilla_2	2.1.2.2. Maíz	4.92	156.05	12.87	408.06	7.95	252.00	161.48
	2.1.3.1. Algodón	0.76	24.12	0.12	3.90	-0.64	-20.22	-83.82
	2.4.1. Mosaico de cultivos	0.98	31.10	0.29	9.08	-0.69	-22.02	-70.81
Total Directos_Magdalena_Lagunilla_2		**75.93**	**2407.77**	**75.15**	**2382.99**	**-0.78**	**-24.79**	**-1.03**
Quebrada_La_Joya	2.1.2.1. Arroz	57.93	1837.04	52.78	1673.58	-5.15	-163.46	-8.90
Total Quebrada_La_Joya		**57.93**	**1837.04**	**52.78**	**1673.58**	**-5.15**	**-163.46**	**-8.90**
Quebrada_Palmas	2.1.2.1. Arroz	37.21	1179.88	39.87	1264.12	2.66	84.23	7.14
	2.1.2.2. Maíz	1.71	54.31	0.89	28.11	-0.83	-26.20	-48.24
Total Quebrada_Palmas		**38.92**	**1234.19**	**40.75**	**1292.23**	**1.83**	**58.03**	**4.70**
Rio_Azufrado	2.1.5.1. Papa	0.26	8.32	0.09	2.89	-0.17	-5.43	-65.25
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.96	474.36	13.68	433.85	-1.28	-40.51	-8.54
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	29.95	949.57	27.30	865.64	-2.65	-83.93	-8.84
	2.2.2.2.3. Café con sombra	5.09	161.39	4.88	154.86	-0.21	-6.53	-4.04
Total Rio_Azufrado		**50.26**	**1593.64**	**45.96**	**1457.24**	**-4.30**	**-136.40**	**-8.56**
Rio_Bledo	2.1.2.1. Arroz	41.71	1322.73	44.69	1417.17	2.98	94.43	7.14
	2.1.2.2. Maíz	1.64	52.00	0.85	26.92	-0.79	-25.09	-48.24
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.53	16.67	0.45	14.34	-0.07	-2.33	-13.97
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	6.27	198.76	3.79	120.20	-2.48	-78.56	-39.52
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.08	2.51	0.04	1.17	-0.04	-1.34	-53.29
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	8.41	266.69	24.63	780.98	16.22	514.29	192.84
	2.4.1. Mosaico de cultivos	2.19	69.49	3.17	100.41	0.98	30.92	44.50
Total Rio_Bledo		**60.83**	**1928.86**	**77.62**	**2461.19**	**16.79**	**532.33**	**27.60**
Rio_Lagunilla_1	2.1.5.1. Papa	3.22	101.96	2.17	68.92	-1.04	-33.04	-32.41
Total Rio_Lagunilla_1		**3.22**	**101.96**	**2.17**	**68.92**	**-1.04**	**-33.04**	**-32.41**
Rio_Lagunilla_2	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	6.97	221.14	6.33	200.57	-0.65	-20.57	-9.30
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.42	76.69	2.16	68.36	-0.26	-8.34	-10.87
	2.2.2.2.3. Café con sombra	5.89	186.73	5.07	160.64	-0.82	-26.09	-13.97
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	51.20	1623.38	58.11	1842.52	6.91	219.13	13.50
Total Rio_Lagunilla_2		**66.48**	**2107.94**	**71.65**	**2272.08**	**5.18**	**164.14**	**7.79**
Rio_Lagunilla_3	2.1.2.1. Arroz	1.38	43.65	1.54	48.87	0.16	5.22	11.95
	2.2.2.2. Café	1.79	56.79	1.05	33.16	-0.75	-23.64	-41.62
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.35	423.21	12.07	382.74	-1.28	-40.48	-9.56

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	31.61	1002.22	27.24	863.69	-4.37	-138.53	-13.82
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.67	21.39	0.58	18.40	-0.09	-2.99	-13.97
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	15.48	490.83	37.66	1194.25	22.18	703.43	143.32
	2.4.1. Mosaico de cultivos	1.34	42.57	1.94	61.51	0.60	18.94	44.50
Total Rio_Lagunilla_3		**65.62**	**2080.66**	**82.08**	**2602.62**	**16.46**	**521.96**	**25.09**
Rio_Lagunilla_4	2.1.2.1. Arroz	72.24	2290.77	80.27	2545.26	8.03	254.49	11.11
Total Rio_Lagunilla_4		**72.24**	**2290.77**	**80.27**	**2545.26**	**8.03**	**254.49**	**11.11**
Rio_Lagunilla_5	2.1.2.1. Arroz	63.93	2027.33	71.36	2262.92	7.43	235.59	11.62
	2.1.2.2. Maíz	1.71	54.31	0.89	28.11	-0.83	-26.20	-48.24
	2.4.1. Mosaico de cultivos	33.95	1076.46	56.33	1786.16	22.38	709.70	65.93
Total Rio_Lagunilla_5		**99.59**	**3158.10**	**128.58**	**4077.19**	**28.98**	**919.10**	**29.10**
Rio_Lagunilla_6	2.1.2.1. Arroz	98.49	3122.94	104.76	3321.81	6.27	198.86	6.37
	2.1.2.2. Maíz	0.75	23.91	0.83	26.19	0.07	2.29	9.56
Total Rio_Lagunilla_6		**99.24**	**3146.85**	**105.58**	**3348.00**	**6.34**	**201.15**	**6.39**
Rio_Lagunilla_7	2.1.2.1. Arroz	41.04	1301.34	33.91	1075.20	-7.13	-226.14	-17.38
Total Rio_Lagunilla_7		**41.04**	**1301.34**	**33.91**	**1075.20**	**-7.13**	**-226.14**	**-17.38**
Rio_Vallecitos	2.1.1. Otros cultivos transitorios	0.61	19.22	0.14	4.50	-0.46	-14.72	-76.57
	2.1.5.1. Papa	2.40	76.14	1.68	53.37	-0.72	-22.77	-29.90
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.69	21.91	0.88	27.98	0.19	6.07	27.69
Total Rio_Vallecitos		**3.70**	**117.27**	**2.71**	**85.86**	**-0.99**	**-31.42**	**-26.79**
Total general		**745.94**	**23653.51**	**808.24**	**25629.14**	**62.30**	**1975.63**	**8.35**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

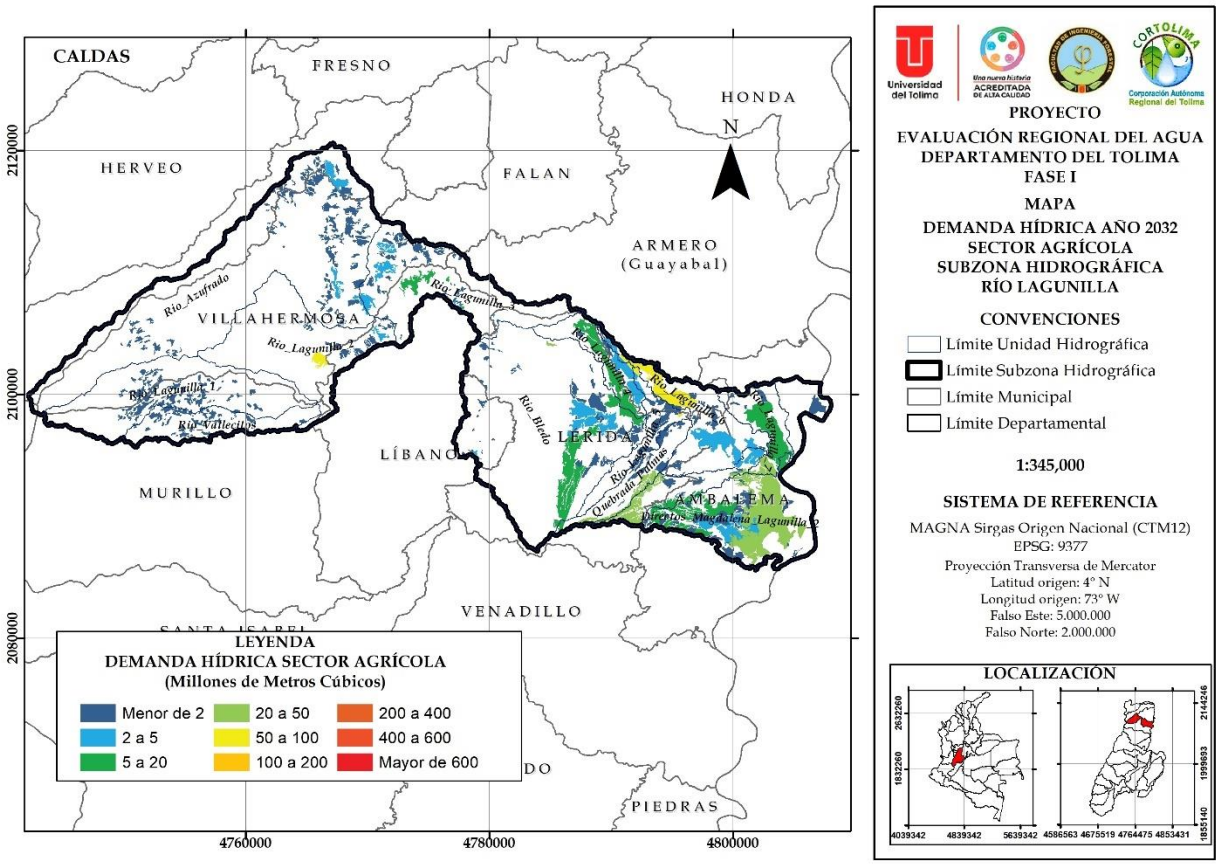


Figura 473. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla para el año 2032

o. Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Teniendo en cuenta que la demanda hídrica del sector agrícola se calculó únicamente para el área correspondiente al departamento del Tolima, se prevé que para el año 2032 esta demanda en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó tendrá una reducción de 386.04 l/s, la cual equivale a una variación del 15.11% respecto a la del 2021 (2554.13 l/s). Los mayores cambios que se esperan observar serán en las coberturas de plátano, cultivos permanentes arbóreos y el mosaico de cultivos, de los cuales se predicen aumentos en un 71.54% (21.56 l/s), 66.89% (1.61 l/s) y 50.08% (153.07 l/s), respectivamente. Así mismo, se proyecta una reducción del volumen de agua demandada del cultivo de café del 94.43% (474.45 l/s), guanábana en un 56.16% (80.96 l/s), papa con el 41.14% (9.28 l/s), y maíz en un 35.65% (0.75 l/s) (*Tabla 432*).

Tabla 432. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.2.2. Maíz	0.07	2.11	0.04	1.36	-0.02	-0.75	-35.65
2.1.5.1. Papa	0.71	22.59	0.42	13.29	-0.29	-9.29	-41.14
2.2.1.3.1. Plátano	0.95	30.14	1.63	51.70	0.68	21.56	71.54
2.2.2.2. Café	5.74	181.94	4.44	140.80	-1.30	-41.15	-22.62
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	39.18	1242.43	30.24	958.89	-8.94	-283.54	-22.82
2.2.2.2.2. Café con semisombra	15.08	478.13	11.34	359.49	-3.74	-118.65	-24.81
2.2.2.2.3. Café con sombra	4.06	128.66	3.08	97.55	-0.98	-31.11	-24.18
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.08	2.41	0.13	4.01	0.05	1.61	66.89
2.2.3.5. Aguacate	0.50	15.92	0.60	19.08	0.10	3.17	19.89
2.2.3.6. Guanábana	4.55	144.15	1.99	63.19	-2.55	-80.96	-56.16
2.4.1. Mosaico de cultivos	9.64	305.66	14.47	458.73	4.83	153.07	50.08
Total general	**80.55**	**2554.13**	**68.37**	**2168.09**	**-12.17**	**-386.04**	**-15.11**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

De acuerdo con la *Tabla 433*, para el año 2032, el 83.33% de las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó, disminuirán su demanda hídrica respecto a la estimada para el 2021. El único incremento que se proyecta es en la UHA Rio_Guarino_6 con el 17.6% (32.51 l/s), el cual está representado por el cultivo de plátano (71.54%; 21.56 l/s), seguido por la cobertura de cultivos permanentes arbóreos (66.89%; 1.61 l/s). En la *Figura 474* se presenta la distribución espacial de la demanda hídrica del sector agrícola estimada para el año 2032.

Tabla 433. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Rio_Guarino_3	2.2.2.2. Café	0.022	0.70	0.017	0.54	-0.005	-0.16	-22.62
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.51	459.99	11.14	353.40	-3.36	-106.59	-23.17
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.29	104.29	2.55	80.70	-0.74	-23.59	-22.62
	2.2.2.2.3. Café con sombra	2.45	77.82	1.84	58.20	-0.62	-19.61	-25.21
Total Rio_Guarino_3		**20.27**	**642.80**	**15.54**	**492.85**	**-4.73**	**-149.94**	**-23.33**
Rio_Guarino_4	2.2.2.2. Café	2.34	74.35	1.81	57.53	-0.53	-16.81	-22.62

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	1.64	51.93	1.27	40.18	-0.37	-11.74	-22.62
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.90	91.80	2.24	71.04	-0.65	-20.76	-22.62
Total Rio_Guarino_4		**6.88**	**218.08**	**5.32**	**168.76**	**-1.56**	**-49.32**	**-22.62**
Rio_Guarino_5	2.2.2.2. Café	3.37	106.90	2.61	82.72	-0.76	-24.18	-22.62
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	23.04	730.51	17.83	565.31	-5.21	-165.21	-22.62
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	8.11	257.21	6.24	197.80	-1.87	-59.41	-23.10
	2.2.2.2.3. Café con sombra	1.60	50.84	1.24	39.34	-0.36	-11.50	-22.62
	2.2.3.6. Guanábana	3.76	119.11	1.75	55.60	-2.00	-63.51	-53.32
	2.4.1. Mosaico de cultivos	5.00	158.41	9.32	295.57	4.33	137.15	86.58
Total Rio_Guarino_5		**44.88**	**1422.98**	**38.99**	**1236.33**	**-5.89**	**-186.65**	**-13.12**
Rio_Guarino_6	2.2.1.3.1. Plátano	0.95	30.14	1.63	51.70	0.68	21.56	71.54
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.08	2.41	0.13	4.01	0.05	1.61	66.89
	2.2.3.5. Aguacate	0.50	15.92	0.60	19.08	0.10	3.17	19.89
	2.2.3.6. Guanábana	0.79	25.04	0.24	7.59	-0.55	-17.45	-69.68
	2.4.1. Mosaico de cultivos	3.51	111.17	4.25	134.79	0.74	23.62	21.25
Total Rio_Guarino_6		**5.82**	**184.68**	**6.85**	**217.18**	**1.03**	**32.51**	**17.60**
Rio_Guarino_7	2.1.2.2. Maíz	0.07	2.11	0.04	1.36	-0.02	-0.75	-35.65
	2.4.1. Mosaico de cultivos	1.14	36.08	0.89	28.37	-0.24	-7.71	-21.37
Total Rio_Guarino_7		**1.20**	**38.19**	**0.94**	**29.73**	**-0.27**	**-8.46**	**-22.16**
Rio_Perrillo	2.1.5.1. Papa	0.71	22.59	0.42	13.29	-0.29	-9.29	-41.14
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.78	24.83	0.31	9.94	-0.47	-14.89	-59.96
Total Rio_Perrillo		**1.50**	**47.41**	**0.73**	**23.23**	**-0.76**	**-24.18**	**-51.00**
Total general		**80.55**	**2554.13**	**68.37**	**2168.09**	**-12.17**	**-386.04**	**-15.11**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

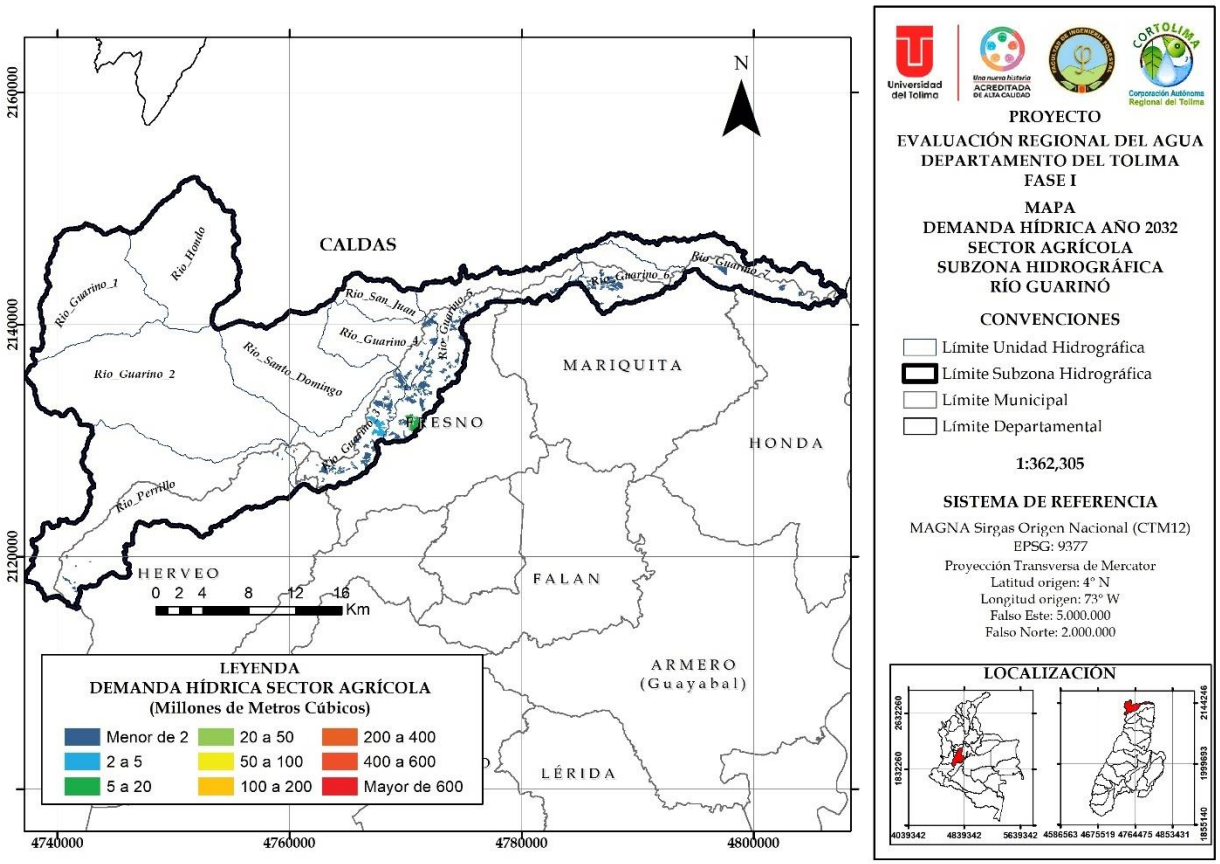


Figura 474. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Guarinó para el año 2032

p. Subzona Hidrográfica del río Gualí

Entre el año 2021 y 2032 se espera que la demanda hídrica de la Subzona Hidrográfica del río Gualí tenga una variación del 45.90% (11581.97 l/s) para un caudal de 36812.33 l/s. Según la *Tabla 434*, los cambios que se prevén en este periodo de tiempo es el incremento de los requerimientos de agua en el 52.94% de los cultivos y por otro lado, la reducción de estos requerimientos en el 47.06%. En el primer caso, en términos de caudal, se destacan el cultivo de aguacate y el mosaico de cultivos con aumentos superiores a los 5000 l/s que equivalen a una variación en su demanda en el orden del 92.28% y el 80.99%, respectivamente. En cuanto a las reducciones, estas se prevén para los cultivos de café, guanábana y los cultivos permanentes herbáceos, en donde se observarán cambios en su caudal de 1438.01 l/s (111.45%), 375.7 l/s (54.14%) y 104.95 (3.36%), respectivamente.

Tabla 434. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola por tipo de cobertura en la Subzona Hidrográfica del río Gualí

Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
2.1.2.2. Maíz	1.56	49.58	2.67	84.63	1.11	35.05	70.69
2.1.5.1. Papa	4.16	131.96	2.48	78.63	-1.68	-53.34	-40.42
2.1.5.2. Yuca	2.01	63.60	1.12	35.54	-0.88	-28.06	-44.12
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	98.60	3126.74	95.30	3021.80	-3.31	-104.95	-3.36
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1.00	31.63	1.16	36.90	0.17	5.28	16.68
2.2.1.3.1. Plátano	6.48	205.42	11.11	352.37	4.63	146.95	71.54
2.2.1.7. Maracuyá	0.52	16.50	0.78	24.59	0.26	8.09	49.06
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	16.32	517.49	29.64	939.96	13.32	422.48	81.64
2.2.2.2. Café	1.60	50.86	1.24	39.30	-0.36	-11.56	-22.73
2.2.2.2.1. Café a plena exposición	91.25	2893.42	65.65	2081.64	-25.60	-811.78	-28.06
2.2.2.2.2. Café con semisombra	55.46	1758.57	42.40	1344.43	-13.06	-414.14	-23.55
2.2.2.2.3. Café con sombra	17.04	540.40	10.72	339.87	-6.32	-200.53	-37.11
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	8.48	268.79	17.77	563.55	9.30	294.76	109.66
2.2.3.5. Aguacate	176.77	5605.22	339.89	10777.74	163.12	5172.52	92.28
2.2.3.6. Guanábana	21.88	693.89	10.03	318.19	-11.85	-375.70	-54.14
2.2.3.8. Mangostino	0.83	26.36	1.01	32.15	0.18	5.79	21.98
2.4.1. Mosaico de cultivos	291.71	9249.93	527.95	16741.04	236.24	7491.11	80.99
Total general	**795.66**	**25230.36**	**1160.91**	**36812.33**	**365.25**	**11581.97**	**45.90**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

Con relación a las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de esta Subzona Hidrográfica, los mayores incrementos de la demanda hídrica que se esperan evidenciar se localizan principalmente en Rio_Cajones con el 199.79% (1791.77 l/s), la cual comprende especialmente una variación del orden de 399.66% (1391.33 l/s) en el volumen de agua destinado al cultivo de aguacate. En el caso de las pérdidas de la demanda hídrica, las UHA con cambios superiores al 20% son la Quebrada_El_Guarumo, Rio_Guali_8 y Directos_Magdalena_Gualí, las cuales están representados por el cultivo de maíz, guanábana, café y yuca. En la *Tabla 435* se exhiben en su totalidad, por UHA, los cambios proyectados de la demanda hídrica del sector agrícola para el año 2032, y en la *Figura 475* se muestra su distribución espacial.

Tabla 435. Cambio de la demanda hídrica del sector agrícola en las Unidades Hidrológicas de Análisis de la Subzona Hidrográfica del río Gualí

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Directos_ Magdalena_ Gualí	2.1.2.2. Maíz	0.01	0.33	0.01	0.21	0.00	-0.12	-35.65
	2.2.3.6. Guanábana	0.26	8.40	0.13	4.19	-0.13	-4.21	-50.08
Total Directos_Magdalena_Gualí		**0.28**	**8.73**	**0.14**	**4.41**	**-0.14**	**-4.32**	**-49.53**
Quebrada_ Agua_de_ Dios	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	4.76	150.98	4.59	145.59	-0.17	-5.39	-3.57
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.19	69.47	2.11	66.99	-0.08	-2.48	-3.57
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.05	1.69	0.05	1.63	0.00	-0.06	-3.57
Total Quebrada_Agua_de_Dios		**7.01**	**222.14**	**6.76**	**214.20**	**-0.25**	**-7.93**	**-3.57**
Quebrada_El _Guarumo	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.03	64.44	1.57	49.87	-0.46	-14.57	-22.62
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.23	70.78	1.73	54.77	-0.50	-16.01	-22.62
	2.2.2.2.3. Café con sombra	1.92	61.02	1.49	47.22	-0.44	-13.80	-22.62
Total Quebrada_El_Guarumo		**6.19**	**196.25**	**4.79**	**151.87**	**-1.40**	**-44.38**	**-22.62**
Quebrada_ Nicua	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	10.55	334.69	19.17	607.93	8.62	273.24	81.64
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	3.34	105.99	2.59	82.02	-0.76	-23.97	-22.62
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.92	60.90	1.49	47.12	-0.43	-13.77	-22.62
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.34	10.86	0.26	8.40	-0.08	-2.46	-22.62
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.84	26.74	1.41	44.62	0.56	17.89	66.89
	2.4.1. Mosaico de cultivos	29.92	948.68	57.78	1832.11	27.86	883.42	93.12
Total Quebrada_Nicua		**46.92**	**1487.85**	**82.69**	**2622.21**	**35.77**	**1134.35**	**76.24**
Quebrada_ San_Jose	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.71	85.93	2.65	84.10	-0.06	-1.83	-2.13
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	1.58	50.18	1.62	51.48	0.04	1.30	2.59
Total Quebrada_San_Jose		**4.29**	**136.11**	**4.28**	**135.58**	**-0.02**	**-0.53**	**-0.39**
Rio_ Aguacatal	2.1.5.1. Papa	0.61	19.28	0.36	11.35	-0.25	-7.93	-41.14
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	10.04	318.26	4.37	138.57	-5.67	-179.69	-56.46
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.23	70.80	0.89	28.35	-1.34	-42.45	-59.96
	2.2.2.2.3. Café con sombra	3.82	121.15	1.57	49.87	-2.25	-71.28	-58.84
	2.2.3.5. Aguacate	2.09	66.13	10.42	330.44	8.34	264.30	399.66
	2.4.1. Mosaico de cultivos	11.98	379.73	24.32	771.26	12.35	391.53	103.11
Total Rio_Aguacatal		**30.76**	**975.35**	**41.94**	**1329.83**	**11.18**	**354.48**	**36.34**
Rio_ Cajones	2.1.5.1. Papa	0.45	14.34	0.27	8.44	-0.19	-5.90	-41.14
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	0.76	24.20	0.31	9.69	-0.46	-14.51	-59.96

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.03	64.47	0.81	25.82	-1.22	-38.66	-59.96
	2.2.3.5. Aguacate	10.98	348.13	54.86	1739.46	43.88	1391.33	399.66
	2.4.1. Mosaico de cultivos	14.05	445.66	28.55	905.17	14.49	459.51	103.11
Total Rio_Cajones		**28.28**	**896.81**	**84.79**	**2688.58**	**56.51**	**1791.77**	**199.79**
Rio_Guali_1	2.1.5.1. Papa	3.10	98.34	1.86	58.83	-1.25	-39.50	-40.17
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.08	2.55	0.08	2.46	0.00	-0.09	-3.57
	2.4.1. Mosaico de cultivos	78.63	2493.44	143.56	4552.40	64.93	2058.96	82.58
Total Rio_Guali_1		**81.81**	**2594.33**	**145.50**	**4613.69**	**63.68**	**2019.37**	**77.84**
Rio_Guali_2	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.17	449.33	6.43	203.75	-7.74	-245.57	-54.65
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	2.54	80.45	2.45	77.58	-0.09	-2.87	-3.57
	2.2.2.2.3. Café con sombra	2.85	90.49	1.72	54.54	-1.13	-35.95	-39.72
	2.2.3.5. Aguacate	7.29	231.03	36.40	1154.36	29.12	923.33	399.66
	2.4.1. Mosaico de cultivos	19.11	605.84	34.85	1105.17	15.75	499.33	82.42
Total Rio_Guali_2		**45.95**	**1457.14**	**81.85**	**2595.40**	**35.90**	**1138.26**	**78.12**
Rio_Guali_3	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	6.00	190.33	5.13	162.75	-0.87	-27.58	-14.49
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	4.49	142.39	4.04	128.23	-0.45	-14.15	-9.94
	2.2.2.2.3. Café con sombra	4.20	133.03	2.64	83.67	-1.56	-49.36	-37.10
Total Rio_Guali_3		**14.69**	**465.74**	**11.82**	**374.65**	**-2.87**	**-91.09**	**-19.56**
Rio_Guali_4	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	12.46	395.25	10.28	325.84	-2.19	-69.42	-17.56
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	3.37	106.85	2.96	93.75	-0.41	-13.10	-12.26
	2.2.2.2.3. Café con sombra	2.16	68.35	1.67	52.89	-0.49	-15.46	-22.62
Total Rio_Guali_4		**17.99**	**570.45**	**14.90**	**472.48**	**-3.09**	**-97.97**	**-17.17**
Rio_Guali_5	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	2.69	85.20	2.24	70.93	-0.45	-14.28	-16.76
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.76	24.14	0.73	23.28	-0.03	-0.86	-3.57
Total Rio_Guali_5		**3.45**	**109.34**	**2.97**	**94.21**	**-0.48**	**-15.14**	**-13.84**
Rio_Guali_6	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	5.76	182.80	10.47	332.04	4.71	149.24	81.64
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	14.25	451.71	11.60	367.79	-2.65	-83.92	-18.58
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	4.15	131.48	3.92	124.16	-0.23	-7.33	-5.57
	2.2.2.2.3. Café con sombra	1.14	36.24	0.88	28.04	-0.26	-8.19	-22.62
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.88	27.94	5.49	174.05	4.61	146.12	523.00
	2.2.3.5. Aguacate	10.82	343.22	25.67	814.04	14.85	470.82	137.17
	2.2.3.6. Guanábana	0.46	14.73	0.15	4.63	-0.32	-10.10	-68.56
	2.4.1. Mosaico de cultivos	39.07	1238.97	58.94	1869.03	19.87	630.06	50.85

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
Total Rio_Guali_6		**76.54**	**2427.08**	**117.12**	**3713.78**	**40.58**	**1286.70**	**53.01**
Rio_Guali_7	2.1.2.2. Maíz	0.07	2.30	0.13	4.27	0.06	1.97	85.80
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	0.21	6.58	0.35	10.97	0.14	4.40	66.89
	2.2.3.5. Aguacate	2.65	84.02	3.18	100.74	0.53	16.71	19.89
	2.2.3.6. Guanábana	0.27	8.66	0.08	2.63	-0.19	-6.03	-69.68
	2.4.1. Mosaico de cultivos	0.80	25.52	0.98	30.94	0.17	5.42	21.25
Total Rio_Guali_7		**4.01**	**127.08**	**4.72**	**149.55**	**0.71**	**22.47**	**17.69**
Rio_Guali_8	2.1.2.2. Maíz	0.08	2.38	0.14	4.42	0.06	2.04	85.80
	2.1.5.2. Yuca	0.58	18.39	0.32	10.28	-0.26	-8.11	-44.12
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	0.19	6.02	0.15	4.66	-0.04	-1.36	-22.62
Total Rio_Guali_8		**0.84**	**26.79**	**0.61**	**19.36**	**-0.23**	**-7.43**	**-27.74**
Rio_Guali_9	2.1.2.2. Maíz	1.41	44.57	2.39	75.72	0.98	31.15	69.90
	2.1.5.2. Yuca	1.11	35.04	0.62	19.58	-0.49	-15.46	-44.12
	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	98.60	3126.74	95.30	3021.80	-3.31	-104.95	-3.36
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1.00	31.63	1.16	36.90	0.17	5.28	16.68
	2.2.1.3.1. Plátano	4.05	128.27	6.94	220.03	2.89	91.76	71.54
	2.2.1.7. Maracuyá	0.52	16.50	0.78	24.59	0.26	8.09	49.06
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	1.76	55.90	2.55	80.82	0.79	24.93	44.60
	2.2.3.5. Aguacate	1.60	50.63	1.91	60.70	0.32	10.07	19.89
	2.2.3.6. Guanábana	0.46	14.46	0.14	4.38	-0.32	-10.08	-69.68
	2.2.3.8. Mangostino	0.83	26.36	1.01	32.15	0.18	5.79	21.98
	2.4.1. Mosaico de cultivos	3.50	110.90	3.96	125.64	0.46	14.74	13.29
Total Rio_Guali_9		**114.82**	**3640.99**	**116.76**	**3702.32**	**1.93**	**61.33**	**1.68**
Rio_ Medina	2.2.1.3.1. Plátano	1.86	59.06	3.20	101.32	1.33	42.25	71.54
	2.2.2.2. Café	1.60	50.86	1.24	39.30	-0.36	-11.56	-22.73
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	13.65	432.75	10.51	333.15	-3.14	-99.61	-23.02
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	14.80	469.26	10.33	327.66	-4.47	-141.61	-30.18
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.48	15.22	0.37	11.78	-0.11	-3.44	-22.62
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	1.43	45.22	2.38	75.47	0.95	30.25	66.89
	2.2.3.5. Aguacate	9.36	296.68	11.22	355.70	1.86	59.02	19.89
	2.2.3.6. Guanábana	9.44	299.41	4.28	135.65	-5.16	-163.76	-54.69
	2.4.1. Mosaico de cultivos	32.72	1037.57	59.52	1887.41	26.80	849.84	81.91
Total Rio_Medina		**85.34**	**2706.04**	**103.04**	**3267.42**	**17.70**	**561.39**	**20.75**
Rio_ Sucio	2.1.5.2. Yuca	0.32	10.17	0.18	5.68	-0.14	-4.49	-44.12
	2.2.1.3.1. Plátano	0.57	18.09	0.98	31.03	0.41	12.94	71.54
	2.2.2.2.1. Café a plena exposición	4.39	139.05	3.39	107.60	-0.99	-31.45	-22.62

UHA	Coberturas	DH. Agrícola 2021		DH. Agrícola 2032		Cambio DH. Agrícola 2021 -2032		
		Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	Mm³/año	l/s	%
	2.2.2.2.2. Café con semisombra	12.89	408.83	9.09	288.13	-3.81	-120.70	-29.52
	2.2.2.2.3. Café con sombra	0.07	2.36	0.06	1.83	-0.02	-0.53	-22.62
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.36	106.42	5.60	177.60	2.24	71.18	66.89
	2.2.3.5. Aguacate	131.99	4185.37	196.23	6222.31	64.24	2036.94	48.67
	2.2.3.6. Guanábana	10.98	348.23	5.26	166.70	-5.72	-181.53	-52.13
	2.4.1. Mosaico de cultivos	61.93	1963.63	115.48	3661.91	53.56	1698.28	86.49
Total Rio_Sucio		**226.50**	**7182.15**	**336.26**	**10662.80**	**109.77**	**3480.65**	**48.46**
Total general		**795.66**	**25230.36**	**1160.91**	**36812.33**	**365.25**	**11581.97**	**45.90**

* Los valores negativos indican las disminuciones de la demanda hídrica que se prevén para el 2032 mientras que los valores positivos señalan los incrementos de esta.

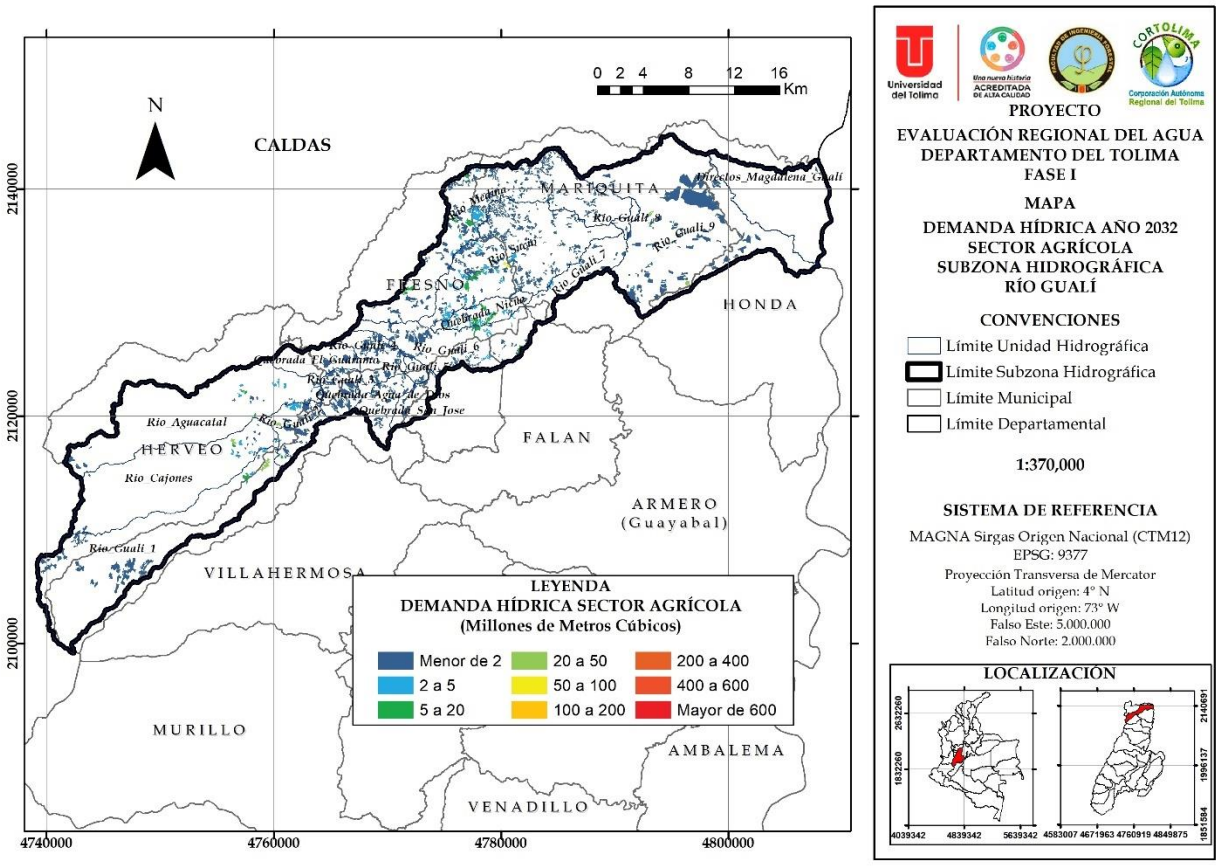


Figura 475. Demanda hídrica calculada del sector agrícola en la Subzona Hidrográfica del río Gualí para el año 2032

22.2. Demanda Hídrica Consumo Humano y Doméstico

Se refiere al agua utilizada en actividades tales como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, y preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración (Decreto 3930 de 2010).

La demanda se establece a partir de la estimación del consumo que un habitante requiere para satisfacer las necesidades básicas en un día (IDEAM, 2013), teniendo en cuenta los criterios del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), para la zona urbana (Resolución 0330 de 2017 s.f.) y zona rural (Resolución 0844 de 2018 s.f.). Se toman como fuente de información básica: los censos poblacionales realizados por el DANE y los indicadores técnicos de los sistemas de distribución de agua potable reportados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) y el Plan Departamental de Aguas (PDA) del departamento del Tolima.

22.2.1. Proyecciones de población

La estimación de la demanda hídrica actual y futura para consumo humano y doméstico de las Subzonas Hidrográficas del río Coello, río Opia, río Totare, río Recio y Venadillo, río Sabandija, río Lagunilla, río Gualí y río Guarinó se realizó a partir de la proyección del crecimiento poblacional urbano y rural de los municipios que conforman dichas unidades hidrográficas, el cual está diseñado para un horizonte de 10 años, con base en los cuatro últimos censos de población colombiana según el DANE para los años 1985, 1993, 2005 y 2018 (Tabla 436). Los resultados de estas proyecciones por municipio se presentan en el Anexo 6 de este informe.

Tabla 436. Población municipal de los años 1985, 1993, 2005 y 2018 por área geográfica según el DANE.

Municipio	Área Geográfica	1985	1993	2005	2018
Alvarado	Total	9215	7589	8873	8697
Alvarado	Cabecera	1880	2253	3138	3236
Alvarado	Centros Poblados y Rural Disperso	7335	5336	5735	5461
Ambalema	Total	8512	7277	7563	6657
Ambalema	Cabecera	5398	5462	5730	5261
Ambalema	Centros Poblados y Rural Disperso	3114	1815	1833	1396
Anzoátegui	Total	10739	9700	8371	10217

Municipio	Área Geográfica	1985	1993	2005	2018
Anzoátegui	Cabecera	1894	1791	2016	1469
Anzoátegui	Centros Poblados y Rural Disperso	8845	7909	6355	8748
Armero	Total	25618	13361	12852	12696
Armero	Cabecera	2433	8355	8745	8184
Armero	Centros Poblados y Rural Disperso	23185	5006	4107	4512
Cajamarca	Total	19325	18701	19501	18471
Cajamarca	Cabecera	7694	7876	9264	9461
Cajamarca	Centros Poblados y Rural Disperso	11631	10825	10237	9010
Casabianca	Total	7545	6501	6793	6373
Casabianca	Cabecera	1594	1498	1478	1720
Casabianca	Centros Poblados y Rural Disperso	5951	5003	5315	4653
Coello	Total	9875	6984	8940	8248
Coello	Cabecera	919	912	1531	1482
Coello	Centros Poblados y Rural Disperso	8956	6072	7409	6766
Espinal	Total	58696	63859	75375	70494
Espinal	Cabecera	40733	43422	55329	50664
Espinal	Centros Poblados y Rural Disperso	17963	20437	20046	19830
Falan	Total	16406	17251	7923	7693
Falan	Cabecera	2448	4426	1659	1764
Falan	Centros Poblados y Rural Disperso	13958	12825	6264	5929
Flandes	Total	22793	22064	27683	28389
Flandes	Cabecera	18417	19028	23484	24551
Flandes	Centros Poblados y Rural Disperso	4376	3036	4199	3838
Fresno	Total	27569	29908	30750	31069
Fresno	Cabecera	10848	12787	14268	15713
Fresno	Centros Poblados y Rural Disperso	16721	17121	16482	15356
Guamo	Total	36291	32416	34254	32940
Guamo	Cabecera	14128	14157	16163	16656
Guamo	Centros Poblados y Rural Disperso	22163	18259	18091	16284
Herveo	Total	10479	10292	8901	7363
Herveo	Cabecera	1995	2701	2205	2179
Herveo	Centros Poblados y Rural Disperso	8484	7591	6696	5184
Honda	Total	27885	27938	26873	24693
Honda	Cabecera	26753	27202	25991	23658
Honda	Centros Poblados y Rural Disperso	1132	736	882	1035
Ibagué	Total	314954	365136	495246	529635
Ibagué	Cabecera	288575	340191	465859	492554
Ibagué	Centros Poblados y Rural Disperso	26379	24945	29387	37081
Lérida	Total	15777	20153	18115	18574
Lérida	Cabecera	11084	13964	13977	13735
Lérida	Centros Poblados y Rural Disperso	4693	6189	4138	4839
Líbano	Total	41590	39785	41650	36773
Líbano	Cabecera	25267	26337	25772	23605

Municipio	Área Geográfica	1985	1993	2005	2018
Líbano	Centros Poblados y Rural Disperso	16323	13448	15878	13168
Mariquita	Total	26056	27198	32642	37770
Mariquita	Cabecera	16696	19009	23376	27907
Mariquita	Centros Poblados y Rural Disperso	9360	8189	9266	9863
Murillo	Total	5875	5460	4953	4113
Murillo	Cabecera	2034	1846	1569	1758
Murillo	Centros Poblados y Rural Disperso	3841	3614	3384	2355
Palocabildo	Total	0	0	9433	9730
Palocabildo	Cabecera	0	0	2654	3000
Palocabildo	Centros Poblados y Rural Disperso	0	0	6779	6730
Piedras	Total	5916	4421	5370	6711
Piedras	Cabecera	1359	1192	1612	2280
Piedras	Centros Poblados y Rural Disperso	4557	3229	3758	4431
Roncesvalles	Total	5780	7647	6090	5459
Roncesvalles	Cabecera	1460	2686	1727	1875
Roncesvalles	Centros Poblados y Rural Disperso	4320	4961	4363	3584
Rovira	Total	25060	21822	21250	21674
Rovira	Cabecera	7237	7116	9391	10080
Rovira	Centros Poblados y Rural Disperso	17823	14706	11859	11594
San Luis	Total	15446	16003	13447	13553
San Luis	Cabecera	3010	3254	3663	3765
San Luis	Centros Poblados y Rural Disperso	12436	12749	9784	9788
Santa Isabel	Total	7711	6220	6453	5769
Santa Isabel	Cabecera	2190	2111	2235	2171
Santa Isabel	Centros Poblados y Rural Disperso	5521	4109	4218	3598
Valle de San Juan	Total	6052	4999	6131	5345
Valle de San Juan	Cabecera	1650	1562	2490	2104
Valle de San Juan	Centros Poblados y Rural Disperso	4402	3437	3641	3241
Venadillo	Total	15562	15128	18576	12817
Venadillo	Cabecera	8372	10365	13208	8639
Venadillo	Centros Poblados y Rural Disperso	7190	4763	5368	4178
Villahermosa	Total	11443	12574	10919	9283
Villahermosa	Cabecera	3762	3155	3399	3364
Villahermosa	Centros Poblados y Rural Disperso	7681	9419	7520	5919

Los métodos de cálculo empleados para la proyección de población en cada municipio fueron los modelos matemáticos aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo con mejor ajuste al comportamiento histórico de la población (*Figura 476*), según los criterios establecidos por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2010).

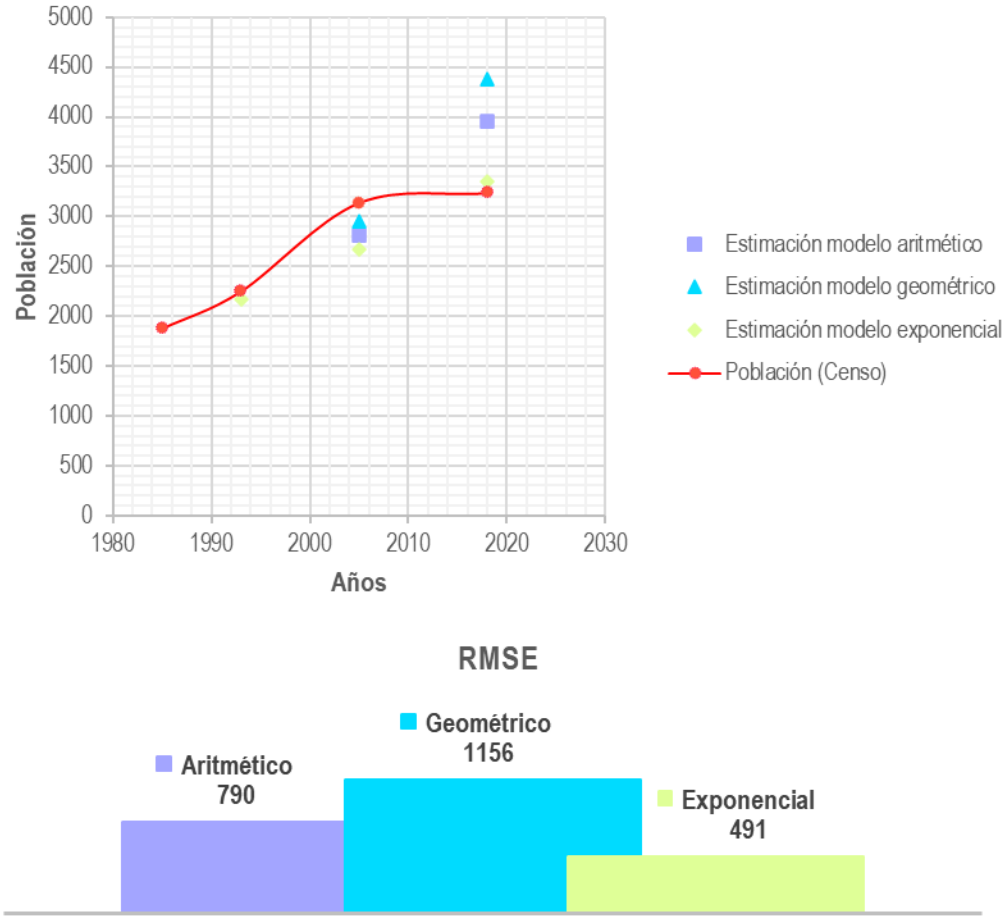


Figura 476. Selección de modelos para proyección de la población. Ejemplo: proyección de la población de la cabecera rural de Alvarado

A continuación, se describirá cada uno de los modelos:

a. Método Aritmético

Este método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. La población proyectada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_f = P_{\text{uc}} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{\text{uc}})$$

Donde:

P_f: Población (hab) proyectada para el año t
P_{uc}: Población (hab) del último año censado
P_{ci}: Población (hab) del censo inicial.
T: Año al cual se quiere proyectar

T_{ci}: Año del censo inicial
T_{uc}: Último año censado

b. Método Geométrico

Este método es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden dotarse de servicios públicos sin mayores dificultades. La población proyectada se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_f = P_{uc}(1+r)^{Tf-Tuc}$$

Donde r es la tasa de crecimiento anual calculada de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)^{\frac{1}{(T_{uc}-T_{ci})}}$$

Donde:
P_f: Población (hab) proyectada para el año t
P_{uc}: Población (hab) del último año censado
P_{ci}: Población (hab) del censo inicial.
t_f: Año al cual se quiere proyectar
T_{ci}: Año del censo inicial
T_{uc}: Último año censado
r: Tasa de crecimiento

c. Método Exponencial

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren apreciable desarrollo y poseen abundantes áreas de expansión, es un método que tiene más memoria de la tasa de crecimiento/decrecimiento en comparación con los dos anteriores. Su expresión es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población la cual se calcula como el promedio de las tasas calculadas para cada par de censos, así:

$$k = \frac{Ln\ P_{cp} - Ln\ P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde:
P_f: Población (hab) proyectada para el año t
P_{ci}: Población (hab) del censo inicial.

T_f: Año al cual se quiere proyectar
T_{ci}: Año del censo inicial
P_{cp}: Población (hab) censo posterior
P_{ca}: Población (hab) censo anterior
T_{cp}: Año censo posterior
T_{ca}: Año censo anterior

Para evaluar el ajuste de dichos modelos con el comportamiento histórico de la población, se utilizó la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) aplicando la siguiente ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pp - Pc)^2}{N}}$$

Donde:

P_p: Población proyectada
P_c: Población censada
N: número de censos

22.2.2. Proyecciones de la demanda hídrica para consumo humano y doméstico

Con base en los resultados de la proyección de la población, se procedió hacer el cálculo de la demanda hídrica actual y futura para consumo humano y doméstico de cada uno los municipios que integran las Subzonas Hidrográficas del río Coello, río Opia, río Totare, río Recio y Venadillo, río Sabandija, río Lagunilla, río Gualí y río Guarinó.

Con el fin de reconocer las pérdidas técnicas en la estimación de la demanda actual y proyectada, se consideró el índice de agua no contabilizada (IANC) municipal de acuerdo con Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020) y Plan Departamental de Aguas (PDA) del departamento del Tolima; esta información, permitió calcular el Caudal Medio Diario (Qmd), Caudal Máximo Diario (QMD) y Caudal Máximo Horario (QMH) tanto en las cabeceras municipales como en el sector rural de los municipios objeto de estudio. Las anteriores variables se definieron en la sección 19.3 del presente documento. En la *Tabla 437* se presentan los resultados de la de la demanda hídrica estimados para el año 2021.

En cuanto a las proyecciones de la demanda hídrica, se definieron dos escenarios de proyección: (i) demanda hídrica actual y futura de uso doméstico en la zona urbana y centros poblados sin considerar la población flotante y (ii) demanda hídrica actual y futura de uso doméstico en la zona urbana y centros poblados considerando la población flotante. Los resultados generales de la proyección de estos dos escenarios se muestran en las *Tabla 438* y *Tabla 439*, respectivamente. En ambos casos, la demanda hídrica se proyecta teniendo en cuenta el IANC (%) actual por municipio y el máximo permitido (25%), según los lineamientos del RAS (Resolución 0330 de 2017). La población flotante por municipio se estableció con base en la información reportada por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo para el primer semestre del año 2021, que permitió definir el porcentaje de turistas que pernotaron en cada municipio con relación al total de visitantes que pernotaron en el departamento en este periodo de tiempo.

Tabla 437. Estimación de la demanda hídrica actual para consumo humano y doméstico por área geográfica de cada municipio

Departamento	Municipio	Elevación (m.s.n.m)	Área Geográfica	Año	Población	Método de Proyección	Dotación neta (l/habitante/dia)	Pérdidas del sistema (IANC) (%)	Dotación bruta	Caudal medio diario (LPS)	Caudal máximo diario (LPS)	Caudal máximo horario (LPS)
Tolima	Alvarado	439	Cabecera	2021	3534	Método Exponencial	140	53%	297.87	12.18	15.84	25.34
Tolima	Alvarado	867	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	4675	Método Exponencial	140	53%	297.87	16.12	20.95	33.53
Tolima	Alvarado	653	Total	2021	7905	Método Exponencial	140	53%	297.87	27.25	35.43	56.68
Tolima	Ambalema	241	Cabecera	2021	5327	Método Exponencial	140	54%	304.35	18.76	24.39	39.03
Tolima	Ambalema	268	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	1088	Método Exponencial	140	54%	304.35	3.83	4.98	7.97
Tolima	Ambalema	255	Total	2021	6216	Método Exponencial	140	54%	304.35	21.90	28.46	45.54
Tolima	Anzoátegui	2010	Cabecera	2021	1464	Método Exponencial	120	65%	342.86	5.81	7.55	12.08
Tolima	Anzoátegui	2082	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	8071	Método Exponencial	120	65%	342.86	32.03	41.64	66.62
Tolima	Anzoátegui	2046	Total	2021	9562	Método Exponencial	120	65%	342.86	37.95	49.33	78.93
Tolima	Armero	285	Cabecera	2021	15243	Método Exponencial	140	48%	269.23	47.50	57.00	85.50
Tolima	Armero	606	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	3888	Método Geométrico	140	48%	269.23	12.12	15.75	25.20
Tolima	Armero	446	Total	2021	9177	Método Exponencial	140	48%	269.23	28.60	37.18	59.48
Tolima	Cajamarca	1814	Cabecera	2021	9557	Método Exponencial	130	54%	282.61	31.26	40.64	65.02
Tolima	Cajamarca	2366	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	8778	Método Exponencial	120	54%	260.87	26.50	34.45	55.13
Tolima	Cajamarca	2090	Total	2021	18246	Método Exponencial	120	54%	260.87	55.09	66.11	99.16
Tolima	Casabianca	2081	Cabecera	2021	1648	Método Exponencial	120	44%	214.29	4.09	5.31	8.50
Tolima	Casabianca	1803	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	4310	Método Exponencial	130	44%	232.14	11.58	15.06	24.09
Tolima	Casabianca	1942	Total	2021	5945	Método Exponencial	130	44%	232.14	15.97	20.76	33.22
Tolima	Coello	329	Cabecera	2021	1480	Método Exponencial	140	71%	482.76	8.27	10.75	17.20
Tolima	Coello	498	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	5610	Método Exponencial	140	71%	482.76	31.35	40.75	65.20
Tolima	Coello	414	Total	2021	6979	Método Exponencial	140	71%	482.76	39.00	50.70	81.12
Tolima	Espinal	323	Cabecera	2021	52665	Método Exponencial	140	73%	518.52	316.06	379.28	568.91
Tolima	Espinal	387	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	21169	Método Exponencial	140	73%	518.52	127.04	152.45	228.68
Tolima	Espinal	355	Total	2021	73909	Método Exponencial	140	73%	518.52	443.55	532.26	798.40

Departamento	Municipio	Elevación (m.s.n.m)	Área Geográfica	Año	Población	Método de Proyección	Dotación neta (l/habitante/dia)	Pérdidas del sistema (IANC) (%)	Dotación bruta	Caudal medio diario (LPS)	Caudal máximo diario (LPS)	Caudal máximo horario (LPS)
Tolima	Falan	990	Cabecera	2021	2361	Método Exponencial	140	54%	304.35	8.32	10.81	17.30
Tolima	Falan	1060	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	5707	Método Exponencial	130	54%	282.61	18.67	24.27	38.83
Tolima	Falan	1025	Total	2021	7907	Método Exponencial	130	54%	282.61	25.86	33.62	53.79
Tolima	Flandes	285	Cabecera	2021	24870	Método Exponencial	140	54%	304.35	87.60	105.13	157.69
Tolima	Flandes	292	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	3219	Método Exponencial	140	54%	304.35	11.34	14.74	23.59
Tolima	Flandes	289	Total	2021	27877	Método Exponencial	140	54%	304.35	98.20	117.84	176.76
Tolima	Fresno	1465	Cabecera	2021	16933	Método Exponencial	130	63.6%	357.14	70.00	84.00	125.99
Tolima	Fresno	1493	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	15623	Método Exponencial	130	63.6%	357.14	64.58	77.50	116.25
Tolima	Fresno	1479	Total	2021	32334	Método Exponencial	130	63.6%	357.14	133.66	160.39	240.58
Tolima	Guamo	321	Cabecera	2021	16635	Método Exponencial	140	65%	400.00	77.01	92.41	138.62
Tolima	Guamo	801	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	14900	Método Exponencial	140	65%	400.00	68.98	82.78	124.17
Tolima	Guamo	561	Total	2021	31226	Método Exponencial	140	65%	400.00	144.56	173.48	260.21
Tolima	Herveo	2250	Cabecera	2021	2538	Método Exponencial	120	40%	200.00	5.87	7.64	12.22
Tolima	Herveo	2265	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	5001	Método Exponencial	120	40%	200.00	11.58	15.05	24.08
Tolima	Herveo	2258	Total	2021	7404	Método Exponencial	120	40%	200.00	17.14	22.28	35.65
Tolima	Honda	229	Cabecera	2021	24029	Método Exponencial	140	71%	482.76	134.26	161.11	241.67
Tolima	Honda	372	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	824	Método Exponencial	140	71%	482.76	4.61	5.99	9.58
Tolima	Honda	301	Total	2021	24878	Método Exponencial	140	71%	482.76	139.00	166.81	250.21
Tolima	Ibagué	1285	Cabecera	2021	532506	Método Exponencial	130	46.3%	242.09	1492.04	1790.45	2685.67
Tolima	Ibagué	1733	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	35420	Método Exponencial	130	46.3%	242.09	99.24	119.09	178.64
Tolima	Ibagué	1509	Total	2021	567333	Método Exponencial	130	46.3%	242.09	1589.62	1907.54	2861.31
Tolima	Lérida	366	Cabecera	2021	15437	Método Exponencial	140	60%	350.00	62.53	75.04	112.56
Tolima	Lérida	654	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	5491	Método Exponencial	140	60%	350.00	22.24	28.91	46.26
Tolima	Lérida	510	Total	2021	20952	Método Exponencial	140	60%	350.00	84.88	101.85	152.78
Tolima	Líbano	1565	Cabecera	2021	24263	Método Exponencial	130	64.8%	369.32	103.71	124.46	186.68
Tolima	Líbano	1416	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	12126	Método Exponencial	130	64.8%	369.32	51.83	67.38	107.81

Departamento	Municipio	Elevación (m.s.n.m)	Área Geográfica	Año	Población	Método de Proyección	Dotación neta (l/habitante/dia)	Pérdidas del sistema (IANC) (%)	Dotación bruta	Caudal medio diario (LPS)	Caudal máximo diario (LPS)	Caudal máximo horario (LPS)
Tolima	Líbano	1491	Total	2021	36312	Método Exponencial	130	64.8%	369.32	155.22	186.26	279.39
Tolima	Mariquita	495	Cabecera	2021	29374	Método Exponencial	140	61.4%	362.69	123.31	147.97	221.96
Tolima	Mariquita	856	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	9181	Método Exponencial	140	61.4%	362.69	38.54	50.10	80.17
Tolima	Mariquita	676	Total	2021	38158	Método Exponencial	140	61.4%	362.69	160.18	192.22	288.33
Tolima	Murillo	2950	Cabecera	2021	1660	Método Exponencial	120	48%	230.77	4.43	5.76	9.22
Tolima	Murillo	2934	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	2349	Método Exponencial	120	48%	230.77	6.27	8.16	13.05
Tolima	Murillo	2942	Total	2021	4022	Método Exponencial	120	48%	230.77	10.74	13.97	22.35
Tolima	Palocabildo	1450	Cabecera	2021	3090	Método Geométrico	130	54%	282.61	10.11	13.14	21.02
Tolima	Palocabildo	1359	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	6751	Método Geométrico	130	54%	282.61	22.08	28.71	45.93
Tolima	Palocabildo	1405	Total	2021	9840	Método Geométrico	130	54%	282.61	32.19	41.84	66.95
Tolima	Piedras	403	Cabecera	2021	2079	Método Exponencial	140	54%	304.35	7.32	9.52	15.23
Tolima	Piedras	485	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	3683	Método Exponencial	140	54%	304.35	12.97	16.87	26.98
Tolima	Piedras	444	Total	2021	5703	Método Exponencial	140	54%	304.35	20.09	26.11	41.78
Tolima	Roncesvalles	2640	Cabecera	2021	2527	Método Exponencial	120	54%	260.87	7.63	9.92	15.87
Tolima	Roncesvalles	3828	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	3899	Método Exponencial	120	54%	260.87	11.77	15.31	24.49
Tolima	Roncesvalles	3234	Total	2021	6332	Método Exponencial	120	54%	260.87	19.12	24.85	39.77
Tolima	Rovira	949	Cabecera	2021	9941	Método Exponencial	140	54%	304.35	35.02	45.52	72.84
Tolima	Rovira	1784	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	10550	Método Exponencial	130	54%	282.61	34.51	44.86	71.78
Tolima	Rovira	1367	Total	2021	20195	Método Exponencial	130	54%	282.61	66.06	79.27	118.90
Tolima	San Luis	503	Cabecera	2021	3906	Método Exponencial	140	54%	304.35	13.76	17.89	28.62
Tolima	San Luis	959	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	9910	Método Exponencial	140	54%	304.35	34.91	45.38	72.61
Tolima	San Luis	731	Total	2021	13787	Método Exponencial	140	54%	304.35	48.56	58.28	87.42
Tolima	Santa Isabel	2250	Cabecera	2021	2136	Método Exponencial	120	54%	260.87	6.45	8.39	13.42
Tolima	Santa Isabel	2276	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	3142	Método Exponencial	120	54%	260.87	9.49	12.33	19.73
Tolima	Santa Isabel	2263	Total	2021	5226	Método Exponencial	120	54%	260.87	15.78	20.51	32.82
Tolima	Valle de San Juan	600	Cabecera	2021	2074	Método Exponencial	140	54%	304.35	7.31	9.50	15.19

Departamento	Municipio	Elevación (m.s.n.m)	Área Geográfica	Año	Población	Método de Proyección	Dotación neta (l/habitante/dia)	Pérdidas del sistema (IANC) (%)	Dotación bruta	Caudal medio diario (LPS)	Caudal máximo diario (LPS)	Caudal máximo horario (LPS)
Tolima	Valle de San Juan	1712	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	2890	Método Exponencial	130	54%	282.61	9.45	12.29	19.66
Tolima	Valle de San Juan	1156	Total	2021	4909	Método Exponencial	130	54%	282.61	16.06	20.88	33.40
Tolima	Venadillo	349	Cabecera	2021	9932	Método Exponencial	140	52%	291.67	33.53	43.58	69.74
Tolima	Venadillo	957	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	3467	Método Exponencial	140	52%	291.67	11.70	15.21	24.34
Tolima	Venadillo	653	Total	2021	13003	Método Exponencial	140	52%	291.67	43.89	52.67	79.01
Tolima	Villahermosa	2079	Cabecera	2021	3083	Método Exponencial	120	47%	226.42	8.08	10.50	16.81
Tolima	Villahermosa	1934	Centros Poblados y Rural Disperso	2021	6676	Método Exponencial	130	47%	245.28	18.95	24.64	39.42
Tolima	Villahermosa	2007	Total	2021	9853	Método Exponencial	120	47%	226.42	25.82	33.57	53.71

Tabla 438. Demanda hídrica para consumo humano y doméstico por el total del municipio (escenario i)

Departamento	Municipio	Área Geográfica	Pérdidas del sistema (IANC) (%)	Demanda Hídrica 2021		Demanda Hídrica 2032		IANC (%) Max res. 330-2017 MinVivienda	Demanda Hídrica 2032	
				l/s	M³/Año	l/s	M3/Año		l/s	M³/Año
Tolima	Alvarado	Total	53%	28.30	0.89	28.82	0.91	25%	18.06	0.57
Tolima	Ambalema	Total	54%	22.60	0.71	21.47	0.68	25%	13.17	0.42
Tolima	Anzoátegui	Total	65%	37.84	1.19	36.51	1.15	25%	17.04	0.54
Tolima	Armero	Total	48%	59.62	1.88	90.24	2.85	25%	62.56	1.97
Tolima	Cajamarca	Total	54%	57.76	1.82	57.72	1.82	25%	35.40	1.12
Tolima	Casabianca	Total	44%	15.67	0.49	14.62	0.46	25%	10.92	0.34
Tolima	Coello	Total	71%	39.62	1.25	36.74	1.16	25%	14.21	0.45
Tolima	Falan	Total	54%	26.98	0.85	22.43	0.71	25%	13.76	0.43
Tolima	Fresno	Total	63.6%	134.58	4.24	143.45	4.52	25%	69.62	2.20
Tolima	Herveo	Total	40%	17.45	0.55	16.17	0.51	25%	12.94	0.41
Tolima	Honda	Total	71%	138.87	4.38	134.11	4.23	25%	51.85	1.64
Tolima	Ibagué	Total	46.3%	1591.28	50.18	1907.79	60.16	25%	1365.98	43.08
Tolima	Lérida	Total	60%	84.78	2.67	92.53	2.92	25%	49.35	1.56
Tolima	Líbano	Total	64.8%	155.54	4.91	149.77	4.72	25%	70.29	2.22
Tolima	Mariquita	Total	61.4%	161.85	5.10	184.86	5.83	25%	95.14	3.00
Tolima	Murillo	Total	48%	10.71	0.34	9.57	0.30	25%	6.63	0.21
Tolima	Palocabildo	Total	54%	32.19	1.02	33.24	1.05	25%	20.39	0.64
Tolima	Piedras	Total	54%	20.30	0.64	20.50	0.65	25%	12.57	0.40
Tolima	Santa Isabel	Total	54%	15.94	0.50	14.39	0.45	25%	8.82	0.28
Tolima	Venadillo	Total	52%	45.23	1.43	44.69	1.41	25%	28.60	0.90
Tolima	Villahermosa	Total	47%	27.03	0.85	25.76	0.81	25%	18.21	0.57

Tabla 439. Demanda hídrica para consumo humano y doméstico por el total del municipio (escenario ii)

Departamento	Municipio	Área Geográfica	Pérdidas del sistema (IANC) (%)	Demanda Hídrica 2021		Demanda Hídrica 2032		IANC (%) Max res. 330-2017 MinVivienda	Demanda Hídrica 2032	
				l/s	M³/Año	l/s	M3/Año		l/s	M³/Año
Tolima	Alvarado	Total	53%	28.33	0.89	28.85	0.91	25%	18.08	0.57
Tolima	Ambalema	Total	54%	22.63	0.71	21.50	0.68	25%	13.19	0.42
Tolima	Anzoátegui	Total	65%	37.84	1.19	36.51	1.15	25%	17.04	0.54
Tolima	Armero	Total	48%	59.64	1.88	90.26	2.85	25%	62.58	1.97
Tolima	Cajamarca	Total	54%	57.82	1.82	57.77	1.82	25%	35.43	1.12
Tolima	Casabianca	Total	44%	15.69	0.49	14.64	0.46	25%	10.93	0.34
Tolima	Coello	Total	71%	39.62	1.25	36.74	1.16	25%	14.21	0.45
Tolima	Falan	Total	54%	27.16	0.86	22.60	0.71	25%	13.86	0.44
Tolima	Fresno	Total	63.6%	134.68	4.25	143.55	4.53	25%	69.67	2.20
Tolima	Herveo	Total	40%	17.45	0.55	16.17	0.51	25%	12.94	0.41
Tolima	Honda	Total	71%	139.19	4.39	134.43	4.24	25%	51.98	1.64
Tolima	Ibagué	Total	46.3%	1609.47	50.76	1925.98	60.74	25%	1379.00	43.49
Tolima	Lérida	Total	60%	84.81	2.67	92.56	2.92	25%	49.37	1.56
Tolima	Líbano	Total	64.8%	155.65	4.91	149.87	4.73	25%	70.34	2.22
Tolima	Mariquita	Total	61.4%	162.02	5.11	185.03	5.84	25%	95.23	3.00
Tolima	Murillo	Total	48%	10.71	0.34	9.57	0.30	25%	6.63	0.21
Tolima	Palocabildo	Total	54%	32.27	1.02	33.32	1.05	25%	20.44	0.64
Tolima	Piedras	Total	54%	20.35	0.64	20.55	0.65	25%	12.61	0.40
Tolima	Santa Isabel	Total	54%	15.94	0.50	14.39	0.45	25%	8.82	0.28
Tolima	Venadillo	Total	52%	45.26	1.43	44.72	1.41	25%	28.62	0.90
Tolima	Villahermosa	Total	47%	27.08	0.85	25.80	0.81	25%	18.24	0.58

22.3. Demanda Hídrica Pecuaria

Se refiere a la cantidad de agua requerida para las actividades de cría, levante, engorde, beneficio y sacrificio de bovinos, porcinos, caprinos y aves, al igual que para la producción de huevos, leche, lana y pieles (IDEAM, 2013).

22.3.1. Cálculo de la demanda hídrica

La demanda hídrica pecuaria se estima a partir del número de animales existente en el área de estudio, multiplicado por el módulo de consumo de la cadena de producción. En este caso, se utilizó los módulos de consumo adoptados por CORPOCALDAS mediante Resolución 2019-0576 del 28 de febrero de 2019 (*Tabla 440*) y la información del Censo Pecuario Nacional desarrollado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) del año 2016 al 2021.

Tabla 440. Módulos de consumo utilizados para el cálculo de la demanda hídrica pecuaria

Especie	Módulo de consumo (l/s/animal) Resolución 2019-0576 del 28 de febrero de 2019 CORPOCALDAS
Aves	0.00002
Bovinos	0.001
Búfalos*	0.001
Porcinos	0.0003
Equinos	0.0005
Caprinos**	0.0002
Ovinos	0.0002

***Se asigna el mismo módulo de consumo del ganado bovino**
**** Se asigna el mismo módulo de consumo del ganado ovino**

22.3.2. Proyección de la demanda hídrica

Las proyecciones de la demanda hídrica para uso pecuario se realizaron para cada uno de los municipios que integran las Subzonas Hidrográficas del río Coello, río Opia, río Totare, río Recio y Venadillo, río Sabandija, río Lagunilla, río Gualí y río Guarinó. La metodología de proyección consistió principalmente en realizar la proyección de la población de aves, porcinos, equinos, ovinos, búfalos, caprinos y porcinos con base en

el registro histórico de esta población reportada en el Censo Pecuario Nacional desarrollado por el ICA del año 2016 al 2021. Para realizar la proyección de esta población se utilizaron los mismos modelos aritmético, exponencial y geométrico de la proyección de la población urbana y rural en el cálculo de la demanda hídrica para consumo humano y doméstico. A cada una de las proyecciones poblacionales realizadas se le aplicó el módulo de consumo según el tipo de especie. En el Anexo 4 del presente documento se presentan los cálculos realizados para la proyección de esta demanda.

A continuación, se presentan los resultados de la demanda hídrica pecuaria municipal para aves (Tabla 441), bovinos (Tabla 442), búfalos (Tabla 443), porcinos (Tabla 444), equinos (Tabla 445), caprinos (Tabla 446) y ovinos (Tabla 447).

Tabla 441. Demanda hídrica municipal para consumo de aves (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	3.61	2.48	1.71	1.18	0.81	0.56	0.38	0.26	0.18	0.13	0.09	0.06
Ambalema	0.01	2.48	1.71	1.18	0.81	0.56	0.38	0.26	0.18	0.13	0.09	0.06
Anzoátegui	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Armero	1.37	1.22	1.09	0.98	0.87	0.78	0.70	0.62	0.56	0.50	0.45	0.40
Cajamarca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Casabianca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Coello	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Falan	1.74	1.74	1.75	1.75	1.75	1.76	1.76	1.76	1.77	1.77	1.78	1.78
Fresno	12.46	10.86	9.47	8.26	7.20	6.27	5.47	4.77	4.16	3.62	3.16	2.75
Herveo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Honda	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Ibagué	67.13	64.22	61.43	58.76	56.21	53.77	51.44	49.20	47.07	45.02	43.07	41.20
Lérida	1.07	0.98	0.91	0.83	0.77	0.71	0.65	0.60	0.55	0.51	0.47	0.43
Líbano	3.88	3.39	2.96	2.59	2.26	1.98	1.73	1.51	1.32	1.15	1.01	0.88
Mariquita	0.87	0.76	0.67	0.58	0.51	0.45	0.39	0.34	0.30	0.26	0.23	0.20
Murillo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Palocabildo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Piedras	25.83	23.68	21.71	19.91	18.26	16.74	15.35	14.08	12.91	11.84	10.85	9.95
Santa Isabel	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Venadillo	3.37	3.19	3.02	2.86	2.71	2.57	2.43	2.30	2.18	2.07	1.96	1.85
Villahermosa	0.01	0.07	0.10	0.14	0.20	0.29	0.41	0.60	0.86	1.23	1.78	2.56

Tabla 442. Demanda hídrica municipal para consumo de ganado bovino (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	16.13	16.76	17.41	18.08	18.78	19.51	20.27	21.05	21.87	22.71	23.59	24.51
Ambalema	10.78	11.22	11.66	12.09	12.53	12.97	13.40	13.84	14.28	14.72	15.15	15.59
Anzoátegui	9.19	9.74	10.29	10.84	11.39	11.94	12.49	13.03	13.58	14.13	14.68	15.23
Armero	25.84	26.51	27.20	27.91	28.63	29.38	30.14	30.92	31.73	32.55	33.40	34.27

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Cajamarca	18.49	19.16	19.83	20.50	21.17	21.84	22.51	23.18	23.85	24.52	25.19	25.86
Casabianca	4.74	4.82	4.91	5.00	5.09	5.17	5.26	5.35	5.43	5.52	5.61	5.70
Coello	13.69	14.25	14.82	15.42	16.04	16.69	17.36	18.06	18.79	19.55	20.34	21.16
Falan	6.45	6.69	6.93	7.19	7.45	7.73	8.01	8.30	8.61	8.92	9.25	9.59
Fresno	5.77	5.71	5.65	5.60	5.54	5.49	5.44	5.38	5.33	5.28	5.23	5.18
Herveo	10.02	10.44	10.86	11.28	11.70	12.11	12.53	12.95	13.37	13.79	14.21	14.62
Honda	13.68	13.64	13.60	13.56	13.52	13.48	13.44	13.40	13.36	13.32	13.28	13.24
Ibagué	37.17	37.98	38.79	39.60	40.41	41.23	42.04	42.85	43.66	44.47	45.28	46.09
Lérida	14.37	14.74	15.11	15.49	15.89	16.29	16.70	17.13	17.56	18.01	18.46	18.93
Líbano	7.73	8.11	8.49	8.87	9.25	9.63	10.01	10.39	10.77	11.15	11.53	11.91
Mariquita	14.49	14.15	13.83	13.51	13.20	12.89	12.59	12.30	12.02	11.74	11.47	11.20
Murillo	20.74	22.30	23.87	25.43	27.00	28.56	30.13	31.69	33.25	34.82	36.38	37.95
Palocabildo	1.26	1.30	1.33	1.36	1.40	1.43	1.46	1.50	1.53	1.57	1.60	1.63
Piedras	22.69	23.62	24.54	25.46	26.39	27.31	28.23	29.16	30.08	31.00	31.93	32.85
Santa Isabel	11.99	12.93	13.88	14.82	15.76	16.70	17.64	18.58	19.52	20.46	21.40	22.34
Venadillo	15.07	15.49	15.93	16.38	16.84	17.31	17.80	18.30	18.82	19.35	19.89	20.45
Villahermosa	9.99	10.35	10.73	11.12	11.52	11.93	12.37	12.82	13.28	13.76	14.26	14.77

Tabla 443. Demanda hídrica municipal para consumo de búfalos (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Ambalema	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Anzoátegui	0.03	0.10	0.15	0.25	0.39	0.63	1.01	1.62	2.60	4.16	6.68	10.70
Armero	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.52	0.56	0.61	0.66	0.72	0.78
Cajamarca	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09
Casabianca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coello	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Falan	0.08	0.15	0.28	0.53	1.01	1.93	3.67	7.01	13.39	25.55	48.78	93.10
Fresno	0.18	0.22	0.25	0.29	0.33	0.36	0.40	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58
Herveo	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Honda	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51
Ibagué	0.40	0.36	0.33	0.30	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15
Lérida	0.05	0.10	0.12	0.14	0.17	0.21	0.26	0.32	0.39	0.47	0.58	0.70
Líbano	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mariquita	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.16	0.21	0.28	0.37	0.49	0.64	0.84
Murillo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Palocabildo	0.00	1.16	0.99	0.85	0.73	0.62	0.53	0.46	0.39	0.34	0.29	0.25
Piedras	0.15	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30
Santa Isabel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Venadillo	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
Villahermosa	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10

Tabla 444. Demanda hídrica municipal para consumo de caprinos (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ambalema	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.11	0.14
Anzoátegui	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Armero	0.06	0.10	0.19	0.33	0.59	1.06	1.89	3.38	6.03	10.78	19.25	34.39
Cajamarca	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Casabianca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coello	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Falan	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fresno	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Herveo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Honda	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ibagué	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Lérida	0.00	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.14	0.17	0.20
Líbano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mariquita	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Murillo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Palocabildo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Piedras	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Santa Isabel	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Venadillo	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Villahermosa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 445. Demanda hídrica municipal para consumo de equinos (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99	1.04	1.10	1.15	1.21
Ambalema	0.36	0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43
Anzoátegui	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.92	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06
Armero	0.78	0.83	0.89	0.94	1.01	1.07	1.14	1.22	1.30	1.38	1.47	1.57
Cajamarca	1.20	1.24	1.29	1.34	1.38	1.43	1.48	1.54	1.59	1.65	1.71	1.77
Casabianca	2.06	1.92	1.78	1.65	1.51	1.38	1.24	1.11	0.97	0.84	0.70	0.57
Coello	1.48	1.41	1.35	1.28	1.22	1.17	1.11	1.06	1.01	0.97	0.92	0.88
Falan	0.66	0.63	0.61	0.59	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43
Fresno	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32
Herveo	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88	0.89	0.89	0.90
Honda	0.56	0.59	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78	0.83	0.88	0.93	0.99	1.05
Ibagué	2.85	2.93	3.02	3.11	3.20	3.29	3.39	3.49	3.59	3.69	3.80	3.91
Lérida	1.20	1.16	1.13	1.10	1.07	1.04	1.01	0.99	0.96	0.93	0.91	0.88
Líbano	1.23	1.19	1.15	1.12	1.08	1.05	1.02	0.98	0.95	0.93	0.90	0.87
Mariquita	1.64	1.92	2.20	2.49	2.77	3.05	3.33	3.61	3.89	4.18	4.46	4.74
Murillo	1.57	1.52	1.47	1.43	1.38	1.34	1.30	1.26	1.22	1.18	1.15	1.11

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Palocabildo	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Piedras	0.89	0.83	0.77	0.71	0.66	0.62	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
Santa Isabel	1.10	1.13	1.16	1.19	1.22	1.25	1.28	1.32	1.35	1.39	1.42	1.46
Venadillo	0.65	0.66	0.67	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.72	0.73	0.74
Equinos	0.62	0.66	0.70	0.73	0.78	0.82	0.87	0.92	0.97	1.02	1.08	1.14

Tabla 446. Demanda hídrica municipal para consumo de ovinos (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	0.27	0.37	0.52	0.72	0.99	1.38	1.91	2.66	3.69	5.12	7.10	9.86
Ambalema	0.16	0.19	0.24	0.29	0.36	0.44	0.54	0.66	0.81	0.99	1.22	1.50
Anzoátegui	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Armero	0.44	0.62	0.88	1.24	1.75	2.47	3.49	4.92	6.95	9.82	13.86	19.57
Cajamarca	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Casabianca	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Coello	0.58	0.68	0.81	0.96	1.13	1.33	1.57	1.86	2.19	2.59	3.06	3.61
Falan	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11
Fresno	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Herveo	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
Honda	0.19	0.29	0.46	0.71	1.11	1.73	2.69	4.18	6.51	10.13	15.75	24.51
Ibagué	0.34	0.36	0.37	0.38	0.39	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.49	0.50
Lérida	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Líbano	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Mariquita	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Murillo	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
Palocabildo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Piedras	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08
Santa Isabel	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
Venadillo	0.20	0.24	0.28	0.34	0.41	0.49	0.59	0.70	0.84	1.01	1.21	1.45
Villahermosa	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07

Tabla 447. Demanda hídrica municipal para consumo de porcinos (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	0.33	0.36	0.40	0.44	0.49	0.54	0.59	0.66	0.72	0.80	0.88	0.98
Ambalema	1.57	1.98	2.49	3.14	3.95	4.98	6.27	7.91	9.96	12.55	15.81	19.92
Anzoátegui	0.44	0.49	0.54	0.61	0.68	0.75	0.84	0.94	1.04	1.16	1.29	1.44
Armero	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04
Cajamarca	0.62	0.58	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32
Casabianca	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05
Coello	0.04	0.02	0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.07	-0.09	-0.11	-0.13	-0.15	-0.17
Falan	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fresno	0.53	0.48	0.44	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21
Herveo	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Honda	1.38	1.25	1.14	1.04	0.94	0.86	0.78	0.71	0.64	0.59	0.53	0.48
Ibagué	1.27	1.14	1.01	0.91	0.81	0.72	0.64	0.58	0.51	0.46	0.41	0.37
Lérida	2.70	2.92	3.16	3.42	3.69	4.00	4.32	4.68	5.06	5.47	5.92	6.40
Líbano	0.70	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.79	0.81	0.83	0.84	0.86	0.88
Mariquita	1.11	1.21	1.33	1.46	1.60	1.75	1.92	2.10	2.31	2.53	2.77	3.04
Murillo	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03
Palocabildo	0.41	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Piedras	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Santa Isabel	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Venadillo	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.50	0.52	0.54	0.57	0.60	0.63
Villahermosa	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12

En la *Tabla 448* se presenta los resultados de la demanda hídrica de todo el sector pecuario, desde el año 2021 al 2032, de cada uno de los municipios que hacen parte del área de estudio. Se evidencia que en el 23% de los municipios la demanda hídrica para uso pecuario tiene un comportamiento decreciente al año 2032.

Tabla 448. Demanda hídrica municipal del sector pecuario (l/s)

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Alvarado	21.08	20.74	20.83	21.26	21.95	22.91	24.12	25.64	27.52	29.87	32.83	36.62
Ambalema	12.88	16.25	16.48	17.10	18.06	19.37	21.04	23.13	25.71	28.89	32.81	37.64
Anzoátegui	10.47	11.15	11.84	12.56	13.35	14.23	15.27	16.55	18.21	20.47	23.69	28.45
Armero	28.94	29.76	30.72	31.90	33.38	35.31	37.95	41.69	47.24	55.74	69.19	91.01
Cajamarca	20.41	21.08	21.76	22.44	23.12	23.82	24.51	25.22	25.92	26.63	27.35	28.06
Casabianca	7.02	6.94	6.87	6.80	6.74	6.68	6.61	6.55	6.50	6.44	6.38	6.33
Coello	15.84	16.40	17.00	17.66	18.38	19.15	19.99	20.90	21.90	22.99	24.18	25.50
Falan	9.30	9.30	9.66	10.15	10.88	12.05	14.07	17.69	24.35	36.82	60.36	105.01
Fresno	19.33	17.67	16.21	14.94	13.83	12.85	12.00	11.25	10.60	10.02	9.52	9.08
Herveo	11.15	11.56	11.98	12.40	12.82	13.24	13.66	14.09	14.51	14.93	15.35	15.77
Honda	15.98	15.99	16.06	16.24	16.58	17.14	18.06	19.52	21.83	25.43	31.05	39.81
Ibagué	109.21	107.02	104.98	103.09	101.32	99.69	98.17	96.77	95.48	94.30	93.21	92.22
Lérida	19.41	19.94	20.47	21.03	21.65	22.31	23.03	23.80	24.63	25.53	26.50	27.55
Líbano	13.57	13.45	13.38	13.36	13.40	13.47	13.59	13.73	13.91	14.11	14.33	14.58
Mariquita	18.23	18.19	18.18	18.21	18.28	18.39	18.54	18.73	18.98	19.29	19.67	20.13
Murillo	22.59	24.07	25.56	27.06	28.56	30.06	31.57	33.08	34.59	36.10	37.62	39.14
Palocabildo	1.85	2.54	2.39	2.26	2.16	2.09	2.02	1.98	1.94	1.92	1.90	1.89
Piedras	49.85	48.55	47.43	46.48	45.69	45.05	44.53	44.14	43.86	43.68	43.59	43.59
Santa Isabel	13.22	14.18	15.14	16.11	17.07	18.05	19.02	19.99	20.97	21.95	22.93	23.91
Venadillo	19.70	20.01	20.35	20.73	21.14	21.58	22.06	22.59	23.16	23.77	24.45	25.19

Municipio	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Villahermosa	10.83	11.29	11.73	12.21	12.72	13.27	13.88	14.57	15.36	16.29	17.40	18.77
Total general	**450.86**	**456.07**	**459.03**	**463.99**	**471.07**	**480.70**	**493.71**	**511.62**	**537.16**	**575.17**	**634.32**	**730.26**

23. Conclusiones de Demanda Hídrica

Para la Subzona Hidrográfica del río Coello se determina una demanda hídrica total de 28058.15 l/s, gran parte de esta demanda se destina para la actividad agrícola (52.98%, 14865.67 l/s) y la producción de energía (30.28%, 8497 l/s). La demanda hídrica restante (16.73%, 4695.48 l/s) está representada en un 14.45% (4054.89 l/s) por el consumo humano y doméstico, 0.92% (258.47 l/s) uso piscícola, 0.85% (239.06 l/s) uso pecuario, 0.49% (136.32 l/s) uso industrial, y 0,02% (6.74 l/s) por el uso recreativo.

En la Subzona Hidrográfica del río Gualí la demanda hídrica total se define en 5506.67 l/s. El uso agrícola y piscícola son los que mayor representación tienen sobre esta demanda con el 47.28% (2603.82 l/s) y 37.04% (2039.68), respectivamente. El consumo humano y doméstico, por su parte, comprende el 15.23% (838.51 l/s) del total de la demanda, mientras que el 0.37% (20.49 l/s) corresponde al sector pecuario, 0.07% (3.58 l/s) al industrial y 0.01% (0.60 l/s) al minero.

La demanda hídrica total de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó se estima en 11562.07 l/s de los cuales el 86.49% (10000.00 l/s) es destinado para generación de energía. La demanda hídrica restante (13.51%, 1562.07 l/s) está representada en un 5.99% (692.22 l/s) por el sector agrícola, 5.52% (637.93 l/s) por el consumo humano y doméstico, 1.57% (181.85 l/s) por el sector industrial, 0.28% (32.08 l/s) por el sector pecuario y 0.16% (17.99 l/s) por parte de la minería.

En la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla la demanda hídrica total corresponde a 12832.27 l/s, siendo el consumo de tipo agrícola el que mayor presión ejerce sobre el recurso hídrico en el área con el 91.35% que representan 11721.87 l/s. Los sectores consumo humano y doméstico, pecuario, piscícola, minería e industrial, participan en la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica en un 5.28% (678.01 l/s), 3.15% (404.60 l/s), 0.18% (23.65 l/s), 0.03% (3.60 l/s) y 0.004% (0.53 l/s), respectivamente.

Para la Subzona Hidrográfica del río Opia se establece una demanda hídrica total de 786.84 l/s. Por tipo de uso, la mayor participación sobre este valor demandado corresponde al sector agrícola cuya demanda es de 708.62 l/s que equivalen al 90.06% del total. La demanda hídrica restante (9.94%, 78.22 l/s) está representada en un 7.25% (57.08 l/s) por el consumo humano y doméstico, 1.16% (9.14 l/s) por el sector pecuario,

1.08% (8.50 l/s) por el sector industrial, y un 0.06% (0.50 l/s). Esta subzona es la única que reporta uso del recurso para la conservación de Fauna y Flora, pero este no es muy significativo respecto al total demandado en el área (0.38%, 3 l/s).

En la Subzona del río Recio y Venadillo la demanda hídrica total corresponde a 17278.01 l/s. Del valor de caudal demandado en esta unidad, el 44.47% (7682.99 l/s) se destina al sector agrícola y el 27.64% (4775.46 l/s) para consumo humano y doméstico. El uso de agua en el sector pecuario, industrial, piscícola y recreativo representa el 21.01% (3629.94 l/s), 6.66% (1150.18 l/s), 0.23% (39.16 l/s) y 0.002% (0.28 l/s), respectivamente.

En la Subzona Hidrográfica del Río Sabandija se determina un consumo total de 1857.30 l/s. El principal uso del recurso es para actividades agrícolas (64.93%, 1205.88 l/s. Los sectores consumo humano y doméstico, pecuario, piscícola, industrial y minería, participan en la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica en un 20.49% (380.53 l/s), 11.61% (215.59 l/s), 2.38% (44.26 l/s), 0.58% (10.72 l/s), y 0.02% (0.40 l/s), respectivamente.

La demanda hídrica total de la Subzona Hidrográfica del río Totare se estima en 15281.16 l/s de los cuales el 88.32% (13496.03 l/s) es destinado para el sector agrícola. Los sectores consumo humano y doméstico, pecuario, generación de energía, recreativo, piscícola, industrial, minería, participan en la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica en un 4.84% (738.94 l/s), 2.60% (396.84 l/s), 1.47% (225 l/s), 1.16% (177.0), 0.88% (177.0 l/s), 0.71% (108.59 l/s) y 0.03 (5 l/s), respectivamente.

Para la totalidad de Subzonas Hídricas analizadas, en general, las principales presiones al recurso hídrico se producen por usos agrícolas (64.02%), consumo humano y doméstico (14.18%), y generación de energía (10.68%), mientras que, el caudal concesionado para actividades mineras y de usos recreativos (0.01 y 0.23%).

Se evidencia, de forma general, que el comportamiento de la demanda hídrica para uso agrícola presentará cambios significativos al año 2032 que se evidenciaran en incrementos en el 87.5% de las Subzonas Hidrográficas de análisis y reducciones en el 12.5% de ellas, con variaciones que van desde el 8% hasta el 84%. Caso similar ocurre con la demanda para uso pecuario en donde se observa un comportamiento decreciente solo en el 23% de los municipios que tienen jurisdicción en dichas subzonas mientas que el consumo humano y doméstico no presentará cambios significativos en estos.

Se recomienda a la autoridad ambiental realizar una actualización permanente e integración de las diversas bases de datos de concesiones que permitan reducir los

vacíos e inconstancias de información encontrados al momento obtener datos para el cálculo y espacialización de la demanda hídrica.

Aunado a lo anterior, se recomienda a la autoridad ambiental acciones orientadas a una caracterización y censo de usuarios de pozos debido a la falta de información especialmente en la georreferenciación de los puntos de captación y el estado actual de uso los pozos de la zona.

24. Referencias

«Acuerdo 014 de 2017.» *Por medio del cual se actualiza la priorización de ordenación de subzonas (cuencas) hidrográficas en el departamento del Tolima y se dictan otras disposiciones.* s.f.

Corporación Autónoma Regional del Tolima. *Ajuste parcial al Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica del río Coello.* 2019.

—. *Ajuste parcial al Plan de Ordenación y Manejo de la Subzona Hidrográfica del río Totare.* 2019.

—. *Corrientes Hídricas Reglamentadas en el departamento del Tolima.* 2019.

—. *POMCA de la cuenca del río Gualí.* 2014.

Corporación Autónoma Regional del Tolima y Consorcio Alvarado. *Plan de Manejo Ambiental del Acuífero de Ibagué.* 2015.

Corporación Autónoma Regional del Tolima; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; Universidad del Tolima; Parque Nacional Natural Los Nevados. *Plan de Ordenación y Manejo Cuenca Mayor Río Lagunilla.* 2010.

Corporación Autónoma Regional del Tolima; Grupo HTI (Habitat - Territorio - Ambiente); GOTTA (Ingeniería - agua - ambiente). *Formulación del Plan de Ordenamiento del río Gualí y sus tributarios.* 2013.

Corporación Autónoma Regional del Tolima; Universidad del Tolima. «Mapa de cobertura y uso de la tierra a escala 1:25000.» *Análisis de los cambios de cobertura*

y uso de la tierra para el departamento del Tolima Fase I (2020) convenio 526 - 2018. 2018.

Corporación de Cuencas del Tolima. «Actualización POMCA río Recio y Venadillo.» 2019.

«Decreto 1155 del 7 de julio de 2017.» *"Por el cual se modifican los artículos 2.2.9.6,1.9" 2.2.9.6.1,10. Y 2.2.9.6.1,12. del Libro 2, Parte 2, Título 9, Capítulo 6, Sección 1, del Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado.* s.f.

«Decreto 3930 de 2010.» *Por el cual se reglamenta parcialmente el Título 1 de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI Parte III del Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.* s.f.

Gobernación del Tolima. «Plan de Desarrollo "El Tolima nos une 2020-2023".» 2020.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). *Estudio Nacional del Agua 2018.* Bogotá D.C, 2019.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. «Estudio Nacional del Agua .» Bogotá D. C, 2010.

—. «Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua.» Bogotá D. C, 2013.

Instituto de Manejo del Agua y Medio Ambiente (IMA). *Informe final de demanda hídrica actual y futura en la región Cusco en el marco del programa de adaptación al cambio climático- Fase II y III -Nivel Regional.* Cusco, Perú, 2010.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.* Bogotá D.C, 2010.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Roma: Estudio FAO Riego y Drenaje 56, 2006.

«Resolución 0330 de 2017.» *Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005,1447 de 2005 y 2320 de 2009* . s.f.

«Resolución 0844 de 2018.» *Por la cual se establecen los requisiros técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales que se adelanten bajo los esquemas diferenciales definidos en el capítulo 1, del título 7, de la parte 3, libro 2 del Decreto 1077 del 2015.* s.f.

Unión Temporal Estudios Ambientales y Planificación Territorial río Guarinó. «Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Guarinó.» 2015.

Capítulo Calidad del Agua

25. Marco Metodológico para la determinación de Cargas Contaminantes

25.1. Procesos de Alteración – Factores de Contaminación

La determinación de las cargas se relaciona con el establecimiento de metas de descontaminación, con el programa de tasas retributivas y también, con el índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL). Para la determinación de este índice se establecieron dos (2) Escenarios de carga, el primero considera la meta individual de carga proyectada por cada usuario, tramo o vertimiento para el año 2020, según lo establecido en el Acuerdo CORTOLIMA No. 013 de 2018 y CORPOCALDAS No. 06 de 2017 para los parámetros DBO_5 y SST. El segundo Escenario, incluye las cargas registradas por CORTOLIMA y CORPOCALDAS, como parte del seguimiento del programa de metas para el año 2020, a través de la medición y/o estimación indirecta, de caudales, concentraciones y cargas.

A continuación, se presenta el marco conceptual y normativo relacionado con las cargas contaminantes.

25.1.1. Carga Contaminante

La carga contaminante es el producto de la concentración másica de una sustancia por el caudal volumétrico del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio. Se expresa en unidades de masa sobre tiempo (Decreto 1076 de 2015).

La carga contaminante diaria Cc es el resultado de multiplicar el caudal promedio por la concentración de una sustancia, elemento o parámetro contaminante por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento del usuario, medido en horas por día (Decreto 1076 de 2015).

$$C_c = Q \times C \times 0{,}0036 \times t$$

Dónde:

CC= Carga contaminante, en kilogramos por día (kg/día)

Q= Caudal promedio de aguas residuales, en litros por segundo (L/s)

C= Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, en miligramos por litro (mg/L)

0,0036 = Factor de conversión de unidades (de mg/s a kg/h)

t= Tiempo de Vertimiento del usuario en horas por día (h).

Para fines del cobro, la tasa es expresada en toneladas año, por lo que adicionalmente al procedimiento presentado en el Decreto 1076 de 2015, se multiplica por el factor de 0,365 (kg/día a t/año)

25.1.2. Tasa Retributiva

La tasa retributiva por vertimientos puntuales se encuentra definida en el artículo 2.2.9.7.2.5. del Decreto 1076 de 2015, como "*aquella que cobrará la autoridad ambiental competente a los usuarios por la utilización directa o indirecta del recurso hídrico como receptor de vertimientos puntuales directos e indirectos y sus consecuencias nocivas, originados en actividades antrópicas o propiciados por el hombre y actividades económicas o de servicios, sean o no lucrativas…*"

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, la Tasa Retributiva tiene el objetivo de incentivar cambios en el comportamiento de los agentes contaminadores, generando conciencia del daño ambiental que ocasionan tanto las actividades diarias como los diferentes sectores productivos. Asimismo, se obtienen importantes recursos económicos para la inversión en proyectos de descontaminación hídrica.

En el cálculo de la carga contaminante de cada sustancia, elemento o parámetro contaminante objeto del cobro de la tasa retributiva por vertimientos, se deberá descontar a la carga presente en el vertimiento puntual, las mediciones de la carga existente en el punto de captación, siempre y cuando se capte en el mismo cuerpo de agua receptor de la descarga objeto del pago de la tasa.

25.1.3. Metas de Carga Contaminante

De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, cada cinco años, las autoridades ambientales competentes, establecerán una meta global de carga contaminantes por cada cuerpo de agua o tramo del mismo, la cual será igual a la suma de las metas quinquenales individuales y grupales. Esta meta busca que los aportes de carga realizados por los usuarios, propendan por el cumplimiento de los objetivos de calidad (Decreto 1076 de 2015).

25.1.3.1. Meta global de carga contaminante.

La autoridad ambiental competente establecerá cada cinco años, una meta global de carga contaminante para cada cuerpo de agua o tramo del mismo, la cual será

igual a la suma de las metas quinquenales individuales y grupales establecidas en este capítulo.

La meta global será definida para cada uno de los elementos, sustancias o parámetros, objeto del cobro de la tasa y se expresará como la carga total de contaminante a ser vertida al final del quinquenio, expresada en términos de kilogramos/año.

Las autoridades ambientales establecerán la meta global que conduzca a los usuarios al cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos por dichas autoridades.

La determinación de la meta global en un cuerpo de agua o tramo del mismo, se hará teniendo en cuenta la línea base, las proyecciones de carga de los usuarios y los objetivos de calidad vigentes al final del quinquenio, así como la capacidad de carga del tramo o cuerpo de agua y la ejecución de obras previstas en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV, Permiso de Vertimientos y Plan de Reconversión a Tecnología Limpia en Gestión de Vertimientos.

25.1.3.2. Metas individuales y grupales.

Para el cumplimiento de la meta global de carga contaminante del cuerpo de agua o tramo del mismo, la autoridad ambiental competente deberá establecer la meta individual de carga contaminante para cada usuario sujeto al pago de la tasa, a partir de sus propias cargas y considerando las determinantes señaladas en el anterior artículo.

Para efectos de determinar el avance en el cumplimiento de la meta quinquenal individual o grupal y consecuentemente del ajuste o no del factor regional a cada usuario, se deberá establecer un cronograma de cumplimiento de la meta quinquenal que relacione las cargas máximas a verter por cada usuario durante cada uno de los años del quinquenio.

26. Determinación de Cargas Contaminantes

Se estimó la carga aportada por cada usuario a partir de los parámetros DBO_5, SST, DQO, Nitrógeno total y Fósforo Total, las cuales se van acumulando hacia aguas abajo, con el fin de calcular el IACAL en los siguientes puntos:

- Puntos de cierre de las nueve (9) corrientes principales, así como otras fuentes receptoras de aguas residuales de importancia, de acuerdo con la recomendación del ENA (2010) para la determinación del índice por subzonas.

- Puntos adicionales que permitan identificar la dinámica espacial del índice en función de la presencia de descargas y/o cambios de caudal.

Figura 477. Puntos para la determinación del IACAL río Coello

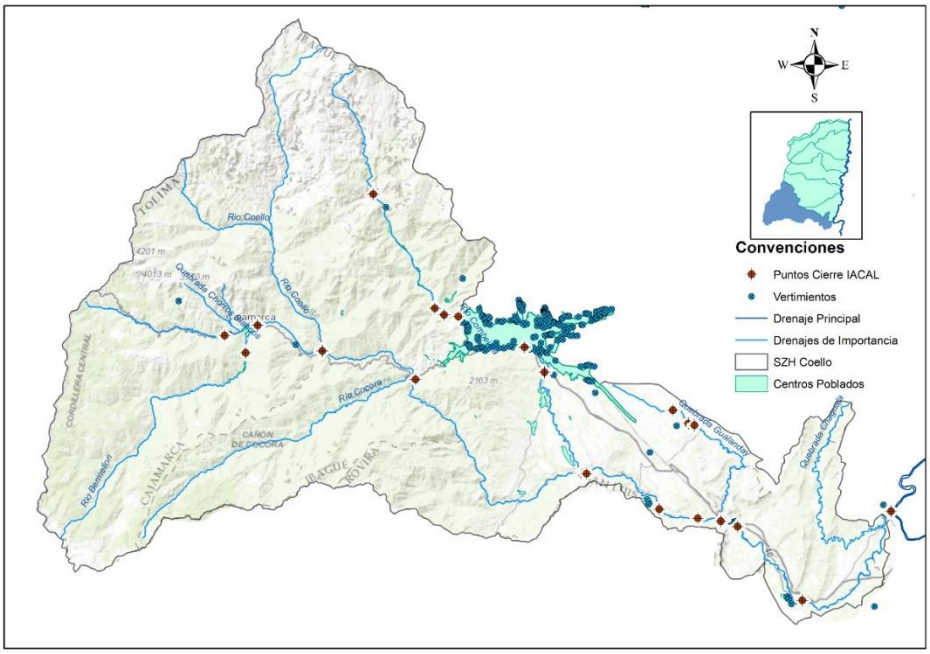


Figura 478. Puntos para la determinación del IACAL río Opia

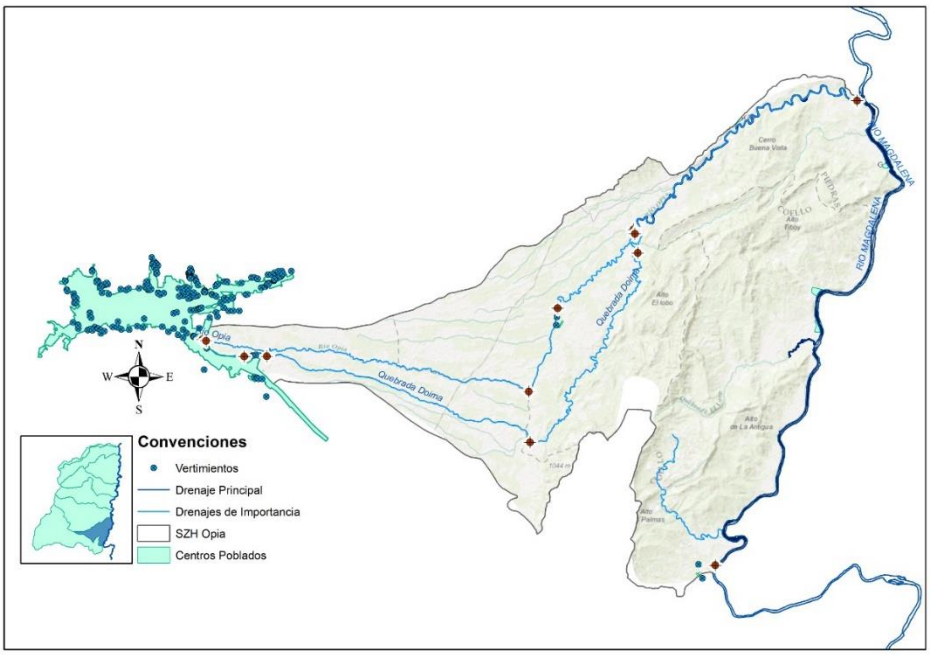


Figura 479. Puntos para la determinación del IACAL río Totare

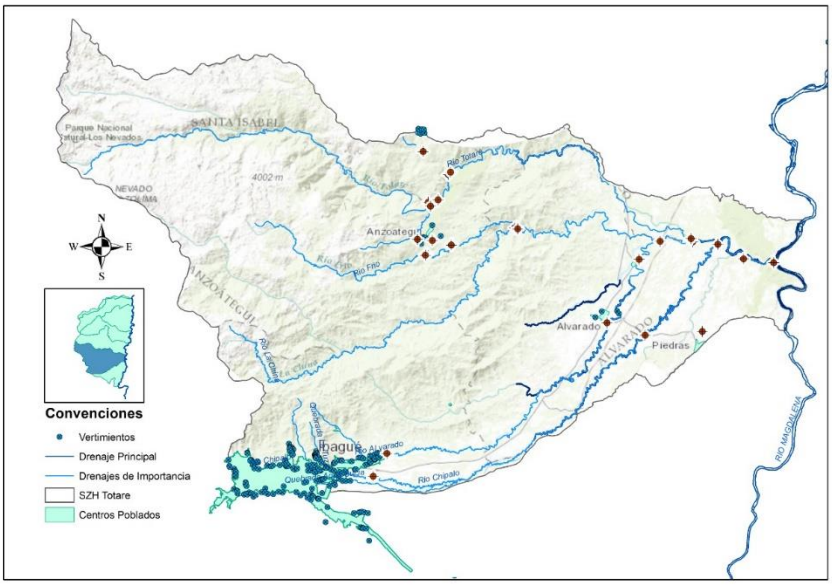


Figura 480. Puntos para la determinación del IACAL río Recio Venadillo

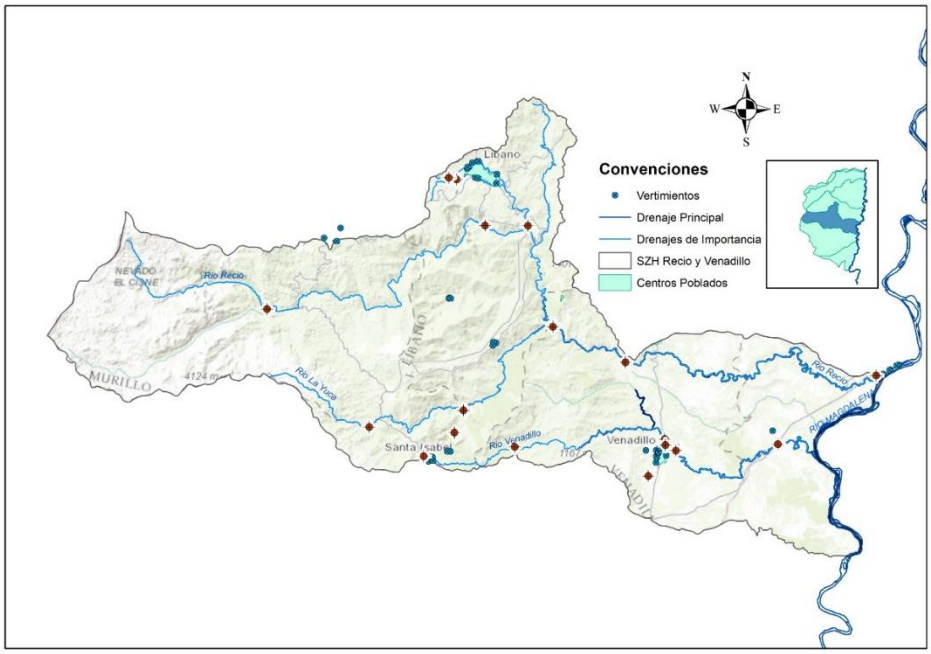


Figura 481. Puntos para la determinación del IACAL río Lagunilla

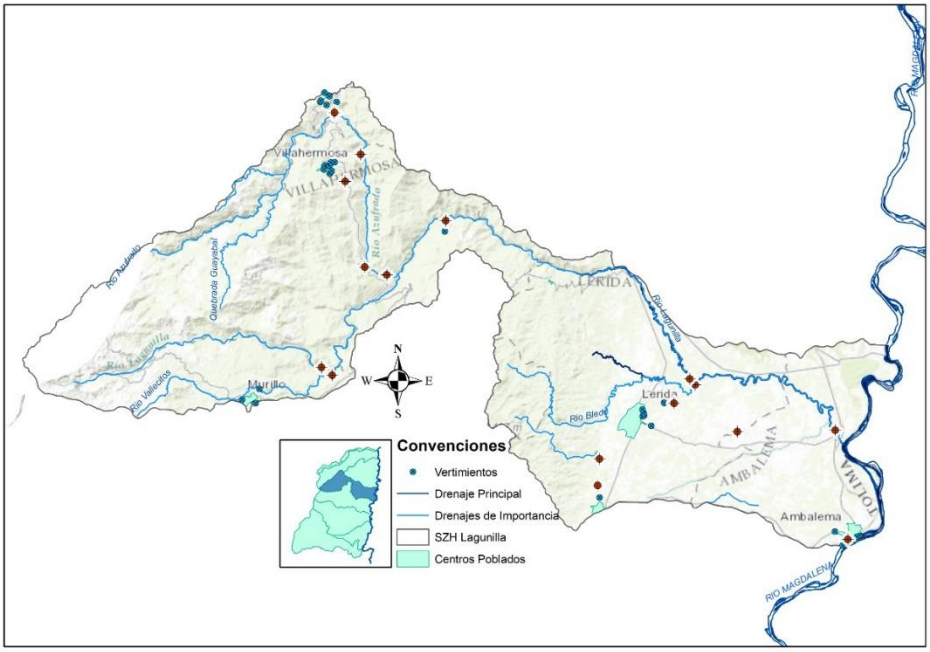


Figura 482. Puntos para la determinación del IACAL río Sabandija

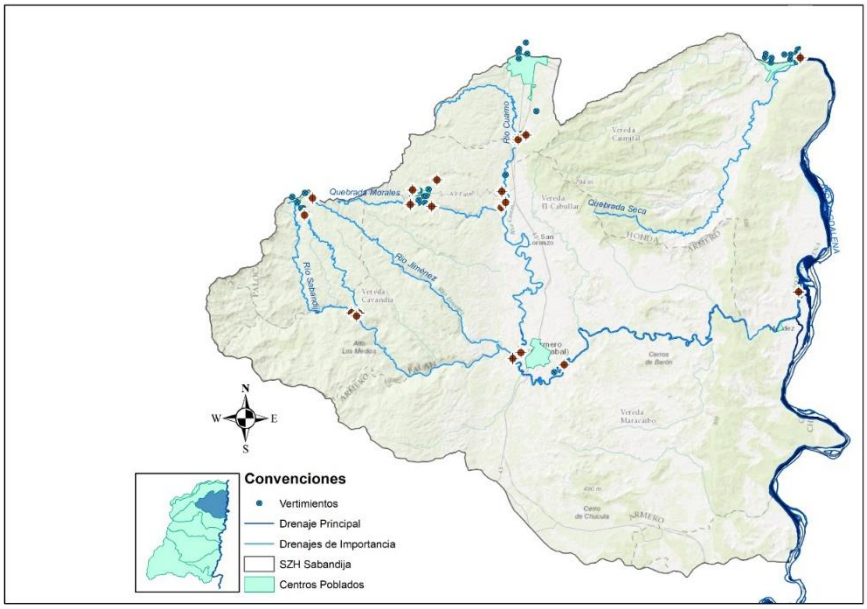


Figura 483. Puntos para la determinación del IACAL río Gualí

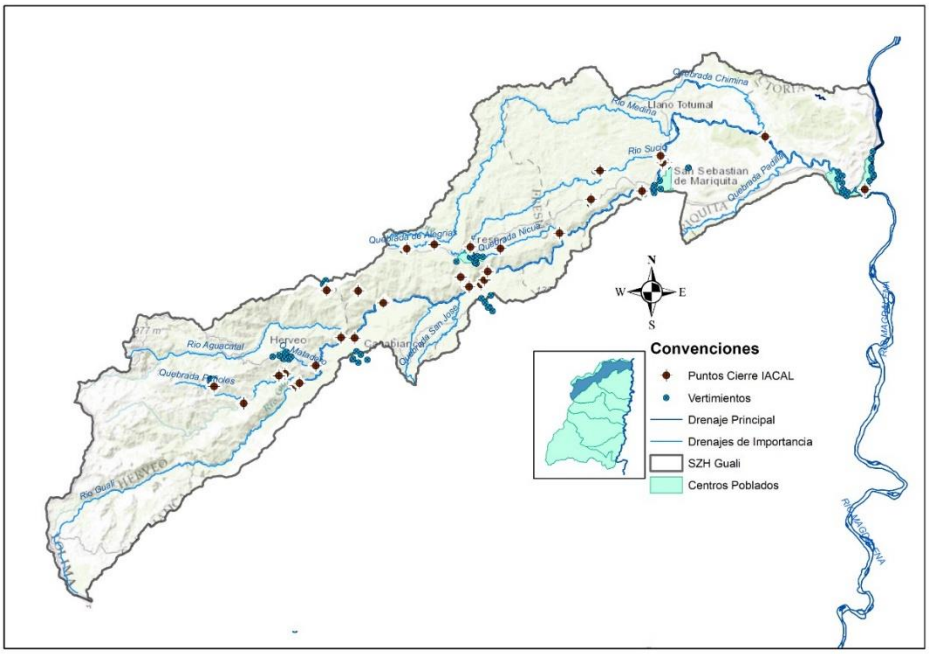
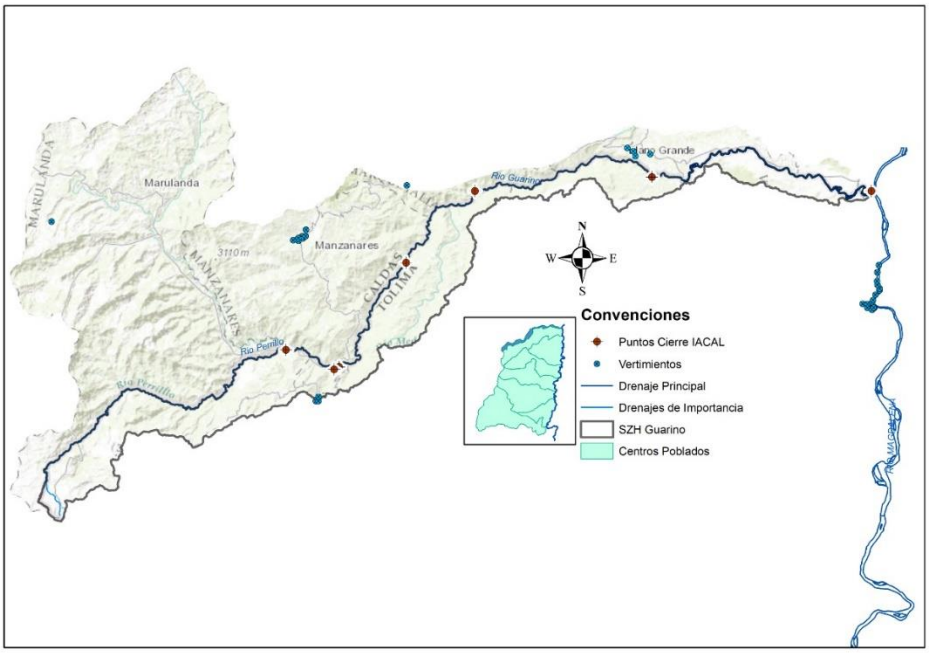


Figura 484. Puntos para la determinación del IACAL río Guarinó



Los sectores contemplados en el presente estudio para la determinación del IACAL, corresponden a aquellos considerados en el Estudio Nacional del Agua (ENA,

2010), así como en las actualizaciones de los años 2014 y 2018, correspondientes al sector municipal, industrial, plantas de beneficio animal (PBA), y Beneficio del Café. Adicionalmente se incluye una categoría correspondiente a los rellenos sanitarios, dadas sus diferencias en las condiciones de calidad con respecto a los vertimientos de agua residual doméstica – ARD de los municipios.

Si bien la presión sobre los cuerpos de agua superficiales puede estar relacionada con aportes puntuales y difusos, en los documentos del Estudio Nacional del agua (2010, 2014 y 2018) se aclara que el esfuerzo se ha centrado en la determinación de las cargas puntuales, considerando la dificultad actual para obtener para Colombia datos confiables de los aportes difusos o de los factores para su determinación indirecta.

Se implementaron cuatro (4) escenarios para la determinación del IACAL, considerando para ello dos (2) condiciones de carga y dos (2) condiciones de Oferta.

De acuerdo con el IDEAM (2020), la carga puede ser calculada a partir de mediciones realizadas en vertimientos puntuales con fines regionales, como los derivados de las Evaluaciones Regionales del Agua – ERA's, por lo tanto, en el presente estudio se plantea un primer grupo de escenarios, utilizando las cargas reales, obtenidas de los seguimientos realizados por CORTOLIMA y CORPORCALDAS en el año base (2020), en cumplimiento de las metas en carga de las cuencas de los ríos Coello, Opia, Totare, Lagunilla, Sabandija, Recio – Venadillo, Gualí y Guarinó. Esta información es utilizada en los Escenarios 1A (OHT Año húmedo) y 1B (OHT Año Seco).

Se implementa un segundo grupo de escenarios en los que se consideran las cargas máximas de DBO_5 y SST proyectadas para cada usuario, vertimiento o tramo, en el Acuerdo del Consejo Directivo de CORTOLIMA No. 13 de 24 de julio de 2018, para el año base (2020), para las cuencas de los ríos Coello, Opia, Totare, Lagunilla, Sabandija, Recio – Venadillo y Gualí. Así mismo, se utilizaron las cargas proyectadas en la cuenca del río Guarinó para el año base por CORPOCALDAS, mediante el Acuerdo No. 06 de 05 de abril de 2017. Estas cargas proyectadas por las dos Corporaciones se incluyen en los Escenarios 2A (OHT Año húmedo) y 2B (OHT Año Seco).

De esta forma se determina la presión potencial actual sobre la calidad de los cuerpos de agua superficiales, en cuatro (4) situaciones, considerando variaciones en la oferta hídrica total (año Seco y año Húmedo) y en la carga aportada por los usuarios.

26.1. Estimación Cargas Aportadas por el Sector Municipal

Los registros de carga en el seguimiento del cumplimiento de las metas, así como los acuerdos, corresponden a los parámetros DBO_5 y SST. Por lo tanto, se definieron factores que permiten obtener la carga de DQO, nitrógeno total –NT y fósforo total -PT a partir de la carga de DBO_5.

Para esto se determinó la relación promedio obtenida a partir de las concentraciones típicas de las Agua residuales domésticas – ARD sin tratamiento según Metcalf And Eddy (2003), y de las concentraciones típicas del ARD tratada según World Health Organization -WHO (1993). El factor obtenido para la relación promedio de DQO/DBO_5 es coherente con el definido en la Resolución MADS 0631 de 2015 (Norma Nacional de vertimientos a cuerpos de agua superficial y al alcantarillado), artículo 8.

Tabla 449 Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en ARD

Fuente de los Factores (Ton compuesto interés/Ton DBO5)	DQO/ DBO_5	NT/ DBO_5	PT/ DBO_5
ARD sin tratar Metcalf	2.3	0.21	0.04
ARD con tratamiento WHO 1993	1.75	0.18	0.05
ARD con Tratamiento Resolución MADS 0631/15	2		
ARD Promedio	**2.0**	**0.20**	**0.04**

26.2. Estimación Cargas Aportadas por los Rellenos Sanitarios

Con el motivo de obtener las cargas de DQO/DBO para el relleno Sanitario Combeima se utilizaron los factores obtenidos a partir de las características típicas de los lixiviados de rellenos sanitarios antiguos, propuestos por Tchobanoglous (1994). En el caso del Relleno Sanitario La Miel, se utilizaron los resultados de los monitoreos realizados en el en el marco de la presente ERA.

Tabla 450. Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en Rellenos Sanitarios

RELLENO SANITARIO (DISPOSICIÓN DE RESIDUOS)		
FACTOR DE CONVERSIÓN DE LA CARGA	VALOR	FUENTE
DQO/DBO5	1,67	Tchobanoglous, 1994
NT/DBO5	0,92	
PT/DBO5	0,05	

DQO/DBO5	3,69	Reportes de laboratorio para el Relleno Sanitario La Miel
NT/DBO5	3,09	
PT/DBO5	0,00	

26.3. Estimación Cargas Aportadas por el Sector de Beneficio Animal

Dentro de esta categoría se incluyeron las Plantas de Beneficio Animal Mixtas (ganado porcino y ganado bovino), así como el beneficio realizado por el sector Avícola. También se incluyó la actividad piscícola en los casos en los cuales existe algún procesamiento de los animales que pueda generar aguas residuales similares al de las otras actividades antes descritas.

Se consideraron los factores de DQO/DBO_5 obtenidos mediante los límites máximos permisibles para aguas residuales tratadas, según la Resolución MADS 0631 de 2015. Se tomaron los valores de la WHO (1993) para la Relación NT/DBO_5 y PT/DBO_5.

Para el sector piscícola se tomaron como referencia los factores de DQO/DBO_5, NT/DBO_5 y PT/DBO_5, obtenido de las características típicas del agua residual registradas en el Manual de Gestión del Recurso Hídrico – Piscícolas realizado por CORANTIOQUIA (2016).

Tabla 451. Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en Beneficio Animal

PBA BOVINOS - PORCINO		
FACTOR DE CONVERSIÓN DE LA CARGA	**VALOR**	**FUENTE**
DQO/DBO5	1,88	Reportes de laboratorio PBA de Mariquita
NT/DBO5	0,27	
PT/DBO5	0,02	
DQO/DBO5	1,78	Resolución MADS 0631 de 2015
N/DBO5	0,27	OMS (1993)
PT/DBO5	0,07	
AVÍCOLA		
DQO/DBO5	2,17	Resolución MADS 0631 de 2015
PT/NT	0,83	OMS (1993). El factor PT/NT no se define para pollos, por lo tanto, se toma el valor para el sacrificio de pavos.
N/DBO5	2,24	
PISCÍCOLA		

DQO/DBO5	4,26	CORANTIOQUIA, 2016
N/DBO5	0,20	
PT/DBO5	0,03	

26.4. Estimación Cargas Aportadas por el Sector Industrial

Para la industria Textil se definieron factores a partir del monitoreo realizado en el vertimiento del usuario Praxedis en el marco de la elaboración de la presente ERA. De la misma forma, para la minería de oro se obtuvo los factores a partir del monitoreo realizado al usuario Mina El Gran Porvenir. Para las aguas residuales no domésticas generadas por el usuario CENIT Transporte y Logística de hidrocarburos, se usaron los factores obtenidos a partir de los monitoreos realizados por este usuario, de acuerdo con la información suministrada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.

Tabla 452. Factores para determinación de la Carga de DQO, NT y PT a partir de la DBO_5 en el Sector Industrial

INDUSTRIA TEXTIL		
FACTOR DE CONVERSIÓN DE LA CARGA	**VALOR**	**FUENTE**
DQO/DBO5	2,17	Reportes de laboratorio usuario Praxedis
NT/DBO5	0,01	
PT/DBO5	0,11	
MINERÍA DE ORO		
DQO/DBO5	2,53	Reportes de laboratorio para el Mina El Gran Porvenir
NT/DBO5	0,15	
PT/DBO5	0,00	

26.5. Estimación de Cargas aportadas por el Beneficio del Café

El beneficio del café consiste en el proceso de transformación del grano de café cereza en pergamino seco. En el proceso se separan las partes del fruto y se seca el grano para su conservación (CENICAFE, 2000).

En la actualidad, existen en Colombia tres tipos de beneficio para el fruto, los cuales se describen a continuación (CENICAFE, 2015):

Beneficio convencional: Con este nombre se conoce al proceso que tradicionalmente se ha utilizado en Colombia para transformar el fruto en semilla y en el cual se utiliza agua en las etapas de despulpado, lavado y transporte (del

fruto, del café despulpado y del café lavado), con un consumo global cercano a los 40 litros de agua por cada kilogramo de beneficio tradicional de café pergamino seco (cps) y en el cual no se realiza manejo a los subproductos obtenidos.

Beneficio Ecológico: un proceso de beneficio de café amigable con el ambiente, que permite obtener café con la calidad física y de taza característico del café de Colombia. Se define como "El conjunto de operaciones realizadas para transformar la café cereza en café pergamino seco, conservando la calidad exigida por las normas de comercialización, evitando pérdidas del producto y eliminando procesos innecesarios, lográndose además el aprovechamiento de los subproductos, lo cual representa el mayor ingreso económico para el caficultor y la mínima alteración del agua estrictamente necesaria en el beneficio"

Beneficio Ecológico sin Vertimientos: aquel beneficio en el cual se hace un uso racional del agua y se tratan los subproductos como pulpa, mucílago y aguas residuales, de forma que no se generen vertimientos en el proceso. Para ello, los lixiviados generados en el proceso de descomposición de la pulpa se recirculan permanentemente sobre el mismo material, hasta lograr su incorporación completa, y las aguas tratadas, provenientes de los sistemas de tratamiento, son utilizadas en el riego de los cultivos de la zona, en las condiciones establecidas en la Resolución MADS 1207 del 2014.

De acuerdo con la publicación presentada por la Federación Nacional de Cafeteros (2021), a nivel nacional para el primer trimestre del año 2018 más de 30% de los beneficiadores de café ya eran ecológicos y más del 50% estaban en transición hacia esta tecnología.

A partir de los registros para el año 2020 de las Evaluaciones Agropecuarias Municipales – EVA, se determinó el rendimiento de los cultivos de café por cada municipio (*Tabla 453*), en unidades de toneladas de café verde equivalente/hectárea/año. A partir de la espacialización de las áreas de café sembradas en el área de estudio, fue posible determinar la producción de café verde equivalente para el año 2020 para las diferentes zonas de interés.

Tabla 453. Rendimiento por municipios (ton Café Verde Equivalente/ ha/ año)

Municipio	Rendimiento (t Café Verde Equivalente/ año)
Rendimiento Alvarado	1,15
Rendimiento Anzoátegui	1,17
Rendimiento Armero	0,92
Rendimiento Cajamarca	1,06

Municipio	Rendimiento (t Café Verde Equivalente/ año)
Rendimiento Casabianca	1,16
Rendimiento Falan	1,14
Rendimiento Fresno	0,60
Rendimiento Herveo	1,14
Rendimiento Ibagué	0,47
Rendimiento Lérida	1,16
Rendimiento Líbano	1,19
Rendimiento Mariquita	1,20
Rendimiento Murillo	0,41
Rendimiento Palocabildo	1,19
Rendimiento Rovira	1,20
Rendimiento San Luis	1,20
Rendimiento Santa Isabel	1,17
Rendimiento Venadillo	1,11
Rendimiento Villahermosa	1,19
Rendimiento Manzanares	1,18
Rendimiento Marquetalia	1,20

El Café en pergamino se refiere a los granos de café beneficiados por vía húmeda antes de descerezarlos, secados hasta alcanzar un contenido de humedad de alrededor de 12%, antes de que se haya retirado su cubierta exterior dura (el endocarpio/ pergamino) al descascararlos. También corresponden a granos elaborados en húmedo después del despulpe, secados hasta alanzar un contenido de humedad de alrededor de 12%, pero antes de que con el descascarado se haya extraído su cubierta exterior dura (el endocarpio o pergamino). Mientras que el café en verde es el término genérico para el grano seco sin cáscara exclusivamente. Puede hallarse en cualquiera de los distintos momentos de la elaboración, desde la cosecha hasta la eliminación de todos los granos defectuosos. El café se exporta en este estado, listo para la torrefacción.

Las toneladas de café verde equivalente obtenidas por las áreas aportantes de los tramos de interés fueron transformadas a unidades de café pergamino seco, considerando para esto el valor presentado por la Organización Internacional del Café - OIC de 0,8 kg Café Verde Equivalente por 1 kg de Café pergamino seco. Para la determinación de los factores de Café se utilizó el promedio de los presentados por CENICAFÉ (2015), para el beneficio convencional y el beneficio ecológico (*Tabla 454*). Se determinó un único factor considerando la estadística nacional presentada por la Federación, considerando un 30% de beneficio ecológico y un 70% de Beneficio convencional. Estos factores corresponden a los kg de DBO_5 y SST generados por el beneficio de una (1) arroba (12,5 kg) de café verde equivalente. Al

multiplicar el área de cultivo, por el rendimiento y el uso de los factores de la *Tabla 454* se obtuvieron las cargas de DBO_5 y SST para el beneficio del café.

Tabla 454. Factores para determinación de la Carga de DBO_5 y SST para el Beneficio de Café

Tipo de Beneficio	DBO5	SST
	kg/@ de cps	
Convencional 1	3,59	3,5
Convencional 2	2,87	0,7
Convencional 3	2,51	0,24
Convencional 4	1,79	0,05
En transición con reducción de Agua	3,58	3,47
Promedio Convencional	2,87	1,59
Ecológico 1	1,375	0,21
Ecológico 2	1,02	0,12
Ecológico 3	1,02	0,12
Ecológico 4	0,335	0,015
Ecológico 5	0,335	0,02
Promedio Ecológico	0,82	0,10
30% Ecológico 70% convencional	**2,25**	**1,14**
Factor conversión 1 arroba de CPS = 12,5 kg		
Ton / Ton cps	0,180	0,091

Fuente: UTOLIMA adaptado de CENICAFÉ (2015)

A partir de datos experimentales obtenidos para el beneficio del café en el departamento del Quindío por Di-Torres et al (2019), se obtuvieron factores para las relaciones NT/DQO y PT/DQO (*Tabla 455*). La relación DQO/DBO_5 se obtuvo del documento denominado El Beneficio del Café en Colombia (CENICAFE, 2015).

Tabla 455. Factores de Conversión utilizados para determinar la carga en el beneficio de Café

FACTOR DE CONVERSIÓN DE LA CARGA	VALOR	FUENTE
	BENEFICIO DE CAFÉ	
CAFÉ Soluble 631 DQO/DBO5	1,67	Resolución MADS 0631 de 2015
kg cps/kg café verde	1,25	Organización Internacional del Café - OIC
Ton DBO5/Ton cps	0,180	CENICAFE, 2015. 30%ecol 70%conv
Ton SST/Ton cps	0,091	CENICAFE, 2015. 30%ecol 70%conv
Café DQO/ DBO5	2,07	CENICAFE, 2015
Café NT/DQO	0,07	Di-Torres et al (2019)
Café PT/NT	0,10	
Café DQO/NT	15	Di-Torres et al (2019)
Café NT/PT	9,74	

26.5.1. Determinación de la Oferta hídrica

EL IACAL se define a partir de la relación entre la carga aportada por un área específica, y la oferta hídrica de esta. Para el presente estudio, se obtendrá el valor del IACAL para una determinada zona, considerando la Oferta Hídrica Total – OHT para año Seco y la OHT para año medio. La metodología para la determinación de estos volúmenes se desarrolla ampliamente en el componente de Hidrología del presente estudio.

27. Procesos de alteración de la calidad del agua: Cargas Contaminantes

27.1. Determinación de Cargas aportantes

Las cargas de la demanda bioquímica de oxígeno – DBO_5, sólidos suspendidos totales – SST, nitrógeno total – NT y fósforo total -PT fueron calculados para diferentes tramos o unidades de análisis de la calidad del agua definidos previamente, para las corrientes principales. Estas cargas se acumulan hacia aguas abajo con el fin de realizar la determinación del IACAL para polígonos con puntos de cierre en zonas de interés, de forma que permiten mostrar la dinámica de presión relacionada con cambios en la carga aportada hacia aguas abajo, así como el caudal disponible para realizar la dilución de dichas cargas, a partir de la Oferta Hídrica Total (OHT) para año Medio y para año Húmedo.

27.1.1. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Coello

Las cargas aportadas en la cuenca del río Coello provienen de los sectores doméstico, sacrificio animal, disposición de residuos y beneficio de café. En esta

cuenca se realizan las descargas municipales de Cajamarca, en las cuencas de los ríos Bermellón y Anaime. Se identificó una descarga de la Planta de Beneficio Animal – PBA de Cajamarca sobre el río Anaime.

En su zona más alta, desde la divisoria de aguas del río Toche hasta el tramo COELLO_1 (arriba del río Bermellón), solo se identificaron cultivos de café dentro de los sectores contemplados como fuentes de vertimientos. Los cultivos se extienden entre los tramos COELLO_1 a COELLO_3. en jurisdicción del municipio de Ibagué se identificaron aproximadamente 1082 ha de cultivo de café, en Rovira 425 ha y en Cajamarca 41 ha.

En el tramo del río Bermellón (BERMELLON_2) aguas abajo del río Anaime, así como en un sector del río Coello, aguas abajo de la desembocadura del río Bermellón, se han identificado por parte de la Corporación varios lavaderos de vehículos a un costado de la vía que comunica a los municipios de Ibagué y Cajamarca, cuyas aguas residuales, en algunos casos son dispuestas de forma inadecuada en el suelo o en canales de aguas lluvias. No se cuenta con la información suficiente para calcular la potencial carga que pudiera aportar esta actividad a los cuerpos de agua superficial.

De acuerdo con los recorridos realizados por CORTOLIMA en el año 2017 para la verificación del manejo de las aguas residuales de los lavaderos (*Fotografía 1*), se encontraron problemas relacionados con:

- Sistemas con estructuras deficientes.
- Incapacidad de manejar y tratar las aguas residuales no domésticas – ARnD.
- Disposición de aguas residuales en las cunetas de la vía nacional diseñadas para evacuar las aguas lluvias.
- Falta de sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas – ARD.
- Inadecuada disposición de residuos peligrosos, correspondiente a el lodo impregnado con hidrocarburos, grasas y aceites, los cuales estarían presentes en las ARnD.

Fotografía 1. Lavado de vehículos en la cuenca del río Coello

Lavado de Vehículos junto a la vía Ibagué – Cajamarca	Descarga de efluente del lavadero al sistema de aguas lluvias

Sistema utilizado para reducir la concentración de grasas	Disposición en el suelo de las aguas residuales

Fuente: Informe de Seguimiento a lavaderos. CORTOLIMA (2017)

En su Zona media (Tramo COELLO_2) se recibe a través del río Bermellón el aporte de varios vertimientos del municipio de Cajamarca, incluyendo la planta de Beneficio animal. Entre el sector desde aguas abajo del río Bermellón hasta aguas arriba del río Combeima (COELLO_3) no se registraron aportes diferentes al de los cultivos de café.

El río Combeima es uno de los afluentes más importantes del río Coello en su zona media (COELLO_4), en el cual se realiza la descarga de una cantidad importante de vertimientos (y de carga), incluyendo la Planta de Beneficio Animal - PBA Carlima, así como otras descargas del municipio de Ibagué y vertimientos privados de aguas residuales domésticas. En el río Combeima se realiza un trasvase de sus aguas hacia el río Opia, a través del Canal La Serna.

En este mismo tramo del río Coello, se realizan las descargas del centro poblado Payandé del Municipio de San Luis, a través de pequeños afluentes.

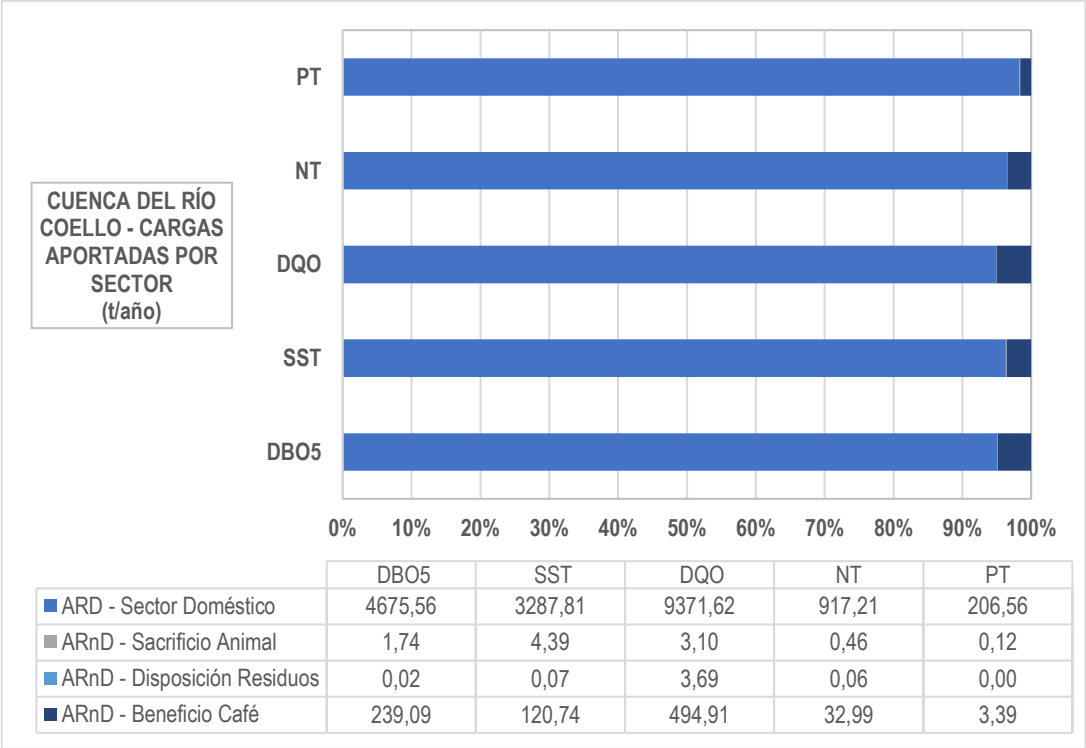
En su Zona Baja (COELLO_5) ingresa la quebrada Gualanday al río Coello, en la cual se realiza la descarga del Relleno Sanitario La Miel, a través de la quebrada Guacarí. En este tramo el río Coello recibe los vertimientos de los centros poblados Gualanday y Chicoral del municipio de Coello. Cerca de la desembocadura del río Coello en el río Magdalena, ingresa la quebrada Chaguala, en la cual no se identificaron potenciales aportes de cargas, por lo tanto, representaría un efecto de "dilución" para el cálculo del IACAL. En su último Tramo (COELLO_6) se realiza la descarga directa de un (1) vertimiento del municipio de Coello.

En la *Figura 485* se presenta la contribución de los sectores doméstico, sacrificio animal, disposición de residuos y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca del río Coello, siendo de 4916 t/año para la DBO5, 3413 t/año para SST, 9873 t/año para DQO, 951 t/año para nitrógeno total y 210 t/año para fósforo total.

Se observa que, para todos los parámetros, el sector doméstico realiza el mayor aporte de carga superando el 95%. La siguiente actividad con mayor potencial de aporte de carga corresponde al beneficio de café, representando el 5% para la DBO_5, 4% para los SST, 5% para la DQO, 3% para el nitrógeno total y 2% para el fósforo total.

Se considera que, a nivel de cuenca, no es significativo el aporte de carga realizado por el sacrificio animal, a través de la PBA del municipio de Cajamarca y la PBA CARLIMA del Fondo Ganadero del Tolima en el municipio de Ibagué.

Figura 485. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Coello



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	4675,56	3287,81	9371,62	917,21	206,56
ARnD - Sacrificio Animal	1,74	4,39	3,10	0,46	0,12
ARnD - Disposición Residuos	0,02	0,07	3,69	0,06	0,00
ARnD - Beneficio Café	239,09	120,74	494,91	32,99	3,39

Tabla 456. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Coello. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
TOCHE_1							
TOCHE_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
COELLO_1	Beneficio de Café Municipio de Cajamarca	ARnD – Beneficio Café	5,27	2,66	10,90	0,73	0,07
COELLO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**5,27**	**2,66**	**10,90**	**0,73**	**0,07**
BERMELLON_1A							
BERMELLON 1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
BERMELLON_1B	Beneficio de Café Municipio de Cajamarca	ARnD – Beneficio Café	0,80	0,41	1,67	0,11	0,01
BERMELLON_1B	Vertimiento ARnD PBA Cajamarca	ARnD – PBA	0,12	0,42	0,21	0,03	0,01
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Sector 20 de julio	AR_Mun <625	342,85	252,25	687,20	67,26	15,15
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Calle Larga Calle 16	AR_Mun <625	0,41	0,30	0,82	0,08	0,02
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Ibanizca	AR_Mun <625	6,82	5,02	13,66	1,34	0,30
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Unión y Evelio Gómez	AR_Mun <625	7,00	5,15	14,03	1,37	0,31
BERMELLON 1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**358,00**	**263,54**	**717,59**	**70,19**	**15,79**
ANAIME_1ª							
ANAIME_1ª PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
ANAIME_1B	Municipio Cajamarca Las Ferias	AR_Mun <625	6,48	4,11	12,99	1,27	0,29
ANAIME_1B	Municipio Cajamarca El Bosque 2	AR_Mun <625	13,96	8,86	27,99	2,74	0,62
ANAIME_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**20,44**	**12,97**	**40,98**	**4,01**	**0,90**
BERMELLON_2	Beneficio de Café Municipio de Cajamarca	ARnD – Beneficio Café	4,79	2,42	9,91	0,66	0,07
BERMELLÓN 2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**383,23**	**278,92**	**768,48**	**74,86**	**16,77**
COELLO_2	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	13,62	6,88	28,18	1,88	0,19
COELLO_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**402,11**	**288,46**	**807,56**	**77,47**	**17,03**
COCORA_1	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	12,06	6,09	24,97	1,66	0,17
COCORA 1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**12,06**	**6,09**	**24,97**	**1,66**	**0,17**
COELLO_3	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	65,36	33,01	135,30	9,02	0,93
COELLO_3	Beneficio de Café Municipio de Rovira	ARnD – Beneficio Café	114,86	58,00	237,75	15,85	1,63
COELLO_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**594,39**	**385,56**	**1205,58**	**104,00**	**19,76**
COMBEIMA_1							
COMBEIMA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
COMBEIMA_2A	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	9,75	4,92	20,17	1,34	0,14
COMBEIMA_2A	PBA Carlima Fondo Ganadero del Tolima	ARnD – PBA	1,62	3,97	2,88	0,43	0,11
COMBEIMA_2A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**11,37**	**8,89**	**23,05**	**1,78**	**0,25**
COMBEIMA 2A COMBEIMA_3	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	10,21	5,16	21,14	1,41	0,14
COMBEIMA 2A COMBEIMA_3	Municipio de Ibagué Vertimientos Urbanos hacia el río Combeima:	AR_Mun >3000	3928,84	2789,64	7874,91	770,73	173,57
COMBEIMA_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3950,42**	**2803,69**	**7919,11**	**773,92**	**173,97**
COMBEIMA_4	Bocatoma Canal La Serna	Trasvase					
COMBEIMA_4	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	2,38	1,20	4,92	0,33	0,03

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
COMBEIMA_4	INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P.	ARD <625	0,02	0,04	0,04	0,00	0,00
COMBEIMA_ 4 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		3952,82	2804,93	7924,07	774,25	174,00
COELLO_4	PARQUE LOGISTICO NACIONAL DEL TOLIMA (quebrada Ocona)	ARD <625	0,24	0,45	0,48	0,05	0,01
COELLO_4	Vertimientos del CP Payandé: · La Profunda (quebrada La Profunda) · Descole Barrio Nazareth (quebrada La Profunda) · La Curva del Mojicón (quebrada La Profunda) · Predio Mina La Esperanza	AR_Mun <625	80,77	40,71	161,89	15,84	3,57
COELLO_4 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		4628,21	3231,65	9292,02	894,14	197,34
GUALANDAY_1A	Interaseo ESP Relleno Sanitario La Miel	ARnD – Disposición Residuos	0,02	0,07	3,69	0,06	0,00
GUALANDAY_1A PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		0,02	0,07	3,69	0,06	0,00
GUALANDAY_1B							
GUALANDAY_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		0,02	0,07	3,69	0,06	0,00
COELLO_5	Municipio Coello CP Gualanday Sector La Garrucha (río Coello_05)	AR_Mun <625	17,16	11,12	34,40	3,37	0,76
COELLO_5	·Municipio Coello CP Gualanday Sector Panamericana (quebrada Meneses) ·Municipio Coello CP Gualanday Sector Las Brisas Cementerio (quebrada Meneses)	AR_Mun <625	7,99	5,18	16,02	1,57	0,35
COELLO_5	·Municipio Espinal CP Chicoral Sector Chorro Individuales Restaurantes (Caño Sobrantes PTAP) ·Municipio Espinal CP Chicoral Vto Carmen 1(Caño Sobrantes PTAP) · Municipio Espinal CP Chicoral Vto Av Tamalá (Caño Sobrantes PTAP) · El rincón de San Francisco	AR_Mun <3000	258,91	160,45	518,96	50,79	11,44
COELLO_5 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		4912,29	3408,47	9865,07	949,93	209,89
CHAGUALA_1							
CHAGUALA_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COELLO_6	Municipio de Coello Sector el Puente	AR_Mun <625	4,11	4,54	8,24	0,81	0,18
COELLO_6 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		4916,40	3413,01	9873,31	950,73	210,07

Tabla 457. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Coello. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Analisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
TOCHE_1							
TOCHE_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COELLO_1	Beneficio de Café Municipio de Cajamarca	ARnD – Beneficio Café	5,27	2,66	10,90	0,73	0,07
COELLO_1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		5,27	2,66	10,90	0,73	0,07

Tramo o Unidad de Analisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
BERMELLON_1A							
BERMELLON 1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
BERMELLON_1B	Beneficio de Café Municipio de Cajamarca	ARnD – Beneficio Café	0,80	0,41	1,67	0,11	0,01
BERMELLON_1B	Vertimiento ARnD PBA Cajamarca	ARnD – PBA	3,52	1,56	6,26	0,94	0,24
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Sector 20 de julio	AR_Mun <625	263,60	457,04	528,36	51,71	11,65
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Calle Larga Calle 16	AR_Mun <625					
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Ibanizca	AR_Mun <625					
BERMELLON_1B	Municipio Cajamarca Unión y Evelio Gómez	AR_Mun <625					
BERMELLON 1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**267,92**	**459,01**	**536,28**	**52,76**	**11,90**
ANAIME_1A							
ANAIME_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
ANAIME_1B	Municipio Cajamarca Las Ferias	AR_Mun <625	52,04	90,23	104,31	10,21	2,30
ANAIME_1B	Municipio Cajamarca El Bosque 2	AR_Mun <625					
ANAIME_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**52,04**	**90,23**	**104,31**	**10,21**	**2,30**
BERMELLON_2	Beneficio de Café Municipio de Cajamarca	ARnD – Beneficio Café	4,79	2,42	9,91	0,66	0,07
BERMELLÓN 2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**324,75**	**551,65**	**650,49**	**63,63**	**14,27**
COELLO_2	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	13,62	6,88	28,18	1,88	0,19
COELLO_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**343,63**	**561,19**	**689,58**	**66,24**	**14,53**
COCORA_1	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	12,06	6,09	24,97	1,66	0,17
COCORA 1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**12,06**	**6,09**	**24,97**	**1,66**	**0,17**
COELLO_03	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	65,36	33,01	135,30	9,02	0,93
COELLO_03	Beneficio de Café Municipio de Rovira	ARnD – Beneficio Café	114,86	58,00	237,75	15,85	1,63
COELLO_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**535,91**	**658,29**	**1087,59**	**92,77**	**17,26**
COMBEIMA_1							
COMBEIMA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
COMBEIMA_2A	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	9,75	4,92	20,17	1,34	0,14
COMBEIMA_2A	PBA Carlima Fondo Ganadero del Tolima	ARnD – PBA	33,56	16,78	59,66	8,96	2,31
COMBEIMA_2ª PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**43,31**	**21,70**	**79,83**	**10,31**	**2,45**
COMBEIMA_2A COMBEIMA_3	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	10,21	5,16	21,14	1,41	0,14
COMBEIMA_2A COMBEIMA_3	Municipio de Ibagué Vertimientos Urbanos hacia el río Combeima:	AR_Mun >3000	6012,70	8191,96	12051,77	1179,52	265,63
COMBEIMA_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**6066,22**	**8218,82**	**12152,75**	**1191,24**	**268,23**
COMBEIMA_4	Bocatoma Canal La Serna	Trasvase					
COMBEIMA_4	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD – Beneficio Café	2,38	1,20	4,92	0,33	0,03
COMBEIMA_4	· INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P.	ARD <625	0,05	0,05	0,10	0,01	0,00
COMBEIMA_ 4 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**6068,65**	**8220,07**	**12157,77**	**1191,58**	**268,26**

Tramo o Unidad de Analisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
COELLO_04	· PARQUE LOGISTICO NACIONAL DEL TOLIMA (quebrada Ocona)	ARD <625	0,89	0,89	1,78	0,17	0,04
COELLO_04	Vertimientos del CP Payandé: · La Profunda (quebrada La Profunda) · Descole Barrio Nazareth (quebrada La Profunda) · La Curva del Mojicón (quebrada La Profunda) · Predio Mina La Esperanza	AR_Mun <625	102,31	55,02	205,07	20,07	4,52
COELLO_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**6707,76**	**8934,27**	**13452,22**	**1304,60**	**290,08**
GUALANDAY_1A	· Interaseo ESP Relleno Sanitario La Miel	ARnD – Disposición Residuos	1,39	0,69	3,69	4,29	0,01
GUALANDAY_1ª PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1,39**	**0,69**	**3,69**	**4,29**	**0,01**
GUALANDAY_1B							
GUALANDAY_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1,39**	**0,69**	**3,69**	**4,29**	**0,01**
COELLO_05	·Municipio Coello CP Gualanday Sector La Garrucha (río Coello_05)	AR_Mun <625	30,23	18,76	60,59	5,93	1,34
COELLO_05	·Municipio Coello CP Gualanday Sector Panamericana (quebrada Meneses) ·Municipio Coello CP Gualanday Sector Las Brisas Cementerio (quebrada Meneses)	AR_Mun <625	6,41	3,98	12,85	1,26	0,28
COELLO_05	·Municipio Espinal CP Chicoral Sector Chorro Individuales Restaurantes (Caño Sobrantes PTAP) ·Municipio Espinal CP Chicoral Vto Carmen 1(Caño Sobrantes PTAP) · Municipio Espinal CP Chicoral Vto Av Tamalá (Caño Sobrantes PTAP) · El rincón de San Francisco	AR_Mun <3000	193,63	100,29	388,11	37,98	8,55
COELLO_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**6939,42**	**9057,99**	**13917,46**	**1354,06**	**300,26**
CHAGUALA_1							
CHAGUALA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
COELLO_06	Municipio de Coello Sector el Puente	AR_Mun <625	0,94	1,25	1,88	0,18	0,04
COELLO_6 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**6940,36**	**9059,24**	**13919,34**	**1354,24**	**300,30**

27.1.2. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Opia

A continuación, se presentan las cargas aportadas por los diferentes vertimientos realizados en la cuenca del río Opia por el sector doméstico e industrial. En esta cuenca se realizan las descargas del municipio de Ibagué, en las áreas aferentes de los ríos Opia y Doima, siendo las más importante esta última, ya que recibe aproximadamente el 99% de la carga del sector doméstico para DBO_5, DQO, SST, NT y PT.

En su Zona alta (OPIA_1), el río Opia recibe desde su cabecera una parte de las aguas residuales generadas por el municipio de Ibagué, los vertimientos privado provenientes del usuario Industrias Aliadas, con aguas residuales correspondiente a la actividad de Industria de Alimentos y Bebidas, y del usuario Praxedis,

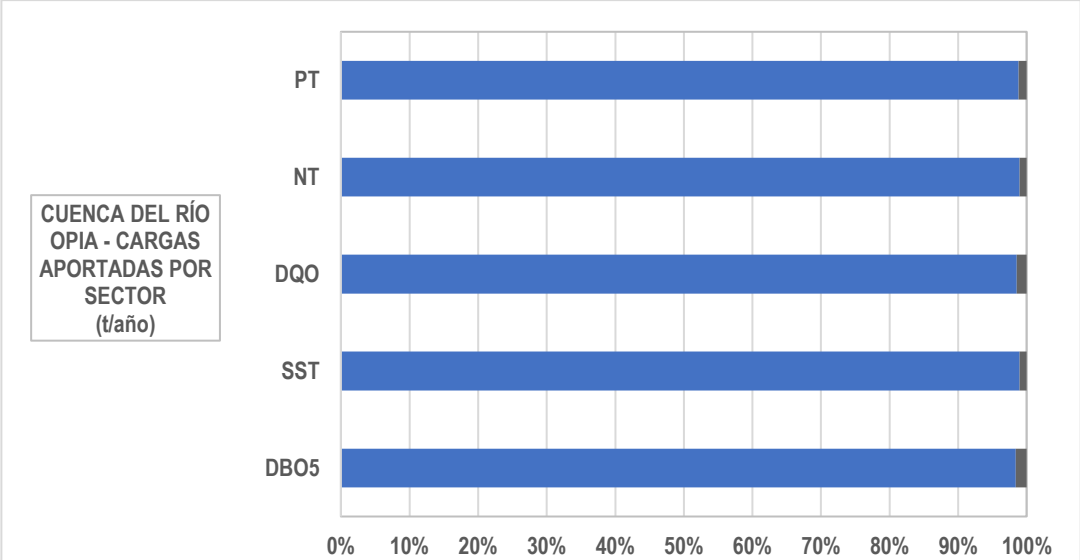
correspondiente a la Industria Textil. En este tramo también se recibe el aporte derivado del trasvase de aguas superficiales realizado desde el río Combeima ubicado en la cuenca del río Coello.

La quebrada Doima es el afluente más importante del río Opia, desembocando en su parte baja (OPIA 2). Esta quebrada recibe el aporte de aguas residuales del municipio de Ibagué, representando el 98% de la carga aportada en toda la cuenca del río Opia. Adicionalmente en la quebrada Doima se realizan vertimientos que provienen del del centro poblado Doima del municipio de Piedras.

No se identificaron zonas con cultivos de café en la cuenca del río Opia.

En la *Figura 486* se presenta la contribución de los sectores doméstico e industrial en la carga total aportada a la cuenca del río Opia. Se observa que, para todos los parámetros, el sector doméstico realiza el mayor aporte de carga con valores entre el 98 y 99%. El Sector industrial está representado por actividades de la industria textil y de alimentos y bebidas, los cuales representan tan solo entre el 1 y 2% de la carga total aportada.

Figura 486. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	1407,87	719,40	2821,91	276,19	62,20
ARnD - Sacrificio Animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Disposición Residuos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Beneficio Café	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Industria	22,83	7,49	42,26	2,94	0,75

Opia

Tabla 458. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Opia. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Analisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
NAGUACHI_1	· Municipio de Coello Sector Matadero	AR_Mun <625	19,06	21,15	38,20	3,74	0,84
NAGUACHI_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**19,06**	**21,15**	**38,20**	**3,74**	**0,84**
OPIA_1ª	· INDUSTRIAS ALIADAS S.A.S	ARnD – Alimentos Y Bebidas	14,47	6,30	24,12	2,84	0,64
OPIA_1ª	Municipio de Ibague vertimientos: · Medicadiz nueva sede · Detrás de Cocacola · PTAR Las Américas el Colector · Vertimiento el Escobal · Invasión El Tesoro 1 · Invasión El Tesoro 2 · Asentamiento El Tesoro 1 · Asentamiento El Tesoro 2	AR_Mun <625	0,90	0,46	1,80	0,18	0,04
OPIA_1ª PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**15,37**	**6,76**	**25,91**	**3,01**	**0,68**
Canal La Serna	Aporte del Canal La Serna, Trasvase desde el río Combeima	Trasvase					
OPIA_1B	PRAXEDIS DE ARTUNDUAGA S.A.	ARnD – Fabricación y Manufactura de Bienes	8,359	1,19	18,14	0,10	0,11
OPIA_1B PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**23,73**	**7,95**	**44,06**	**3,12**	**0,79**
OPIA_1	·Municipio Piedras CP Doima PTAR Coburgos Lagunas de Oxidación	AR_Mun <625	2,96	1,63	5,93	0,58	0,13
OPIA_1	·Municipio Piedras CP Doima PTAR Villa Tamal - Pueblo Nuevo- Canal Los Rodriguez	AR_Mun <625	7,19	3,38	14,41	1,41	0,32
OPIA _1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**33,88**	**12,96**	**64,40**	**5,11**	**1,24**
DOIMA_1ª	Municipio de Ibagué vertimientos: · ESP Ibaguereña Vertimiento PTAR COMFENALCO · Invasión Milagro de Dios · Colegio José Joaquín Flóres · Parqueadero de Busetas Rincón de las Américas · PTAR Las Américas al Colector · Escobal Cementerio	AR_Mun >3000	1396,82	713,93	2799,77	274,02	61,71
DOIMA_1ª PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1396,82**	**713,93**	**2878,59**	**280,54**	**63,26**
DOIMA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1396,82**	**713,93**	**2878,59**	**280,54**	**63,26**
OPIA Total	**Punto para cálculo del IACAL**		**1430,70**	**726,89**	**2942,99**	**285,64**	**64,50**

Tabla 459. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Opia. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Analisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
NAGUACHI_1	· Municipio de Coello Sector Matadero	AR_Mun <625	16,83	11,77	33,73	3,30	0,74

Tramo o Unidad de Analisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
NAGUACHI_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		16,83	11,77	33,73	3,30	0,74
OPIA_1ª	· INDUSTRIAS ALIADAS S.A.S	ARnD – Alimentos Y Bebidas	247,9	143,7	413,17	48,63	10,95
OPIA_1ª	Municipio de Ibague vertimientos: · Medicadiz nueva sede · Detrás de Cocacola · PTAR Las Américas el Colector · Vertimiento el Escobal · Invasión El Tesoro 1 · Invasión El Tesoro 2 · Asentamiento El Tesoro 1 · Asentamiento El Tesoro 2	AR_Mun <625	0,55	0,74	1,10	0,11	0,02
OPIA_1ª PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		248,45	144,44	414,27	48,74	10,98
Canal La Serna	Aporte del Canal La Serna, Trasvase desde el río Combeima	Trasvase					
OPIA_1B	PRAXEDIS DE ARTUNDUAGA S.A.	ARnD – Fabricación y Manufactura de Bienes	9,46	2,37	20,53	0,11	0,11
OPIA_1B PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		257,91	146,81	434,80	48,85	11,08
OPIA_1	·Municipio Piedras CP Doima PTAR Coburgos Lagunas de Oxidación	AR_Mun <625	13,6	13,6	27,26	2,67	0,60
OPIA_1	·Municipio Piedras CP Doima PTAR Villa Tamal - Pueblo Nuevo- Canal Los Rodriguez	AR_Mun <625	1,48	1,48	2,97	0,29	0,07
OPIA _1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		272,99	161,89	465,03	51,81	11,75
DOIMA_1ª	Municipio de Ibagué vertimientos: · ESP Ibaguereña Vertimiento PTAR COMFENALCO · Invasión Milagro de Dios · Colegio José Joaquín Flóres · Parqueadero de Busetas Rincón de las Américas · PTAR Las Américas al Colector · Escobal Cementerio	AR_Mun >3000	856,26	1156,70	1716,28	167,97	37,83
DOIMA_1ª PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		856,26	1156,70	1716,28	167,97	37,83
DOIMA_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		856,26	1156,70	1716,28	167,97	37,83
OPIA Total	Punto para cálculo del IACAL		1129,25	1318,59	2181,30	219,79	49,58

27.1.3. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Totare

Las cargas aportadas en la cuenca del río Totare provienen de los sectores doméstico, sacrificio animal, disposición de residuos y beneficio de café. En la zona alta del río Totare, se presentan cultivos de café en los municipios de Santa Isabel y Anzoátegui, así como en las quebradas El Fierro y La Rica, cuerpos de agua que también son receptores de las aguas residuales de estos municipios.

Uno de los afluentes más importantes del río Totare es el río Alvarado, el cual, en su parte alta a la altura del municipio de Ibagué, recibe una parte de las aguas residuales que allí se generan, con una carga de DBO_5 que supera los 3000 t/año (54% del total de la cuenca). En su zona baja esta corriente recibe las aguas

residuales del centro poblado Caldas Viejo y vertimientos del casco urbano del municipio de Alvarado.

La quebrada La China, afluente del río Alvarado recibe las aguas residuales del casco urbano del municipio de Anzoátegui. En su área aferente, se identificaron cultivos de café en jurisdicción de Ibagué y Anzoátegui.

El río Chipalo es otro de los afluentes principales de esta cuenca, el cual, en su parte alta, recibe una carga importante proveniente del casco urbano del municipio de Ibagué, con una carga que supera los 2000 t/año (41% del total de la cuenca). En esta zona se realiza la descarga del Relleno Sanitario Combeima, la cual está condicionada por las precipitaciones, y representa un aporte de carga bajo en comparación con los vertimientos domésticos provenientes de Ibagué. En el área aferente de esta corriente, se identificaron cultivos de café en jurisdicción del municipio de Ibagué.

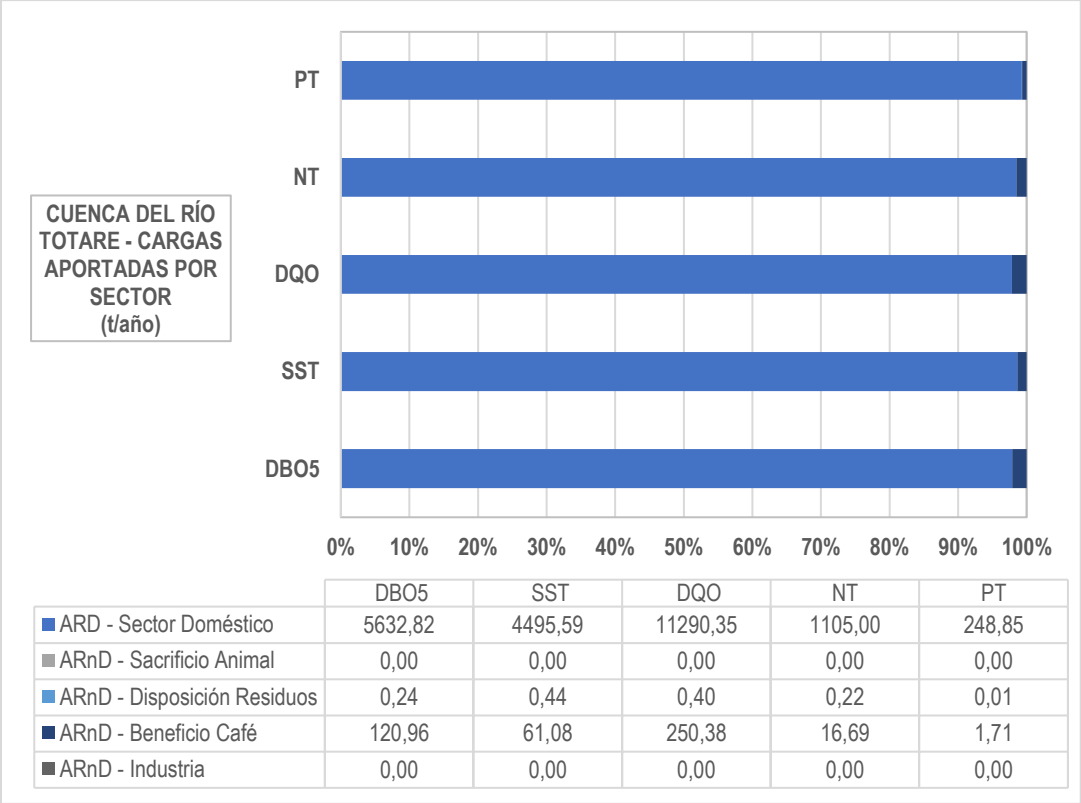
Finalmente, en su zona baja el río Totare, recibe las aguas de la quebrada el Guarapo (Honda), la cual recibe las aguas residuales de la PTAR La Manga del municipio de Piedras.

En la *Figura 487* se presenta la contribución de los sectores doméstico, disposición de residuos y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca del río Totare, siendo de 5754 t/año para la DBO5, 4557 t/año para SST, 11541 t/año para DQO, 1122 t/año para nitrógeno total y 251 t/año para fósforo total.

Se observa que, para todos los parámetros, el sector doméstico realiza el mayor aporte de carga contando con el 98 al 99%. La siguiente actividad con mayor potencial de aporte de carga corresponde al beneficio de café, representando entre el 1 y 2% para la DBO_5, los SST, DQO, nitrógeno total y fósforo total.

Se considera que, a nivel de cuenca, no es significativo el aporte de carga realizado por la disposición de residuos, a través del Relleno Sanitario Combeima (0,02% del total).

Figura 487. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Totare



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	5632,82	4495,59	11290,35	1105,00	248,85
ARnD - Sacrificio Animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Disposición Residuos	0,24	0,44	0,40	0,22	0,01
ARnD - Beneficio Café	120,96	61,08	250,38	16,69	1,71
ARnD - Industria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 460. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Totare. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
TOTARE_1							
TOTARE_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
TOTARE_2A	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	2,2	1,1	4,6	0,3	0,0
TOTARE_2A	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	1,4	0,7	2,9	0,2	0,0
TOTARE_2A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3,63**	**1,83**	**7,51**	**0,50**	**0,05**
FIERRO_1	· Municipio de Anzoátegui Sector Estación de Servicio (quebrada El Fierro)	AR_Mun <625	8,71	63,48	17,46	1,71	0,38

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	· Municipio Anzoátegui Sector Hospital (Q. El Fierro)						
FIERRO_1	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	10,4	5,3	21,5	1,4	0,1
FIERRO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**19,11**	**68,73**	**38,99**	**3,14**	**0,53**
RICA_1	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	2,4	1,2	4,9	0,3	0,0
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Q La Rica. · PTARD Matadero · Los Fundadores	AR_Mun <625	42,91	28,84	86,01	8,42	1,90
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Canal Aguas residuales la Quiebra · PTARD La Quiebra	AR_Mun <625	3,75	2,91	7,52	0,74	0,17
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Canal Aguas Residuales Hospital · Vto Hospital	AR_Mun <625	6,95	5,4	13,93	1,36	0,31
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Q Las Ánimas · PTARD Circunvalar ·Los Chanchiros 1 · Los Chanchiros 2	AR_Mun <625	11	9,73	22,05	2,16	0,49
RICA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**66,99**	**15,13**	**35,98**	**3,52**	**0,79**
TOTARE_2B	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	8,2	4,1	16,9	1,1	0,1
TOTARE_2B	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	2,0	1,0	4,2	0,3	0,0
TOTARE_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**99,90**	**90,83**	**103,53**	**8,57**	**1,52**
TOTARE_3							
TOTARE_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**99,90**	**90,83**	**103,53**	**8,57**	**1,52**
ALVARADO_1A	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	23,7	11,9	49,0	3,3	0,3
ALVARADO_1A	Municipio de Ibagué directos e indirectos al río Alvarado	AR_Mun >3000	3087,96	2418,75	6189,46	605,77	136,42
ALVARADO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3111,61**	**2430,69**	**6238,42**	**609,04**	**136,76**
ALVARADO_1B	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	28,2	14,2	58,3	3,9	0,4
ALVARADO_1B PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3139,79**	**2444,92**	**6296,74**	**612,92**	**137,16**
ALVARADO_1C	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	6,9	3,5	14,3	1,0	0,1
ALVARADO_1C	Municipio de Alvarado en río Alvarado- Lagunas de Oxidación	AR_Mun <625	45,81	60,42	91,82	8,99	2,02
ALVARADO_1C	Municipio de Alvarado CP Caldas Viejo - PTAR Caldas Viejo	AR_Mun <625	27,64	23,54	55,40	5,42	1,22
ALVARADO_1C	Municipio de Alvarado - Q La Palmita PTARD Galán	AR_Mun <625	7,57	4,93	15,17	1,49	0,33
ALVARADO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3227,70**	**2537,30**	**6473,42**	**629,77**	**140,83**
CHINA_1							
CHINA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
ROMUALDO_1							
ROMUALDO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
CHINA_2	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	13,56	6,85	28,07	1,87	0,19
CHINA_2	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	3,60	1,82	7,44	0,50	0,05
CHINA_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**17,16**	**8,66**	**35,52**	**2,37**	**0,24**

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
FRIO_1A							
FRIO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
INNOMINADA_1	· Municipio Anzoátegui Sector antiguo Matadero (Q. Las Camelias)	AR_Mun <625	5,51	32,22	11,05	1,08	0,24
INNOMINADA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**5,51**	**32,22**	**11,05**	**1,08**	**0,24**
STA_HELENA_1	· Municipio Anzoátegui Hospital - Ancianato (Q. Las Camelias) · Municipio Anzoátegui PTAR sector El Bosque-Colegio Carlos Blanco Nassar q Las Camelias)	AR_Mun <625	14,26	83,28	28,57	2,80	0,63
STA_HELENA_ 1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**14,26**	**83,28**	**28,57**	**2,80**	**0,63**
FRIO_1B	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	3,1	1,6	6,4	0,4	0,0
FRIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**22,86**	**117,06**	**46,02**	**4,30**	**0,92**
CHINA_3							
CHINA_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**40,02**	**125,73**	**81,54**	**6,67**	**1,16**
CHINA_4							
CHINA_4 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**40,02**	**125,73**	**81,54**	**6,67**	**1,16**
ALVARADO_2							
ALVARADO_2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3267,72**	**2663,02**	**6554,96**	**636,44**	**141,99**
TOTARE_4							
TOTARE_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3367,62**	**2753,85**	**6658,49**	**645,01**	**143,51**
CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Vertimientos del Municipio de Ibagué directos e indirectos al río Chipalo	AR_Mun >3000	2350,07	1745,36	4710,45	461,02	103,82
CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	15,4	7,8	31,9	2,1	0,2
CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Relleno Sanitario Combeima - Q. Agua Sucia	ARnD - Disposición Residuos	0,24	0,44	0,4	0,22	0,012
CHIPALO_2A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**2365,71**	**1753,58**	**4742,73**	**463,36**	**104,05**
CHIPALO_2B							
CHIPALO_2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**2365,71**	**1753,58**	**4742,73**	**463,36**	**104,05**
GUARAPO_1	Municipio de Piedras PTAR La Manga La Ceiba (quebrada Honda - Guarapo)	AR_Mun <625	20,68	16,73	41,45	4,06	0,91
GUARAPO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**20,68**	**16,73**	**41,45**	**4,06**	**0,91**
TOTARE_5							
TOTARE_5 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**5754,02**	**4524,16**	**11442,67**	**1112,43**	**248,48**

Tabla 461. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Totare. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
TOTARE_1							
TOTARE_1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTARE_2A	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	2,24	1,13	4,64	0,31	0,03
TOTARE_2A	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	1,39	0,70	2,87	0,19	0,02
TOTARE_2A PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		3,63	1,83	7,51	0,50	0,05
FIERRO_1	· Municipio de Anzoátegui Sector Estación de Servicio (quebrada El Fierro) · Municipio Anzoátegui Sector Hospital (Q. El Fierro)	AR_Mun <625	3,41	20,28	6,83	0,67	0,15
FIERRO_1	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	10,40	5,25	21,53	1,44	0,15
FIERRO_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		13,81	25,53	28,37	2,10	0,30
RICA_1	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	2,38	1,20	4,93	0,33	0,03
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Q La Rica. · PTARD Matadero · Los Fundadores	AR_Mun <625	24,92	18,44	49,95	4,89	1,10
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Canal Aguas residuales la Quiebra · PTARD La Quiebra	AR_Mun <625	5,9	4,37	11,83	1,16	0,26
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Canal Aguas Residuales Hospital · Vto Hospital	AR_Mun <625	8	5,92	16,04	1,57	0,35
RICA_1	Municipio de Santa Isabel - Q Las Ánimas · PTARD Circunvalar ·Los Chanchiros 1 · Los Chanchiros 2	AR_Mun <625	21,44	23,59	42,97	4,21	0,95
RICA_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		62,64	29,51	59,01	5,78	1,30
TOTARE_2B	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	8,16	4,12	16,88	1,13	0,12
TOTARE_2B	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	2,01	1,01	4,16	0,28	0,03
TOTARE_2 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		90,25	62,01	115,93	9,78	1,79
TOTARE_3							
TOTARE_3 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		90,25	62,01	115,93	9,78	1,79
ALVARADO_1A	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	23,65	11,94	48,96	3,26	0,34
ALVARADO_1A	Municipio de Ibagué directos e indirectos al río Alvarado	AR_Mun >3000	240,85	326,82	482,76	47,25	10,64
ALVARADO_1A PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		264,50	338,76	531,71	50,51	10,98
ALVARADO_1B	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	28,18	14,23	58,32	3,89	0,40
ALVARADO_1B PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		292,68	352,99	590,04	54,40	11,37
ALVARADO_1C	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	6,90	3,48	14,28	0,95	0,10
ALVARADO_1C	Municipio de Alvarado en río Alvarado-Lagunas de Oxidación	AR_Mun <625	10,39	11,63	20,83	2,04	0,46
ALVARADO_1C	Municipio de Alvarado CP Caldas Viejo - PTAR Caldas Viejo	AR_Mun <625	11,11	14,69	22,27	2,18	0,49
ALVARADO_1C	Municipio de Alvarado - Q La Palmita PTARD Galán	AR_Mun <625	0,37	0,75	0,74	0,07	0,02
ALVARADO_1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		321,44	383,55	648,15	59,64	12,44
CHINA_1							
CHINA_1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
ROMUALDO_1							
ROMUALDO_1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CHINA_2	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	13,56	6,85	28,07	1,87	0,19
CHINA_2	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	3,60	1,82	7,44	0,50	0,05
CHINA_2 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		17,16	8,66	35,52	2,37	0,24
FRIO_1A							
FRIO_1A PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INNOMINADA_1	· Municipio Anzoátegui Sector antiguo Matadero (Q. Las Camelias)	AR_Mun <625	3,70	26,40	7,43	0,73	0,16
INNOMINADA_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		3,70	26,40	7,43	0,73	0,16
STA_HELENA_1	· Municipio Anzoátegui Hospital - Ancianato (Q. Las Camelias) · Municipio Anzoátegui PTAR sector El Bosque-Colegio Carlos Blanco Nassar q Las Camelias)	AR_Mun <625	9,58	68,25	19,19	1,88	0,42
STA_HELENA_ 1 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		9,58	68,25	19,19	1,88	0,42
FRIO_1B	Beneficio de Café Municipio de Anzoátegui	ARnD - Beneficio Café	3,09	1,56	6,40	0,43	0,04
FRIO_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		16,37	96,21	33,02	3,03	0,63
CHINA_3							
CHINA_3 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		33,53	104,88	68,53	5,40	0,87
CHINA_4							
CHINA_4 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		33,53	104,88	68,53	5,40	0,87
ALVARADO_2							
ALVARADO_2 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		354,97	488,42	716,69	65,04	13,31
TOTARE_4							
TOTARE_4 PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		445,22	550,43	832,62	74,83	15,11
CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Vertimientos del Municipio de Ibagué directos e indirectos al río Chipalo	AR_Mun >3000	4161,98	5630,37	8342,21	816,46	183,87
CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Beneficio de Café Municipio de Ibagué	ARnD - Beneficio Café	15,40	7,78	31,89	2,13	0,22
CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Relleno Sanitario Combeima - Q. Agua Sucia	ARnD - Disposición Residuos	1,26	0,63	2,10	1,16	0,06
CHIPALO_2A PARCIAL	Punto para cálculo del IACAL		4178,64	5638,78	8376,20	819,75	184,15
CHIPALO_2B							
CHIPALO_2 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		4178,64	5638,78	8376,20	819,75	184,15
GUARAPO_1	Municipio de Piedras PTAR La Manga La Ceiba (quebrada Honda - Guarapo)	AR_Mun <625	21,77	17,69	43,64	4,27	0,96
GUARAPO_1 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		21,77	17,69	43,64	4,27	0,96
TOTARE_5							
TOTARE_5 TOTAL	Punto para cálculo del IACAL		4645,64	6206,90	9252,45	898,84	200,22

27.1.4. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Recio - Venadillo

Las cargas aportadas en la cuenca del río Recio provienen de los sectores doméstico y beneficio de café, mientras que para la cuenca del río Venadillo el aporte proviene del sector doméstico. En la zona alta del río Recio a la altura del municipio de Murillo se identificaron cultivos de café con un área pequeña (1,8 ha), mientras que en el municipio de Líbano se identifican áreas de cultivo de café que suman 614 ha, ubicadas en áreas aferentes del río Recio en su zona media, río La Yuca y quebrada Santa Rosa. También se presenta una pequeña área de este cultivo en el municipio de Santa Isabel, con 5,4 ha.

En el río Venadillo, se observa que en su zona alta no hay aportes identificados de vertimientos puntuales, recibiendo la presión en su zona media debido a las descargas del municipio de Venadillo. En la parte baja del río Venadillo se encuentra el vertimiento de la Hacienda Pajonales, proveniente del eviscerado, lavado y empacado de peces, el cual, por las características del agua residual, fue clasificado en el presente estudio en el sector de sacrificio animal.

En el río Recio, los aportes urbanos inician en su zona alta (Tramo RECIO_2) con las descargase del municipio de Murillo y posteriormente (Tramo RECIO_3) con las del centro poblado Santa Teresa del municipio de Líbano. En las áreas aferentes de las quebradas Santa Rosa y San Juan se recibe un número importante de vertimientos del casco urbano del municipio de Líbano, incluyendo la descarga de la planta de beneficio animal.

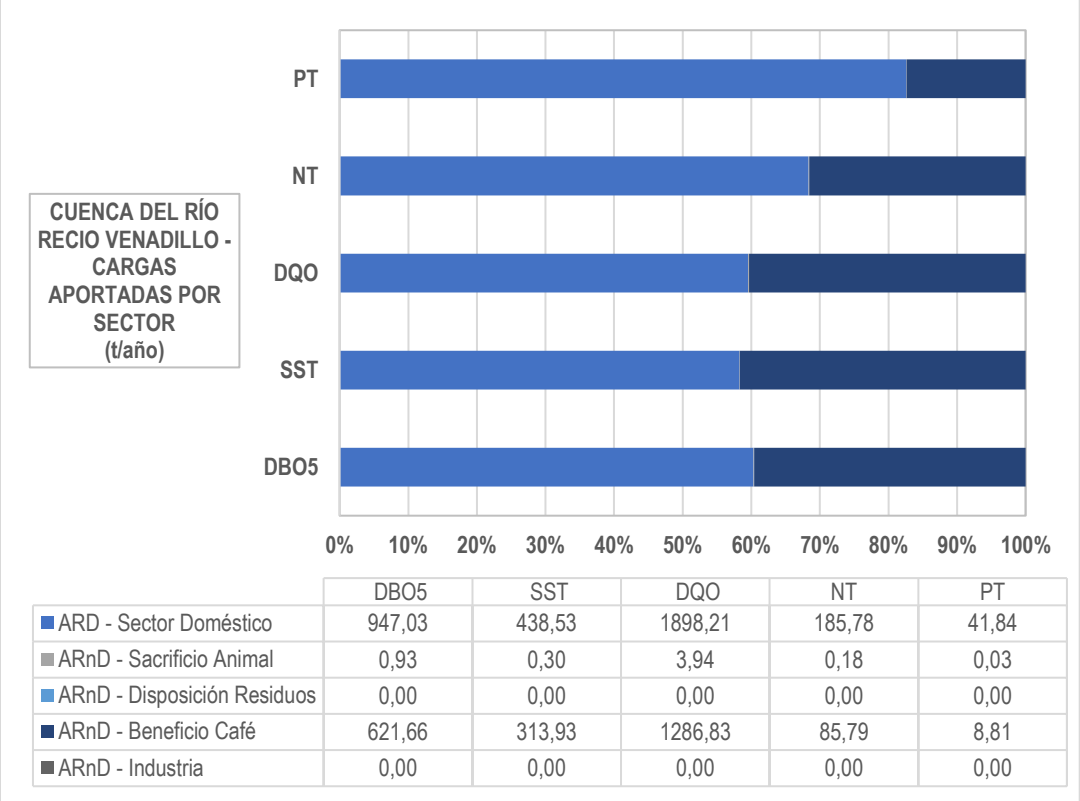
El río La Yuca es uno de los afluentes más importantes del río Recio en su zona media, el cual recibe en su parte más alta parte de los vertimientos del casco urbano del municipio de Santa Isabel. En esta zona, anteriormente se realizaba la descarga de ARnD provenientes de la actividad de minería de oro, vertimiento que actualmente se encuentra suspendido. En su parte baja el río La Yuca recibe una parte de los vertimientos del centro poblado de Santa Teresa del municipio de Líbano.

El municipio de Ambalema realiza diferentes vertimientos directamente al río Magdalena, sin pasar por el río Recio, los cuales se identifican posteriormente, pero no son considerados en la sumatoria de cargas para la determinación del índice IACAL.

En la *Figura 488* se presenta la contribución de los sectores doméstico, y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca de los ríos Recio - Venadillo, siendo de 1570 t/año para la DBO_5, 753 t/año para SST, 3189 t/año para DQO, 272 t/año para nitrógeno total y 51 t/año para fósforo total.

Se observa que, para todos los parámetros, el sector doméstico realiza el mayor aporte de carga contando con el 58 al 83%. La siguiente actividad con mayor potencial de aporte de carga corresponde al beneficio de café, representando entre el 17 al 42% para la DBO_5, los SST, DQO, nitrógeno total y fósforo total. A nivel de cuenca, no es significativo el aporte realizado por la actividad de procesamiento de peces (eviscerado, lavado y empacado) realizado por la hacienda Pajonal.

Figura 488. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Recio - Venadillo



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	947,03	438,53	1898,21	185,78	41,84
ARnD - Sacrificio Animal	0,93	0,30	3,94	0,18	0,03
ARnD - Disposición Residuos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Beneficio Café	621,66	313,93	1286,83	85,79	8,81
ARnD - Industria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 462. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Recio - Venadillo. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
VENADILLO_1A							
VENADILLO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
GALAPO_1	Vertimientos Municipio Venadillo · Barrio La Esperanza (Q. Los Monos) · Barrio Protecho (Q. Galapo) · Barrio Santofimio (Q. Galapo)	AR_Mun <625	200,75	150,7	402,38	39,38	8,87

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	· Barrio Pueblo Nuevo (Q. Galapo) · Barrio Tutumana (Q. Galapo) · Barrio Tutumana 2 (Q. Galapo) · CRA 10 Pueblo Nuevo (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 2 (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 3 (Q. Galapo) · Barrio Los Pinos (Q. Galapo) · Barrio Tutumana 3 (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 4 (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 5 (Q. Galapo) · Barrio Puerta Del Area (Q. Galapo)						
GALAPO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**200,75**	**150,70**	**402,38**	**39,38**	**8,87**
VENADILLO_1B	Vertimientos Municipio Venadillo: · Barrio Caracolí y matadero (Río Venadillo) · Barrio Caracolí (Río Venadillo) · PTAR salida laguna de oxidación (Río Venadillo)	AR_Mun <625	80,37	32,96	161,09	15,77	3,55
VENADILLO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**281,12**	**183,66**	**563,47**	**55,15**	**12,42**
VENADILLO_2	Organización Pajonales	AR_Mun <625	0,93	0,30	3,94	0,18	0,03
VENADILLO_2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**282,05**	**183,96**	**567,42**	**55,33**	**12,45**
RECIO_1							
RECIO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
AZUL_1							
AZUL_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
CASTRILLON_1	Vertimientos Municipio Murillo: · Sector Matadero · Barrio Villa Castellana	AR_Mun <625	221,23	43,56	443,43	43,40	9,77
CASTRILLON_1	Beneficio de Café Municipio de Murillo	ARnD - Beneficio Café	1,8	0,9	3,8	0,3	0,0
CASTRILLÓN TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**223,07**	**44,49**	**447,23**	**43,65**	**9,80**
RECIO_2	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	97,3	49,2	201,5	13,4	1,4
RECIO_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**320,40**	**93,64**	**648,71**	**57,08**	**11,18**
SANTAROSA_1	Vertimientos Municipio Líbano: · Carrera 15 barrio Las Ferias · Barrio Las Brisas · 20 de Julio Matadero · Carrera 7 Libertad · Carrera 6 Plaza de Toros · Barrio Las Américas · Calle 1 Barrio Ramón Arana · Barrio La Polka · Porvenir · Barrio Isidro Prada · Villa Temmy · Av. Fundadores Hilda Martínez · El Cedral · El triunfo y las Acacias · Protecho · Hilda Martínez	AR_Mun >625 y <3000	321,94	139,85	645,29	63,16	14,22
SAN_JUAN_1	Vertimientos Municipio Líbano: · 1 de Mayo · Balneario Status · Coloyita Disipador · Carrera 8 Estadio · Diagonal 9 Barrio Los Pinos · PTAR San Juan · Sector San José · Puente San José	ARD < 625	104,16	56,03	208,78	20,43	4,60

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
SANTAROSA_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	195,3	98,6	404,3	27,0	2,8
SANTAROSA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**621,43**	**294,52**	**1258,39**	**110,54**	**21,59**
PEÑAS_1	Vertimientos Municipio Líbano: · Centro dos · Salida Al Libano	ARD < 625	0,63	0,3	1,26	0,12	0,03
PEÑAS_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	51,3	25,9	106,2	7,1	0,7
PEÑAS TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**51,95**	**26,22**	**107,49**	**7,21**	**0,75**
HONDA_RECIO_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	264,8	133,7	548,2	36,5	3,8
HONDA_RECIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**264,82**	**133,73**	**548,18**	**36,55**	**3,75**
RECIO_3	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	0,68	0,34	1,40	0,09	0,01
RECIO_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1259,28**	**548,45**	**2564,19**	**211,47**	**37,29**
YUCA_1A							
YUCA_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
ANIMAS_1	Vertimientos Municipio Santa Isabel: · Hospital (Canal AR Hospital)	AR_Mun <625	6,95	5,4	13,93	1,36	0,31
ANIMAS_1	Vertimientos Municipio Santa Isabel: · PTARD Circunvalar (Q. Las Ánimas) · Chanciros 1 · Chanciros 2	AR_Mun <625	11	9,73	22,05	2,16	0,49
ANIMAS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**17,95**	**15,13**	**35,98**	**3,52**	**0,79**
YUCA_1B	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	4,92	2,48	10,18	0,68	0,07
YUCA_1B	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	5,42	2,74	11,22	0,75	0,08
YUCA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**28,29**	**20,35**	**57,38**	**4,95**	**0,94**
RECIO_4							
RECIO_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1287,57**	**568,80**	**2621,57**	**216,42**	**38,23**
RECIO_5							
RECIO_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1287,57**	**568,80**	**2621,57**	**216,42**	**38,23**
RECIO_6							
RECIO_6 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1287,57**	**568,80**	**2621,57**	**216,42**	**38,23**
RECIO + VENADILLO TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1569,61**	**752,76**	**3188,99**	**271,75**	**50,67**
TAUTAU_1							
TAUTAU_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Río Magdalena	Vertimientos del Municipio de Ambalema: · Las Quintas (R. Mag.) · Los Mangos ((R. Mag.) · Juana Moya 1 (Q. La Caima) ·Puerto Ferri (R. Mag.) ·La Carrilera sobre el río "2 Malecón" (R. Mag.) · PTAR Santa Lucia (Q La Caima - R. Mag.)	AR_Mun <625	11,1	7,96	22,25	2,18	0,49

Tabla 463. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Recio - Venadillo. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
VENADILLO_1A							
VENADILLO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
GALAPO_1	Vertimientos Municipio Venadillo · Barrio La Esperanza (Q. Los Monos) · Barrio Protecho (Q. Galapo) · Barrio Santofimio (Q. Galapo) · Barrio Pueblo Nuevo (Q. Galapo) · Barrio Tutumana (Q. Galapo) · Barrio Tutumana 2 (Q. Galapo) · CRA 10 Pueblo Nuevo (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 2 (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 3 (Q. Galapo) · Barrio Los Pinos (Q. Galapo) · Barrio Tutumana 3 (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 4 (Q. Galapo) · B/Lorenzo Urueña 5 (Q. Galapo) · Barrio Puerta Del Area (Q. Galapo)	AR_Mun <625	132,9	90,55	266,38	26,07	5,87
GALAPO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**132,90**	**90,55**	**266,38**	**26,07**	**5,87**
VENADILLO_1B	Vertimientos Municipio Venadillo: · Barrio Caracolí y matadero (Río Venadillo) · Barrio Caracolí (Río Venadillo) · PTAR salida laguna de oxidación (Río Venadillo)	AR_Mun <625	50,28	36,36	100,78	9,86	2,22
VENADILLO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**183,18**	**126,91**	**367,16**	**35,93**	**8,09**
VENADILLO_2	Organización Pajonales	AR_Mun <625	3,56	1,78	15,16	0,70	0,10
VENADILLO_2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**186,74**	**128,69**	**382,33**	**36,63**	**8,20**
RECIO_1							
RECIO_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
AZUL_1							
AZUL_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
CASTRILLON_1	Vertimientos Municipio Murillo: · Sector Matadero · Barrio Villa Castellana	AR_Mun <625	33,89	23,06	67,93	6,65	1,50
CASTRILLON_1	Beneficio de Café Municipio de Murillo	ARnD - Beneficio Café	1,84	0,93	3,80	0,25	0,03
CASTRILLÓN TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**35,73**	**23,99**	**71,73**	**6,90**	**1,52**
RECIO_2	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	97,33	49,15	201,48	13,43	1,38
RECIO_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**133,06**	**73,14**	**273,21**	**20,33**	**2,90**
SANTAROSA_1	Vertimientos Municipio Líbano: · Carrera 15 barrio Las Ferias · Barrio Las Brisas · 20 de Julio Matadero · Carrera 7 Libertad · Carrera 6 Plaza de Toros · Barrio Las Américas · Calle 1 Barrio Ramón Arana · Barrio La Polka · Porvenir · Barrio Isidro Prada · Villa Temmy · Av. Fundadores Hilda Martínez · El Cedral · El triunfo y las Acacias	AR_Mun >625 y <3000	336,8	250,31	675,08	66,07	14,88

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	· Protecho · Hilda Martínez						
SAN_JUAN_1	Vertimientos Municipio Líbano: · 1 de Mayo · Balneario Status · Coloyita Disipador · Carrera 8 Estadio · Diagonal 9 Barrio Los Pinos · PTAR San Juan · Sector San José · Puente San José	ARD	84,92	70,53	170,21	16,66	3,75
SANTAROSA_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	195,33	98,64	404,33	26,96	2,77
SANTAROSA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**617,05**	**419,48**	**1249,62**	**109,68**	**21,40**
PEÑAS_1	Vertimientos Municipio Líbano: · Centro dos · Salida Al Libano	ARD < 625	1,1	0,64	2,20	0,22	0,05
PEÑAS_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	51,32	25,92	106,23	7,08	0,73
PEÑAS TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**52,42**	**26,56**	**108,43**	**7,30**	**0,78**
HONDA_RECIO_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	264,82	133,73	548,18	36,55	3,75
HONDA_RECIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**264,82**	**133,73**	**548,18**	**36,55**	**3,75**
RECIO_3	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	0,68	0,34	1,40	0,09	0,01
RECIO_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1068,03**	**653,25**	**2180,85**	**173,96**	**28,84**
YUCA_1A							
YUCA_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
ANIMAS_1	Vertimientos Municipio Santa Isabel: · Hospital (Canal AR Hospital)	AR_Mun <625	8	5,92	16,04	1,57	0,35
ANIMAS_1	Vertimientos Municipio Santa Isabel: · PTARD Circunvalar (Q. Las Ánimas) · Chanciros 1 · Chanciros 2	AR_Mun <625	21,44	23,59	42,97	4,21	0,95
ANIMAS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**29,44**	**29,51**	**59,01**	**5,78**	**1,30**
YUCA_1B	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	4,92	2,48	10,18	0,68	0,07
YUCA_1B	Beneficio de Café Municipio de Santa Isabel	ARnD - Beneficio Café	5,42	2,74	11,22	0,75	0,08
YUCA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**39,78**	**34,73**	**80,41**	**7,20**	**1,45**
RECIO_4							
RECIO_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1107,81**	**687,98**	**2261,26**	**181,16**	**30,28**
RECIO_5							
RECIO_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1107,81**	**687,98**	**2261,26**	**181,16**	**30,28**
RECIO_6							
RECIO_6 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1107,81**	**687,98**	**2261,26**	**181,16**	**30,28**
RECIO + VENADILLO TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1294,55**	**816,67**	**2643,59**	**217,79**	**38,48**
TAUTAU_1							
TAUTAU_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
Río Magdalena	Vertimientos del Municipio de Ambalema: · Las Quintas (R. Mag.) · Los Mangos ((R. Mag.) · Juana Moya 1 (Q. La Caima)	AR_Mun <625	120,14	99,58	240,81	23,57	5,31

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	·Puerto Ferri (R. Mag.) ·La Carrilera sobre el río "2 Malecón" (R. Mag.) · PTAR Santa Lucia (Q La Caima - R. Mag.)						

27.1.5. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Lagunilla

Las cargas aportadas en la cuenca del río Lagunilla provienen de los sectores doméstico, beneficio de café e industrial, este último representado por la descarga de ARnD de la mina de oro El Gran Porvenir.

En la zona alta del río Lagunilla (LAGUNILLA_1) no recibe descargas, hasta su confluencia con el río Vallecitos, el cual, a su vez, recibe una parte de las aguas residuales generadas en el casco urbano del municipio de Murillo. Aguas abajo del río Vallecitos y hasta su zona baja, se identificaron cultivos de café que podrían generar un aporte de ARnD.

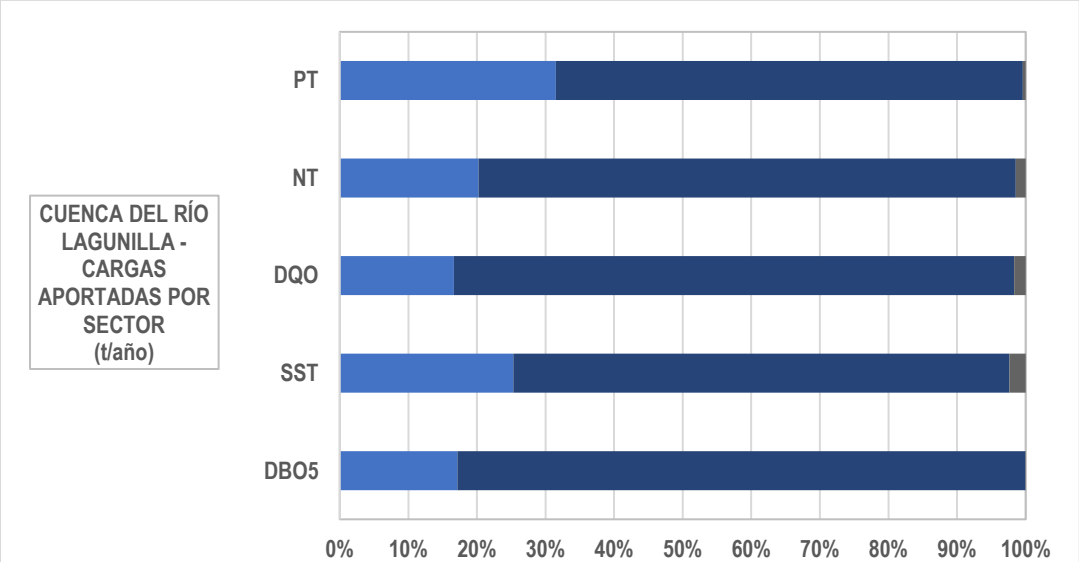
En su zona media (LAGUNILLA_3), el río Lagunilla recibe a través del río Azufrado, aportes de aguas residuales municipales provenientes de Villahermosa y Casabianca. En este tramo, se encuentra la descarga de ARnD de la mina de oro El Gran Porvenir.

En la zona baja del río Lagunilla (LAGUNILLA_5), se realiza el aporte a través de la quebrada el Sitio, de las aguas residuales del centro poblado la Sierra (Lérida) y del casco urbano del municipio de Lérida. Finalmente, antes de su desembocadura en el río Magdalena (LAGUNILLA_7) ingresa la quebrada la Joya, en la cual no se identificaron vertimientos puntuales, por lo tanto, genera una dilución de las cargas recibidas aguas arriba de este punto.

En la *Figura 489Figura 487* se presenta la contribución de los sectores doméstico, y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca de los ríos Recio - Venadillo, siendo de 1570 t/año para la DBO_5, 753 t/año para SST, 3189 t/año para DQO, 272 t/año para nitrógeno total y 51 t/año para fósforo total.

Se observa que, para todos los parámetros, el sector doméstico realiza el mayor aporte de carga contando con el 58 al 83%. La siguiente actividad con mayor potencial de aporte de carga corresponde al beneficio de café, representando entre el 17 al 42% para la DBO_5, los SST, DQO, nitrógeno total y fósforo total. A nivel de cuenca, no es significativo el aporte realizado por la actividad de procesamiento de peces (eviscerado, lavado y empacado) realizado por la hacienda Pajonal.

Figura 489. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Lagunilla



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	168,05	143,35	341,46	28,87	5,31
ARnD - Sacrificio Animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Disposición Residuos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Beneficio Café	810,69	409,39	1678,12	111,87	11,49
ARnD - Industria	0,41	13,46	34,12	2,03	0,07

Tabla 464. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Lagunilla. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
LAGUNILLA_1							

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
LAGUNILLA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
VALLECITOS_1	Beneficio de Café Municipio de Murillo	ARnD - Beneficio Café	1,13	0,57	2,34	0,16	0,02
VALLECITOS_1	Vertimientos del Municipio de Murillo: · PTAR Vereda El Infierno (Q. Vallecitos) · Sector salida a Manizales (Q. Vallecitos)	AR_Mun <625	8,71	5,13	17,46	1,71	0,38
VALLECITOS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**9,84**	**5,70**	**19,80**	**1,86**	**0,40**
LAGUNILLA_2	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	27,29	13,78	56,50	3,77	0,39
LAGUNILLA_2	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	50,86	25,69	105,29	7,02	0,72
LAGUNILLA_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**88,00**	**45,17**	**181,59**	**12,65**	**1,51**
AZUFRADO_1A							
AZUFRADO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
CASCARILLA_1	CASABIANCA PTAR Salida Palocabildo	AR_Mun <625	21,48	21,13	43,05	4,21	0,95
SANTARITA_1	CASABIANCA PTAR Salida Villa Hermosa	AR_Mun <625	6,66	7,41	13,35	1,31	0,29
SANTARITA_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	6,70	3,38	13,87	0,92	0,09
SANTA RITA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**34,84**	**31,92**	**70,27**	**6,45**	**1,34**
BONITA_1	Vertimientos del Municipio de Villahermosa: · La Paloma (Q. La Bonita) · Barrio San Martin (Q. La Bonita)	AR_Mun <625	60,04	59,51	120,34	11,78	2,65
BONITA_1	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	13,65	6,90	28,26	1,88	0,19
BONITA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**73,69**	**66,41**	**148,61**	**13,66**	**2,85**
CALZONES_1	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	88,49	44,69	183,17	12,21	1,25

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
CALZONES_1	Vertimientos del Municipio de Villahermosa: · Cardenales y La Lorena · La Alameda-las Ferias Brisas Del Prado Sector · Matadero	AR_Mun <625	0,67	0,66	1,34	0,13	0,03
CALZONES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**89,16**	**45,35**	**184,51**	**12,34**	**1,28**
AZUFRADO_1B	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	202,10	102,06	418,35	27,89	2,86
AZUFRADO_1B	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	112,74	56,93	233,38	15,56	1,60
AZUFRADO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**512,54**	**302,67**	**1055,12**	**75,90**	**9,93**
LAGUNILLA_3	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	195,55	98,75	404,79	26,99	2,77
LAGUNILLA_3	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	72,14	36,43	149,33	9,96	1,02
LAGUNILLA_3	Beneficio de Café Municipio de Armero	ARnD - Beneficio Café	1,59	0,80	3,29	0,22	0,02
DORADO_1	·PTAR Mina El Gran Porvenir	ARnD - Minería de Oro	0,41	13,46	34,1	2,03	0,07
LAGUNILLA_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**870,22**	**497,28**	**1828,23**	**127,74**	**15,32**
LAGUNILLA_4							
LAGUNILLA_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**870,22**	**497,28**	**1828,23**	**127,74**	**15,32**
BLEDO_1A	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	16,61	8,39	34,39	2,29	0,24
BLEDO_1A	Beneficio de Café Municipio de Lérida	ARnD - Beneficio Café	3,29	1,66	6,80	0,45	0,05
BLEDO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**19,90**	**10,05**	**41,19**	**2,75**	**0,28**
SIERRA_1	Vertimiento CP La Sierra · La Sierra (Q. La Sierra)	AR_Mun <625	16,2	24,13	33,53	2,24	0,23
SIERRA_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	1,14	0,58	2,36	0,16	0,02
SIERRA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**17,34**	**24,71**	**35,90**	**2,39**	**0,25**

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
SITIO_1	Vertimientos del Municipio de Lérida: · Barrio Oasis (Q. El Jordán) · Macondito 2 (Q. El Jordán) ·Macondito 1 (Q. El Jordán) · Macondito 3 (Q. El Jordán) ·Pozo Séptico Alemán · Barrio Alemán 2 (Q. El Jordán)	AR_Mun <625	12,11	5,11	25,07	1,67	0,17
SITIO_1	Vertimientos del Municipio de Lérida: ·PTAR Lagunas de Oxidación (Q. La María) · Ciudadela El Jardín	AR_Mun <625	42,18	20,27	87,31	5,82	0,60
SITIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**54,29**	**25,38**	**112,38**	**7,49**	**0,77**
BLEDO_1B	Beneficio de Café Municipio de Lérida	ARnD - Beneficio Café	17,39	8,78	36,00	2,40	0,25
BLEDO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**108,92**	**68,92**	**225,47**	**15,03**	**1,54**
LAGUNILLA_5							
LAGUNILLA_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**979,15**	**566,20**	**2053,71**	**142,77**	**16,86**
PALMAS_1							
PALMAS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
LAGUNILLA_6							
LAGUNILLA_6 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**979,15**	**566,20**	**2053,71**	**142,77**	**16,86**
JOYA_1							
JOYA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
LAGUNILLA_7							
LAGUNILLA_7 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**979,15**	**566,20**	**2053,71**	**142,77**	**16,86**

Tabla 465. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Lagunilla. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
LAGUNILLA_1							
LAGUNILLA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
VALLECITOS_1	Beneficio de Café Municipio de Murillo	ARnD - Beneficio Café	1,13	0,57	2,34	0,16	0,02
VALLECITOS_1	Vertimientos del Municipio de Murillo: · PTAR Vereda El Infierno (Q. Vallecitos) · Sector salida a Manizales (Q. Vallecitos)	AR_Mun <625	44,4	31,47	88,99	8,71	1,96
VALLECITOS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**45,53**	**32,04**	**91,34**	**8,87**	**1,98**
LAGUNILLA_2	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	27,29	13,78	56,50	3,77	0,39
LAGUNILLA_2	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	50,86	25,69	105,29	7,02	0,72
LAGUNILLA_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**123,69**	**71,51**	**253,12**	**19,65**	**3,08**
AZUFRADO_1A							
AZUFRADO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
CASCARILLA_1	CASABIANCA PTAR Salida Palocabildo	AR_Mun <625	28,28	18,92	56,68	5,55	1,25
SANTARITA_1	CASABIANCA PTAR Salida Villa Hermosa	AR_Mun <625	9,63	6,45	19,30	1,89	0,43
SANTARITA_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	6,70	3,38	13,87	0,92	0,09
SANTA RITA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**44,61**	**28,75**	**89,86**	**8,36**	**1,77**
BONITA_1	Vertimientos del Municipio de Villahermosa: · La Paloma (Q. La Bonita) · Barrio San Martin (Q. La Bonita)	AR_Mun <625	15,49	8,65	31,05	3,04	0,68
BONITA_1	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	13,65	6,90	28,26	1,88	0,19
BONITA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**29,14**	**15,55**	**59,31**	**4,92**	**0,88**
CALZONES_1	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	88,49	44,69	183,17	12,21	1,25

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
CALZONES_1	Vertimientos del Municipio de Villahermosa: · Cardenales y La Lorena · La Alameda-las Ferias Brisas Del Prado Sector · Matadero	AR_Mun <625	7,77	4,34	15,57	1,52	0,34
CALZONES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**96,26**	**49,03**	**198,75**	**13,74**	**1,60**
AZUFRADO_1B	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	202,10	102,06	418,35	27,89	2,86
AZUFRADO_1B	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	112,74	56,93	233,38	15,56	1,60
AZUFRADO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**484,86**	**252,32**	**999,64**	**70,47**	**8,70**
LAGUNILLA_3	Beneficio de Café Municipio de Villahermosa	ARnD - Beneficio Café	195,55	98,75	404,79	26,99	2,77
LAGUNILLA_3	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	72,14	36,43	149,33	9,96	1,02
LAGUNILLA_3	Beneficio de Café Municipio de Armero	ARnD - Beneficio Café	1,59	0,80	3,29	0,22	0,02
DORADO_1	PTAR Mina El Gran Porvenir	ARnD - Minería de Oro	0,12	2,10	5,3	0,32	0,01
LAGUNILLA_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**877,94**	**461,91**	**1815,49**	**127,60**	**15,61**
LAGUNILLA_4							
LAGUNILLA_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**877,94**	**461,91**	**1815,49**	**127,60**	**15,61**
BLEDO_1A	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	16,61	8,39	34,39	2,29	0,24
BLEDO_1A	Beneficio de Café Municipio de Lérida	ARnD - Beneficio Café	3,29	1,66	6,80	0,45	0,05
BLEDO_1A PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**19,90**	**10,05**	**41,19**	**2,75**	**0,28**
SIERRA_1	Vertimiento CP La Sierra · La Sierra (Q. La Sierra)	AR_Mun <625	4,31	1,73	8,92	0,59	0,06
SIERRA_1	Beneficio de Café Municipio de Líbano	ARnD - Beneficio Café	1,14	0,58	2,36	0,16	0,02
SIERRA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**5,45**	**2,31**	**11,28**	**0,75**	**0,08**

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
SITIO_1	Vertimientos del Municipio de Lérida: · Barrio Oasis (Q. El Jordán) · Macondito 2 (Q. El Jordán) ·Macondito 1 (Q. El Jordán) · Macondito 3 (Q. El Jordán) ·Pozo Séptico Alemán · Barrio Alemán 2 (Q. El Jordán)	AR_Mun <625	5,2	11,54	10,76	0,72	0,07
SITIO_1	Vertimientos del Municipio de Lérida: ·PTAR Lagunas de Oxidación (Q. La María) · Ciudadela El Jardín	AR_Mun <625	33,39	41,13	69,12	4,61	0,47
SITIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**38,59**	**52,67**	**79,88**	**5,33**	**0,55**
BLEDO_1B	Beneficio de Café Municipio de Lérida	ARnD - Beneficio Café	17,39	8,78	36,00	2,40	0,25
BLEDO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**81,33**	**73,81**	**168,36**	**11,22**	**1,15**
LAGUNILLA_5							
LAGUNILLA_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**959,28**	**535,72**	**1983,85**	**138,82**	**16,77**
PALMAS_1							
PALMAS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
LAGUNILLA_6							
LAGUNILLA_6 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**959,28**	**535,72**	**1983,85**	**138,82**	**16,77**
JOYA_1							
JOYA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
LAGUNILLA_7							
LAGUNILLA_7 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**959,28**	**535,72**	**1983,85**	**138,82**	**16,77**

27.1.6. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Sabandija

Las cargas aportadas en la cuenca del río Sabandija provienen de los sectores doméstico, sacrificio animal y beneficio de café.

En la zona alta del río Sabandija (SABANDIJA_1), se identifica inicialmente la posible presión que pueden realizar los cultivos de café de los municipios de

Palocabildo, Casabianca, Armero y Falán, sumando en total 1730 ha. En este tramo ingresa la quebrada El Rompe, en la cual, en su zona alta, se recibe una parte de los vertimientos del municipio de Palocabildo. También recibe el río Sabandija a su tributario el río Cuamo, en cuyos afluentes se realizan descargas provenientes de los municipios de Mariquita y Falán y en cuya corriente principal se realizan dos (2) descargas provenientes de la industria avícola (AVICOL).

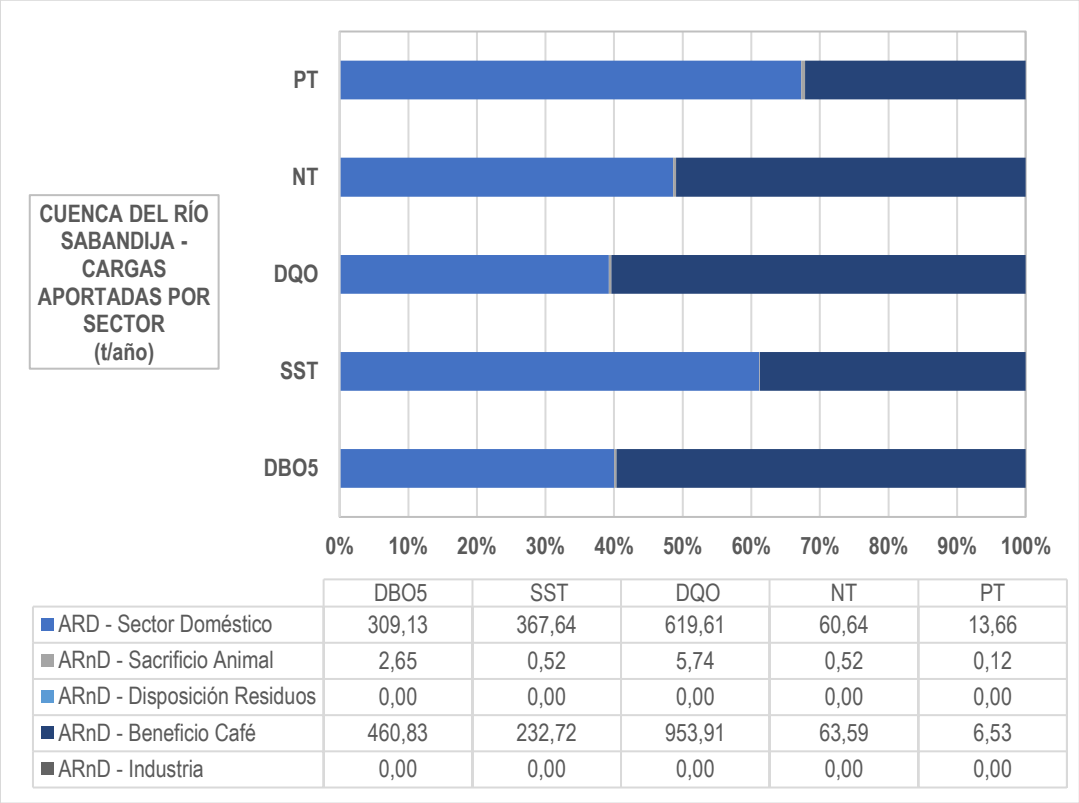
En su zona media, el río Sabandija recibe el aporte de un vertimiento del municipio de Armero, a través de la quebrada el Maldito. Desde este punto y hasta la desembocadura en el río Magdalena no se identificaron otras fuentes de aportes puntuales.

La quebrada Seca es un cuerpo de agua que desemboca directamente en el río Magdalena, el cual recibe las aguas residuales en tres (3) puntos provenientes del casco urbano del municipio de Honda.

En la *Figura 490* se presenta la contribución de los sectores doméstico, y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca de los ríos Recio - Venadillo, siendo de 773 t/año para la DBO_5, 601 t/año para SST, 1579 t/año para DQO, 125 t/año para nitrógeno total y 20 t/año para fósforo total.

Se observa que las cargas más altas provienen de los aportes el sector doméstico y del beneficio de café, en proporciones similares, representado el sector doméstico entre el 39 al 67% y el beneficio de café entre el 32 y 60%. El sector de sacrificio animal proveniente de la industria avícola, aporta entre el 0,1 al 0,6%, por lo que se considera que su contribución de carga a nivel de cuenca no es significativa.

Figura 490. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Sabandija



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	309,13	367,64	619,61	60,64	13,66
ARnD - Sacrificio Animal	2,65	0,52	5,74	0,52	0,12
ARnD - Disposición Residuos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Beneficio Café	460,83	232,72	953,91	63,59	6,53
ARnD - Industria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 466. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Sabandija. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
ROMPE_1	Vertimientos Palocabildo Casco Urbano: · Barrio La Rivera · Barrio Fátima · Paramuno	AR_Mun <625	54,43	103,10	109,10	10,68	2,40
ROMPE_1	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo	ARnD - Beneficio Café	45,15	22,80	93,47	6,23	0,64
ROMPE TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**99,58**	**125,90**	**202,57**	**16,91**	**3,04**
SABANDIJA_1	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo y Falán	ARnD - Beneficio Café	356,20	179,88	737,33	49,16	5,05
SABANDIJA_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	48,75	24,62	100,92	6,73	0,69
SABANDIJA_1	Beneficio de Café del Municipio de Armero	ARnD - Beneficio Café	5,3	2,7	10,9	0,7	0,1
SABANDIJA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**509,82**	**333,07**	**1051,76**	**73,52**	**8,86**
MURILLO_1	Vertimientos del Municipio de Falán: · Calle Córdoba (en quebrada Murillo) · Sector Antiguo Matadero (quebrada Murillo) ·Sector Las Palmas (quebrada	AR_Mun <625	50,94	40,57	102,10	9,99	2,25

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	Murillo) · La Argentina (quebrada Murillo)						
MURILLO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**50,94**	**40,57**	**102,10**	**9,99**	**2,25**
MORALES_1	Municipio de Falán Vto Morales	AR_Mun <625	23,1	18,39	46,30	4,53	1,02
MORALES_1	Beneficio de Café Municipio de Falán	ARnD - Beneficio Café	3,82	1,93	7,91	0,53	0,05
MORALES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**26,92**	**20,32**	**54,21**	**5,06**	**1,07**
CUAMO_1	Vertimiento de Municipio de Mariquita en Q. La Puerquera	AR_Mun <625	39,83	24,19	79,83	7,81	1,76
CUAMO_1	AVICOL (PTAR San Felipe)	ARnD - Avícola	0,224	0,125	0,49	0,04	0,01
CUAMO_1	AVICOL (PTAR Las Palmas)	ARnD - Avícola	2,426	0,391	5,26	0,48	0,11
CUAMO_1	Beneficio de Café Municipio de Falán	ARnD - Beneficio Café	1,61	0,81	3,34	0,22	0,02
CUAMO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**121,95**	**86,41**	**245,23**	**23,61**	**5,22**
MALDITO_1	Municipio Armero Lagunas de Oxidación (quebrada el Maldito)	AR_Mun <625	10,56	13,13	21,17	2,07	0,47
MALDITO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**10,56**	**13,13**	**21,17**	**2,07**	**0,47**
SABANDIJA_2							
SABANDIJA_2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**642,34**	**432,61**	**1318,16**	**99,20**	**14,55**
SECA_1	Municipio de Honda: · Sector Francisco Núñez · Sector El Puente El Retiro · Pueblo Nuevo	AR_Mun <625	18,01	7,12	36,10	3,53	0,80
SECA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**18,01**	**7,12**	**36,10**	**3,53**	**0,80**

Tabla 467. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Sabandija. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
ROMPE_1	Vertimientos Palocabildo Casco Urbano: · Barrio La Rivera · Barrio Fátima · Paramuno	AR_Mun <625	47,60	43,148	95,41	9,34	2,10
ROMPE_1	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo	ARnD - Beneficio Café	45,2	22,8	93,47	6,23	0,64
ROMPE TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**92,75**	**65,95**	**188,88**	**15,57**	**2,74**
SABANDIJA_1	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo y Falán	ARnD - Beneficio Café	356,20	179,88	737,33	49,16	5,05
SABANDIJA_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	48,75	24,62	100,92	6,73	0,69
SABANDIJA_1	Beneficio de Café del Municipio de Armero	ARnD - Beneficio Café	5,3	2,7	10,9	0,73	0,07
SABANDIJA_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**502,99**	**273,12**	**1038,07**	**72,18**	**8,55**
MURILLO_1	Vertimientos del Municipio de Falán: · Calle Córdoba (en quebrada Murillo) · Sector Antiguo Matadero (quebrada Murillo) ·Sector Las Palmas (quebrada Murillo)	AR_Mun <625	16,17	16,39	32,41	3,17	0,71

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	· La Argentina (quebrada Murillo)						
MURILLO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**16,17**	**16,39**	**32,41**	**3,17**	**0,71**
MORALES_1	Municipio de Falán Vto Morales	AR_Mun <625	8,63	8,75	17,30	1,69	0,38
MORALES_1	Beneficio de Café Municipio de Falán	ARnD - Beneficio Café	3,8	1,9	7,91	0,53	0,05
MORALES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**12,45**	**10,68**	**25,21**	**2,22**	**0,44**
CUAMO_1	Vertimiento de Municipio de Mariquita en Q. La Puerquera	AR_Mun <625	37,66	36,4	75,49	7,39	1,66
CUAMO_1	AVICOL (PTAR San Felipe)	ARnD - Avícola	1,63	1,63	3,53	0,32	0,07
CUAMO_1	AVICOL (PTAR Las Palmas)	ARnD - Avícola	2,06	2,06	4,46	0,40	0,09
CUAMO_1	Beneficio de Café Municipio de Falán	ARnD - Beneficio Café	1,6	0,8	3,34	0,22	0,02
CUAMO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**71,58**	**67,97**	**144,43**	**13,73**	**3,00**
MALDITO_1	Municipio Armero Lagunas de Oxidación (quebrada el Maldito)	AR_Mun <625	14,81	8,6	29,68	2,91	0,65
MALDITO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**14,81**	**8,60**	**29,68**	**2,91**	**0,65**
SABANDIJA_2							
SABANDIJA_2 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**589,39**	**349,69**	**1212,19**	**88,81**	**12,21**
SECA_1	Muncipio de Honda: · Sector Francisco Núñez · Sector ElPuente El Retiro · Pueblo Nuevo	AR_Mun <625	184,26	254,35	369,33	36,15	8,14
SECA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**184,26**	**254,35**	**369,33**	**36,15**	**8,14**

27.1.7. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Gualí

Las cargas aportadas en la cuenca del río Gualí provienen de los sectores doméstico, beneficio de café, sacrificio animal (plantas de beneficio animal y piscicultura) y de la industria (transporte de hidrocarburos).

No se identificaron aportes puntuales de importancia en la zona más alta del río Gualí (Tramo GUALÍ_1), en donde solo se encuentra una pequeña área (0,81 ha) dedicadas al cultivo de café. Posteriormente con el ingreso de la quebrada Cajones, se reciben los aportes de aguas residuales domésticas y no domésticas, provenientes de la empresa CENIT (quebrada Peñoles), correspondiente a la actividad de transporte y logística de hidrocarburos. En la quebrada el Salado, afluente de la quebrada Cajones, se realiza la descarga de una parte de las aguas residuales del municipio de Herveo.

En el siguiente Tramo (GUALí_2) se identificaron los demás vertimientos del municipio de Herveo, a través de la quebrada Matadero o La Ciega. Posteriormente ingresan vertimientos del municipio de Casabianca (Tramo GUALÍ_3), Herveo

(Tramo GUALÍ 4), Fresno y Palocabildo (Tramo GUALÍ_6). Un aporte de carga importante proveniente del municipio de Fresno se realiza en el tramo GUALI_7, a través de la quebrada la Nicua y del municipio de Mariquita directamente sobre el río Gualí, incluyendo el aporte de la Planta de Beneficio Animal.

El río Sucio es uno de los afluentes más importantes en la zona baja del río Gualí (Tramo GUALÍ_8), el cual recibe en su zona alta uno de los vertimientos del municipio de Fresno, una parte de los vertimientos de la empresa CENIT (transporte de hidrocarburos) y vertimientos de la planta de sacrificio de la empresa CARO Y CIA AGROPISCÍCOLA CAROLINA C.S.A.

El río Medina también es importante por su tamaño en la zona baja del río Gualí, en el cual solo se identificó una descarga de ARnD proveniente de la empresa CENIT y zonas dedicadas al cultivo de café en los municipios de Mariquita y Fresno, con 431 ha.

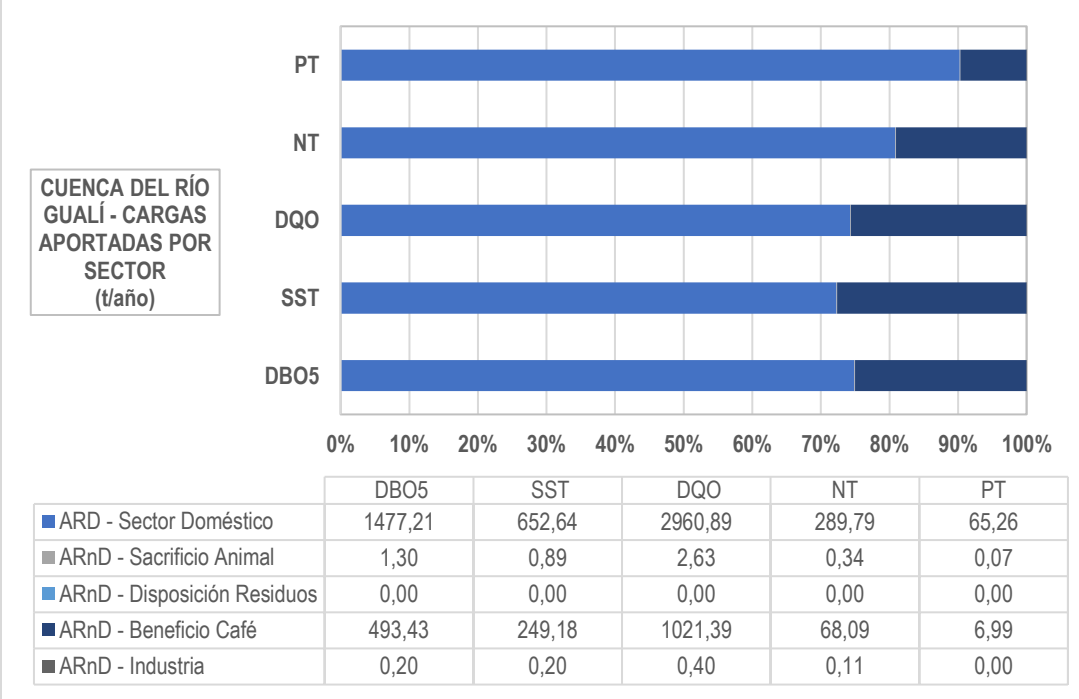
En su tramo final (GUALÍ_8) el río Gualí recibe una carga de considerable proveniente de siete (7) vertimientos del municipio de Honda, incluyendo el de la Planta de Beneficio Animal.

El municipio de Honda realiza una parte de las descargas de aguas residuales del casco urbano directamente en el río Magdalena, cuyas cargas se identifican, pero no son objetivo del cálculo del índice IACAL.

En la *Figura 491* se presenta la contribución de los sectores doméstico, y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca del río Gualí, siendo de 1972 t/año para la DBO_5, 903 t/año para SST, 3985 t/año para DQO, 358 t/año para nitrógeno total y 72 t/año para fósforo total.

Se observa que, para todos los parámetros, el sector doméstico realiza el mayor aporte de carga contando con el 72 al 90%. La siguiente actividad con mayor potencial de aporte de carga corresponde al beneficio de café, representando entre el 10 al 28% para la DBO_5, SST, DQO, nitrógeno total y fósforo total. A nivel de cuenca, no es significativo el aporte realizado por la actividad de sacrificio animal, la cual representa el 1% de la carga total.

Figura 491. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Gualí



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	1477,21	652,64	2960,89	289,79	65,26
ARnD - Sacrificio Animal	1,30	0,89	2,63	0,34	0,07
ARnD - Disposición Residuos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Beneficio Café	493,43	249,18	1021,39	68,09	6,99
ARnD - Industria	0,20	0,20	0,40	0,11	0,00

Tabla 468. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Gualí. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUALI_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	0,81	0,41	1,67	0,11	0,01
GUALÍ_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,81**	**0,41**	**1,67**	**0,11**	**0,01**
PEÑOLES_1	CENIT API Afluente Afilador	ARnD - Transporte de Hidrocarburos	0,07	0,04	0,10	0,01	0,0002
PEÑOLES_1	CENIT ARD1	ARD <625	0,00	0,04	0,01	0,001	0,0002
PEÑOLES_1	CENIT Tanques Sépticos	ARD <625	0,09	0,07	0,15	0,017	0,0038
PEÑOLES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,16**	**0,15**	**0,26**	**0,03**	**0,00**
SALADO_1	Vertimientos del Municipio de Herveo sobre la quebrada el Perfume: · Vto 1 · El Perfume (Peña)	AR_Mun <625	5,21	4,39	10,44	1,022	0,2302
SALADO_2	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	2,64	1,34	5,47	0,36	0,04
SALADO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**7,85**	**5,73**	**15,92**	**1,39**	**0,27**
CAJONES_1	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	5,45	2,75	11,28	0,75	0,08
CAJONES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**13,46**	**8,63**	**27,46**	**2,16**	**0,35**
CIEGA_1	Vertimientos del Municipio de Herveo sobre la quebrada La	AR_Mun <625	46,91	0,94	94,03	9,202	2,0724

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	Ciega: · Vto La Ciega · Vto 2 La Ciega · Vto Antiguo Matadero						
CIEGA_1	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	8,57	4,33	17,74	1,18	0,12
CIEGA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**55,48**	**5,27**	**111,77**	**10,39**	**2,19**
GUALI_2	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	32,14	16,23	66,53	4,44	0,46
GUALI_2	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	21,02	10,61	43,50	2,90	0,30
GUALÍ_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**122,90**	**41,15**	**250,93**	**20,00**	**3,31**
AGUACATAL_1	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	25,69	12,97	53,18	3,55	0,36
AGUACATAL_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**25,69**	**12,97**	**53,18**	**3,55**	**0,36**
GUALÍ_3	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	17,95	9,07	37,16	2,48	0,25
GUALÍ_3	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	64,79	32,72	134,12	8,94	0,92
GUALÍ_3	Vertimiento del Municipio Casabianca en Q. Cajitas: · Barrio San Martín Salida Palocabildo	AR_Mun <625	0,64	0,64	1,27	0,125	0,0281
GUALÍ_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**231,97**	**96,54**	**476,66**	**35,09**	**4,87**
GUARUMO_1	Vertimiento del Municipio Herveo en Q. Zancudero: · El Carmen	AR_Mun <625	0,50	0,34	1,00	0,098	0,0220
GUARUMO_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	16,49	8,33	34,14	2,28	0,23
GUARUMO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**16,99**	**8,66**	**35,14**	**2,37**	**0,26**
GUALÍ_4	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	39,80	20,10	82,39	5,49	0,56
GUALÍ_4	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	28,45	14,37	58,88	3,93	0,40
GUALÍ_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**317,21**	**139,67**	**653,07**	**46,88**	**6,09**
AG_DIOS_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	28,45	14,37	58,88	3,93	0,40
AG_DIOS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**28,45**	**14,37**	**58,88**	**3,93**	**0,40**
GUALÍ_5							
GUALÍ_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**345,66**	**154,04**	**711,96**	**50,80**	**6,50**
SAN_JOSE_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	22,89	11,56	47,39	3,16	0,32
SAN_JOSE_1	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo	ARnD - Beneficio Café	6,15	3,10	12,73	0,85	0,09
SAN_JOSE_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**29,04**	**14,67**	**60,11**	**4,01**	**0,41**
HOSPITAL_1A	Vertimiento del Municipio de Fresno en caño El Hospital: · Las Chapoleras	AR_Mun <625	40,04	33,27	80,26	7,855	1,7689
HOSPITAL_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**40,04**	**33,27**	**80,26**	**7,85**	**1,77**
GUALÍ_6	Vertimiento del Municipio de Palocabildo en varios cuerpos de agua: · San José (Río Gualí) · El Carmen (Q. El Chispero - río Gualí) · Barrio Las Brisas (Río Gualí) · Barrio Gualí (Q. El Chispero - río Gualí)	AR_Mun <625	16,07	30,43	32,21	3,152	0,7100
GUALÍ_6	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	40,10	20,25	83,02	5,53	0,57

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUALÍ_6	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo	ARnD - Beneficio Café	19,24	9,72	39,83	2,66	0,27
GUALÍ_6 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**490,16**	**262,37**	**1007,39**	**74,01**	**10,23**
NICUA_1	Vertimiento del Municipio de Fresno en caño El Hospital: · Casa Plaza de Ferias · Calle nuevo Horizonte sector Buñueleros · Sector Estadio · Sector Cementerio · Barrio San Luis · Plaza de Ferias · Sector Antiguo matadero Calle 6 ·Sector Antiguo matadero · Sector Barrio San Pedro / El Chupo · Sector Barrio San Pedro	AR_Mun <625	29,96	24,89	60,05	5,877	1,3236
NICUA_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	9,54	4,82	19,74	1,32	0,14
NICUA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**39,50**	**29,71**	**79,79**	**7,19**	**1,46**
GUALÍ_7	Vertimiento del Municipio de Mariquita en río Gualí: · Antiguo Matadero · Postobón · Protecho · Concordia	AR_Mun <625	1054,02	421,94	2112,66	206,77	46,57
GUALÍ_7	Vertimiento ARnD PBA Mariquita	ARnD - PBA	0,31	0,14	0,58	0,08	0,01
GUALÍ_7 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1583,98**	**714,16**	**3200,42**	**288,06**	**58,26**
GRANDE_1	CENIT API Afluente Afilador	ARnD - Transporte de Hidrocarburos	0,13	0,16	0,29	0,11	0,0014
GRANDE_1	CENIT API Afluente Afilador	ARnD - Transporte de Hidrocarburos	0,002	0,001	0,003	0,0002	0,00004
GRANDE_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,13**	**0,16**	**0,30**	**0,11**	**0,00**
CANTADERA_1	CARO Y CIA AGROPISCICOLA CAROLINA S.A	ARnD - PISCI.	0,12	0,42	0,51	0,02	0,00
CANTADERA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,12**	**0,42**	**0,51**	**0,02**	**0,00**
SUCIO_1	Vertimiento del Municipio de Fresno en río Sucio: · Sector barrio Caldas	AR_Mun <625	3,39	2,81	6,79	0,665	0,1498
SUCIO_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	41,89	21,15	86,71	5,78	0,59
SUCIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**45,53**	**24,54**	**94,31**	**6,57**	**0,75**
GUALÍ_8							
GUALÍ_8 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1629,51**	**738,70**	**3294,73**	**294,63**	**59,01**
ALEGRIAS_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	2,89	1,46	5,97	0,40	0,04
ALEGRIAS_1	CENIT ARD2. Pozo Séptico ubicado salida de Operaciones	ARD <625	0,01	0,03	0,02	0,001	0,001
ALEGRIAS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**2,89**	**1,49**	**6,00**	**0,40**	**0,04**
MEDINA_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	57,30	28,94	118,61	7,91	0,81
MEDINA_1	Beneficio de Café Municipio de Mariquita	ARnD - Beneficio Café	1,18	0,59	2,44	0,16	0,02
MEDINA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**61,37**	**31,02**	**127,04**	**8,47**	**0,87**
GUALÍ_9	Vertimiento del Municipio de Honda en río Gualí: · PTAR IDEMA El Placer · Sector Santa Helena	AR_Mun >625 y <3000	280,38	132,86	561,99	55,003	12,3868

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
	· Sector Barrio El Rotario · Puente Negro · Barrio Las Delicias						
GUALÍ_9	Vertimiento ARnD PBA Honda	ARnD - PBA	0,865	0,33	1,54	0,23	0,06
GUALÍ_9 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1972,13**	**902,91**	**3985,31**	**358,33**	**72,32**
Río Magdalena	Vertimientos del Municipio de Honda: · Sector El Carmen ·Sector de Piedra ·Sector El Caucho · Vuelta de los negros · Barrio Obrero · Barrio Planadas · La Bujona	ARD <625	48,46	22,96	97,13	9,51	2,14

Tabla 469. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Gualí. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUALI_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	0,81	0,41	1,67	0,11	0,01
GUALÍ_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,81**	**0,41**	**1,67**	**0,11**	**0,01**
PEÑOLES_1	CENIT API Afluente Afilador	ARnD - Transporte de Hidrocarburos	0,07	0,04	0,10	0,01	0,0002
PEÑOLES_1	CENIT ARD1	ARD <625	0,00	0,04	0,01	0,00	0,0002
PEÑOLES_1	CENIT Tanques Sépticos	ARD <625	0,09	0,07	0,15	0,02	0,0038
PEÑOLES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,16**	**0,15**	**0,26**	**0,03**	**0,00**
SALADO_1	Vertimientos del Municipio de Herveo sobre la quebrada el Perfume: · Vto 1 · El Perfume (Peña)	AR_Mun <625	10,39	7,75	20,83	2,038	0,4590
SALADO_2	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	2,64	1,34	5,47	0,36	0,04
SALADO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**13,03**	**9,09**	**26,30**	**2,40**	**0,50**
CAJONES_1	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	5,45	2,75	11,28	0,75	0,08
CAJONES_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**18,64**	**11,99**	**37,84**	**3,18**	**0,58**
CIEGA_1	Vertimientos del Municipio de Herveo sobre la quebrada La Ciega: · Vto La Ciega · Vto 2 La Ciega · Vto Antiguo Matadero	AR_Mun <625	25,95	19,37	52,01	5,091	1,1464
CIEGA_1	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	8,57	4,33	17,74	1,18	0,12
CIEGA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**34,52**	**23,70**	**69,76**	**6,27**	**1,27**
GUALI_2	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	32,14	16,23	66,53	4,44	0,46
GUALI_2	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	21,02	10,61	43,50	2,90	0,30

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUALÍ_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**107,12**	**62,94**	**219,30**	**16,90**	**2,61**
AGUACATAL_1	Beneficio de Café Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	25,69	12,97	53,18	3,55	0,36
AGUACATAL_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**25,69**	**12,97**	**53,18**	**3,55**	**0,36**
GUALÍ_3	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	17,95	9,07	37,16	2,48	0,25
GUALÍ_3	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	64,79	32,72	134,12	8,94	0,92
GUALÍ_3	Vertimiento del Municipio Casabianca en Q. Cajitas: · Barrio San Martín Salida Palocabildo	AR_Mun <625	0,64	0,64	1,27	0,125	0,0281
GUALÍ_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**216,19**	**118,33**	**445,03**	**31,99**	**4,17**
GUARUMO_1	Vertimiento del Municipio Herveo en Q. Zancudero: · El Carmen	AR_Mun <625	1,90	0,97	3,81	0,373	0,0840
GUARUMO_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	16,49	8,33	34,14	2,28	0,23
GUARUMO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**18,39**	**9,29**	**37,95**	**2,65**	**0,32**
GUALÍ_4	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	39,80	20,10	82,39	5,49	0,56
GUALÍ_4	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	28,45	14,37	58,88	3,93	0,40
GUALÍ_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**302,84**	**162,09**	**624,26**	**44,06**	**5,46**
AG_DIOS_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	28,45	14,37	58,88	3,93	0,40
AG_DIOS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**28,45**	**14,37**	**58,88**	**3,93**	**0,40**
GUALÍ_5							
GUALÍ_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**331,28**	**176,46**	**683,14**	**47,98**	**5,86**
SAN_JOSE_1	Beneficio de Café Municipio de Casabianca	ARnD - Beneficio Café	22,89	11,56	47,39	3,16	0,32
SAN_JOSE_1	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo	ARnD - Beneficio Café	6,15	3,10	12,73	0,85	0,09
SAN_JOSE_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**29,04**	**14,67**	**60,11**	**4,01**	**0,41**
HOSPITAL_1A	Vertimiento del Municipio de Fresno en caño El Hospital: · Las Chapoleras	AR_Mun <625	14,26	10,96	28,58	2,797	0,6300
HOSPITAL_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**14,26**	**10,96**	**28,58**	**2,80**	**0,63**
GUALÍ_6	Vertimiento del Municipio de Palocabildo en varios cuerpos de agua: · San José (Río Gualí) · El Carmen (Q. El Chispero - río Gualí) · Barrio Las Brisas (Río Gualí) · Barrio Gualí (Q. El Chispero - río Gualí)	AR_Mun <625	23,00	19,71	46,10	4,512	1,0160
GUALÍ_6	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	40,10	20,25	83,02	5,53	0,57
GUALÍ_6	Beneficio de Café Municipio de Palocabildo	ARnD - Beneficio Café	19,24	9,72	39,83	2,66	0,27
GUALÍ_6 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**456,93**	**251,76**	**940,79**	**67,49**	**8,76**

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
NICUA_1	Vertimiento del Municipio de Fresno en caño El Hospital: · Casa Plaza de Ferias · Calle nuevo Horizonte sector Buñueleros · Sector Estadio · Sector Cementerio · Barrio San Luis · Plaza de Ferias · Sector Antiguo matadero Calle 6 ·Sector Antiguo matadero · Sector Barrio San Pedro / El Chupo · Sector Barrio San Pedro	AR_Mun <625	108,50	83,34	217,48	21,285	4,7934
NICUA_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	9,54	4,82	19,74	1,32	0,14
NICUA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**118,04**	**88,16**	**237,22**	**22,60**	**4,93**
GUALÍ_7	Vertimiento del Municipio de Mariquita en río Gualí: · Antiguo Matadero · Postobón · Protecho · Concordia	AR_Mun <625	128,11	123,82	256,78	25,132	5,6597
GUALÍ_7	Vertimiento ARnD PBA Mariquita	ARnD - PBA	3,38	1,55	6,34	0,93	0,08
GUALÍ_7 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**706,46**	**465,28**	**1441,12**	**116,15**	**19,43**
GRANDE_1	CENIT API Afluente Afilador	ARnD - Transporte de Hidrocarburos	0,13	0,16	0,29	0,11	0,0014
GRANDE_1	CENIT API Afluente Afilador	ARnD - Transporte de Hidrocarburos	0,002	0,001	0,003	0,0002	0,00004
GRANDE_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,13**	**0,16**	**0,30**	**0,11**	**0,00**
CANTADERA_1	CARO Y CIA AGROPISCICOLA CAROLINA S.A	ARnD - PISCI.	3,56	1,78	15,16	0,70	0,10
CANTADERA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**3,56**	**1,78**	**15,16**	**0,70**	**0,10**
SUCIO_1	Vertimiento del Municipio de Fresno en río Sucio: · Sector barrio Caldas	AR_Mun <625	11,69	8,98	23,43	2,293	0,5164
SUCIO_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	41,89	21,15	86,71	5,78	0,59
SUCIO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**57,27**	**32,07**	**125,60**	**8,88**	**1,22**
GUALÍ_8							
GUALÍ_8 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**763,73**	**497,35**	**1566,73**	**125,02**	**20,65**
ALEGRIAS_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	2,89	1,46	5,97	0,40	0,04
ALEGRIAS_1	CENIT ARD2. Pozo Séptico ubicado salida de Operaciones	ARD <625	0,01	0,031	0,021	0,001	0,001
ALEGRIAS_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**2,89**	**1,49**	**6,00**	**0,40**	**0,04**
MEDINA_1	Beneficio de Café Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	57,30	28,94	118,61	7,91	0,81
MEDINA_1	Beneficio de Café Municipio de Mariquita	ARnD - Beneficio Café	1,18	0,59	2,44	0,16	0,02
MEDINA_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**61,37**	**31,02**	**127,04**	**8,47**	**0,87**

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Meta en Carga (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUALÍ_9	Vertimiento del Municipio de Honda en río Gualí: · PTAR IDEMA El Placer · Sector Santa Helena · Sector Barrio El Rotario · Puente Negro · Barrio Las Delicias	AR_Mun >625 y <3000	74,28	104,26	148,89	14,572	3,2816
GUALÍ_9	Vertimiento ARnD PBA Honda	ARnD - PBA	2,10	0,93	3,73	0,56	0,14
GUALÍ_9 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**901,48**	**633,56**	**1846,39**	**148,62**	**24,94**
Río Magdalena	Vertimientos del Municipio de Honda: · Sector El Carmen ·Sector de Piedra ·Sector El Caucho · Vuelta de los negros · Barrio Obrero · Barrio Planadas · La Bujona	ARD <625	58,59	80,87	117,44	11,49	2,59

27.1.8. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Guarinó

Las cargas aportadas en la cuenca del río Guarinó según los acuerdos de metas, provienen de los sectores doméstico, beneficio de café y sacrificio animal (centrales o plantas de beneficio animal). Sin embargo, de acuerdo con CORPOCALDAS (Oficio 2022-IE-00013111) para el año 2020 la central de beneficio del municipio de Manzanares estuvo cerrada, ya que se encontraban realizando remodelaciones mediante convenio con la Gobernación de Caldas (en el marco del contrato para aunar esfuerzos administrativos y financieros para la operatividad y puesta en funcionamiento de las plantas de beneficio animal). Por otra parte, la central de Beneficio del municipio de Victoria a se vierten a la red de alcantarillado administrado por la empresa EMPOCALDAS S.A. E.S.P., por lo tanto, la carga vertida en el año 2020 ya se encuentra incluida en la de la Empresa de Servicios. Los valores de carga relacionados con la Planta de Beneficio del municipio de Manzanares y Victoria se incluirán solamente en los escenarios que corresponden a los valores definidos como meta para el año 2020 en el Acuerdo de CORPOCALDAS No. 06 de 2017.

No se identificaron aportes puntuales en la zona más alta del río Guarinó (Tramo GUARINÓ_1), hasta aguas arriba del ingreso del río Hondo. Esta última recibe las aguas residuales municipales de Marulanda.

En el siguiente tramo (GUARINÓ_2) no se reciben descargas adicionales, hasta el ingreso de la quebrada Perrillo, en la cual se identificaron 2,3 ha dedicadas al cultivo de café en el municipio de Herveo con un aporte potencial de ARnD. Aguas abajo

de este punto, en el tramo GUARINÓ_3 se identifican cultivos de café provenientes de los municipios de Fresno, Herveo y Manzanares que suman más de 200 ha y la descarga de aguas residuales en dos (2) puntos provenientes del centro poblado Padua del municipio de Herveo.

En el tramo GUARINÓ_4 se identificó la presencia de cultivos de café de los municipios de Fresno y Manzanares. En este sector ingresa la quebrada Santo Domingo, en la cual se realizan descargas del municipio de Manzanares, incluyendo la planta de beneficio animal, con un aporte importante provenientes del prestador de servicio de alcantarillado.

Aguas abajo (Tramo GUARINÓ_5) se realiza la descarga de aguas residuales del municipio Marquetalia sobre la quebrada La Minita, con un aporte representativo de EMPOCALDAS S.A. E.S.P. Se identificaron sobre este tramo y sobre un afluente denominado río San Juan, cultivos de café en jurisdicción de los municipios de Marquetalia y Fresno

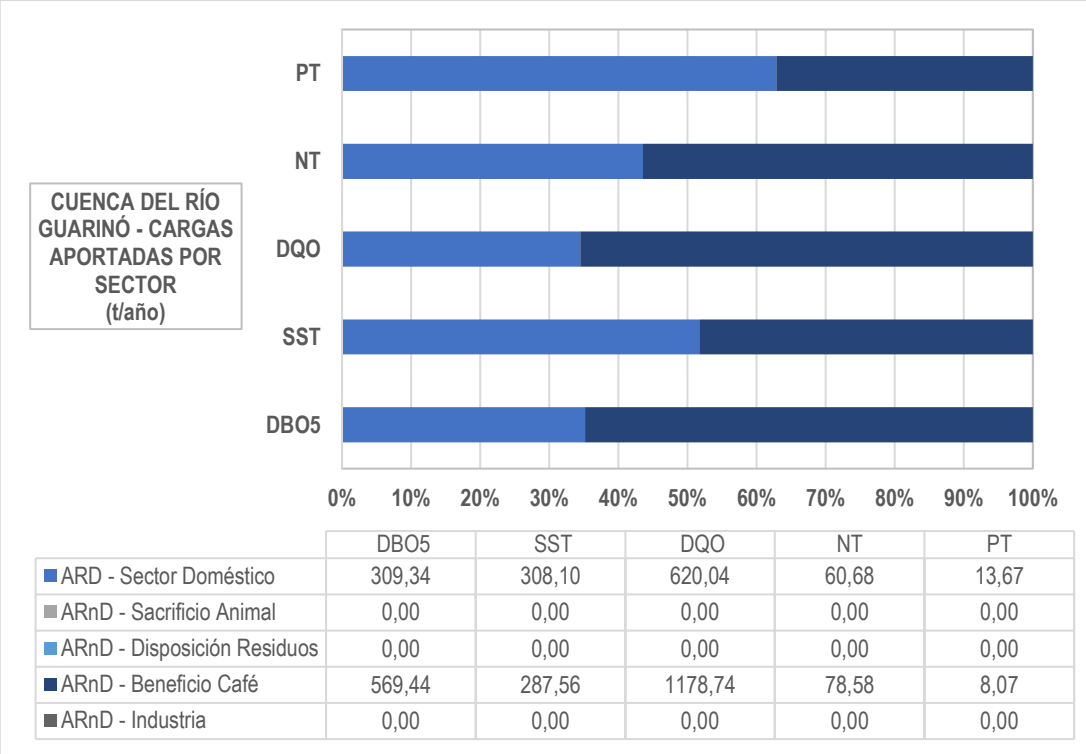
En su zona baja (Tramo GUARINÓ_6) el río Guarinó recibe las últimas cargas provenientes del municipio de Victoria que se realizan sobre la quebrada el Jardín, que incluyen el aporte de la planta de beneficio animal.

Entre los Tramos GUARINÓ 6 y GUARINÓ_7 se realizan el trasvase de una parte del caudal del río Guarinó hacia el río La Miel y La Dorada. No se identificaron otros aportes en el Tramo GUARINÓ_7.

En la Figura 492 se presenta la contribución de los sectores doméstico, y beneficio de café, en la carga total aportada a la cuenca del río Guarinó, siendo de 1015 t/año para la DBO_5, 732 t/año para SST, 2071 t/año para DQO, 166 t/año para nitrógeno total y 28 t/año para fósforo total.

Se observa del beneficio de café representa el mayor aporte para la DBO_5 y DQO (65 y 66% del total), mientras que los mayores aportes para para fósforo provienen del sector doméstico (63%). El aporte de SST y nitrógeno similar es similar en los dos sectores.

Figura 492. Carga total aportada por sectores en el año 2020 para la cuenca del río Guarinó



	DBO5	SST	DQO	NT	PT
ARD - Sector Doméstico	309,34	308,10	620,04	60,68	13,67
ARnD - Sacrificio Animal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Disposición Residuos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ARnD - Beneficio Café	569,44	287,56	1178,74	78,58	8,07
ARnD - Industria	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 470. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Guarinó. Valores determinados para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUARINÓ_1							
GUARINÓ_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
HONDO_1	Empocaldas S.A. E.S.P. (Alcantarillado de Marulanda)	AR_Mun <625	24,04	24,04	48,19	4,717	1,062
HONDO_1	Alcaldía Municipal de Marulanda (Población no Cubierta por el alcantarillado)	AR_Mun <625	0,549	0,549	1,10	0,108	0,024
HONDO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**24,59**	**24,59**	**49,29**	**4,82**	**1,09**
GUARINÓ_2							
GUARINÓ_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**24,59**	**24,59**	**49,29**	**4,82**	**1,09**
PERRILLO_1	Beneficio de Café del Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	2,3	1,1	4,7	0,3	0,0
PERRILLO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**2,27**	**1,14**	**4,69**	**0,31**	**0,03**
GUARINÓ_3	Beneficio de Café del Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	109,7	55,4	227,1	15,1	1,6
GUARINÓ_3	Beneficio de Café del Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	1,2	0,6	2,5	0,2	0,0

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUARINÓ_3	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	112,3	56,7	232,4	15,5	1,6
GUARINÓ_3	Vertimiento del Municipio Herveo CP Padua: · Sector Monseñor Luis Serna (Q. Matadero) · Sector Barrio Colombia (Q. Piedras Gordas)	AR_Mun <625	3,81	2,57	7,64	0,747	0,168
GUARINÓ_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**253,84**	**141,00**	**523,58**	**36,68**	**4,45**
DOMINGO_1	Empocaldas S.A. E.S.P. (Alcantarillado Municipio de Manzanares)	AR_Mun <625	210,18	210,18	421,28	41,231	9,2854
DOMINGO_1	Alcaldía Municipal de Manzanares (Población no Cubierta por el alcantarillado)	AR_Mun <625	39,48	39,48	79,14	7,75	1,744
DOMINGO_1	Alcaldía Municipal de Manzanares (Planta de Beneficio Animal)	ARnD - PBA	1,26	1,26	2,24	0,34	0,09
DOMINGO_1	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	153,3	77,4	317,2	21,1	2,2
DOMINGO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**404,18**	**328,31**	**819,90**	**70,46**	**13,29**
GUARINÓ_4	Beneficio de Café del Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	22,6	11,4	46,7	3,1	0,3
GUARINÓ_4	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	32,2	16,3	66,6	4,4	0,5
GUARINÓ_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**712,77**	**496,97**	**1456,81**	**114,70**	**18,51**
JUAN_1	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	28,7	14,5	59,4	4,0	0,4
JUAN_1	Beneficio de Café del Municipio de Marquetalia	ARnD - Beneficio Café	6,8	3,5	14,2	0,9	0,1
JUAN_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**35,54**	**17,95**	**73,57**	**4,90**	**0,50**
GUARINÓ_5	Empocaldas S.A. E.S.P. (Alcantarillado Municipio de Marquetalia) - Q La Minita	AR_Mun <625	145,07	145,07	290,77	28,46	6,4089
GUARINÓ_5	Alcaldía Municipal de Marquetalia (Población no Cubierta por el alcantarillado) - Q La Minita	AR_Mun <625	10,92	10,92	21,88	2,141	0,4822
GUARINÓ_5	Beneficio de Café del Municipio de Marquetalia	ARnD - Beneficio Café	10,4	5,2	21,5	1,4	0,1
GUARINÓ_5	Beneficio de Café del Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	90,1	45,5	186,5	12,4	1,3
GUARINÓ_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1004,75**	**721,63**	**2050,98**	**164,07**	**27,33**
GUARINÓ_6	Alcaldía Municipal de Victoria (Población no Cubierta por el alcantarillado) - Q El Jardín	AR_Mun <625	7,01	7,01	14,05	1,38	0,3097
GUARINÓ_6	Empocaldas S.A. E.S.P. (PTAR Municipio Victoria) - Q El Jardín	AR_Mun <625	1,54	1,54	3,08	0,30	0,0679
GUARINÓ_6	Empocaldas S.A. E.S.P. (C. Beneficio Animal) - Q El Jardín. Municipio de Victoria	ARnD - PBA	1,37	1,37	2,43	0,37	0,09
GUARINÓ_6 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1014,66**	**731,55**	**2070,55**	**166,11**	**27,80**
GUARINÓ_7 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**1014,66**	**731,55**	**2070,55**	**166,11**	**27,80**

Tabla 471. Determinación de Cargas para la Cuenca del río Guarinó. Meta en Carga para el año 2020

Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUARINÓ_1							
GUARINÓ_1 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
HONDO_1	Empocaldas S.A. E.S.P. (Alcantarillado de Marulanda)	AR_Mun <625	28,48	28,48	57,08	5,59	1,258
HONDO_1	Alcaldía Municipal de Marulanda (Población no Cubierta por el alcantarillado)	AR_Mun <625	1,09	1,09	2,18	0,23	0,048
HONDO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**29,57**	**29,57**	**59,26**	**5,80**	**1,31**
GUARINÓ_2							
GUARINÓ_2 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**29,57**	**29,57**	**59,26**	**5,80**	**1,31**
PERRILLO_1	Beneficio de Café del Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	2,3	1,1	4,7	0,3	0,0
PERRILLO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**2,27**	**1,14**	**4,69**	**0,31**	**0,03**
GUARINÓ_3	Beneficio de Café del Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	109,7	55,4	227,1	15,1	1,6
GUARINÓ_3	Beneficio de Café del Municipio de Herveo	ARnD - Beneficio Café	1,2	0,6	2,5	0,2	0,0
GUARINÓ_3	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	112,3	56,7	232,4	15,5	1,6
GUARINÓ_3	Vertimiento del Municipio Herveo CP Padua: · Sector Monseñor Luis Serna (Q. Matadero) · Sector Barrio Colombia (Q. Piedras Gordas)	AR_Mun <625	3,81	2,57	7,64	0,747	0,168
GUARINÓ_3 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**258,81**	**145,98**	**533,54**	**37,66**	**4,67**
DOMINGO_1	Empocaldas S.A. E.S.P. (Alcantarillado Municipio de Manzanares)	AR_Mun <625	174,16	174,16	349,09	34,17	7,69
DOMINGO_1	Alcaldía Municipal de Manzanares (Población no Cubierta por el alcantarillado)	AR_Mun <625	48,41	48,41	97,03	9,50	2,139
DOMINGO_1	Alcaldía Municipal de Manzanares (Planta de Beneficio Animal)	ARnD - PBA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DOMINGO_1	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	153,3	77,4	317,2	21,1	2,2
DOMINGO_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**375,83**	**299,96**	**763,36**	**64,81**	**12,00**
GUARINÓ_4	Beneficio de Café del Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	22,6	11,4	46,7	3,1	0,3
GUARINÓ_4	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	32,2	16,3	66,6	4,4	0,5
GUARINÓ_4 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**689,39**	**473,59**	**1410,24**	**110,02**	**17,45**
JUAN_1	Beneficio de Café del Municipio de Manzanares	ARnD - Beneficio Café	28,7	14,5	59,4	4,0	0,4
JUAN_1	Beneficio de Café del Municipio de Marquetalia	ARnD - Beneficio Café	6,8	3,5	14,2	0,9	0,1
JUAN_1 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**35,54**	**17,95**	**73,57**	**4,90**	**0,50**
GUARINÓ_5	Empocaldas S.A. E.S.P. (Alcantarillado Municipio de Marquetalia) - Q La Minita	AR_Mun <625	45,42	45,42	91,05	8,91	2,01
GUARINÓ_5	Alcaldía Municipal de Marquetalia (Población no Cubierta por el alcantarillado) - Q La Minita	AR_Mun <625	4,28	4,28	8,57	0,84	0,19
GUARINÓ_5	Beneficio de Café del Municipio de Marquetalia	ARnD - Beneficio Café	10,4	5,2	21,5	1,4	0,1

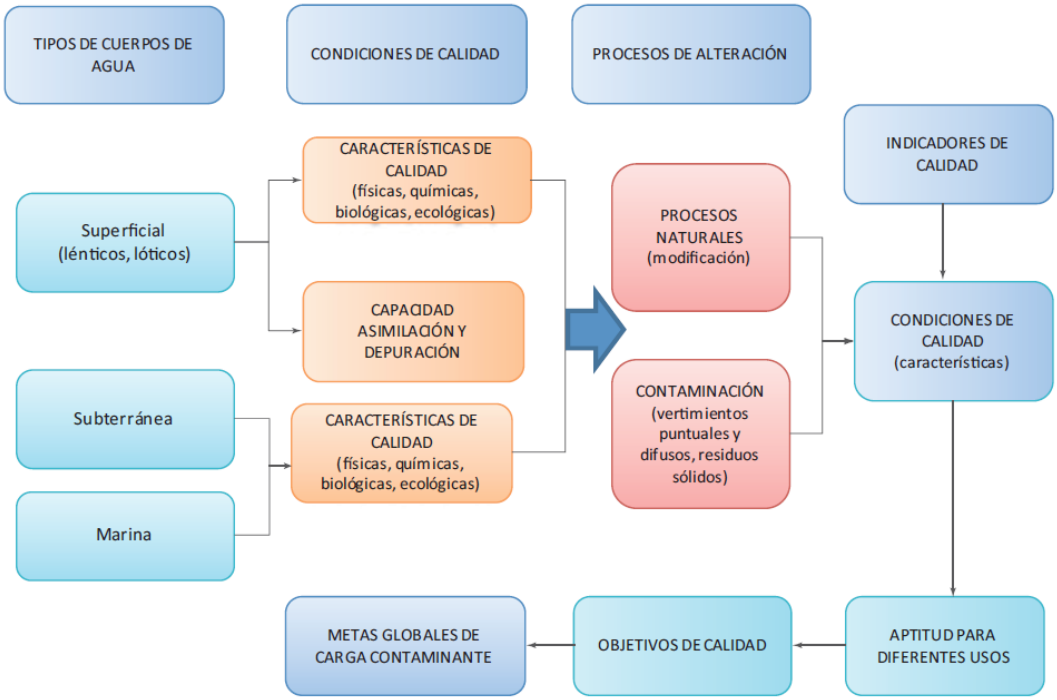
Tramo o Unidad de Análisis	Vertimiento	Tipo de Agua Residual	Carga Actual (2020)				
			DBO_5 (t/año)	SST (t/año)	DQO (t/año)	NT (t/año)	PT (t/año)
GUARINÓ_5	Beneficio de Café del Municipio de Fresno	ARnD - Beneficio Café	90,1	45,5	186,5	12,4	1,3
GUARINÓ_5 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**875,09**	**591,97**	**1791,37**	**138,54**	**21,57**
GUARINÓ_6	Alcaldía Municipal de Victoria (Población no Cubierta por el alcantarillado) - Q El Jardín	AR_Mun <625	2,16	2,16	4,33	0,42	0,1
GUARINÓ_6	Empocaldas S.A. E.S.P. (PTAR Municipio Victoria) - Q El Jardín	AR_Mun <625	1,54	1,54	3,08	0,30	0,07
GUARINÓ_6	Empocaldas S.A. E.S.P. (C. Beneficio Animal) - Q El Jardín. Municipio de Victoria	ARnD - PBA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GUARINÓ_6 PARCIAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**878,78**	**595,67**	**1798,78**	**139,27**	**21,73**
GUARINÓ_7 TOTAL	**Punto para cálculo del IACAL**		**878,78**	**595,67**	**1798,78**	**139,27**	**21,73**

28. Marco Conceptual para la Evaluación de la Calidad del Agua Superficial

El diagnóstico y la evaluación de la calidad del agua se fundamentan en los lineamientos para las Evaluaciones Regionales del Agua - ERA, contemplando que el modelo básico para entender el funcionamiento de los sistemas hídricos es el ciclo hidrológico y su balance de agua, donde la compleja interacción entre la atmósfera y los procesos superficiales y subsuperficiales afectan, entre otros aspectos, la calidad del agua en las diferentes Subzonas hidrográficas.

La calidad del agua se define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad y está definida por las características físicas, químicas, biológicas y ecológicas. (ENA 2014). En este sentido, de acuerdo con el enfoque de los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA (*Figura 493*), la calidad del agua de las ocho cuencas objeto de estudio, deben analizarse considerando dos (2) elementos, las condiciones de calidad y los procesos de alteración.

Figura 493. Modelo conceptual para la evaluación de la calidad del agua en las regiones



Fuente: IDEAM. Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA

28.1. Procesos de Alteración – Factores de Contaminación

La calidad del agua puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos, con aportes puntuales y/o difusos. Estas alteraciones tienen origen en los procesos naturales del ciclo hidrológico y su interacción con el medio natural o procesos relacionados con actividades antrópicas. La determinación de las cargas se presenta en el informe correspondiente.

29. Marco Metodológico para la Evaluación de la Calidad del Agua Superficial

La metodología implementada en el presente documento está fundamentada en los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las Evaluaciones Regionales del Agua – ERA, establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM en el año 2013.

El desarrollo del componente metodológico se realiza en armonía con otros instrumentos existentes definidos en la Política Nacional para la Gestión Integral

del Recurso Hídrico - GIRH, que comprenden la Planificación como POMCAS, Regulación como los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV y permisos de vertimientos; Económicos, que considera el programa de Tasas Retributivas – TR; e instrumentos de Información, como el Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH.

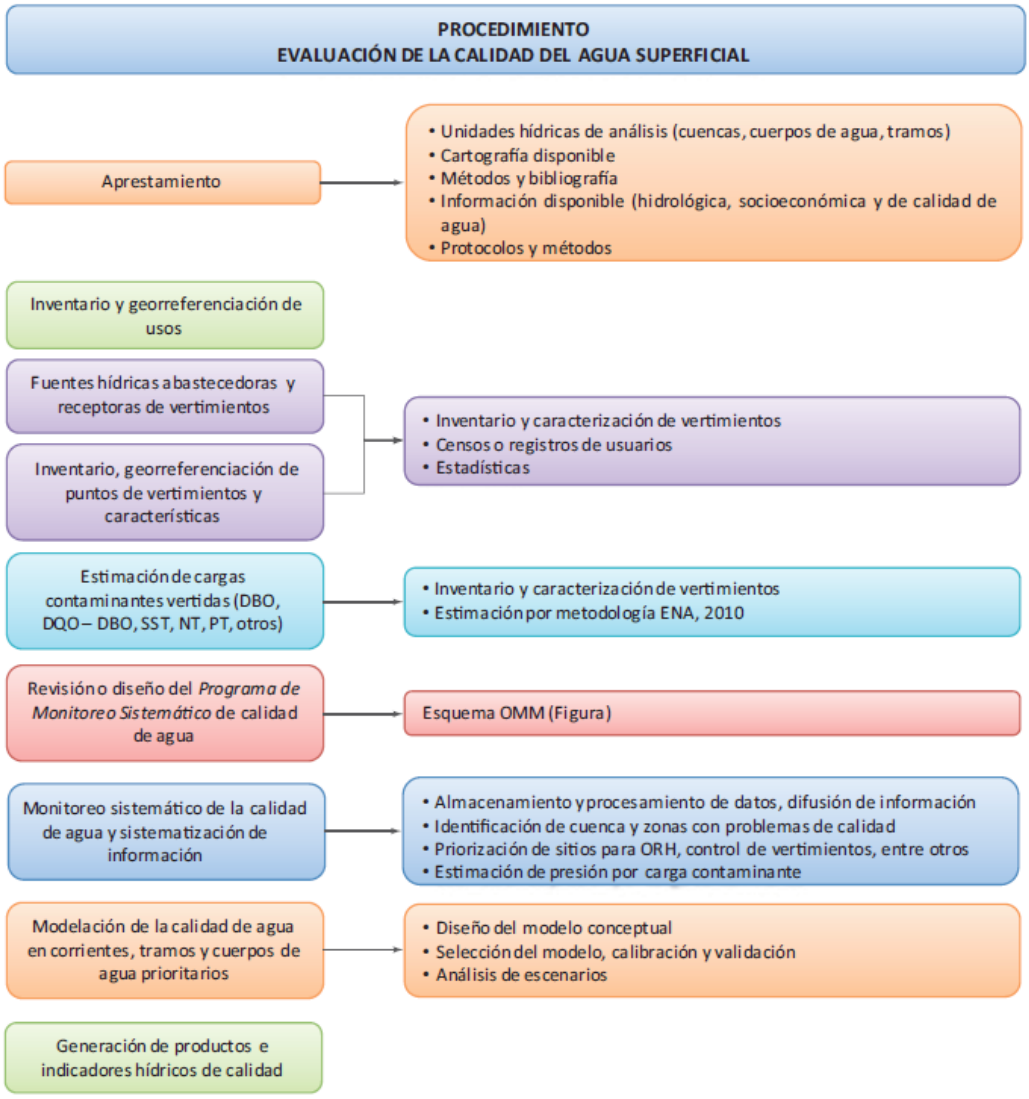
El procedimiento para la evaluación de la calidad del agua superficial implementado en la Fase I del ERA del departamento del Tolima, comprende los siguientes aspectos (*Figura 494*):

- **Aprestamiento:** Se definen los tramos o unidades hídricas de análisis (UHA) de la calidad del agua, las cuales permitirán ubicar de forma organizada los puntos de monitoreo, vertimientos, captaciones, y entender el comportamiento de la calidad del agua en función de la distribución espacial en el área de estudio. Se revisa la cartografía disponible, la bibliografía y los métodos necesarios para la evaluación de la calidad del agua. Se realiza un levantamiento de la información hidrológica, de calidad del agua y del componente socioeconómico.

- **Inventario y georreferenciación de usos y usuarios:** Se realizó la ubicación georreferenciada de los usuarios del recurso, correspondientes a los registros captaciones de agua superficial y vertimientos puntuales de agua residual, obtenida a partir de la consulta de los diferentes instrumentos en la etapa de Aprestamiento. Los usos del agua considerados en los objetivos de calidad son incluidos en la cartografía.

- **Estimación de las cargas contaminantes vertidas**: A partir de los inventarios y caracterizaciones de los vertimientos, Metas de Carga Contaminantes, el uso de factores por actividad y por parámetro, se determina el aporte de carga vertida individualmente, así como el acumulado por cuencas, para los vertimientos puntuales, y para determinantes requeridos para el cálculo del Índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL.

Figura 494. Procedimiento para la Evaluación de la Calidad del Agua Superficial



Fuente: IDEAM (2013). Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA

- **Revisión o diseño del programa de monitoreo sistemático de calidad del agua**: A partir de la revisión de los puntos de monitoreos históricos, que comprenden los registros obtenidos del seguimiento realizado parte de CORTOLIMA al recurso hídrico superficial, así como de los monitoreos realizados como parte del diagnóstico de los POMCAS, se realiza una propuesta de puntos de monitoreo para determinar el estado actual de las cuencas del área de estudio, al nivel requerido por la Evaluación Regional del Agua.

- **Monitoreo sistemático de la calidad del agua y sistematización de la Información**: Se realizan campañas de monitoreo entre los años 2021 y 2022, para medir las características de las aguas superficiales, así como de aguas residuales en las ocho (8) cuencas objeto del presente estudio. A partir de los resultados se presentará un diagnóstico del estado histórico y actual de la calidad del agua, se identificarán las cuencas o zonas con problemas de calidad y se presentará una priorización para el ordenamiento de cuerpos de agua, control de vertimientos, entre otros.

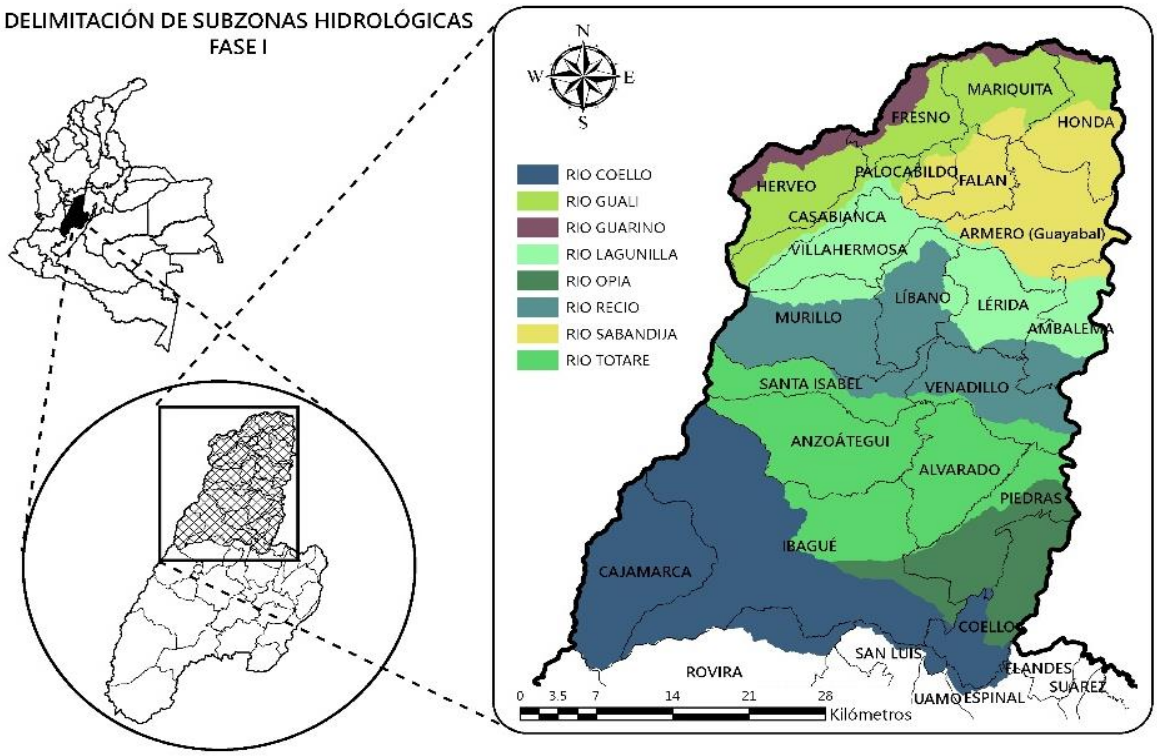
- **Análisis de Escenarios Tendenciales**: Con el fin de establecer posibles condiciones de presión sobre los cuerpos de agua superficial, se considera para ello dentro del cálculo del IACAL, un escenario con la carga definida como meta para el año 2020 (condición proyectada en el Acuerdo CORTOLIMA No. 013 de 2018 y Acuerdo CORPOCALDAS 06 de 2017), y en un segundo escenario, se tomará la carga aportada por los usuarios, registrada en el seguimiento a las metas en carga para el año 2020 por las dos (2) Corporaciones.

29.1. Aprestamiento

29.1.1. Definición del horizonte espacial para el análisis de la calidad del agua

La Fase I del Estudio Regional del Agua en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Tolima - CORTOLIMA, contempla ocho (8) cuencas de corrientes hídricas que drenan directamente al río Magdalena. Estas cuencas se ubican en la zona norte del área de la Corporación, tal como se presenta en la *Figura 495* y pertenecen a seis (6) Subzonas Hidrográficas, de acuerdo con la codificación del IDEAM.

Figura 495. Ubicación de las cuencas objeto de estudio.



Siguiendo la codificación de cuencas de orden menor, en la zona de estudio se cuenta con 621 cuencas y en relación con la distribución político administrativa, el área de estudio se ubica sobre 21 municipios. La distribución de Cuencas, Subzonas Hidrográficas - SZH y microcuencas, se presentan en la *Tabla 472*.

Tabla 472. Relación de Cuencas en la Zona de estudio.

Nombre de la Cuenca	Sub Zonas Hidrográficas	Número de Microcuencas
Río Coello	Río Coello	229
Río Opia	Río Opia	44
Río Totare	Río Totare	77
Río Recio y Río Venadillo	Río Lagunilla y otros Directos al Magdalena	65
Río Lagunilla	Río Lagunilla y otros Directos al Magdalena	51
Río Sabandija	Río Lagunilla y otros Directos al Magdalena	53
Río Gualí	Río Gualí	73
Río Guarinó	Río Guarinó	29

La evaluación del estado de calidad del agua se realiza en cuerpos de agua o en parte de ellos. Por medio de los muestreos y análisis de determinantes físico-

químicos y biológicos se evalúa la calidad en los sitios y momentos específicos donde se realizan. Si el muestreo es sistemático y frecuente, es decir, si se realiza monitoreo, se puede conocer la variación temporal de la calidad en los sitios monitoreados. La calidad del agua varía relativamente rápido en el espacio y en el tiempo. Espacialmente es modificada por la localización de los vertimientos y los procesos de asimilación de los contaminantes, así como por los flujos de los afluentes (Lineamientos ERA, 2013).

De acuerdo con los lineamientos del IDEAM, se deben definir tramos o Unidades Hídricas de Análisis (UHA), que pueden corresponder a cuencas, cuerpos de agua, tramos, etc., para lo cual se consideraron los siguientes aspectos:

- División de cuerpos de agua en función del ingreso de corrientes secundarias de importancia.
- Ingreso de vertimientos directamente en la corriente de estudio o indirectamente, a través de otros cuerpos de agua.
- Trasvases.
- Distritos de Riego.
- Presencia de cascos urbanos o centros poblados que pudieran tener influencia en la calidad del agua superficial.
- De forma general, se han considerado las unidades de análisis del componente hidrológico, creando subdivisiones para analizar la presión o calidad del agua en tramos más cortos de interés, o en cuerpos de agua tributarios que presentan condiciones de interés, por ejemplo, la presencia de vertimientos con carga representativa.

A continuación, se presentan las tablas con las unidades de análisis por cada una de las ocho (8) cuencas objeto de estudio, indicando el inicio y final de cada unidad.

29.1.1.1. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Coello

En la *Tabla 473* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Coello, organizadas desde la divisoria de aguas hasta su desembocadura den el río Magdalena, las cuales se ubican en siete (7) cuerpos de agua superficial.

Tabla 473. Tramos o Unidades de Análisis de la calidad del agua en el río Coello

Corriente	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Coello	TOCHE_1	Divisoria de aguas río Toche (Coello)- Abajo de CP Toche
Río Coello	COELLO_1	Río Coello abajo de Unidad río Toche aguas - Arriba de río Bermellón
Río Bermellón	BERMELLON_1A	Río Bermellón divisoria de aguas - arriba de vertimientos casco urbano Cajamarca

Corriente	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Bermellón	BERMELLON_1B	Río Bermellón Arriba de vertimientos casco urbano Cajamarca - Arriba de río Anaime
Río Anaime	ANAIME_1A	Río Anaime divisoria de aguas - arriba de CP Anaime
Río Anaime	ANAIME_1B	Río Anaime Inicio Casco Urbano de CP Anaime - Desembocadura en río Bermellón
Río Bermellón	BERMELLON_2	Río Bermellón Abajo de río Anaime - Desembocadura en río Coello
Río Coello	COELLO_2	Río Coello abajo de río Bermellón - arriba de río Cocora
Río Cocora	COCORA_1	Río Cocora divisoria de aguas - Desembocadura en río Coello
Río Coello	COELLO_3	Río Coello abajo del río Cocora - Arriba del río Combeima
Río Combeima	COMBEIMA_1	Río Combeima divisoria de aguas - arriba de captación Hidrotolima Pastales
Río Combeima	COMBEIMA_2A	Río Combeima arriba de Captación Hidrotolima Pastales - Arriba Vertimientos Municipio Ibagué
Río Combeima	COMBEIMA 2B COMBEIMA_3	Río Combeima desde Inicio de Vertimientos Casco urbano de Ibagué - Hasta retorno captación HIDROTOLIMA Mirolindo (cerca de Canal La Serna)
Río Combeima	COMBEIMA_4	Río Combeima Retorno captación HIDROTOLIMA Mirolindo (cerca de Canal La Serna) - Desembocadura en río Coello
Río Coello	COELLO_04	Río Coello abajo del río Combeima - Arriba de Q. Gualanday
Q. Gualanday	GUALANDAY_1A	Q. Gualanday divisoria de aguas- Abajo Relleno Sanitario La Miel (Q. Guacarí)
Q. Gualanday	GUALANDAY_1B	Q. Gualanday Abajo de Relleno Sanitario La Miel (Q. Guacarí) - Desembocadura en río Coello
Río Coello	COELLO_05	Río Coello abajo de Q. Gualanday - Arriba de Q. Chaguala
Q. Chaguala	CHAGUALA_1	Q. Chaguala Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Coello
Río Coello	COELLO_06	Abajo de Q. Chaguala - Desembocadura en río Magdalena

29.1.1.2. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Opia

En la *Tabla 474* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Opia, las cuales se ubican en tres (3) cuerpos de agua superficial, Opia, Doima y Naguachi, este último no desemboca en la corriente principal de esta cuenca (río Opia) sino en el río Magdalena.

Tabla 474. Tramos o Unidades de Análisis Río Opia.

Corriente	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Q. Naguachi	NAGUACHI_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Magdalena
Río Opia	OPIA_1A	Divisoria de aguas (en Casco Urbano Ibagué) - arriba de trasvase Canal Laserna
Río Opia	OPIA_1B	Abajo de Trasvase Canal Laserna- Abajo de derivaciones para riego
Río Opia	OPIA_1C	Abajo de derivaciones para Riego - arriba de Q. Doima
Quebrada Doima	DOIMA_1A	Divisoria de aguas Q.Doima - Abajo Vertimientos Ibagué
Quebrada Doima	DOIMA_1B	Abajo Vertimientos Ibagué - Desembocadura en río Opia

Corriente	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Opia	OPIA_2	Abajo de Q. Doima - Desembocadura en río Magdalena

29.1.1.3. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Totare

En la *Tabla 475* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Totare, las cuales se ubican en 11 cuerpos de agua superficial.

Tabla 475. Tramos o Unidades de Análisis Río Totare

Corriente	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Totarito	Totarito_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Totare
Río Totare	TOTARE_1	Divisoria de aguas - Arriba de río Totarito
Río Totare	TOTARE_2A	Abajo de río Totarito - Arriba de Q. El Fierro
Q. El Fierro	FIERRO_1	Divisoria de Aguas de la q. El Fierro -Desembocadura en río Totare
Q. La Rica	RICA_1	Divisoria de Aguas Q. La Rica - Desembocadura en río Totare
Río Totare	TOTARE_2B	Abajo de Q. El Fierro - Arriba de Captación Asototare (Boluga Totare)
Río Totare	TOTARE_3	Abajo de Captación Asototare (Boluga Totare) - Arriba de río Alvarado
Río Alvarado	ALVARADO_1A	Divisoria de Aguas (casco urbano Ibagué) - Abajo de Vertimientos de Ibagué
Río Alvarado	ALVARADO_1B	Abajo de Vertimientos de Ibagué - Inicio Jurisdicción Municipio Alvarado (aguas abajo de CP Chucuní)
Río Alvarado	ALVARADO_1C	Inicio Jurisdicción Municipio Alvarado (aguas abajo de CP Chucuní) - Arriba de Q. La China
Q. La China	CHINA_1	Divisoria de Aguas - Arriba de río San Romualdo
Río San Romualdo	ROMUALDO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en Q La China
Q. La China	CHINA_2	Abajo de río San Romualdo - Arriba de río Frío
Río Frío	FRIO_1A	Divisoria de Aguas - Arriba de vertimientos casco urbano de Anzoátegui
Q. Innominada	INNOMINADA_1	Divisoria de aguas Q. Innominada - Desembocadura en río Frío
Q. Santa Helena	STA_HELENA_1	Divisoria de aguas Q. Santa Helena - Desembocadura en río Frío
Río Frío	FRIO_1B	Abajo de Arriba de vertimientos casco urbano de Anzoátegui - Desembocadura en Q. La China
Q. La China	CHINA_3	Abajo de río Frío - Arriba captación ASOTOTARE (Boluga La China)
Q. La China	CHINA_4	Abajo de captación ASOTOTARE (Boluga La China) - Desembocadura en río Alvarado
Río Alvarado	ALVARADO_2	Abajo de captación ASOTOTARE (Boluga La China) - Desembocadura en río Alvarado
Río Totare	TOTARE_4	Abajo de río Alvarado - Arriba de río Chipalo
Río Chipalo	CHIPALO_1 - CHIPALO_2A	Divisoria de Aguas - Abajo de Q. Agua Sucia
Río Chipalo	CHIPALO_2B	Abajo de río Chipalo - Desembocadura en río Totare

Corriente	Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Quebrada Honda - Guarapo	GUARAPO_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Totare
Río Totare	TOTARE_5	Abajo de río Chipalo - Desembocadura en el río Magdalena

29.1.1.4. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca de los ríos Recio - Venadillo

En la *Tabla 476* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Recio y río Venadillo, las cuales se ubican en 13 cuerpos de agua superficial.

Tabla 476. Tramos o Unidades de Análisis Río Recio y Río Venadillo

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Venadillo	VENADILLO_1A	Divisoria de aguas - Arriba de vertimientos de Municipio de Venadillo (arriba Q. Galapo)
Q. Los Monos - Galapo	GALAPO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Venadillo
Río Venadillo	VENADILLO_1B	Abajo Q. Monos (Q. Galapo) - Arriba captación Pajonales
Q. La Lechura	VENADILLO_2	Aguas Abajo de Vertimientos casco urbano Venadillo - Desembocadura en río Magdalena
Río Recio	RECIO_1	Divisoria de Aguas - Arriba de río Azul
Río Azul	AZUL_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Recio
Q. Castrillón	CASTRILLON_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Recio
Río Recio	RECIO_2	Abajo de río Azul - Arriba de Q. Santa Rosa
Q. Santa Rosa	SANTAROSA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Recio
Q. San Juan	SAN_JUAN_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en Q. Santa Rosa
Q. Las Peñas	PEÑAS_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Recio
Q. La Honda	HONDA_RECIO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Recio
Río Recio	RECIO_3	Abajo de Q. Santa Rosa - Arriba de río La Yuca
Río La Yuca	YUCA_1A	Divisoria de Aguas - Arriba de Q. Las Ánimas (recibe Vertimientos municipio Santa Isabel)
Q. Las Ánimas	ANIMAS_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río La Yuca
Río La Yuca	YUCA_1B	Entrada Q. Las Ánimas - Desembocadura en río Recio
Río Recio	RECIO_4	Abajo de río La Yuca - Arriba Captación Asorrecio
Río Recio	RECIO_5	Abajo Captación Asorrecio - arriba captación Pajonales - El Vergel
Río Recio	RECIO_6	Abajo captación Pajonales - Desembocadura en río Magdalena
Q. Tautau	TAUTAU_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Magdalena

29.1.1.5. Tramos y Sectores para el análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Sabandija

En la *Tabla 477* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Sabandija, las cuales se ubican en siete (7) cuerpos de agua superficial.

Tabla 477. Tramos o Unidades de Análisis Río Sabandija

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Quebrada El Rompe	ROMPE_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Sabandija
Río Sabandija	SABANDIJA_1	Divisoria de Aguas - Arriba de río Cuamo
Q. Murillo	MURILLO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Cuamo
Q. Morales	MORALES_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Cuamo
Río Cuamo	CUAMO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Sabandija
Q. El Maldito	MALDITO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Sabandija
Río Sabandija	SABANDIJA_2	Abajo de río Cuamo - Desembocadura en río Magdalena
Q. Seca	SECA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Magdalena

29.1.1.6. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Lagunilla

En la *Tabla 478* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Lagunilla, las cuales se ubican en 13 cuerpos de agua superficial.

Tabla 478. Tramos o Unidades de Análisis Río Lagunilla

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Lagunilla	LAGUNILLA_1	Divisoria de aguas - Arriba de río Vallecitos
R. Vallecitos	VALLECITOS_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Lagunilla
Río Lagunilla	LAGUNILLA_2	Abajo de río Vallecitos - Arriba de río Azufrado
Río Azufrado	AZUFRADO_1A	Divisoria de aguas - Arriba de vertimientos del Municipio de Casabianca
Q. Cascarilla	CASCARILLA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en Q. Santa Rita
Q. Santa Rita	SANTARITA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Azufrado
Q. La Bonita	BONITA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Azufrado
Q. Calzones	CALZONES_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Azufrado
Río Azufrado	AZUFRADO_1B	Arriba de Vertimientos Municipio de Casabianca - Desembocadura en río Lagunilla
Río Lagunilla	LAGUNILLA_3	Abajo de río Azufrado - Arriba de captación ASOPINDAL
Q. El Dorado (El Oro)	DORADO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Lagunilla
Río Lagunilla	LAGUNILLA_4	Abajo de captación ASOPINDAL - Arriba de Río Bledo
Río Bledo	BLEDO_1A	Divisoria de Aguas - Arriba de Q. La Sierra
Q. La Sierra	SIERRA_1	Nacimiento Q. La Sierra - Desembocadura en río Bledo

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Q. El Sitio (Caño Jordán)	SITIO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Bledo
Río Bledo	BLEDO_1B	Entrada Q. La Sierra - Entrada Caño Jordán (Q El Sitio)
Río Lagunilla	LAGUNILLA_5	Abajo de Río Bledo - Arriba de Q. El Palmar
Q. Palmas	PALMAS_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Lagunilla
Río Lagunilla	LAGUNILLA_6	Abajo de Q. El Palmar - Arriba de Q. La Joya
Q. La Joya	JOYA_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Lagunilla
Río Lagunilla	LAGUNILLA_7	Abajo de río Bledo - Arriba de Q. El Palmar

29.1.1.7. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Gualí

En la *Tabla 479* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Gualí, las cuales se ubican en 16 cuerpos de agua superficial.

Tabla 479 Tramos o Unidades de Análisis Río Gualí

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Gualí	GUALI_1	Divisoria de Aguas - Arriba de río Cajones
Q.Peñoles	PEÑOLES_1	Arriba Descargas empresa CENIT - Desembocadura en río Cajones
Q. El Salado	SALADO_1	Nacimiento Q. Charco Azul (El Salado - El Perfume) - Abajo Vertimientos Herveo
Q. El Salado	SALADO_2	Abajo Vertimientos Herveo - Desembocadura en río Cajones
Q. Cajones	CAJONES_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en río Gualí
Q. La Ciega	CIEGA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí
Río Gualí	GUALI_2	Abajo de río Cajones - Arriba de río Aguacatal
Río Aguacatal	AGUACATAL_1	Aguas Arriba de Cultivos de Café - Desembocadura en río Gualí
Río Gualí	GUALÍ_3	Abajo de río Aguacatal - Arriba de Q. Guarumos
Río Guarumo	GUARUMO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí
Río Gualí	GUALÍ_4	Abajo de Q. Guarumos - Arriba de Q. Agua de Dios
Q. Agua de Dios	AG_DIOS_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí
Río Gualí	GUALÍ_5	Abajo de Q. Agua de Dios - Arriba de Q. San José
Q. San José	SAN_JOSE_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí
Caño El Hospital	HOSPITAL_1A	Nacimiento C. Hospital- Abajo de Vertimiento de Fresno
Río Gualí	GUALÍ_6	Abajo de Q. San José - Arriba Q. La Nicua
Q. La Nicua	NICUA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí
Río Gualí	GUALÍ_7	Abajo de Q. La Nicua - Arriba de río Sucio
Q. Grande	GRANDE_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Sucio
Q. Cantadera	CANTADERA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Sucio
Río Sucio	SUCIO_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Gualí	GUALÍ_8	Abajo río Sucio - Arriba río Medina
Q. de Alegrías	ALEGRIAS_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Medina
Río Medina	MEDINA_1	Divisoria de Aguas - Desembocadura en río Gualí
Río Gualí	GUALÍ_9	Abajo de río Medina- Desembocadura en río Magdalena
Directos al Río Magdalena	Río Magdalena	Río Magdalena frente a Municipio de Honda

29.1.1.8. Unidades de análisis de la calidad del agua para la Cuenca del río Guarinó

En la *Tabla 480* se presentan las unidades hídricas de análisis de calidad del agua para la cuenca del río Guarinó, las cuales se ubican en cinco (5) cuerpos de agua superficial.

Tabla 480. Tramos o Unidades de Análisis Río Guarinó

Corriente	Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)
Río Guarinó	GUARINÓ_1	Divisoria de aguas - Arriba del río Hondo
Río Hondo	HONDO_1	Divisoria de aguas -Desembocadura en el río Guarinó
Río Guarinó	GUARINÓ_2	Abajo del río Hondo - Arriba de río Perrillo
Río Perrillo	PERRILLO_1	Río Perrillo divisoria de aguas -Desembocadura en el río Guarinó
Río Guarinó	GUARINÓ_3	Río Guarinó abajo de río Perrillo - Arriba del río Santo Domingo
Río Santo Domingo	DOMINGO_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en el río Guarinó
Río Guarinó	GUARINÓ_4	Abajo de río Santo Domingo - Arriba de río San Juan
Río San Juan	JUAN_1	Divisoria de aguas - Desembocadura en el río Guarinó
Río Guarinó	GUARINÓ_5	Abajo de río San Juan - Arriba de Trasvase La Miel
Río Guarinó	GUARINÓ_6	Abajo de Trasvase La Miel - Arriba Trasvase La Dorada
Río Guarinó	GUARINÓ_7	Abajo de Trasvase La Dorada - Desembocadura en río Magdalena

29.2. Revisión y Diseño de la Red de Monitoreo de Calidad del agua

A continuación, se presenta la descripción de los elementos técnicos, que permiten definir la cantidad y ubicación de los puntos de monitoreo, necesarios para la caracterización del estado actual de la calidad del agua. Se destaca la revisión de información secundaria, condiciones de acceso y las características de las corrientes. Para este ejercicio se tuvo en cuenta las recomendaciones de la Guía de prácticas hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (Vol. 1de la

OMM-Nº 168), en donde se indica que, un buen control de la calidad del agua, dependerá de la ubicación de los puntos de monitoreo (Mundial, 1994).

Para la definición de la ubicación de la red de monitoreo, se optó por una estrategia que permita determinar a escala regional las características actuales del cuerpo de agua, a través de los reportes de laboratorio, así como el cálculo del ICA para cada una de las cuencas de interés. Adicionalmente, con motivo de obtener información primaria de las características de las aguas residuales provenientes de las actividades más representativas, se incluyeron puntos de medición en aguas residuales provenientes del servicio público de alcantarillado (Agua Residual Doméstica - ARD o ARD + Agua Residual no Doméstica -ARnD), ARnD provenientes de plantas de beneficio Animal - PBA y ARnD proveniente de un (1) relleno sanitario.

Los puntos definidos permiten conocer las características de calidad del agua en tramos y sectores de los diferentes cuerpos de agua, la presión por vertimientos y las condiciones del agua captada para diferentes acueductos municipales y veredales de interés.

Entendiendo de esta forma la escala a la que se realizará la caracterización de la zona de estudio, a continuación, se presentan los principales criterios que se tuvieron en cuenta para la definición de los puntos de monitoreo.

- Puntos de cierre de las corrientes principales y algunos afluentes de mayor importancia en las cuencas de interés.
- Puntos de monitoreo en las zonas altas de algunas corrientes, como referentes de zonas con baja intervención antrópica.
- Captaciones de agua destinadas al consumo humano y doméstico (previo tratamiento) de sistemas de abastecimiento municipal o de centros poblados.
- Antes y/o después de derivaciones de agua para distritos de riego o trasvases.
- Puntos de monitoreo históricos medidos por CORTOLIMA o incluidos en los POMCAS de las diferentes cuencas y en el PORH del río Gualí.
- Aguas arriba y aguas abajo de la influencia de cascos urbanos de municipios o de sus centros poblados.
- Cambios morfométricos en el cauce de las principales corrientes.

A continuación, se presentan los resultados de los puntos de monitoreo definidos para la caracterización del estado actual de la calidad del agua y de las presiones en las cuencas de estudio. En total se proponen 132 puntos de monitoreo sobre fuentes de agua, zonas de cercanas a bocatomas y sobre vertimientos de estratégicos.

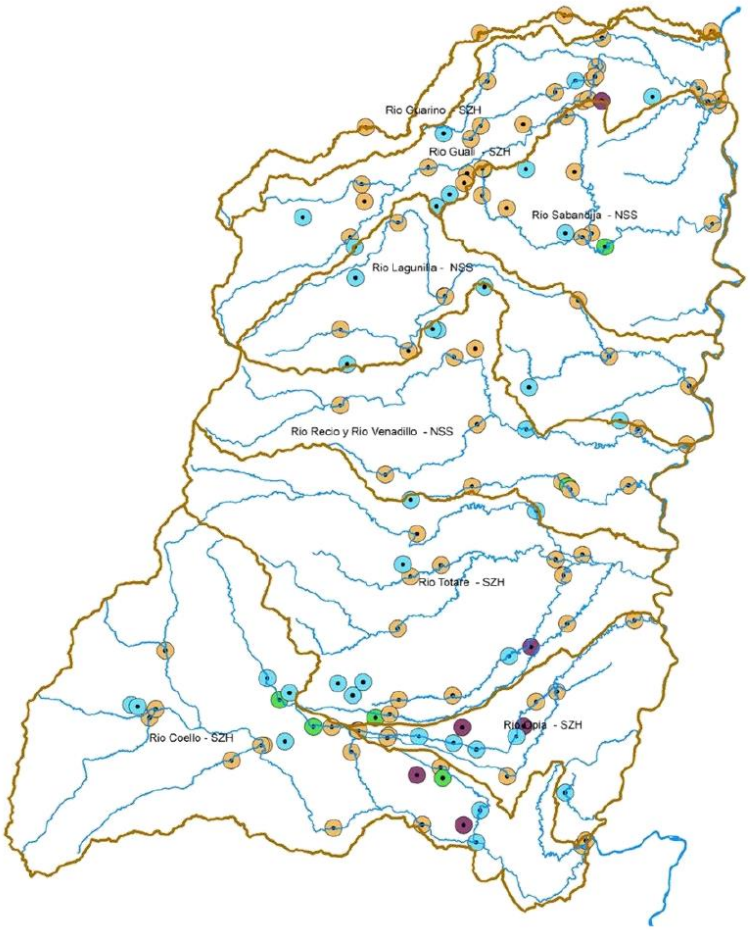


Figura 496. Ubicación puntos de monitoreo ERA.

29.2.1. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Coello

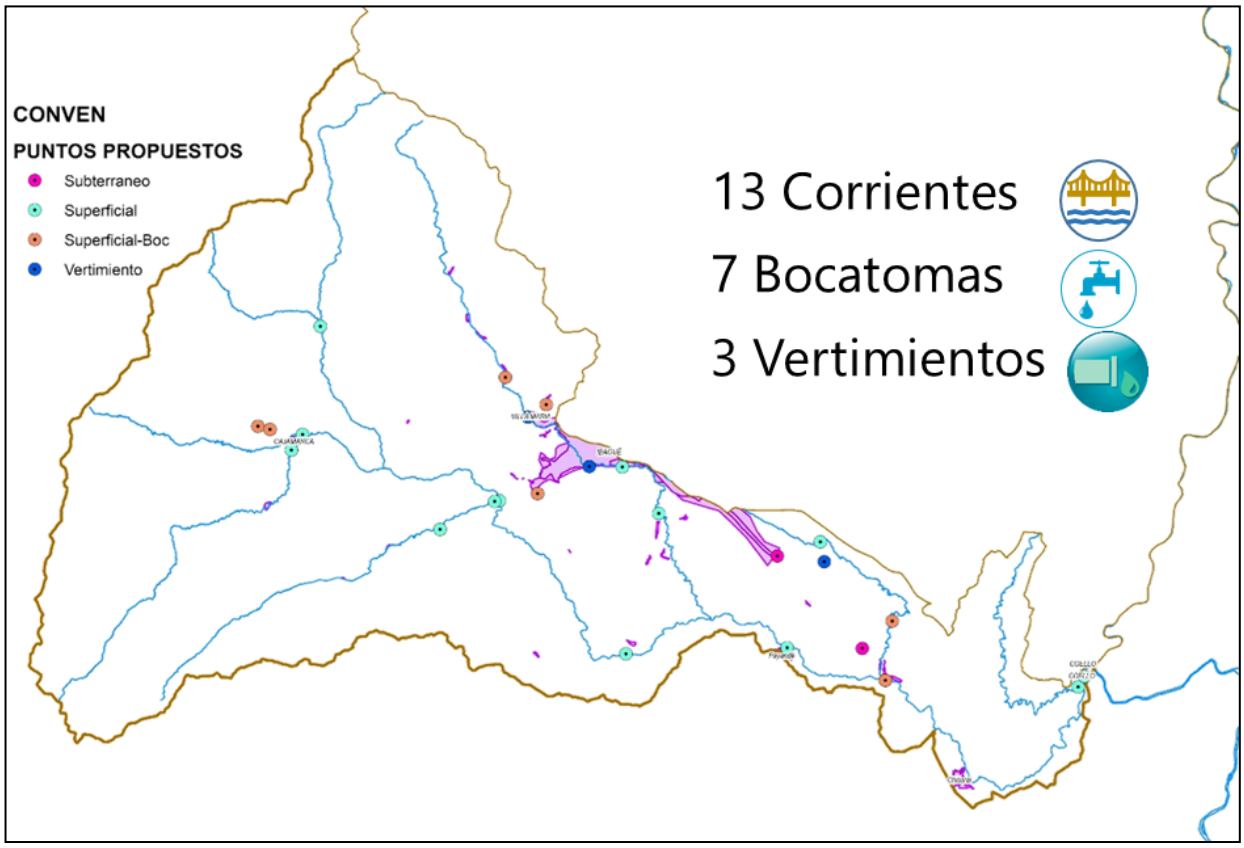
Para la ubicación de los 26 puntos de monitoreo definidos para la cuenca del río Coello, se tuvo en cuenta la ubicación de los puntos de monitoreo históricos relacionados y monitoreos realizados en el marco del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Coello. De igual forma, se consideró la presión ejercida sobre la calidad del agua de las corrientes hídricas que se encuentran en cercanías a la capital del departamento del Tolima, Ibagué. Como aspecto adicional, se incluyeron puntos que permitirán conocer las condiciones de calidad de agua de los ríos que abastecen a diferentes municipios y actividades económicas de

importancia para el departamento. En la Tabla 481 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 497 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 481. Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Coello.

Identificador Estación	Nombre estación	lat	long
Coe01	Río Toche	4.517639	-75.40885
Coe02	Río Bermellón	4.444978	-75.52164
Coe03	Quebrada Chorros	4.450583	-75.45125
Coe04	Quebrada el Rincón	4.447231	-75.44318
Coe05	Río Bermellón Zona media	4.445317	-75.42126
Coe06	Río Anaime	4.436528	-75.42809
Coe07	Río Bermellón Zona baja	4.420194	-75.37552
Coe08	Río Coello	4.406786	-75.29125
Coe09	Río Cocara	4.397150	-75.30071
Coe10	Carmen de Bulira	4.297944	-75.20464
Coe11	Río Combeima	4.485650	-75.28533
Coe12	Quebrada Cay	4.467089	-75.25781
CoeVert01	Caja de inspección vertimiento Laguna	4.457503	-75.27109
Coe13	Acua Boqueron	4.405356	-75.26339
CoeVert02	Salida PTAR el Tejar	4.423944	-75.22931
Coe14	Hidrotolima	4.424197	-75.20801
Coe15	Río Combeima	4.392142	-75.18307
Coe16	Río Coello	4.301706	-75.09038
CoeVert03	Relleno sanitario la miel	4.359111	-75.07186
Coe17	Quebrada Gualanday	4.359144	-75.05289
Coe18	Quebrada Gualanday	4.320908	-75.02624
Coe19	Río Coello	4.279731	-75.02666
Coe20	Quebrada Chaguala	4.275708	-74.90157
Coe21	Río Coello	4.283139	-74.89744
Coe22	Acua Ricaurte	4.412639	-75.26089
Coe23	Desembocadura Río Coello	4.323356	-75.14873

Figura 497. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Coello.



29.2.2. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Opia

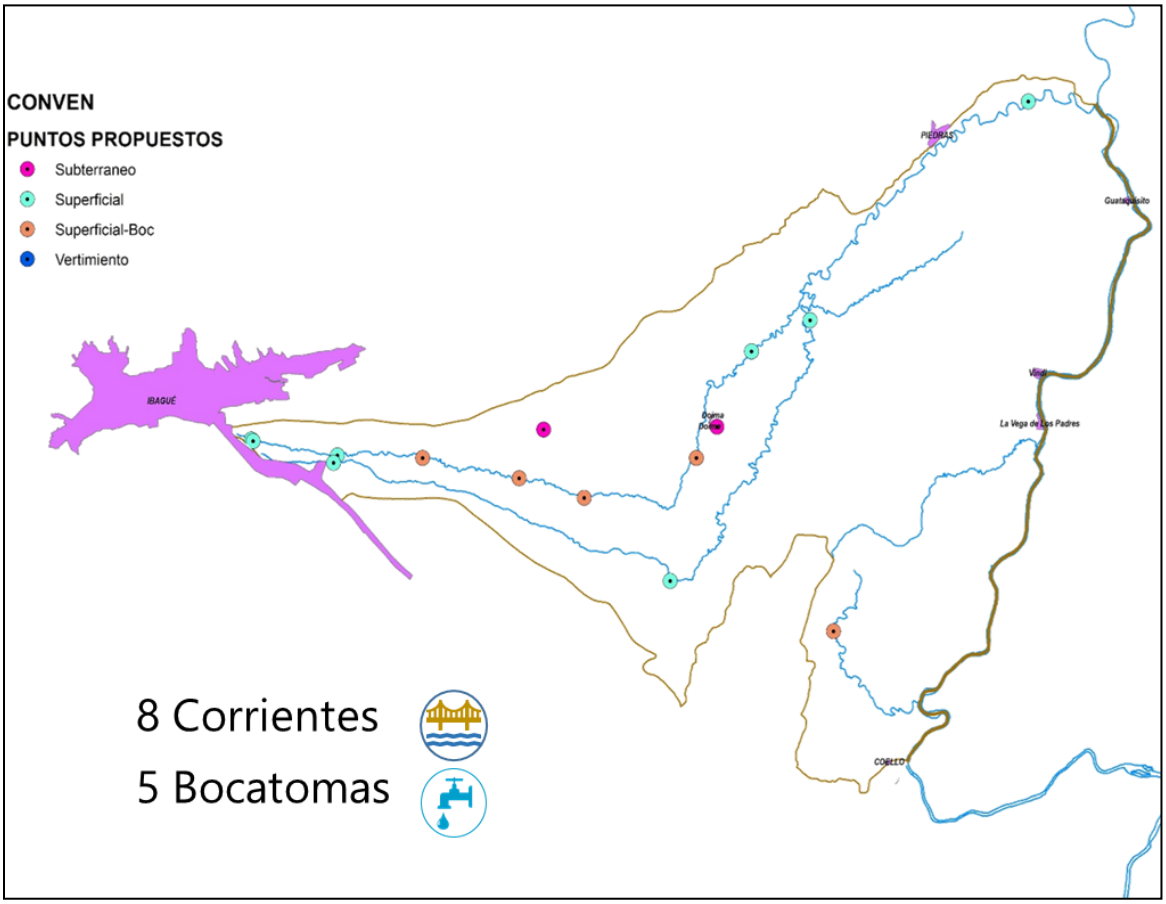
Para la ubicación de los 12 puntos de monitoreo de la cuenca del río Opia, se tuvo en cuenta la presión desarrollada sobre la calidad del agua de las corrientes hídricas que se encuentran en cercanías a la zona poblada de Ibagué. De igual forma, es necesario reconocer las condiciones de calidad de agua de las corrientes que son objeto de transvases, captación y el aprovechamiento de actividades agrícolas de importancia. En la Tabla 482 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 498 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 482 Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Opia.

Identificador Estación	nombre estación	lat	long
Opia01	Río Opia	4.41934	-75.17478
Opia02	Canal Laserna	4.41900	-75.17378
Opia03	Río Opia	4.41344	-75.13187

Opia04	Opia	4.39590	-75.03066
Opia05	Quebrada La Opia	4.41216	-74.98183
Opia06	Río Opía	4.44077	-74.97271
Opía07	Río Opía	4.45528	-74.95820
Opia08	Quebrada Doima	4.41018	-75.13907
Opia09	Quebrada Doima	4.36241	-74.99329
Opia10	Quebrada Doima	4.46881	-74.93318
Opía11	Río Opía	4.55552	-74.83893
Opia12	Quebrada la Lucha	4.34195	-74.92234

Figura 498 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Opia.



29.2.3. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Totare

Para la ubicación de los 18 puntos de monitoreo de la cuenca del río Totare, se relacionaron los monitoreos históricos y los monitoreos realizados en el marco del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Totare. De igual forma, fue importante reconocer la presión desarrollada sobre la calidad del agua de las

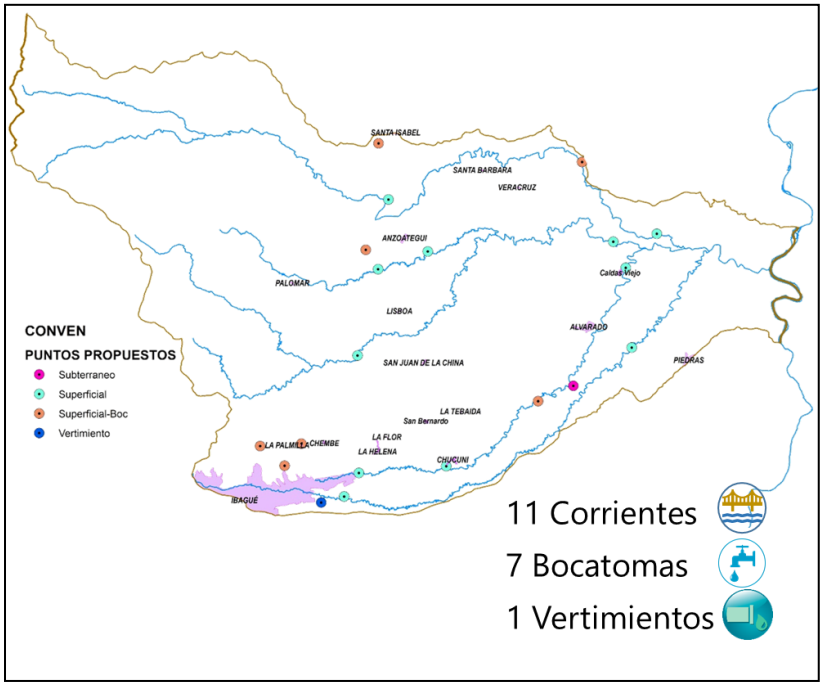
corrientes que se encuentran en cercanías a las diferentes zonas pobladas de la cuenca y la capital del departamento del Tolima, Ibagué.

Como aspecto adicional, se incluyeron puntos que permitirán conocer las condiciones de calidad de agua de los drenajes que abastecen a diferentes centros poblados y abastecen diferentes actividades económicas de importancia. En la Tabla 483 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 499 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 483 Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Totare.

Identificador Estación	Nombre Estación	Lat	Long
Totare01	Río Totare	4.6611	-75.1036
Totare02	Bocatoma la Pradera	4.6220	-75.1279
Totare03	Bocatoma Quebrada Agua Bonita	4.7061	-75.1112
Totare04	Bocatoma Canal Municipal	4.6921	-74.9582
Totare05	Río Alvarado	4.4573	-75.1248
Totare06	Quebrada Chembe	4.4806	-75.1712
Totare07	Río Alvarado	4.5171	-74.9844
Totare08	Río Alvarado	4.6085	-74.9261
Totare09	Río La China	4.5461	-75.1265
Totare10	Río Frio	4.6105	-75.1129
Totare11	Río Frio	4.6243	-75.0738
Totare12	Río La China	4.6325	-74.9346
Totare13	Río Chipalo	4.4391	-75.1369
Totare14	Bocatoma Acuambalá	4.4798	-75.1967
Totare15	Bocatoma barrio la Gaviota	4.4633	-75.1819
Totare16	Río Chipalo	4.5522	-74.9206
Torate17	Rio Totare	4.6500	-74.9349
Totare18	Río Totare	4.6100	-74.8250

Figura 499 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Totare.



29.2.4. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca de los ríos Recio- Venadillo

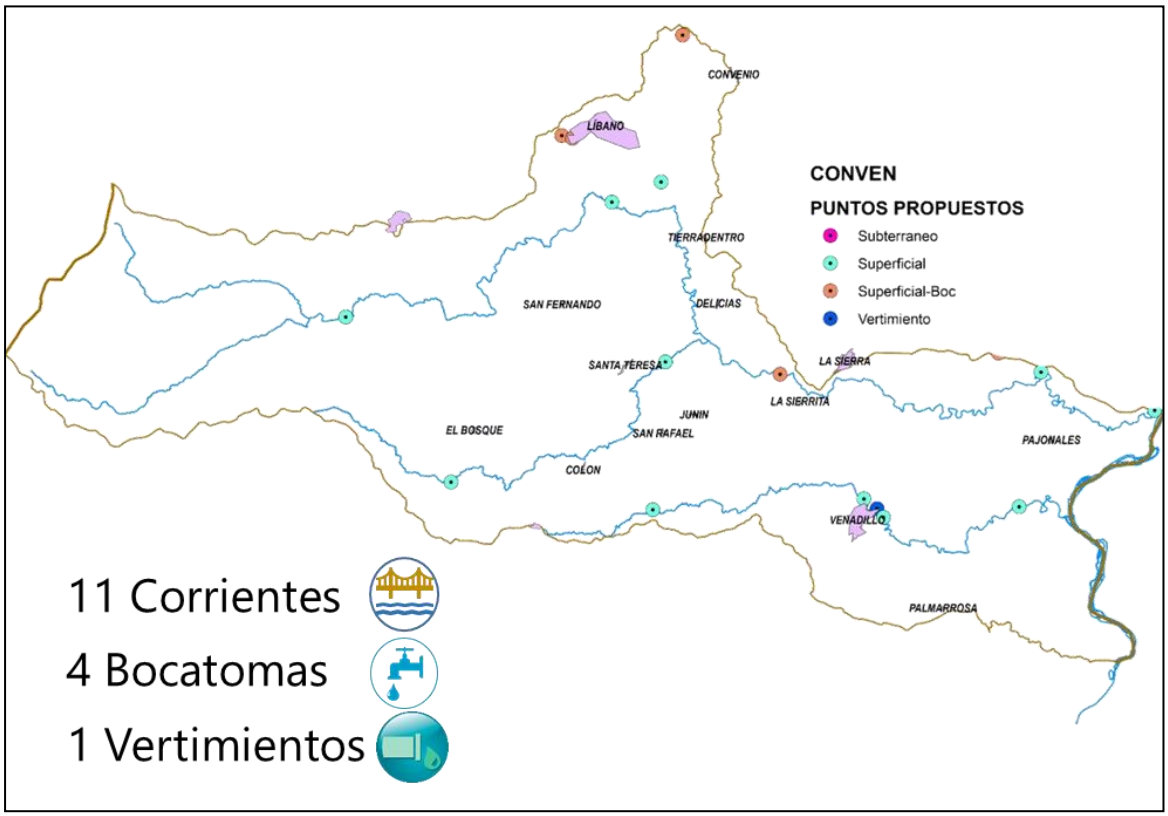
Para la ubicación de los 17 puntos de monitoreo de la cuenca de los ríos Recio y río Venadillo, se buscó dar continuidad a la ubicación de los puntos de monitoreo históricos relacionados y los monitoreos que se realizaron en el marco del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca de estas corrientes. De igual forma, fue importante reconocer la presión desarrollada por vertimientos a las corrientes hídricas que se encuentran en la cuenca, como los municipios de Líbano y Venadillo. De manera adicional, se incluyeron puntos que permitirán conocer las condiciones de calidad de agua de los drenajes que abastecen a diferentes municipios. En la Tabla 484 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 500 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 484 Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca de los ríos Recio y Venadillo.

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Recio01	Río Recio	4.8229	-75.1976
Recio02	Río Recio	4.8838	-75.0585
Recio03	Quebrada Santa Rosa	4.9170	-75.0794
Recio05	Quebrada Santa Rosa	4.8947	-75.0332
Recio06	Quebrada La Honda	4.9707	-75.0217
Recio07	Río La Yuca	4.7372	-75.1416

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Recio08	Bocatoma las Aguitas Quebrada las Animas	4.7153	-75.1068
Recio09	Quebrada las Animas	4.7361	-75.0759
Recio10	Río La Yuca	4.7998	-75.0313
Recio11	Río Recio	4.7954	-74.9718
Recio12	Rio Recio	4.7653	-74.7966
Vena01	Río Venadillo	4.7227	-75.0365
Vena02	Río Venadillo	4.7286	-74.9260
VenaVert01	Lagunas de Oxidación Venadillo	4.7234	-74.9199
Vena03	Río Venadillo después de PTAR	4.7189	-74.9166
Vena04	Río Venadillo	4.7247	-74.8454
Vena05	Río El Palmar	4.7364	-74.9369

Figura 500. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca de los ríos Recio y Venadillo.



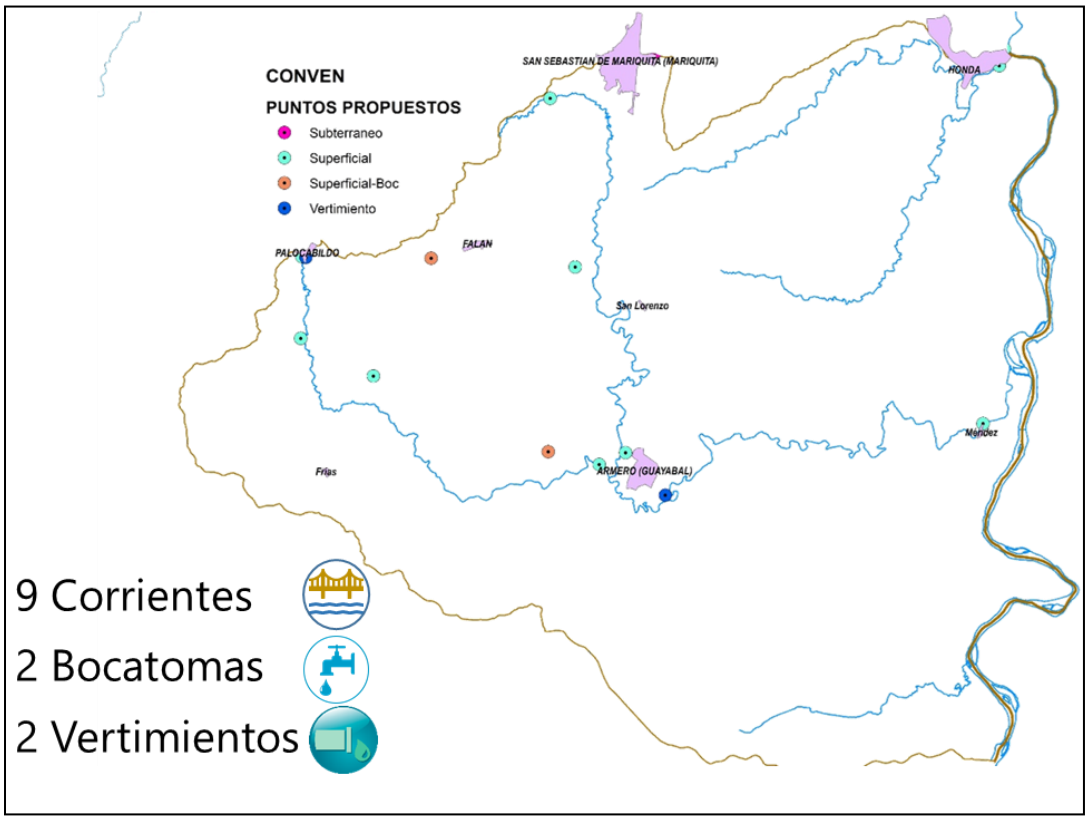
29.2.5. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Sabandija

Para la ubicación de los 14 puntos de monitoreo de la cuenca del río Sabandija, se tuvo en cuenta la ubicación de los puntos de monitoreo históricos que se han realizado en la cuenca alta y la presión desarrollada sobre la calidad del agua de las corrientes hídricas que se encuentran en cercanías a los municipios de importancia como son Mariquita, Honda y Guayabal. Como aspecto adicional, se incluyeron puntos que permitirán conocer las condiciones de calidad de agua en drenajes que abastecen a diferentes centros poblados. En la Tabla 485 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 501 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 485 Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Sabandija.

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Saban01	Río Sanadija	5.08506	-75.02502
SabanVert01	Vertimiento Palocabildo	5.11858	-75.02285
Saban02	Quebrada el Rompe	5.11889	-75.02433
Saban03	Quebrada el Rompe	5.07035	-74.99658
Saban04	Río Sabandija	5.02877	-74.89823
Saban05	Quebrada Jiménez	5.03848	-74.92324
Saban06	Río Cuamo	5.18434	-74.92253
Saban07	Río Cuamo	5.02832	-74.89723
Saban08	Bocatoma Falan	5.11837	-74.97124
Saban09	Quebrada Morales	5.12891	-74.91248
Saban10	Río Sanadija	5.04828	-74.75183
Saban11	Quebrada Seca	5.19930	-74.73603
SabanVert02	Vertimiento Armero Guayabal	5.02078	-74.87492
Saban12	Innominada 1	4.99878	-74.91917

Figura 501 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Sabandija.



29.2.6. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la cuenca del río Lagunilla

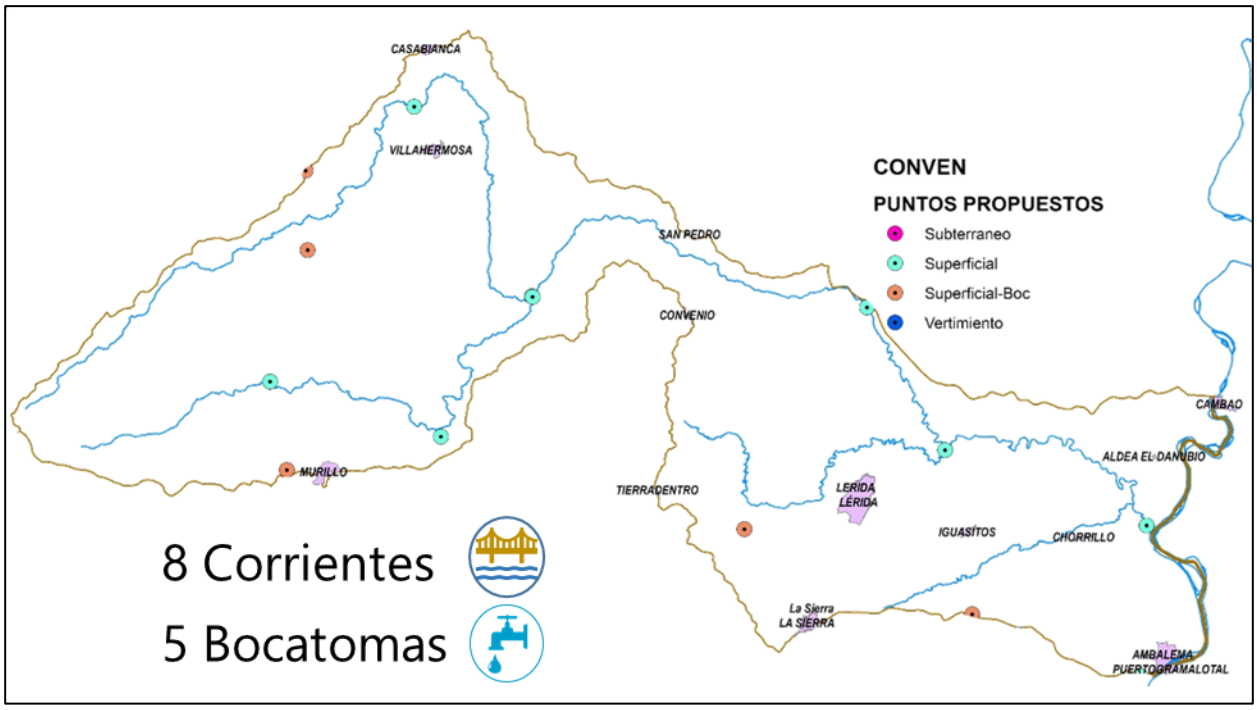
Para la ubicación de los 14 puntos de monitoreo de la cuenca del río Lagunilla, se tuvo en cuenta las zonas de desembocadura de las corrientes hídricas que reciben el agua residual domestica de centros poblados de municipios como Lérida, La Sierra, Murillo y Villahermosa. De igual forma, es necesario reconocer las condiciones de calidad de agua de las corrientes que son objeto de transvases, captación y el aprovechamiento de actividades agrícolas de importancia. En la Tabla 486 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 502 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 486 Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Lagunilla.

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Lagu01	Ria lagunilla	4.8911	-75.2615
Lagu02	Ria Vallecito	4.8743	-75.1893
Lagu03	Río Vallecito	4.88326	-75.12630
Lagu04	Río Azufrado	5.0515	-75.1262

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Lagu05	Quebrada la Española	5.0203	-75.1799
Lagu06	Quebrada la Bonita	5.0232	-75.1337
Lagu07	Río Lagunilla	4.9401	-75.0900
Lagu08	Río Lagunilla	4.9564	-74.9092
Lagu09	Quebrada Agua Fría	4.8461	-74.9672
Lagu10	Río Bledo	4.8888	-74.8916
Lagu11	Quebrada La Joya	4.8454	-74.8089
Lagu 12	Rio Lagunilla	4.8480	-74.7720
Lagu13	Canal Boquerón	4.8047	-74.8567
LaguVert01	Vertimiento mina gran Porvenir	4.9796	-75.0363

Figura 502. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Lagunilla.



29.2.7. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Gualí

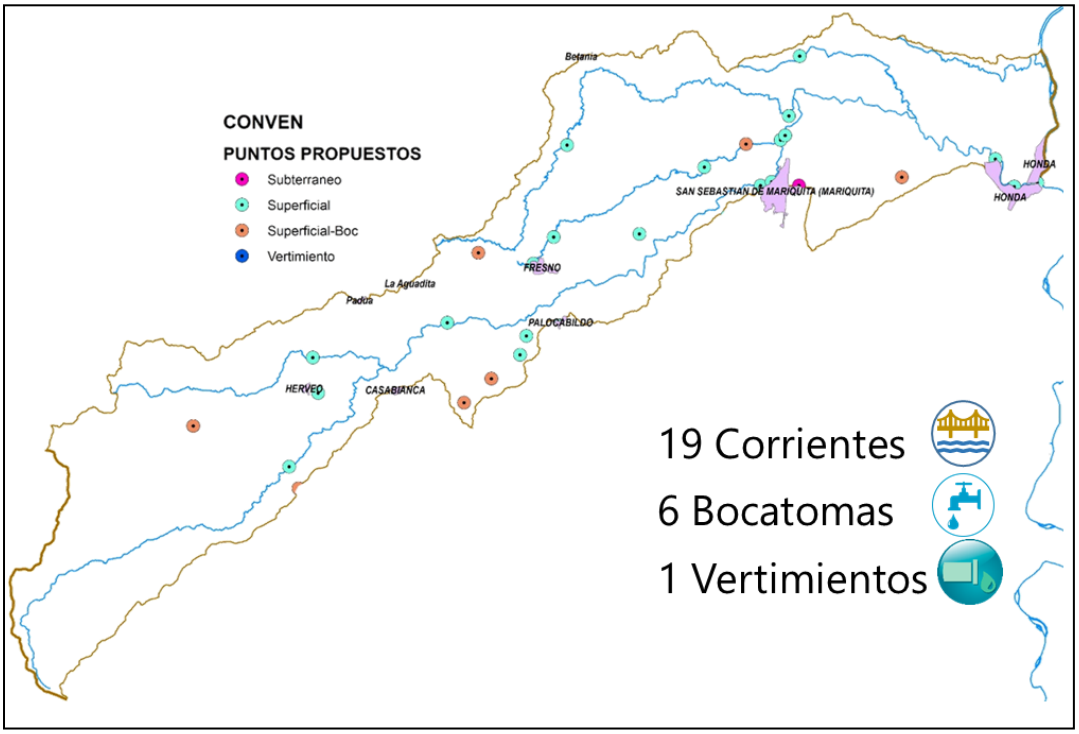
Para la ubicación de los 24 puntos de monitoreo de la cuenca del río Gualí, se tuvo en cuenta la ubicación de los puntos de monitoreo históricos y los monitoreos realizados en el marco del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del río Gualí. De igual forma fue importante reconocer la presión desarrollada sobre la calidad del agua de las corrientes hídricas que se encuentran en cercanías a los

municipios de Palocabildo, Mariquita, Honda y Fresno. Adicionalmente, se ubicaron puntos que permitirán conocer las condiciones de calidad de agua de los ríos que abastecen a diferentes municipios y centros poblados. En la Tabla 487 se presentan los puntos definidos para esta cuenca y en la Figura 503 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 487. Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Gualí.

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Guali01	Herveo	5.03297	-75.18476
Guali02	Quebrada Peñoles	5.05774	-75.24580
Guali03	Quebrada La Ciega	5.07786	-75.16817
Guali04	Río Guali 04	5.12028	-75.09061
Guali05	Río Aguacatales	5.07778	-75.20719
Guali06	Quebrada Agua de Dios	5.07194	-75.08078
Guali07	Quebrada El Guarumo	5.12122	-75.12414
Guali08	Quebrada El Brillante	5.08703	-75.06407
Guali09	Quebrada San José - Guali	5.11257	-75.04324
Guali10	Quebrada Nicua	5.16845	-74.98235
Guali11	Aguas arriba Mariquita	5.20311	-74.90219
GualiVert01	Caja de inspección vertimiento final Mariquita	5.20542	-74.89556
Guali12	Río Sucio	4.31984	-75.03871
Guali13	Río Sucio	5.17200	-75.02670
Guali14	Río Sucio	5.21398	-74.93622
Guali15	Bocatoma Mariquita	5.22714	-74.90962
Guali16	Aguas Abajo Río sucio	5.23764	-74.88733
Guali17	Quebrada Alegrías	5.16241	-75.06878
Guali18	Río Medina	5.32853	-74.88542
Guali19	Río Gualí 19	5.22039	-74.76083
Guali20	Quebrada Chimina	5.28125	-74.87868
Guali21	Quebrada Padilla	5.20744	-74.81750
Guali22	Rio Guali	5.20447	-74.73771
Guali23	Quebrada la Planta	5.12449	-75.14448
GualiSub01	Pozo Profundo Criadero	5.21249	-74.88078

Figura 503. Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Gualí.



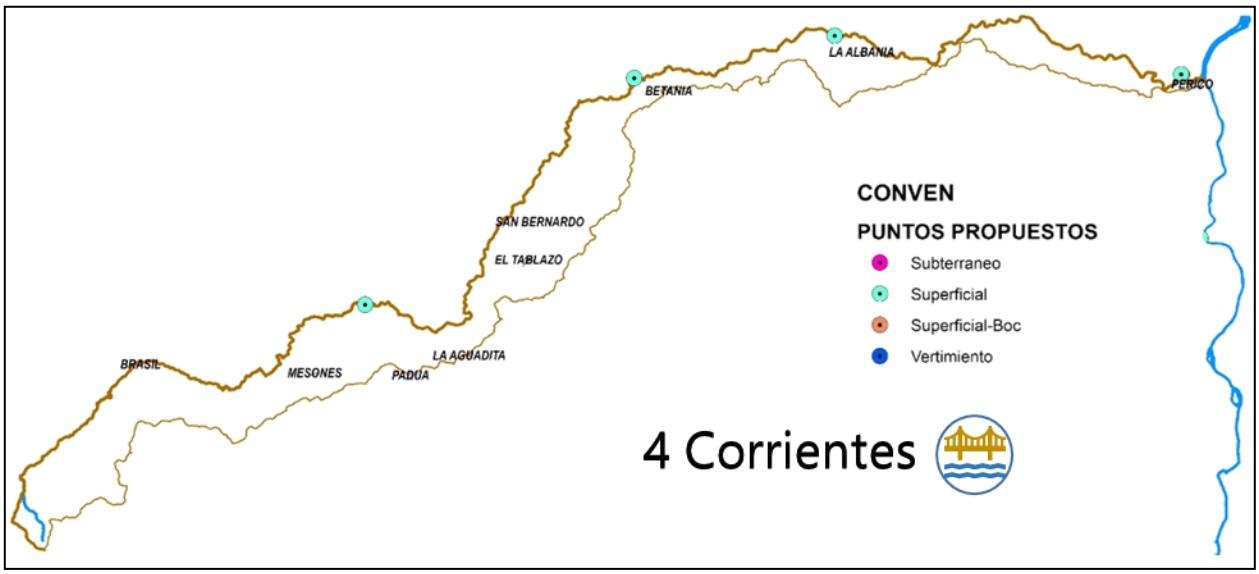
29.2.8. Definición de la red de Monitoreo de Calidad del agua Superficial para la Cuenca del río Guarinó

Debido a que el drenaje principal del río Guarinó se convierte en el límite de la jurisdicción de la corporación, se buscó establecer 6 puntos de monitoreo sobre esta corriente, dado que la mayor cantidad de drenajes aportantes se ubican en el área de la corporación autónoma regional de Caldas – CORPOCALDAS. En la Tabla 488 se presentan los puntos definidos sobre la corriente del río Guarinó y en la Figura 504 se presenta la distribución espacial de los puntos de monitoreo.

Tabla 488 Puntos de Monitoreo definido para la Cuenca del río Guarinó.

Identificador Estación	Nombre Estación	lat	long
Guarino01	Quebrada Guayacanal	5.15383	-75.13233
Guarino02	Río Guarino	5.18284	-75.11031
Guarino03	Centro poblado el Tablazo	5.20009	-75.08542
Guarino04	Río Guarinó	5.29631	-74.87620
Guarino05	Río Guarino	5.30739	-74.86025
Guarino06	Pomca	5.28961	-74.74552

Figura 504 Ubicación puntos de monitoreo sobre la cuenca del río Guarinó.



29.2.9. Definición de los determinantes de calidad del agua a medir

En los lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA, se presentan diferentes enfoques para la clasificación de los determinantes de calidad del agua. Para la presente ERA, se considerará una clasificación basada en su naturaleza, por ejemplo, materia orgánica, sólidos (y compuestos relacionados); microbiológicos; iones; metales y metaloides; hidrocarburos, grasas y aceites; pesticidas y otros parámetros básicos como la temperatura y tensoactivos.

29.2.9.1. Determinantes a medir en Aguas Superficiales

Los criterios que se consideraron para la definición de los parámetros a monitorear en las aguas superficiales se presentan en la Tabla 489. Se obtuvieron tres (3) listados de determinantes, incluyendo los necesarios para el cálculo del ICA, los definidos en el Decreto 1076 de 2015 para diferentes usos características del área de estudio y los definidos en los objetivos de calidad. A partir del cruce estos listados se definieron dos (2) Grupos, el primero denominado *"básico"*, que incluye lo necesario para el cálculo del ICA y para definir de forma general las condiciones actuales de calidad de los cuerpos de agua, considerando determinantes relacionados con la materia orgánica, sólidos, microbiológicos, nutrientes, pH, pesticidas, y algunos pocos iones, metales y metaloides. El segundo Grupo, denominado *"completo"*, incluye un mayor número de iones, metales y metaloides, así como hidrocarburos.

El Grupo 2 (Completo) de determinantes se medirá en los puntos ubicados sobre o cerca de bocatomas destinadas al consumo humano y doméstico, y en puntos de cierre de la cuenca, en los cuales se espera que se pueda medir el efecto acumulado de los diferentes tipos de aportes realizados desde la parte más alta de la cuenca, y también, en zonas con posible influencia de minería de oro. El Grupo 1 (básico) de determinantes se utilizará en la caracterización de los demás puntos de aguas superficiales.

Tabla 489. Fuentes de información para la definición de los determinantes de calidad del agua a monitorear

Fuente de Información	Observaciones	Número de Parámetros
Decreto 1076 de 2015.	En esta norma se establecen los criterios de calidad en función de los diferentes usos del agua definidos en el Artículo 2.2.3.3.2.1. De estos, se consideraron como los más representativos de la zona de estudio, uso para consumo humano con tratamiento convencional (Artículo 2.2.3.3.9.3), pecuario (2.2.3.3.9.6) y agrícola (Artículo 2.2.3.3.9.5).	38
Objetivos de Calidad	Definidos en las Resoluciones CORTOLIMA No. 600 de 2006, 601 de 2006 (modificada por la Resolución No 1137 de 2008) y 803 de 2006 (modificada por la Resolución No 1136 de 2008), para las cuencas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio y Venadillo, Lagunilla, Sabandija, y Gualí.	7
Índice de Calidad del Agua - ICA	Determinantes requeridos para el cálculo del Índice de Calidad del Agua – ICA de siete (7) variables	9

Tabla 490. Determinantes de calidad del agua a medir en aguas superficiales

Determinante	Aguas superficiales			Recomendado para Agua Superficial	
	ICA	Objetivos de calidad	Decreto 1076 2015 Usos Consumo humano con tratamiento, pecuario y agrícola	GRUPO 1 Básico	GRUPO 2 Completo
Materia orgánica					
DQO	·			·	·
DBO_5		·		·	·
Oxígeno Disuelto (In situ)	·	·		·	·
Sólidos					
Sólidos Disueltos Totales				·	·
Sólidos Suspendidos Totales	·	·		·	·
Color (UPC)			·	·	·
Turbidez			·		·
Microbiológicos					
Coliformes Fecales	·	·	·	·	·

Determinante	Aguas superficiales			Recomendado para Agua Superficial	
	ICA	Objetivos de calidad	Decreto 1076 2015 Usos Consumo humano con tratamiento, pecuario y agrícola	GRUPO 1 Básico	GRUPO 2 Completo
Coliformes Totales		·	·	·	·
pH y relacionados					
pH In situ	·		·	·	·
Otros Determinantes básicos					
Caudal				·	·
Temperatura muestra (In situ)	·			·	·
Conductividad (in situ)	·	·	·	·	·
Dureza Total				·	·
Surfactantes: Aniónicos como SAAM			·	·	·
Grasas, Hidrocarburos y compuestos Químicos Orgánicos					
Grasas y Aceites		·		·	·
Hidrocarburos					·
Fenoles			·		·
Compuestos de Nitrógeno y Fósforo					
Nitratos			·	·	·
Nitritos			·	·	·
Nitrógeno amoniacal				·	·
Nitrógeno Total	·			·	·
Amoniaco			·	·	·
Fósforo total	·			·	·
Metales y Metaloides					
Aluminio			·	·	·
Arsénico Total			·		·
Bario Total			·		·
Berilio			·		·
Boro			·	·	·
Cadmio Total			·		·
Cobalto			·		·
Cobre Total			·		·
Cromo Total			·		·
Hierro Total			·	·	·
Manganeso			·	·	·
Mercurio Total			·		·
Níquel Total			·		·
Plomo Total			·		·
Plata			·		·
Selenio Total			·		·

Determinante	Aguas superficiales			Recomendado para Agua Superficial	
	ICA	Objetivos de calidad	Decreto 1076 2015 Usos Consumo humano con tratamiento, pecuario y agrícola	GRUPO 1 Básico	GRUPO 2 Completo
Vanadio Total			·		·
Zinc Total			·		·
Pesticidas					
Pesticidas Organoclorados				·	·
Pesticidas Organofosforados				·	·
Iones					
Flúor			·		·
Cianuro Total			·		·
Cloruros				·	·
Sulfatos			·	·	·
Sulfuros					·
Relación Absorción de Sodio (RAS)			·		·
Porcentaje de sodio Posible (PSP)			·		·
Salinidad Efectiva			·		·
Salinidad Potencial			·		·
Carbonato de Sodio Residual			·		·
Radionucleídos			·		

29.2.9.2. Determinantes a medir en Aguas Residuales

Los criterios que se consideraron para la definición de los parámetros a monitorear en las aguas residuales se presentan en la Tabla 489, de forma que satisfagan dos (2) criterios, el primero, que los determinantes contemplen los requeridos para el cálculo del IACAL, y el segundo, que incluyan los requeridos en la Norma Nacional de Vertimientos (Resolución MADS No.0631 de 2015) para tres (3) tipos de agua:

- ARD o ARD y ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado.
- ARnD del Beneficio de Ganadería de Bovino, Bufalino, equino, ovino y/o Caprino.
- ARnD provenientes de Rellenos sanitarios.

Para las ARD y ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado, en el artículo 8 de la Resolución MADS 0631 de 2015 se ha establecidos cuatro (4) categorías, la primera corresponde a viviendas unifamiliares o bifamiliares, la segunda son las ARD; y las ARD y ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado con carga de DBO_5 en el agua sin tratamiento menores o iguales a

625,00 kg/día, la tercer categoría para cargas menores a 3,000 kg/día y la cuarta, para cargas mayores a 3,000 kg/día. Con el fin de facilitar la interpretación de estos rangos, fueron expresados como el número de habitantes equivalentes (Tabla 491), para lo cual, se utilizó un aporte per-cápita de carga de 50 g/habitante/día, recomendado en el Reglamento para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (2017).

Tabla 491. Relación entre la población y la carga de DBO_5

Variable	Unidades	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Aporte percápita	g/hab/día	50	50	50
Número de Habitantes	hab	12.500	60.000	>60.000
Carga total Aportada	kg/día	625,00	3.000,00	>3.000,00

La Resolución MADS No. 0631 de 2015 no define explícitamente la forma de cálculo para los casos en los cuales el municipio tiene su carga dividida en diferentes puntos de vertimientos. En el presente estudio, para la definición de la categoría, se considerará la carga total aportada para los vertimientos que se realicen en el mismo cuerpo de agua.

Tabla 492 Determinantes de calidad del agua a medir en aguas residuales

Determinante	Recomendado Aguas Residuales					
	IACAL	Resolución MADS 0631 de 2015. ARD. CASO 1	Resolución MADS 0631 de 2015. ARD. CASO 2	Resolución MADS 0631 de 2015. ARD. CASO 3	Resolución 631 ARnD Beneficio de Ganadería de Bovino, Bufalino, equino, ovino y/o Caprino	Resolución 631 ARD Relleno Sanitario
Materia orgánica						
DQO	·	·	·	·	·	·
DBO_5	·	·	·	·	·	·
Oxígeno Disuelto (In situ)		·*	·*	·*	·*	·*
Sólidos						
Sólidos Disueltos Totales		·*	·*	·*	·*	·*
Sólidos Suspendidos Totales	·	·	·	·	·	·
Sólidos sedimentables (In situ)		·	·	·	·	·
Color Real (medidas de absorbancia a 436 nm, 525 nm y 620 nm)			·	·	·	·
Microbiológicos						
Coliformes Termotolerantes		·	·	·	·	·
Coliformes Fecales		·*	·*	·*	·*	·*
Coliformes Totales		·*	·*	·*	·*	·*
pH y relacionados						
pH In situ		·	·	·	·	·

Alcalinidad total		.*	.	.	.	.
Acidez Total			.	.	.	.
Otros Parámetros básicos						
Caudal		.*	.*	.*	.*	.*
Temperatura muestra (In situ)		.*	.*	.*	.*	
Conductividad (in situ)		.*	.*	.*	.*	.*
Dureza Total			.	.	.	.
Dureza Cálcica			.	.	.	.
Surfactantes: Aniónicos como SAAM		.	.	.	.	.
Grasas, Hidrocarburos y compuestos Químicos Orgánicos						
Grasas y Aceites		.	.	.	.	.
Hidrocarburos		.	.	.		.
HAP						.
BTEX						.
Fenoles				.		.
Nutrientes						
Nitratos		.	.	.	.	.
Nitritos		.	.	.	.	.
Nitrógeno amoniacal		.	.	.	.	.
NITROGENO TOTAL	.	.	.	.	.	.
Fósforo total	.	.	.	.	.	.
Metales y Metaloides						
Aluminio			.	.		.
Arsénico Total						.
Bario Total						.
Berilio						.
Boro						.
Cadmio Total			.	.		.
Cobalto						.
Cobre Total			.	.		.
Cromo Total			.	.		.
Estaño						.
Hierro Total			.	.		
Manganeso						.
Mercurio Total			.	.		.
Molidbeno						.
Níquel Total			.	.		
Plomo Total			.	.		.
Plata				.		
Selenio Total						.
Vanadio Total						.
Zinc Total			.	.		.

Iones						
Cianuro Total			·	·		·
Cloruros			·	·		·
Sulfatos			·	·		·
Sulfuros			·	·		·

29.3. Metodología para la estimación del índice de Calidad del Agua -ICA

Las condiciones de calidad del agua dependen de diferentes características hidromorfológicas, fisicoquímicas, biológicas y ecológicas, así como por el desarrollo de las actividades humanas que generan aguas residuales.

El índice de calidad del agua (ICA) es un indicativo de las condiciones de calidad física, química y biológica de los cuerpos de agua. Este permite identificar problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables representativas (IDEAM, 2010).

El ICA es el valor numérico que califica en una (1) de cinco (5) categorías la calidad del agua de un cuerpo de agua, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco (5) a siete (7) variables, registradas en una estación de monitoreo *j* en el tiempo *t* (IDEAM, 2013). En tal sentido, el ICA es una expresión agregada y simplificada, sumatoria aritmética equiponderada de varias variables.

Para el ENA 2010, el IDEAM utilizó cinco (5) variables representativas de los principales tipos de contaminación: para materia orgánica, DQO; material en suspensión, sólidos suspendidos totales, SST; y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, PSOD; para mineralización, conductividad eléctrica del agua; y para acidez o alcalinidad, el pH del agua (IDEAM, 2010).

En el ENA 2014, el IDEAM añade una (1) variable más (N total/P total). En algunos casos, alguna de estas dos (2) variables que comprenden el subíndice N total / P Total, se encuentran por debajo del límite de detección, por lo que generalmente se suele usar este valor límite para determinar la relación. Sin embargo, la concentración real se desconoce, por lo que en el rango que va desde 0 mg/L hasta el límite de detección, de esta forma, por lo cual podrían obtenerse diferentes clasificaciones para este subíndice a partir del mismo reporte. En el presente estudio se utilizará en dichos casos el límite de detección para el cálculo de la

relación, pero se aclara que esta limitante técnica puede llevar a interpretaciones equivocadas del subíndice de la relación nitrógeno/ fósforo.

En los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA (IDEAM, 2013), se recomienda que, para el nivel regional, se calcule el ICA con siete (7) variables, adicionando los coliformes fecales como indicadores de contaminación bacteriológica. También se recomienda usar las ecuaciones para el cálculo de los subíndices, presentadas en el ENA 2010. En este último documento se presentan las curvas funcionales para tres (3) (SST, pH y conductividad) de las siete (7) variables requeridas. En las Fichas Metodológicas disponibles en la página Web del IDEAM, se presentan las ecuaciones para seis (6) de las siete (7) variables, las cuales no incluyen el indicador de contaminación bacteriológica. Por lo tanto, en el presente estudio, se tomó como referencia para el cálculo del subíndice de coliformes fecales, el propuesto por Cude (2001).

De acuerdo con IDEAM (2010), la ponderación de las variables físicas, químicas y microbiológicas puede variar en función de la relevancia para análisis específicos de condiciones de calidad de Aguas y el número de variables consideradas. A escala regional se tendrán en cuenta siete (7) variables de acuerdo con IDEAM (2013), siendo los pesos de importancia los que se contemplan en la última columna de la Tabla 493.

Tabla 493. Pesos para las variables del ICA

VARIABLE	UNIDAD	Número de Variables		
		5	6	7
		PESO	PESO	PESO
Oxígeno disuelto - OD	% saturación	0,2	0,17	0,16
Sólidos Suspendidos Totales - SST	mg/L	0,2	0,17	0,14
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg/L	0,2	0,17	0,14
Conductividad eléctrica	µS/cm	0,2	0,17	0,14
pH	Unidades de pH	0,2	0,17	0,14
Relación N total/P total	(mg/L) /(mg/L)		0,15	0,14
Coliformes fecales	UFC/100 mL*			0,14

*Si bien en IDEAM (2013) se asignan como unidades de los coliformes fecales las UFC/100 ml, el subíndice de los coliformes fecales se expresa en NMP/100ml.

29.3.1.1. Construcción de las Curvas Funcionales

De acuerdo con IDEAM (2010), para los parámetros de calidad del agua seleccionados se construyen relaciones o curvas funcionales (ecuaciones), en las

que los niveles de calidad de 0 a 1 se representan en las ordenadas de cada gráfico y los distintos niveles (o intensidades) de cada variable en las abscisas, generando curvas representativas de la variación de la calidad del agua con respecto a la magnitud de cada contaminante.

La aplicación de las curvas funcionales o ecuaciones expresan el subíndice para cada parámetro, los cuales se utilizan para transformar las variables a una escala adimensional, ya que éstas se expresan en diferentes unidades (µS/cm, mg/L, porcentaje, unidades, etc.), para permitir su posterior agregación. A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia para cada una de las siete (7) variables involucradas en el cálculo del ICA a nivel regional.

- **Oxígeno disuelto (OD):**

El oxígeno gaseoso disuelto en el agua es vital para la existencia de la mayoría de biota acuática. La concentración de oxígeno disuelto (DO) es un indicador de la calidad ecológica del agua, y condiciona la presencia o ausencia de biota en el ecosistema acuático.

El nivel de saturación de oxígeno corresponde al nivel máximo esperado para ciertas condiciones de temperatura, salinidad y presión. Este nivel puede estimarse debido a que existe una relación entre la concentración en la atmósfera y en el cuerpo de agua (Ley de Henry).

El porcentaje de saturación, consiste en dividir la concentración en mg/L O_2, sobre el nivel de saturación de dicho cuerpo de agua, a la misma salinidad, y temperatura y presión del aire. Considerando que los cuerpos analizados son de agua dulce, se presentan las siguientes ecuaciones que permiten determinar el nivel de saturación de oxígeno, a partir de la temperatura del aire expresada en ˚C (USEPA, 1995) y con la presión, la cual, a su vez, está relacionada con la elevación sobre el nivel del mar.

Corrección por temperatura:

$$DO_{ST} = \frac{468}{31.57 + T}$$

Corrección por Presión:

$$DO_{SP} = O_s(1 - 0{,}1148 \times Elev)$$

Oxígeno de Saturación

$$\%SatOD = \frac{OD\ (medido)}{DOD_{STP}} \times 100$$

En donde:

DOST: Es el oxígeno de saturación corregido por Temperatura del aire

T: Es la temperatura del aire expresada en ˚C

DOSP: Es el oxígeno de saturación corregido por la presión parcial en el aire, o por la elevación.

Elev: Es la elevación expresada en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)

%SatOD: Porcentaje de saturación del oxígeno disuelto, relación entre el oxígeno disuelto medido y el nivel de saturación corregido por presión y temperatura.

Para calcular el Subíndice del porcentaje de saturación de oxígeno se aplica la siguiente ecuación:

$I_{\%sat\ OD}$ = 1- (1- 0,01 * % saturación de OD)

En los casos que el porcentaje de saturación de OD sea mayor a 100%, se utiliza la siguiente ecuación:

$I_{\%sat\ OD}$ = 1- (1- 0,01 * % saturación de OD - 1)

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua puede deberse a condiciones naturales propias de los procesos del ciclo de sedimentos o puede corresponder a la ocurrencia de alteraciones de dicho ciclo por procesos erosivos inducidos, extracción o disposición de materiales, vertimientos industriales, entre otros. Esta variable tiene una relación directa con la turbiedad. El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones (ENA, 2010):

I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 x SST mg/L)

Si SST <= 4,5, entonces I_{sst} = 1

Si SST >= 320, entonces I_{sst} = 0

- **Demanda química de oxígeno (DQO):**

Esta variable refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente acidas y alta temperatura, como la materia orgánica, ya sea biodegradable o no, y la materia inorgánica. El subíndice para DQO se estima siguiendo las siguientes expresiones:

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si 20 <*DQO* ≤25, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si 25 <*DQO* ≤40, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si 40 <*DQO* ≤80, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si DQO >80, entonces $I_{DQO} = 0,125$

- **Conductividad eléctrica (C.E.):**

Esta variable refleja la mineralización, presencia de sales, conjugando cationes y aniones disueltos. Incrementos en la misma pueden darse por vertimientos domésticos de grandes asentamientos humano, tratamiento químico de aguas, vertimientos de corredores industriales, empleo de fertilizantes en la actividad agrícola, influencia volcánica o por la composición natural del suelo (IDEAM, 2010). El subíndice para C.E. se estima siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$I_{C.E} = 1- 10^{(-3,26 + 1,34 \text{ Log } _{10} \text{ C.E})}$$

Si $I_{C.E} < 0$, entonces $I_{C.E} = 0$

- **Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)**

Esta variable refleja niveles de intervención antrópica que pueden estar degradando el ecosistema acuático, expresada como una forma de aplicar el concepto de saprobiedad. Es decir, la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica. Las fórmulas para calcular el subíndice de calidad para NT/PT son:

Si NT/PT >= 15, entonces $I_{N/P} = 0,80$

Si 10 < NT/PT < 15, entonces $I_{N/P} = 0,60$

Si 5 < NT/PT <= 10, entonces $I_{N/P} = 0,35$

Si NT/PT <= 5, entonces $I_{N/P} = 0,15$

- **pH**

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua. Valores extremos de acidez pueden afectar la biota acuática. El subíndice se puede estimar de acuerdo con la hoja metodológica del IDEAM de la siguiente forma:

Si pH < 4 entonces $I_{pH} = 0,10$

Si pH está entre 4 y 7 inclusive, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \text{ x e } ^{(pH*0,520025)}$

Si pH está entre 7,1 y 8,0 entonces $I_{pH} = 1$

Si pH está entre 8,1 y 11 entonces $I_{pH} = 1 \times e^{((pH-8) - 0,5187742)}$

Si pH es > a 11,1 $I_{pH} = 0,10$

- **Coliformes Fecales**

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en el suelo y seres vivos (aves silvestres y heces fecales de seres de sangre caliente). Su presencia puede ser un reflejo de aguas contaminadas por aguas residuales o presencia de desechos en descomposición. Generalmente, las coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos de fondo de los cuerpos de agua (Munn, 2004).

El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos Gramnegativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h a 35˚C ± 1ºC. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: Enterobacter, Escherichia, Citrobacter y Klebsiella. El grupo de coliformes fecales, está constituido por bacterias Gramnegativas capaces de fermentar la lactosa con producción de gas a las 48 h de incubación a 44,5 ± 0,1˚C. Este grupo no incluye una especie determinada, sin embargo, la más prominente es Escherichia coli. El subíndice para las coliformes fecales es extraído de Cude (2001) como sigue:

Si CF < 50/100 mL entonces ICF = 0,98

Si 50/100 mL <= CF < 1600/100 mL entonces I CF = $0,98 \times e^{((CF-50) \times -9,917754E-4)}$

Si CF >= 1600/100 mL entonces ICF = 0,10

29.3.1.2. Determinación del ICA

Para calcular el ICA se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (I_i) de cada una de las variables. Estas agregaciones se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

Donde,

ICA_{njt} Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

W_i Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 7 a nivel regional

La solución de la anterior sumatoria es como sigue:

$$ICA_{njt} = (W_{i\ \%satOD} . I_{\%satOD}) + (W_{i\ SST} . I_{SST}) + (W_{i\ DQO} . I_{DQO}) + (W_{i\ C.E} . I_{C.E}) + (W_{i\ N/P} . I_{N/P}) + (W_{i\ pH} . I_{pH}) + (W_i I_{C.F} . I_{C.F})$$

29.3.1.3. Asignación d descriptores del ICA

De acuerdo con IDEAM (2010), el ICA define una clasificación descriptiva de la calidad del agua en cinco (5) categorías: buena, aceptable, regular, mala o muy mala (Tabla 494), las cuales se representan gráficamente o espacialmente en una escala de colores determinada.

Tabla 494. Descriptores de la calidad del agua a partir del ámbito numérico del ICA.

Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0 – 0,25	Rojo
Malo	0,26 – 0,50	Naranja
Regular	0,51 – 0,70	Amarillo
Aceptable	0,71 – 0,90	Verde
Bueno	0,91 – 1,00	Azul

Fuente IDEAM (2010)

29.4. Metodología para la estimación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua - IACAL

El Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL), corresponde al valor numérico que califica en una (1) de cinco (5) categorías, la razón existente entre la carga contaminante que se estima recibe una unidad hidrográfica anualmente y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma unidad estimada a partir de una serie de tiempo.

La fórmula general de cálculo del indicador es la siguiente:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^{n} catiacal_{ijt-añomed}}{n}$$

Donde:

$IACAL_{jt}$ Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t, evaluado para un escenario de oferta hídrica dado.

$catiacal_{ijt}$ Es la categoría de clasificación de la amenaza por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la estimación de la carga de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un escenario hidrológico dado.

n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

El cálculo de cada uno de los $iacal_{ijt}$, se realiza mediante la siguiente fórmula general:

$$iacal_{ijt} = \frac{C_{ijt}}{O}$$

Donde:

$iacal_{ijt}$ Son las estimaciones de las cargas de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t ponderado por la oferta hídrica estimada para un escenario hidrológico dado.

C_{ijt} Es la carga de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la subzona hidrográfica j durante el período de tiempo t.

O Es, respectivamente, la oferta hídrica estimada para un escenario hidrológico dado.

En la *Tabla 495* se registran los rangos de los valores del IACAL, la categoría de clasificación que se le asigna a cada uno de ellos, la calificación del nivel de presión al que corresponde y el color que la representa. Esta información presentada inicialmente en el Estudio Nacional del Agua - ENA 2010, fue actualizada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2020),

mediante la Hoja Metodológica Versión 1,1., la cual a su vez tomó como insumo el ENA 2018. Dentro de los cambios realizados se encuentra el ajuste de los valores límites que definen los rangos. Nótese que para los percentiles de SST se redondean los valores del rango a una (1) cifra decimal, para el fósforo tres (3) cifras, mientras que, para las demás variables, se redondea a dos (2) cifras decimales.

Tabla 495 Rangos de los Catiacales.

Categoría de presión	Descriptor de presión	Percentiles DBO	Percentiles DQO - DBO	Percentiles SST	Percentiles NT	Percentiles PT
		carga en toneladas año/ millones de metros cúbicos				
1	Baja	<0,14	<0,14	<0,4	<0,03	<0,005
2	Moderada	0,14 a 0,39	0,14 a 0,35	0,4 a 0,7	0,03 a 0,05	0,005 a 0,013
3	Media	0,40 a 1,20	0,36 a 1,16	0,8 a 1,8	0,06 a 0,13	0,014 a 0,035
4	Alta	1,21 a 4,85	1,17 a 6,77	1,9 a 7,6	0,14 a 0,55	0,036 a 0,134
5	Muy Alta	≥4,86	≥6,78	≥7,7	≥0,56	≥0,135

Fuente: ENA 2010 – IDEAM y actualizado con Ficha Metodológica IDEAM V 1.1

Las categorías de presión con los respectivos rangos que se asignarán a cada variable se muestran en la *Tabla 496*.

Tabla 496 Categorización IACAL.

Rangos	Categoría de clasificación	Calificación de la presión
1,0 a 1,5	1	Baja
1,6 a 2,5	2	Moderada
2,6 a 3,5	3	Media-Alta
3,6 a 4,4	4	Alta
4,5 a 5,0	5	Muy Alta

Fuente: ENA 2010 – IDEAM

30. Estado de la calidad del agua

30.1. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA

30.1.1. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Coello

En la Tabla 497 y Figura *505* se presentan los resultados del cálculo de ICA para los puntos de monitoreo que se ubicaron sobre la cuenca del río Coello con mediciones entre el 2021 y 2022. Teniendo en cuenta la distribución de los puntos, se puede apreciar que el río Coello y el río Bermellón cuentan con agua con una valoración

aceptable y *regular* en la cuenca alta y sufren una descripción *mala* con los diferentes aportes de agua residual del centro poblado del municipio de Cajamarca. Si bien las condiciones de calidad de agua del río Coello se recuperan previo al centro poblado Coello-Cocora, para contar con una descripción *regular*, aguas abajo y previo al centro poblado de Carmen de Bulira vuelve a contar con una condición *mala*.

Por otra parte, la evaluación del ICA indica una condición de calidad *regular* del río Combeima desde aguas arriba del centro poblado de Ibagué, en su paso por la ciudad y aguas abajo de la misma, incluso previo a su encuentro con el río Coello.

De manera que, el río Coello, mantiene una condición de agua *regular,* aguas abajo del río Combeima y se mantiene incluso con el aporte de la quebrada Gualanday. Esta última, muestra una variación de agua con indicador *malo* (cercano al centro poblado de La Miel) a *regular* en cercanía al centro poblado de Gualanday. Después del aporte de la quebrada Gualanday y el aporte de la quebrada Chaguala (con condición Regular), el río Coello entre su flujo al río Magdalena con una condición de agua Muy Malo, lo cual puede estar relacionado con las características de calidad de los vertimientos del casco urbano de municipio de Coello.

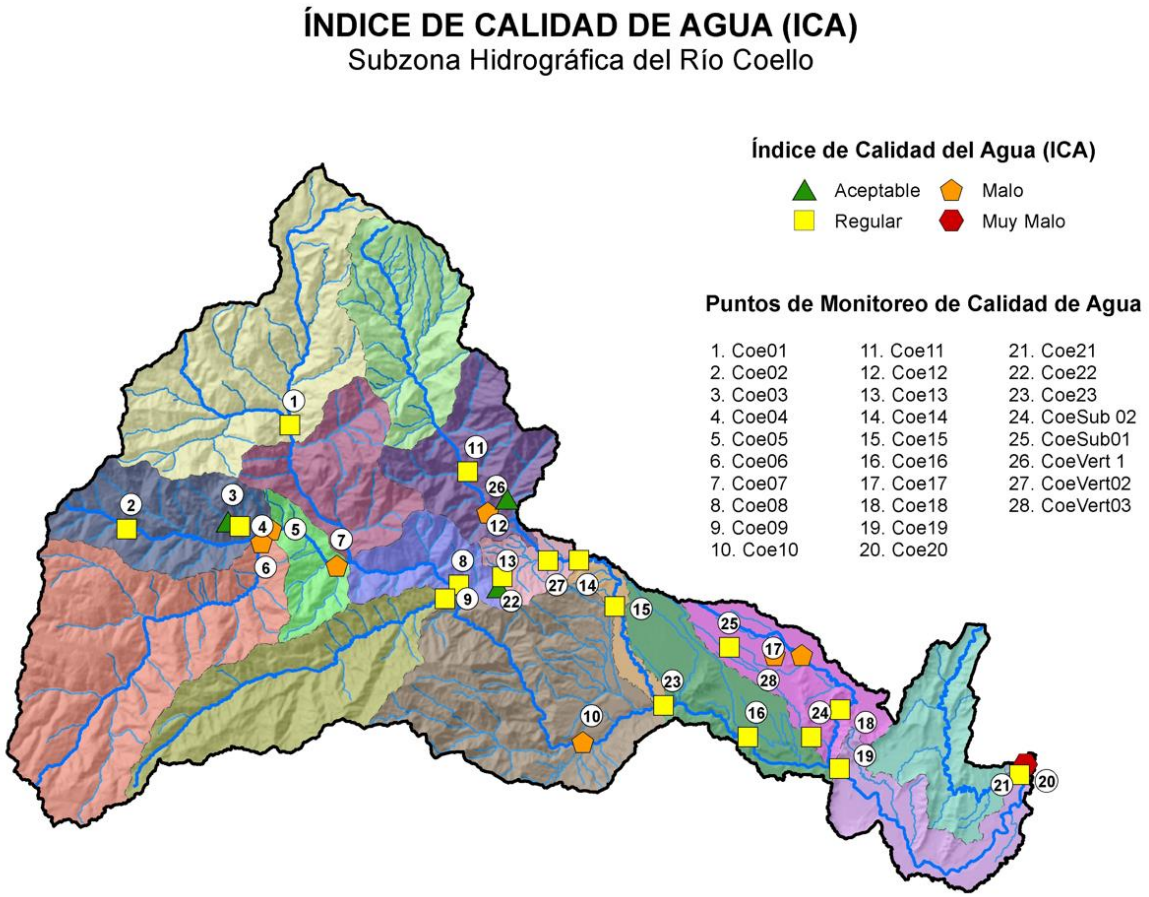
Al respecto, se puede concluir que el río Coello cuenta con una afectación en la calidad del agua con influencia importante por parte de los vertimientos de los centros poblados. Sin embargo, en la cuenca alta y media del río, los cambios de pendiente, hacen que se destaquen fenómenos que favorecen el mejoramiento de las corrientes aportantes y el cuerpo de agua principal.

Tabla 497. ICA Río Coello

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	Lat	Long	ICA
Coe01	Río Toche	23/11/2021	4.517639	-75.40885	0.569
Coe02	Río Bermellón	24/11/2021	4.444978	-75.52164	0.581
Coe03	Quebrada Chorros	23/11/2021	4.450583	-75.45125	0.772
Coe04	Quebrada el Rincón	23/11/2021	4.447231	-75.44318	0.575
Coe05	Río Bermellón Zona media	24/11/2021	4.445317	-75.42126	0.428
Coe06	Río Anaime	24/11/2021	4.436528	-75.42809	0.452
Coe07	Río Bermellón Zona baja	24/11/2021	4.420194	-75.37552	0.461
Coe08	Río Coello	19/01/2022	4.406786	-75.29125	0.551
Coe09	Río Cocara	19/01/2022	4.397150	-75.30071	0.615
Coe10	Carmen de Bulira	8/02/2022	4.297944	-75.20464	0.460
Coe11	Río Combeima	25/11/2021	4.485650	-75.28533	0.592
Coe12	Quebrada Cay	25/11/2021	4.467089	-75.25781	0.727

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	Lat	Long	ICA
CoeVert01	Caja de inspección vertimiento Laguna	7/02/2022	4.457503	-75.27109	0.307
Coe13	Acua Boquerón	19/01/2022	4.405356	-75.26339	0.764
CoeVert02	Salida PTAR el Tejar	2/07/2022	4.423944	-75.22931	0.516
Coe14	Hidrotolima	20/01/2022	4.424197	-75.20801	0.515
Coe15	Río Combeima	20/01/2022	4.392142	-75.18307	0.567
Coe16	Río Coello	21/01/2022	4.301706	-75.09038	0.694
CoeVert03	Relleno sanitario la miel	8/02/2022	4.359111	-75.07186	0.466
Coe17	Quebrada Gualanday	27/11/2021	4.359144	-75.05289	0.418
Coe18	Quebrada Gualanday	28/01/2022	4.320908	-75.02624	0.604
Coe19	Río Coello	28/01/2022	4.279731	-75.02666	0.625
Coe20	Quebrada Chaguala	28/01/2022	4.275708	-74.90157	0.561
Coe21	Río Coello	8/02/2022	4.283139	-74.89744	0.192
Coe22	Acua Ricaurte	19/01/2022	4.412639	-75.26089	0.606
Coe23	Desembocadura Río Coello	21/01/2022	4.323356	-75.14873	0.690

Figura 505. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA río Coello



30.1.2. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Opia

Debido a que el río Opia inicia en la zona urbana de la capital del departamento del Tolima, desde su nacimiento recibe aporte de agua residual urbana, que indican una calidad de agua *mala* y *regular*. Previo al caserío denominado como Doima, el río Opia mantiene condiciones de agua *regular* y *mala*. Los vertimientos del centro poblado generan que, sobre el cuerpo de agua, se obtenga una calificación *mala,* que previo a la entrada de la quebrada Doima, se transforma en *regular*. (ver Tabla 498 y Figura 506).

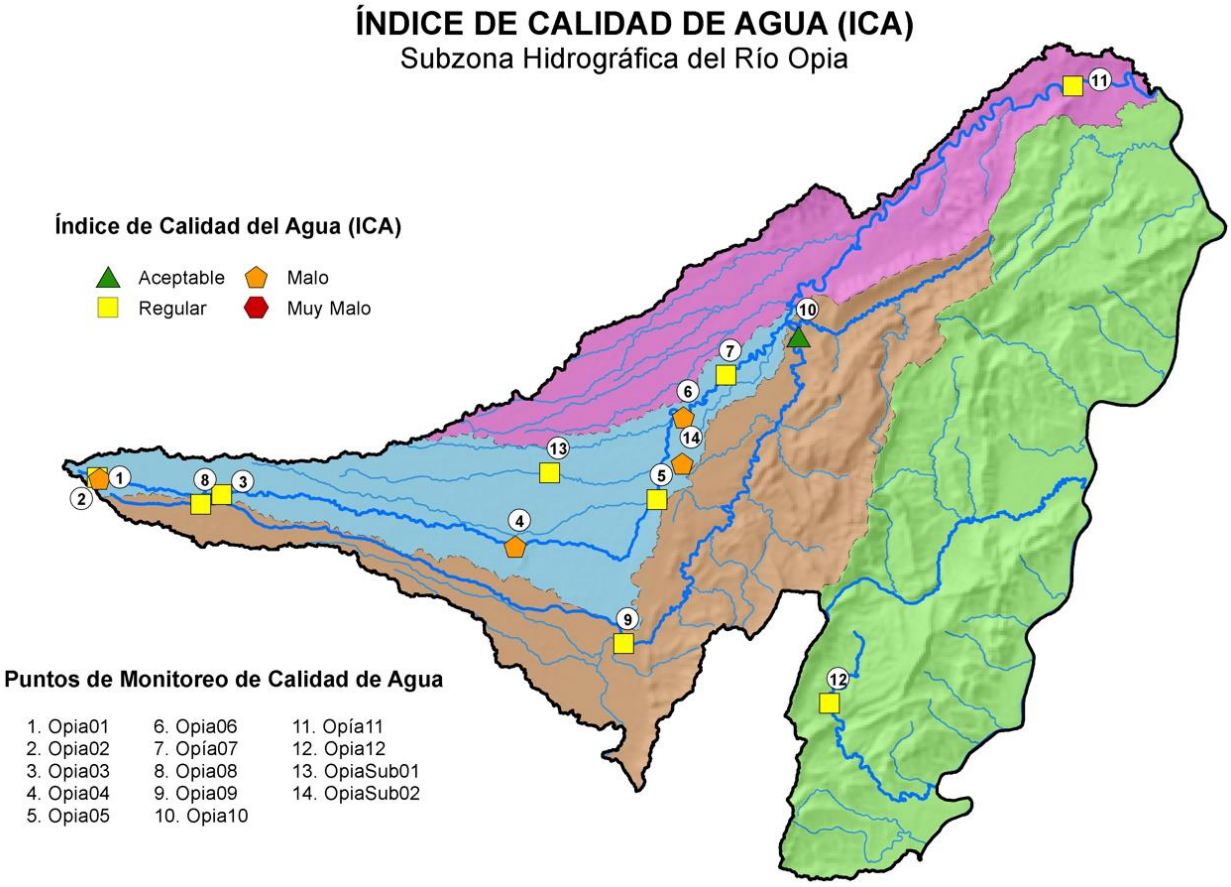
De igual forma, la quebrada Doima nace en el centro poblado de Ibagué, donde inicia su condición de calidad *regular* hasta el cierre de la cuenca alta. Previo a su encuentro con la quebrada Camao y antes de desembocar en el río Opia, presenta una condición de agua *aceptable*. Lo cual evidencia la recuperación de la quebrada Doima por la variación de pendientes en la zona media y baja de la cuenca.

Por último, luego de transitar en cercanías al centro poblado del municipio de Piedras y previo a su desembocadura al río Magdalena, el río Opia muestra una condición de calidad de agua *regular*. Al respecto, se evidencia que las actividades económicas de la zona generan una importante influencia en las condiciones de calidad de agua de la cuenca, afectando una posible recuperación natural de los aportes antrópicos.

Tabla 498. ICA Río Opia

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	Lat	Long	ICA
Opia01	Río Opia	19/01/2022	4.41934	-75.17478	0.561
Opia02	Canal Laserna	19/01/2022	4.41900	-75.17378	0.412
Opia03	Río Opia	25/11/2021	4.41344	-75.13187	0.518
Opia04	Opia	22/02/2022	4.39590	-75.03066	0.454
Opia05	Quebrada La Opia	22/01/2022	4.41216	-74.98183	0.612
Opia06	Río Opía	27/11/2021	4.44077	-74.97271	0.428
Opía07	Río Opía	26/11/2021	4.45528	-74.95820	0.682
Opia08	Quebrada Doima	25/11/2021	4.41018	-75.13907	0.519
Opia09	Quebrada Doima	22/01/2022	4.36241	-74.99329	0.651
Opia10	Quebrada Doima	22/01/2022	4.46881	-74.93318	0.764
Opía11	Río Opía	23/01/2022	4.55552	-74.83893	0.670
Opia12	Quebrada la Lucha	28/01/2022	4.34195	-74.92234	0.622

Figura 506. ICA río Opia



30.1.3. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Totare

Junto con la quebrada La Rica, el río Totare inicia con condiciones de calidad *aceptables*. Sin embargo, desde la cabecera del municipio de Anzoátegui y previo a su confluencia con el río Alvarado, el río Totare muestra una calidad *regular* y *mala*.

Por otra parte, el río Frio y el río La China previo a su ingreso a la jurisdicción del municipio de Alvarado, muestran calidad de agua *regular*. Mientras que el río La China, antes de unirse al río Alvarado muestra condiciones de agua en estado *malo*.

El río Alvarado que nace en la zona urbana de Ibagué y recibe aportantes como la quebrada Chembé, se ve influenciado en su cuenca alta por aportes puntuales o difusos que condicionan el uso del agua, pues se califica como *regular*. Siguiendo a la cuenca media y previo al centro poblado del municipio de Alvarado, el río del mismo nombre mantiene sus condiciones *regulares* de calidad de agua. Lo cual podría estar influenciado por el desarrollo de actividades de agrícolas, avícolas y

ganaderas en la zona. Sin embargo, previo a encontrarse con el río La China, el río Alvarado consigue una condición de agua *aceptable*.

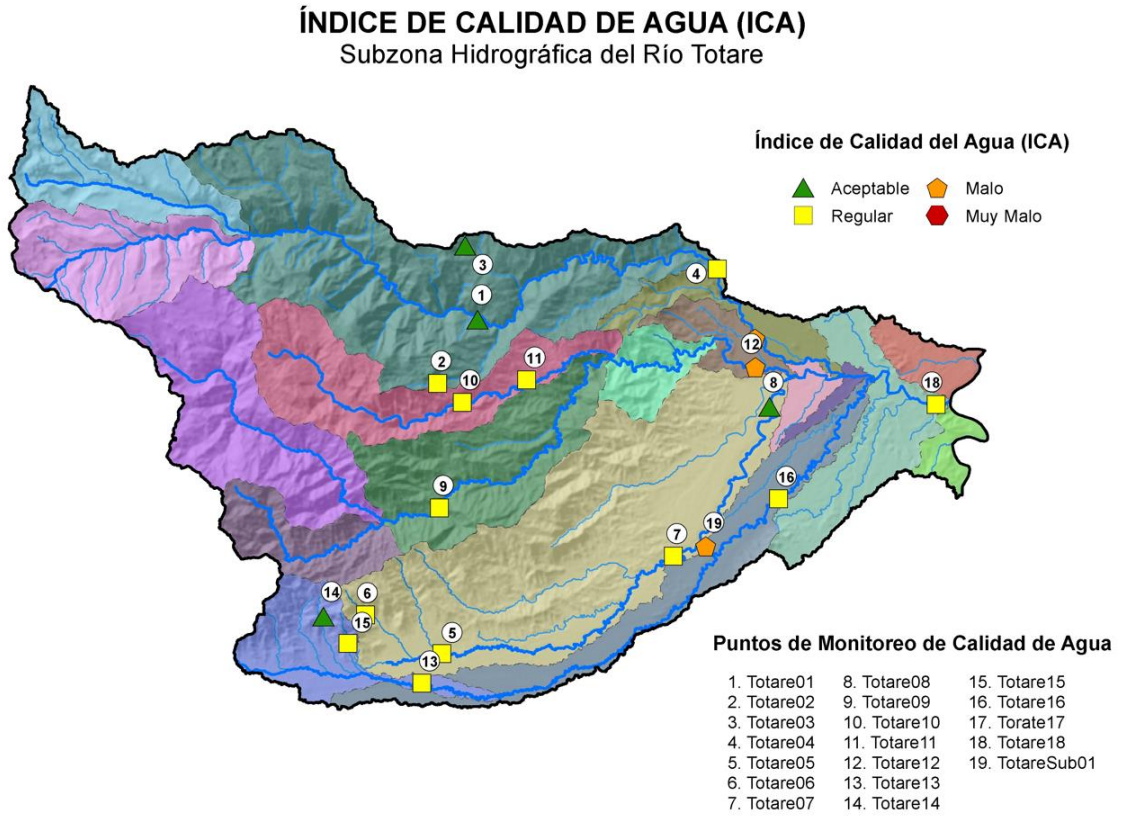
Otra corriente que nace en el casco urbano de Ibagué es el río Chipalo, que en la cuenca alta recibe el agua de la quebrada Las Panelas que se encuentran en una condición *aceptable* y recibe el agua de la quebrada La Tuza la cual muestra un índice *regular*. La cuenca media y baja del río Chipalo mantienen la condición de calidad de agua *regular*.

Finalmente, la unión del río Totare, el río La China, el río Alvarado y el río Chipalo llegan al río Magdalena con una condición *regular* (Tabla 499 y Figura *507*).

Tabla 499. ICA Río Totare

Nombre Estacion	Fecha de Muestreo	Lat	Long	ICA
Río Totare	21/01/2022	4.6611	-75.1036	0.709
Bocatoma la Pradera	26/01/2022	4.6220	-75.1279	0.646
Bocatoma Quebrada Agua Bonita	27/01/2022	4.7061	-75.1112	0.741
Bocatoma Canal Municipal	25/01/2022	4.6921	-74.9582	0.602
Río Alvarado	26/11/2021	4.4573	-75.1248	0.503
Quebrada Chembe	24/01/2022	4.4806	-75.1712	0.634
Río Alvarado	29/11/2021	4.5171	-74.9844	0.554
Río Alvarado	22/01/2022	4.6085	-74.9261	0.707
Río La China	26/11/2021	4.5461	-75.1265	0.608
Río Frio	26/11/2021	4.6105	-75.1129	0.647
Río Frio	26/11/2021	4.6243	-75.0738	0.618
Río La China	23/01/2022	4.6325	-74.9346	0.436
Río Chipalo	20/01/2022	4.4391	-75.1369	0.618
Bocatoma Acuambalá	20/01/2022	4.4798	-75.1967	0.705
Bocatoma barrio la Gaviota	21/01/2022	4.4633	-75.1819	0.680
Río Chipalo	22/01/2022	4.5522	-74.9206	0.604
Rio Totare	23/01/2022	4.6500	-74.9349	0.465
Río Totare	6/02/2022	4.6100	-74.8250	0.693

Figura 507. ICA río Totare



30.1.4. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Recio - Venadillo

Desde la unión del río Recio y el río Azul, en la cuenca alta, se aprecian condiciones de calidad *regular*, que se mantienen incluso previo a recibir las aguas de la corriente hídrica que recorre el casco urbano del municipio del Líbano. Donde, previo al centro poblado se aprecia que la quebrada Santa Rosa muestra condiciones de calidad aceptables, pero luego de transitar la zona poblada, la quebrada pasa a una condición *regular* antes de unirse al río Recio. De igual forma, esto ocurre con la quebrada La Honda, que muestra una condición regular en el punto de aprovechamiento del agua para consumo.

En otra zona de la cuenca del río Recio, el río Yuca muestra una condición de calidad de agua *regular* previo a la entrada de la quebrada La Animas que antes y después del centro poblado Santa Isabel también muestra condiciones de agua *regular*. Igualmente, el río Yuca cuenta con condiciones *regulares* de agua antes de hacer parte del río Recio. Con lo cual se destaca que las actividades económicas antes y

después de los centros poblados generan condiciones que limitan el aprovechamiento del recurso sin un tratamiento previo.

En la cuenca media del río Recio, a la altura de la captación de ASORRECIO, el agua muestra condiciones *regulares*, que empeoran previo a la desembocadura al río Magdalena.

Por otra parte, el río Venadillo nace en la cabecera municipal de Santa Isabel y hasta su recorrido al centro poblado del municipio de Venadillo mantiene una condición *regular* del agua. Aguas abajo de la influencia del caserío el río Venadillo muestra condiciones de calidad *malas* que antes de ingresar al río Magdalena se genera un mejoramiento que permite contar con condiciones *aceptables* de calidad de agua.

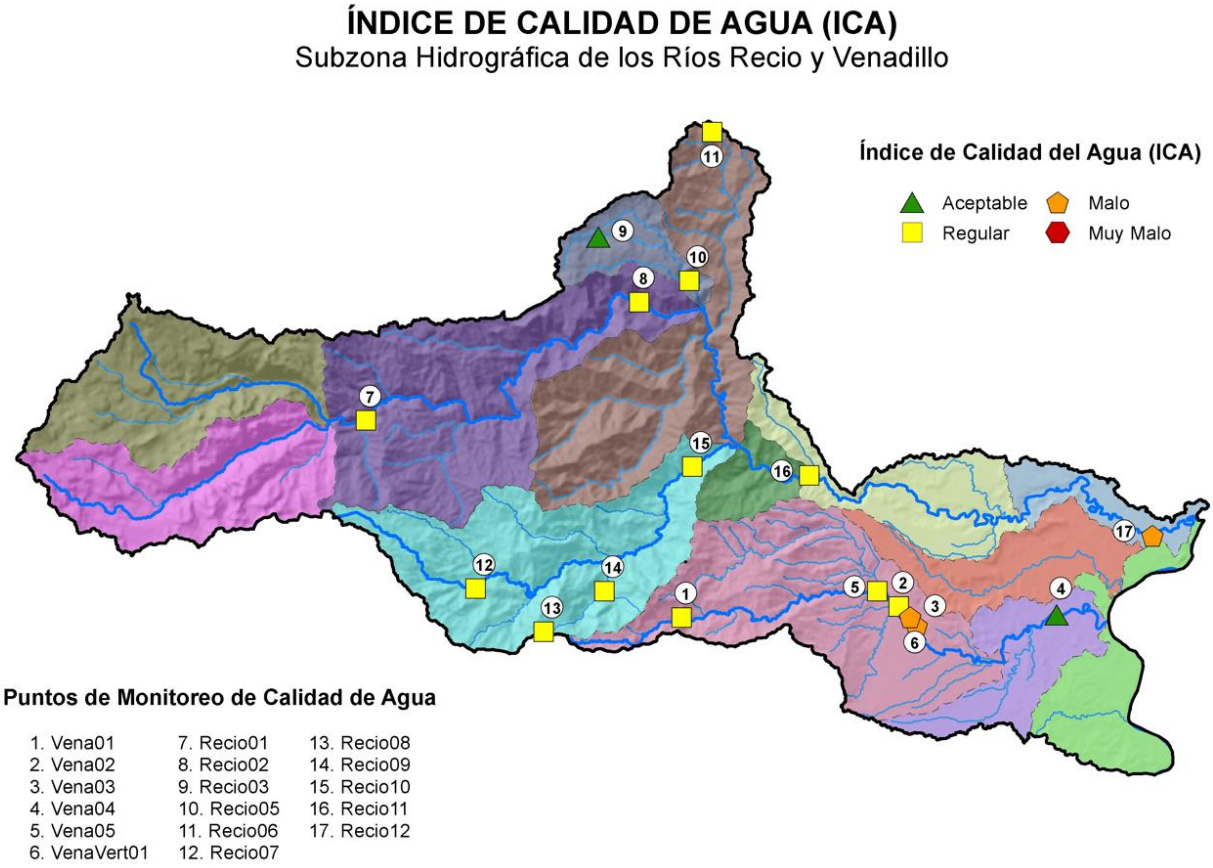
Como aspectos en común, se puede aprecias que tanto para la cuenca del río Recio como en el río Venadillo, los centros poblados generan aportes que inciden en la calidad del agua de las corrientes hídricas. Sin embargo, la cuenca del río Venadillo cuenta con variaciones de pendiente que permiten el mejoramiento natural de la corriente. Mientras, para la cuenca del río Recio, adicional a los aportes generados en centros poblados, se aprecia la influencia de los aportes de actividades agrícolas, como se muestra en la Tabla 500 y en la Figura 508.

Tabla 500. ICA Río Recio Venadillo

Identificador Estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Recio01	Río Recio	2/02/2022	4.8229	-75.1976	0.683
Recio02	Río Recio	4/02/2022	4.8838	-75.0585	0.653
Recio03	Quebrada Santa Rosa	3/02/2022	4.9170	-75.0794	0.780
Recio05	Quebrada Santa Rosa	4/02/2022	4.8947	-75.0332	0.559
Recio06	Quebrada La Honda	3/02/2022	4.9707	-75.0217	0.593
Recio07	Río La Yuca	27/01/2022	4.7372	-75.1416	0.507
Recio08	Bocatoma las Aguitas Quebrada las Animas	27/01/2022	4.7153	-75.1068	0.694
Recio09	Quebrada las Animas	27/01/2022	4.7361	-75.0759	0.659
Recio10	Río La Yuca	29/01/2022	4.7998	-75.0313	0.649
Recio11	Río Recio	31/01/2022	4.7954	-74.9718	0.651
Recio12	Rio Recio	12/02/2022	4.7653	-74.7966	0.272
Vena01	Río Venadillo	25/01/2022	4.7227	-75.0365	0.614
Vena02	Río Venadillo	23/01/2022	4.7286	-74.9260	0.559
VenaVert01	Lagunas de Oxidación Venadillo	9/02/2022	4.7234	-74.9199	0.429
Vena03	Río Venadillo después de PTAR	25/01/2022	4.7189	-74.9166	0.492
Vena04	Río Venadillo	23/01/2022	4.7247	-74.8454	0.765

Identificador Estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Vena05	Río El Palmar	23/01/2022	4.7364	-74.9369	0.595

Figura 508. ICA río Recio Venadillo



30.1.5. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Lagunilla

Luego de su nacimiento en el nevado el Ruiz, el río Lagunilla muestra un pH acido que incide la calidad de agua y califica el recurso con nivel *malo*. Incluso luego del aporte del río Vallecitos que aguas arriba y aguas abajo de la influencia del centro poblado del municipio de Murillo mantiene condiciones de calidad de agua *aceptables*, el río Lagunilla muestra condiciones de calidad *regulares*.

Dentro de la cuenca alta del río Lagunilla y como una de las corrientes de importancia que nace en el nevado del Ruiz, surge el río Azufrado que luego de recibir la quebrada Guayabal y la quebrada la Española, esta última con índice de

calidad *regular* para la altura de la bocatoma del acueducto de Casablanca, muestra una calificación de calidad *aceptable*.

Posterior al aporte del río Azufrado, el río Lagunilla recibe el caudal de la quebrada El Dorado que transporte el vertimiento de la mina Gran Porvenir (con índice de calidad *malo*). Previo a la entrada del río Bledo, se aprecia una condición de calidad *regular* en el río Lagunilla.

Por su parte, el río Bledo recibe los aportes de la quebrada Carabalí que suministra agua al centro poblado de La Sierra y cuenta con agua con un estado *aceptable*, y el aporte de la quebrada La Sierra. Previo al encuentro del río Bledo con Lagunilla su calidad es *regular*.

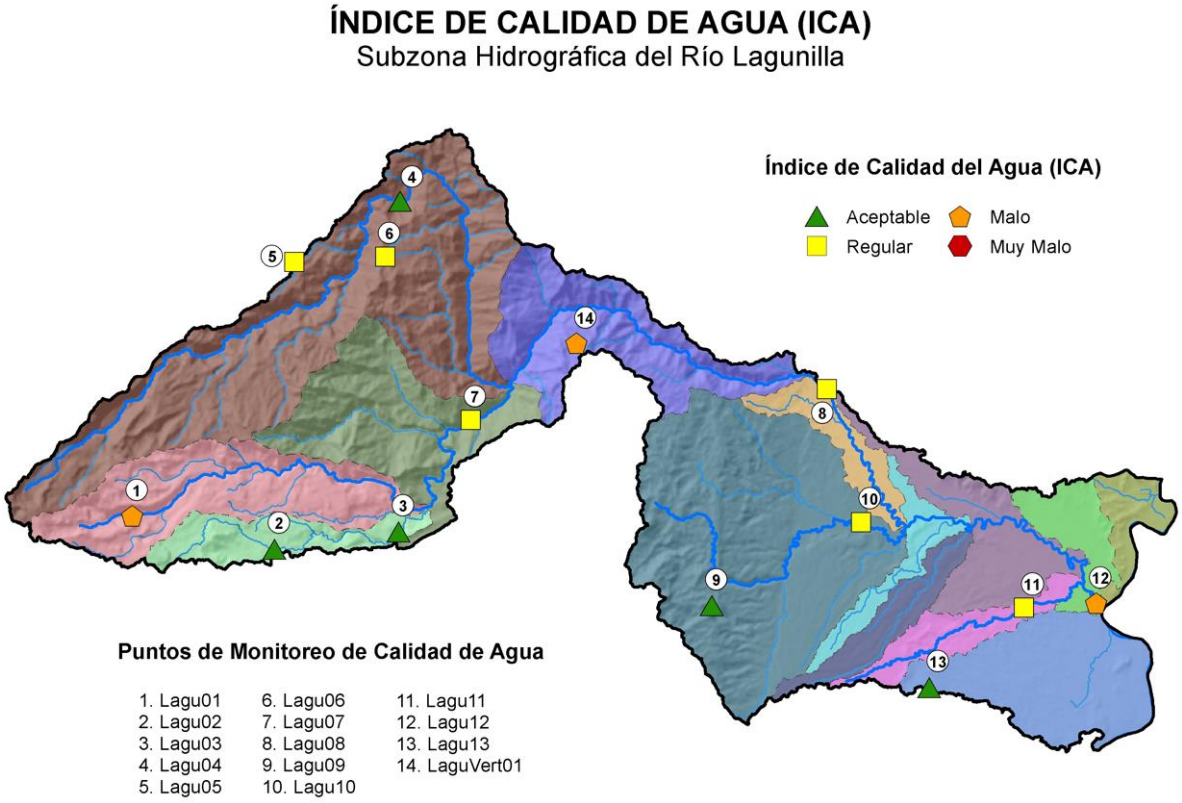
Finalmente, la quebrada La Joya, con condición *regular,* es el último aportante de importancia previo a la entrega de agua del río Lagunilla, con una condición de calidad *mala,* al río Magdalena.

Como se indica en la Tabla 501 y Figura 509, en el comportamiento de la calidad del agua en la cuenca del río Lagunilla, se aprecia que la topografía en la parte alta y media, permiten que algunos determinantes de calidad de agua procedentes de zonas rurales y agrícolas se atenúen para la cuenca baja. Sin embargo, las actividades económicas que se desarrollan en la zona baja de la cuenca y los centros poblados existentes, generan una influencia en la calidad de agua que llega al río Magdalena.

Tabla 501. ICA Río Lagunilla

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Lagu01	Ria lagunilla	2/02/2022	4.8911	-75.2615	0.432
Lagu02	Ria Vallecito	2/02/2022	4.8743	-75.1893	0.706
Lagu03	Río Vallecito	3/02/2022	4.88326	-75.12630	0.757
Lagu04	Río Azufrado	4/02/2022	5.0515	-75.1262	0.726
Lagu05	Quebrada la Española	7/02/2022	5.0203	-75.1799	0.677
Lagu06	Quebrada la Bonita	6/02/2022	5.0232	-75.1337	0.699
Lagu07	Río Lagunilla	3/02/2022	4.9401	-75.0900	0.521
Lagu08	Río Lagunilla	5/02/2022	4.9564	-74.9092	0.616
Lagu09	Quebrada Agua Fría	31/01/2022	4.8461	-74.9672	0.747
Lagu10	Río Bledo	24/01/2022	4.8888	-74.8916	0.577
Lagu11	Quebrada La Joya	31/01/2022	4.8454	-74.8089	0.518
Lagu12	Rio Lagunilla	9/02/2022	4.8480	-74.7720	0.330
Lagu13	Canal Boquerón	24/01/2022	4.8047	-74.8567	0.717
LaguVert01	Vertimiento mina gran Porvenir	11/02/2022	4.9796	-75.0363	0.393

Figura 509. ICA río Lagunilla



30.1.6. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Sabandija

El río Sabandija nace en el centro poblado de Palocabildo, donde se ve afectado por los aportes de vertimientos que inciden en la calidad de agua pues muestra una condición *regular* y pasada esta zona poblada, cuenta con un flujo con un índice *malo*. Otra corriente que nace en el centro poblado de Palocabildo es la quebrada El Rompe, por lo cual muestra un índice de calidad malo, pero previo a la desembocadura con el río Sabandija muestra una condición de calidad de agua *aceptable*. Como ocurre con el río Jimenez, que previo a unirse con el río Sabandija en la cuenca media de esta, tiene una condición *aceptable* de la calidad del agua.

Otra corriente de importancia, que nace en la jurisdicción del municipio de Mariquita, es el río Cuamo, el cual muestra una condición de calidad aceptable y pese a recibir los aportes de la quebrada Morales y la quebrada Murillo que transportan el agua residual del centro poblado del municipio de Falan, antes de encontrarse con el río Sabandija muestra una condición de calidad *aceptable*.

Posterior al aporte de los ríos Cuamo y Jimenez, el río Sabandija recibe los vertimientos del centro urbano del municipio de Guayabal que cuentan con una condición de calidad mala. Mientras, previo a la desembocadura al río Magdalena, en el centro poblado de Mendez, el río Sabandija cuenta con una condición de calidad regular.

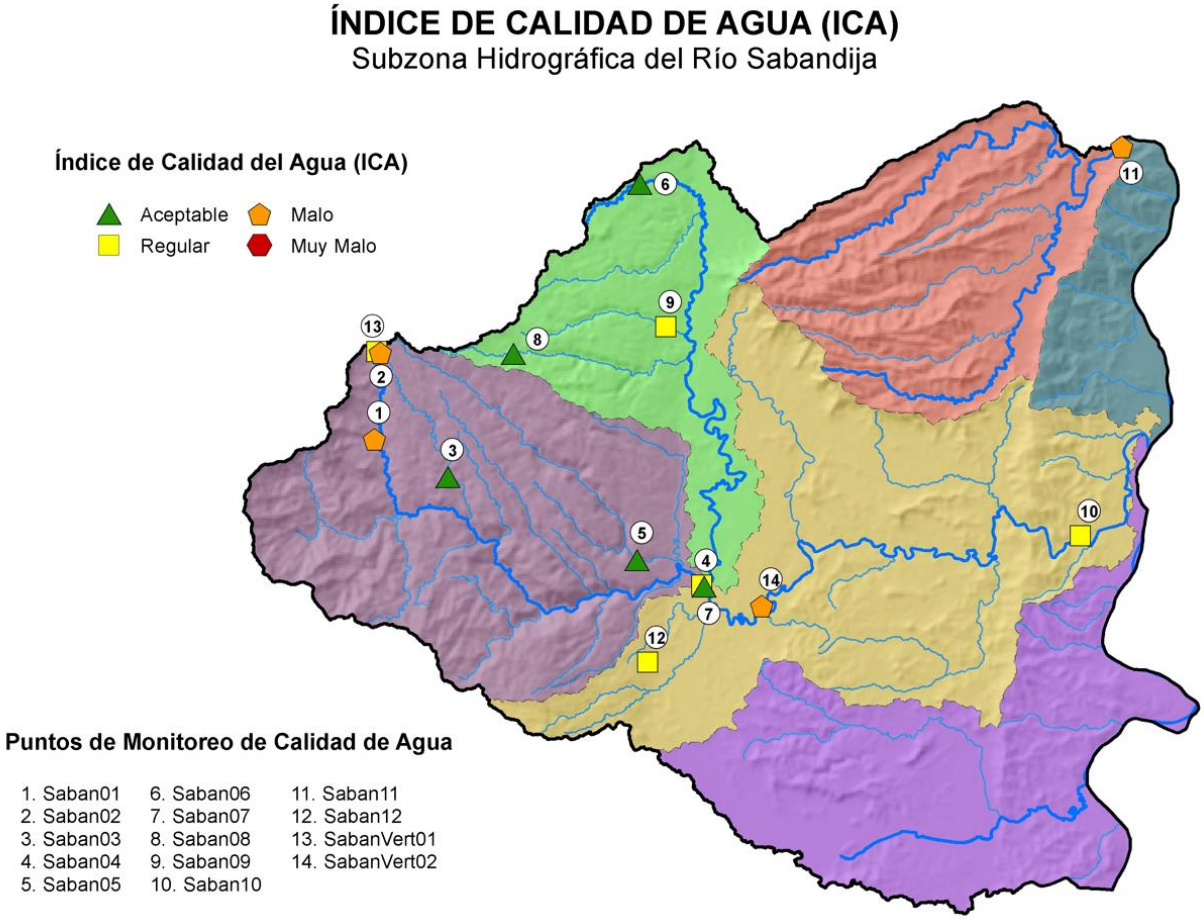
Como parte del análisis de la totalidad del río Sabandija, se puede apreciar que las corrientes que se ubican sobre la cuenca alta y media, cuentan con una alta capacidad de asimilación y por ello, previo al centro poblado de Guayabal, rescatan gran parte de las condiciones de calidad que permiten un aprovechamiento adecuado del recurso. Sin embargo, los aportes de los cascos urbanos de Guayabal y Mendez generan una afectación importante a la calidad del recurso como se aprecia en la Tabla 502 y Figura *510*.

Una corriente que se ubica en la cuenca del río Sabandija, es la quebrada Seca que, luego de recibir el aporte de la quebrada Bernal, recibe aportes de agua residual domestica de la zona poblada del municipio de Honda. Por esto último, las condiciones de calidad de la corriente son de agua *Mala*.

Tabla 502. ICA Río Sabandija

Identificador Estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Saban01	Río Sanadija	8/02/2022	5.08506	-75.02502	0.462
SabanVert01	Vertimiento Palocabildo	10/02/2022	5.11858	-75.02285	0.479
Saban02	Quebrada el Rompe	8/02/2022	5.11889	-75.02433	0.629
Saban03	Quebrada el Rompe	8/02/2022	5.07035	-74.99658	0.757
Saban04	Río Sabandija	1/02/2022	5.02877	-74.89823	0.680
Saban05	Quebrada Jiménez	5/02/2022	5.03848	-74.92324	0.744
Saban06	Río Cuamo	30/01/2022	5.18434	-74.92253	0.701
Saban07	Río Cuamo	1/02/2022	5.02832	-74.89723	0.797
Saban08	Bocatoma Falan	9/02/2022	5.11837	-74.97124	0.776
Saban09	Quebrada Morales	5/02/2022	5.12891	-74.91248	0.640
Saban10	Río Sabandija	6/02/2022	5.04828	-74.75183	0.659
Saban11	Quebrada Seca	9/02/2022	5.19930	-74.73603	0.479
SabanVert02	Vertimiento Armero Guayabal	10/02/2022	5.02078	-74.87492	0.356
Saban12	Innominada 1	1/02/2022	4.99878	-74.91917	0.607

Figura 510. ICA río Sabandija



30.1.7. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Gualí

El río Gualí nace en el Nevado del Ruiz y, de acuerdo con los niveles bajos de pH, se puede destacar que en la primera medición se reflejan condiciones de calidad *regulares*. Posteriormente, el río recibe los aportes del río Cajones y la quebrada Peñoles, esta última cuenta con condiciones de calidad *aceptables*. En seguida, el río recibe los aportes de la quebrada Matadero que conduce el agua residual del casco urbano del municipio de Herveo y por tanto sus condiciones de calidad son *regulares*. De igual forma, el río Aguacatal aporta al río Gualí agua con una condición de calidad regular.

Para el inicio de la cuenca media del río Gualí, la quebrada El Guarumo aporta el flujo de agua con una calidad *regular* pues transporta las descargas de agua residual del centro poblado de Padua. De manera que aguas abajo de este aporte, el río mantiene condiciones *regulares*. Posteriormente, se genera el aporte de la

quebrada Agua de Dios y la quebrada San Jose que cuentan con condiciones de calidad *aceptables*.

Previo al tránsito del río Gualí sobre el casco urbano del municipio de Mariquita, el río recibe los aportes de calidad *regular* de la quebrada Nicua que nace en el centro poblado del municipio de Fresno y por ello, transporta el agua residual de algunos de los vertimientos que se generan en esta zona poblada. En el área poblada de Mariquita, el río llega con condiciones de calidad de agua *regulares* y recoge los vertimientos de la zona, como de la Planta de Beneficio Animal del Municipio que tiene una condición *mala* de calidad. Posteriormente, el río Sucio, que igualmente nace en la zona urbana de Fresno, aporta el agua residual de diferentes vertimientos al río Gualí. Al respecto, se puede apreciar que, si bien el agua del río Sucio cuenta con una alta concentración de coliformes totales antes de su desembocadura, el río muestra una alta recuperación en oxígeno disuelto. Pues pasa de una concentración de 3,63 mg/L a 8,12 mg/L. Por lo cual, aguas abajo de este aporte del río Sucio, el río Gualí muestra una condición de calidad *aceptable*.

En la cuenca baja del río Gualí se aprecia que el río Medina y la quebrada Chimina aportan agua con condiciones de calidad *aceptables*. Mientras que la Quebrada Padilla muestra la presencia de Coliformes Totales y Fecales por lo que se requiere que el agua sea tratada para su adecuado aprovechamiento en el municipio de Honda. Al inicio del centro poblado de Honda, el río Gualí cuenta con condición de agua regular y luego de recoger los vertimientos de la zona poblada entrega aguas con condición mala al río Magdalena.

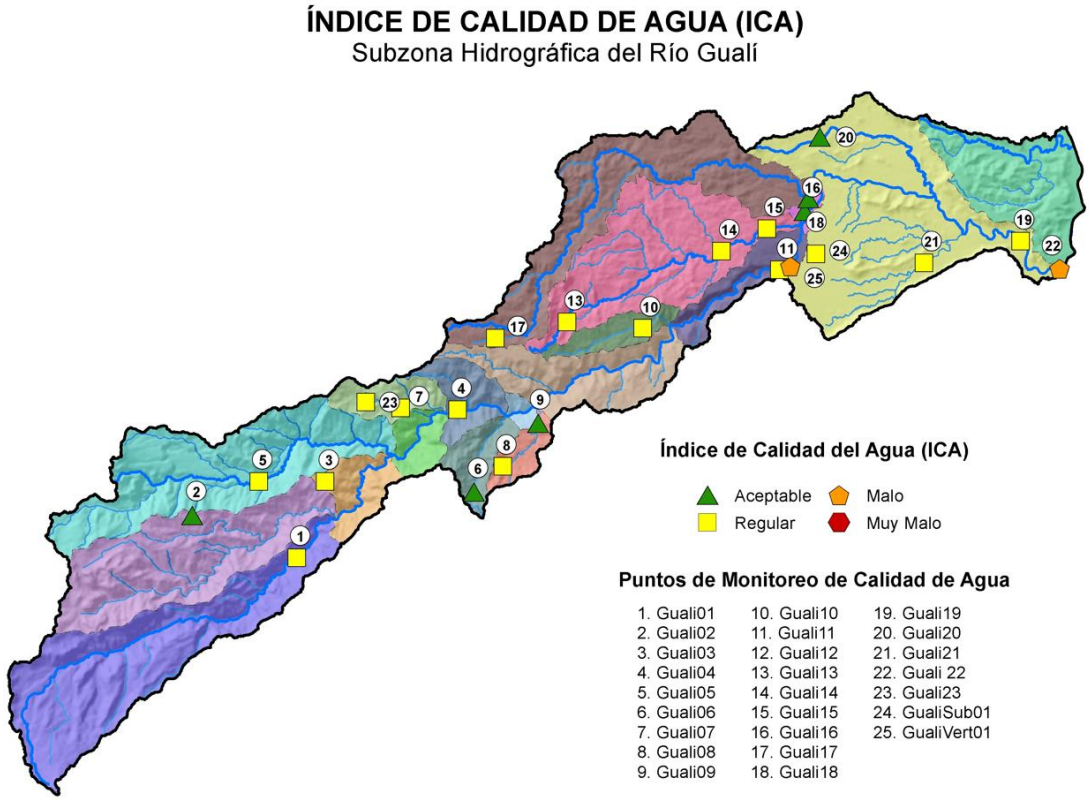
Como se aprecia en la Tabla 503 y en la Figura 511, la cuenca cuenta con una intervención importante por actividades agrícolas y urbanas que afecta sus características de calidad. Sin embargo, las condiciones topográficas y las corrientes sin intervención, favorecen la depuración de contaminantes y oxigenan el cuerpo de agua principal.

Tabla 503. ICA Río Gualí

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Guali01	Herveo	8/02/2022	5.03297	-75.18476	0.621
Guali02	Quebrada Peñoles	10/02/2022	5.05774	-75.24580	0.731
Guali03	Quebrada La Ciega	10/02/2022	5.07786	-75.16817	0.529
Guali04	Río Guali 04	7/02/2022	5.12028	-75.09061	0.650
Guali05	Río Aguacatales	10/02/2022	5.07778	-75.20719	0.657
Guali06	Quebrada Agua de Dios	8/02/2022	5.07194	-75.08078	0.726
Guali07	Quebrada El Guarumo	10/02/2022	5.12122	-75.12414	0.619

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Guali08	Quebrada El Brillante	8/02/2022	5.08703	-75.06407	0.618
Guali09	Quebrada San José - Gualí	8/02/2022	5.11257	-75.04324	0.758
Guali10	Quebrada Nicua	1/02/2022	5.16845	-74.98235	0.649
Guali11	Aguas arriba Mariquita	11/02/2022	5.20311	-74.90219	0.629
GualiVert01	Caja de inspección vertimiento final Mariquita	11/02/2022	5.20542	-74.89556	0.457
Guali12	Río Sucio	11/02/2022	4.31984	-75.03871	0.573
Guali13	Río Sucio	10/02/2022	5.17200	-75.02670	0.575
Guali14	Río Sucio	30/01/2022	5.21398	-74.93622	0.677
Guali15	Bocatoma Mariquita	9/02/2022	5.22714	-74.90962	0.632
Guali16	Aguas Abajo Río sucio	11/02/2022	5.23764	-74.88733	0.727
Guali17	Quebrada Alegrías	11/02/2022	5.16241	-75.06878	0.637
Guali18	Río Medina	30/01/2022	5.32853	-74.88542	0.714
Guali19	Río Gualí 19	4/02/2022	5.22039	-74.76083	0.500
Guali20	Quebrada Chimina	30/01/2022	5.28125	-74.87868	0.716
Guali21	Quebrada Padilla	9/02/2022	5.20744	-74.81750	0.559
Guali22	Rio Gualí	9/02/2022	5.20447	-74.73771	0.371
Guali23	Quebrada la Planta	11/02/2022	5.12449	-75.14448	0.642

Figura 511. ICA río Gualí.



30.1.8. Índice de Calidad del Agua para la Cuenca del río Guarinó

Conociendo que una parte de la cuenca del río Guarinó hace parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS y otra parte se ubica sobre la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, el índice de calidad de agua se estima sobre los puntos de monitoreo de quebradas y ríos presentes en la jurisdicción de CORTOLIMA.

Al cierre de la cuenca alta del río Guarino, se aprecia que la quebrada Guayacanal cuenta con un índice *regular* de calidad y luego de desembocar en el río Guarino, el propio río muestra un índice *regular* de calidad. Por otra parte, el agua residual del centro poblado El Tablazo que cuenta con una condición de agua regular, aporta a un cuerpo de agua innominado que descarga al río Guarino. Al respeto, se destaca que los aportes domésticos generan una afectación importante en las condiciones del recurso.

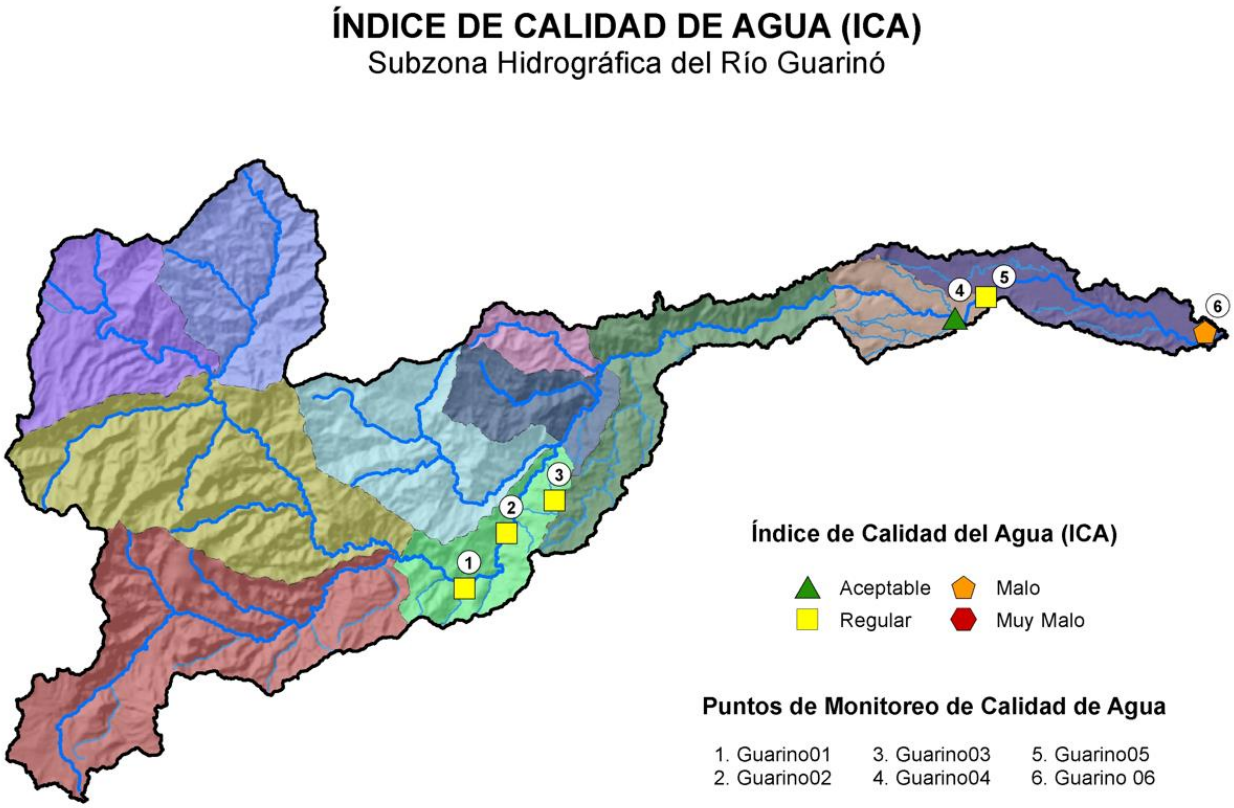
Posteriormente, al inicio de la cuenca baja del río, la corriente recupera las condiciones de calidad para contar con un índice *aceptable*, pero unos metros aguas abajo, el agua muestra una condición *regular* de la calidad del agua. Para esta zona de la cuenca, se destaca la recuperación de la fuente hídrica, sin embargo, está expuesta a los aportes de agrícolas de la zona (*Tabla 504* y *Figura 512*).

Finalmente, el aporte de agua del río Guarino al Río Magdalena muestran una condición *mala* del recurso, lo cual puede ser por la influencia de predios y actividades agrícolas al cierre de la cuenca.

Tabla 504. ICA Río Guarinó

Identificador estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Guarino01	Quebrada Guayacanal	10/02/2022	5.15383	-75.13233	0.619
Guarino02	Río Guarino	10/02/2022	5.18284	-75.11031	0.653
Guarino03	Centro poblado el Tablazo	11/02/2022	5.20009	-75.08542	0.625
Guarino04	Río Guarinó	9/02/2022	5.29631	-74.87620	0.726
Guarino05	Río Guarino	11/02/2022	5.30739	-74.86025	0.664
Guarino06	Pomca	9/02/2022	5.28961	-74.74552	0.337

Figura 512. ICA río Guarinó



31. Índice de Alteración Potencial de la calidad del agua - IACAL

Las cargas de la demanda bioquímica de oxígeno – DBO_5, sólidos suspendidos totales – SST, nitrógeno total – NT y fósforo total -PT fueron calculados para diferentes tramos o unidades de análisis de la calidad del agua definidos previamente, para las corrientes principales. Estas cargas se acumulan hacia aguas abajo con el fin de realizar la determinación del Índice de Alteración Potencial de la calidad del agua- IACAL para polígonos con puntos de cierre en zonas de interés, de forma que permiten mostrar la dinámica de presión relacionada con cambios en la carga aportada hacia aguas abajo, así como el caudal disponible para realizar la dilución de dichas cargas, a partir de la Oferta Hídrica.

En el Presente estudio se utilizó para la determinación del IACAL, la Oferta Hídrica Total Superficial para año medio y para año seco, con el fin de mantener concordancia con los diferentes Estudios Nacionales del AGUA – ENA emitidos desde el año 2010 por el IDEAM, así lo descrito en los Lineamientos Metodológicos para las Evaluaciones Regionales del Agua (IDEAM 2013) y la hoja metodológica Versión 1,1 (IDEAM, 2020). En este último documento se define la Oferta Hídrica Total Superficial -OHTS como el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial. Es el agua que fluye por la superficial del suelo, que no se infiltra o se evapora y se concentra en los causes de los ríos/o cuerpos de agua léntico.

Se analiza un total de cuatro (4) escenarios para el análisis del IACAL por cada una de las ocho (8) cuencas de análisis. Para lo cual se consideran las dos (2) condiciones de la OHT (año Seco y año Medio) así como dos (2) condiciones de carga (Meta año 2020 y Seguimiento de la Meta 2020).

Tabla 505 Escenarios de Oferta y Carga para el cálculo del IACAL

Número	Nombre	Oferta Hídrica	Carga
1	E1SECO	OHT año Seco	Meta proyectada 2020
2	E2SECO		Seguimiento de Meta 2020
3	E1MEDIO	OHT año Medio	Meta proyectada 2020
4	E2MEDIO		Seguimiento de Meta 2020

31.1. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Coello

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Coello hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

En la parte alta de la cuenca, en el sector comprendido entre la divisoria de aguas del río Toche y en el tramo COELLO_1 las cargas identificadas corresponden a posibles aportes debidos al beneficio de café, sin embargo, considerando el efecto de dilución tanto en año medio como en año seco se presenta un valor **BAJO** del IACAL.

El río Bermellón, corriente aportante al río Coello y que a su vez recibe las aguas del río Anaime, presenta un **BAJO** IACAL en su parte Alta, aguas arriba de los vertimientos del municipio de Cajamarca. Luego de estas descargas, incluyendo la PBA municipal, se presenta una categoría **MUY ALTA** en el IACAL. Antes de su entrega al río Coello, el río Bermellón reduce la presión debido al incremento de caudal clasificándose como **ALTA**. De forma similar el río Anaime presenta un valor bajo del índice, aguas arriba de las descargas del centro poblado Anaime (Cajamarca), luego de estas descargas la categoría se define en **MEDIA ALTA** (año seco y medio) para la meta en carga 2020, sin embargo, considerando que la carga medida (2020) es menor a la meta, la categoría cambiaría a **MODERADA**. Aguas abajo del río Bermellón, el río Coello (COELLO_2) presenta una mayor presión estando en la categoría **ALTA** para año seco y **MEDIA ALTA** para año medio.

En el río Cocora solo se identifican posibles aportes del beneficio de café, con una **BAJA** presión. El río Coello abajo del río Cocora (COELLO_3) mantiene la Categoría **ALTA y MEDIA ALTA** presentada antes del aporte de esta corriente.

El río Combeima en su zona alta (COMBEIMA_1) presenta una **BAJA** presión debido a que no se identifican aportes. No obstante, si se considera la meta en carga, la presión aumenta en el tramo COMBEIMA_2 debido al beneficio de café y en especial al aporte de la PBA Carlima del municipio de Ibagué, clasificándose como **MODERADA**, pero se mantiene **BAJA** con las cargas usadas en el cobro de la Tasa retributiva, ya que son menores a la meta. Posteriormente en el tramo COMBEIMA_3 en donde se recibe una parte importante de los vertimientos municipales de Ibagué, la presión se incrementa a **MUY ALTA**, condición que se mantiene hasta su desembocadura en el río Coello (COMBEIMA_4). El río Coello

aguas abajo del río Combeima (COELLO_4), incrementa su presión a la Categoría **MUY ALTA** en la condición de Año seco, debido principalmente al aporte del río Combeima y en segunda instancia, por los vertimientos del CP Payandé. En Año medio, y para la carga de la Tasa Retributiva se incrementa a la categoría **ALTA**. Estas condiciones se mantienen aguas abajo de la Quebrada Gualanday (COELLO_5), en donde adicionalmente se reciben las descargas de los centros poblados de Gualanday en el Municipio de Coello y el centro poblado Chicoral del municipio de Espinal.

La quebrada Gualanday, en la cual se realiza el vertimiento del relleno sanitario La Miel, presenta una categoría **MODERADA** para la meta en carga, y una categoría **BAJA** para la carga medida (menor a la meta).

La quebrada Chaguala es el último de los afluentes analizados del río Coello, antes de su desembocadura en el río Magdalena. Esta quebrada no tiene una presión identificada por lo que se encuentra en la categoría **BAJA**. El río Coello en su último tramo (COELLO_6) mantiene las categorías registradas en los Tramos COELLO_4 y COELLO_5, por lo que puede concluirse que el factor que ocasiona el cambio más drástico en el río Coello son los vertimientos municipales de Ibagué, que ingresan en el tramo COELLO_4, a través del río Combeima.

Tabla 506. Determinación del IACAL en el río Coello (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
TOCHE_1 TOTAL	Río Toche (río Coello) Abajo de CP Toche	82,98	BAJA	BAJA	151,15	BAJA	BAJA
COELLO_1 PARCIAL	Río Coello (Arriba de río Bermellón)	125,49	BAJA	BAJA	222,66	BAJA	BAJA
BERMELLON 1A PARCIAL	Río Bermellón arriba vertimientos urbanos Cajamarca	18,71	BAJA	BAJA	42,80	BAJA	BAJA
BERMELLON 1 PARCIAL	Río Bermellón arriba de río Anaime	26,50	MUY ALTA	MUY ALTA	58,00	MUY ALTA	MUY ALTA
ANAIME_1A PARCIAL	Río Anaime arriba de CP Anaime (Cajamarca)	68,89	BAJA	BAJA	140,33	BAJA	BAJA
ANAIME_1 TOTAL	Río Anaime Punto de Cierre	71,39	MEDIA ALTA	MODERADA	144,23	MEDIA ALTA	MODERADA
BERMELLÓN 2 TOTAL	Río Bermellón Punto de Cierre	113,32	ALTA	ALTA	226,32	ALTA	ALTA
COELLO_2 PARCIAL	Río Coello Arriba de río Cocora	264,68	ALTA	ALTA	491,10	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
COCORA 1 TOTAL	Río Cocora Punto de Cierre	71,82	BAJA	BAJA	112,73	BAJA	BAJA
COELLO_3 PARCIAL	Río Coello Arriba de Río Combeima	473,16	ALTA	ALTA	808,87	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
COMBEIMA_1 PARCIAL	Río Combeima Arriba de Captación Hidrotolima Pastales	57,37	BAJA	BAJA	93,62	BAJA	BAJA
COMBEIMA_2A PARCIAL	Arriba Vertimientos Municipio de Ibagué	112,88	MODERADA	BAJA	190,77	MODERADA	BAJA
COMBEIMA_3 PARCIAL	Aguas arriba de Transvase Canal La Serna	138,33	MUY ALTA	MUY ALTA	231,25	MUY ALTA	MUY ALTA
COMBEIMA_ 4 TOTAL	Río Combeima Punto de Cierre	149,35	MUY ALTA	MUY ALTA	250,10	MUY ALTA	MUY ALTA
COELLO_4 PARCIAL	Río Coello Arriba de Q. Gualanday	661,41	MUY ALTA	MUY ALTA	1.107,97	MUY ALTA	ALTA
GUALANDAY_1A PARCIAL	Q. Gualanday Aguas Abajo Q. Guacarí	7,55	MODERADA	BAJA	9,74	MODERADA	BAJA
GUALANDAY_1 TOTAL	Q. Gualanday Punto de Cierre	36,62	BAJA	BAJA	42,35	BAJA	BAJA
COELLO_5 PARCIAL	Río Coello Arriba de Q. Chaguala	737,62	MUY ALTA	MUY ALTA	1.204,08	MUY ALTA	ALTA
CHAGUALA_1 TOTAL	Q. Chaguala Punto de Cierre	38,82	BAJA	BAJA	49,49	BAJA	BAJA
COELLO_6 TOTAL	Río Coello Punto de Cierre	777,54	MUY ALTA	MUY ALTA	1.255,10	MUY ALTA	ALTA

Figura 513. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Coello

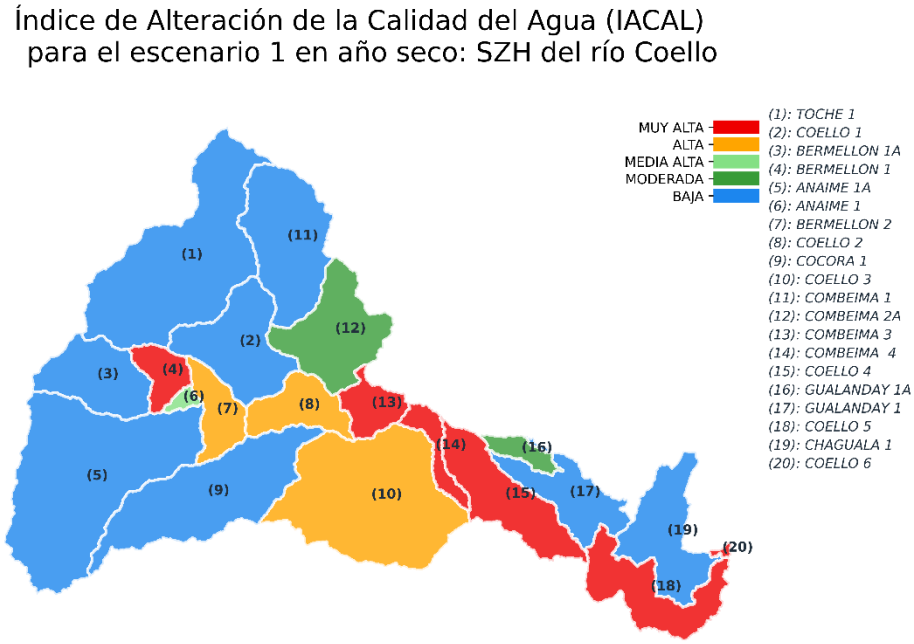


Figura 514. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Coello

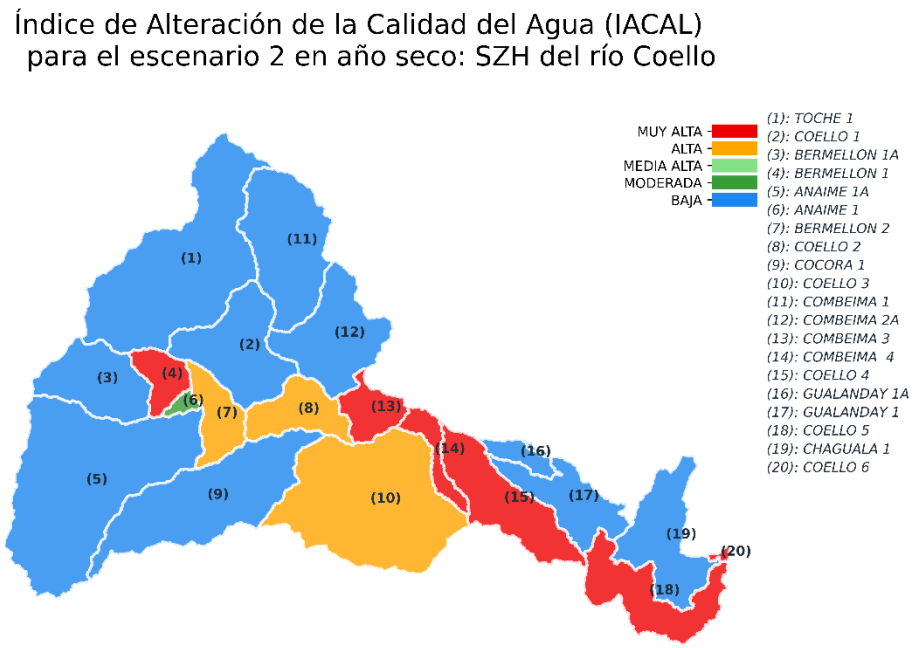
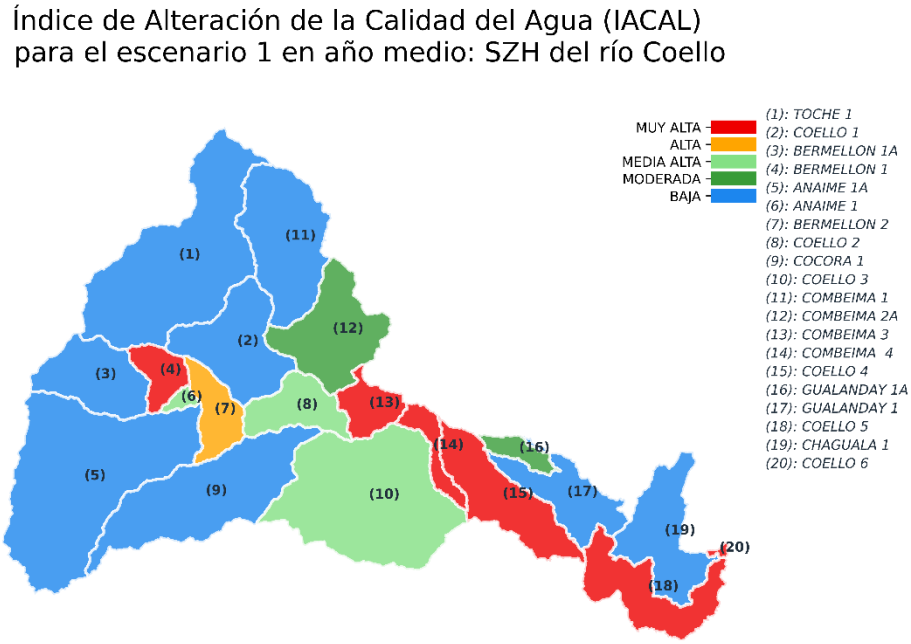


Figura 515. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Coello



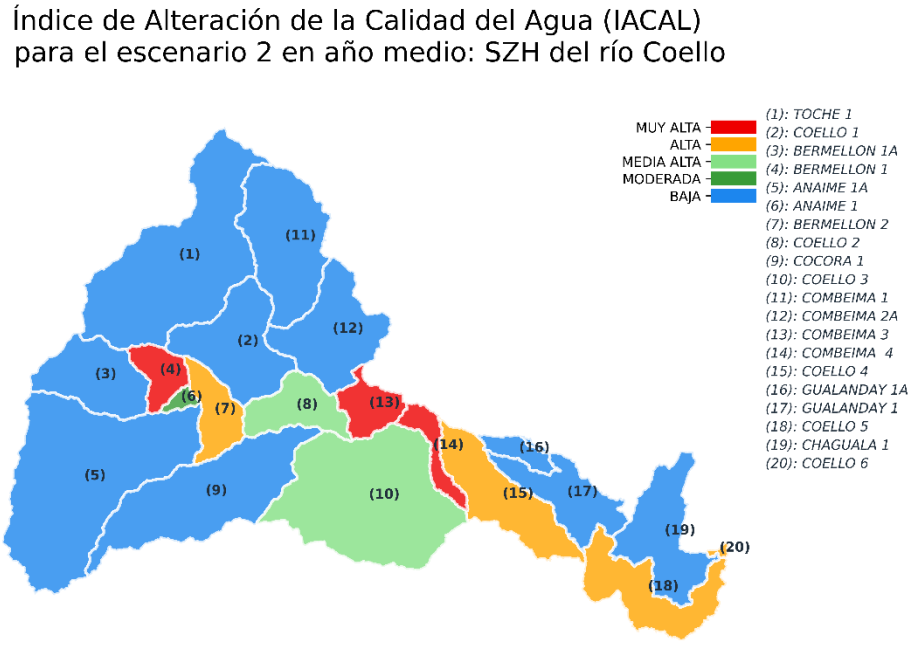


Figura 516. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Coello

31.2. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Opia

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Opia hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

El río Opia en su parte alta (OPIA_1A) recibe un número importante de vertimientos del municipio de Ibagué, incrementando la carga en un tramo en el cual se presenta un bajo caudal, por lo tanto, presenta una categoría **MUY ALTA**. Esta condición se mantiene en el siguiente Tramo OPIA_1B para la meta en carga. Sin embargo, considerando que la carga aportada, según el seguimiento realizado, es menor que la meta, se presenta una menor categoría, **MEDIA ALTA.** Posteriormente el río Opia (OPIA_1) recibe las descargas del CP Doima del municipio de Piedras, manteniendo la misma categoría del tramo anterior

La quebrada Doima es el principal afluente del río Opia. Esta quebrada desde su parte inicial (DOIMA_1A) presenta una presión importante, con la categoría **MUY ALTA**, debido a una parte de los vertimientos municipales de Ibagué. Estas condiciones se mantienen hasta su desembocadura en el río Opia.

Finalmente, el río OPIA, con el incremento de carga, debido al aporte de la quebrada Doima, se mantienen la condición de **MUY ALTA** en los escenarios con la meta en carga, inclusive, se aumenta de **MEDIA ALTA** a **MUY ALTA** para los escenarios con la carga registrada en el seguimiento.

De acuerdo con lo anterior, tanto la corriente principal de la cuenca del río Opia, así como el río Doima, presentan una presión **MUY ALTA** debido principalmente a los vertimientos municipales de Ibagué.

La quebrada Naguachi desemboca directamente en el río Magdalena, por lo tanto, no está relacionada con la presión que recibe la corriente principal de esta cuenca (río Opia). Esta quebrada debido a su bajo caudal y a la carga aportada por el vertimiento municipal de Coello, presenta una presión **ALTA** en todos los escenarios.

Tabla 507. Determinación del IACAL en el río Opia (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
NAGUACHI_1 TOTAL	Q. Naguachi Punto de Cierre	7,35	ALTA	ALTA	7,35	ALTA	ALTA
OPIA_1A PARCIAL	Arriba de Aporte de Canal La Serna	0,81	MUY ALTA	MUY ALTA	0,81	MUY ALTA	MUY ALTA
OPIA_1B PARCIAL	Abajo de derivaciones para riego	25,49	MUY ALTA	MEDIA ALTA	25,49	MUY ALTA	MEDIA ALTA
OPIA _1 PARCIAL	Arriba Q. Doima (abajo de Vertimientos CP Doima)	41,95	MUY ALTA	MEDIA ALTA	41,95	MUY ALTA	MEDIA ALTA
DOIMA_1A PARCIAL	Aguas Abajo Vertimientos de Ibagué	2,81	MUY ALTA	MUY ALTA	2,81	MUY ALTA	MUY ALTA
DOIMA_1 TOTAL	Punto de Cierre	66,38	MUY ALTA	MUY ALTA	66,38	MUY ALTA	MUY ALTA
OPIA_2 Total	Punto de Cierre	143,29	MUY ALTA	MUY ALTA	143,29	MUY ALTA	MUY ALTA

Figura 517. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Opia

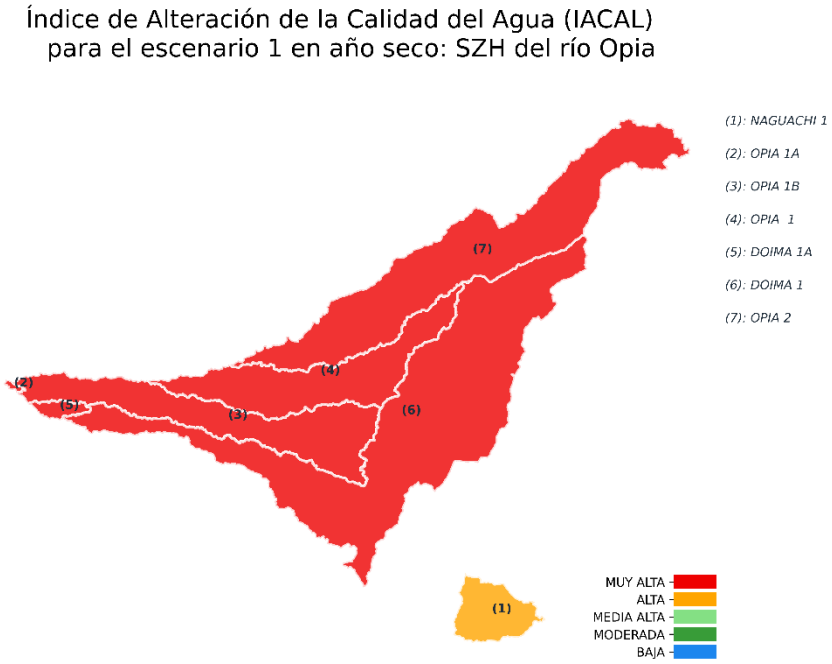


Figura 518. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Opia

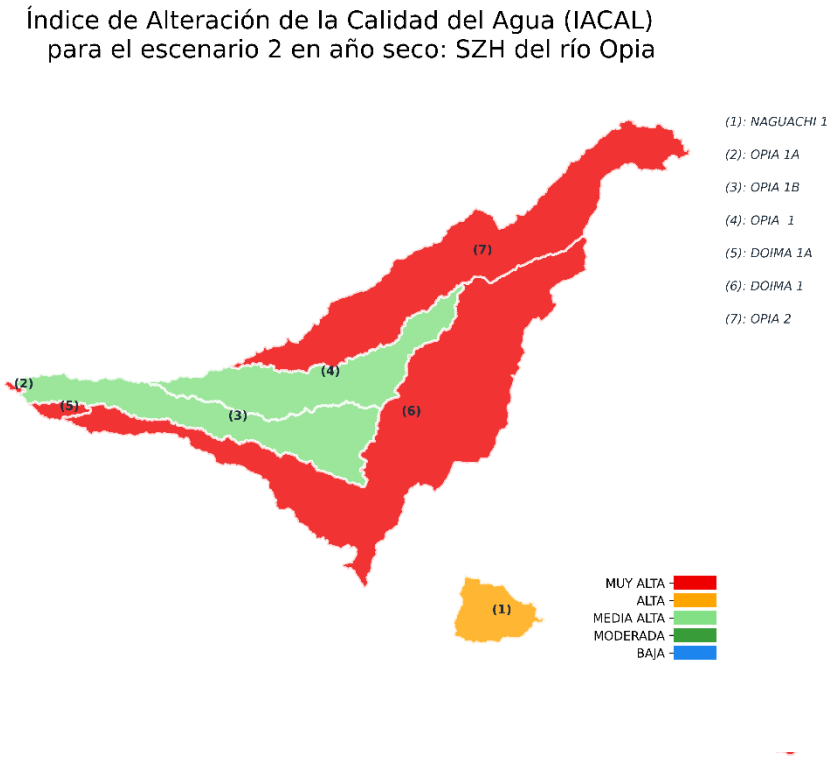


Figura 519. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Opia

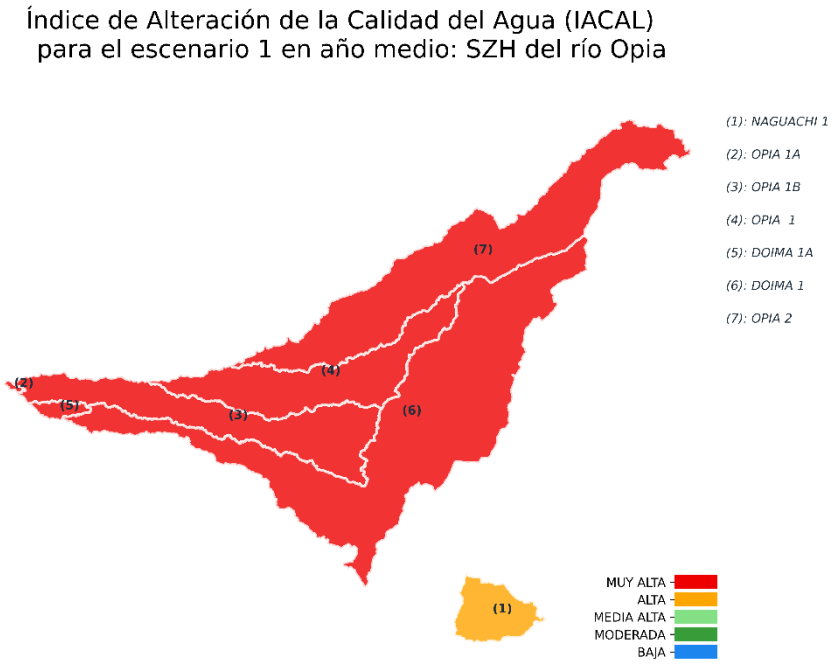
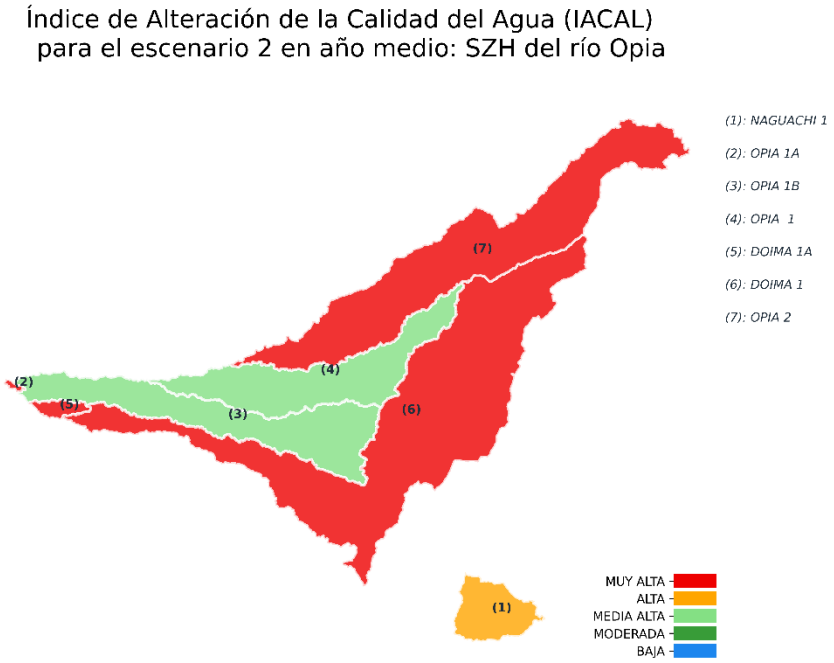


Figura 520. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Opia



31.3. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Totare

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Totare hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

En su parte alta, el río Totare (TOTARE 1 y TOTARE 2A), presenta una presión **BAJA**, con ausencia de aportes de carga en el primer tramo y con posibles aportes debido al beneficio de café en el segundo tramo.

Aguas abajo de estos tramos ingresa la quebrada el Fierro, la cual recibe parte de las aguas residuales del municipio de Anzoátegui, así como posibles aportes del beneficio de Café, con lo cual se clasifica con una presión **ALTA** para la condición de Año Seco y **MEDIA ALTA** en el Año Medio, condición favorecida por un mayor caudal.

Otro afluente importante, debido a que es un cuerpo de agua receptor de aguas residuales, es la quebrada La Rica, la cual recibe un número importante de descargas del municipio de Santa Isabel, la cual presenta una presión **MUY ALTA**

en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, mientras que para el Año medio se presenta una condición **ALTA** utilizando la meta en carga. Lo anterior indica que esta meta es superada por la carga aportada por el municipio en este tramo.

El río Totare (TOTARE_2) aguas abajo de las quebradas El Fierro y La Rica, presenta una presión mayor, clasificada como **MEDIA ALTA** en el año Seco y **MODERADA** en el año medio. Para el tramo TOTARE_3 no se adicionan cargas y aunque el caudal es mayor en este punto, se mantiene la misma clasificación que en TOTARE_2.

Uno de los afluentes más representativos del río Totare es el río Alvarado, el cual recoge directamente aguas residuales y también a través de otros cuerpos de agua como el río Frío – Quebrada La China. En su parte alta el río Alvarado (ALVARADO_1A) presenta una presión **MUY ALTA** debido a la descarga de una parte de los vertimientos municipales de Ibagué principalmente, seguido de posibles aportes del beneficio de café. Posteriormente (ALVARADO_1) esta corriente recibe aportes de vertimientos del Municipio de Alvarado, desde el casco urbano y también desde el centro poblado Caldas Viejo y de beneficio de Café, clasificándose como en presión **MUY ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, mientras que para el Año medio se presenta una condición **ALTA** utilizando la meta en carga. Lo anterior indica que esta meta es superada por la carga aportada por el municipio en este tramo. En el último tramo del río Alvarado, se ha recibido el aporte de la quebrada La China y se observa que, tanto para el Año Medio como para el Año Seco, se mantiene la condición de presión **MUY ALTA** para los valores de carga registrados en el seguimiento, mientras que para los valores meta, la presión se reduce en este tramo final, clasificándose como **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio.

La quebrada La China es un afluente del río Alvarado, importante por su tamaño, la cual en su parte alta (CHINA_1) no recibe aportes presentando una **BAJA** presión, mientras que en el siguiente tramo (CHINA_2) se evidencian zonas con posibles aportes por el beneficio de Café de los municipios de Ibagué y Anzoátegui, presentando una presión **MODERADA** en Año Seco y se mantiene en **BAJA** para el Año Húmedo. Luego del aporte del río Frío, la presión se mantiene similar en la quebrada La China.

Asu vez, el río Frío es un afluente importante de la quebrada La China, el cual recibe a través de sus tributarios, como la quebrada Santa Helena – Las Camelias y una quebrada innominada vertimientos del municipio de Anzoátegui, lo cual ocasiona que esta fuente pase de una **BAJA** presión en su parte alta (FRIO_1A) a una presión **MEDIA ALTA** en su parte baja (FRIO_1) en Año Seco y **MODERADA** en

año Húmedo. Estos afluentes del río Frío presentan una presión **MUY ALTA**, debido a que el caudal es bajo en comparación con la carga recibida.

En la parte Baja del río Totare, se encuentran dos afluentes importantes, el río Chipalo y la quebrada Guarapo – Honda. El río Chipalo presenta una presión **MUY ALTA** desde su inicio debido principalmente al aporte de descargas municipales de Ibagué, y en menor medida debido al beneficio de café de este municipio y del relleno Sanitario Combeima. A pesar del incremento de caudal en el punto de cierre del río Chipalo, la presión se mantiene en **MUY ALTA**. Por su parte, la quebrada Guarapo rebe la descarga del municipio de Piedras (PTAR La Manga – La Ceiba), la cual es alta en comparación con el caudal que puede transportar en condiciones naturales, con lo cual se clasifica como presión **MUY ALTA**. El río Totare en su punto de cierre (TOTARE_5) presenta una presión **MUY ALTA**, debido a las condiciones previas (TOTARE_4) y también debido al aporte de carga a través del río Chipalo y de la quebrada Guarapo.

Tabla 508. Determinación del IACAL en el río Totare (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
TOTARE_1 PARCIAL	Arriba de río Totarito	16,03	BAJA	BAJA	37,03	BAJA	BAJA
TOTARE_2A PARCIAL	Arriba de Q. El Fierro	74,84	BAJA	BAJA	182,28	BAJA	BAJA
FIERRO_1 TOTAL	Q. El Fierro Punto de Cierre	10,05	ALTA	ALTA	17,32	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
RICA_1 TOTAL	Q. La Rica Punto de Cierre	7,98	MUY ALTA	MUY ALTA	13,67	ALTA	MUY ALTA
TOTARE_2 PARCIAL	Arriba de Captación Asototare (Boluga Totare)	120,26	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	256,82	MODERADA	MODERADA
TOTARE_3 PARCIAL	Arriba de río Alvarado	124,81	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	267,66	MODERADA	MODERADA
ALVARADO_1A PARCIAL	Inicio Jurisdicción Alvarado (Abajo de CP Chucuní)	8,66	MUY ALTA	MUY ALTA	19,46	MUY ALTA	MUY ALTA
ALVARADO_1B PARCIAL	Inicio Jurisdicción Alvarado (Abajo de CP Chucuní)	30,32	MUY ALTA	MUY ALTA	64,17	ALTA	MUY ALTA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
ALVARADO_1 PARCIAL	Arriba de Q. La China	52,32	MUY ALTA	MUY ALTA	110,09	ALTA	MUY ALTA
CHINA_1 PARCIAL	Arriba de Q. San Romualdo	13,33	BAJA	BAJA	35,06	BAJA	BAJA
ROMUALDO_1 PARCIAL	Q.San Romualdo. Punto de Cierre	33,86	BAJA	BAJA	78,91	BAJA	BAJA
CHINA_2 PARCIAL	Arriba de Río Frío	85,79	MODERADA	MODERADA	191,33	BAJA	BAJA
FRIO_1A PARCIAL	Arriba de vertimientos casco urbano Anzoátegui	24,55	BAJA	BAJA	53,56	BAJA	BAJA
INNOMINADA_1 TOTAL	Q. Innominada punto de cierre	0,30	MUY ALTA	MUY ALTA	0,48	MUY ALTA	MUY ALTA
STA_HELENA_ 1 PARCIAL	Q. Santa Helena punto de cierre	1,58	MUY ALTA	MUY ALTA	2,43	MUY ALTA	MUY ALTA
FRIO_1 TOTAL	Río Frío Punto de Cierre	35,45	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	73,75	MODERADA	MODERADA
CHINA_3 PARCIAL	Arriba captación ASOTOTARE (Boluga La China)	126,26	MODERADA	MODERADA	277,72	BAJA	MODERADA
CHINA_4 TOTAL	Río La China Punto de Cierre	129,30	MODERADA	MODERADA	286,11	BAJA	MODERADA
ALVARADO_2 TOTAL	Río Alvarado Punto de Cierre	181,73	ALTA	MUY ALTA	397,11	MEDIA ALTA	MUY ALTA
TOTARE_4 PARCIAL	Arriba de río Chipalo	306,71	ALTA	MUY ALTA	665,34	MEDIA ALTA	MUY ALTA
CHIPALO_2A PARCIAL	Abajo de Q. Agua Sucia	30,41	MUY ALTA	MUY ALTA	55,75	MUY ALTA	MUY ALTA
CHIPALO_2 TOTAL	Río Chipalo punto de Cierre	31,36	MUY ALTA	MUY ALTA	58,05	MUY ALTA	MUY ALTA
GUARAPO_1 TOTAL	Q. Guarapo Punto de Cierre	0,19	MUY ALTA	MUY ALTA	0,31	MUY ALTA	MUY ALTA
TOTARE_5 TOTAL	Río Totare Punto de Cierre	342,66	MUY ALTA	MUY ALTA	732,89	MUY ALTA	MUY ALTA

Figura 521. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Totare

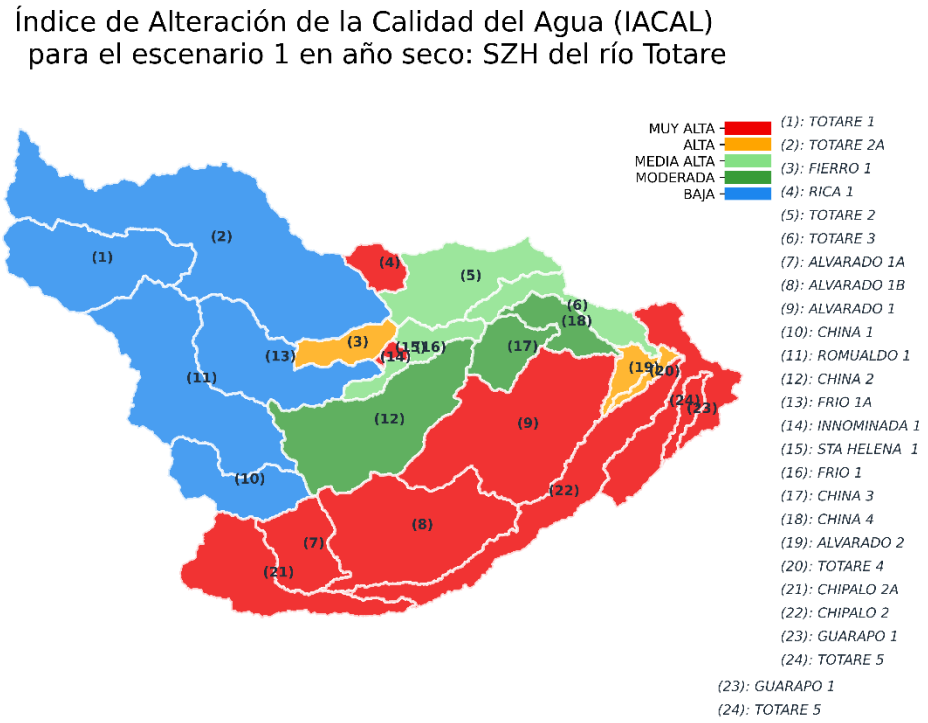


Figura 522. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Totare

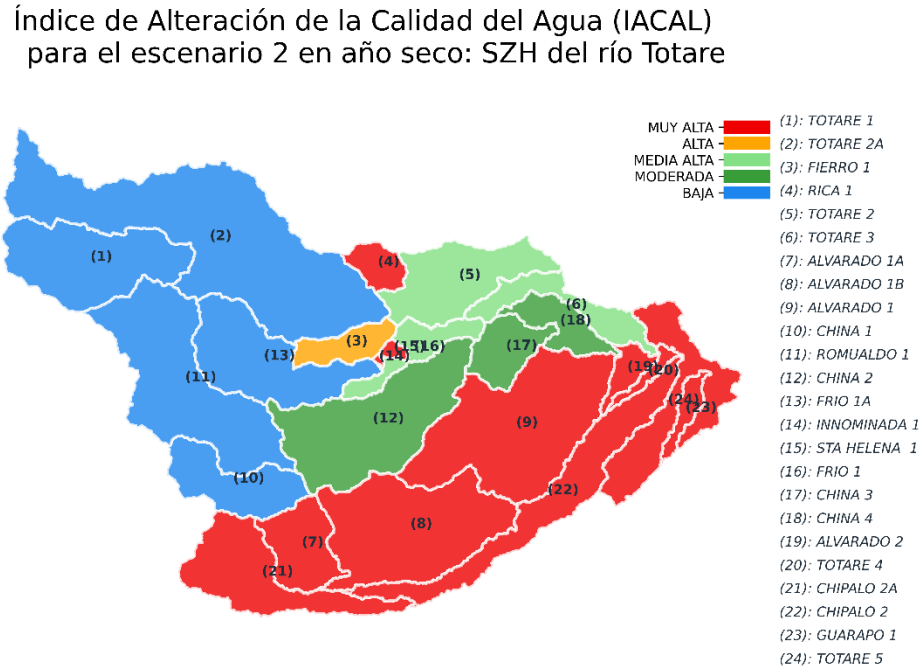


Figura 523. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Totare

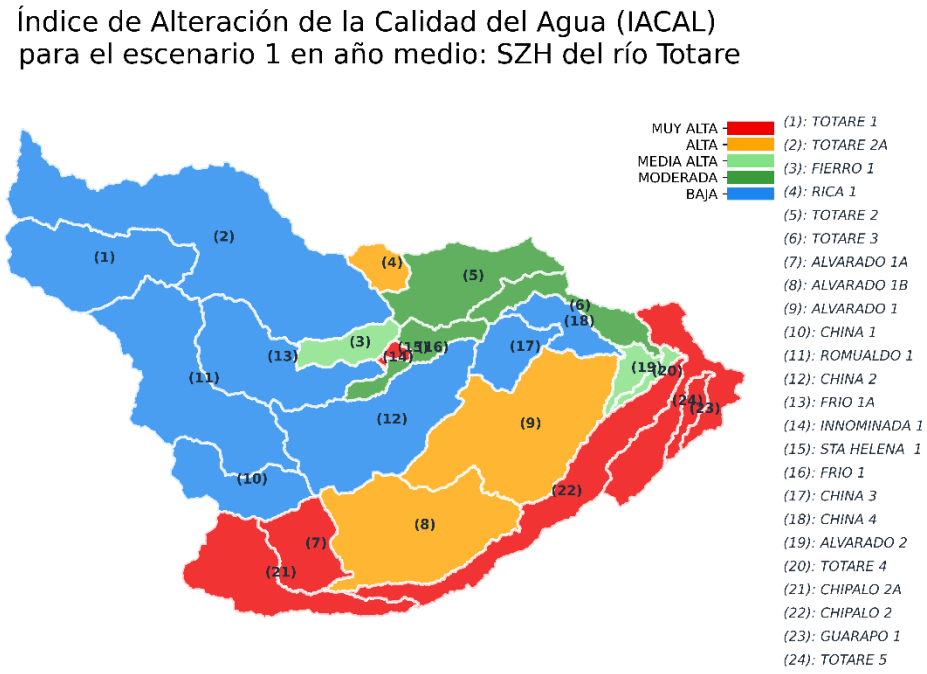
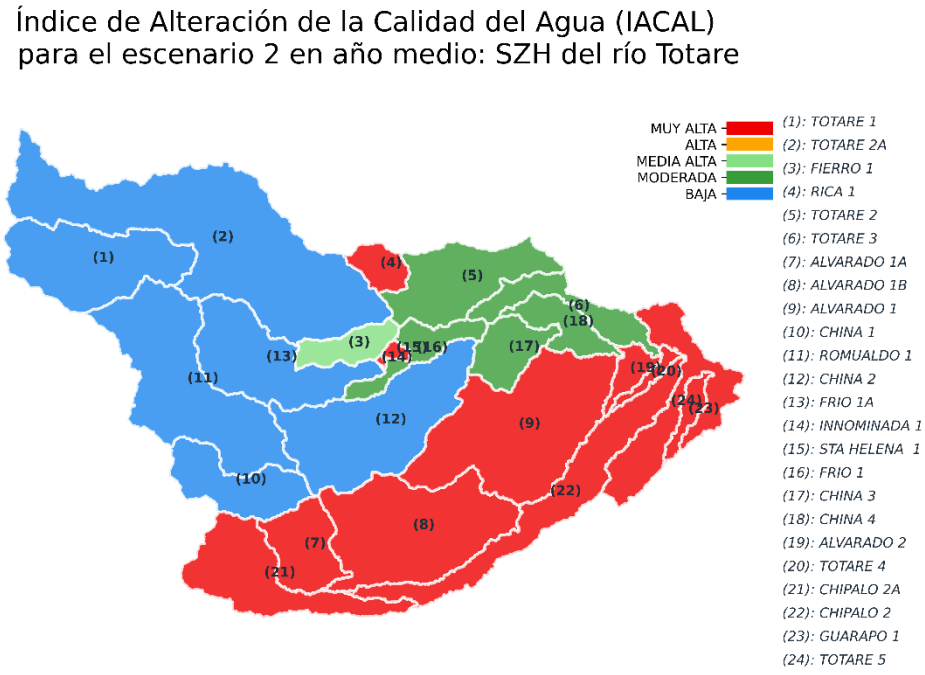


Figura 524. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Totare



31.4. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Recio Venadillo

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca de los ríos Recio y Venadillo hasta sus desembocaduras en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

El río Venadillo en su parte alta (VENADILLO_1A) presenta una **BAJA** presión antes de los vertimientos del Municipio de Venadillo, que se realizan a través de la quebrada Galapo – Los Monos.

En la quebrada GALAPO se presenta una presión **MUY ALTA** debido a dichas descargas, con una alta carga en comparación con el caudal que puede transportar la corriente.

Aguas Abajo de la quebrada Galapo – Los Monos, el río Venadillo recibe descargas adicionales del Municipio de Venadillo, por lo que a la altura de la captación Pajonales aumenta la presión del tramo anterior (**BAJA**) hasta **ALTA**. En el tramo final (VENADILLO_2), el río Venadillo recibe indirectamente la descarga de la PTAR de Sacrificio de la Organización Pajonales, con cargas que son bajas en comparación con la carga acumulada hasta este punto, representando aproximadamente el 2%. Antes de la desembocadura en el río Magdalena el río Venadillo mantiene la presión **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, sin embargo, con la meta en carga para el año 2020 la presión es **MEDIA ALTA**, lo que indica que, de forma acumulada para este punto, la carga vertida es mayor que la meta.

El río Recio en su parte Alta (RECIO_1) presenta una **BAJA** presión considerando que antes del río Azul, no se presentan aportes de carga identificados. Esta última corriente también presenta una **BAJA** Presión.

En el siguiente Tramo (RECIO_2), el río Recio presenta un incremento en la presión, con clasificaciones entre **MODERADA** y **ALTA**, siendo mayor en el Año Seco, condición que refleja principalmente el posible aporte del beneficio de café en el municipio de Líbano, y en segunda medida el aporte que realiza la quebrada Castrillón, la cual recibe vertimientos provenientes del municipio de Murillo. Por tal razón, la quebrada presenta en la mayoría de las situaciones analizadas una presión **MUY ALTA**, menos en el Año medio para la meta en carga en donde se presenta

una Presión **ALTA**, lo cual indica que, la carga total vertida en la quebrada por el municipio de Murillo es mayor que la meta.

En el siguiente tramo (RECIO_3) ingresan en el río Recio la quebrada Santa Rosa y la quebrada Las Peñas. La quebrada Santa Rosa recibe directamente y a través de la quebrada San Juan un número importante de descargas provenientes del municipio de Líbano. Debido a que el caudal estimado para la quebrada Santa Rosa es pequeño en comparación con la carga recibida, se presenta una presión **MUY ALTA**. La quebrada Las Peñas qe recibe una menor fracción de los vertimientos del municipio de Líbano y un aporte importante del beneficio de café de este municipio, presenta una presión **MEDIA ALTA** para el Año Seco y **MODERADA** para el Año Medio. La quebrada Honda, afluente del río Recio, podría recibir un aporte importante de carga debido al beneficio de café del municipio de Líbano, por lo cual la presión se define como **ALTA**.

A partir de los aportes de las quebradas Santa Rosa, La Peña y Honda, el río Recio (RECIO_3) incrementa su categoría de presión, siendo **ALTA** para todos los escenarios.

Aguas abajo, en el tramo RECIO_4 ingresa un importante tributario denominado río La Yuca, el cual a su vez recibe las aguas de la quebrada Las Ánimas. El río La yuca antes del ingreso de la quebrada Las Ánimas presenta una **BAJA** presión, mientras que abajo de esta quebrada, se incrementa, clasificándose como presión **MODERADA**. La quebrada Las Ánimas, fuente receptora de vertimientos provenientes del municipio de Santa Isabel, presenta una **MEDIA ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados, siendo mayor la presión (**ALTA**) en el Año Seco, para la meta en carga. Lo anterior indica que la carga vertida para el año 2020, fue menor que la meta.

El río Recio aguas abajo del río la YUCA (RECIO_4), mantiene su condición de presión **ALTA** identificada antes del río la YUCA (RECIO_3). En los tramos finales se mantiene la presión **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados. Para el escenario de Año Medio y de carga según la meta, la categoría de presión disminuye a **MEDIA ALTA**, lo cual indica que la carga vertida para el año 2020 acumulada en este punto, es mayor que la meta.

La quebrada Tautau se encuentra dentro de los límites definidos para la cuenca, sin embargo, esta descarga directamente en el río Magdalena, por lo que no afecta los resultados del IACAL para las corrientes principales (ríos Recio y Venadillo). En la quebrada Tautau no se identifican vertimientos, con lo cual se clasifica como con una **BAJA** presión. Adicionalmente, el municipio de Ambalema realiza un número

importantes de descargas al río Magdalena, las cuales no son objeto del cálculo del IACAL.

Tabla 509. Determinación del IACAL en el río Recio - Venadillo (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
RÍO VENADILLO							
VENADILLO_1A PARCIAL	Arriba de Vertimientos Municipio Venadillo (arriba Q. Galapo)	78,97	BAJA	BAJA	111,97	BAJA	BAJA
GALAPO_1 TOTAL	Q. Los Monos - Q. Galapo Punto de Cierre	13,02	MUY ALTA	MUY ALTA	18,32	MUY ALTA	MUY ALTA
VENADILLO_1 PARCIAL	Arriba captación Pajonales	108,09	ALTA	ALTA	155,80	ALTA	ALTA
VENADILLO_2 TOTAL	Río Venadillo Punto de Cierre	142,22	ALTA	ALTA	202,37	MEDIA ALTA	ALTA
RÍO RECIO							
RECIO_1 PARCIAL	Río Recio (Arriba de Río Azul)	63,02	BAJA	BAJA	115,76	BAJA	BAJA
AZUL_1 TOTAL	Río Azul punto de Cierre	62,02	BAJA	BAJA	109,97	BAJA	BAJA
CASTRILLÓN TOTAL	Q. Castrillón Punto de Cierre	6,07	MUY ALTA	MUY ALTA	11,04	ALTA	MUY ALTA
RECIO_2 PARCIAL	Río Recio Arriba de Q. Santa Rosa (abajo de Q. Castrillón)	243,58	MODERADA	ALTA	422,53	MODERADA	MEDIA ALTA
SANTAROSA_1 TOTAL	Q. Santa Rosa Punto de Cierre	29,11	MUY ALTA	MUY ALTA	40,44	MUY ALTA	MUY ALTA
PEÑAS TOTAL	Q. Peñas Punto de Cierre	60,34	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	102,31	MODERADA	MODERADA
HONDA_RECIO_1 TOTAL	Q. La Honda (Recio) Punto de Cierre	52,57	ALTA	ALTA	78,02	ALTA	ALTA
RECIO_3 PARCIAL	Arriba Q. La Yuca	403,60	ALTA	ALTA	671,96	ALTA	ALTA
YUCA_1A PARCIAL	Río La Yuca Arriba de Q. Las	44,59	BAJA	BAJA	79,17	BAJA	BAJA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
	Ánimas (recibe Vertimientos municipio Santa Isabel)						
ANIMAS_1 TOTAL	Q. Las Ánimas Punto de Cierre	16,93	ALTA	MEDIA ALTA	26,09	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
YUCA_1 TOTAL	Río La Yuca Punto de Cierre	107,41	MODERADA	MODERADA	181,07	MODERADA	MODERADA
RECIO_4 PARCIAL	Río Recio Arriba de Captación Asorecio (abajo de río La Yuca)	530,48	ALTA	ALTA	881,21	ALTA	ALTA
RECIO_5 PARCIAL	Río Recio Arriba captación Pajonales - El Vergel	567,80	ALTA	ALTA	936,06	MEDIA ALTA	ALTA
RECIO_6 TOTAL	Río Recio Punto de Cierre	575,42	ALTA	ALTA	949,27	MEDIA ALTA	ALTA
TAUTAU_1 TOTAL	Q. Tautau Punto de Cierre	31,48	BAJA	BAJA	45,72	BAJA	BAJA

Figura 525. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Recio - Venadillo

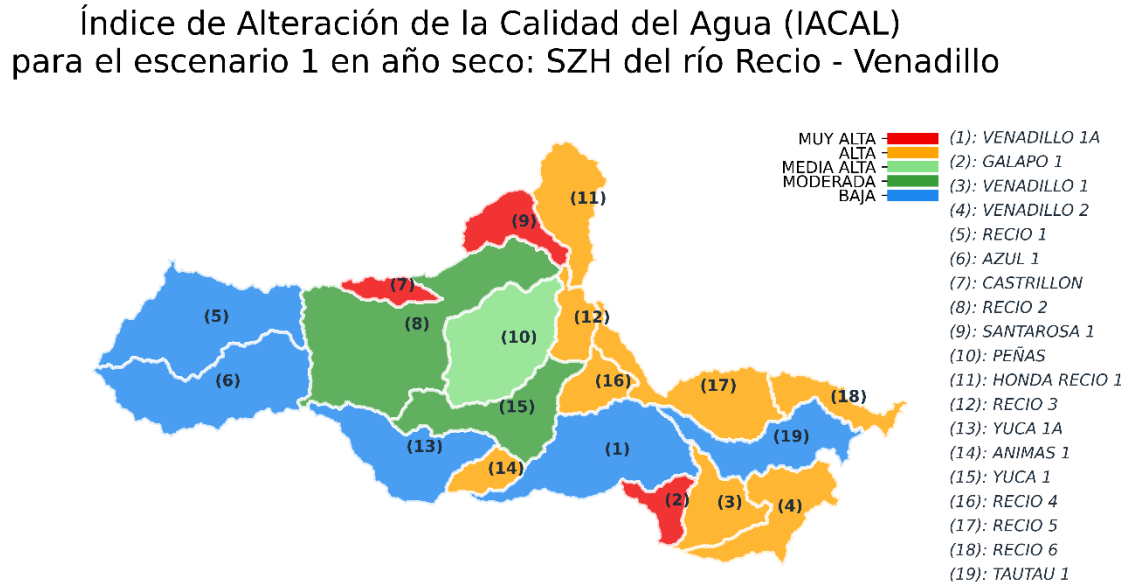


Figura 526. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Recio - Venadillo

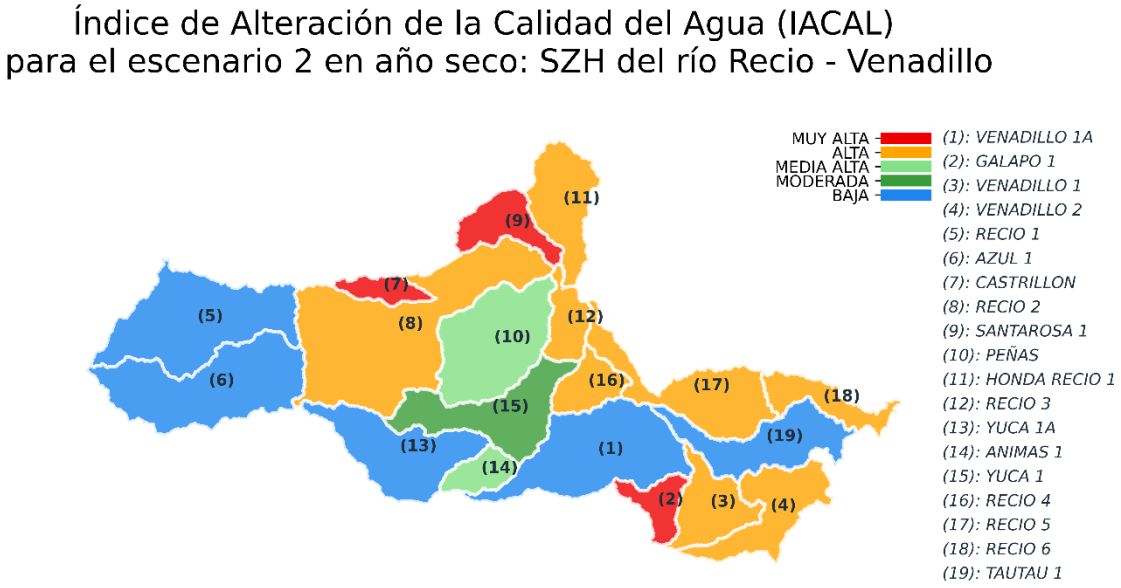


Figura 527. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Recio – Venadillo

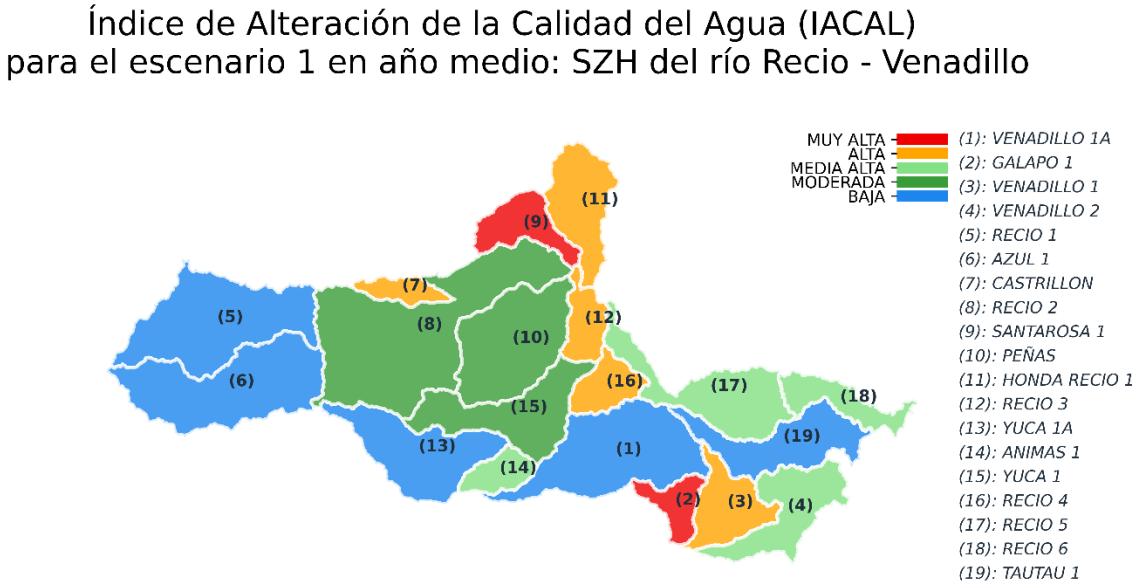
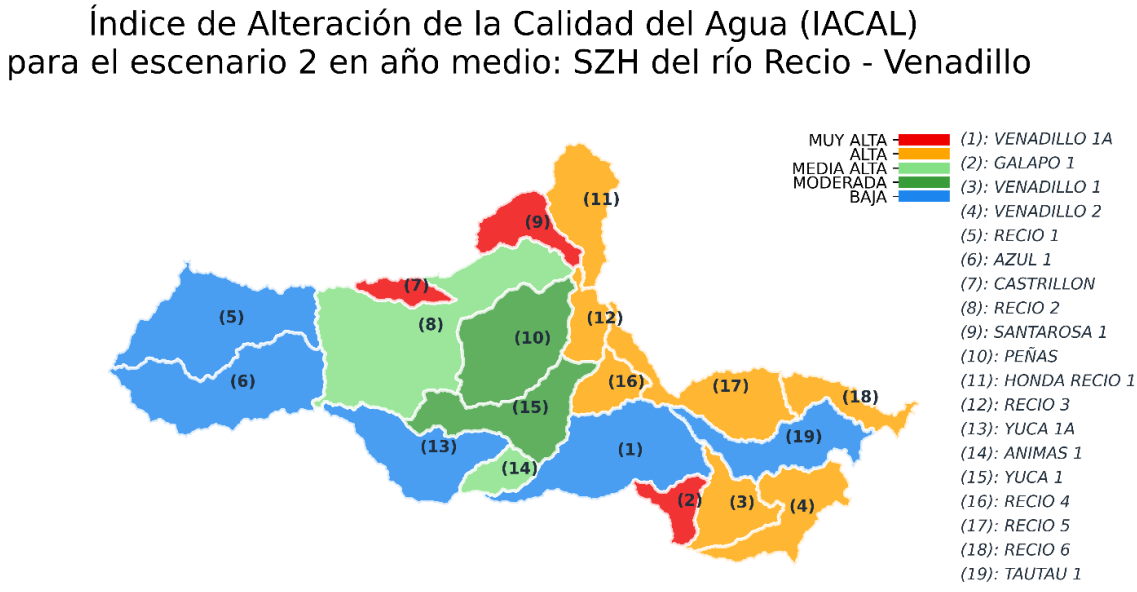


Figura 528. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Recio - Venadillo



31.5. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Lagunilla

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Lagunilla hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

El río Lagunilla en su parte alta (LAGUNILLA_1), aguas arriba del río Vallecitos, presenta una baja presión, debido a la ausencia de cargas. Posteriormente en el tramo LAGUNILLA_2, se presenta un incremento en la presión, definiéndose como **MODERADA** para tres (3) de los cuatro (4) escenarios, y **MEDIA ALTA** para el año Seco con la meta en carga. Este aumento se debe principalmente al posible aporte realizado por el beneficio de café de los municipios de Villahermosa y Líbano y al ingreso de la carga transportada por el río Vallecitos.

El río Vallecitos recibe la carga de la PTAR Vereda el Infierno del municipio de Murillo, presentando una presión **ALTA** en el Año Seco y **MODERADA** a **MEDIA ALTA** en Año Medio.

El río Azufrado es uno de los principales tributarios del río Lagunilla, en su parte alta (AZUFRADO_1A) se presenta una **BAJA** presión debido a la ausencia de cargas identificadas. Posteriormente (AZUFRADO_1), se realizan a través de las quebradas Santa Rita, La Bonita y Calzones, descargas municipales de Casabianca y Villahermosa. Así mismo se identifican posibles aportes de aguas residuales del beneficio de café provenientes de estos municipios, realizados directamente sobre el río Azufrado, o través de estas quebradas, de esta forma se incremente la presión en el río Azufrado siento **ALTA** en el punto de cierre (AZUFRADO_1) en tres (3) de los cuatro (4) escenarios y **MEDIA ALTA** en el Año medio para la meta en carga. Lo anterior indica que la carga aportada en el río Azufrado de manera acumulada en el punto de cierre, es mayor que la meta establecida. La quebrada Santa Rita presenta una presión **MUY ALTA**, la quebrada La Bonita presión **ALTA** considerando la meta proyectada y **MUY ALTA** con la carga aportada, indicando que esta última es mayor que la meta. La quebrada Calzones presenta una presión **ALTA**.

En el tramo LAGUNILLA_3, l corriente principal presenta un incremento en la presión, siendo **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio. Lo anterior se debe en parte, a la carga transportada por el río Azufrado y también al posible aporte de carga proveniente del beneficio de café en los municipios de

Villahermosa, Líbano y Armero. Se encuentra en este tramo el aporte de la PTAR de La Mina de Oro El Gran Porvenir, actividad que puede considerarse de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua, como una posible fuente aportante de mercurio. Sin embargo, de acuerdo con la caracterización realizada el 11 de febrero de 2022 en el marco de la elaboración de la presente Evaluación Regional del Agua, el mercurio no fue detectado, con un límite de 0,001 mg/L.

En el tramo LAGUNILLA_4 s mantiene la clasificación del tramo anterior, **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio.

En el tramo LAGUNILLA_5 ingresa un afluente importante, correspondiente al río Bledo, el cual a su vez tiene como tributarios a la quebrada la Sierra y a la quebrada El Sitio. La quebrada La Sierra reciba las aguas residuales del centro poblado La Sierra y también se observa una pequeña área de cultivo de café en el municipio de Líbano, de esta forma, la presión es **BAJA** con la meta en carga, pero de acuerdo con las cargas registradas para el vertimiento del centro poblado la Sierra, la presión sería mayor, **MEDIA ALTA** en Año Seco y **MODERADA** en Año Medio. La quebrada El Sitio recibe un número importante de descargas del municipio de Lérida, presentando una presión **ALTA** en todos los escenarios analizados. Para el año seco el río Bledo antes y después de estos aportes, se mantiene en la condición **MEDIA ALTA**.

El río Lagunilla, aguas abajo del río Bledo (LAGUNILLA_5) mantiene la clasificación de los tramos anteriores (LAGUNILLA_3 Y LAGUNILLA_4), **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio.

En los siguientes Tramos (LAGUNILLA_6 y LAGUNILLA_7) ingresan los tributarios quebrada El Palmar y quebrada La Joya, en las cuales no se identificó cargas aportantes, por lo tanto, presentan una BAJA presión. En el punto de cierre del río Lagunilla se mantiene la clasificación identificada en los anteriores tramos (LAGUNILLA_3 a LAGUNILLA_6) **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio.

Tabla 510. Determinación del IACAL en el río Lagunilla (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
LAGUNILLA_1 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de río Vallecitos	44,19	BAJA	BAJA	94,88	BAJA	BAJA
VALLECITOS_1 TOTAL	Río Vallecitos Punto de Cierre	14,98	ALTA	MEDIA ALTA	32,90	ALTA	MODERADA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
LAGUNILLA_2 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Río Azufrado	130,46	MEDIA ALTA	MODERADA	253,90	MODERADA	MODERADA
AZUFRADO_1A PARCIAL	Río Azufrado Arriba de Vertimientos Municipio de Casabianca	67,02	BAJA	BAJA	139,31	BAJA	BAJA
SANTA RITA_1 TOTAL	Q. Esmeralda Arriba de Vertimientos Municipio de Villahermosa	2,23	MUY ALTA	MUY ALTA	3,59	MUY ALTA	MUY ALTA
BONITA_1 TOTAL	Q. La Bonita Punto de Cierre	7,19	ALTA	MUY ALTA	11,12	ALTA	MUY ALTA
CALZONES_1 TOTAL	Q. Calzones Punto de Cierre	36,29	ALTA	ALTA	58,47	ALTA	ALTA
AZUFRADO_1 TOTAL	Río Azufrado Punto de Cierre	200,99	ALTA	ALTA	342,54	MEDIA ALTA	ALTA
LAGUNILLA_3 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de captación ASOPINDAL (Abajo de río Azufrado)	409,20	ALTA	ALTA	712,87	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
LAGUNILLA_4 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Río Bledo	426,30	ALTA	ALTA	740,68	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
BLEDO_1A PARCIAL	Río Bledo Arriba de Q. La Sierra	15,93	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	24,58	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
SIERRA_1 TOTAL	Q. La Sierra Punto de Cierre	33,28	BAJA	MEDIA ALTA	48,30	BAJA	MODERADA
SITIO_1 TOTAL	Q. El Sitio (caño Jordán) Punto de Cierre	20,22	ALTA	ALTA	29,48	ALTA	ALTA
BLEDO_1 TOTAL	Río Bledo Punto de Cierre	141,37	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	219,30	MODERADA	MODERADA
LAGUNILLA_5 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Q. El Palmar	580,49	ALTA	ALTA	979,21	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
PALMAS_1 TOTAL	Q. Palmas Punto de Cierre	17,49	BAJA	BAJA	25,62	BAJA	BAJA
LAGUNILLA_6 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Q. La Joya	628,98	ALTA	ALTA	1.054,20	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
JOYA_1 TOTAL	Q. La Joya Punto de Cierre	15,89	BAJA	BAJA	24,81	BAJA	BAJA
LAGUNILLA_7 TOTAL	Río Lagunilla Punto de Cierre	659,64	ALTA	ALTA	1.102,64	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA

Figura 529. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Lagunilla

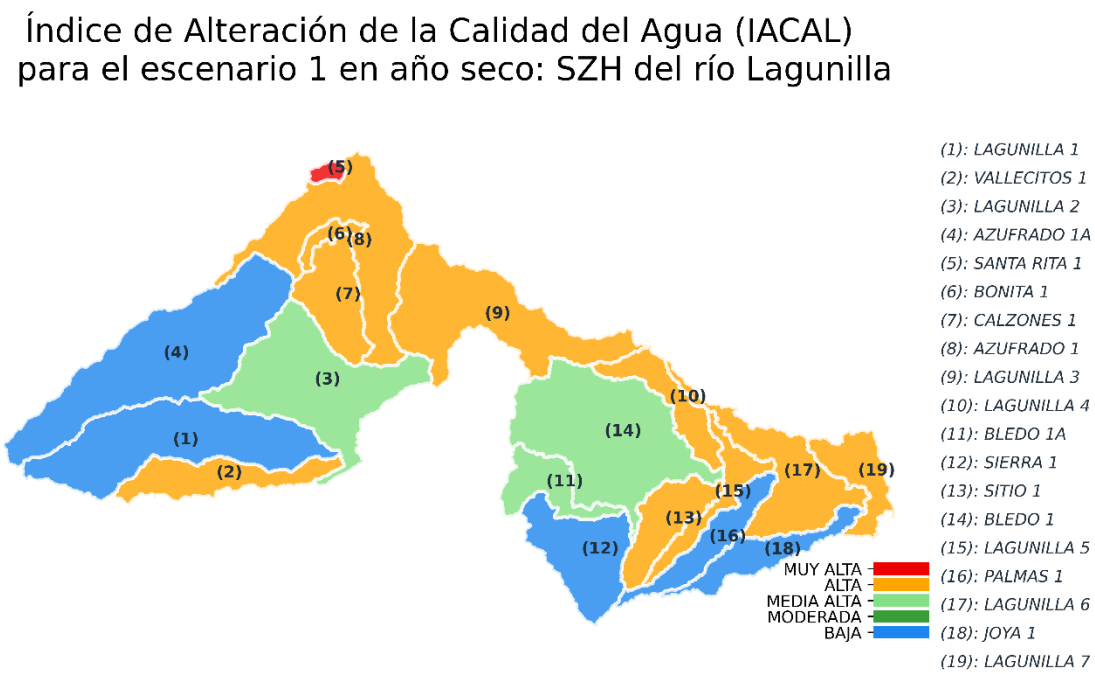


Figura 530. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Lagunilla

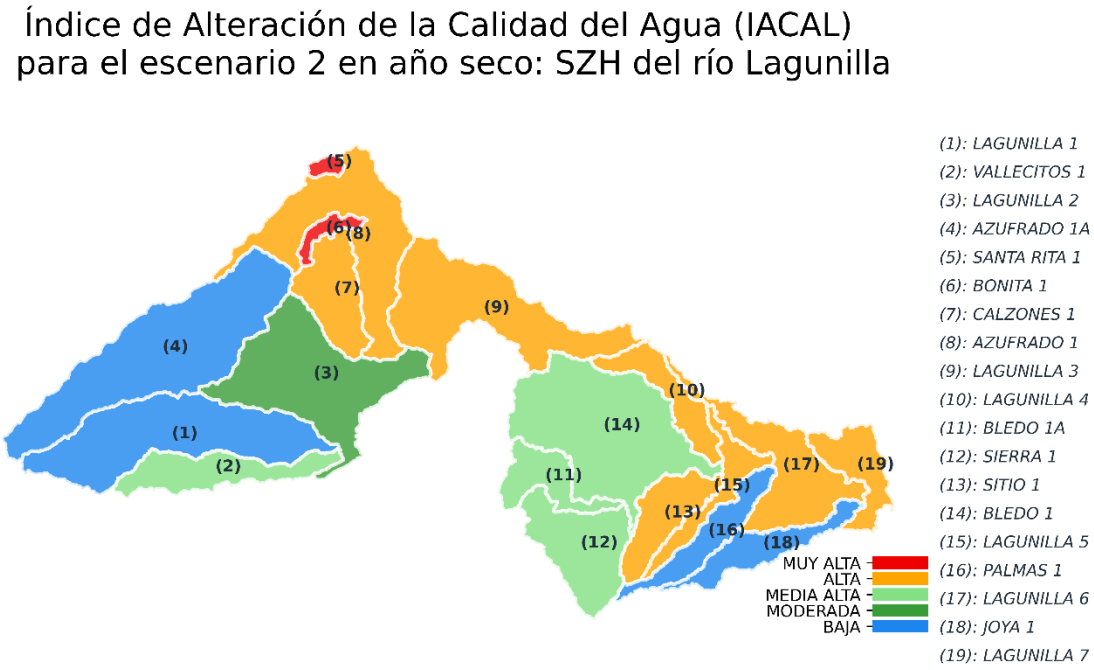


Figura 531. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Lagunilla

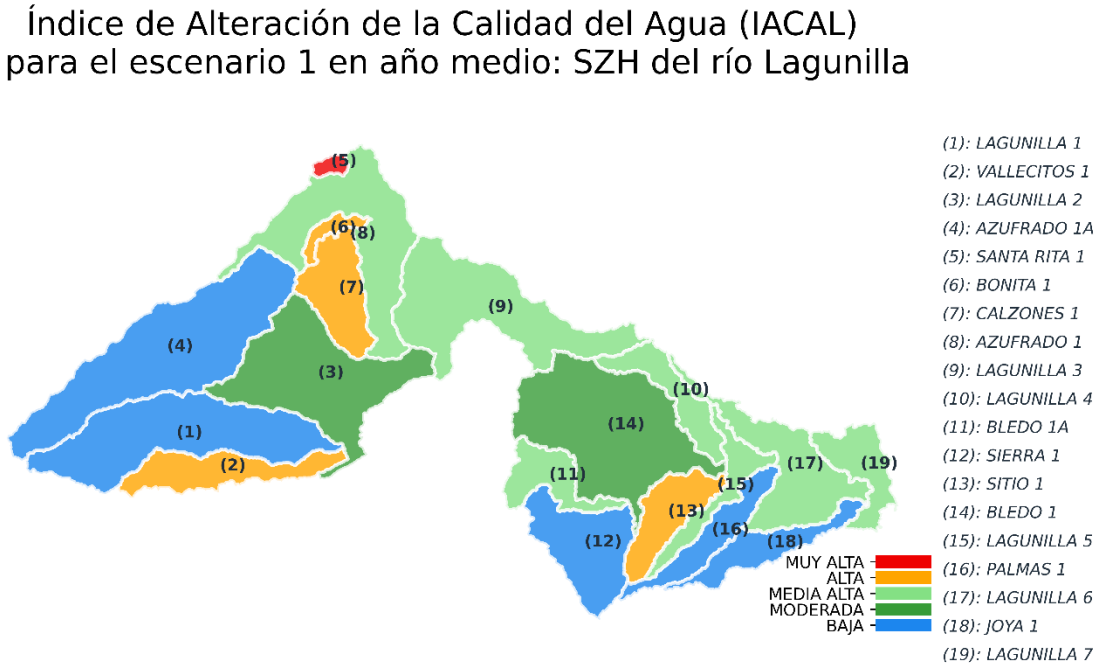
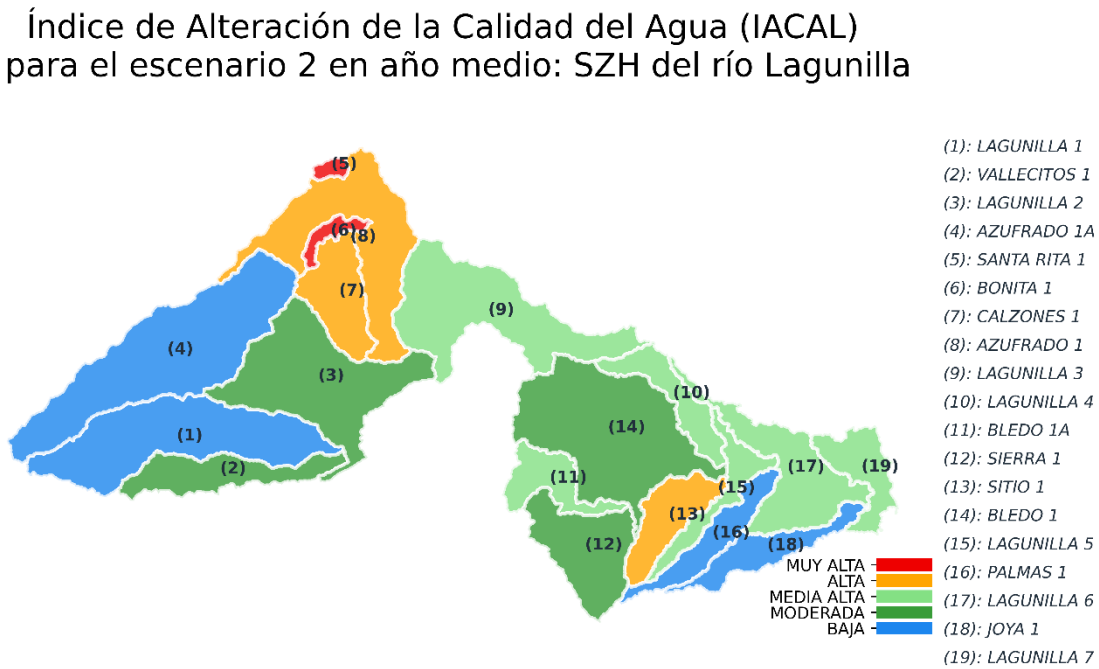


Figura 532. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Lagunilla



31.6. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Sabandija

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Sabandija hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

El primer afluente de importancia del río Sabandija, corresponde a la quebrada El Rompe, la cual presenta una presión **MUY ALTA** debido a su bajo caudal en comparación con la carga de los vertimientos del casco urbano del municipio de Palocabildo y también al posible aporte del beneficio de café en este municipio.

El río Sabandija en su parte alta, aguas arriba del río Cuamo (SABANDIJA_1), presenta una presión **ALTA** que se debe en parte a la contribución que realiza la quebrada El Rompe, pero también debido a las posibles descargas provenientes del beneficio de café de los municipios de Palocabildo, Falán, Casabianca y Guayabal.

En el siguiente tramo (SABANDIJA_2) recibe el aporte del río Cuamo y de la quebrada el Maldito. El río Cuamo presenta una presión **ALTA** en año Seca y **MEDIA ALTA** a **ALTA** en Año Seco, siendo mayor la carga aportada que la meta. La quebrada Murillo, tributaria del río Cuamo, presenta una presión **ALTA** a **MUY ALTA**, debido a los vertimientos del municipio de Falán, con una carga aportada mayor que la meta. La quebrada Morales es otro afluente del río Cuamo, el cual recibe aguas residuales municipales de Falán, con una presión **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, y **MEDIA ALTA** en Año Medio con la meta en carga, indicando la presión puede verse incrementada con la carga medida, la cual es mayor que la meta.

En este mismo tramo (SABANDIJA_2) ingresa la quebrada el Maldito, en la cual se determinó una presión **MUY ALTA** en todos los escenarios, relacionado con su baja oferta en comparación con la carga recibida por parte del casco urbano de Armero (Guayabal). En el punto de cierre, el río Sabandija tiene una **ALTA** presión en todos los escenarios, relacionados en parte con las cargas trasportadas por el río Cuamo y la quebrada el Maldito, así como con las condiciones previas presentadas en el tramo anterior (SABANDIJA_1).

La quebrada Seca se encuentra dentro de los límites definidos para la cuenca, sin embargo, esta descarga directamente en el río Magdalena, por lo que no afecta los resultados del IACAL para la corriente principal (río Sabandija). En la quebrada Tautau se identifican vertimientos municipales de Honda, con lo cual se clasifica

como con una **ALTA** presión con la meta en carga y una presión **MODERADA** y **MEDIA ALTA** con la carga obtenida del seguimiento.

Tabla 511. Determinación del IACAL en el río Sabandija (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
ROMPE TOTAL	Q. El Rompe Punto de Cierre	5,33	MUY ALTA	MUY ALTA	11,72	MUY ALTA	MUY ALTA
SABANDIJA_1 PARCIAL	Río Sabandija Arriba de río Cuamo	95,72	ALTA	ALTA	186,59	ALTA	ALTA
MURILLO_1 TOTAL	Q. Murillo Punto de Cierre	5,62	ALTA	MUY ALTA	11,94	ALTA	ALTA
MORALES_1 TOTAL	Q. Morales Punto de Cierre	10,86	ALTA	ALTA	20,04	MEDIA ALTA	ALTA
CUAMO_1 TOTAL	Río Cuamo Punto de Cierre	48,51	ALTA	ALTA	92,26	MEDIA ALTA	ALTA
MALDITO_1 TOTAL	Q. El Maldito Punto de Cierre	0,06	MUY ALTA	MUY ALTA	0,11	MUY ALTA	MUY ALTA
SABANDIJA_2 TOTAL	Río Sabandija Punto de Cierre	232,20	ALTA	ALTA	434,53	ALTA	ALTA
SECA_1 TOTAL	Q. Seca Punto de Cierre	44,44	ALTA	MEDIA ALTA	94,67	ALTA	MODERADA

Figura 533. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Sabandija

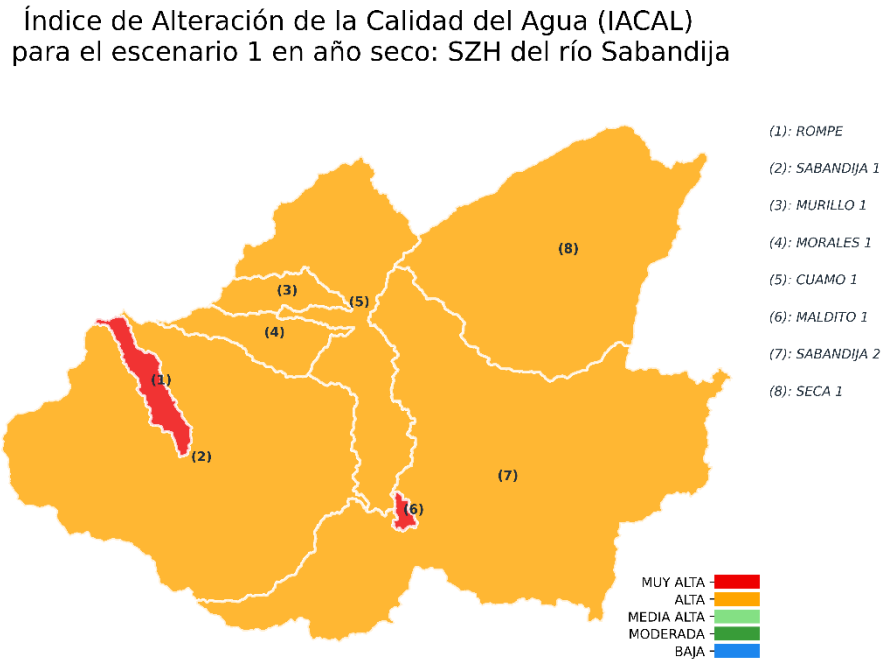


Figura 534. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Sabandija

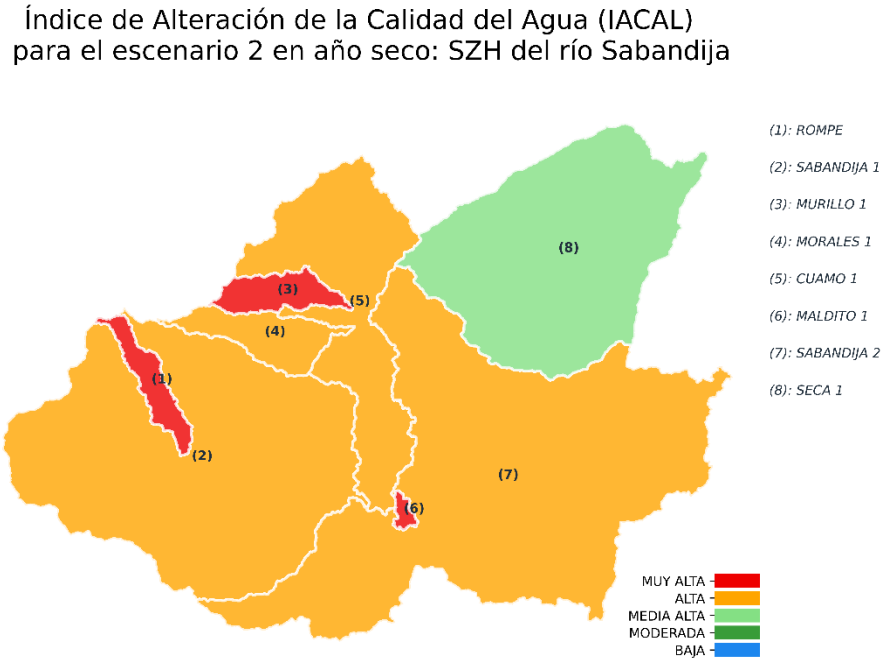
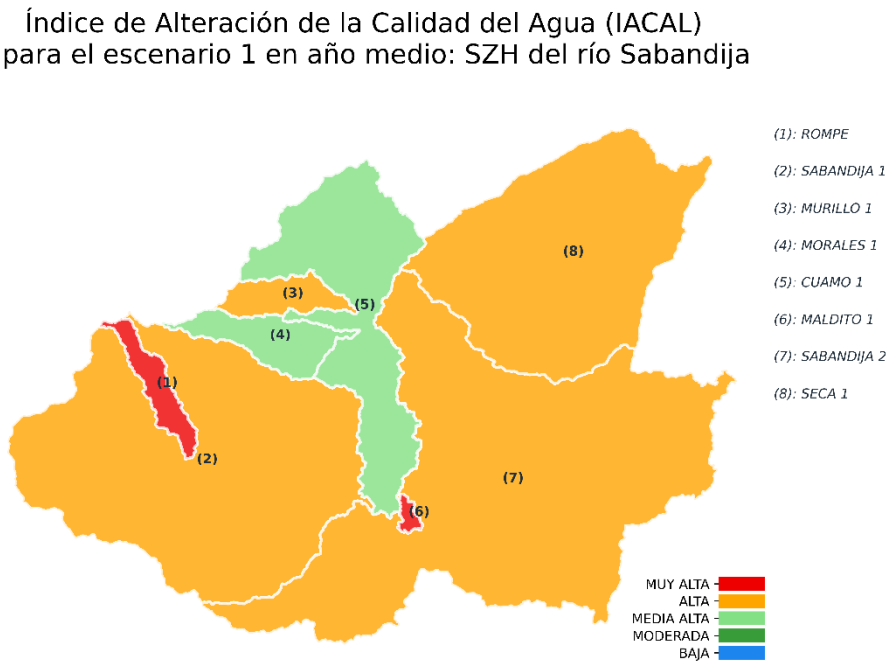


Figura 535. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Sabandija



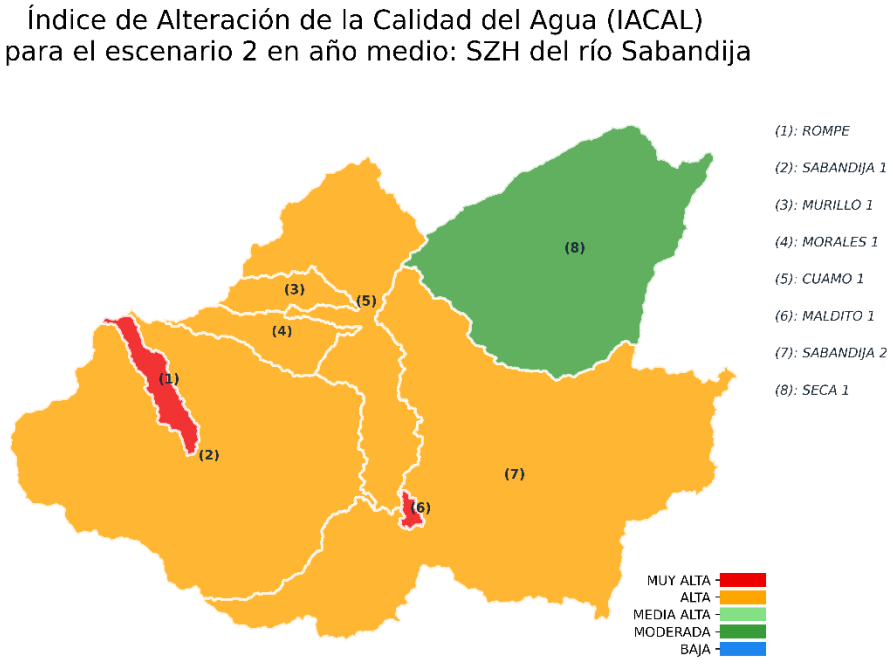


Figura 536. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Sabandija

31.7. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Gualí

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Gualí hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

En su parte alta (GUALí_1), el río Gualí aguas arriba del río Cajones presenta una presión **BAJA**, relacionada con una oferta importante de calidad comparado con una baja carga, que puede aportar el beneficio de café del municipio de Casabianca.

En el siguiente tramo del río Gualí (GUALÍ_2), ingresan los tributarios denominados quebrada Peñoles y río Cajones. La quebrada Peñoles recibe las descargas de ARD y ARnD provenientes de la empresa CENIT, del sector de transporte de hidrocarburos. Las cargas identificadas son bajas, con lo cual la presión identificada también es BAJA. Por otra parte, el río Cajones en su parte una presión Moderada y BAJA. La quebrada el Salado es un afluente del río Cajones que presenta una MUY ALTA Y ALTA, y recibe aguas residuales del municipio de Herveo (a través de la quebrada el Perfume).

En río Gualí, en el tramo GUALí_2 incrementa su presión a **MEDIA ALTA** en Año seco y **MODERADA** en año medio.

El río Gualí en su tramo GUALÍ_3 mantiene el nivel de presión del tramo anterior. En este sector ingresa el río Aguacatal, el cual puede recibir aguas residuales provenientes del beneficio de café del municipio de Herveo, presentando una presión **MODERADA** en Año Seco **BAJA** en año Medio. Adicional a este aporte, también se identifican fuentes potenciales en la cuenca del río Gualí, como los cultivos de café del municipio de Fresno y Casabianca.

En el tramo GUALÍ_4 se presenta mantiene la presión de los tramos anteriores (GUALÍ_2 y GUALÍ_3), **MEDIA ALTA** en Año seco y **MODERADA** en año medio. En este tramo se recibe el aporte del beneficio de café de los municipios de Fresno y Casabianca, adicionalmente en este tramo ingresa la quebrada Guarumo. Esta última, presenta una presión equivalente a la identificada en el río Gualí, relacionada con aportes de beneficio de café principalmente, seguido en menor proporción, de la carga entregada por el municipio de Herveo.

En el tramo GUALÍ_5 se mantiene estable el nivel de presión identificado en los anteriores tramos (GUALÍ_2 a GUALÍ_4), **MEDIA ALTA** en Año seco y **MODERADA**

en año medio. En este tramo ingresa la carga transportada por en la cuenca de la quebrada Agua de Dios con una presión **ALTA** en año Seco, relacionada con el beneficio de Café del Municipio de Casa Bianca.

En el tramo GUALÍ_6 se incrementa la presión a **ALTA** (carga meta) y se mantienen en **MEDIA ALTA** (carga vertida) en Año Seco y se incrementa a **MEDIA ALTA** en año medio. En este tramo ingresan dos quebradas importantes, San José con una presión **ALTA**; relacionado con un bajo caudal frente al posible aporte del beneficio de café de los municipios de Palocabildo y Casabianca. En este tramo también ingresa la quebrada Hospital, la cual presenta una presión **MUY ALTA**, relacionada con el aporte del vertimiento Las Chapoleras del municipio de Herveo. Adicionalmente a estos aportes, el río Gualí recibe varias descargas municipales de Palocabildo y posibles descargas del beneficio de café del municipio de Fresno y Palocabildo.

En el tramo GUALÍ_7 la presión continúa aumentando, llegando a ser **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados, solo con la meta en carga para el Año Medio se presenta una presión **MEDIA ALTA**, lo cual indica que actualmente la carga meta es superada en este punto. Estos niveles elevados de presión se relacionan con las condiciones aguas arriba y con el aporte de los vertimientos de ARD que realiza el municipio de Mariquita, incluyendo en menor proporción, la descarga de ARnD de la Planta de Beneficio Animal. Adicionalmente, la presión se refuerza debido al ingreso de la quebrada la Nicua, la cual recibe un número importante de vertimientos del municipio de Fresno, con presiones **ALTAS** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados y **MUY ALTA**, en el Año Seco con la meta en carga, indicando que la carga aportada en este punto es menor que la meta.

En el tramo GUALÍ_8 se mantiene el nivel de presión identificado en GUALÍ_7, **ALTA** y **MEDIA ALTA**, a pesar de que ingresa un afluente denominado río Sucio con una menor presión, siendo esta **MODERADA** en todos los escenarios. El río Sucio recibe uno de los vertimientos del municipio de Fresno (Sector Barrio Caldas), y también, con una mayor carga, el posible aporte del beneficio de café de este municipio. Adicionalmente, a través de la quebrada Grande (presión **BAJA**) se recibe una baja carga de ARnD proveniente de la empresa CENIT, del sector de transporte de hidrocarburos; y a través de la quebrada Cantadera (presión **BAJA** Y **MODERADA**), se realiza la descarga de ARnD proveniente de la actividad piscícola.

En su tramo final el río Gualí mantiene su nivel de presión **ALTO** en los escenarios con la carga aportada (seguimiento de la meta 2020) y en el escenario de meta en carga para año Medio, mientras que para el escenario de meta en carga para el Año Seco se reduce la presión desde **ALTA** hacia **MEDIA ALTA**. En este

tramo del río Gualí, se reciben varias descargas municipales de Honda, incluyendo el aporte en menor medida, de las ARnD de la Planta de Beneficio Animal de este municipio. Los resultados indica que, para este punto, la carga acumulada aportada según el seguimiento es mayor que la meta en carga para el año 2020, es decir, que se requiere cumplir con la meta para reducir la presión en el río Gualí.

Dentro de esta unidad se encuentran otros vertimientos del municipio de Honda que descargan directamente en el río Magdalena, por lo tanto, aunque se cuantificó la carga aportada para diferentes escenarios, no se determina el IACAL.

Tabla 512. Determinación del IACAL en el río Gualí (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
GUALÍ_1 PARCIAL	Río Gualí Arriba de Río Cajones	75,49	BAJA	BAJA	136,62	BAJA	BAJA
PEÑOLES_1 TOTAL	Q. Peñoles Punto de Cierre	9,93	BAJA	BAJA	18,80	BAJA	BAJA
SALADO_1 TOTAL	Q. El Salado Abajo de Vertimientos Herveo	2,44	MUY ALTA	ALTA	4,54	ALTA	ALTA
CAJONES_1 TOTAL	Río Cajones Punto de Cierre	62,49	MODERADA	MODERADA	113,33	MODERADA	BAJA
CIEGA_1 TOTAL	Q. Ciega Punto de Cierre	1,60	MUY ALTA	MUY ALTA	2,96	MUY ALTA	MUY ALTA
GUALÍ_2 PARCIAL	Río Gualí Arriba de río Aguacatal	156,59	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	284,54	MODERADA	MODERADA
AGUACATAL_1 TOTAL	Río Aguacatal Punto de Cierre	81,30	MODERADA	MODERADA	145,94	BAJA	BAJA
GUALÍ_3 PARCIAL	Río Gualí Arriba de Q. Guarumo	249,01	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	452,49	MODERADA	MODERADA
GUARUMO_1 TOTAL	Q. Guarumo Punto de Cierre	14,53	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	27,97	MODERADA	MODERADA
GUALÍ_4 PARCIAL	Río Gualí Arriba de Q. Agua de Dios	279,88	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	513,97	MODERADA	MODERADA
AG_DIOS_1 TOTAL	Q. Agua de Dios Punto de Cierre	13,03	ALTA	ALTA	26,46	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
GUALÍ_5 PARCIAL	Río Gualí Arriba Q. San José	296,31	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	547,10	MODERADA	MODERADA
SAN_JOSE_1 TOTAL	Q. San José Punto de Cierre	7,97	ALTA	ALTA	16,49	ALTA	ALTA
HOSPITAL_1 TOTAL	Caño El Hospital Punto de Cierre	0,98	MUY ALTA	MUY ALTA	2,23	MUY ALTA	MUY ALTA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
GUALÍ_6 PARCIAL	Río Gualí Arriba Q. Nicua	348,05	MEDIA ALTA	ALTA	651,11	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
NICUA_1 TOTAL	Q. La Nicua Punto de Cierre	13,31	MUY ALTA	ALTA	26,42	ALTA	ALTA
GUALÍ_7 PARCIAL	Río Gualí Arriba de río Sucio	378,36	ALTA	ALTA	706,76	MEDIA ALTA	ALTA
GRANDE_1 TOTAL	Q. Grande Punto de Cierre	6,69	BAJA	BAJA	10,37	BAJA	BAJA
CANTADERA_1 TOTAL	Q. Cantadera Punto de Cierre	18,49	MODERADA	BAJA	28,39	BAJA	BAJA
SUCIO_1 TOTAL	Río Sucio Punto de Cierre	116,41	MODERADA	MODERADA	190,75	MODERADA	MODERADA
GUALÍ_8 PARCIAL	Río Gualí Arriba de río Medina	498,96	ALTA	ALTA	904,05	MEDIA ALTA	ALTA
ALEGRIAS_1 TOTAL	Q. de Alegrías Punto de Cierre	2,22	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	5,37	MODERADA	MODERADA
MEDINA_1 TOTAL	Río Medina Punto de Cierre	131,13	MODERADA	MODERADA	212,23	MODERADA	MODERADA
GUALÍ_9 TOTAL	Río Gualí Punto de Cierre	753,43	MEDIA ALTA	ALTA	1.317,01	MEDIA ALTA	ALTA

Figura 537. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Gualí

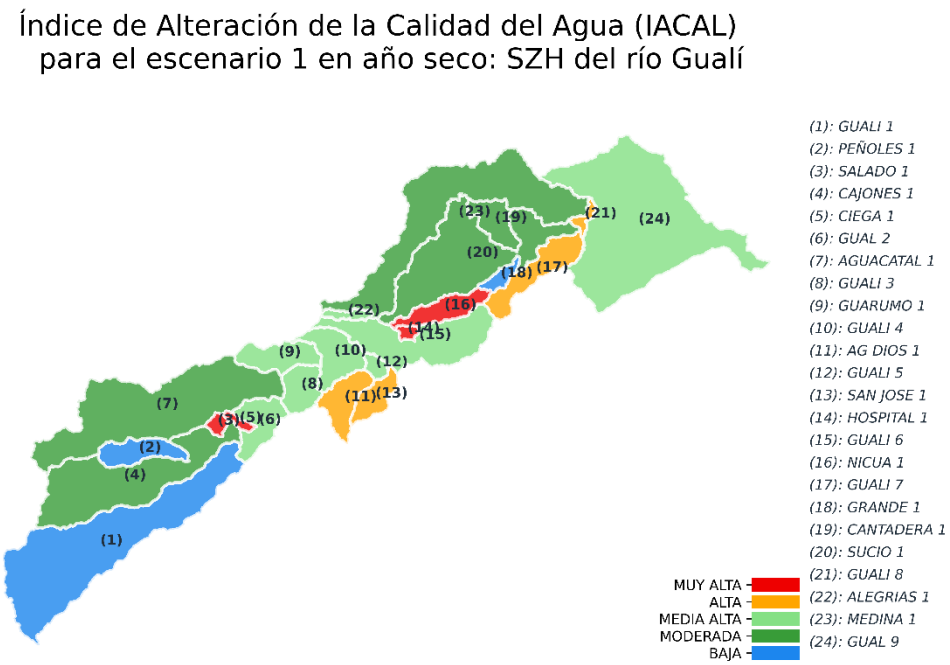


Figura 538. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Gualí

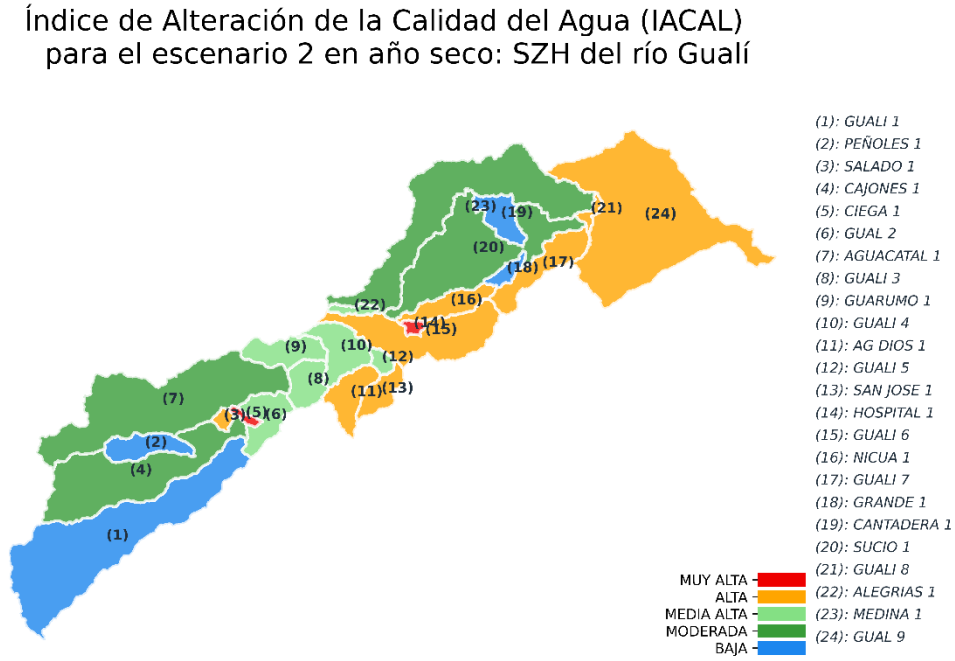


Figura 539. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Gualí

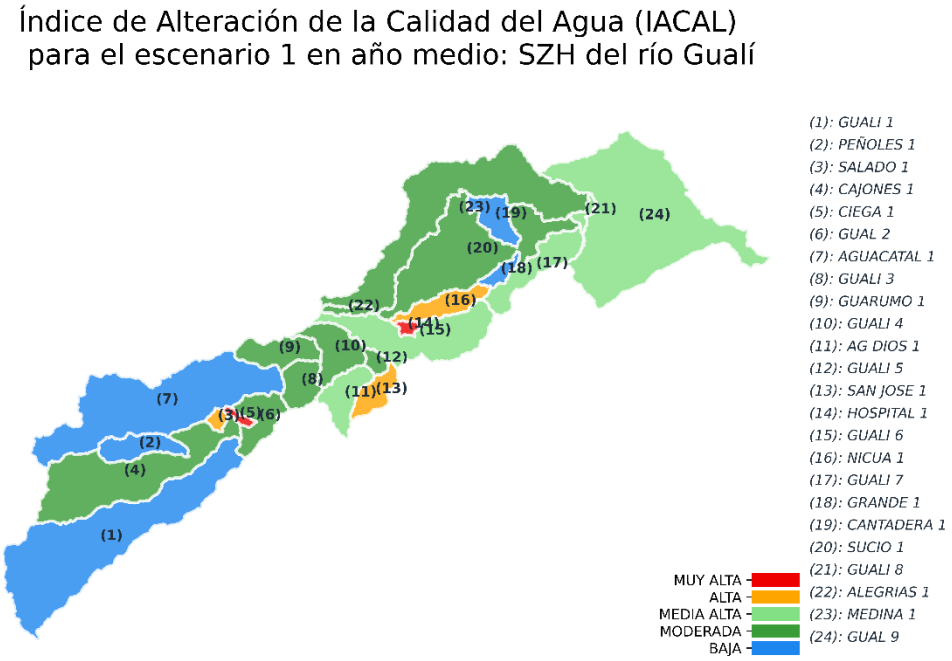
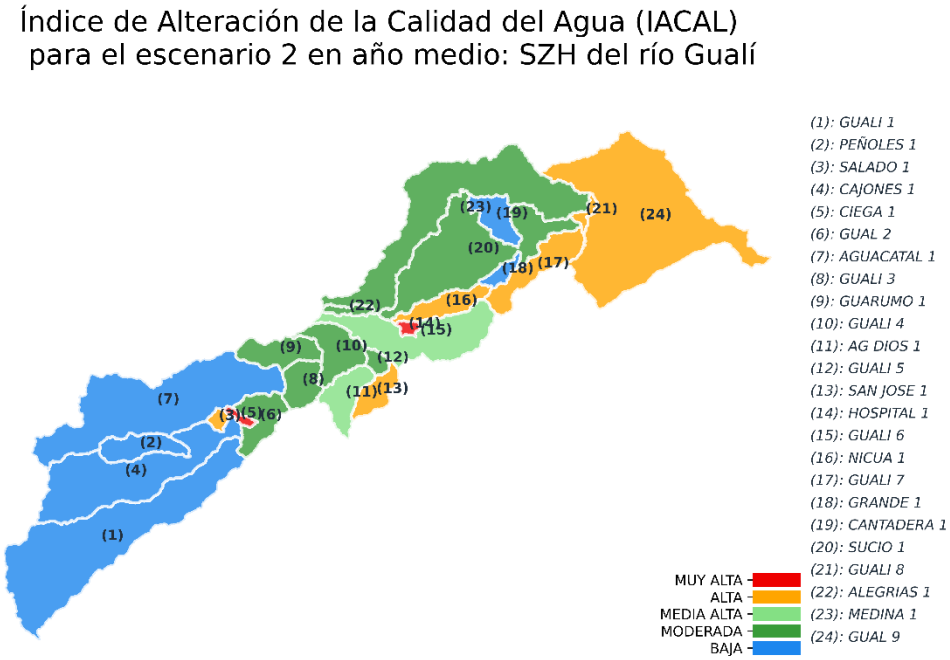


Figura 540. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Gualí



31.8. Determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua – IACAL para la Cuenca del río Guarinó

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Guarinó hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden. Esta corriente presenta una condición particular en comparación con las otras cuencas analizadas, debido a que parte de las cargas aportadas provienen del departamento de Caldas.

En su parte alta (GUARINÓ_1) el río Guarinó presenta una **BAJA** presión, aguas arriba del río Hondo, debido a la ausencia de cargas identificadas.

En el siguiente tramo (GUARINÓ_2) ingresa el primer afluente de importancia, el río Hondo, corriente que recibe aguas residuales provenientes del alcantarillado del municipio de Marulanda (EMPOCALDAS S.A. E.S.P), y en menor medida, de la población no cubierta por el alcantarillado, con lo cual se presenta una presión **MODERADA**. No se identifican otros aportes en este tramo, y el río Guarinó mantiene el nivel de presión **BAJO** identificado en el tramo anterior.

En el siguiente tramo (GUARINÓ_3) el río Guarinó incrementa su presión a **MODERADA** en todos los escenarios, debido principalmente al posible aporte del beneficio de café de los municipios de Fresno, Herveo y Manzanares, y en menor proporción, debido al aporte de una parte de los vertimientos municipales de Herveo.

En el tramo GUARINÓ_4 la presión se incrementa hasta **MEDIA ALTA**, condición que se debe principalmente a la carga transportada desde el tributario río Santo Domingo y en segundo lugar a los posibles aportes de carga del beneficio de café de los municipios de Fresno y Manzanares. El río Santo Domingo presenta una presión **ALTA** en todos los escenarios, debido principalmente al posible aporte del beneficio de Café del municipio de Manzanares, seguido de los vertimientos del municipio de Manzanares, a través del alcantarillado público (EMPOCALDAS S.A. E.S.P.) y la población no cubierta por el alcantarillado y en menor proporción, por la Planta de Beneficio Animal.

En el tramo GUARINÓ_5 se mantiene la presión identificada en el tramo anterior (**MEDIA ALTA**), En este tramo se presume que puede recibirse un aporte importante debido al beneficio de café del municipio de Fresno y de Marquetalia. A través de la quebrada La Minita, ingresan cargas municipales de Marquetalia provenientes del alcantarillado público (EMPOCALDAS S.A. E.S.P.) y de la población no cubierta por

el alcantarillado. En este tramo ingresa la quebrada San Juan, la cual presenta condiciones de presión **MEDIA ALTA** en Año Seco y **MODERADA** en Año Medio.

En el tramo GUARINÓ_6 se mantiene la presión **MEDIA ALTA** identificada en los tramos anteriores (GUARINÓ_4 Y GUARINÓ_5). Los aportes de carga identificados se realizan en la quebrada El Jardín, provenientes de la PTAR del municipio de Victoria (EMPOCALDAS S.A. E.S.P), seguido de la población no cubierta por la red de alcantarillado público y en menor medida, por la Planta de Beneficio Animal.

En su tramo final (GUARINÓ 7), el río Guarinó mantiene el nivel de presión **MEDIA ALTA** identificado en los tramos anteriores (GUARINÓ_4 a GUARINÓ_6) para el Año Seco, pero logra reducirse en el Año Medio a **MODERADA**, condición que se ve favorecida por el aumento en la OHT.

Tabla 513. Determinación del IACAL en el río Guarinó (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
GUARINÓ_1 PARCIAL	Río Guarinó Arriba del río Hondo	74,51	BAJA	BAJA	133,71	BAJA	BAJA
HONDO_1 TOTAL	Río Hondo Desembocadura en el río Guarinó	93,87	MODERADA	MODERADA	160,50	MODERADA	MODERADA
GUARINÓ_2 PARCIAL	Río Guarinó abajo del río Hondo - Arriba del río Perrillo	343,37	BAJA	BAJA	596,74	BAJA	BAJA
PERRILLO_1 TOTAL	Río Perrillo divisoria de aguas -Desembocadura en el río Guarinó	165,78	BAJA	BAJA	282,65	BAJA	BAJA
GUARINÓ_3 PARCIAL	Río Guarinó Arriba del río Santo Domingo	568,77	MODERADA	MODERADA	984,78	MODERADA	MODERADA
DOMINGO_1 TOTAL	Río Santo Domingo divisoria de aguas - Desembocadura en el río Guarinó	126,33	ALTA	ALTA	208,21	ALTA	ALTA
GUARINÓ_4 PARCIAL	Río Guarinó abajo de río Santo Domingo - Arriba de río San Juan	798,34	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.349,49	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
JUAN_1 TOTAL	Río San Juan divisoria de aguas - Desembocadura en el río Guarinó	35,66	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	52,49	MODERADA	MODERADA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
GUARINÓ_5 PARCIAL	Río Guarinó abajo de río San Juan - Arriba de Trasvase La Miel	933,22	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.548,89	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
GUARINÓ_6 PARCIAL	Río Guarinó Arriba de Trasvase La Dorada	1.005,91	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.660,49	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
GUARINÓ_7 TOTAL	Río Guarinó Punto de Cierre	1.089,24	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.783,69	MODERADA	MODERADA

Figura 541. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Guarinó

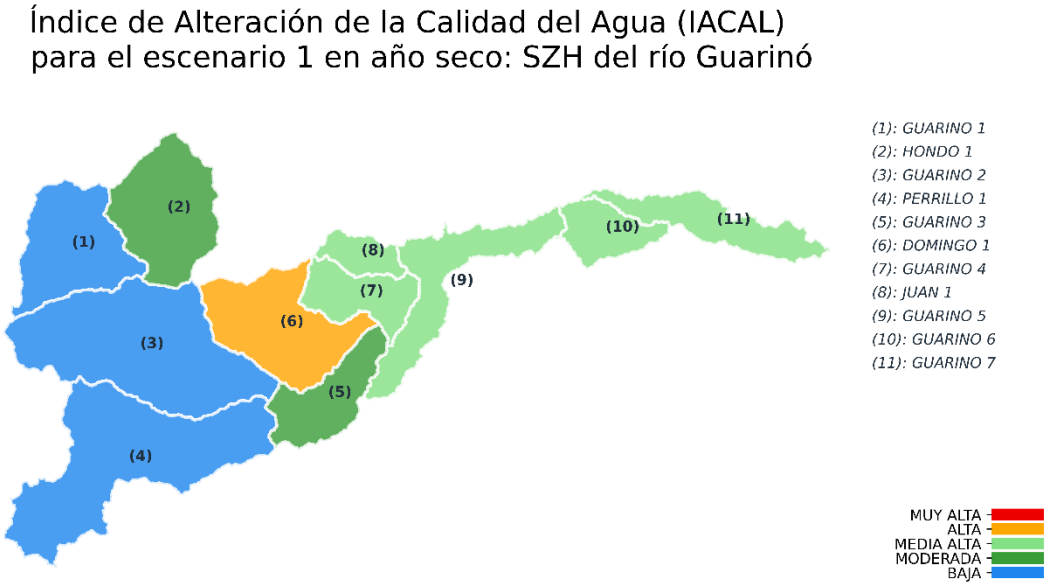


Figura 542. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Guarinó

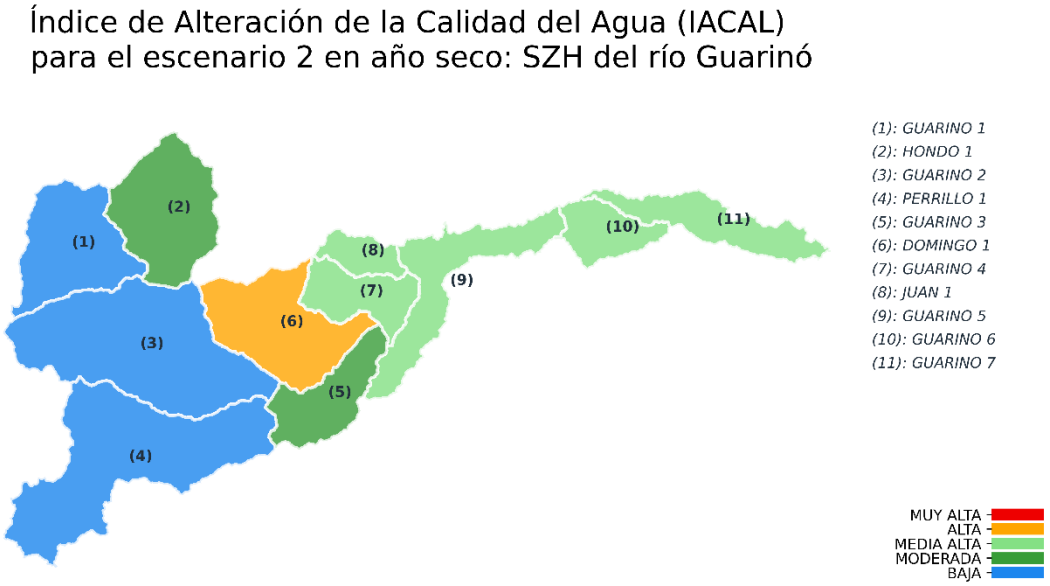


Figura 543. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Guarinó

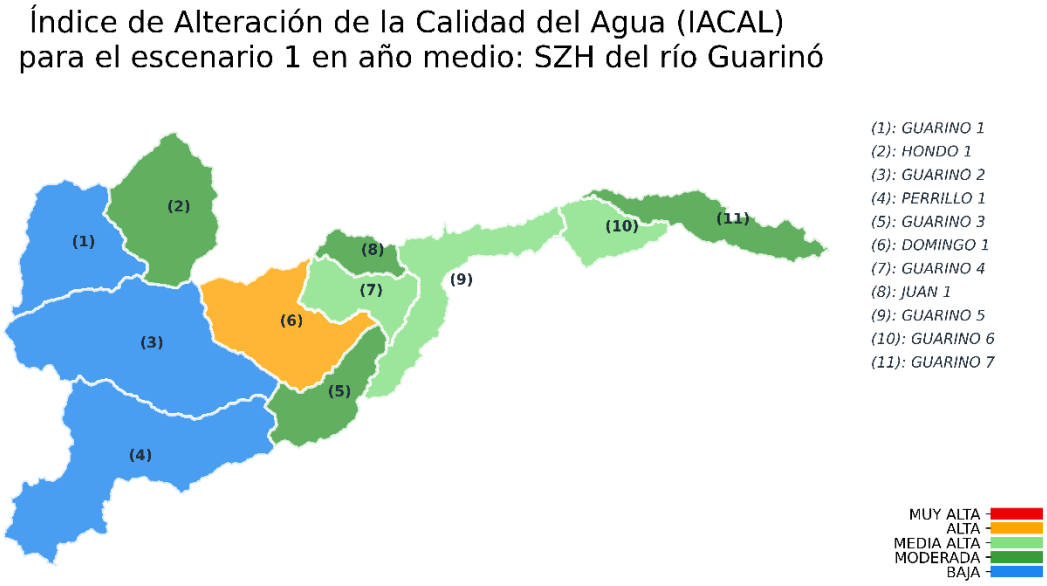
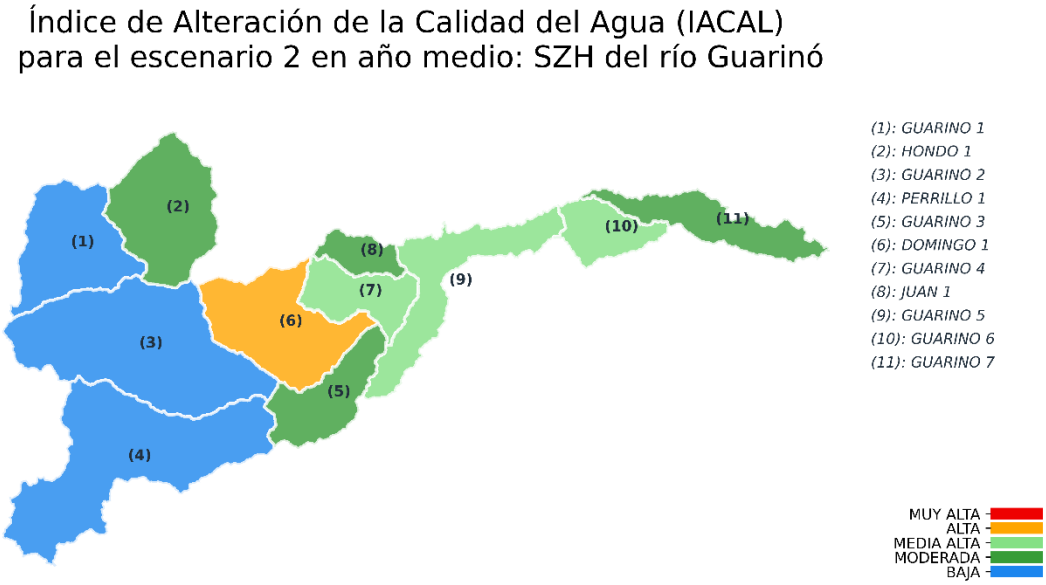


Figura 544. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Guarinó



32. Conclusiones sobre la calidad físico química y microbiológica

· Las cargas aportadas por los diferentes vertimientos realizados en las Subzonas Hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Guarinó y Gualícuenca del río Opia provienen principalmente del sector doméstico, industrial (por ejemplo: transporte de hidrocarburos), sacrificio animal (plantas de beneficio animal y piscicultura), disposición de residuos y beneficio de café.

· Se identificó la necesidad de contar con información más detallada sobre el beneficio del café en el departamento del Tolima, incluyendo caracterizaciones de las aguas residuales para de esta manera tener una mejor cuantificación de la carga aportada a las fuentes hídricas por esta actividad.

Los índices de calidad de agua calculados para cada una de las cuencas, indican que, en gran parte de las zonas altas, corrientes conservadas y tramos con variaciones importantes de pendiente, los cuerpos de agua muestran una capacidad de depuración y oxigenación importantes para la recuperación de la calidad de agua. Sin embargo, es evidente que los aportes de agua residual domestica que provienen de los centros poblados y las actividades agrícolas, inciden negativamente en la calidad de los cuerpos de agua de las Subzonas hidrográficas analizadas. En este sentido, se requieren priorizar en medidas de manejo y de

protección de las fuentes hídricas que abastecen los diferentes centros poblados, puesto que muchos de estos cuentan con condiciones calidad del agua regular. Adicionalmente, en la medida en que se tenga información más detallada sobre el beneficio del café en el departamento del Tolima, incluyendo caracterizaciones de las aguas residuales se tendrá una mejor cuantificación de la carga aportada por estas actividades.

A continuación, se presentan las conclusiones a nivel de Subzona Hidrográfica:

- **Río Coello**

En su parte Alta (COELLO_1) el río Coello Presenta un BAJO IACAL, donde recibe algunos aportes debido al beneficio de Café, luego del ingreso del río Bermellón aumenta la presión a ALTA y MEDIA ALTA (COELLO_2), condición que se mantiene abajo del río Cocora (COELLO_3). El efecto del río Combeima sobre el río Coello es notable, incrementado su presión a MUY ALTA (COELLO_4), condiciones que se mantienen hasta los siguientes tramos (COELLO_5 hasta COELLO_7) y que se relacionan principalmente con los vertimientos municipales de Ibagué.

- **Río Opia**

En su primer tramo (OPIA_1) presenta presiones entre las categorías MUY ALTA y ALTA, debido a los vertimientos del municipio de Ibagué, que ingresan cerca de la divisoria de aguas. Esta situación también se observa en el afluente principal, la quebrada Doima (MUY ALTA), debido a otra parte de los vertimientos municipales de Ibagué.

El río OPIA antes de entregar sus aguas al río Magdalena presenta una presión MUY ALTA. De esta forma se encuentra que el principal tensor para esta cuenca corresponde a los vertimientos de Ibagué.

- **Río Totare**

En su parte alta se presenta una presión BAJA en la calidad del agua (TOTARE1 a TOTARE_2A), con algunos posibles aportes del beneficio de café. Aguas abajo de las quebradas el Fierro y La Rica, las cuales transportan aguas residuales del municipio de Anzoátegui y Santa Isabel, se incrementa la presión a MEDIA ALTA en Año Seco (TOTARE_2 a TOTARE_3).

Abajo del río Alvarado (en cuya cuenca se reciben varios vertimientos municipales, así como descargas del beneficio de café), se incrementa en el río Totare la presión a ALTA y MUY ALTA de la calidad del agua en Año Seco y finalmente, antes de su entrega al río Magdalena, la presión es MUY ALTA en todos

los escenarios, condición reforzada por el ingreso del río Chipalo con presión MUY ALTA, debido principalmente al aporte de cargas del municipio de Ibagué.

- **Río Recio - Venadillo**

El río Venadillo en su parte alta (VENADILLO_1A) tiene una BAJA presión en la calidad del agua, la cual aumenta hasta ALTA (VENADILLO_1), debido a los vertimientos del municipio de Venadillo. Esta ALTA presión se mantiene hasta su desembocadura en el río Magdalena (VENADILLO_3)

El río Recio aumenta su presión desde BAJA (RECIO_1) hasta MODERADA y ALTA debido a posibles aportes de beneficio de café y a los vertimientos del municipio de Murillo. Posteriormente ingresan las quebradas Santa Rosa, La Peña y Honda, en las cuales se reciben aportes del beneficio de café y además vertimientos del municipio de Líbano, con lo cual el río Recio incrementa su presión a ALTA aguas abajo de estas quebradas (RECIO_3) y se mantiene aguas abajo del río La Yuca, hasta su desembocadura en el río Magdalena, a través del cual vertimientos del municipio de Santa Isabel.

- **Río Lagunilla:**

El río Lagunilla presenta una presión BAJA en la calidad del agua antes del río Vallecitos (LAGUNILLA_1), y posterior a este río (LAGUNILLA_2), aumenta hasta MODERADA Y MEDIA ALTA, debido a posibles aportes del beneficio de café y un vertimiento del municipio de Murillo. El río Lagunilla recibe a través del río Azufrado aportes de aguas residuales de los municipios de Casabianca y VillaHermosa y del beneficio de café, con lo cual se incrementa su presión hasta ALTA en año Seco (LAGUILLA_3), condición que se mantiene aguas abajo del río Bledo (LAGUNILLA_4), luego de recibir descargas del centro poblado La Sierra y del casco urbano del municipio de Lérida. Posteriormente ingresan otros aportantes como la quebrada el Palmar y la Joya con una Baja presión, sin embargo, el río Lagunilla antes de su entrega al río Magdalena (LAGUNILLA_7), mantiene una presión ALTA en año Seco.

- **Río Sabandija**

En su primer tramo, aguas arriba del río Cuamo (SABANDIJA_1) el río Sabandija presenta una presión ALTA en la calidad del agua, relacionada con la carga transportada la quebrada EL Rompe que recibe vertimientos del municipio de Palocabildo, y también se relaciona con el posible aporte del beneficio de café de los municipios de Palocabildo, Falán Casabianca y Armero.

En el punto de cierre (SABANDIJA_2) se mantiene la presión en ALTA en la calidad del agua, debido a las condiciones del tramo anterior y también a los aportes que se realizan de los vertimientos municipales de Falán.

- **Río Gualí**

En su parte alta (GUALÍ_1) se presenta una BAJA presión en la calidad del agua, antes del ingreso de la quebrada Cajones, posteriormente (GUALÍ_2 a GUALÍ_5), se incrementa la presión a MEDIA ALTA en Año Seco, debido a los aportes indirectos de vertimientos del municipio de Herveo y cultivos de café del municipio de Fresno y Casabianca.

En el tramo GUALÍ_6 se incrementa la presión a ALTA en año seco debido al ingreso de la quebrada San José, el Hospital, incluyendo vertimientos del municipio de Herveo y Palocabildo, así como aportes del beneficio de café de los municipios de Palocabildo, Casabianca y Fresno.

En su punto de cierre, en la desembocadura en el río Magdalena (GUALÍ_9) presenta una presión ALTA, relacionada con las condiciones de los tramos anteriores, así como con los aportes de las descargas municipales de Honda.

- **Río Guarinó**

En su parte alta (GUARINÓ_1 y GUARINÓ_2) se presenta un nivel BAJO de presión en la calidad del agua, zona en la que se recibe el aporte del vertimiento del municipio de Marulanda a través del río Hondo. Posteriormente (GUARINÓ_3), aumenta la presión a MODERADA, relacionado con posibles aportes del beneficio de café y a vertimientos municipales de Herveo. Debido al ingreso del río Santo Domingo, el cual transporta las cargas de los vertimientos del municipio de Manzanares, se incrementa la presión en este tramo (GUARINÓ_4) a MEDIA ALTA, condición que se mantiene en GUARINÓ_5, luego de los aportes de las cargas municipales de Marquetalia. Este nivel de presión en la calidad del agua se mantiene luego del vertimiento del municipio de Victoria, hasta la desembocadura en el río Magdalena.

33. Estudio Hidrobiológico.

Los ecosistemas acuáticos son altamente complejos y de suma importancia para el mantenimiento de la vida en general, participan en múltiples procesos ecológicos y albergan una biota masiva y de gran importancia. Actualmente estos ecosistemas presentan un deterioro progresivo a causa de la sobreexplotación directa y por causa de impactos de tipo antropogénico, como por ejemplo el uso desmedido del agua y la descarga de residuos líquidos y sólidos provenientes de algunas actividades como la minería, generación de energía, canalización, entre otros (Goular et al. 2009), estos factores de riesgo impactan directamente las comunidades de organismos acuáticos, afectando su dinámica y desarrollo dentro del medio acuático, por esta razón se hace necesaria la evaluación de estos cuerpos de agua y de las comunidades que hacen parte de ellos. Dentro de la biota acuática, el perifiton, los macroinvertebrados acuáticos y los peces tienen particular importancia para la valoración ecológica del estado de un rio.

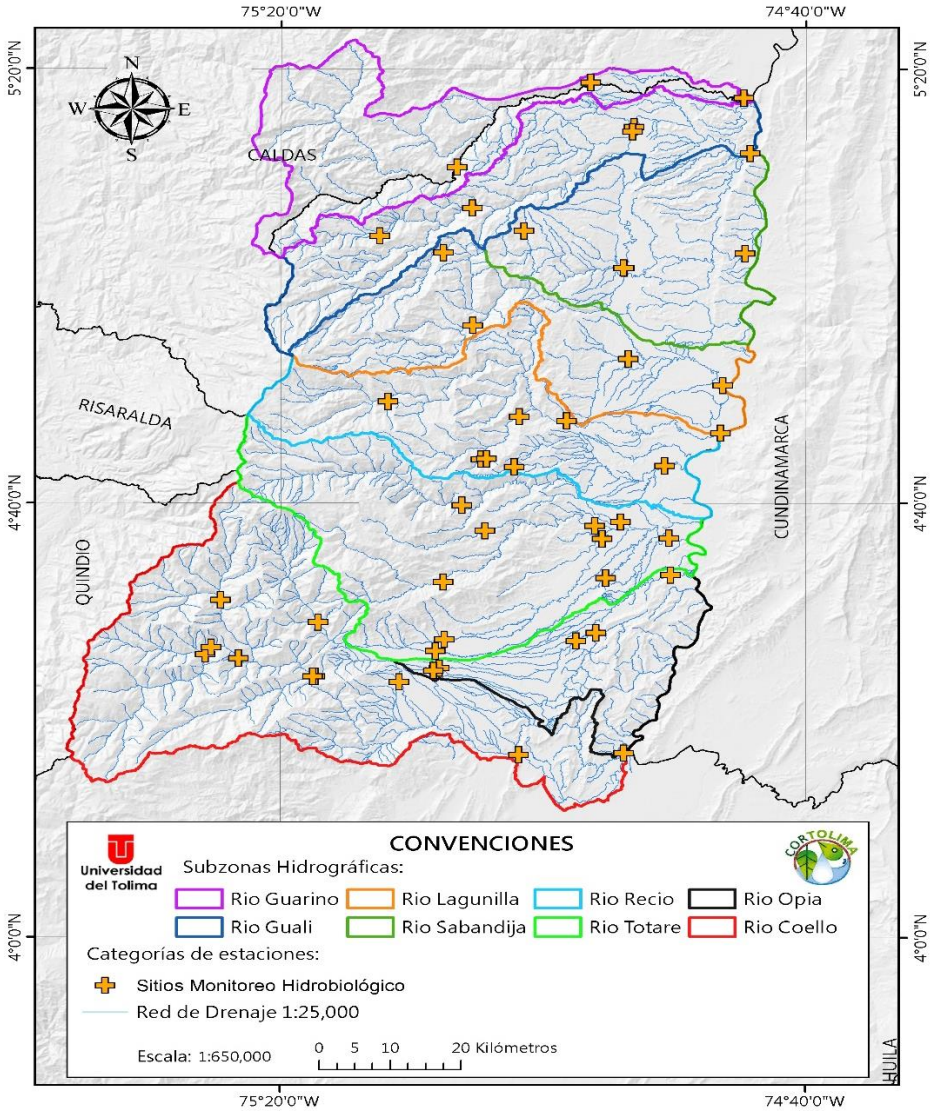
La importancia que en general se atribuye al perifiton en los ecosistemas acuáticos, se debe principalmente a la producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos (contribuyen con más del 70% de la materia orgánica de la productividad total del ecosistema), a sus altas tasas de reciclaje, y a que proporciona alimento a varios tipos de organismos, principalmente macroinvertebrados y peces. Asimismo, los macroinvertebrados acuáticos, constituyen un grupo de gran interés e importancia biológica, económica y ecológica. Ribera & Foster (1992). Han propuesto su uso para determinar el grado de conservación de los hábitats, ya que la información que proporciona esta biota es alta para caracterizar los distintos ambientes de un río (Bournaud et al., 1980), constituyendo una buena herramienta como fauna potencialmente indicadora, al reflejar condiciones ambientales con cara a la gestión de conservación de áreas particularmente ricas en especies raras o amenazadas (Sánchez-Fernández et al., 2004).

Otra fauna de los ecosistemas acuáticos es la íctica, la cual ha sido posicionada como una herramienta adicional para monitorear, caracterizar y definir la calidad del agua en ríos y lagos (Aguilar-Ibarra 2005).La mayor longevidad de los peces, les permite ser testigos e indicadores de afecciones e impactos históricos de las masas de agua, cuyas causas ya han desaparecido, además su mayor tamaño y movilidad les permite jugar un papel preponderante en los ecosistemas al influir en el flujo de energía y transporte de sustancias y elementos (del Ebro 2004). Por esto el estudio de la ictiofauna es primordial en la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y las presiones que lo afectan, proporcionando elementos importantes para su conservación y manejo.

33.1. Área de Estudio.

Se establecieron 49 estaciones de muestreo distribuidos en las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Gualí, y Guarinó, abarcando puntos sobre los cauces principales y algunos tributarios de interés (**Figura 545**).

Figura 545. Ubicación de las estaciones de muestreo para el monitoreo hidrobiológico en las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Gualí, y Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Los sitios de muestreo han sido seleccionados con base en cartografía y en muestreo preliminar teniendo en cuenta aspectos como el área de la cuenca, caudal, impactos naturales y antropogénicos y accesibilidad como factores predominantes.

Se tendrá en cuenta el rango altitudinal y se efectuaran los muestreos en épocas contrastantes de altas y bajas lluvias.

El área de monitoreo incluye 49 puntos de muestreo, sobre los cauces principales de cada río y sobre sus tributarios. Cada tramo monitoreado, se referenció empleando un receptor GPS (**Tabla 514**).

Tabla 514. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Opia, Totare, Recio, Sabandija, Lagunilla, Gualí, y Guarinó.

Subzona	Cuerpo de agua	Código	Y	X	Elevación
Coello	Río Toche	H_Coe_01	4732728,57	2057686,53	2000
Coello	Río Anaime	H_Coe_02	4730558,28	2048467,12	1805
Coello	Río Bermellón	H_Coe_03	4731403,72	2049643,94	1719
Coello	Río Bermellón	H_Coe_04	4735258,1	2047770,74	1507
Coello	Río Cócora	H_Coe_05	4746014,44	2044678,74	1170
Coello	Río Coello	H_Coe_06	4745679,42	2044632,81	1184
Coello	Río Combeima	H_Coe_07	4746482,21	2053863,6	1466
Coello	Río Combeima	H_Coe_08	4757866,55	2043711,75	912
Coello	Río Coello	H_Coe_09	4774698,66	2031275,99	479
Coello	Río Coello	H_Coe_10	4789502,87	2031541,77	278
Totare	Río Totare	H_Totare_01	4766736,51	2073667,77	1447
Totare	Río Totare	H_Totare_02	4789095,55	2070786,32	325
Totare	Río La China	H_Totare_03	4764128,57	2060675	1592
Totare	Río Frio	H_Totare_04	4770001,1	2069338,06	1430
Totare	Río La China	H_Totare_05	4785469,94	2070125,06	363
Totare	Río Alvarado	H_Totare_06	4764236,8	2050885,18	912
Totare	Río Alvarado	H_Totare_07	4786506,2	2067949,51	341
Totare	Río Chípalo	H_Totare_08	4762999,57	2048922,81	937
Totare	Río Chípalo	H_Totare_09	4786998,2	2061295,81	399
Totare	Río Totare	H_Totare_10	4795942,82	2068047,07	267
Opia	Río Opia	H_Opia_01	4763510,3	2046000,34	937
Opia	Río Opia	H_Opia_02	4782799,88	2050593,14	561
Opia	Quebrada Doima	H_Opia_03	4762701,88	2045645,22	944
Opia	Quebrada Doima	H_Opia_04	4785610,77	2051980,17	540
Opia	Río Opia	H_Opia_05	4796114,21	2061745,69	281
Lagunillas	Río Lagunillas	H_Lagu_01	4768358,72	2104242,8	1214
Lagunillas	Río Azufrado	H_Lagu_02	4764226,3	2116574	1597
Subzona	**Cuerpo de agua**	**Código**	**Latitud**	**Longitud**	**Elevación**
Lagunillas	Río Bledo	H_Lagu_03	4790263,31	2098481	280
Lagunillas	Río Lagunillas	H_Lagu_04	4803567,42	2093953,68	244
Sabandija	Río Sabandija	H_Saban_01	4775596,08	2120263,51	1251
Sabandija	Río Sabandija	H_Saban_02	4789621,87	2113959,26	287

Sabandija	Río Cuamo	H_Saban_03	4789716,11	2113907,1	288
Sabandija	Río Sabandija	H_Saban_04	4806714,81	2116327,14	230
Recio	Río Recio	H_Recio_01	4756407,83	2091337,14	2510
Recio	Río La Yuca	H_Recio_02	4774902,3	2088716,01	1013
Recio	Río Recio	H_Recio_03	4781537,83	2087995,82	511
Recio	Río Recio	H_Recio_04	4803209,06	2085872,2	248
Recio	Q. Las Animas	H_Recio_05	4769494,4	2081512,81	1554
Recio	Q. El Cairo	H_Recio_06	4770225,3	2081570,52	1521
Recio	Río Venadillo	H_Vena_01	4774164,37	2080182,46	1274
Recio	Río Venadillo	H_Vena_02	4795350,7	2080318,13	262
Gualí	Río Aguacatal	H_Guali_01	4755266,05	2119460,97	1908
Gualí	Río Gualí	H_Guali_02	4768331,14	2124159,74	1109
Gualí	Río Gualí	H_Guali_03	4790901,44	2137068,58	423
Gualí	Río Medina	H_Guali_04	4791137,13	2137901,81	414
Gualí	Río Gualí	H_Guali_05	4807476,09	2133350,5	221
Guarinó	Río Guarinó	H_Guarino_01	4766170,16	2131084,33	1210
Guarinó	Río Guarinó	H_Guarino_02	4785069,82	2145422,47	666
Guarinó	Río Guarinó	H_Guarino_03	4806636,62	2142764,87	219

Fuente: Autores (2022).

33.2. Estaciones de monitoreo

Las estaciones seleccionadas abarcan un rango altitudinal desde los 219 hasta los 2510 msnm, la mayoría de las estaciones exhibe un alto grado de conservación con abundante vegetación riparia, gran cantidad de microhábitats, caudal moderado a alto y una profundidad variable, todos estos factores son los apropiados para el establecimiento de las comunidades biológicas dentro de un ecosistema acuático. Sin embargo, se observan ciertas afectaciones de origen antrópicos dentro de las que se incluyen, extracción de material de arrastre, recepción de aguas servidas, turismo, agricultura, modificación del cauce para acueductos, entre otros.

33.2.1. Subzona Hidrográfica Río Coello

Se seleccionaron 10 estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del río Coello, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 546**). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; Tres sobre el río Coello, dos sobre el Río Bermellón, dos sobre el río Combeima, una sobre el río Toche, una sobre el río Anaime y una sobre el río Cócora.

Río Toche (H_Coe_01). Se ubica en el municipio de Ibague en el corregimiento de Toche a una altura de 2000 msnm, esta localidad se encuentra alejada del casco urbano y presenta como afectaciones principales la agricultura y la ganaderia, en general exhibe un buen estado de conservacion, con un bosque ripario abundante compuesto de arboles y arbustos, flujo constante, profundidad promedio de 90 cm, ancho de 8 m y una temperatura de 17°C.

Río Anaime (H_Coe_02). Se ubica en el municipio de Cajamarca a una altura de 1805 msnm, esta punto de monitoreo se encuentra en una zona habitada donde recibe multiples descargas de aguas domesticas, presenta una cobertura vegetal variable. El flujo es moderado, presenta una profundidad promedio de 56 cm, un ancho de 14 m y una temperatura de 19°C.

Río Bermellon (H_Coe_03). Se ubica en el municipio de Cajamarca a una altura de 1719 msnm, esta punto de monitoreo se encuentra cercana a la union con el rio Anaime, el acceso es por una ladera escarpada, se encuentra parcialmente encañonado y tiene baja heterogeneidad de sustratos, se evidencian signos de contaminacion por residuos domesticos. Grasas, aceites y por actividades industriales. El flujo es moderado, presenta una profundidad promedio de 96 cm, un ancho de 11 m y una temperatura de 16°C.

Río Bermellón (H_Coe_04). Se ubica en el municipio de Ibague en la via que comunica con Cajamarca en inmediaciones del viaduto del Tigre a una altura de 1507 msnm, se encuentra alejada de zonas pobladas, recibe las descargas de los poblados de Cajamarca y los asentamientos ubicados en la carretera. El flujo es moderado, presenta una profundidad promedio de 45 cm, un ancho de 10.6 m y una temperatura de 19°C.

Río Cócora (H_Coe_05). Se ubica en el municipio de Ibague en el corregimiento de Coello-Cocora a una altura de 1170 msnm, esta localidad se encuentra ubicada en la carretera comunica cajamarca con Ibague, se encuentra asociada a algunos centros poblados de los cuales recibe sus descargas, su principal afectacion es la extraccion de arena que modifica el lecho del rio. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido y fuerte, profundidad promedio de 95 cm, ancho de 15.5 m y una temperatura de 22°C.

Figura 546. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Coello

A. Río Toche (H_Coe_01); **B.** Río Anaime (H_Coe_02); **C.** Río La Bermellón (H_ Coe_03); **D.** Río Bermellón (H_Coe_04); **E.** Río Cócora (H_Coe_05); **F.** Río Coello (H_Coe_06); **G.** Río Combeima (H_Coe_07); **H.** Río Combeima (H_Coe_08); **I.** Río Coello (H_Coe_09); **J.** Río Coello (H_Coe_10). Fuente: Autores (2022).

Río Coello (H_Coe_06). Se ubica en el municipio de Ibague en el corregimiento de Coello-Cocora a una altura de 1184 msnm, esta localidad se encuentra ubicada en la carretera comunica cajamarca con Ibague, en esta localidad se evidencia una baja cobertura vegetal, la principal afectacion es la extraccion de arena a nivel industrial

y artesanal, ademas esta estacion se encuentra en el area de influencia de la construccion del nuevo viaducto. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado-rapido, profundidad promedio de 96 cm, ancho de 25 m y una temperatura de 21˚C.

Río Combeima (H_Coe_07). Se ubica en el municipio de Ibague en la via del cañon del Combeima a una altura de 1466 msnm, en este punto se encuentra el acueducto de la ciudad de ibague, en este lugar existe la presencia de un muro de captacion, adema hay poblados aledaños al cauce del rio. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido, profundidad promedio de 68 cm, ancho de 14 m y una temperatura de 21˚C.

Río Combeima (H_Coe_08). Se ubica en el municipio de Ibague en la via que comunica con Rovira a una altura de 912 msnm, en este punto el rio se encuentra en un estado degradado, se evidencia residuos de contaminacion, acopio de basuras entre otros, el agua despide un olor a descomposicion organica y el es de color turbio. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 66 cm, ancho de 28 m y una temperatura de 23˚C.

Río Coello (H_Coe_09). Se ubica en el municipio de Coello en el corregimiento de Gualanday a una altura de 479 msnm, esta localidad se encuentra ubicada aguas abajo del muro de contencion y del desvio del rio para el distrito de riego de usocoello, adicionalmente esta zona es turistica y usada como balneario publico. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 90 cm, ancho de 24 m y una temperatura de 26˚C.

Río Coello (H_Coe_10). Se ubica en el municipio de Coello, cerca de la desembocadura en el rio Magdalena, en este punto el rio es amplio y turbulento, con baja disponibilidad de sustratos, recibe las descargas del municipio y tiene impactos relacionados con la agricultura, su cobertura vegatal es baja y tiene exposicion directa a la radiacion solar. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido y torrentoso, profundidad promedio de 1 m, ancho de 32 m y una temperatura de 26˚C.

33.2.2. Subzona Hidrográfica Río Totare

Se seleccionaron 10 estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del rio Totare, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 547**). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; Tres sobre el río Totare, dos sobre el Río La China, dos sobre el río Alvarado, dos sobre el río Chípalo y una sobre el río Frio.

Figura 547. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Totare.

A. Río Totare (H_Totare_01); **B.** Río Totare (H_Totare_02); **C.** Río La China (H_Totare_03); **D.** Río Frio (H_Totare_04); **E.** Río La China (H_Totare_05); **F.** Río Alvarado (H_Totare_06); **G.** Río Alvarado (H_Totare_07); **H.** Río Chípalo (H_Totare_08); **I.** Río Chípalo (H_Totare_09); **J.** Río Totare (H_Totare_10). Fuente: Autores (2022).

Río Totare (H_Totare_01). Se ubica en el municipio de Anzoategui a una altura de 1447 msnm, esta localidad se encuentra alejada del casco urbano y presenta como afectaciones principales la agricultura y la ganaderia, en general exhibe un buen estado de conservacion, con un bosque ripario abundante, flujo constante, profundidad promedio de 90 cm, ancho de 8 m y una temperatura de 17˚C.

Río Totare (H_Totare_02). Se ubica en el municipio de Venadillo a una altura de 325 msnm, esta punto de monitoreo se encuentra alejada del casco urbano, sin embargo en este punto ya ha recibido descargas de aguas residuales de varios poblados, presenta como afectaciones principales la agricultura. El flujo es moderado, presenta una profundidad promedio de 98 cm, un ancho de 23 m y una temperatura de 25˚C.

Río La China (H_Totare_03). Se ubica en el municipio de Ibague en el corregimiento de San Juan de la China a una altura de 1592 msnm, esta localidad se encuentra ubicada en el cruce de la carretera veredal que comunica Ibague con Anzoategui, se encuentra alejada de zonas pobladas, no obstante recibe las descargas de los poblados ubicados en China alta, ademas de que la agricultura y la ganaderia asi como la extraccion de arena son afectaciones principales, La caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 96 cm, ancho de 11 m y una temperatura de 16˚C.

Río Frio (H_Totare_04). Se ubica en el municipio de Anzoategui a una altura de 1430 msnm, esta localidad se encuentra en una vereda aislada del poblado principal, presenta buena cobertura vegetal y alta variacion de los sustratos, se observan impactos relacionados con la agricultura. Presenta un flujo de corriente lento, profundidad promedio de 20 cm, ancho de 10 m y una temperatura de 19˚C.

Río La China (H_Totare_05). Se ubica en el municipio de Alvarado sobre la via que comunica con Venadillo a una altura de 363 msnm,, se encuentra alejada de los cascos urbanos, sin embargo existen algunas construcciones aledañas que aportan aguas domesticas a su caudal, presenta una gran cobertura vegetal y presenta alta variabilidad espacial. La caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 58 cm, ancho de 15 m y una temperatura de 22˚C.

Río Alvarado (H_Totare_06). Se ubica en el municipio de Alvarado en el corregimiento de Caldas viejo a una altura de 912 msnm, en este punto el rio esta cerca a su desembocadura, el rio presenta disturbios asociados a la agricultura, ganaderia y urbanizacion, no obstante presenta una gran variedad de sustratos y buena cobertura vegetal. La caracteristicas de esta corriente son flujo moderado-bajo, profundidad promedio de 20 cm, ancho de 8 m y una temperatura de 24˚C.

Río Alvarado (H_Totare_07). Se ubica en el municipio de Ibague en el barrio el Pais, via a San Bernardo a una altura de 314 msnm, en este punto convergen las descargas de los barrios aledaños lo que le da un color turbio al agua y un olor fuerte a deegradacion organica. La caracteristicas de esta corriente son flujo moderado-lento, profundidad promedio de 16 cm, ancho de 14 m y una temperatura de 21˚C.

Río Chípalo (H_Totare_08). Se ubica en el municipio de Ibague en la variante del Salado a una altura de 937 msnm, a este punto este rio ya lleva una carga contaminante muy alta, evidenciada con un fuerte olor, agua turbia, residuos de basura y espuma constante. La caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 45 cm, ancho de 8 m y una temperatura de 24˚C.

Río Chípalo (H_Totare_09). Se ubica en el municipio de Alvarado en la via que comunica con Piedras a una altura de 399 msnm, en esta localidad el agua tiene remanente de contaminacion de su zona alta, sin embargo presenta una mejoria en sus caracteristicas ambientales. La caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 50 cm, ancho de 28 m y una temperatura de 23˚C.

Río Totare (H_Totare_10). Se ubica en el municipio de Ambalema en la desembocadura en el rio Magdalena a una altura de 267 msnm, en esta localidad el rio es amplio con grandes playas de arena, alta exposicion a la radiacion solar y baja cobertura vegetal. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido, profundidad promedio de 96 cm, ancho de 40 m y una temperatura de 16˚C.

33.2.3. Subzona Hidrográfica Río Opia

Se seleccionaron cinco (5) estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del río Opia, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 548**). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; Tres sobre el río Opia y dos sobre la quebrada Doima.

Río Opia (H_Opia_01). Se ubica en el municipio de Ibague, en la via a Doima por el barrio Picaleña a una altura de 937 msnm, en este punto el rio esta fuertemente intervenido, presenta una coloracion negra en sus aguas y un fuerte olor a degradacion, se encuentra inmerso en matrices de agricultura y recibe descargas del municipio, su cobertura vegetal es total con poca exposicion a la radiacion solar. El flujo es lento, presenta una profundidad promedio de 30 cm, un ancho de 5 m y una temperatura de 25˚C.

Figura 548. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Opia

A. Río Opia (H_Opia_01); **B.** Río Opia (H_Opia_02); **C.** Q. Doima (H_Opia_03); **D.** Q. Doima (H_Opia_04); **E.** Río Opia (H_Opia_05). Fuente: Autores (2022).

Río Opia (H_Opia 02). Se ubica en el municipio de Piedras en la via entre Doima y Piedras a una altura de 561 msnm, alli se ubica el acueducto del municipio y por ende existe una estructura de captacion de agua, la cobertura vegetal es total y presenta una notable mejora en sus condiciones ambientales con respecto a su cabecera. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 60 cm, ancho de 11 m y una temperatura de 27°C.

Quebrada Doima (H_Opia_03). Se ubica en el municipio de Ibague en la via a Doima a una altura de 944 msnm, esta estacion esta fuertemente contaminada con presencia de basura, agua turbia y fuerte olor, con residuos y sedimentos en el interior del cuerpo de agua. Las caracteristicas de esta corriente son flujo lento, profundidad promedio de 15 cm, ancho de 4 m y una temperatura de 23˚C.

Quebrada Doima (H_Opia_04). Se ubica en el municipio de Piedras en la via veredal de Doima a Piedras a una altura de 1592 msnm, en este punto la quebrada a crecido en amplitud y ha mejorado sus condiciones ambientales, existe un puente muro que trunca el flujo de la corriente y en esta zona se usa como balnerario. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 42 cm, ancho de 12 m y una temperatura de 27˚C.

Río Opia (H_Opia_05). Se ubica en el municipio de Piedras en el corregimiento de Chicala, cerca de la desembocadura en el rio Magdalena a una altura de 281 msnm, en este punto el rio es amplio con buena cobertura vegetal y alta exposicion a la radiacion solar, con una abundante presencia de perifiton, esta localidad es popular para el turismo y la pesca. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 60 cm, ancho de 19 m y una temperatura de 26˚C.

33.2.4. Subzona Hidrográfica Río Recio

Se seleccionaron ocho (8) estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del río Recio, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 549**). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; Tres sobre el río Recio, dos sobre el río Venadillo, una sobre el río la Yuca, una sobre la quebrada Las Animas y una sobre la quebrada El Cairo.

Río Recio (H_Recio_01). Se ubica en el municipio de Murillo a una altura de 2510 msnm, esta estacion es de dificil acceso ubicada en la via veredal que conduce al Bosque, presenta una abundante cobertura vegetal, el agua es fria y en ocasiones se tiñe de una tonalidad blanca producto de la actividad volcanica del nevado del Ruiz. El flujo es rapido, presenta una profundidad promedio de 60 cm, un ancho de 18 m y una temperatura de 15˚C.

Figura 549. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Recio.

A. Río Recio (H_Recio_01); **B.** Río La Yuca (H_Recio_02); **C.** Río Recio (H_Recio_03); **D.** Río Recio (H_Recio_04); **E.** Q. Las Animas (H_Recio_05); **F.** Q. El Cairo (H_Recio_06); **G.** Río Venadillo (H_Vena_01); **G.** Río Venadillo (H_Vena_02). Fuente: Autores (2022).

Río La Yuca (H_Recio_02). Se ubica en el municipio de Santa Isabel en el corregimiento de Junin a una altura de 1013 msnm, esta localidad se encuentra bastante apartada de los centros poblados, sin emabrgo alli se extrae arena artesanalmente, presenta buena cobertura vegetal y abundante sustrato rocoso. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 40 cm, ancho de 11 m y una temperatura de 19°C.

Río Recio (H_Recio_03). Se ubica en el municipio de Venadillo en el corregimiento de La Sierra en las inmediaciones del distrito de riesgo de asorecio, alli existe un muro de contencion y una captacion importante de agua, el rio esta parcialmente encañonado, con sustrato principalmente arenoso. El flujo es rapido, presenta una profundidad promedio de 80 cm, un ancho de 35 m y una temperatura de 23°C.

Río Recio (H_Recio_04). Se ubica en el municipio de Ambalema a una altura de 248 msnm, cerca de la desembocadura con el rio Magdalena, en esta localidad el rio es amplio, de fondo arcilloso y dificil acceso. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 1 m, ancho de 35 m y una temperatura de 29°C.

Quebrada Las Animas (H_Recio_05). Se ubica en el municipio de Santa Isabel en el corregimiento de Colon a una altura de 1554 msnm, en esta localidad presenta una buena cobertura vegetal y buena variabilidad de sustratos, se sospecha que hay contaminacion con metales pesados, producto de mineria de oro. El flujo es relativamente rapido, presenta una profundidad promedio de 10 cm, un ancho de 9 m y una temperatura de 19°C.

Quebrada El Cairo (H_Recio_06). Se ubica en el municipio de Santa Isabel en el corregimiento de Colon a una altura de 1521 msnm, esta localidad se encuentra expuesta, inmersa en marices de pasto, de fondo principalmente de gravilla, La caracteristicas de esta corriente son flujo lento, profundidad promedio de 10 cm, ancho de 7 m y una temperatura de 16°C.

Río Venadillo (H_Vena_01). Se ubica en el municipio de Venadillo en el corregimiento del Malabar a una altura de 1274 msnm, esta estacion se encuentra alejada de todos los centros urbanos, presenta una buena cobertura vegetal y gran variedad de sustratos, sus principales impactos provienen de la agricultura. El flujo es moderado, presenta una profundidad promedio de 30 cm, un ancho de 8 m y una temperatura de 21°C.

Río Venadillo (H_Vena_02). Se ubica en el municipio de Venadillo a una altura de 262 msnm, esta localidad se encuentra ubicada en la via a Ambalema, presenta una buena cobertura vegetal, el cauce esta reducido, compuesto principalmente de grava, aquí se presenta gran concurrencia por turismo. Las caracteristicas de esta

corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 40 cm, ancho de 14 m y una temperatura de 26˚C.

33.2.5. Subzona Hidrográfica Río Lagunilla

Se seleccionaron cuatro (4) estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del río Lagunillas, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 550**). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; dos sobre el río Lagunillas, una sobre el río Azufrado y una sobre el río Bledo.

Río Lagunillas (H_Lagu_01). Se ubica en el municipio de Libano en la via a Villahermosa a una altura de 1214 msnm, en este punto el rio se encuentra encañonado, con una corriente fuerte, es de dificil acceso, con laderas escarpadas. El flujo es rapido y torrentoso, presenta una profundidad promedio de 70 cm, un ancho de 18 m y una temperatura de 15˚C.

Río Azufrado (H_Lagu_02). Se ubica en el municipio de Villahermosa en la via a Casabianca a una altura de 1597 msnm, en esta localidad se extrae material de grava y roca, se supone que presenta altos contenidos de azufre que limita el desarrollo de los organismos, presenta una buena cobertura vegetal. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 50 cm, ancho de 19 m y una temperatura de 19˚C.

Río Bledo (H_Lagu_03). Se ubica en el municipio de Lerida sobre la carretera que conecta con Venadillo a una altura de 280 msnm, este punto de monitoreo existe una buena cobertura vegetal y su lecho se compone principalmente de arena. El flujo es lento, presenta una profundidad promedio de 15 cm, un ancho de 23 m y una temperatura de 25˚C.

Río Lagunillas (H_Lagu_04). Se ubica en el municipio de Ambalema, cerca a la desembocadura en el rio Magdalena a una altura de 244 msnm, en este punto el rio esta encañonado, es bastante profundo y es bastante correntoso, se encuentra en las inmediaciones de grandes plantaciones, y presenta una buena cobertura vegetal. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido, correntoso, profundidad promedio de 1 cm, ancho de 35 m y una temperatura de 23˚C.

Figura 550. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Lagunilla.

A. Río Lagunillas (H_Lagu_01); **B.** Río Azufrado (H_Saban_02); **C.** Río Bledo (H_Lagu_03); **D.** Río Lagunillas (H_Lagu_04). Fuente: Autores (2022).

33.2.6. Subzona Hidrográfica Río Sabandija

Se seleccionaron cuatro (4) estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del río Sabandija, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; tres sobre el río Sabandija y una sobre el río Cuamo.

Río Sabandija (H_Saban_01). Se ubica en el municipio de Palocabildo en el corregimiento de Asturias a una altura de 1251 msnm, esta es la cabecera de este rio, incia en un complejos de balnearios y recibe descargas de algunas casas perifericas, es de cauce reducido y presenta una cobertura vegetal total. El flujo es moderado, presenta una profundidad promedio de 15 cm, un ancho de 3.5 m y una temperatura de 19°C.

Río Sabandija (H_Saban_02). Se ubica en el municipio de Armero Guayabal a una altura de 287 msnm, esta localidad se encuentra ubicada en medio de grandes potreros destinados a la ganaderia, cuenta con una escasa cobertura vegetal y sus margenes son arenosas-lodosas. Las caracteristicas de esta corriente son flujo

moderado-rapido, profundidad promedio de 35cm, ancho de 18m y una temperatura de 27˚C.

Figura 551. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Sabandija.

A. Río Sabandija (H_Saban_01); **B.** Río Sabandija (H_Saban_02); **C.** Río Cuamo (H_Saban_03); **D.** Río Sabandija (H_Saban_04). Fuente: Autores (2022).

Río Cuamo (H_Saban_03). Se ubica en el municipio de Armero Guayabal, cerca de la desembocadura en el rio Sabandija a una altura de 288 msnm, este punto de monitoreo recibe descargas del municipio y se encuentra en medio de potreros, presenta una cobertura vegetal media. El flujo es moderado-lento, presenta una profundidad promedio de 50cm, un ancho de 15m y una temperatura de 24˚C.

Río Sabandija (H_Saban_04). Se ubica en el municipio de Armero Guayabal en el corregimiento de Mendez, cerca de la desembocadura en el rio Magdalena a una altura de 230 msnm, esta localidad se encuentra alejada de los cascos urbanos, por lo que no muestra signos evidentes de contaminacion, parece ser un ambiente recuperado con abundante vegetacion y con alta variedad de sustratos. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 40 cm, ancho de 25 m y una temperatura de 26˚C.

33.2.7. Subzona Hidrográfica Río Gualí

Se seleccionaron cinco (5) estaciones ubicadas en el cauce principal y algunos tributarios del río Gualí, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 552**). Las estaciones se distribuyeron de la siguiente forma; tres sobre el río Gualí, una sobre el río Aguacatal y una sobre el río Medina.

Río Aguacatal (H_Gualí_01). Se ubica en el municipio de Herveo a una altura de 1908 msnm, esta punto de monitoreo se encuentra alejada del casco urbano, los tensores que presenta provienen principalmente de la agricultura, es una localidad de dificil acceso con buena vegetacion riparia. El flujo es rapido, presenta una profundidad promedio de 50 cm, un ancho de 11 m y una temperatura de 15°C.

Río Gualí (H_Gualí_02). Se ubica en el municipio de Casabianca en la via hacia Fresno, a una altura de 1109 msnm, esta estacion se encuentra bastante alejada y de dificil acceso, se encuentra rodeada de potreros y presenta escasa cobertura vegetal. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido, profundidad promedio de 1m, ancho de 32m y una temperatura de 19°C.

Río Gualí (H_Gualí_03). Se ubica en el municipio de Mariquita en la via a Victoria (Caldas) a una altura de 423 msnm, en este punto el rio es sumamente amplio, con poca cobertura vegetal y una fuerza de corriente elevada, presenta impactos derivados de la agricultura. El flujo es rapido y correntoso, presenta una profundidad promedio de 1m, un ancho de 61 m y una temperatura de 24°C.

Río Medina (H_Gualí_04). Se ubica en el municipio de Mariquita en la via a Victoria (Caldas) a una altura de 414 msnm, esta zona es altamente turistica por lo que se evidencia algunos relictos de basura y contaminacion, en este punto la cobertura vegetal es total y el lecho se compone principalmente de rocas. Las caracteristicas de esta corriente son flujo moderado, profundidad promedio de 70 cm, ancho de 16m y una temperatura de 24°C.

Río Gualí (H_Gualí_05). Se ubica en el municipio de Honda cerca de la desembocadura en el rio Magdalena a una altura de 221 msnm, este punto esta dentro de la ciudad de Honda, donde recibe toda la carga contaminante de origen domestico, el aguia es turbia y presenta un olor fuerte, presenta cobertura vegetal en una de sus orillas. El flujo es rapido, presenta una profundidad promedio de 1m, un ancho de 20 m y una temperatura de 25°C.

Figura 552. Estaciones de la subzona hidrográfica del Rio Gualí

A. Río Aguacatal (H_Gualí_01); **B.** Río Gualí (H_Gualí _02); **C.** Río Gualí (H_Gualí _03); **D.** Río Medina (H_Gualí _04); **C.** Río Gualí (H_ Gualí _05). Fuente: Autores (2022).

33.2.8. Subzona Hidrográfica Río Guarinó

Se seleccionaron tres (3) estaciones ubicadas en el cauce principal del río Guarinó, abarcando la zona alta, media y baja de la subzona Hidrográfica (**Figura 553**).

Río Guarinó (H_Guarinó_01). Se ubica en el municipio de Fresno en la vereda el Tablazo a una altura de 1210 msnm, en este punto el rio es amplio y correntoso con vegetacion riparia escasa, el fondo es rocoso y arenoso, las laderas se

encuentran fuertemente erosionada. El flujo es rapido, presenta una profundidad promedio de 1 m, un ancho de 45 m y una temperatura de 18°C.

Figura 553. Estaciones de la subzona hidrográfica del Río Guarinó.

A. Río Guarinó (H_Guarinó_01); **B.** Río Guarinó (H_Guarinó_02); **C.** Río Guarinó (H_Guarinó_03). Fuente: Autores (2022).

Río Guarinó (H_Guarinó_02). Se ubica en el municipio Mariquita a una altura de 666 msnm, el acceso es por el municipio de Victoria (Caldas), en los predios de Isagen, alli se encuentra el trasvase del rio Guarino, el rio en este punto es encañonado con una amplia cobertura vegetal. Las caracteristicas de esta corriente son flujo rapido, profundidad promedio de 70 cm, ancho de 28 m y una temperatura de 20°C.

Río Guarinó (H_Guarinó_03). Se ubica en el municipio de Honda cerca de la desembocadura en el rio Magdalena a una altura de 219 msnm, este punto se ubica en la via a la Dorada, el rio es amplio y caudalosos, rodeado de potreros y con las laderas erosionadas El flujo es rapido, presenta una profundidad promedio de 1 m, un ancho de 27 m y una temperatura de 23°C.

34. Metodología del análisis hidrobiológico

Se realizó la evaluación de las comunidades que hacen parte de ellos. Dentro de la biota acuática, el perifiton, los macroinvertebrados acuáticos y los peces tienen particular importancia para la valoración ecológica del estado de un rio (Roldan y Ramírez, 2008).

34.1. Perifiton

34.1.1. Colecta en campo

Para la colecta de la comunidad perifitica, se seleccionaron rocas y troncos sumergidos a lo largo de un transecto de 100 m longitudinales en las orillas de cada uno de los sitios de muestreo. Posteriormente, con la ayuda de un cepillo y un cuadrante de 64 cm2, se realizó un raspado en las rocas y troncos disponibles (**Figura 554**).

Figura 554. Proceso de colecta y fijación del perifiton.

Fuente: Autores (2022).

En cada sustrato (roca o tronco) se realizaron 3 raspados, con el fin de evaluar un área total de 192 cm2. El material raspado fue depositado en frascos plásticos ámbar de capacidad 150 ml. Para la fijación del perifiton se usó Lugol y alcohol al 70% en proporciones iguales.

34.1.2. Métodos de laboratorio

Para la determinación y el conteo de los organismos se utilizó un microscopio invertido, con ocular de 16X y objetivo de 40X para un aumento total de 800X (advance optical); adicionalmente, para el conteo de los organismos se empleó una cámara de conteo Sedgwick-Rafter (SR), la cual limita el área y el volumen tomado a partir del material raspado en campo, permitiendo calcular las densidades de las especies (célula por unidad de área) siguiendo la metodología propuesta por APHA, 1992 y Ramírez, 2000:

$$\text{Organismos/mm2: } \frac{N \times At \times Vt}{Ac \times Vs \times As}$$

Dónde:

N = número de organismos contados,

At = Área total de la cámara (mm2)

Vt= Volumen total de la muestra en suspensión

Ac= Área contada (bandas o campos) (mm2)

Vs=Volumen usado en la cámara (ml)

As= Área del sustrato o superficie raspada (mm2)

La identificación taxonómica de los individuos se realizó según las claves de Lopretto & Tell (1995), Ramírez (2000), Streble & Krauter (1987), Prescott (1964), Kudo (1980), Yacobson (1969), Novelo (2012).

34.1.3. Análisis de datos

Esfuerzo de muestreo. Para evaluar la representatividad del muestreo en el área de estudio, se emplearon curvas de acumulación de especies con los datos de abundancia, y los estimadores no paramétricos de riqueza: ACE y Chao 1, utilizando el programa EstimateS v.8.2 (Colwell 2009).

Análisis ecológico y de taxones. Se determinó la densidad relativa de las clases, órdenes, y taxones a partir del número de individuos colectados de cada especie y su relación con el número total de individuos de la muestra por unidad de área. Esto, con el fin de determinar la importancia y proporción en la cual se encuentra cada una de las categorías taxonómicas en los ecosistemas acuáticos.

$$AR = \frac{\text{No de individuos de cada especie en la muestra} \times 100}{\text{No total de individuos en la muestra}}$$

Diversidad. La diversidad alfa fue evaluada mediante el numero efectivo de especies, utilizando los números de Hill, los cuales permiten tener una aproximación más clara de la diversidad entendida esta, desde la riqueza misma (q0), la abundancia equitativa de todos los taxones (q1) y la dominancia de las especies (q2); a partir de índices base como riqueza específica (número de especies), Shannon-Wiener (H') y el recíproco de Dominancia de Simpson (1-D). Para realizar comparaciones entre las estaciones evaluadas, se empleó la metodología de interpolación y extrapolación de diversidad de especies propuesta por Chao et al., (2014).

Ensamblaje de especies: Con relación a la diversidad beta o variación en la composición de la comunidad en las diferentes estaciones de muestreo, se emplearon los coeficientes de similitud de Jaccard y Bray-curtis con el fin de determinar el porcentaje de especies compartidas en las estaciones de muestreo. Para identificar posibles cambios en la estructura de la comunidad en los puntos de muestreo, se utilizó el análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS).

Este permite identificar de forma gráfica el grado de similitud de la comunidad entre puntos de muestreo. Adicionalmente, con el fin de identificar diferencias significativas a nivel estadístico en la estructura de la comunidad de los puntos de muestreo, se empleó el análisis de similitud (ANOSIM). Estas dos pruebas fueron desarrolladas utilizando la librería vegan del programa estadístico R.

Relación de la comunidad biótica con las variables ambientales. Con el fin de identificar la posible influencia de las variables ambientales en la estructura de la comunidad biótica, se utilizó el análisis de correspondencia canónica (ACC). Este permite relacionar la matriz de las variables ambientales (Fisicoquímicos) con la matriz de los datos biológicos y así poder identificar las variables ambientales que podrían influir de forma significativa en la estructura de la comunidad. Estos análisis se realizaron en R, utilizando la librería vegan.

Índice Diatómico Genérico (IDG). Con el objetivo de utilizar el perifiton como bioindicador de la calidad del agua, se utilizó el IDG (**Tabla 515**).

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^{n} A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^{n} A_j V_j}$$

Dónde: Aj: Densidad relativa del taxón

Sj: Valor de sensibilidad global del genero

Vj: Valor de amplitud ecológica del genero

Este índice propuesto por Rumeau & Coste (1988) y modificado por Benkhedda et al. (2017), permite utilizar las diatomeas como una herramienta para determinar la calidad de los cuerpos de agua. El IDG tiene en cuenta la sensibilidad de cada taxón a la contaminación (S), la amplitud ecológica del género (V) y la densidad de estos (A). Para calcular el índice se utilizó la siguiente formula:

Tabla 515. Valores e interpretación del índice Diatómico Genérico

Rango	Nivel	Significado	Color
IDG > 4.5	Cero	Calidad biológica óptima	
4 < IDG < 4.5	Baja	Calidad normal, contaminación débil	
3.5 < IDG < 4	Moderada	Contaminación moderada, eutrofización	
3 < IDG < 3.5	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
2 < IDG < 3	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
1 < IDG < 2	Muy alta	Contaminación muy fuerte	
IDG = 0	Total	La población es considerada como inexistente, Contaminación toxica	

Fuente: Modificado de Benkhedda et al., 2017.

34.2. Macroinvertebrados Acuáticos

34.2.1. Colecta de campo

La colecta del material biológico se realizó a través de una red Surber (0,09 m2) en cuatro sustratos (roca, grava, arena y hojarasca), siguiendo la metodología propuesta por Wantzen y Rueda (2009), donde para cada sustrato se toman al azar tres submuestras en diferentes zonas del rio para conformar una muestra compuesta (**Figura 555**). El material se deposita en frascos plásticos debidamente etiquetados y se fija con Formol (10%).

34.2.2. Métodos de laboratorio

En el Laboratorio de Investigación en Zoología se realizó la limpieza y separación de los organismos usando estereomicroscopio Motic SMZ-168 (10X). Se determinó el material biológico hasta el mínimo nivel taxonómico posible empleando las claves taxonómicas de Machado (1989), Posada y Roldán (2003), Merrit et al. (2008), Domínguez y Fernández (2009). Finalmente, los organismos se almacenaron en alcohol (70%) e ingresados a la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima (CZUT-Ma).

Figura 555. Método de colecta de macroinvertebrados acuáticos

Fuente: Autores (2022).

34.2.3. Ingreso del material a colección biológica de referencia

El material determinado se organizó en tubos vacutainer y se les asignó un respectivo número de lote siguiendo la numeración especificada por la colección zoológica de la universidad del Tolima (CZUT-Ma), posterior a ello se realizó el registro en los libros de colección y el ingreso a la base de datos, por último, se hizo el traspaso del material biológico a los frascos madre, siguiendo los protocolos de depósito de organismos.

34.2.4. Análisis de datos

Representatividad del muestreo. Con el fin de determinar la representatividad del muestreo, se calcularon los estimadores de diversidad Chao 1, ACE y Cole, los cuales son utilizados para datos de abundancia y permiten establecer si la muestra es representativa del atributo medido (Álvarez et al., 2006). Para el cálculo fue utilizado el paquete estadístico EstimateS versión 8.2 (Colwell, 2009).

Abundancia. Se determinó la abundancia relativa a partir del número de individuos colectados de cada familia y su relación con el número total de individuos de la muestra. Se calculó con el fin de determinar la importancia y

proporción en la cual se encuentra cada uno de los géneros con respecto a la comunidad en los diferentes cuerpos de agua.

$$AR = \frac{\text{No de individuos de cada especie en la muestra x 100}}{\text{Nº total de individuos en la muestra.}}$$

Diversidad. La diversidad alfa fue evaluada mediante el numero efectivo de especies, utilizando los números de Hill, los cuales permiten tener una aproximación más clara de la diversidad entendida esta, desde la riqueza misma (q0), la abundancia equitativa de todos los taxones (q1) y la dominancia de las especies (q2); a partir de índices base como riqueza específica (número de especies), Shannon-Wiener (H') y el recíproco de Dominancia de Simpson (1-D). Para realizar comparaciones entre las estaciones evaluadas, se empleó la metodología de interpolación y extrapolación de diversidad de especies propuesta por Chao et al., (2014).

Ensamblaje de especies: Con relación a la diversidad beta o variación en la composición de la comunidad en las diferentes estaciones de muestreo, se emplearon los coeficientes de similitud de Jaccard con el fin de determinar el porcentaje de especies compartidas en las estaciones de muestreo. Para identificar posibles cambios en la estructura de la comunidad en los puntos de muestreo, se utilizó el análisis de escalamiento no métrico multidimensional (NMDS). Este permite identificar de forma gráfica el grado de similitud de la comunidad entre puntos de muestreo. Adicionalmente, con el fin de identificar diferencias significativas a nivel estadístico en la estructura de la comunidad de los puntos de muestreo, se empleó el análisis de similitud (ANOSIM). Estas dos pruebas fueron desarrolladas utilizando la librería vegan del programa estadístico R.

Relación de la comunidad biótica con las variables ambientales. Con el fin de identificar la posible influencia de las variables ambientales en la estructura de la comunidad biótica, se utilizó el análisis de correspondencia canónica (ACC). Este permite relacionar la matriz de las variables ambientales (Fisicoquímicos) con la matriz de los datos biológicos y así poder identificar las variables ambientales que podrían influir de forma significativa en la estructura de la comunidad. Estos análisis se realizaron en R, utilizando la librería vegan.

Índice de Calidad Ambiental. Con el fin de determinar la calidad del agua de los ecosistemas evaluados se aplicó el índice de bioindicación BMWP/Col (Roldan & Ramírez, 2008) (**Tabla 516**).

Estructura Trófica. Con el fin de conocer la estructura trófica se establecieron las categorías alimenticias de los macroinvertebrados acuáticos de acuerdo con lo reportado en la literatura (Merrit & Cummings, 1996; Pérez, Pineda & Campos, 2004; Sevilla & Villar, 2008; Hanson, Springer & Ramírez, 2010).

Tabla 516. Interpretación del BMWP/Col

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>100	Aguas muy limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminada	
V	Muy Critica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Roldan y Ramírez, 2008

34.3. Ictiofauna

34.3.1. Colecta en campo

El muestreo se realizó por medio de un equipo de electropesca (**Figura 556**) en dirección aguas arriba y en los distintos tipos de hábitats (rápidos, remansos) y sustratos (roca, grava, arena, hojarasca), a lo largo de un transecto de 100 m de largo y ancho variable, con un esfuerzo de muestreo de una hora por estación. Debido que es un método de colecta no selectivo utilizado frecuentemente para estimar la abundancia y composición de especies en quebradas, ríos y caños (Mojica y Galvis, 2002).

Operacionalmente, la electropesca funciona por medio de una corriente eléctrica de 340 voltios, 1 amperio, que fluye entre dos electrodos que se colocan previamente en el agua. Los peces fluyen hacia el electrodo positivo que cuenta con una nasa redonda (aprox. 50 cm de diámetro) para la recolección de los ejemplares vivos y sin daño de sus estructuras.

Simultáneamente, se complementó con bloqueos utilizando una red de arrastre (5 m x 1,5 m con ojo de malla de 0,05 m) en cada uno de los puntos de muestreo. Una vez capturados, los ejemplares fueron fijados en una solución de formol al 10 % y almacenados en bolsas plásticas de cierre hermético. Posteriormente, fueron transportados en canecas plásticas al Laboratorio de Investigación en Zoología de la Universidad del Tolima (GIZ) para su determinación taxonómica.

Figura 556. Método de electropesca para fauna Íctica.

Fuente: Autores (2022).

34.3.2. Métodos de laboratorio

Los especímenes colectados fueron preservados en etanol al 70 % y determinados empleando claves de identificación y descripciones taxonómicas disponibles para cada grupo, entre ellas se destacan Buitrago-Suárez (1995), Briñez-Vásquez (2004), Maldonado-Ocampo et al. (2005), García-Melo (2005) y Donascimiento et al., 2017. Posteriormente, se ingresaron a la Colección Zoológica de la Universidad del Tolima, sección – Ictiología (CZUT-IC).

Medición y Pesaje. La totalidad de individuos fueron medidos con un calibrador J Gacing, con una resolución de 0.01 mm, y pesados en una balanza marca CHAUS-Pioneer, con una precisión de 0.001 g.

34.3.3. Análisis de datos

Representatividad del muestreo. Para determinar la representatividad del muestreo, fueron calculados los estimadores de diversidad Chao 1, ACE y Cole. Este análisis se realizó en el programa EstimateS versión 9 (Colwell, 2013).

Abundancia. Para determinar la importancia y proporción de los órdenes, familias y especies con respecto a la comunidad, se calculó la abundancia relativa usando la razón matemática a partir del número de individuos de cada especie en

la muestra y el número total de individuos en la muestra. De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$AR = \frac{\text{No de individuos de cada especie en la muestra}}{\text{No total de individuos en la muestra}} \times 100$$

Diversidad. Para determinar la diversidad de la ictiofauna, se calcularon los números efectivos de especies de la serie de Hill (q0, q1, y q2), mediante la trasformación de los valores obtenidos de los índices de Shannon-Wienner y Simpson. Para el cálculo de los índices se utilizó el paquete estadístico PastProgram® (Hammer, Harper, & Ryan, 2001). En cuanto a la diversidad beta (o tasa de recambio de especies) se calculó con el índice de Bray-Curtis y se graficó a partir de un clúster para identificar el grado de similitud entre las estaciones por el ensamblaje de especies. Este análisis se realizó por medio del programa PAST (PAleontological STatistics) versión 4.04 (Hammer et al., 2001).

Distribución de frecuencias de tallas. Para establecer la distribución de tallas de las especies más abundantes (> 30 individuos por especie) se utilizó la medida de longitud estándar (LE) agrupada en intervalos de 5 y 10 mm, y se graficaron histogramas con las marcas de clase para cada intervalo.

Relación longitud – peso. Para estimar indirectamente la tasa de crecimiento, se calculó la relación matemática entre la longitud y el peso de las tres especies más abundantes (Gonzales et al., 1996). La relación se estableció empleando la ecuación:

$$W = a\,L^b$$

Dónde W es el peso total en gramos, y L su longitud estándar (LE) en milímetros; a y b son constantes (Froese, 2006).

Relación entre las variables ambientales y la fauna íctica. Para determinar la relación entre el ensamblaje de peces y las variables ambientales, se empleó el análisis canónico de correspondencias (ACC), utilizando dos grupos de matrices (especies por estaciones y variables ambientales). Las variables que influyan significativamente ($p<0,05$) en la estructura del ensamblaje de especies, se determinó mediante la prueba de Monte Carlo con 999 permutaciones.

Para determinar la correlación entre las variables ambientales fue calculado el coeficiente de correlación de Pearson (r), y variables altamente correlacionadas ($r > 0.75$) y P-valor <0.05 se excluirá del análisis. Estos análisis se realizaron con el programa estadístico Canoco para Windows 4.5 (Braak & Smilauer, 2002).

Análisis trófico y reproductivo. Con el fin de realizar el análisis trófico de las especies se revisó el contenido estomacal empleando un estereoscopio. La

identificación de los ítems alimenticios se llevó acabo hasta el nivel taxonómico de familia, siguiendo la metodología propuesta por Yáñez et al. (1976). Las especies con menos de tres individuos fueron excluidas del análisis. El estado de madurez sexual de machos y hembras por especie fue terminado macroscópicamente en función de la forma, consistencia, tamaño y coloración de las gónadas siguiendo la escala propuesta por Vazzoler (1982).

Especies de interés y categorías de amenaza. Utilizando la información disponible para Colombia, se determinó su uso como ornamentales, de consumo, migratorio, endémico y grado de amenaza. Esta información fue basada en el listado actualizado de peces dulceacuícolas de Colombia, versión 2.13 (DoNascimiento, et al., 2021). La categoría de amenaza fue guiada por el Libro Rojo de Peces de Colombia (Mojica et al., 2012) y International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (UICN).

35. Resultados y discusión del análisis hidrobiológico

35.1. Subzona hidrográfica del río Coello

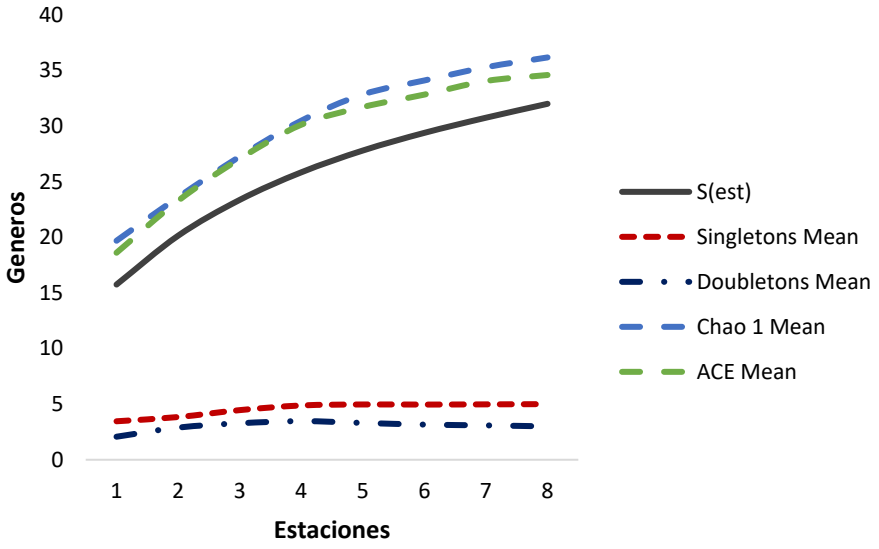
35.1.1. Perifiton

35.1.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 32 géneros observados (Sobs) en veinte estaciones evaluadas (diez en la subzona durante dos temporadas), estas especies representan el 92.5% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 88.5% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 36 géneros (**Figura 557**).

Según los estimadores de riqueza se registró una riqueza de especies cercana a la esperada durante los periodos de muestreo, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica, la eficiencia de muestreo fue buena y los organismos registrados, representan correctamente los individuos que se registran en esta cuenca hidrográfica. Por otro lado, se encontró un bajo número de taxones con un solo individuo (singletons), lo que sugiere que la mayoría de taxones fueron observados durante los muestreos. Esto se observa en la asíntota de la curva de acumulación de especies (**Figura 557**) la cual está cercana a completarse.

Figura 557. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrográfica del rio Coello.



Fuente: Autores (2022).

35.1.1.2. Composición

Se colectaron 3324 individuos/mm^2 distribuidos en siete filos, diez clases, 21 órdenes, 27 familias y 32 géneros (**Tabla 517**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 831 individuos/mm^2, seguida de la clase Cyanophyceae con 299 individuos/mm^2 (9%) y Chlorophyceae con 207 individuos/mm^2 (3.4%). Esta configuración de abundancia sigue el patrón de composición que se presenta en las cuencas andinas, en los cuales las especies algales dominantes pertenecen a la clase Bacillariophycea (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003).

Con relación a los órdenes Cymbellales, Bacillariales, Naviculales y Oscillatoriales representaron aproximadamente el 83% de los organismos registrados. (**Tabla 517**), los órdenes restantes registraron densidades menores al 6%.

Tabla 517. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del rio Coello.

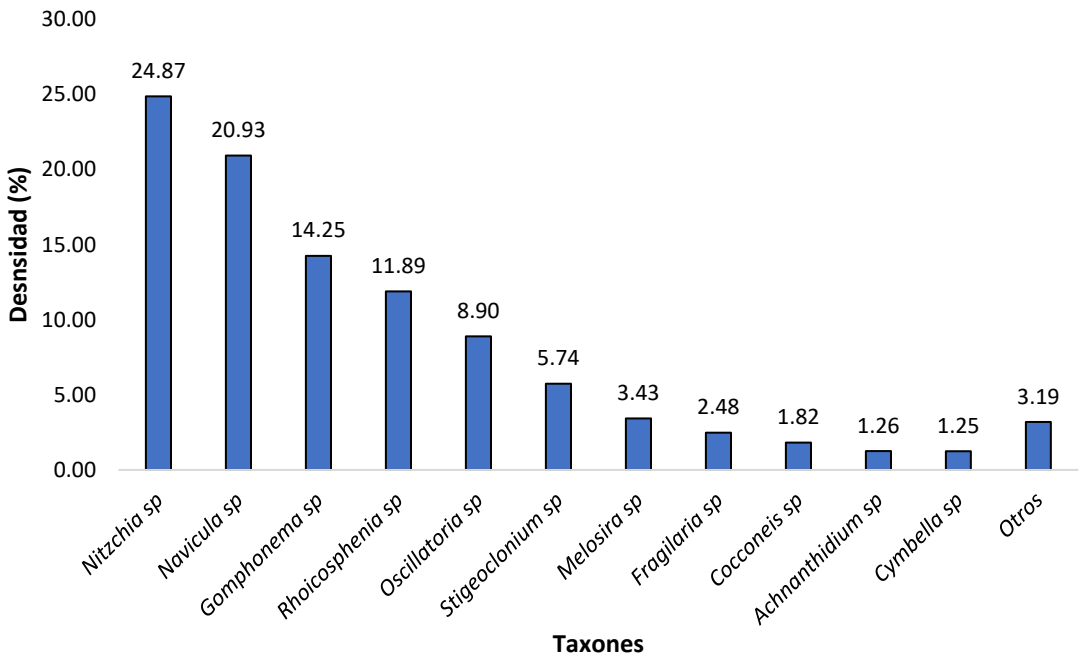
Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia sp*	4
				Nitzchia sp	827
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	61
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	41
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	474

			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	395
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia sp*	3
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	82
				Synedra sp	25
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Hannaea sp*	12
		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	42
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Amphipleura sp*	3
				Frustulia sp	10
			Naviculaceae	*Gyrosigma sp*	10
				Navicula sp	696
			Pinnulariaceae	*Pinnularia sp*	4
		Thalassiophysales	Catenulaceae	*Amphora sp*	2
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	114
	Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella sp*	3
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Desmidium sp*	3
	Zygnematophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Closterium sp*	1
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium sp*	191
		Sphaeropleales	Microsporaceae	*Microspora sp*	1
			Selenastraceae	*Ankistrodesmus sp*	1
				Monoraphidium sp	10
			Treubariaceae	*Treubaria sp*	5
Ciliophora	Ciliatea	Peritrichida	Vorticellidae	*Vorticella sp*	5
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	296
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina sp*	1
		Synechococcales	Merismopediaceae	*Merismopedia sp*	2
Nematoda	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	*Nematoda sp*	1
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Difflugiidae	*Diflugia sp*	1

Fuente: Autores (2022).

De los 32 taxones registrados, los más abundantes fueron *Nitzchia* sp, *Navicula* sp, *Gomphonema* sp, *Rhoicosphenia* sp y *Oscillatoria* sp. Estos representaron aproximadamente el 81% de los individuos registrados (**Figura 558**). Los cuatro primeros pertenecientes a la clase Bacillariophyceae son muy comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, en los cuales son muy frecuentes y abundantes.

Figura 558. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Este hecho se debe posiblemente a que los organismos pertenecientes a esta clase se caracterizan principalmente por tener una nutrición heterotrófica facultativa, sobrevivir en ambientes con baja luminosidad y segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua y así de esta manera soportar las fuertes corrientes las cuales son características de dichos ecosistemas (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009).

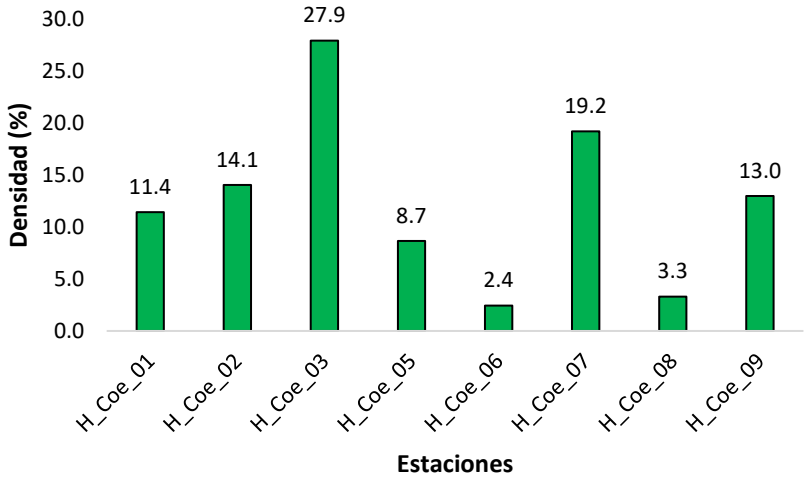
La alta abundancia registrada de la clase Cyanophyceae, con su taxon *Oscillatoria* sp, se debe posiblemente a la estrategia de vida de este taxón y/o grupo, los cuales son considerados como oportunista debido a que aprovecha cambios físicos y químicos en el ecosistema, especialmente relacionados con cambios en los nutrientes en el cuerpo de agua que ocasionan que durante algunos meses se registren altas densidades (Ramírez 2000).

35.1.1.3. Distribución espacial

Se establecieron diez estaciones de muestreo, de las cuales no fue posible realizar el muestreo en las estaciones del rio Bermellón (H_Coe_04) y el rio Coello (H_Coe_10), debido que al momento de la colecta se encontraban en pulso de inundación, con un fuerte caudal y sin posibilidad de ingreso a los mismos. De las ocho estaciones monitoreadas el río Bermellon (H_Coe_03), registro la mayor densidad relativa con un 27.9%, seguido por la estación del río Combeima en

llanitos (H_Coe_07) con 19.2% y el río Anaime (H_Coe_02) con 14.1%. Por otro lado, las estaciones que obtuvieron menor porcentaje de abundancia fueron el río Coello (Coello-Cocora) (H_Coe_02) con el 2.4% y el río Combeima vía Rovira (H_Coe_08) con el 3.3% (**Figura 559**, **Tabla 518**).

Figura 559. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 518. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Coello.

Taxon	HCoe01	HCoe02	HCoe03	HCoe05	HCoe06	HCoe07	HCoe08	HCoe09
Achnanthidium sp	29	1	5	3	0	1	0	4
Amphipleura sp	0	0	0	0	0	2	1	0
Amphora sp	0	2	0	0	0	0	0	0
Ankistrodesmus sp	0	0	0	0	0	1	0	0
Closterium sp	0	0	1	0	0	0	0	0
Cocconeis sp	2	12	6	13	10	9	4	5
Cyclotella sp	0	0	3	0	0	0	0	0
Cymbella sp	1	13	4	13	4	4	1	2
Desmidium sp	0	0	0	0	0	3	0	0
Diflugia sp	0	0	0	0	1	0	0	0
Eunotia sp	0	1	0	1	0	1	0	0
Fragilaria sp	13	8	20	21	7	4	6	3
Frustulia sp	1	2	2	5	0	0	0	0
Gomphonema sp	58	169	54	32	7	103	33	18
Gyrosigma sp	0	2	0	6	0	0	2	0
Hannaea sp	0	0	11	0	1	0	0	0
Hantzschia sp	0	0	2	0	1	1	0	0

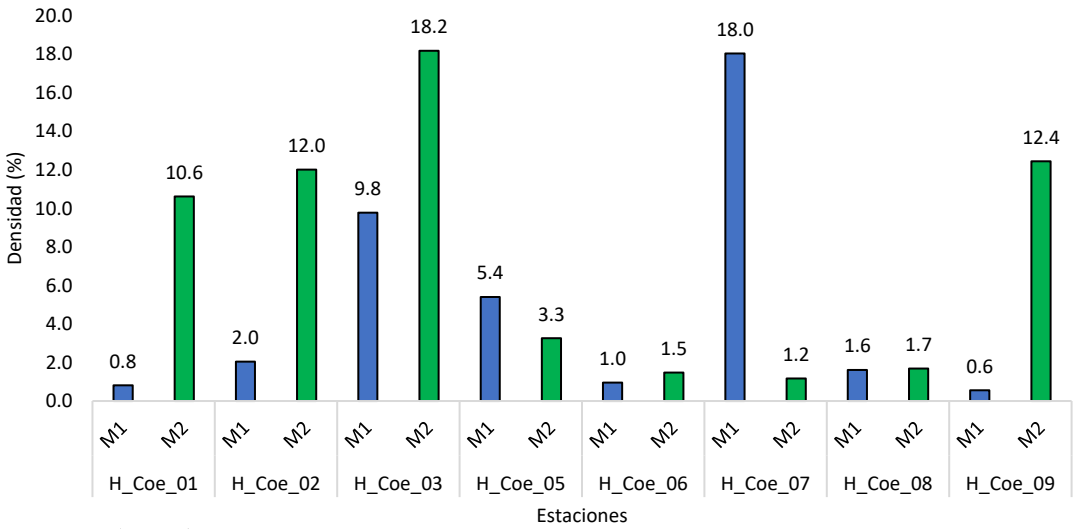
Melosira sp	3	9	84	6	3	4	1	5
Merismopedia sp	0	0	0	2	0	0	0	0
Microspora sp	0	0	0	1	0	0	0	0
Monoraphidium sp	0	4	0	0	5	2	0	0
Navicula sp	45	15	340	88	15	131	15	46
Nematoda sp	0	0	1	1	0	0	0	0
Nitzchia sp	208	52	302	38	7	42	23	156
Oscillatoria sp	1	20	52	14	5	18	1	185
Pinnularia sp	2	1	0	0	0	0	2	0
Rhoicosphenia sp	14	153	18	34	11	136	21	8
Spirulina sp	0	0	0	0	0	1	0	0
Stigeoclonium sp	1	0	19	0	0	171	0	0
Synedra sp	3	2	6	9	3	1	0	1
Treubaria sp	0	2	0	1	2	0	0	0
Vorticella sp	0	0	0	0	0	5	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.1.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos, fue registrada durante el muestreo M2 realizado durante la época de bajas precipitaciones en la cual se observó un bajo caudal y pocas precipitaciones que permitieron la colonización de un mayor número de individuos. A nivel temporal, se evidencia que las estaciones río Combeima en llanitos (H_Coe_07) y río Bermellon (H_Coe_03), registraron la mayor densidad relativa (**Figura 560**, **Tabla 519**).

Figura 560. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 519. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Coello.

	HCoe01		HCoe02		HCoe03		HCoe05		HCoe06		HCoe07		HCoe08		HCoe09	
Taxones	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Achnanthidium sp	1	28	0	1	1	4	3	0	0	0	1	0	0	0	0	4
Amphipleura sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0
Amphora sp	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ankistrodesmus sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Closterium sp	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cocconeis sp	0	2	6	6	3	2	9	4	2	8	2	7	1	3	0	5
Cyclotella sp	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cymbella sp	1	0	2	11	1	3	2	11	1	3	4	0	1	0	0	2
Desmidium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Diflugia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Eunotia sp	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Fragilaria sp	1	12	1	7	7	13	18	4	1	6	4	0	6	0	0	3
Frustulia sp	1	0	2	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gomphonema sp	2	56	3	167	11	43	12	20	4	4	98	5	2	31	1	17
Gyrosigma sp	0	0	2	0	0	0	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Hannaea sp	0	0	0	0	0	11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Hantzschia sp	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Melosira sp	2	1	5	5	0	84	1	5	1	2	4	0	1	0	0	5
Merismopedia sp	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Microspora sp	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monoraphidium sp	0	0	4	0	0	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0
Navicula sp	8	37	10	5	98	242	61	28	5	10	129	3	12	3	0	46
Nematoda sp	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitzchia sp	4	204	13	39	123	179	21	17	2	5	33	9	21	2	18	139
Oscillatoria sp	1	0	5	15	47	5	5	9	5	0	18	0	1	0	0	185
Pinnularia sp	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Rhoicosphenia sp	3	11	12	142	9	9	26	8	2	8	131	5	4	18	0	8
Spirulina sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Stigeoclonium sp	1	0	0	0	19	0	0	0	0	0	171	0	0	0	0	0
Synedra sp	2	1	1	1	2	4	7	2	2	1	0	1	0	0	0	1
Treubaria sp	0	0	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Vorticella sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.1.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D) a nivel general, se determinó que todas las estaciones a excepción de río Toche (H_Coe_01) y río Coello Gualanday (H_Coe_09), registraron valores

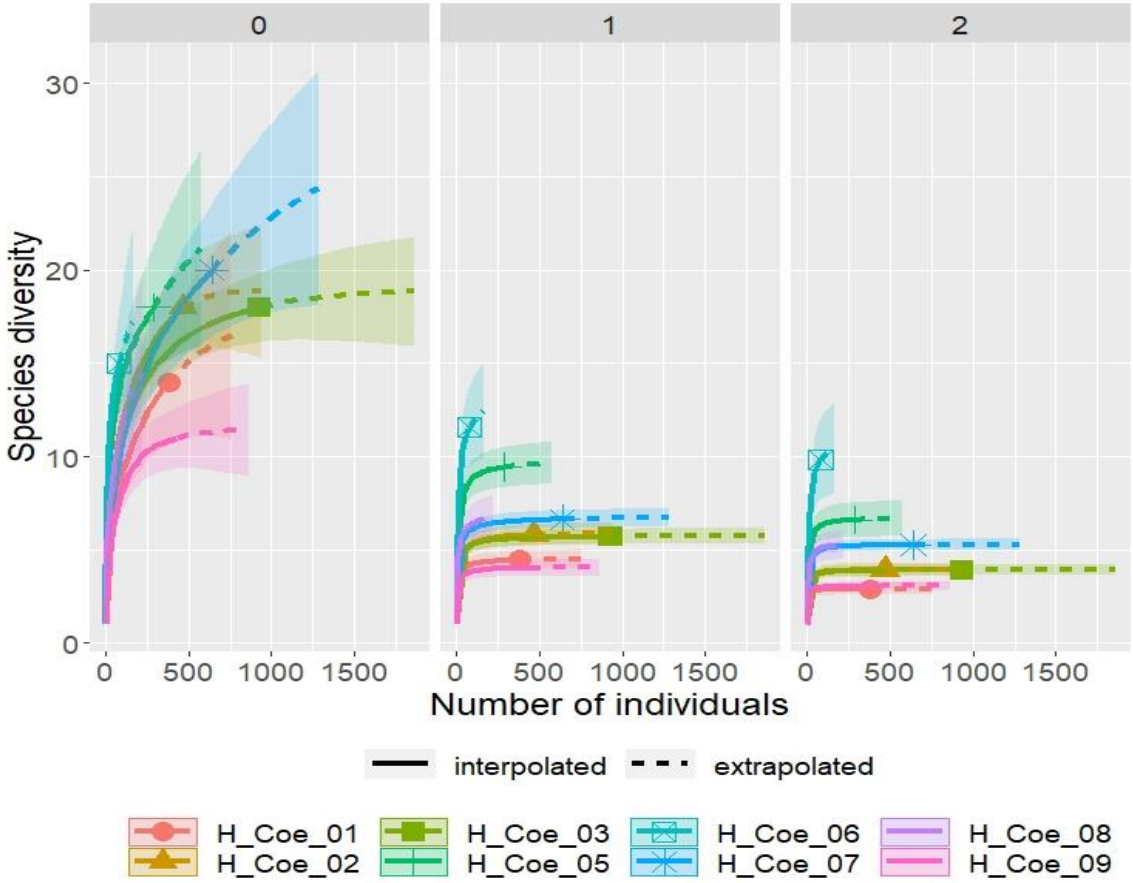
similares de riqueza de especies. Estas dos últimas estaciones registraron los valores más bajos de riqueza (**Figura 561**).

A partir del número de especies típicas (1D) y especies dominantes (2D) se evidenció que las estaciones río Coello-Cocora (H_Coe_06) y río Cocora, fueron las más diversas. A diferencia de las estaciones río Coello-Gualanday (H_Coe_09) y río Toche (H_Coe_01), las cuales registraron los valores más bajos de diversidad.

35.1.1.6. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad en las épocas evaluadas (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 562**). Por lo que, las comunidades perifíticas son estables y se mantiene en el tiempo en las localidades evaluadas. Algunos taxones como *Vorticella sp y Eunotia sp*, fueron más comunes durante la época de bajas precipitaciones (M2).

Figura 561. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello. 0=Riqueza especifica, 1= Exponente de Shannon y 2= Inverso de Simpson



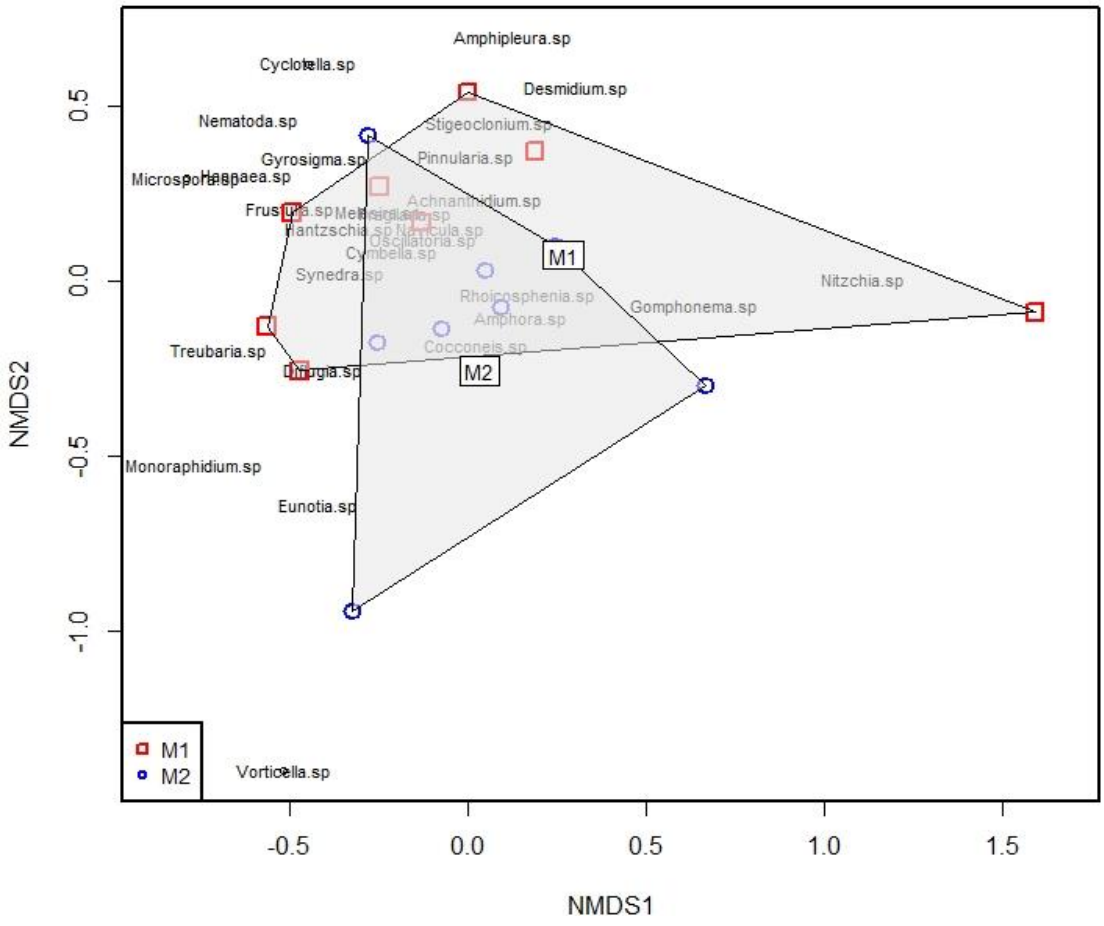
Fuente: Autores (2022).

35.1.1.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC), ninguna de las variables evaluadas influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica. Sin embargo, vale la pena resaltar que, en el diagrama de ordenación, se observó una separación clara en las estaciones evaluadas en la subzona hidrográfica del río Coello (**Figura 563**).

Estaciones como río Anaime (H_Coe_02), río Cocora (H_Coe_05), río Coello-Ibagué-Cocora (H_Coe_06) y el río Combeima-Ibague-Rovira (H_Coe_08), se separaron de las demás por valores elevados de conductividad eléctrica demanda biológica de oxígeno y coliformes fecales. Variables relacionadas con procesos de contaminación de materia orgánica y iones disueltos en el cuerpo de agua. En estas estaciones se registró la presencia de taxones como *Amphora sp, Gyrosigma sp, Difflugia sp, y Microspora sp.*

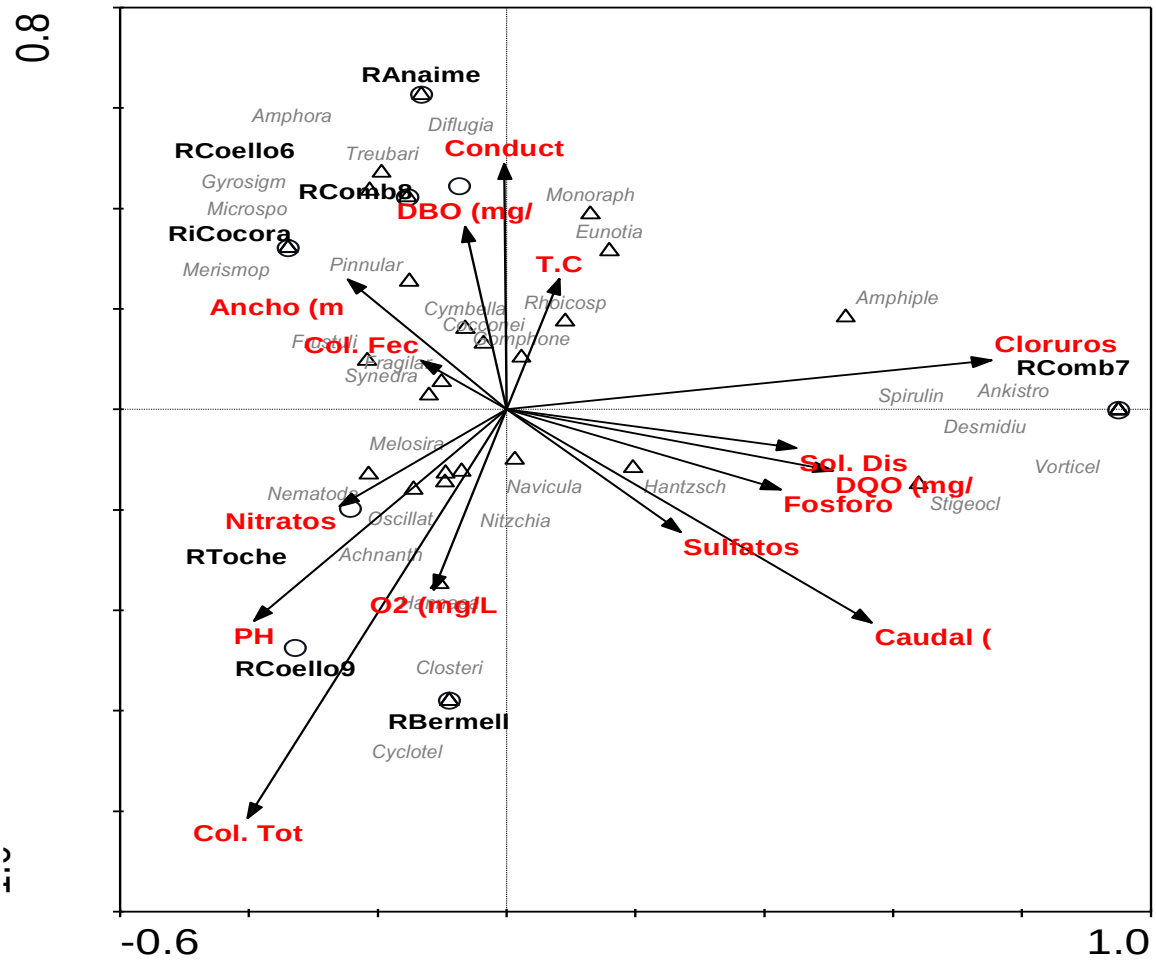
Figura 562. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Otro de los grupos observados fue el de las estaciones río Coello Gualanday (H_Coe_09), río Bermellón (H_Coe_03), y río Toche (H_Coe_01), en las cuales se observaron valores altos de coliformes totales, nitratos y pH posiblemente relacionados con contaminación por materia orgánica y/o desechos de aguas residuales (**Figura 563**). Finalmente, la estación río Combeima-Llanitos (H_Coe_07) se separó de las demás debido a la presencia de cloruros y solidos disueltos en este cuerpo de agua.

Figura 563. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del rio Coello.



Fuente: Autores (2022).

35.1.1.8. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (**Tabla 520**). Siendo el río Coello Gualanday (H_Coe_09) el que registro los valores más bajos de

contaminación. La mayoría de las estaciones registraron nivel de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica. Los niveles de contaminación registrados por el IDG, se deben a que este índice tiene en cuenta la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación como Amphora, Gomphonema, Melosira, Navicula, Synedra y Oscillatoria, registrados en todas las estaciones evaluadas de la presente subzona hidrográfica. Lo cual podría estar relacionado con cambios en las condiciones físicas y químicas de los cuerpos de agua, así como a la intervención antrópica observada en la mayoría de las localidades evaluadas.

Tabla 520. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
Rio Toche	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Anaime	2.7	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Bermellón	2.7	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Cocora	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Coello	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Combeima	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Combeima	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Coello	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

Fuente: Autores (2022).

35.1.2. Macroinvertebrados acuáticos

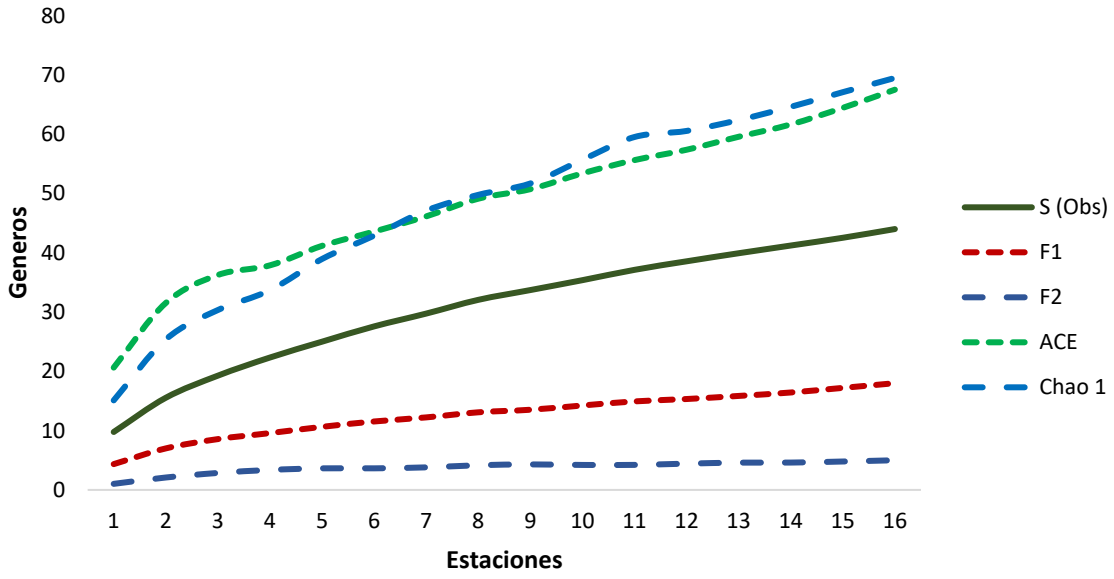
35.1.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 44 géneros observados (Sobs) en las veinte estaciones evaluadas (diez en la subzona durante dos temporadas) para un total de 64 muestras que corresponden al 65.2% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 63.3% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 69.5 géneros (**Figura 564**).

Según los estimadores de riqueza se registró una cantidad media de organismos durante los periodos de muestreo, la mayoría de los organismos colectados son de tipo cosmopolitas y persistentes en el tiempo, por lo cual son relativamente fáciles de observar (Domínguez y Fernández, 2009).

Por otro lado se encontró una cantidad alta de géneros con un solo individuo (18), lo que sugiere la posibilidad de encontrar un mayor número de taxones, durante diferentes épocas del periodo climático que rige esta subzona hidrográfica para lograr la asíntota, esto es consecuente, con la amplia variedad de géneros que tiene esta comunidad, en donde sus representantes poseen un amplio espectro de adaptaciones al ecosistema acuático, lo cual puede dificultar la colecta de la totalidad de organismos según el programa de monitoreo establecido y los métodos de colecta empleados (Brower et al., 1997).

Figura 564. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrografica del rio Coello.



Fuente: Autores (2022)

35.1.2.2. Composición

Se colectaron 2446 organismos distribuidos en tres filos, tres clases, 18 órdenes, 30 familias y 44 géneros (**Tabla 521**).

Tabla 521. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Coello.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	5
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	*Tubifex*	2
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus*	1
				Heterelmis	7
				Huleechius	2
				Macrelmis	1
			Elodes	*Elodes*	1
			Gyrinidae	*Gyrinus*	1
			Ptilodactylidae	*Anchytarsus*	4
			Staphylinidae	*Bledius*	1
		Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	2
				Atrichopogon	1
			Chironomidae	*Chironominae*	562
				Orthocladiinae	820
				Tanypodinae	4
			Empididae	*Chelifera*	7
				Hemerodromia	3
			Ephydridae	*Ephydra*	1
			Muscidae	*Limnophora*	1
			Psychodidae	*Maruina*	3
				Psychoda	7
			Simuliidae	*Simulium*	96
			Stratiomyidae	*Odontomyia*	1
			Tipulidae	*Molophilus*	6
				Tipula	2
		Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	32
				Baetodes	712
				Camelobaetidius	31
				Moribaetis	1
			Caenidae	*Caenis*	1
			Leptohyphidae	*Leptohyphes*	23
				Tricorythodes	1
			Leptophlebiidae	*Thraulodes*	7
		Hemiptera	Hebridae	*Hebrus*	1
			Veliidae	*Rhagovelia*	2
		Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	1
		Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	8
		Trichoptera	Calamoceratidae	*Phylloicus*	1
			Hydrobiosidae	*Atopsyche*	5

Glossosomatidae	*Culoptila*	1
Hydropsychidae	*Leptonema*	21
	Smicridea	75
Leptoceridae	*Atanatolica*	1
Philopotamidae	*Chimarra*	1

Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, presentaron mayor abundancia Díptera con 1516 organismos (61.5%), seguido del orden Ephemeroptera con 808 organismos (32.8%) y Trichoptera con 105 organismos (4.3%). Esta configuración de abundancia sigue el patrón de composición que se presenta en las cuencas andinas, donde está dominada por taxones de este orden que en general son los más diversos con una mayor cantidad de representantes (Vásquez y Reinoso, 2012)

En cuanto a familias, las más abundantes fueron Chironomidae (56.2%), Baetidae (31.5%) y Hydropsychidae (3.9%) mientras que Caenidae, Calamoceratidae, Corydalidae, Scirtidae, Ephydridae, Glossosomatidae, Gyrinidae, Hebridae, Leptoceridae, Muscidae, Philopotamidae, Staphylinidae y Stratiomyidae presentaron la menor abundancia (>0.1%). Por último, a nivel de géneros, los más abundantes fueron Orthocladiinae sp (8.2%), seguido de *Baetodes* (8.2%) y Chironominae sp (7%).

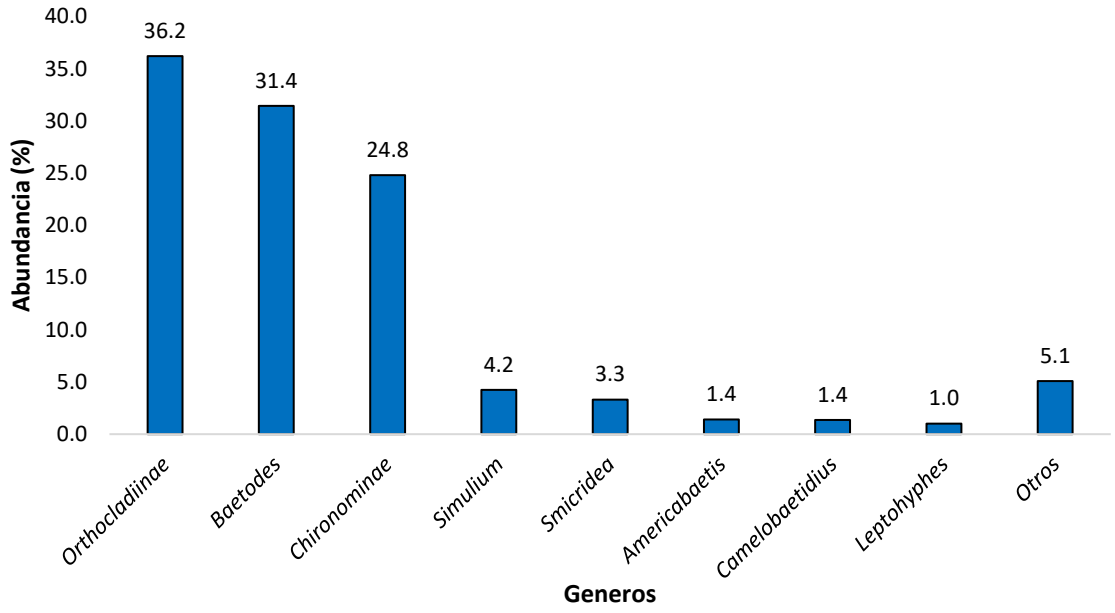
De los 44 géneros registrados 21 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Cylloepus, Macrelmis, Elodes, Gyrinus, Bledius, Atrichopogon, Ephydra, Limnophora, Odontomyia, Moribaetis, Caenis, Tricorythodes, Hebrus, Corydalus, Phylloicus, Culoptila, Atanatolica* y *Chimarra* (**Figura 565Figura *565***).

El cauce del rio Coello y sus principales tributarios, constituyen una cuenca bastante extensa con una amplia variedad de hábitats, capaces de albergar grandes poblaciones de macroinvertebrados acuáticos, sin embargo, estos cuerpos de agua, presentan algunas afectaciones artificiales como el ingreso de aguas negras provenientes de las localidades aledañas, desechos industriales y extracción de arena, las cuales representan fuertes tensores sobre la fauna acuática y en especial con la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Villa et al., 2003). A pesar de que la gran mayoría de taxones son tolerantes y generalistas, también existe la presencia de algunos organismos sensibles que indican que las condiciones ambientales del rio aún son las aceptables para mantener poblaciones de estos animales (Roldan & Ramírez, 2008).

A pesar de los cambios producto de las actividades productivas que existen en la cuenca, el periodo climático también tiene un efecto marcado sobre la distribución y abundancia de los organismos, en este caso se presentaron fuertes lluvias que modificaron el caudal de los ríos, lo cual significa una fuerte

reconfiguración de las poblaciones animales por efecto de la remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011).

Figura 565. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

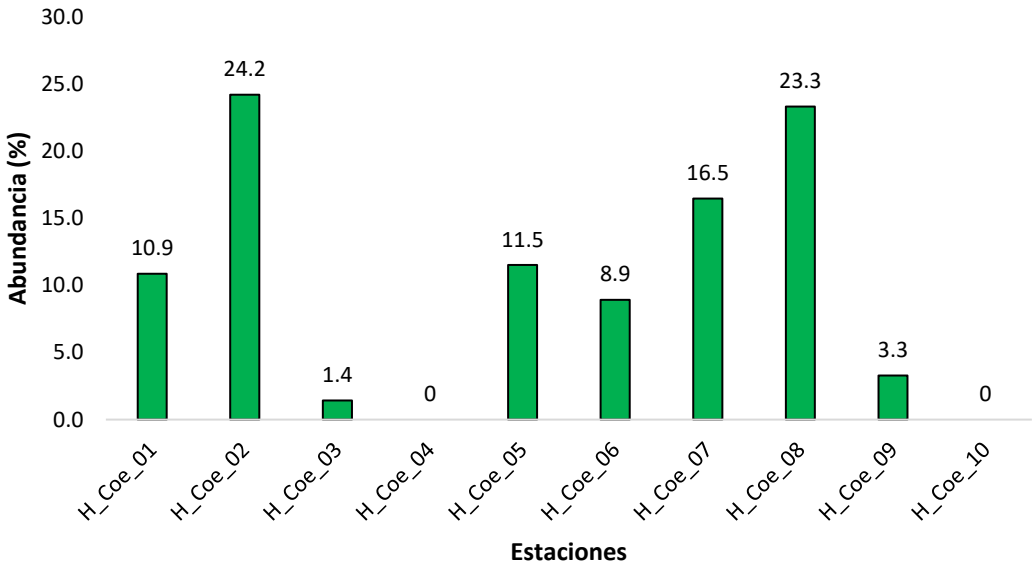
35.1.2.3. Distribución espacial

Se establecieron diez estaciones de muestreo, de las cuales no fue posible realizar el muestreo en las estaciones del rio Bermellón (H_Coe_04) y el rio Coello (H_Coe_10), debido que al momento de la colecta se encontraban en pulso de inundación, con un fuerte caudal y sin posibilidad de ingreso a los mismos (Castro et al., 2008). De las ocho estaciones monitoreadas el rio Anaime (H_Coe_02), fue la que presento mayor abundancia relativa con un 24.2%, seguido por las dos estaciones del rio Combeima (H_Coe_08 con 23.3% y H_Coe_07 con 16.5%). Por otro lado, las estaciones que obtuvieron menor porcentaje de abundancia fueron el rio Bermellón (H_Coe_03) con el 0.3% y el rio Coello (H_Coe_09) con el 3.3% (**Figura 566**).

La subzona hidrográfica del rio Coello es bastante amplia y cuenta con un gran número de cuerpos de agua, sin embargo, estos ríos se encuentran en inmediaciones de centros poblados y carreteras que permiten que existan ciertas afectaciones que modifican la distribución y dinámica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, en este sentido la mayoría de las estaciones se

encuentra con bajas abundancias y con presencia de organismos tolerantes y cosmopolitas que indican que el medio acuático se encuentra perturbado (Roldan y Ramírez, 2008). A nivel de comunidad se evidencia una reducción significativa según lo reportado por Villa et al (2003), donde se realizó un estudio de este grupo biológico a lo largo de la cuenca y reporto una mayor abundancia y diversidad, no obstante, algunos factores adicionales al momento de la colecta como el pulso de inundación marcado por el periodo hidrológico, tiene consecuencias directas sobre la distribución de estos animales (Junk et al, 1989; Hanson et al., 2010).

Figura 566. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

En cuanto a los géneros registrados solo Chironominae sp y Orthocladiinae sp (Diptera), se registraron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica, otros organismos que se distribuyeron ampliamente en la zona fueron *Baetodes* (Ephemeroptera) y *Smicridea* (Trichoptera) (**Tabla 522**). Por otra parte 18 géneros mostraron distribución restringida y solo fue posible colectarlos en un solo sitio y de un organismo cada uno, estos fueron: *Cylloepus, Elodes, Gyrinus, Macrelmis, Bledius, Atrichopogon, Ephydra, Limnophora, Odontomyia, Caenis, Moribaetis, Tricorythodes, Hebrus, Corydalus, Atanatolica, Chimarra, Culoptila, Phylloicus.*

Los organismos colectados en una sola estación tienen características ecológicas muy particulares que los restringe en la colonización de nuevos hábitats, esto indica que a pesar de los tensores a menudo artificiales que están presentes en los cuerpos de agua, en algunas zonas de los mismos se están

presentando procesos de resiliencia y aporte de recursos (alimenticios y de sustrato) que permiten la colonización de organismos poco tolerantes y con alta especificidad de hábitat (Hanson et al., 2010).

Tabla 522. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.

Genero	HCoe01	HCoe02	HCoe03	HCoe05	HCoe06	HCoe07	HCoe08	HCoe09
Anchytarsus	0	0	0	3	1	0	0	0
Cylloepus	0	0	0	0	0	0	0	1
Elodes	1	0	0	0	0	0	0	0
Gyrinus	0	1	0	0	0	0	0	0
Heterelmis	1	0	0	3	1	0	0	2
Huleechius	0	1	0	1	0	0	0	0
Macrelmis	0	1	0	0	0	0	0	0
Oxythelus	0	0	0	0	0	0	1	0
Alluaudomyia	0	0	0	1	0	0	0	1
Atrichopogon	0	0	0	0	0	1	0	0
Chelifera	0	1	2	3	0	1	0	0
Chironominae	41	374	3	33	43	12	22	34
Ephydra	0	0	0	0	0	1	0	0
Hemerodromia	0	0	0	1	0	1	1	0
Limnophora	0	0	1	0	0	0	0	0
Maruina	0	0	0	3	0	0	0	0
Molophilus	0	3	2	1	0	0	0	0
Odontomyia	0	0	0	0	1	0	0	0
Orthocladiinae	76	59	18	52	16	70	502	27
Psychoda	0	0	0	0	0	0	7	0
Simulium	16	27	0	5	0	45	2	1
Tanypodinae	2	1	0	0	0	0	0	1
Tipula	1	0	1	0	0	0	0	0
Americabaetis	7	15	0	4	4	1	0	1
Baetodes	111	97	6	75	124	262	37	0
Caenis	0	0	0	0	0	0	1	0
Camelobaetidius	2	2	0	24	0	0	0	3
Leptohyphes	2	0	0	17	1	0	0	3
Moribaetis	0	0	0	0	0	1	0	0
Thraulodes	3	0	0	2	0	1	0	1
Tricorythodes	0	0	0	0	0	0	0	1
Hebrus	0	1	0	0	0	0	0	0
Rhagovelia	0	0	0	0	0	2	0	0
Corydalus	0	0	0	0	1	0	0	0
Girardia	0	0	0	3	0	1	1	0

Anacroneuria	1	1	1	2	2	1	0	0
Atanatolica	0	0	0	1	0	0	0	0
Atopsyche	1	1	0	1	0	2	0	0
Chimarra	1	0	0	0	0	0	0	0
Culoptila	0	0	0	0	0	1	0	0
Leptonema	0	2	0	17	1	0	1	0
Phylloicus	0	0	0	1	0	0	0	0
Smicridea	2	8	1	31	25	3	0	5
Tubifex	0	2	0	0	0	0	0	0

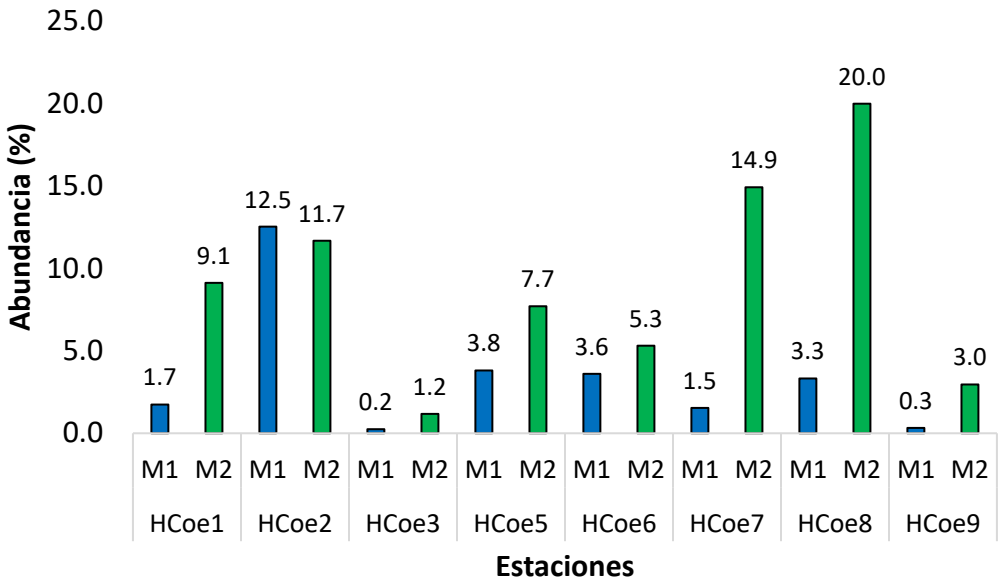
Fuente: Autores (2022).

35.1.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar dos periodos climáticos contrastantes, sin embargo, en ambos periodos de monitoreo se presentaron lluvias que alteraron el caudal de varias estaciones evaluadas, por otra parte, durante los dos periodos fue posible evaluar las estaciones rio Bermellón (H_Coe_04) y el rio Coello (H_Coe_10). Durante el tiempo de muestreo se evidencia que hubo un aumento en la abundancia en el segundo muestreo con un registro de 1797 individuos que representarían el 72.9% comparado con lo obtenido durante la primera campaña en la cual se colectaron 669 individuos que representan el 27.1% de la variación total.

En cuanto a las estaciones se observa que las dos estaciones del rio Combeima (H_Coe_07 y H_Coe_08) presentaron la mayor abundancia con el 14.9 y 20% respectivamente, por otra parte, el rio Anaime (H_Coe_02), muestra una tendencia constante en la abundancia durante los dos periodos evaluados (**Figura 567**). En general se observa una mayor abundancia en los ríos tributarios, que, en el cauce principal, las estaciones ubicadas sobre el rio Coello (H_Coe_06 y H_Coe_09), se encuentran fuertemente afectadas por la extracción de arena a la altura de la vereda Cócora y por el muro de captación en el corregimiento de Gualanday, estos dos sucesos provocan fuertes limitaciones en el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos, ya que en el primer caso se homogenizan los sustratos y se reemplazan por arena que es sumamente inestable frente a la corriente y en el segundo caso, el muro evita el trasporte de organismos por deriva que permite la recolonización aguas debajo de nuevos hábitats (Umaña et al., 2020).

Figura 567. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

A nivel temporal los géneros muestran variaciones particulares, el único taxón que se registró en todas las estaciones durante las dos temporadas fue Orthocladiinae sp. Otros organismos como Chironominae sp, *Baetodes* y *Smicridea*, mostraron una amplia distribución espacio-temporal (**Tabla 523**), esta fauna es cosmopolita y tolerante por lo cual tienen una enorme capacidad de habitar diferentes cuerpos de agua mientras el nivel de perturbación no sea crítico, al ser organismos generalistas son capaces de explotar diferentes recursos en una amplia variedad de hábitats (Forero et al., 2016).

Los generos *Atanatolica, Atrichopogon, Caenis, Chimarra, Corydalus, Culoptila, Cylloepus, Elodes, Ephydra, Gyrinus, Hebrus, Limnophora, Macrelmis, Moribaetis, Odontomyia, Bledius, Phylloicus* y *Tricorythodes* se registraron solo una vez durante los dos muestreos, esto se debe a que los macroinvertebrados acuáticos como comunidad, contienen una inmensa variedad de entidades, cada una de ellas con hábitos ecológicos particulares a los cuales se encuentran adaptados, los organismos mencionados con anterioridad se consideran sensibles, debido a esto el equilibrio cambiante de los ecosistemas acuáticos ocasiona cambios en las poblaciones, además eventos naturales como el pulso de inundación y artificiales como ingreso de contaminantes puede mermar la densidad de estos organismos en puntos determinados de los ríos (Longo et al., 2010).

Tabla 523. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.

	HCoe01		HCoe02		HCoe03		HCoe05		HCoe06		HCoe07		HCoe08		HCoe09	
Genero	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Alluaudomyia	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Americabaetis	0	7	15	0	0	0	1	3	1	3	0	1	0	0	0	1
Anacroneuria	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
Anchytarsus	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Atanatolica	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Atopsyche	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Atrichopogon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Baetodes	3	108	90	7	0	6	21	54	42	82	7	255	1	36	0	0
Caenis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Camelobaetidius	0	2	2	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	3
Chelifera	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Chimarra	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chironominae	10	31	142	232	1	2	14	19	21	22	6	6	0	22	3	31
Corydalus	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Culoptila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Cylloepus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Elodes	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephydra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Girardia	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	1	0	0
Gyrinus	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hebrus	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hemerodromia	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Heterelmis	0	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	2
Huleechius	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptohyphes	1	1	0	0	0	0	3	14	1	0	0	0	0	0	0	3
Leptonema	0	0	1	1	0	0	6	11	1	0	0	0	0	1	0	0
Limnophora	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Macrelmis	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maruina	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Molophilus	0	0	1	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Moribaetis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Odontomyia	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Orthocladiinae	18	58	34	25	3	15	20	32	12	4	20	50	73	429	4	23
Oxythelus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Phylloicus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Psychoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
Rhagovelia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Simulium	6	10	11	16	0	0	2	3	0	0	1	44	0	2	0	1

Smicridea	2	0	5	3	1	0	18	13	6	19	0	3	0	0	0	5
Tanypodinae	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Thraulodes	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Tipula	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tricorythodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tubifex	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.1.2.5. Diversidad

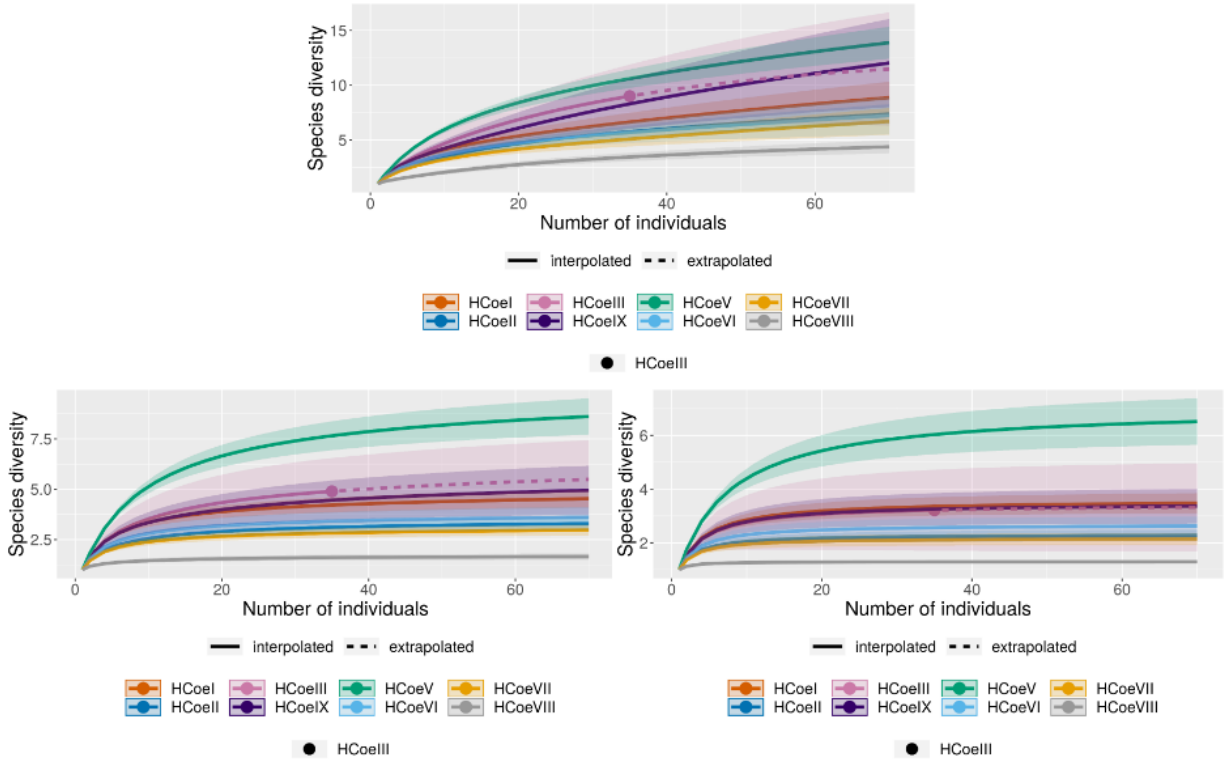
Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Coello, se puede establecer que los valores de riqueza más altos (0D) se dieron en las estaciones rio Cócora (H_Coe_05) donde se hallaron 25 géneros, en el rio Anaime (H_Coe_02) con 18 géneros y el rio Combeima (H_Coe_07) con 17 (**Figura 568**).

Al observar los intervalos de confianza, estos se encuentran superpuestos unos con otros lo que parece indicar que no existen cambios significativos en la riqueza observada, por lo que se considera que es relativamente similar en las estaciones evaluadas, a excepción de la estación del rio Combeima (H_Coe_08), que si tiende a alejarse de las demás.

Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican un valor más alto en la estación rio Cócora (H_Coe_05) con 9,8 géneros y una posible diferencia con las demás estaciones, dado que los intervalos de confianza no se sobreponen a los demás contrario a esto las estaciones muestran valores cercanos e intervalos sobrepuestos lo que parece indicar que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de estas zonas e homogénea y está compuesta principalmente por géneros comunes y ampliamente distribuidos.

Por último, de acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento similar al obtenido del q1 donde el rio Cócora (H_Coe_05) registra el valor más alto con 6.9 géneros, y como en el caso anterior las demás estaciones se encuentran en valores cercanos lo que indica uniformidad en la comunidad, dominada por organismos cosmopolitas de gran abundancia, específicamente Chironominae sp, Orthocladiinae sp, los cuales prosperan fácilmente en cualquier ecosistema incluso si está altamente perturbado.

Figura 568. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



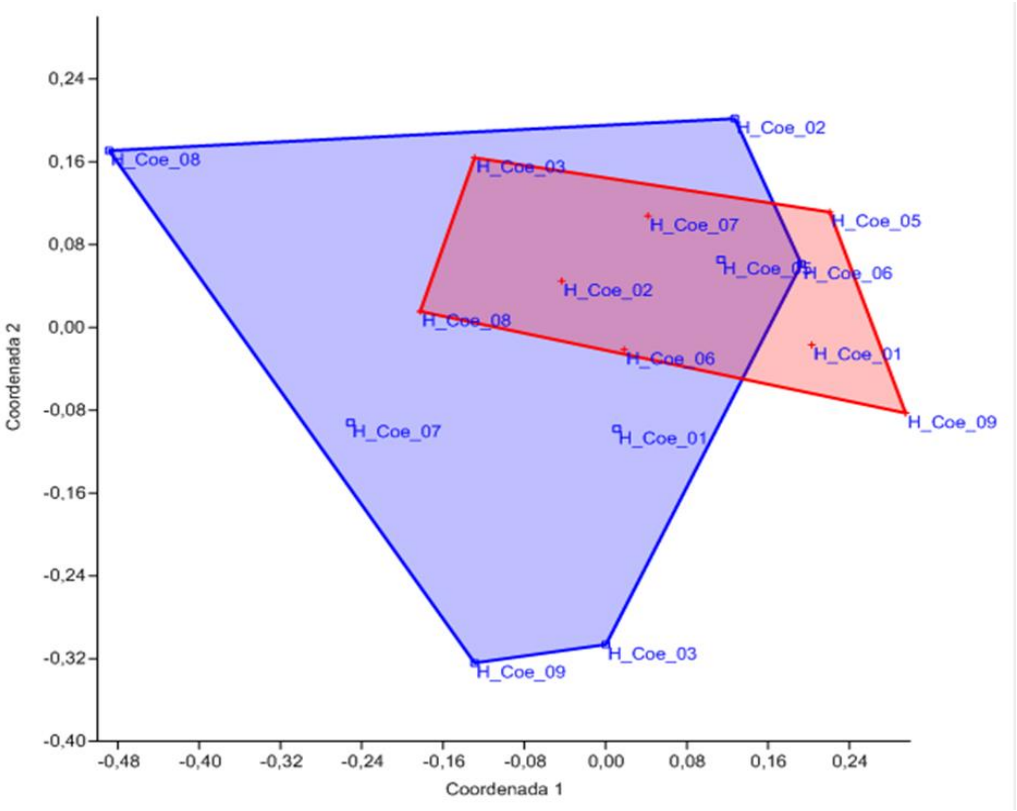
Fuente: Autores (2022).

La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Coello es homogénea y uniforme, compuesta de organismos altamente tolerantes a los cambios ambientales y a la degradación, esto es consecuente ya que los afluentes de esta subzona se encuentran sometidos a presiones antrópicas y ambientales similares, sin embargo aún parecen existir procesos naturales de mitigación que permiten a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos prosperar, esto se refleja en la presencia de organismos sensibles en algunas estaciones (Arias et al., 2007).

35.1.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, no muestra agrupamientos definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,16) (**Figura 569**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,3).

Figura 569. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



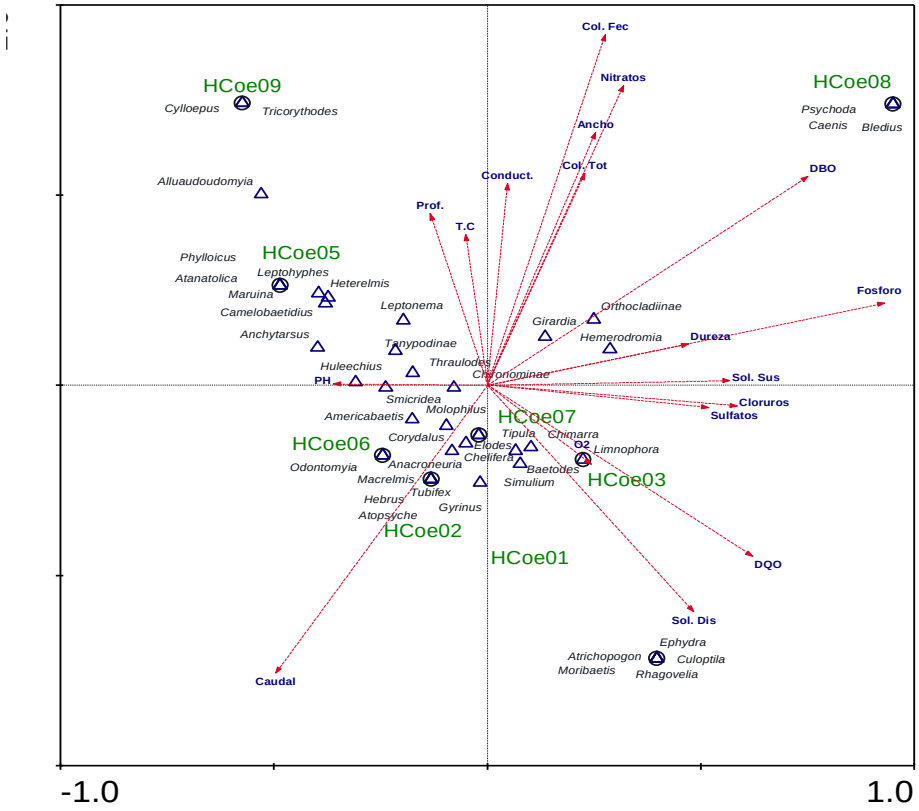
Fuente: Autores (2022).

El diagrama NMDS indica poca independencia entre los grupos evaluados, sin embargo, muestra algunas diferencias a nivel de estaciones, lo que significa que las estaciones más alejadas poseen una biota particular, lo cual puede ser indicativo que posee recursos diferentes sustentar poblaciones de organismos sensibles y de poca distribución (Domínguez & Fernández, 2009; Hanson, Springer & Ramírez, 2010). En el caso del muestreo 1 denotado con azul se observa una mayor disimilitud entre las estaciones, esto supone que la cantidad de géneros que se comparten entre ellas es distinta, por otra parte, el muestreo 2 delineado en rojo, muestra una mayor cercanía entre estaciones por lo que se asume mayor homogeneidad en la composición taxonómica.

35.1.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, las variables fosforo, coliformes fecales, profundidad, nitratos, DBO, DQO y temperatura presentan efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos, de ellos solamente el fosforo presenta diferencia estadísticamente significativa (**Figura 570**).

Figura 570. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Coello.



Fuente: Autores (2022).

El rio Coello es de un tamaño considerable con un caudal moderado-alto, tiene la capacidad de transportar grandes cantidades de sedimentos y partículas que tienen efectos variables sobre la fauna, adicionalmente existen eventos naturales y artificiales en su periferia que inciden directamente en la dinámica del ecosistema (Perez, 2020). En campo fue posible observar una serie de disturbios tales como remoción de arena, ingreso de aguas domesticas e industriales, entre otros que podrían tener un efecto directo sobre la dinámica de las poblaciones. En el diagrama de ordenación mediante la longitud del vector que existe un incremento en los nutrientes y los coliformes que derivan de actividades agrícolas y domésticos, en particular el fosforo, es el que parece presentar mayor efecto (Arias et al., 2007). Las asociaciones que entre las variables y las estaciones no son del todo claras, sin embargo, se pueden observar algunos efectos particulares en las estaciones H_Coe_03 y H_Coe_07 se relacionan con las variables oxígeno disuelto, DQO y solidos suspendidos junto con los géneros *Chimarra, Limnophora.* La estación H_Coe_02, se encuentra influenciada directamente con la profundidad y en ella se encuentran los géneros *Hebrus*, *Macrelmis*, *Atopsyche*, *Anacroneuria*, *Tubifex* y

Gyrinus. Por último, la estación H_Coe_08 se relaciona directamente con el DBO y los géneros *Psychoda, Caenis* y *Bledius.*

La distribución de las variables fisicoquímicas con respecto a las estaciones muestra que pueden existir procesos de mineralización y eutrofización, en algunas de las estaciones, esto en relativamente común en cuencas andinas que cuentan con un alto grado de erosión y de transporte sedimentos, adicional a esto las actividades antrópicas ocasionan disturbios fuertes que limitan significativamente el desarrollo de los invertebrados acuáticos, debido a esto la calidad ecológica de esta subzona hidrográfica es bastante baja a pesar de su tamaño y condiciones ambientales que deberían favorecer el crecimiento de las poblaciones de estos animales (Ramirez y Viña, 1998).

35.1.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Coello, exhiben un carácter heterogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas (**Tabla 524**). En el muestreo 1 y 2 se observa que la mayoría de las estaciones evaluadas se encuentran con calidad desde dudosa hasta muy crítica.

Tabla 524. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Coello.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Muestreo 1	BMWP/Col	Muestreo 2	Clase
Rio Toche	47	Dudosa	III	68	II	Aceptable
Rio Anaime	63	Aceptable	II	31	IV	Critica
Rio Bermellón	12	Muy Critica	V	28	IV	Critica
Rio Bermellón	*	*	*	*	*	*
Rio Cócora	79	Aceptable	II	104	I	Buena
Rio Coello	59	Aceptable	II	26	IV	Critica
Rio Combeima	28	Critica	IV	70	II	Aceptable
Rio Combeima	20	Critica	IV	44	III	Dudosa
Rio Coello	11	Muy Critica	V	40	III	Dudosa
Rio Coello	*	*	*	*	*	*

Fuente: Autores (2022).

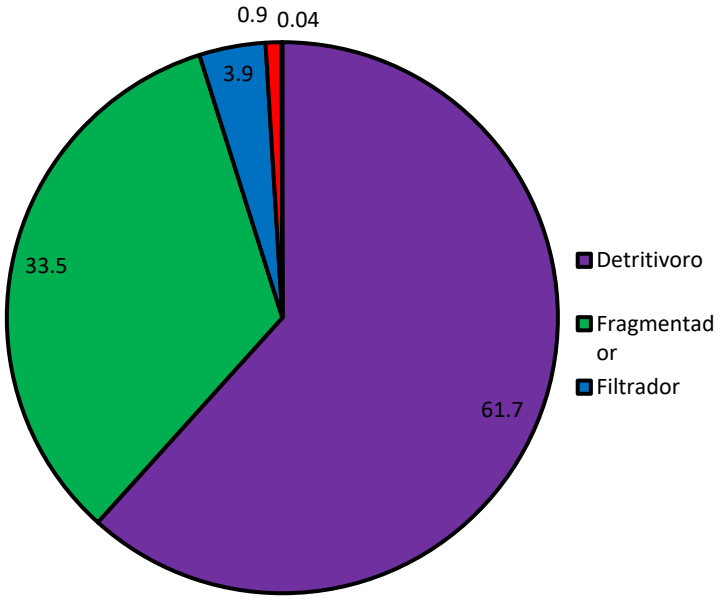
En general los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra datos desfavorables en muchas de las estaciones de la subzona Coello, esto es consecuente con los tipos de alteraciones que se observaron durante las campañas de monitoreo, los factores que más afectan la comunidad son el pulso de inundación y las presiones de origen antrópico como extracción de arena e ingreso de aguas negras (domesticas e industriales), esto supone fuertes presiones para los organismos a nivel fisiológico y comportamental, ante estos sucesos solo la fauna

más tolerante persiste en el espacio- tiempo y es lo que se evidencia en los resultados obtenidos (Roldan, 2003; Medianero & Samaniego, 2004).

35.1.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron cinco gremios tróficos de los cuales el detritívoro fue el más abundante (61.7%), seguido de fragmentador (33.5%), filtrador (3.9%), Depredador (0.9%) y por último el raspador (0.04%) (**Figura 571**). La gran abundancia del gremio detritívoro puede estar relacionada con altos niveles de detritus orgánicos presenten en el agua, estos detritos pueden tener origen en los residuos domésticos que se vierten sobre los cauces de los ríos.

Figura 571. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

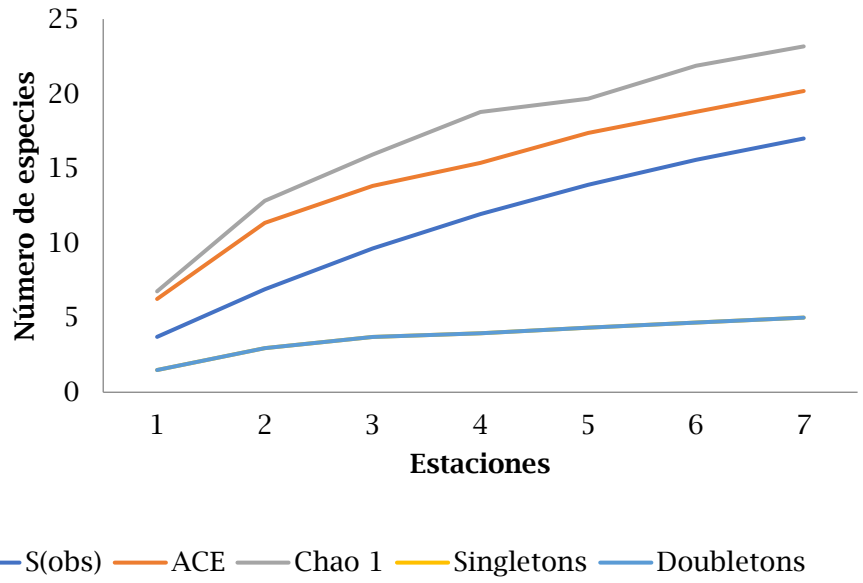
Por otro lado, el fragmentador está relacionado con la cantidad de hojarasca que se encuentra disponible como material aloctono dentro del agua y está considerado normal dentro del patrón habitual de caída de hojarasca que ocurre en las cuencas andinas. Los demás gremios como el filtrador que se alimenta de partículas en suspensión, el depredador que se alimenta de otros animales y el raspador que se alimenta de perifiton se encuentran pobremente representados, sin embargo, esto es común ya que son gremios especializados en la obtención de recursos limitados en el contexto espacio-temporal (Perez et al., 2004).

35.1.3. Ictiofauna

35.1.3.1. Representatividad

De las diez estaciones establecidas para la subzona hidrográfica del rio Coello, en una (H-COE-02) no se colectaron peces. La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Coello. Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue relativamente alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 17) corresponde al 60 % y 73 % de las especies esperadas, es decir, 20 y 23 especies, respectivamente. Esto puede explicarse porque los estimadores de riqueza son sensibles en comunidades donde hay muchas especies con baja frecuencia de captura, es decir abundancia (**Figura 572**).

Figura 572. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Coello.



Fuente: Autores (2022).

Según Colwell & Elsensohn (2014) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de diez especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Andinoacara latifrons*, *Argopleura magdalenensis*, *Creagrutus* sp., *Oncorhynchus mykiss*, *Astroblepus chapmani*, *Astroblepus grixalvii*, *Astroblepus homodon*, *Astroblepus micrescens*, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus", *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus", *Astroblepus* sp. 3 "chotae", *Chaetostoma* cf. *fischeri*, *Chaetostoma milesi* y *Sturisomatichthys aureus*) o que se

capturaron dos individuos (doubletons) (*Hemibrycon* sp., *Astroblepus chapmani*, *Astroblepus grixalvii*, *Astroblepus homodon* y *Trichomycterus banneaui*). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue relativamente alto.

35.1.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Coello se colectaron 107 individuos (**Tabla 525**), pertenecientes a 17 especies, distribuidas en cuatro órdenes y seis familias. El orden Siluriformes (AR= 63 %), con 11 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 33 %) con cuatro, Salmoniformes (AR= 1.9 %) y Blenniiformes (AR= 0.9 %) con una.

Con relación al número de especies por familia, Astroblepidae (AR= 33 %) registró la mayor riqueza con siete, seguida de Characidae (AR= 33 %) con cuatro, Lorcariidae (AR= 4.7 %) con tres y Trichomycteridae (AR= 28 %) y Salmonidae (AR= 1.9 %) con una (**Figura 573**).

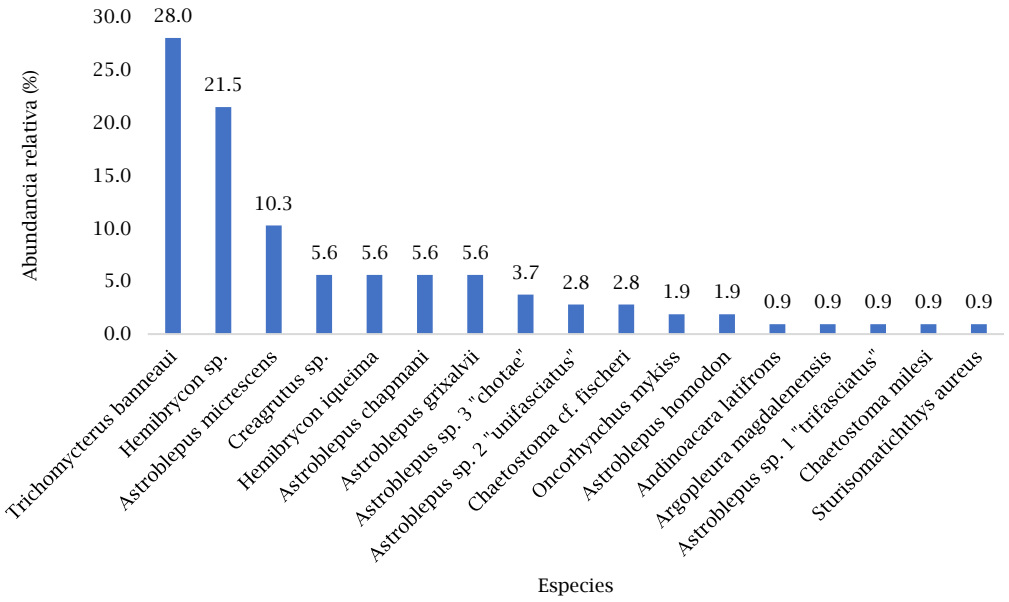
Tabla 525. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Coello

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	Total
Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara latifrons*	1
Characiformes	Characidae	*Argopleura magdalenensis*	1
		Creagrutus sp.	6
		Hemibrycon iqueima	6
		Hemibrycon sp.	23
Salmoniforme	Salmonidae	*Oncorhynchus mykiss*	2
Siluriformes	Astroblepidae	*Astroblepus chapmani*	6
		Astroblepus grixalvii	6
		Astroblepus homodon	2
		Astroblepus micrescens	11
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	1
		Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	3
		Astroblepus sp. 3 "chotae"	4
	Loricariidae	*Chaetostoma* cf. *fischeri*	3
		Chaetostoma milesi	1
		Sturisomatichthys aureus	1
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	30

Fuente: Autores (2022).

Con respecto a la abundancia de las especies, *Trichomycterus banneaui* fue la más abundante con 30 individuos (AR= 28 %), seguida de *Hemibrycon* sp. con (AR= 21 %) y *Astroblepus micrescens* con (AR= 10 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 5 % y, adicionalmente, se registraron cinco especies con un solo individuo, entre las que se mencionan *Andinoacara latifrons*, *Argopleura magdalenensis, Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus", *Chaetostoma milesi y Sturisomatichthys aureus* (**Figura 573**).

Figura 573. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Coello.

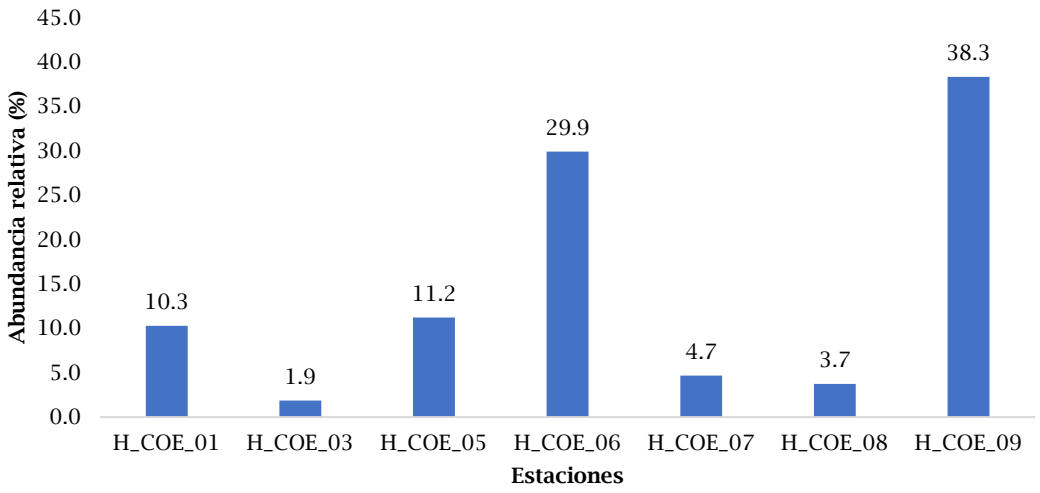


Fuente: Autores (2022).

35.1.3.3. Distribución espacial

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-COE-09 (Río Coello-479) registró la mayor abundancia con AR= 38 %, seguido de H-COE-06 (Río Coello-1184) con AR= 29 %, H-COE-05 (Río Cocora-1170) con AR= 11 % y H-COE-01 (Río Toche-2000) con AR= 10 % (**Figura 574**). Las demás estaciones registran abundancias relativas inferiores al 5 % y se distribuyen entre 1700 a 900 m s.n.m. Es relevante mencionar que H-COE-08 (Río Combeima-900) a pesar de estar ubicado en las zonas bajas registró una baja abundancia de individuos (**Tabla 526**).

Figura 574. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 526. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.

ESPECIE	H_COE_01	H_COE_03	H_COE_05	H_COE_06	H_COE_07	H_COE_08	H_COE_09
Andinoacara latifrons	*	*	*	*	*	*	1
Argopleura magdalenensis	*	*	*	*	*	*	1
Creagrutus sp.	*	*	*	*	*	*	6
Hemibrycon iqueima	*	*	3	2	*	*	1
Hemibrycon sp.	*	*	5	18	*	*	*
Oncorhynchus mykiss	2	*	*	*	*	*	*
Astroblepus chapmani	*	*	*	4	2	*	*
Astroblepus grixalvii	*	*	4	*	2	*	*
Astroblepus homodon	*	1	*	*	*	*	1
Astroblepus micrescens	9	1	*	*	1	*	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*	*	*	1	*	*	*
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	*	*	*	3	*	*	*
Astroblepus sp. 3 "chotae"	*	*	*	4	*	*	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	*	*	*	3
Chaetostoma milesi	*	*	*	*	*	*	1
Sturisomatichthys aureus	*	*	*	*	*	*	1
Trichomycterus banneaui	*	*	*	*	*	4	26

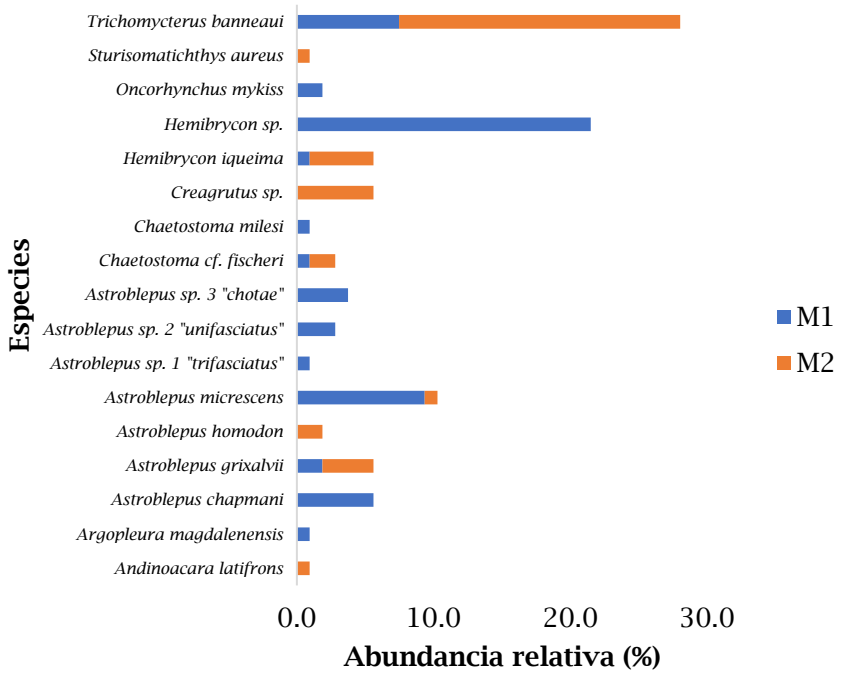
*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.1.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de las abundancias de la ictiofauna entre los dos muestreos evaluados, es posible observar cuatro especies (*Trichomycterus banneaui*, *Hemibrycon iqueima*, *Astroblepus micrescens* y *Astroblepus grixalvii*) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos (**Figura 575**). Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten la proliferación y mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *T. banneaui* que es dependiente se sustratos arenosos y aguas moderadamente rápidas.

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo (**Tabla 527**), es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia son variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021).

Figura 575. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 527. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Coello.

ESPECIE	H_COE_01	H_COE_05	H_COE_06	H_COE_07	H_COE_08	H_COE_09	H_COE_03	H_COE_05	H_COE_06	H_COE_09
Andinoacara latifrons	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Argopleura magdalenensis	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*
Creagrutus sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6
Hemibrycon iqueima	*	*	*	*	*	1	*	3	*	*
Hemibrycon sp.	*	5	18	*	*	*	*	*	*	*
Oncorhynchus mykiss	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Astroblepus chapmani	*	*	4	2	*	*	*	*	*	*
Astroblepus grixalvii	*	*	*	2	*	*	*	4	*	*
Astroblepus homodon	*	*	*	*	*	*	1	*	*	1
Astroblepus micrescens	9	*	*	1	*	*	1	*	*	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*
Astroblepus sp. 3 "chotae"	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	2
Chaetostoma milesi	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*
Sturisomatichthys aureus	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Trichomycterus banneaui	*	*	*	*	4	4	*	*	*	22

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.1.3.5. Diversidad

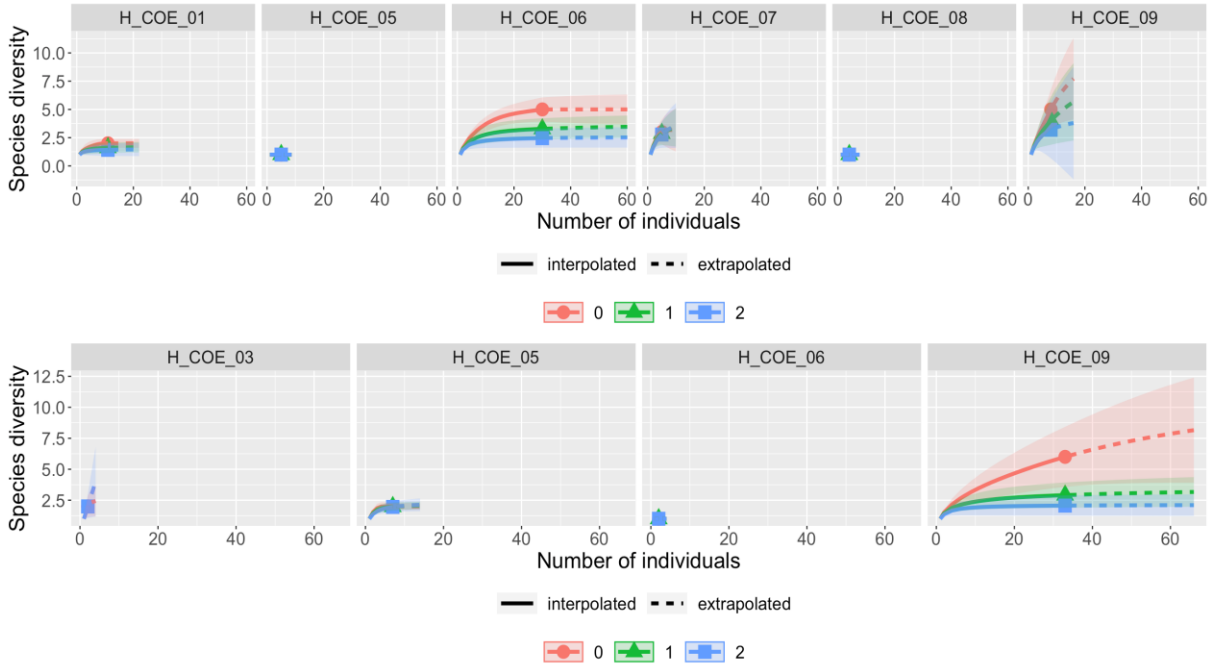
En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-COE-06 Y H-COE-09 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 5 y 6 especies. Las restantes estaciones registraron valores inferiores a dos (**Figura 576**).

Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-COE-06 Y H-COE-09 son claramente más diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Coello, a pesar de que hubo una disminución en H-COE-09 en el segundo monitoreo. En estas dos estaciones las especies comunes tienen mayor equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones, particularmente en la estación H-COE-09.

Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-COE-06, H-COE-09 y H-COE-07 para el primer monitoreo tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 3,27, 4,0 y 2,87 especies, respectivamente donde todas ellas tuvieran la misma abundancia.

Por su parte, las demás estaciones tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad de 1,0 -1,6 especies efectivas. Al expresar estas equivalencias, se concluye que las estaciones H-COE-06, H-COE-09 y H-COE-07 del primer monitoreo son en promedio 2,8 veces más diversa en especies de peces que las demás estaciones evaluadas. Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

Figura 576. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

35.1.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.57), permitieron observar que no existen

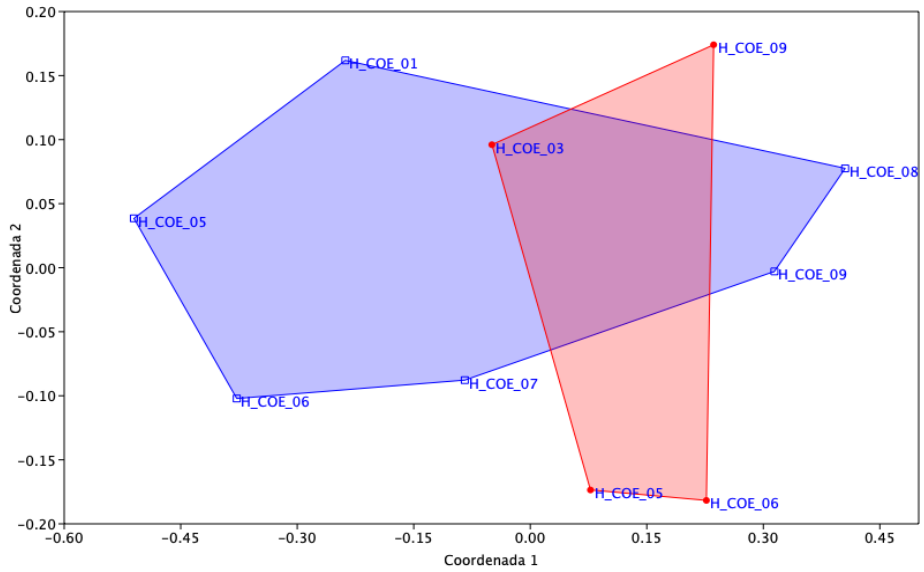
diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM (p>0.05). Según el diagrama de ordenación, se observa que se comparten diversas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada. Por tanto, no existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 577**).

35.1.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

De acuerdo con el análisis de correlación de Spearman (ρ), dos variables químicas del agua (Conductividad eléctrica y Sulfatos) fueron excluidas del análisis por registrar una alta correlación estadística (ρ > 0.75 y p-valor < 0.05) (**Figura 578**

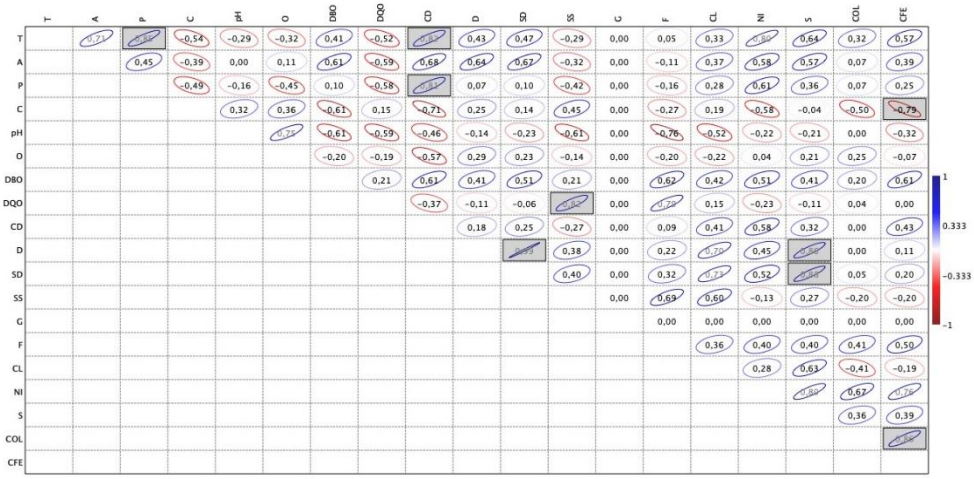
Figura 578). Es decir, existe una alta multicolinealidad de las variables excluidas que durante el análisis multivariable que podrían generar ruido y afectar los resultados.

Figura 577. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

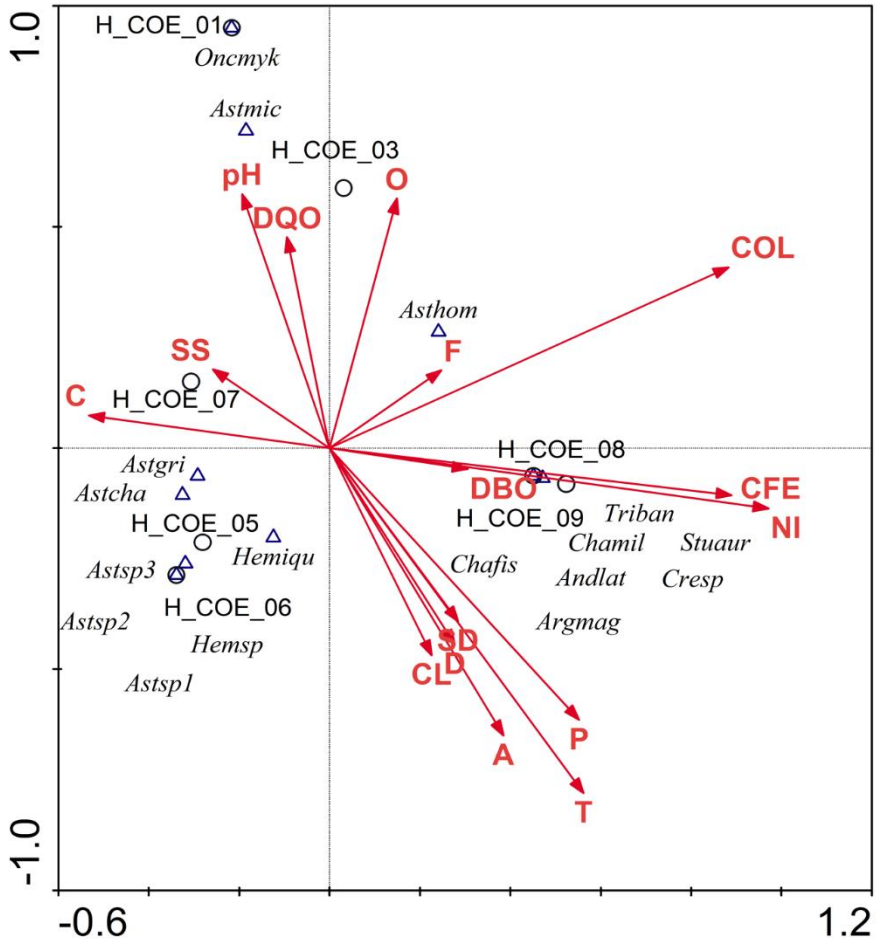
Figura 578. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Coello.



Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxígeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 64 % de la variación total de los datos. En el eje x, una variable química del agua, Nitratos (NI) (p-valor<0.05) (**Figura 579**), influyeron de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. La variable Nitratos se asoció positivamente a las estaciones H-COE-08 y H-COE-09 y las especies Trichomycterus banneaui, Chaetostoma milesi, Andinoacara latifrons, Creagrutus sp., Chaetostoma cf. fischeri y Argopleura magdalenensis.

Figura 579. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Coello.



Fuente:Autores (2022).

Los altos valores de nitrógeno en las estaciones mencionadas son fuente esencial para el crecimiento de perifiton (p.e, algas) y se relaciona con aumentos de demanda de oxigeno (Roldan, 2003). Esto explica la presencia de especies de la familia Loricariidae (*Chaetostoma milesi*, *Chaetostoma* cf. fischer*i* y *S. aureus*) que presenta hábitos alimenticios relacionados con el consumo de perifiton, las cuales se ven favorecidas por el incremento de la intensidad lumínica y de la temperatura causado por la disminución de la vegetación de ribera (Vieira & Shibatta, 2007).

Por otro lado, en el eje y, la temperatura (T) se asoció negativamente con las estaciones H-COE-01 y H-COE-03 y las especies Oncorhynchus mykiss y Astroblepus micrescens (Figura 4.1.3.7.2). Esta disminución de la temperatura está relacionada con la cantidad de luz y la cobertura vegetal riparia. Ambas estaciones se encontraron entre 1700 y 2000 m s.n.m, es decir zonas altas. Según Poveda-Cuellar

et al. (2021) Astroblepus spp. habitan preferentemente zonas altas caracterizada por aguas frías y alta oxigenación y mayor velocidad del agua. La presencia de *Astroblepus micrescens*. puede asociarse a la tolerancia y adaptaciones fisiológicas y morfológicas que estas especies presentan. De Crop et al., (2013) y Poveda-Cuellar et al. (2021) comenta que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos sólidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. mayor velocidad del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

35.1.3.8. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud peso

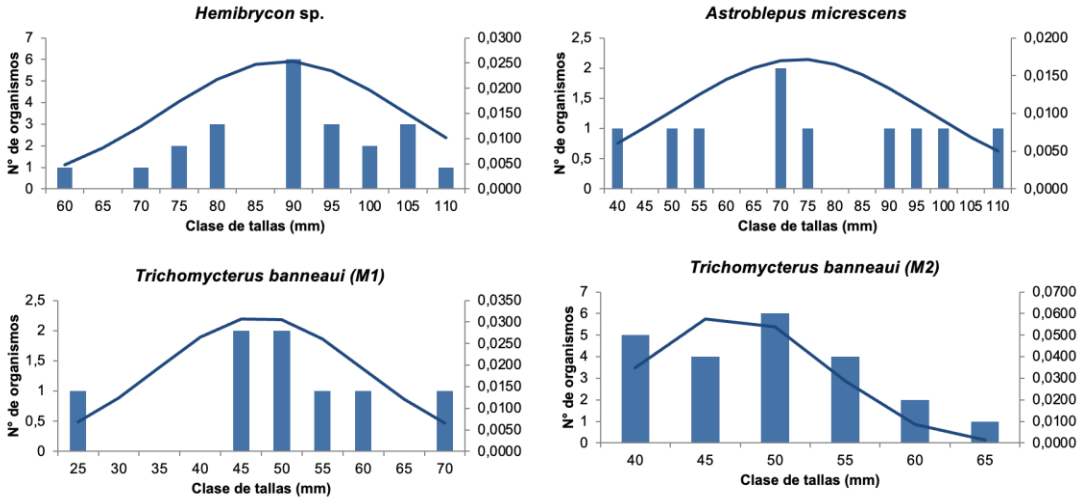
Se analizó un total de 64 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Coello, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). Para *Hemibrycon* sp., se obtuvo valores de longitud y peso promedio de 88,7 mm LE y 7,51 g, respectivamente. *Astroblepus micrescens* registró valores promedios de longitud (88,7 mm) LE y peso (7,51 g). Y, *T. banneaui* con valores promedios de longitud 47,3 mm (M1) y 46,9 mm (M2); peso promedio de 0,68 g (M1) y 0,56 g (M2). Para el caso de *T. banneaui*, se observa que no hubo variaciones en tamaño y peso promedio, pero si en clases de talla.

Es decir, durante el segundo monitoreo los individuos fueron más grandes (i.e., adultos) (40 – 65 mm) respecto al primero (25 – 70 mm) que se caracterizó por registrar algunos juveniles (**Figura 580**). Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Coello, algunos individuos de *T. banneaui* se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Aportando información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies, tales como el diario y el lunar (Shapiro, 1991). Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos

anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional de *T. banneaui* debido a que la mayoría de las especies en el neotropico cumplen estas relaciones.

Figura 580. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condición permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *T. banneaui*, fue la única especie que contó con un número mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal.

Por tanto, observamos que existe una ligera disminución de K en el segundo monitoreo. Además, registramos un crecimiento alométrico negativo (b< 3), en ambos monitoreros, es decir, la especie aumenta más en longitud que peso, pudiendo ser un indicador de la menor inversión en energía acumulada y muestra que la especie posiblemente prioriza su crecimiento por encima de su peso (Le Cren, 1951). Esto ocurre posiblemente a una transferencia energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así que, podemos inferir que la especie se encontraba en reproducción o proceso de reproducción durante el segundo monitoreo. Por otro lado, las especies *Hemibrycon* sp. y *Astroblepus micrescens* registran crecimiento alométrico positivo en el primer monitoreo, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta

alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951) (**Tabla 528**).

Tabla 528. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Coello.

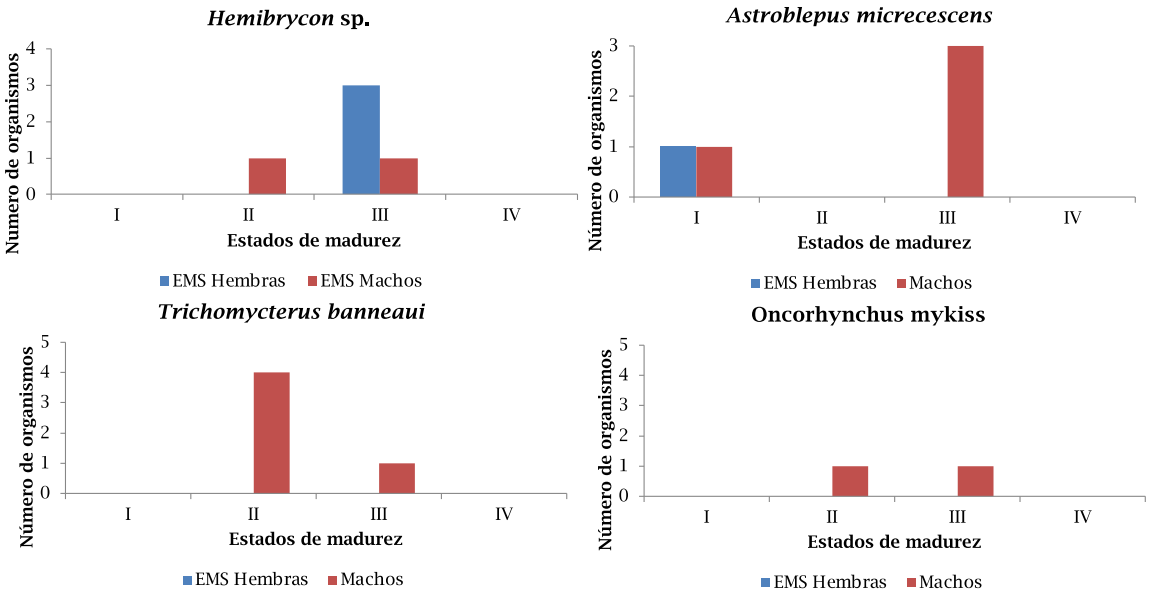
Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Hemibrycon sp.	M1	23	88,72	7,52	3,06	7,E-06
Astroblepus micrescens	M1	9	73,51	5,17	3,5586	9,E-07
Trichomycterus banneaui	M1	8	47,37	0,69	2,6171	2,E-05
Trichomycterus banneaui	M2	22	46,91	0,57	2,8538	9,E-06

Fuente: Autores (2022).

35.1.3.9. Análisis trófico y reproductivo

En relación con el análisis reproductivo, fueron analizados 17 individuos durante el monitoreo 2021 y 2022. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo número de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas fueron mayoritariamente machos inmaduros y en proceso de reproducción. En cuanto a las especies, en *Hemibrycon* sp. cuatro individuos (4) (80 %), *Astroblepus micrecens* tres individuos (3) (60 %) y *Trichomycterus banneaui* un individuo (1) (20 %) estuvieron en estado de madurez sexual EMS III es decir, se encontraban en época reproductiva. En cambio, el resto de los individuos se encontraban en estado de madurez sexual EMS II, o en proceso de desarrollo gonadal (**Figura 581**).

Figura 581. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de Hemibrycon sp., Astroblepus micrescens, Trichomycterus banneaui y Onchrhynchus mykiss. I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Coello.

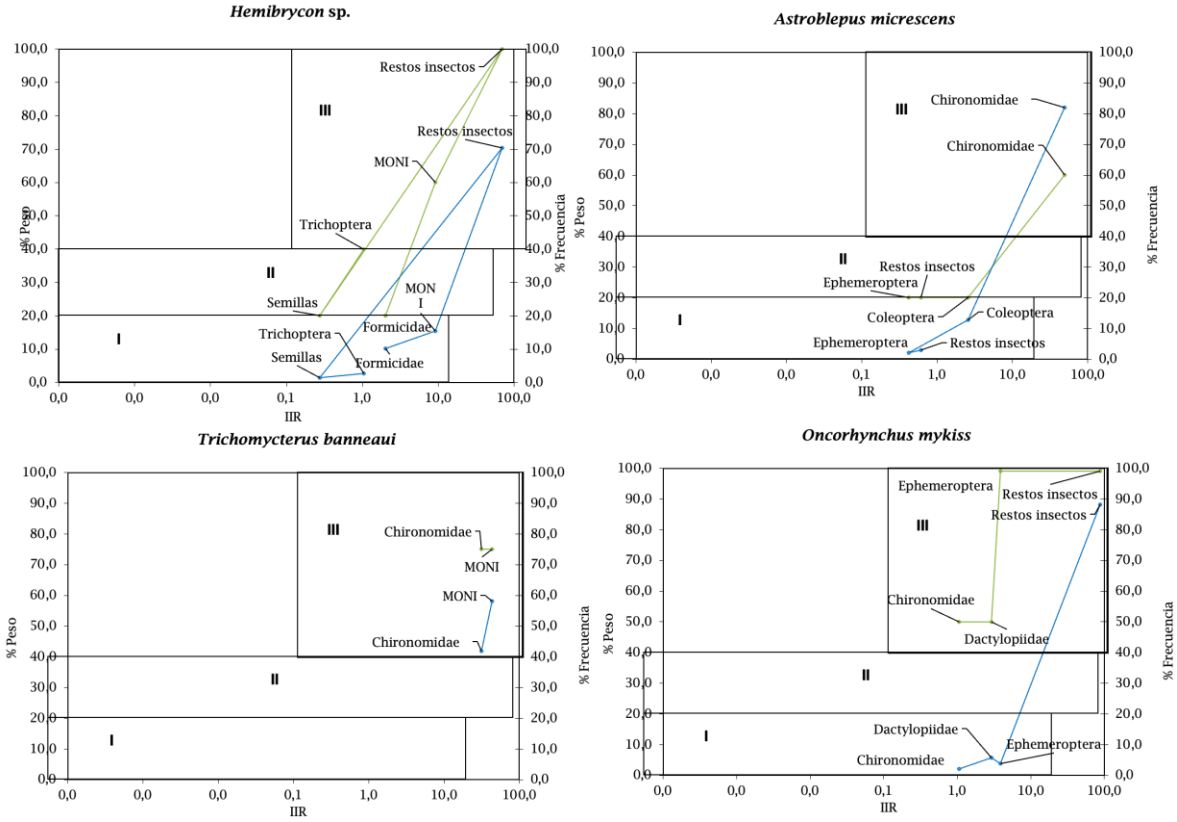


Fuente: Autores (2022).

Ecología trófica

Se analizaron 17 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1 para *Hemibrycon* sp. *Astroblepus micrecens* y *Oncorhynchus mykiss* de 0.8. En total se encontraron nueve ítems alimenticios, de los cuales cinco ítems (Restos de insectos, materia orgánica no indentificada-MONI, Chironomidae, Ephemeroptera, Dactylopiidae) fueron considerados preferenciales y los restantes en correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales según (Yañez-Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013). Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como insectívoras (*Hemibrycon* sp.) e invertívoras (*Astroblepus micrecens* y *Oncorhynchus mykiss*). El primer gremio trófico hace referencia a organismos que se alimentan de miembros de la clase Insecta en estado adulto dado los aportes alóctonos de la vegetación riparia. El segundo, son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 582**).

Figura 582. Espectro trófico de *Hemibrycon* sp., *Astroblepus micrescens, Trichomycterus banneaui y Onchrhynchus mykiss* en la subzona hidrográfica del río Coello.



Fuente: Autores (2022).

35.1.3.10. Especies de interés y categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Coello son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de los cuchos (*Chaetostoma* spp.) y ornamentales (**Tabla 529**). Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Coello. Por otro lado, ninguna especie se encuentra en categoría de amenaza según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), pero si en preocupación menor (UICN).

La subzona hidrográfica del rio Coello representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Sin

embargo, se han registrado impactos ambientales que generan disturbios como ingreso de aguas negras provenientes de las localidades aledañas, desechos industriales y extracción de arena, las cuales representan fuertes tensores sobre la fauna acuática (Villa et al., 2003). Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región.

Tabla 529. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Coello.

Especies	Endémica	Introducida	Migración	Usos	Categoria UICN/Libro rojo
Andinoacara latifrons	*				LC
Argopleura magdalenensis	*				LC
Astroblepus chapmani	*				LC
Astroblepus grixalvii		*		Pesca	
Astroblepus homodon	*				LC
Astroblepus micrescens	*				
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*				LC
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	*				LC
Astroblepus sp. 3 "chotae"					
Chaetostoma cf. *fischeri*	*			Pesca	LC
Chaetostoma milesi	*			Pesca	
Creagrutus sp.					
Hemibrycon iqueima	*				
Hemibrycon sp.					
Oncorhynchus mykiss					
Sturisomatichthys aureus	*			Ornamental	DD
Trichomycterus banneaui	*				LC

Fuente: Autores (2022).

De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica más actualizados en la subzona hidrográfica del rio Coello. Estudios anteriores (Villa et al., 2003, Poveda-Cuellar, 2021) sobre la cuenca del río Coello sobre algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de aproximadamente 62 especies. Valores superiores al reportado en el presente estudio (17 spp).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los órdenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 63 %), con 11 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 33 %) con cuatro, Salmoniformes (AR= 1.9 %) y Blenniiformes (AR= 0.9 %) siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, Poveda-Cuellar, 2021).

De las estaciones evaluadas, se registraron 17 especies, la cuales representan el 27 % de las especies del río Coello (Villa et al. 2003) y 15 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. El bajo número de especies con respecto a Villa et al. 2003 se explica por dos razones. La primera, por diferencias en la cobertura y esfuerzo de muestreo. Y la segunda, por el aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático. Esto afecta la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta última, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

En cuanto a las especies, se registró Trucha arcoíris (*Onchorynchus mykiss*), también registrada por Villa et al. 2003. A pesar de que registrar un bajo número de individuos es indicador de que la especies permanece en el tiempo y se ha establecido como población viable, es decir, consigue reproducirse. Esta especie se registró en las zonas altas de la subzona hidrográfica del rio Coello coexistiendo con especies de *Astroblepus* spp.

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae y Salmonidae se registradas en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Trichomcyteridae, Cichlidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas. Es asi que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que existan unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que, a pesar de registrar una baja diversidad, comparativamente con estudios previos en la cuenca, los peces del rio Coello se encuentran mayoritariamente en rápidos y sustratos rocosos como es el caso de *Astroblepus* spp. Estas especies, Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos sólidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

35.2. Subzona hidrográfica del río Totare

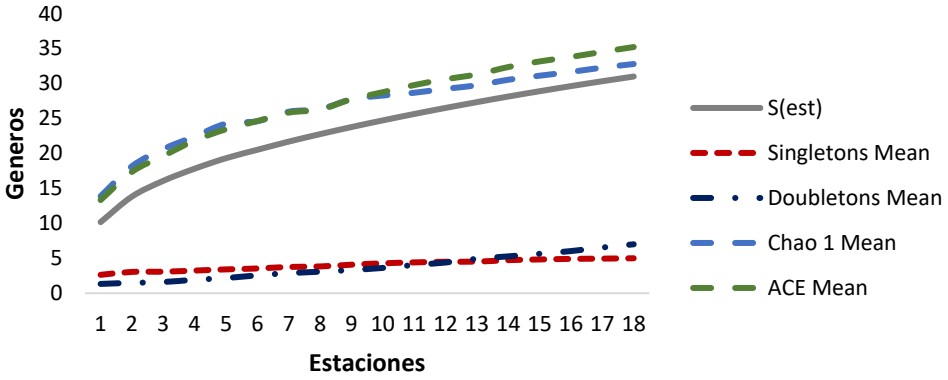
35.2.1. Perifiton

35.2.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 31 géneros observados (Sobs) en 18 estaciones evaluadas (nueve en cada temporada), estas especies representan el 88% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 94.5% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 35 géneros (**Figura 583**).

Según los estimadores de riqueza se registró una riqueza de especies cercana a la esperada durante los periodos de muestreo, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica, la eficiencia de muestreo fue buena, por lo tanto, el número de taxones registrados es una aproximación real de los organismos que se encuentran en la subzona hidrográfica. Adicionalmente, se encontró un bajo número de taxones con un solo individuo (singletons), lo que sugiere que la mayoría de taxones fueron observados durante los muestreos. Esto se observa en la asíntota de la curva de acumulación de especies las cual está cercana a completarse.

Figura 583. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrografica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

35.2.1.2. Composición

Se colectaron 4362 individuos/mm^2 distribuidos en seis filos, ocho clases, 20 órdenes, 27 familias y 31 géneros (**Tabla 530**).

A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 3661 individuos/mm^2 (84%), seguida de la clase Cyanophyceae con 506 individuos/mm^2 (11%) y Coscinodiscophyceae con 121 individuos/mm^2 (2.8%). La elevada densidad de las dos primeras clases es común en las cuencas andinas, en las cuales dominan las especies algales de la clase Bacillariophycea (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003).

con relación a los órdenes Cymbellales, Naviculales, Bacillariales y Oscillatoriales representaron aproximadamente el 87% de los organismos registrados. Los órdenes restantes registraron densidades menores al 4%. De los 31 taxones registrados, los más abundantes fueron Navicula sp, Nitzchia sp, Gomphonema sp, Rhoicosphenia sp y Oscillatoria sp. Estos representaron aproximadamente el 80.5% de los individuos registrados (**Figura 584, Tabla 530**). Los cuatro primeros pertenecientes a la clase Bacillariophyceae comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, en los cuales son muy frecuentes y abundantes.

Debido a que poseen una nutrición heterotrófica facultativa, pueden sobrevivir en ambientes con baja luminosidad y segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua y así de esta manera soportar las fuertes corrientes las cuales son características de dichos ecosistemas (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009). La alta abundancia registrada de la clase Cyanophyceae, con su taxon *Oscillatoria* sp, (**Figura 584, Tabla 530**) se debe posiblemente a que este organismo, tiene la capacidad de tolerar amplios cambios físicos y químicos en el ecosistema, y puede aprovechar

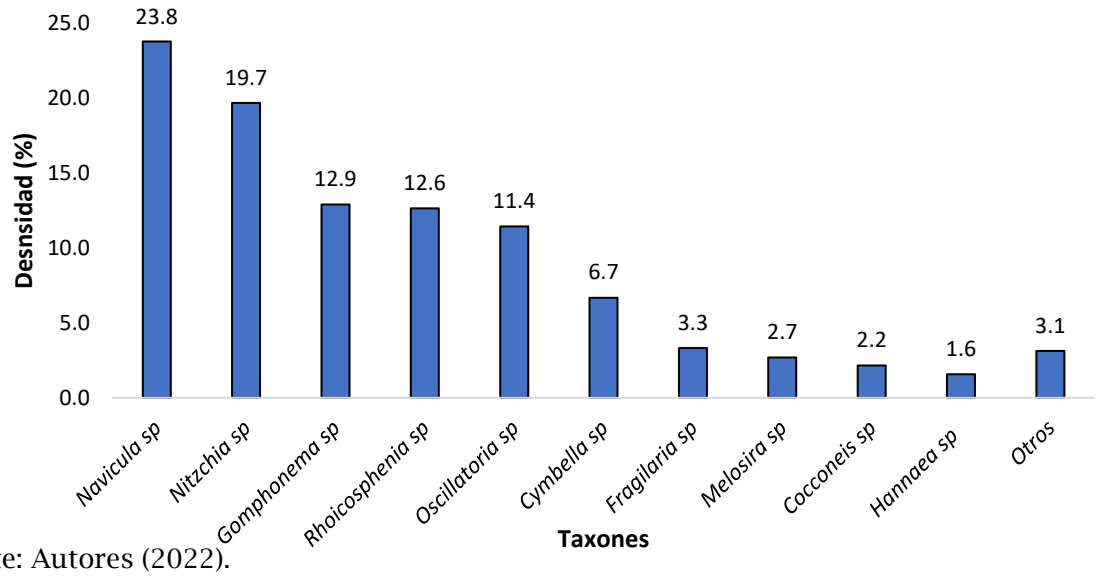
incrementos en las cargas de nutrientes que ocasionan que durante algunos meses se registren altas densidades (Ramírez 2000).

Tabla 530. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Totare.

Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia sp*	2
				Nitzchia sp	859
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	94
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	291
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	563
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	552
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia sp*	13
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	145
				Synedra sp	26
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Hannaea sp*	69
		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	2
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia sp*	1
			Naviculaceae	*Gyrosigma sp*	2
				Navicula sp	1038
			Pinnulariaceae	*Pinnularia sp*	1
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria sp*	5
	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	*Aulacoseira sp*	4
		Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	117
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Desmidium sp*	2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Chaetophora sp*	23
				Stigeoclonium sp	2
		Sphaeropleales	Selenastraceae	*Monoraphidium sp*	1
			Treubariaceae	*Treubaria sp*	1
	Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	*Cladophora sp*	33
		Ulotrichales	Ulotrichaceae	*Ulotrix sp*	4
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Stigonemataceae	*Stigonema sp*	4
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	499
Nematoda	Indeterminado	Indeterminado	Indeterminado	*Nematoda sp*	2
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella sp*	1
			Centropyxidae	*Centropyxis sp*	1
	Lobosa	Arcellinida	Difflugiidae	*Diflugia sp*	8

Fuente: Autores (2022).

Figura 584. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Totare.

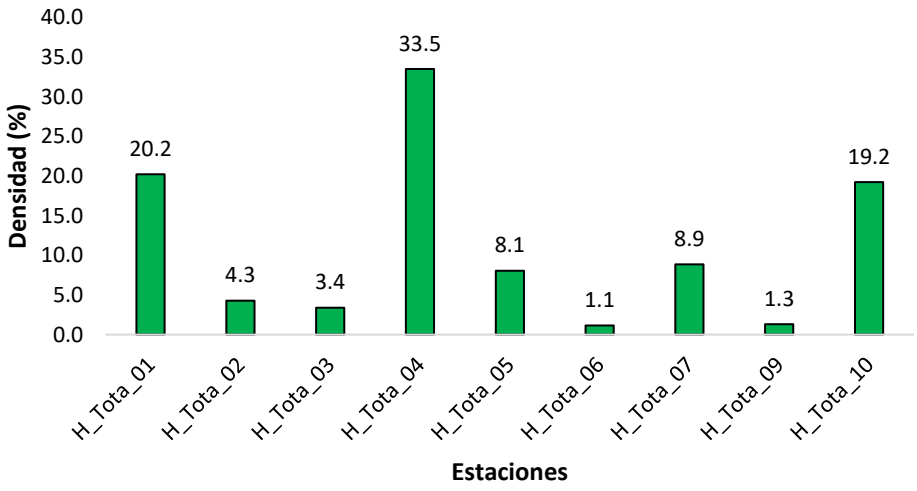


Fuente: Autores (2022).

35.2.1.3. Distribución espacial

Se establecieron nueve estaciones de muestreo, de las cuales el río Frio (H_Totare_04), registro la mayor densidad relativa con un 33.5%, seguido por la estación del río Totare-Anzoategui (H_Totare_01) con 20.2% y el río Totare-Ambalema (H_Totare_10) con 19.2%. Por otro lado, las estaciones que obtuvieron menor porcentaje de densidad fueron el río Alvarado (Ibagué -El País) (H_Totare_06) con el 1.1% y el río Chipalo-Piedras (H_Totare_09) con 1.3% (**Figura 585**, **Tabla 531**).

Figura 585. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 531. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Totare.

Especie	H_Tota_01	H_Tota_02	H_Tota_03	H_Tota_04	H_Tota_05	H_Tota_06	H_Tota_07	H_Tota_09	H_Tota_10
Achnanthidium	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Arcella sp	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Aulacoseira	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Centropyxis	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Chaetophora	0	0	0	0	6	0	17	0	0
Cladophora	0	0	0	0	0	0	22	0	11
Cocconeis sp	5	10	43	19	9	6	0	2	0
Cymbella sp	58	19	5	103	32	0	17	2	56
Desmidium sp	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Diflugia sp	1	0	0	0	2	0	4	0	2
Eunotia sp	1	1	1	4	0	0	6	0	0
Fragilaria sp	41	7	4	34	11	0	8	2	37
Frustulia sp	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gomphonema	129	42	2	176	136	10	31	1	36
Gyrosigma sp	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Hannaea sp	40	15	0	12	2	0	0	0	0
Hantzschia sp	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Melosira sp	8	6	1	56	18	0	3	1	24
Monoraphidium	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Navicula sp	32	18	11	567	34	17	166	9	185
Nematoda sp	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Nitzchia sp	23	25	16	176	49	13	85	29	444
Oscillatoria sp	281	5	46	107	16	0	20	4	20
Pinnularia sp	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Rhoicosphenia	254	35	19	201	27	3	2	6	6
Stigeoclonium	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Stigonema sp	3	1	0	0	0	0	0	0	0
Synedra sp	1	2	0	0	7	0	5	0	11
Tabellaria sp	0	2	0	2	1	0	0	0	0
Treubaria sp	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Ulotrix sp	4	0	0	0	0	0	0	0	0

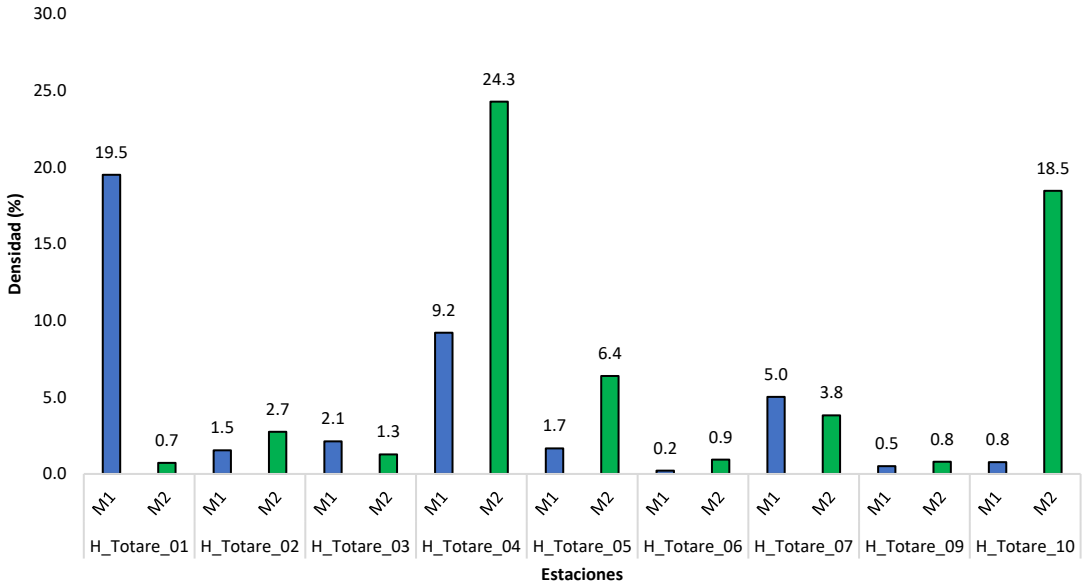
Fuente: Autores (2022).

35.2.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos fue registrada durante el muestreo M2 realizado durante la época de bajas precipitaciones en la cual se observó un bajo caudal y mayor disponibilidad de hábitats para la colonización de organismos lo que genero un incremento en la

densidad de la comunidad perifítica (Martínez & Donato, 2003). A nivel temporal, se evidencia que las estaciones río Frio (H_Totare_04), río Totare-Anzoategui (H_Totare_01) y el río Totare-Ambalema (H_Totare_10), registraron la mayor densidad relativa durante los monitores realizados (**Figura 586**, **Tabla 532**).

Figura 586. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 532. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Totare.

	HTot01		HTot02		HTot03		HTot04		HTot05		HTot06		HTot07		HTot09		HTot10	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Achnanthidium sp	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arcella sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Aulacoseira sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Centropyxis sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Chaetophora sp	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	17	0	0	0	0	0
Cladophora sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	11
Cocconeis sp	0	5	2	8	1	43	1	19	1	8	3	3	0	0	0	2	0	0
Cymbella sp	58	0	5	14	5	0	29	74	1	31	0	0	2	15	2	0	0	56
Desmidium sp	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diflugia sp	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3	0	0	2	0
Eunotia sp	1	0	0	1	0	1	0	4	0	0	0	0	4	3	0	0	0	0
Fragilaria sp	41	0	6	2	2	2	1	33	2	9	0	0	3	6	1	1	0	37
Frustulia sp	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gomphonema sp	120	8	7	34	1	1	83	93	10	126	0	10	11	20	1	0	8	28

Gyrosigma sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Hannaea sp	40	0	6	8	0	0	3	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Hantzschia sp	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melosira sp	8	0	3	3	0	1	1	56	1	17	0	0	1	2	1	0	0	24
Monoraphidium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Navicula sp	31	2	13	5	9	2	11	556	13	20	3	14	96	69	6	2	0	185
Nematoda sp	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitzchia sp	19	5	4	20	11	5	46	130	10	39	1	12	61	24	5	24	18	426
Oscillatoria sp	278	3	3	2	46	0	52	56	13	4	0	0	19	2	4	0	0	20
Pinnularia sp	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rhoicosphenia sp	245	8	15	20	17	2	173	28	11	16	2	1	2	0	1	5	1	6
Stigeoclonium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Stigonema sp	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Synedra sp	1	0	1	1	0	0	0	0	1	6	0	0	4	1	0	0	0	11
Tabellaria sp	0	0	1	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Treubaria sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ulotrix sp	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

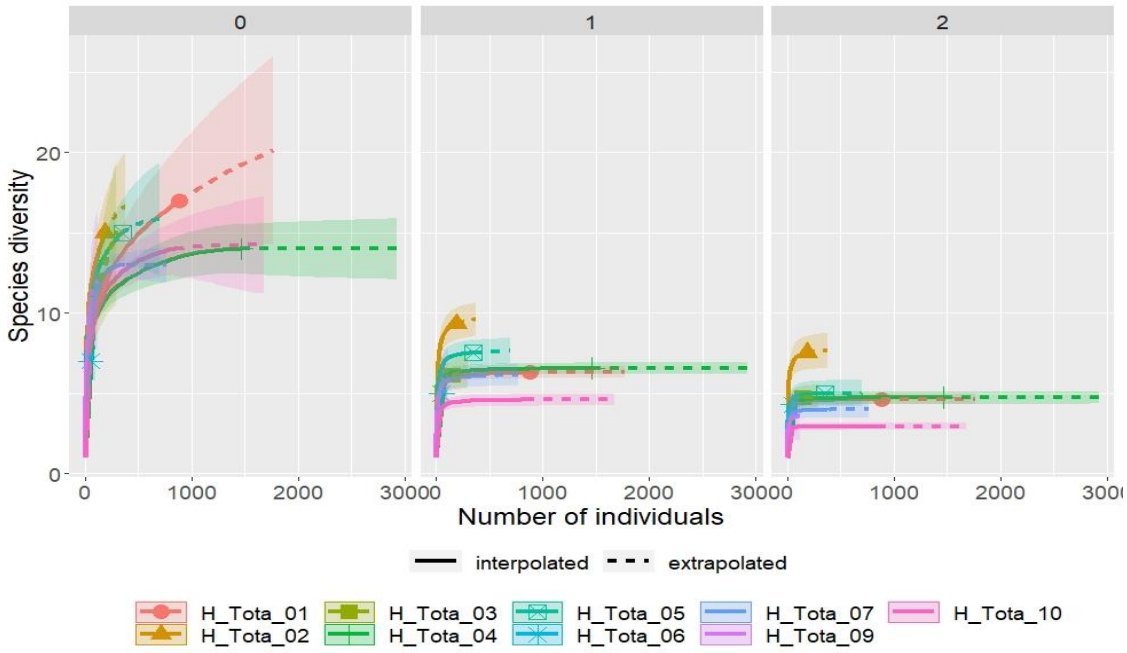
Fuente: Autores (2022).

35.2.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D), a nivel general, se observó que no existen diferencias significativas en la riqueza de especies en las localidades evaluadas (**Figura 587**).

A partir del número de especies típicas (1D) y especies dominantes (2D) se evidenció que la estación río Frio (H_Totare_04) fue la más diversa y la menos río Totare-Ambalema (H_Totare_10) (**Figura 587**).

Figura 587. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.

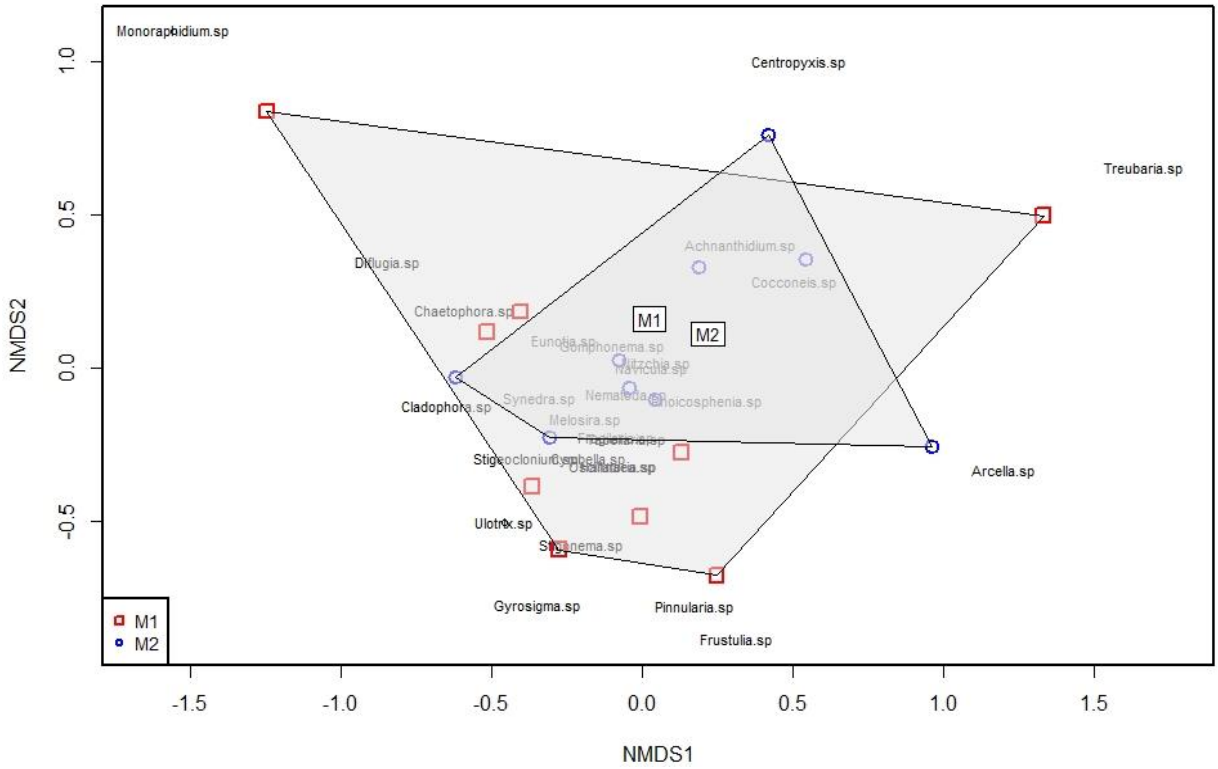


Fuente: Autores (2022).

35.2.1.6. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad en las épocas evaluadas (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 588**). Evidenciando, que la comunidad perifítica en esta subzona hidrográfica se mantiene constante durante las épocas climáticas. Algunos taxones como *Arcella sp y Centropyxis sp*, fueron más comunes durante la época de bajas precipitaciones (M2). Estos hacen parte de los amoebae con testa, organismos unicelulares de vida libre que se encuentran ampliamente distribuidos en cuerpos de agua, musgos, suelos y hojarasca (Tripathi et al, 2017).

Figura 588. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

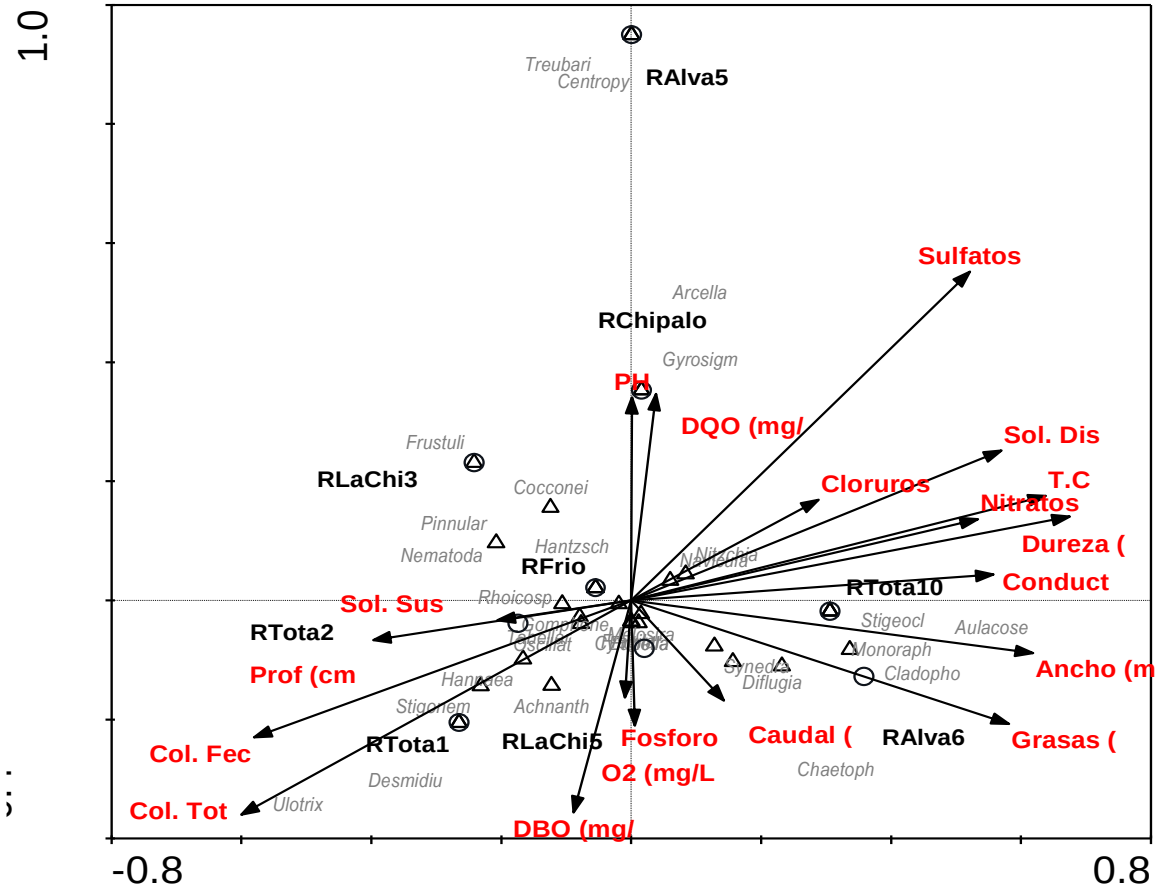
35.2.1.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC), solamente la dureza cálcica influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica (p=0.032).

Esta variable se asoció a la conductividad eléctrica, y otros iones en el cuerpo de agua como sulfatos, nitratos y cloruros, los cuáles se relacionan con altas cargas de nutrientes especialmente en la estación río Totare-Ambalema (H_Totare_10) en la cual se registró la menor diversidad. Esto podría estar relacionado con la alta carga de nutrientes en esta localidad y la baja disponibilidad y heterogeneidad de hábitats observada en esta durante la campaña de muestreo.

Estaciones como río La China-San Juan de la China (H_Totare_03), río Totare-Venadillo (H_Totare_02), río Totare-Anzoategui (H_Totare_01) y río La China (H_Totare_05), se separaron de las demás por valores elevados de coliformes fecales y totales (**Figura 589**). Variables relacionadas con procesos de contaminación de materia orgánica y descargas de aguas residuales domésticas y actividades agrícolas. En estas estaciones se registró la presencia de taxones como *Ulotrix sp, Stigonema sp, y Oscillatoria sp.*

Figura 589. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

35.2.1.8. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto, intermedio y moderado (**Tabla 533**). La estación río Chipalo-Piedras (H_Totare_09) registro valores de contaminación moderada, con eutrofización. Las estaciones río Frio (H_Totare_04) y río Alvarado-Alvarado (H_Totare_07) registraron valores de contaminación alto por desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte. las estaciones restantes registraron nivel de contaminación intermedio, contaminación media, eutrofización acentuada por materia orgánica.

Tabla 533. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.Totare_1	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Totare_2	3.2	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.La_China_3	3.3	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R. Frío	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.La_China_5	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Alvarado_5	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.Alvarado_6	3.3	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Chipalo	3.5	Moderada	Contaminación moderada, eutrofización	
R.Totare_10	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

Fuente: Autores (2022).

35.2.2. Macroinvertebrados acuáticos

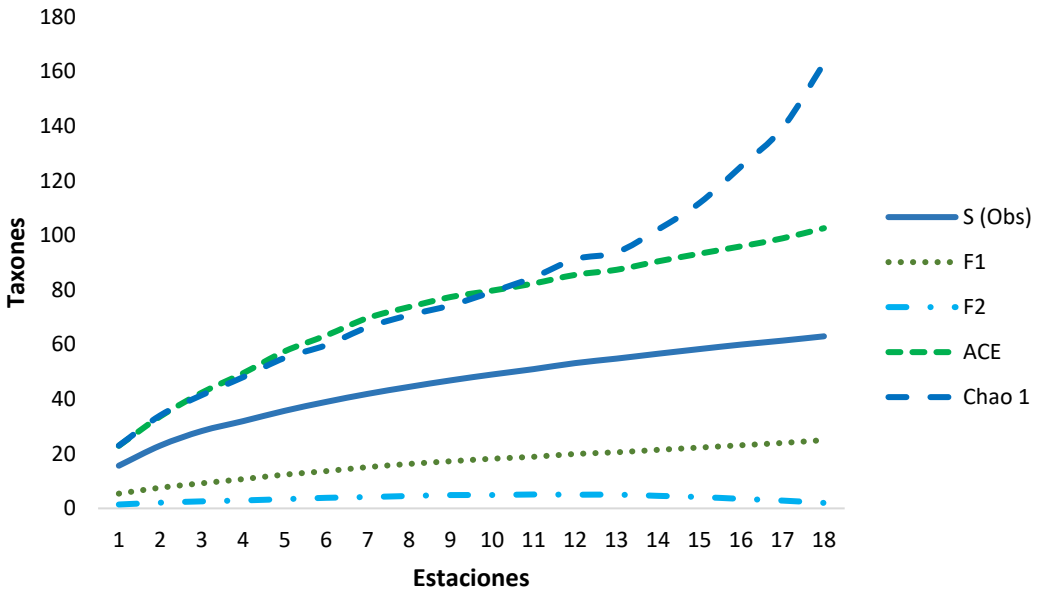
35.2.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 63 géneros observados (Sobs) en las veinte estaciones evaluadas (diez en la subzona durante dos temporadas) para un total de 80 muestras que corresponden al 61.4% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 38.7% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 163 géneros (**Figura 590**).

Se registró una cantidad alta de taxones y organismos durante los monitoreos, sin embargo, según los indicadores de riqueza se estima una mayor cantidad de géneros, lo cual se relaciona con la gran variedad de habitas y recursos que se presentan en los cuerpos de agua perteneciente a esta subzona hidrográfica. Muchos de los géneros reportados son cosmopolitas, sin embargo, se hallaron una cantidad considerable de taxones restringidos (25). Al momento de las colectas se presentaron eventos de lluvias fuertes que reducen las poblaciones de animales, estos factores limitan la detección de múltiples taxones, lo cual impide lograr la asíntota para esta cuenca, además estos cuerpos de agua se encuentran cercanos a

los centros poblados lo que añade presiones extra a las comunidades acuáticas lo que se refleja en su baja abundancia y riqueza en comparación con estudios anteriores (Reinoso et al., 2007; Tamariz et al., 2007).

Figura 590. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrográfica del rio Totare.



Fuente: Autores (2022)

35.2.2.2. Composición

Se colectaron 3357 organismos distribuidos en cuatro filos, seis clases, 15 órdenes, 41 familias y 63 géneros (**Tabla 534**).

Tabla 534. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Totare.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	2
Annelida	Clitellata	Hirudinea	Glossiphoniidae	*Helobdella*	3
		Tubificida	Naididae	*Tubifex*	27
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Thiaridae	*Melanoides*	1
Arthropoda	Eucheliceratа	Trombidiformes	Limnesiidae	Indeterminado	1
	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	1
			Tricodactylidae	*Trichodactylus*	1
		Isopoda	Oniscidae	*Oniscus*	1
	Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Austrolimnius*	3

		Cylloepus	29
		Heterelmis	98
		Hexanchorus	1
		Huleechius	8
		Macrelmis	49
		Microcylloepus	6
		Neoelmis	1
		Phanocerus	1
	Lampyridae	Indeterminado	1
	Psephenidae	*Psephenops*	4
	Ptilodactylidae	*Anchytarsus*	1
	Staphylinidae	*Oxythelus*	1
Diptera	Blephariceridae	*Limonicola*	1
	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	3
		Atrichopogon	1
	Chironomidae	Chironominae	640
		Orthocladiinae	216
		Tanypodinae	4
	Culicidae	*Culex*	1
	Empididae	*Chelifera*	1
	Ephydridae	*Ephydra*	1
	Phoridae	Indeterminado	1
	Psychodidae	*Maruina*	1
	Simuliidae	*Simulium*	224
	Tipulidae	*Hexatoma*	1
Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	165
		Baetodes	415
		Camelobaetidius	171
		Moribaetis	1
		Varipes	7
	Caenidae	*Caenis*	1
	Leptohyphidae	*Haplohyphes*	7
		Leptohyphes	144
		Tricorythodes	6
	Leptophlebiidae	*Farrodes*	4
		Hydrosmilodon	1
		Thraulodes	173
		Traverella	1
	Oligoneuriidae	*Lachlania*	3
Hemiptera	Belostomatidae	*Belostoma*	1
	Mesoveliidae	*Mesoveloidea*	4
	Naucoridae	*Limnocoris*	16
	Veliidae	*Rhagovelia*	341

Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	29
Odonata	Calopterygidae	*Hetaerina*	1
	Gomphidae	*Progomphus*	3
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	75
Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	10
	Hydrobiosidae	*Atopsyche*	3
	Hydropsychidae	*Leptonema*	46
		Smicridea	364
	Leptoceridae	*Atanatolica*	3
		Nectopsyche	2
	Philopotamidae	*Chimarra*	25

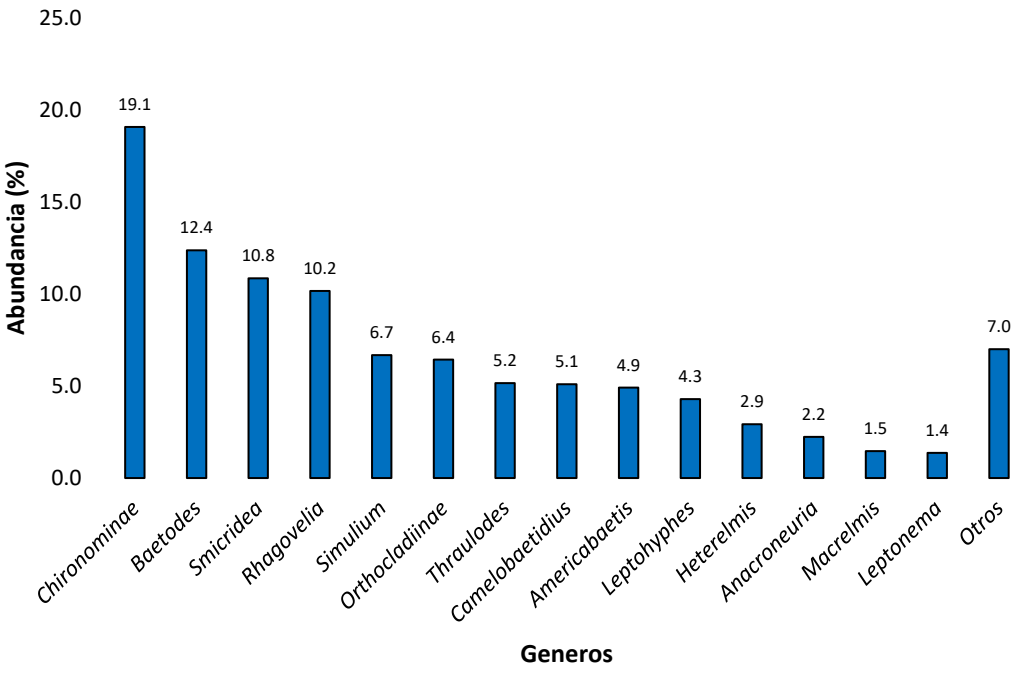
Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Ephemeroptera con 1099 organismos (32.7%), seguido de Díptera con 1095 organismos (32.6%) y Trichoptera con 453 organismos (13.5%). El patrón de abundancia observado se ajusta al observado en este tipo de cuencas y en lo reportado por Reinoso et al. (2007), donde estos ordenes son los más representativos y dominan la composición en densidad y numero de géneros, además que su gran variedad les permite tener un amplio rango de tolerancias a las condiciones ambientales, lo que les permite colonizar y desarrollarse en gran cantidad de ambientes (Vásquez y Ramos, 2012)

En cuanto a familias, las más abundantes fueron Chironomidae (25.6%), Baetidae (22.6%) y Hydropsychidae (12.2%) mientras que Belostomatidae, Blephariceridae, Caenidae, Calopterygidae, Culicidae, Empididae, Ephydridae, Lampyridae, Limnesiidae, Oniscidae, Palaemonidae, Phoridae, Psychodidae, Ptilodactylidae, Staphylinidae, Thiaridae, Tipulidae y Tricodactylidae presentaron la menor abundancia (>0.1%).

A nivel de géneros, los más abundantes fueron Chironomidae sp (19.1%), seguido de *Baetodes* (12.4%) y *Smicridea* (10.8%). De los 63 generos registrados 49 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Corydalus, Cylloepus, Tubifex, Chimarra, Limnocoris, Culoptila, Huleechius, Haplohyphes, Varipes, Microcylloepus, Tricorythodes, Farrodes, Mesoveloidea, Psephenops,* Tanypodinae, *Alluaudomyia, Atanatolica, Atopsyche, Austrolimnius, Helobdella, Lachlania, Progomphus, Girardia, Nectopsyche, Anchytarsus, Atrichopogon, Belostoma, Caenis, Chelifera, Culex, Ephydra, Hetaerina, Hexanchorus, Hexatoma, Hydrosmilodon,* Lampyridae sp, *Limonicola, Macrobrachium, Maruina, Melanoides, Moribaetis, Neoelmis, Oniscus, Bledius, Phanocerus,* Phoridae sp, *Traverella, Trichodactylus* y Limnesiidae sp (**Figura 591**).

Figura 591. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

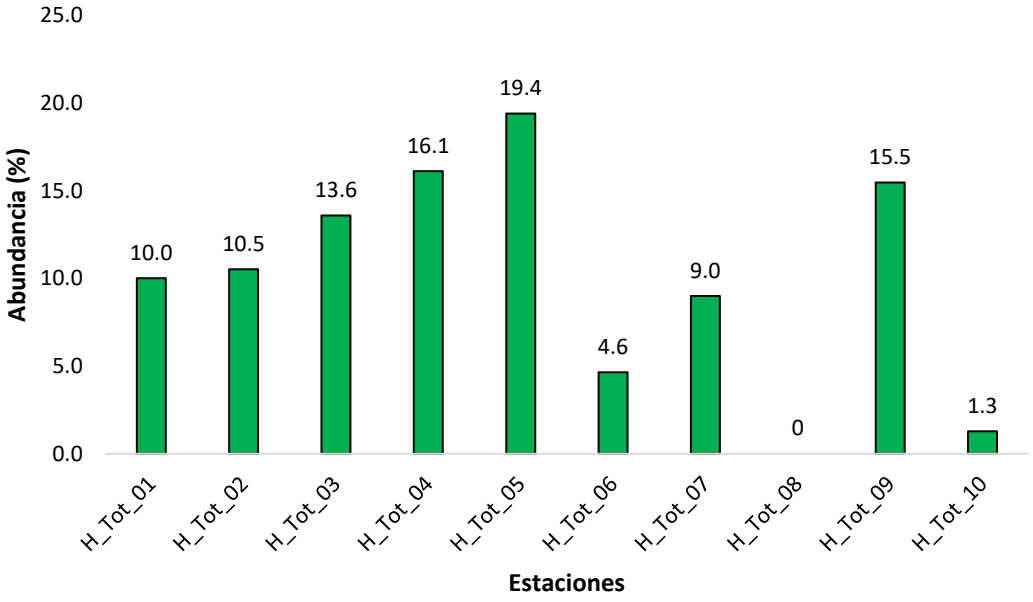
El rio Totare y sus afluentes se encuentran inmersos en matrices de bosque y agricultura, junto con centros poblados que modifican las condiciones naturales de estos cuerpos de agua, de este modo las presiones artificiales derivadas de actividades antrópicas impactan fuertemente sobre el ecosistema y esto se refleja en los números poblacionales de los organismos registrados. De este modo y a pesar de la amplia variedad de recursos ofertados, se observan limitantes que impiden el desarrollo de una comunidad estable, lo que deja como resultado que solo perduren los organismos más resistentes con mayor capacidad de tolerar los cambios abruptos que se van presentando en el tiempo y que no obedecen al régimen natural al vual están adaptados (Thomazi et al., 2008; Esteves, 2011; Hanson et al., 2010).

La gran cantidad de géneros con solo un organismo nos indica que pese a los tensores que afectan la comunidad, los cuerpos de agua aun tratan de mantener su delicado equilibrio ecológico, que gracias a factores como un abundante bosque ripario y la heterogeneidad de sustratos proveen los recursos necesarios para que una mayor cantidad de entidades diferentes puedan colonizar y alcanzar nuevos nichos, que impactan directamente en la salud general de los ríos.

35.2.2.3. Distribución espacial

Se establecieron diez estaciones de muestreo, de las cuales no fue posible realizar el muestreo en el rio Chípalo (H_Totare_08) debido que al momento de la colecta el caudal del rio era muy fuerte y no existían puntos donde realizar las colectas. De las nueve estaciones monitoreadas el rio La China (H_Totare_05), fue la que presento mayor abundancia relativa con un 19.4%, seguido por el rio Frio (H_Coe_04) con 16.1% y el rio Chípalo (H_Totare_09) con 15.5%. Por otro lado, las estaciones que obtuvieron menor porcentaje de abundancia fueron el rio Totare (H_Totare_10) con el 1.3% y el rio Alvarado (H_Totare_06) con el 4.6% (**Figura 592**).

Figura 592. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

En cuanto a la abundancia existen cambios significativos en cuanto a la abundancia, lo cual se comprueba según el resultado del kruskal wallis ($p<0.05$). esta subzona es extensa y cuenta con múltiples cuerpos de agua de gran porte que podrían contener una fauna acuática importante, según lo reportado en múltiples estudios, ríos como el Alvarado, La China y Frio, presentan importantes densidades de macroinvertebrados y funcionan como reservorios de biomasa y diversidad de esta comunidad, al igual que ellos el rio Totare también alberga una biota considerable a pesar de ser un cauce principal y tener fuertes impactos que afectan su dinámica como ecosistema (Reinoso et al., 2007). Pese a los resultados obtenidos y el considerable número de organismos registrados, se evidencia que la comunidad de macroinvertebrados está bastante afectada en el sentido de que la detección de

organismos sensibles es limitada y que las poblaciones son relativamente pequeñas teniendo en cuenta el grupo evaluado, esto se da en consecuencia de las afectaciones directas e indirectas que afectan la dinámica hidrológica, fisicoquímica y ecológica de los ríos (Rodríguez et al., 2006).

En cuanto a los géneros registrados solo Chironominae sp (Diptera) y *Thraulodes* (Ephemeroptera), se registraron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica, otros organismos que se distribuyeron ampliamente en la zona fueron Orthocladiinae sp (Diptera), *Americabaetis, Baetodes, Camelobaetidius, Leptohyphes* (Ephemeroptera) y *Smicridea* (Trichoptera) (**Tabla 535**). Del material colectado 25 géneros indicaron una distribución restringida a un solo sitio y con un organismo cada uno, estos fueron: *Anchytarsus, Hexanchorus*, Lampyridae sp, *Neoelmis, Bledius, Phanocerus, Macrobrachium, Trichodactylus, Atrichopogon, Chelifera, Culex, Ephydra, Hexatoma, Limonicola, Maruina,* Phoridae sp, *Caenis, Hydrosmilodon, Moribaetis, Traverella, Belostoma, Oniscus, Melanoides, Hetaerina* y Limnesiidae sp.

Tabla 535. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.

Genero	HTot01	HTot02	HTot03	HTot04	HTot05	HTot06	HTot07	HTot09	HTot10
Anchytarsus	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Austrolimnius	1	0	1	0	1	0	0	0	0
Cylloepus	0	2	0	9	4	0	0	14	0
Heterelmis	0	12	0	35	9	3	10	29	0
Hexanchorus	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Huleechius	0	3	0	1	4	0	0	0	0
Lampyridae sp	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Macrelmis	0	1	1	0	4	1	22	20	0
Microcylloepus	0	0	1	2	0	0	3	0	0
Neoelmis	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Oxythelus	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Phanocerus	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Psephenops	0	0	0	3	1	0	0	0	0
Macrobrachium	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Trichodactylus	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Alluaudomyia	0	1	0	0	1	1	0	0	0
Atrichopogon	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Chelifera	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Chironominae	120	63	85	64	145	20	29	108	6
Culex	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ephydra	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Hexatoma	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Limonicola	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Maruina	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Orthocladiinae	29	13	54	28	62	4	10	16	0
Phoridae sp	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Simulium	3	14	9	3	169	25	1	0	0
Tanypodinae	0	0	1	0	1	1	0	1	0
Americabaetis	19	0	30	61	35	5	11	1	3
Baetodes	104	1	136	31	58	72	12	1	0
Caenis	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Camelobaetidius	20	14	45	39	15	0	36	1	1
Farrodes	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Haplohyphes	0	0	1	0	2	0	2	2	0
Hydrosmilodon	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Lachlania	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Leptohyphes	4	5	9	55	48	5	9	9	0
Moribaetis	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Thraulodes	24	6	25	86	11	6	12	2	1
Traverella	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Tricorythodes	1	1	0	0	2	0	2	0	0
Varipes	0	0	0	0	0	0	7	0	0
Belostoma	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Limnocoris	0	0	0	4	0	0	12	0	0
Mesoveloidea	0	0	0	0	0	0	4	0	0
Rhagovelia	0	196	1	20	49	0	39	10	26
Helobdella	0	0	0	0	0	0	0	2	1
Oniscus	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Corydalus	0	0	3	6	5	3	6	6	0
Girardia	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Melanoides	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hetaerina	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Progomphus	0	0	2	1	0	0	0	0	0
Anacroneuria	4	0	16	52	3	0	0	0	0
Atanatolica	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Atopsyche	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Chimarra	0	2	0	0	3	0	11	9	0
Culoptila	1	0	5	0	0	0	3	1	0
Leptonema	0	2	8	26	1	6	0	3	0
Nectopsyche	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Smicridea	5	13	12	9	10	1	58	256	0
Limnesiidae sp	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Tubifex	0	1	0	0	0	0	0	26	0

Fuente: Autores (2022).

Muchos de los organismos de distribución restringida poseen características específicas tanto en gremio trófico, como en preferencia de sustrato o tipo de corriente, lo cual reduce las probabilidades de hábitat que pueden colonizar, este especialización es particularmente susceptible a las modificaciones que se presentan temporal y espacialmente, ya que eventos como el periodo pluviométrico que juega un papel crucial en los cambios hidrológicos y sedimentológicos de los ambientes acuáticos y las perturbaciones adicionales que se producen por efecto de la ganadería, agricultura y urbanización, suponen fuertes limitaciones en el desarrollo de animales pequeños (Vasquez y Reinoso, 2007).

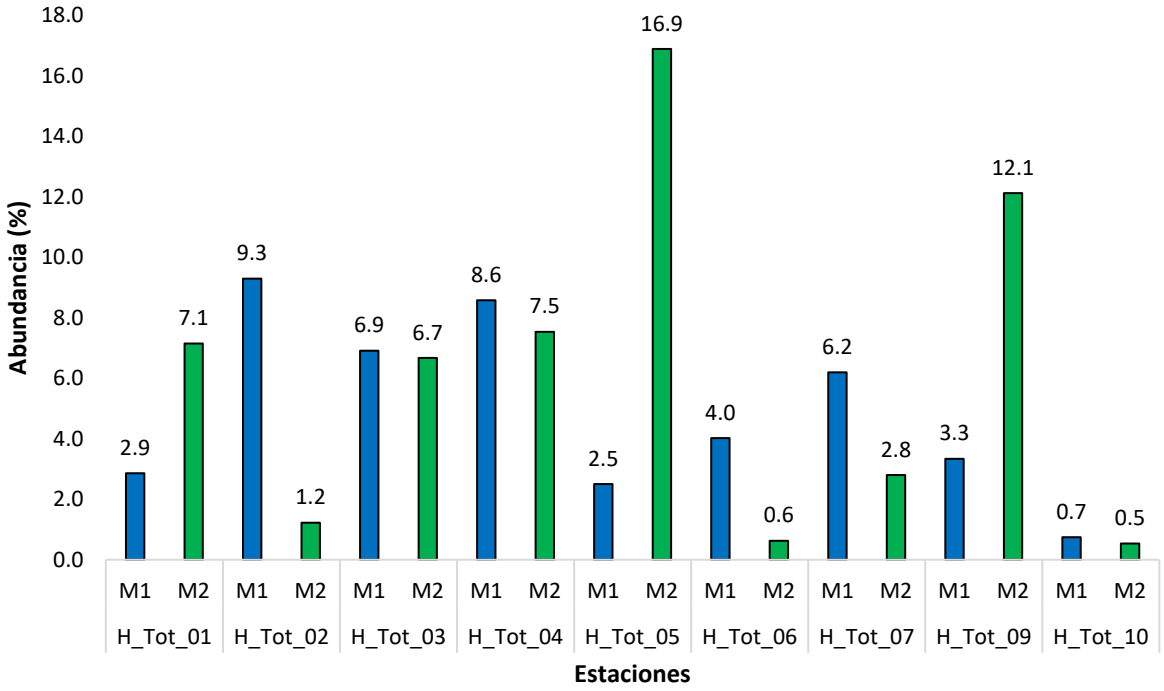
35.2.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, sin embargo, se presentaron lluvias que alteraron el caudal de varias estaciones evaluadas, por otra parte, durante los dos periodos fue posible evaluar el rio Chípalo (H_Totare_08). Entre los dos periodos de muestreo no se evidencia un cambio significativamente grande en las abundancias, para el monitoreo uno se registró un total de 1492 individuos (44.4%) y para el monitoreo 2 con 1865 individuos (55.6%).

En cuanto a las estaciones al observar la gráfica, la mayoría de las estaciones del muestreo uno registra mayor abundancia con respecto a las mismas en el muestreo 2, sin embargo, en dos de estaciones del segundo muestreo se observa un incremento significativo en la abundancia, de este modo el rio La China en el M2 (H_Totare_05) con 16.9% y el rio Chípalo en el M2 (H_Totare_09) con el 12.1% registran la mayor abundancia (**Figura 593**).

Temporalmente los dos muestreos no muestran una tendencia clara en la abundancia, principalmente por que al momento de las colectas se presentaron lluvias que mantenían los ríos crecidos, lo cual genera fluctuaciones impredecibles en las poblaciones. No obstante, algunos de los ríos se encontraban bajos de caudal, lo cual propicia el incremento en la abundancia.

Figura 593. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

A nivel temporal los géneros muestran variaciones particulares, el único taxón que se registró en todas las estaciones durante las dos temporadas fue Chironominae sp. Otros organismos como Orthocladiinae sp, *Heterelmis*, *Baetodes, Americabaetis, Camelobaetidius, Thraulodes, Leptohyphes, Rhagovelia* y *Smicridea*, mostraron una amplia distribución espacio-temporal (**Tabla 536**), esta fauna son hábiles colonizadores de nuevos hábitats y sus requerimientos ecológicos son mínimos por lo cual es común detectarlos en la colectas de macroinvertebrados.

Tabla 536. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.

Genero	HTot1		HTot2		HTot3		HTot4		HTot5		HTot6		HTot7		HTot9		HTot10	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Alluaudomyia	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Americabaetis	14	5	0	0	15	15	1	60	0	35	5	0	9	2	1	0	2	1
Anacroneuria	1	3	0	0	10	6	32	20	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Anchytarsus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Atanatolica	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Atopsyche	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Atrichopogon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Austrolimnius	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baetodes	9	95	1	0	79	57	28	3	0	58	67	5	11	1	0	1	0	0
Belostoma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Caenis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Camelobaetidius	5	15	13	1	36	9	10	29	0	15	0	0	25	11	0	1	0	1
Chelifera	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chimarra	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4	7	0	9	0	0
Chironominae	36	84	59	4	27	58	43	21	20	125	10	10	18	11	26	82	1	5
Corydalus	0	0	0	0	0	3	1	5	3	2	3	0	5	1	0	6	0	0
Culex	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Culoptila	0	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0
Cylloepus	0	0	2	0	0	0	5	4	2	2	0	0	0	0	4	10	0	0
Ephydra	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Farrodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Girardia	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Haplohyphes	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0	0
Helobdella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
Hetaerina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Heterelmis	0	0	11	1	0	0	34	1	4	5	2	1	8	2	7	22	0	0
Hexanchorus	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hexatoma	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huleechius	0	0	3	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydrosmilodon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Lachlania	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Lampyridae sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Leptohyphes	0	4	4	1	3	6	35	20	4	44	5	0	6	3	5	4	0	0
Leptonema	0	0	2	0	3	5	8	18	0	1	6	0	0	0	0	3	0	0
Limnesiidae sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Limnocoris	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0
Limonicola	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Macrelmis	0	0	1	0	0	1	0	0	4	0	1	0	16	6	12	8	0	0
Macrobrachium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Maruina	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melanoides	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Mesoveloidea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Microcylloepus	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Moribaetis	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nectopsyche	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Neoelmis	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oniscus	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Orthocladiinae	24	5	10	3	33	21	25	3	17	45	3	1	8	2	3	13	0	0
Phanocerus	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phoridae sp	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Progomphus	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Psephenops	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Rhagovelia	0	0	168	28	1	0	19	1	15	34	0	0	17	22	10	0	20	6
Simulium	3	0	14	0	7	2	1	2	3	166	23	2	0	1	0	0	0	0
Smicridea	0	5	13	0	5	7	9	0	1	9	0	1	46	12	13	243	0	0
Tanypodinae	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
Thraulodes	2	22	6	0	6	19	26	60	1	10	6	0	6	6	1	1	0	1
Traverella	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Trichodactylus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tricorythodes	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
Tubifex	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0	0	0
Varipes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
Bledius	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

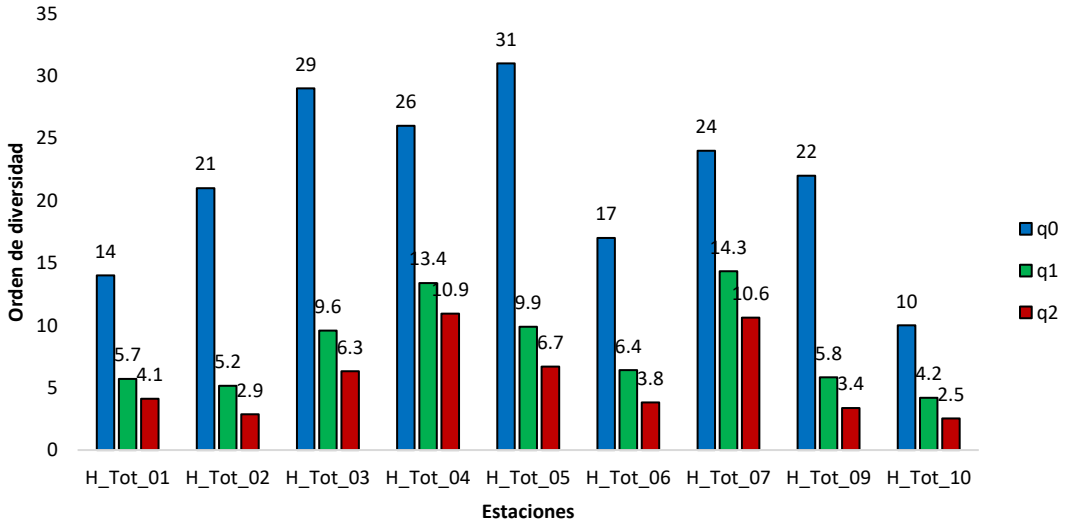
Los generos *Atanatolica, Atrichopogon, Caenis, Chimarra, Corydalus, Culoptila, Cylloepus, Elodes, Ephydra, Gyrinus, Hebrus, Limnophora, Macrelmis, Moribaetis, Odontomyia, Bledius, Phylloicus* y *Tricorythodes* se registraron solo una vez durante los dos muestreos, esto se debe a que los macroinvertebrados acuáticos como comunidad, contienen una inmensa variedad de entidades, cada una de ellas con hábitos ecológicos particulares a los cuales se encuentran adaptados, los organismos mencionados con anterioridad se consideran sensibles, debido a esto el equilibrio cambiante de los ecosistemas acuáticos ocasiona cambios en las poblaciones, además eventos naturales como el pulso de inundación y artificiales como ingreso de contaminantes puede mermar la densidad de estos organismos en puntos determinados de los ríos (Campos et al., 2017).

Los géneros *Anchytarsus, Hexanchorus,* Lampyridae sp, *Neoelmis, Bledius, Phanocerus, Macrobrachium, Trichodactylus, Atrichopogon, Chelifera, Culex, Ephydra, Hexatoma, Limonicola, Maruina,* Phoridae sp, *Caenis, Hydrosmilodon, Moribaetis, Traverella, Belostoma, Oniscus, Melanoides, Hetaerina* y Limnesiidae sp se registraron solo una vez durante los dos muestreos. Todos estos animales al tener hábitos tan dispares son difíciles de colectar basados en los métodos de colecta que son generales, pero que permiten colectar la mayor cantidad posible de entidades diferentes, además los cambios en el ciclo hidrológico y los efectos de la contaminación pueden estar afectando su distribución (Roldan y Ramires, 2008).

35.2.2.5. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare, se puede establecer que los valores de riqueza más altos (0D) se dieron en las estaciones rio La China (H_Totare_05) donde se hallaron 31 géneros, en el rio La China (H_Totare_03) con 29 géneros y el rio Frio (H_Totare_03) con 26 (**Figura 594**). Al observar los intervalos de confianza, estos se encuentran superpuestos unos con otros lo que parece indicar que no existen cambios significativos en la riqueza observada.

Figura 594. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican un valor más alto en la estación rio Alvarado (H_Totare_07) con 14,3 géneros y una posible diferencia con las demás estaciones, dado que los intervalos de confianza no se sobreponen a los demás contrario a esto las estaciones muestran valores cercanos e intervalos sobrepuestos lo que parece indicar que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de estas zonas e homogénea y está compuesta principalmente por géneros comunes y ampliamente distribuidos (Dominguez y Fernandez, 2009).

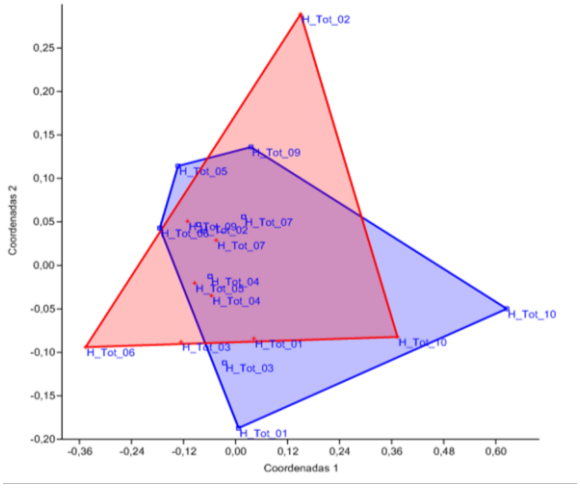
Por último, de acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento similar al obtenido del q1 donde el rio Frio (H_Totare_04) registra el valor más alto con 10.9 géneros, y como en el caso anterior las demás estaciones se encuentran en valores cercanos lo que indica uniformidad en la comunidad, dominada por organismos cosmopolitas de gran abundancia,

específicamente Chironominae sp, Orthocladiinae sp, los cuales prosperan fácilmente en cualquier ecosistema incluso si está altamente perturbado.

35.2.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, no muestra agrupamientos definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,2) (**Figura 595**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,8).

Figura 595. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones que oscila entre el 35 y 50%, sin embargo, no se observan diferencias intergrupales e intergrupales ya que los polígonos se encuentran solapados y muchas de las estaciones se encuentran muy cercanas, esta idea se sustenta en la cantidad de taxones que comparten entre cada uno de las estaciones, lo que sugiere que las localidades de estudio presentan condiciones ecológicas similares y estas sometidas a presiones parecidas (Gutierrez et al., 2006).

En el caso del muestreo 1 denotado con azul indica que las estaciones H_Totare_01 y H_Totare_10 se separan del resto, esto se debe que la composición registrada difiere significativamente del resto, y en general esta mediada por la presencia exclusiva de los géneros *Huleechius, Varipes, Mesoveloidea, Nectopsyche, Atrichopogon, Hetaerina, Hexanchorus,* Lampyridae sp, Limnesiidae sp, *Macrobrachium, Melanoides, Moribaetis, Neoelmis, Oniscus, Phanocerus* y *Bledius* durante este periodo.

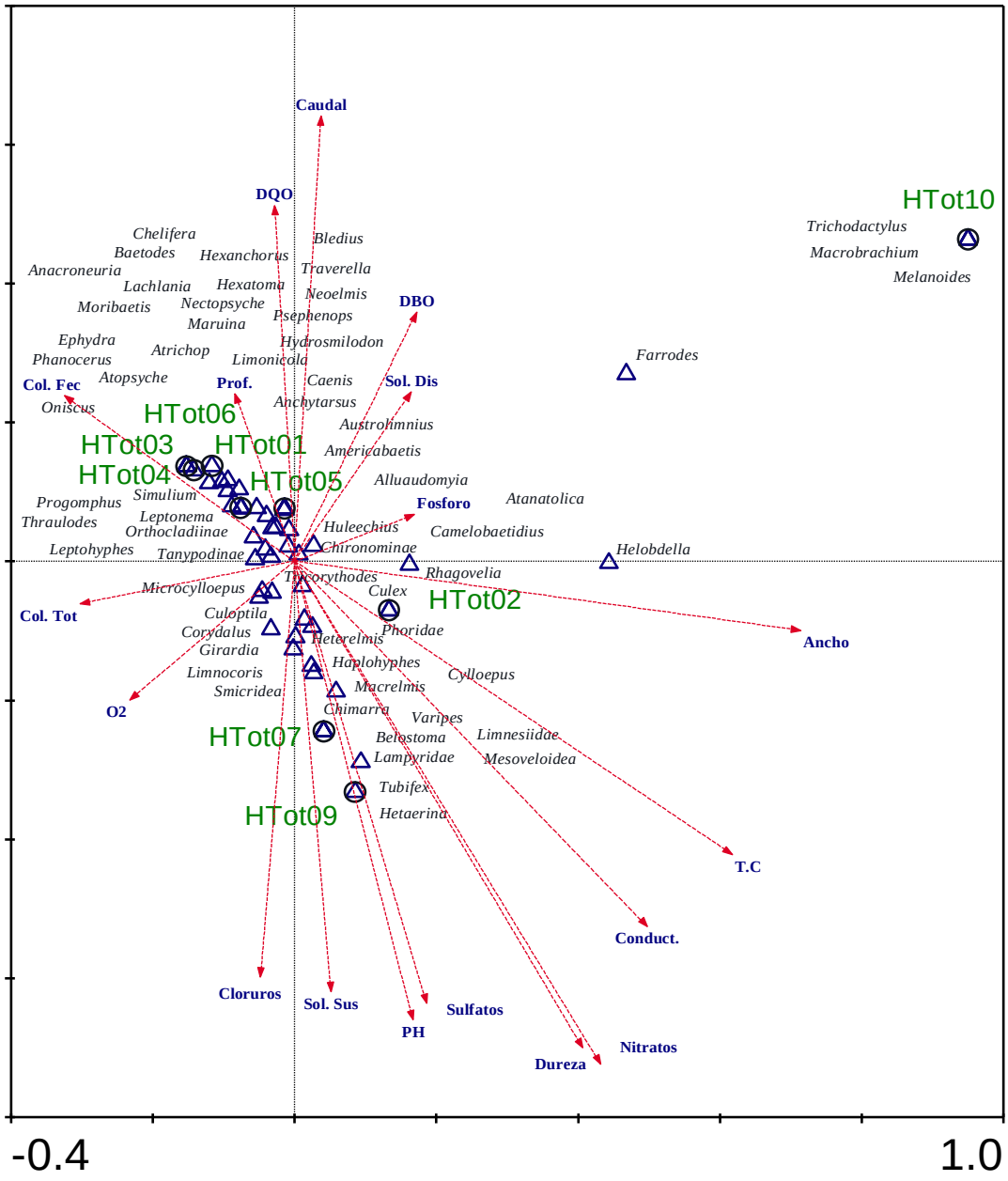
Por otra parte, el muestreo 2 delineado en rojo, muestra cierta independencia en las estaciones H_Totare_02 y H_Totare_06, donde se encontró una biota muy particular, estos cambios corresponden a la respuesta de los organismos a las presiones temporales que están ocurriendo, para este muestreo las diferencias las marcan la presencia de *Haplohyphes, Farrodes, Lachlania, Girardia, Anchytarsus, Belostoma, Caenis, Chelifera, Culex, Ephydra, Hexatoma, Hydrosmilodon, Limonicola, Maruina,* Phoridae sp, *Traverella* y *Trichodactylus.*

35.2.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, las variables Nitratos, PH, Solidos disueltos, Conductividad eléctrica, caudal, oxígeno disuelto, Coliformes totales y temperatura presentan efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos dentro de las estaciones evaluadas (**Figura 596**).

En general las asociaciones no se observan claramente, las estaciones H_Totare_01, H_Totare_03, H_Totare_04, H_Totare_05, H_Totare_06 se encuentran muy cercanas por lo que se asume que están condicionadas por el efecto de las mismas variables fisicoquímicas que en este caso serían la profundidad y los Coliformes fecales, así mismo se relacionan directamente con más del 50% de los géneros presentes en esa cuenca. Las estaciones H_Totare_07 y H_Totare_09 tienden a separarse del grupo principal y se relacionan con las variables cloruros y solidos suspendidos, las cuales están determinando la distribución de los géneros *Chimarra, Tubifex* y *Hetaerina.*

Figura 596. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Totare.



Fuente: Autores (2022).

La estación H_Totare_02 se relaciona directamente con los generos *Culex, Rhagovelia,* Phoridae, *Camelobaetidius* y *Helobdella,* estas a su vez se encuentran influenciadas positivamente con las variables ancho y fosforo. Por último, la estación H_Totare_10 no evidencia relación con ninguna de las variables

fisicoquímicas determinadas, sin embargo, si se encuentra relacionada específicamente con los géneros *Trichodactylus, Macrobrachium* y *Melanoides.*

La subzona hidrográfica del rio Totare es bastante extensa y cuenta con una gran cantidad de tributarios que presentan dinámicas particulares que pueden o no converger unas con otras, de este modo es difícil establecer las relaciones existentes en la dinámica de los macroinvertebrados acuáticos, sin embargo, se evidencia que existen alteraciones en el ciclo de nutrientes y material de sedimentación (Ramirez y Viña, 1998).

35.2.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare, exhiben un carácter heterogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas (**Tabla 537**).

En el muestreo 1 se denota que la calidad aceptable es la que predomina, esto sumado a la estación de clase buena, indica que el estado ecológico de la subzona durante este periodo es óptimo, en contraste la calidad de agua en el muestreo 2 varia significativamente y denota que la mitad de las estaciones cuenta con calidad de agua dudosa.

Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada con el pulso de inundación, que genera cambios en la presencia de taxones.

Aun cuando las presiones antrópicas son evidentes, se establece que la calidad de agua en estos ríos que componen la subzona son aceptables, lo que se traduce en que mantienen una salud apropiada para el mantenimiento de esta biota acuática, además se constata la presencia de las familias Perlidae, Lymnessiidae, Psephenidae, Blephariceridae, Oligoneuriidae, Gomphidae, Lampyridae y Ptilodactylidae que son sensibles, de alta especificidad y bioindicadores de buena calidad de agua (Roldan, 2003).

Tabla 537. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Totare	49	Dudosa	III	59	Dudosa	III
Rio Totare	74	Aceptable	II	33	Critica	IV
Rio La China	76	Aceptable	II	120	Buena	I
Rio Frio	97	Aceptable	II	95	Aceptable	II
Rio La China	77	Aceptable	II	109	Buena	I
Rio Alvarado	63	Aceptable	II	40	Dudosa	III
Rio Alvarado	100	Buena	I	88	Aceptable	II

Rio Chípalo	*	*	*	*	*	*
Rio Chípalo	64	Aceptable	II	60	Dudosa	III
Rio Totare	30	Critica	IV	37	Dudosa	III

* sin información

Fuente: Autores (2022).

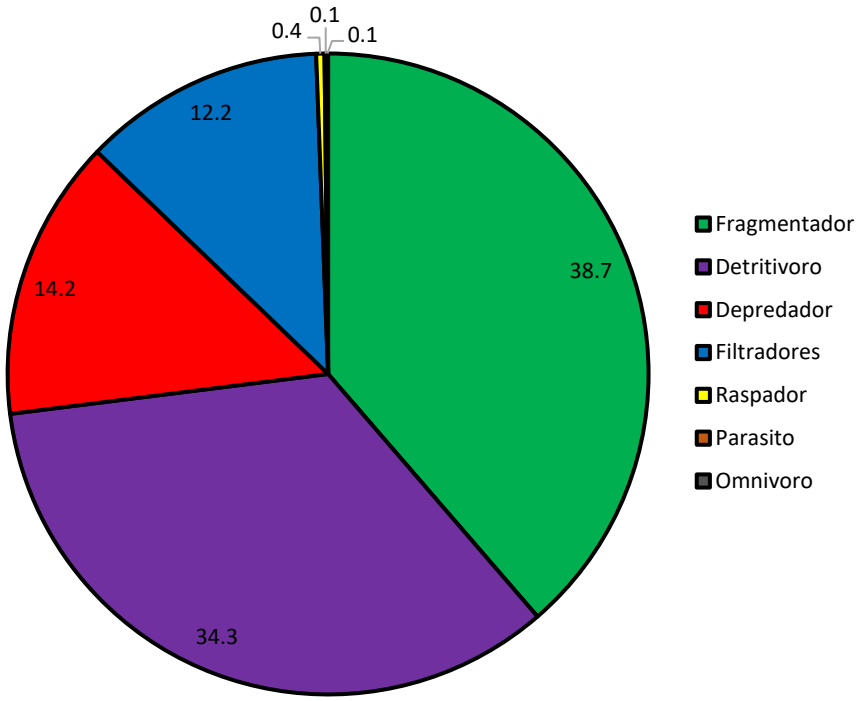
35.2.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron siete gremios tróficos de los cuales el Fragmentador fue el más abundante (38.7%), seguido de detritívoro (34.3%), depredador (14.2%), filtrador (12.2%), raspador (0.4%) y por último parasito y omnívoro (0.1%) (**Figura 597**).

La abundancia de estos gremios se relacionan con la oferta de material aloctono en forma de hojarasca, proveniente de la abundante vegetación que bordea todos estos ecosistemas, esto aumenta la densidad de organismos herbívoros en este caso los fragmentadores, por otra parte los detritívoros se relacionan con la cantidad de detritos orgánicos disponibles en el ambiente que son subproducto de la degradación de hojarasca y el ingreso al agua de sustancias provenientes de actividades domésticas, agrícolas, ganaderas e industriales (Perez et al., 2004).

El gremio depredador aumenta su densidad directamente a medida que aumentan los otros gremios que son su oferta alimenticia, además que algunos de ellos se pueden alimentar de peces y renacuajos. Los organismos filtradores se ven beneficiados en ríos que trasportan material en suspensión, que realmente son detritos más finos captados por redes de filtrado. El gremio raspador se compone de organismos herbívoros que se alimentan de perifiton que constituye el material autóctono, sin embargo, al ser un componente vivo tiende a cambiar con el tiempo y por último se tiene al gremio omnívoro y parasito que están pobremente, dado que son difíciles de detectar y colectar (Hanson et al., 2010).

Figura 597. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

35.2.3. Ictiofauna

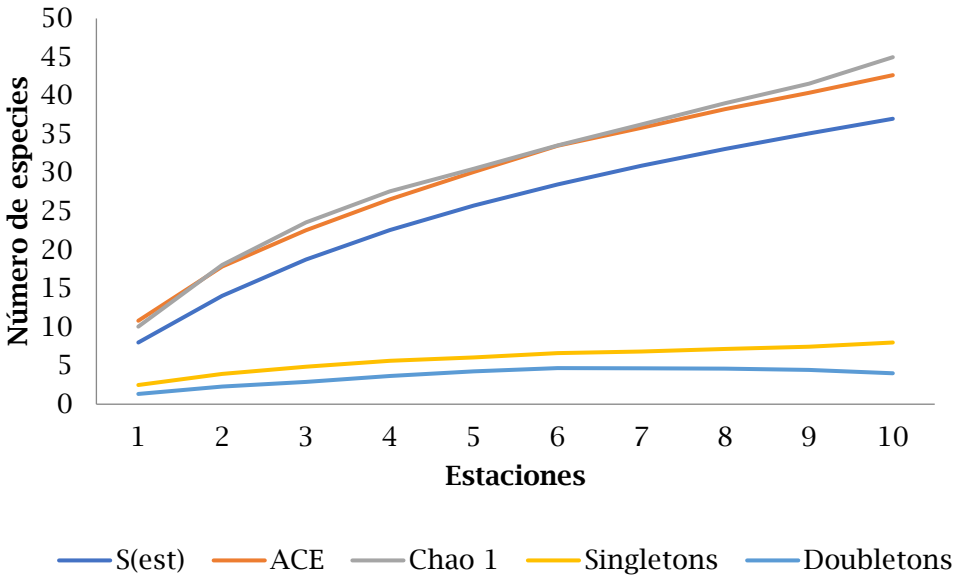
35.2.3.1. Representatividad

La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Totare. Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 37) corresponde al 88 % y 84 % de las especies esperadas, es decir, 42 y 44 especies, respectivamente (**Figura 598**).

Esto puede explicarse porque los estimadores de riqueza son sensibles en comunidades donde hay muchas especies con baja frecuencia de captura, es decir abundancia. Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de ocho especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Creagrutus magdalenae*, *Hemibrycon iqueima*, *Prochilodus magdalenae*, *Apteronotus milesi*, *Astroblepus grixalvii*, *Cetopsorhamdia nasus*, *Rhamdia guatemalensis* y *Trichomycterus transandianus*) o

que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Astyanax* sp., *Roeboides dayi*, *Apteronotus eschmeyeri*).

Figura 598. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Totare.



Fuente: Autores (2022).

Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue alto.

35.2.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Totare se colectaron 446 individuos (**Tabla 538**), pertenecientes a 37 especies, distribuidas en cuatro órdenes y once familias. El orden Siluriformes (AR= 72 %), con 20 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 22 %) con 13, Blenniiformes (AR= 4.9 %) y Gymnotiformes (AR= 0.7 %) con dos cada una.

Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 21 %) registró la mayor riqueza con 11, seguida de Loricariidae (AR= 27 %) con siete, Heptapteridae (AR= 7 %) con cinco, Astroblepidae (AR= 9 %) con cuatro y Trichomycteridae (AR= 27 %) con tres, Cichlidae (AR= 2.2 %) con dos y el resto de las familias con una especie cada una (**Figura 599**).

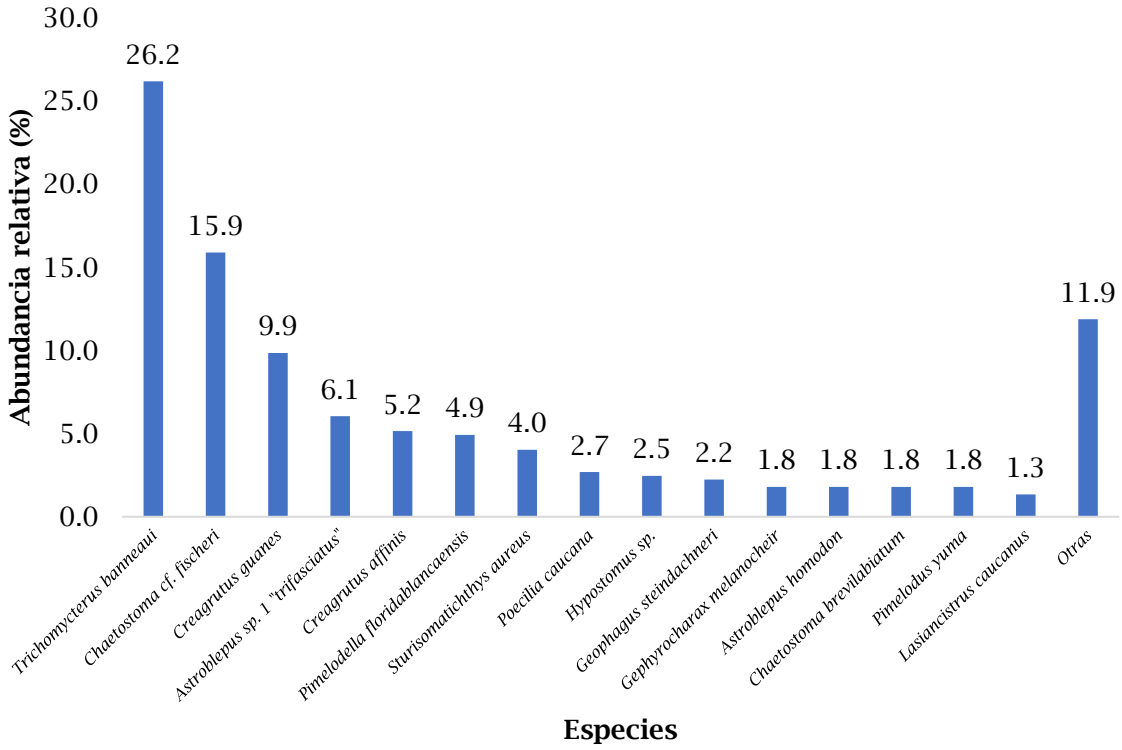
Tabla 538. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Totare.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Geophagus steindachneri*	10
	Poeciliidae	*Poecilia caucana*	12
Characiformes	Characidae	*Andinoacara latifrons*	3
		Astyanax sp.	2
		Creagrutus affinis	23
		Creagrutus guanes	44
		Creagrutus magdalenae	1
		Creagrutus sp.	4
		Gephyrocharax melanocheir	8
		Hemibrycon iqueima	1
		Hyphessobrycon natagaima	3
		Microgenys minuta	3
		Roeboides dayi	2
	Crenuchidae	*Characidium* cf. *zebra*	4
	Prochilodontidae	*Prochilodus magdalenae*	1
Gymnotiformes	Apteronotidae	*Apteronotus eschmeyeri*	2
		Apteronotus milesi	1
Siluriformes	Astroblepidae	*Astroblepus chapmani*	4
		Astroblepus grixalvii	1
		Astroblepus homodon	8
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	27
	Heptapteridae	*Cetopsorhamdia molinae*	2
		Cetopsorhamdia nasus	1
		Heptapteridae gen. nov.	5
		Pimelodella floridablancaensis	22
		Rhamdia guatemalensis	1
	Loricariidae	*Chaetostoma brevilabiatum*	8
		Chaetostoma cf. *fischeri*	71
		Chaetostoma milesi	3
		Chaetostoma thomsoni	4
		Hypostomus sp.	11
		Lasiancistrus caucanus	6
		Sturisomatichthys aureus	18
	Pimelodidae	*Pimelodus yuma*	8
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	117
		Trichomycterus tetuanensis	4
		Trichomycterus transandianus	1

Fuente: Autores (2022).

Con respecto a la abundancia de las especies, *Trichomycterus banneaui* fue la más abundante con 30 individuos (AR= 28 %), seguida de *Hemibrycon* sp. con (AR= 21 %) y *Astroblepus micrescens* con (AR= 10 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 5 % y, adicionalmente, se registraron cinco especies con un solo individuo, entre las que se mencionan *Andinoacara latifrons*, *Argopleura magdalenensis, Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus", *Chaetostoma milesi y Sturisomatichthys aureus.*

Figura 599. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

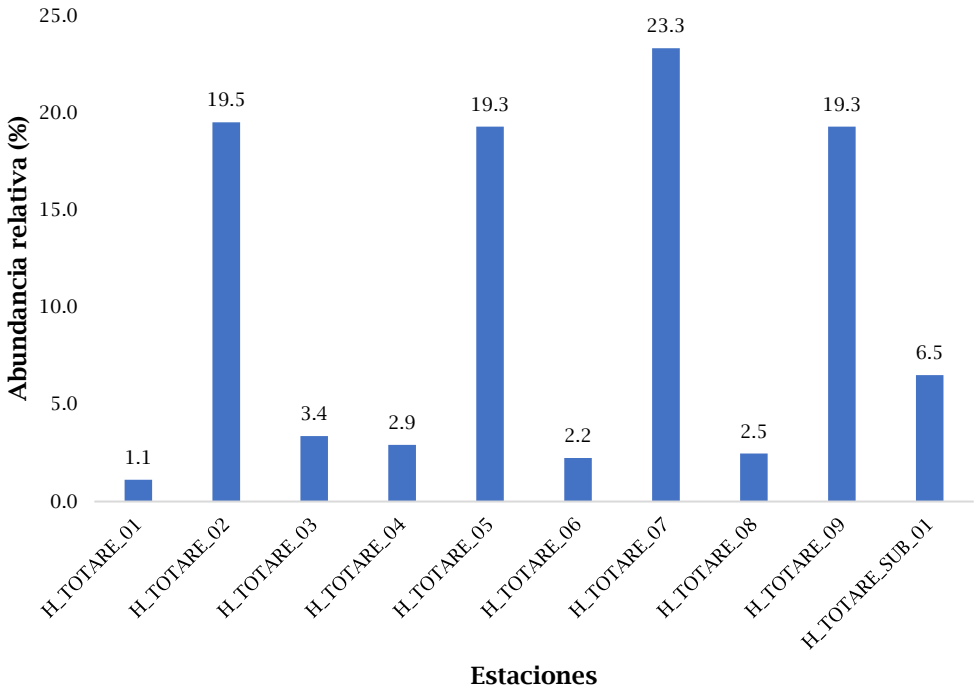
35.2.3.3. Distribución espacial

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-TOTARE-07 (Río Alvarado-341) registró la mayor abundancia con AR= 23 %, seguido de H-TOTARE-02 (Río Totare-325), H-TOTARE-05 (Río La China-363) y H-TOTARE-09 (Río Chipalo-399) con 19 %.

Por otro lado, las estaciones con menor abundancia fueron H-TOTARE-01 (Río Totare-1447), H-TOTARE-03 (Río La China-1592), H-TOTARE-06 (Río Alvarado-912),

H-TOTARE-08 (Río Chipalo-937). Las estaciones se distribuyen entre 267 a 1592 m s.n.m. (**Figura 600, Tabla 539**).

Figura 600. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 539. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.

Especie	H_TOTARE_01	H_TOTARE_02	H_TOTARE_03	H_TOTARE_04	H_TOTARE_05	H_TOTARE_06	H_TOTARE_07	H_TOTARE_08	H_TOTARE_09	H_TOTARE_10
Andinoacara latifrons	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*
Apteronotus eschmeyeri	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*
Apteronotus milesi	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Astroblepus chapmani	3	*	*	1	*	*	*	*	*	*
Astroblepus grixalvii	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*
Astroblepus homodon	*	*	*	1	3	4	*	*	*	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	2	*	15	10	*	*	*	*	*	*
Astyanax sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2
Cetopsorhamdia molinae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2

Cetopsorhamdia nasus	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*
Chaetostoma brevilabiatum	*	*	*	*	*	*	*	*	8	*
Chaetostoma cf. fischeri	*	27	*	*	3	*	27	*	14	*
Chaetostoma milesi	*	*	*	*	1	*	1	*	1	*
Chaetostoma thomsoni	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*
Characidium cf. zebra	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Creagrutus affinis	*	5	*	*	*	*	3	4	1	10
Creagrutus guanes	*	1	*	*	11	*	20	*	12	*
Creagrutus magdalenae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Creagrutus sp.	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*
Geophagus steindachneri	*	4	*	*	5	*	*	1	*	*
Gephyrocharax melanocheir	*	2	*	*	6	*	*	*	*	*
Hemibrycon iqueima	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*
Heptapteridae gen. nov.	*	2	*	*	2	*	*	*	1	*
Hyphessobrycon natagaima	*	1	*	*	*	*	1	*	*	1
Hypostomus sp.	*	7	*	*	*	*	*	*	2	2
Lasiancistrus caucanus	*	*	*	*	*	*	*	2	4	*
Microgenys minuta	*	*	*	*	1	*	*	*	2	*
Pimelodella floridablancaensis	*	2	*	*	5	*	5	2	3	5
Pimelodus yuma	*	*	*	*	*	*	*	*	8	*
Poecilia caucana	*	11	*	*	1	*	*	*	*	*
Prochilodus magdalenae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Rhamdia guatemalensis	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Roeboides dayi	*	2	*	*	*	*	*	*	*	*
Sturisomatichthys aureus	*	5	*	*	3	*	2	1	6	1
Trichomycterus banneaui	*	14	*	*	37	1	45	*	20	*
Trichomycterus tetuanensis	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*
Trichomycterus transandianus	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*

Fuente: Autores (2022).

35.2.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de las abundancias de la ictiofauna entre los dos muestreos evaluados, es posible observar 15 especies (*Sturisomatichthys aureus*, *Trichomycterus banneaui*, *Microgenys minuta*, *Pimelodella floridablancaensis,* Heptapteridae gen. nov., *Hyphessobrycon natagaim*a, *Hypostomus* sp., *Lasiancistrus caucanus*, *Geophagus steindachneri*, *Gephyrocharax melanocheir*, *Chaetostoma brevilabiatum*, *Chaetostoma* cf. *fischeri*, *Chaetostoma milesi*, *Astroblepus homodon*, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus" y *Astyanax* sp.) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos (**Figura 601**, **Tabla 540**).

.

Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten el mantenimiento de las poblaciones. Tal es el *Chaetostoma* spp. que es dependiente se sustratos rocosos, perifíton y cobertura vegetal con entrada de luz.

Tabla 540. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Totare.

ESPECIE	M1									M2								
	H_TOTARE_01	H_TOTARE_02	H_TOTARE_03	H_TOTARE_04	H_TOTARE_05	H_TOTARE_06	H_TOTARE_07	H_TOTARE_09	H_TOTARE_SUB_01	H_TOTARE_02	H_TOTARE_03	H_TOTARE_04	H_TOTARE_05	H_TOTARE_06	H_TOTARE_07	H_TOTARE_08	H_TOTARE_09	H_TOTARE_SUB_01
Geophagus steindachneri	*	*	*	*	1	*	*	*	*	4	*	*	4	*	*	1	*	*
Poecilia caucana	*	*	*	*	*	*	*	*	*	11	*	*	1	*	*	*	*	*
Andinoacara latifrons	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*
Astyanax sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Creagrutus affinis	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5	*	*	*	*	3	4	1	10
Creagrutus guanes	*	1	*	*	11	*	20	12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Creagrutus magdalenae	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Creagrutus sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*
Gephyrocharax melanocheir	*	1	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	6	*	*	*	*	*
Hemibrycon iqueima	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*
Hyphessobrycon natagaima	*	*	*	*	*	*	1	*	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*
Microgenys minuta	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*
Roeboides dayi	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*	*
Characidium cf. *zebra*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Prochilodus magdalenae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Apteronotus eschmeyeri	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Apteronotus milesi	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Astroblepus chapmani	3	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Astroblepus grixalvii	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*
Astroblepus homodon	*	*	*	1	2	4	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	2	*	11	9	*	*	*	*	*	*	4	1	*	*	*	*	*	*
Cetopsorhamdia molinae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2
Cetopsorhamdia nasus	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Heptapteridae gen. nov.	*	*	*	*	1	*	*	1	*	2	*	*	1	*	*	*	*	*

Pimelodella floridablancaensis	*	1	*	*	4	*	3	2	*	1	*	*	1	*	2	2	1	5
Rhamdia guatemalensis	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Chaetostoma brevilabiatum	*	*	*	*	*	*	*	7	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	15	*	*	*	*	4	4	*	12	*	*	3	*	23	*	10	*
Chaetostoma milesi	*	*	*	*	1	*	*	1	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*
Chaetostoma thomsoni	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hypostomus sp.	*	*	*	*	*	*	*	2	*	7	*	*	*	*	*	*	*	2
Lasiancistrus caucanus	*	*	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*
Sturisomatichthys aureus	*	1	*	*	1	*	*	4	*	4	*	*	2	*	2	1	2	1
Pimelodus yuma	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8	*
Trichomycterus banneaui	*	5	*	*	16	*	10	15	*	9	*	*	21	1	35	*	5	*
Trichomycterus tetuanensis	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Trichomycterus transandianus	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* ausencia de organismos

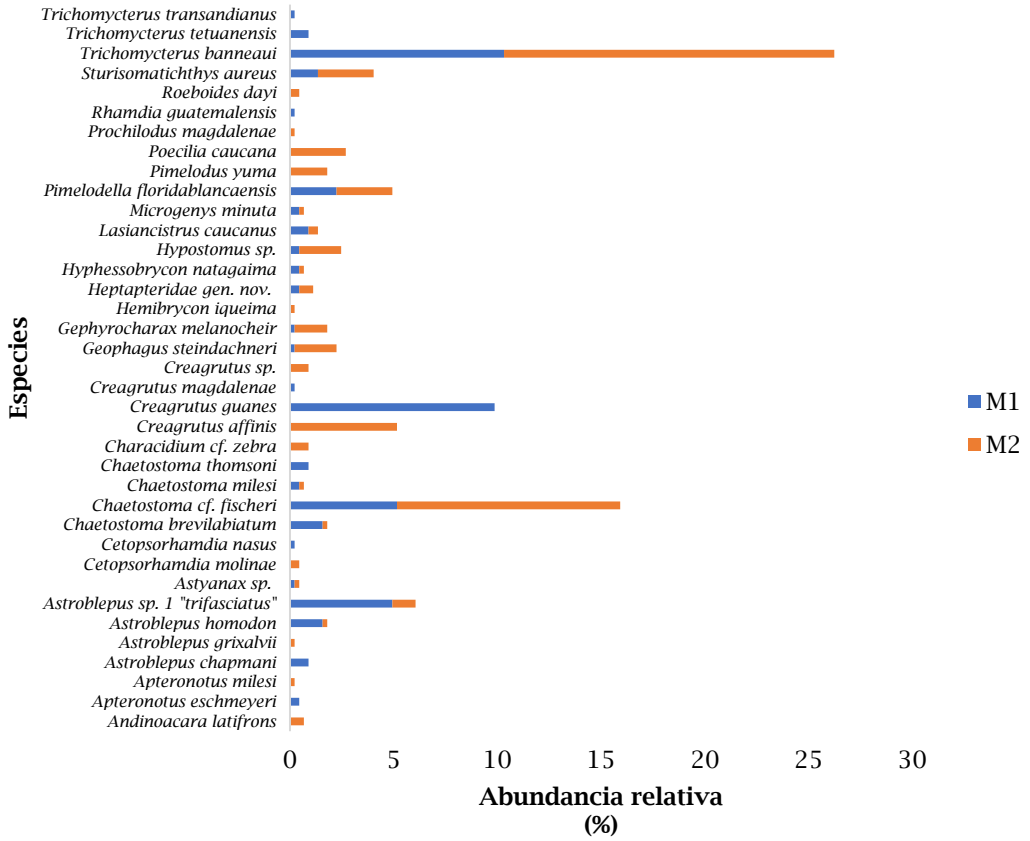
Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura, pendiente, vegetación riparia son variables ambientales que explican estos procesos.

Para el caso de las estaciones (H-TOTARE-07, H-TOTARE-02, H-TOTARE-05 y H-TOTARE-09) (Figura 4.2.3.4.2), podemos observar que a pesar registrar mayor número de individuos, son caracterizadas por especies dominantes como *Trichomycterus banneaui, Chaetostoma* cf. *fischeri* y *Creagrutus guanes* que representan mayoritariamente la abundancia total del ensamblaje.

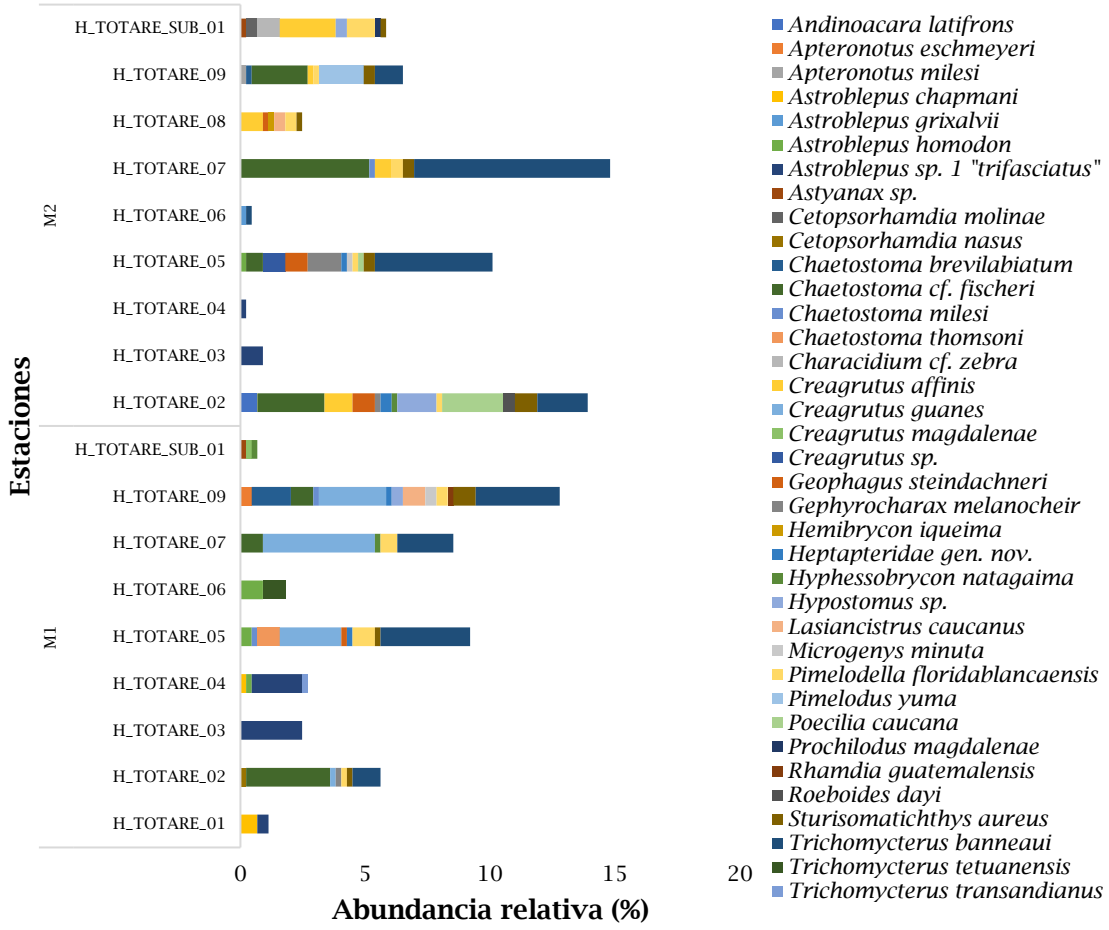
En cambio, H-TOTARE-01, H-TOTARE-03, H-TOTARE-06 y H-TOTARE-08 se conforman de ensamblajes pobres en especies con baja abundancia y especies comunes, es decir, especies no dominantes como es el caso de *Creagrutus affinis*, *Creagrutus magdalenae*, *Astroblepus homodon* y *Tricromysterus tetuanensis*. Es importante mencionar que dentro de las estaciones menos abundantes algunas de ellas como H-TOTARE-06 y H-TOTARE-08 se encuentran entre 900 m s.n.m y otras como H-TOTARE-01 y H-TOTARE-03 se distribuyen entre 1400 a 1600 m s.n.m es decir zonas altas (**Figura 602**).

Figura 601. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Figura 602. Distribución de la abundancia relativa de las especies en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.

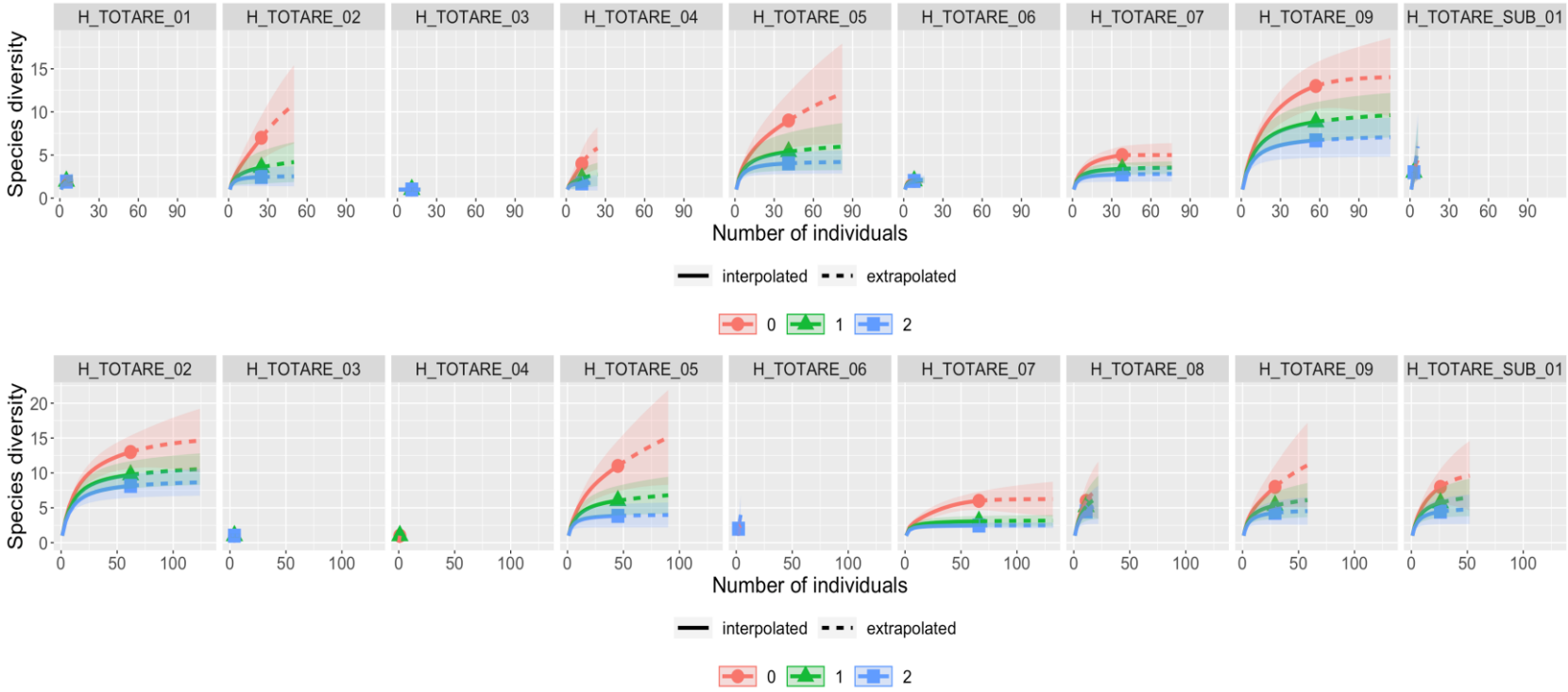


Fuente: Autores (2022).

35.2.3.5. Diversidad

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-TOTARE-02, H-TOTARE-05 Y H-TOTARE-09 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 8 y 12 especies. Las restantes estaciones registraron valores inferiores a cinco (**Figura 603**). Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-TOTARE-02, H-TOTARE-05 y H-TOTARE-09 son claramente más diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Totare, a pesar de que hubo una disminución en H-TOTARE-09, en el segundo monitoreo.

Figura 603. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 durante el primer monitoreo se encontró que las estaciones H-TOTARE-09, H-TOTARE-05, H-TOTARE-02 y H-TOTARE-07 tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 8,83, 5,38, 3,56 y 3,39 especies, respectivamente, donde todas ellas tuvieran la misma abundancia.

Por su parte, las demás estaciones tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad de 1,0 -3,0 especies efectivas. Al expresar estas equivalencias, se concluye que las estaciones H-TOTARE-09, H-TOTARE-05, H-TOTARE-02 y H-TOTARE-07 son en promedio 2,2 veces más diversa en especies de peces que las demás estaciones evaluadas.

Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas.

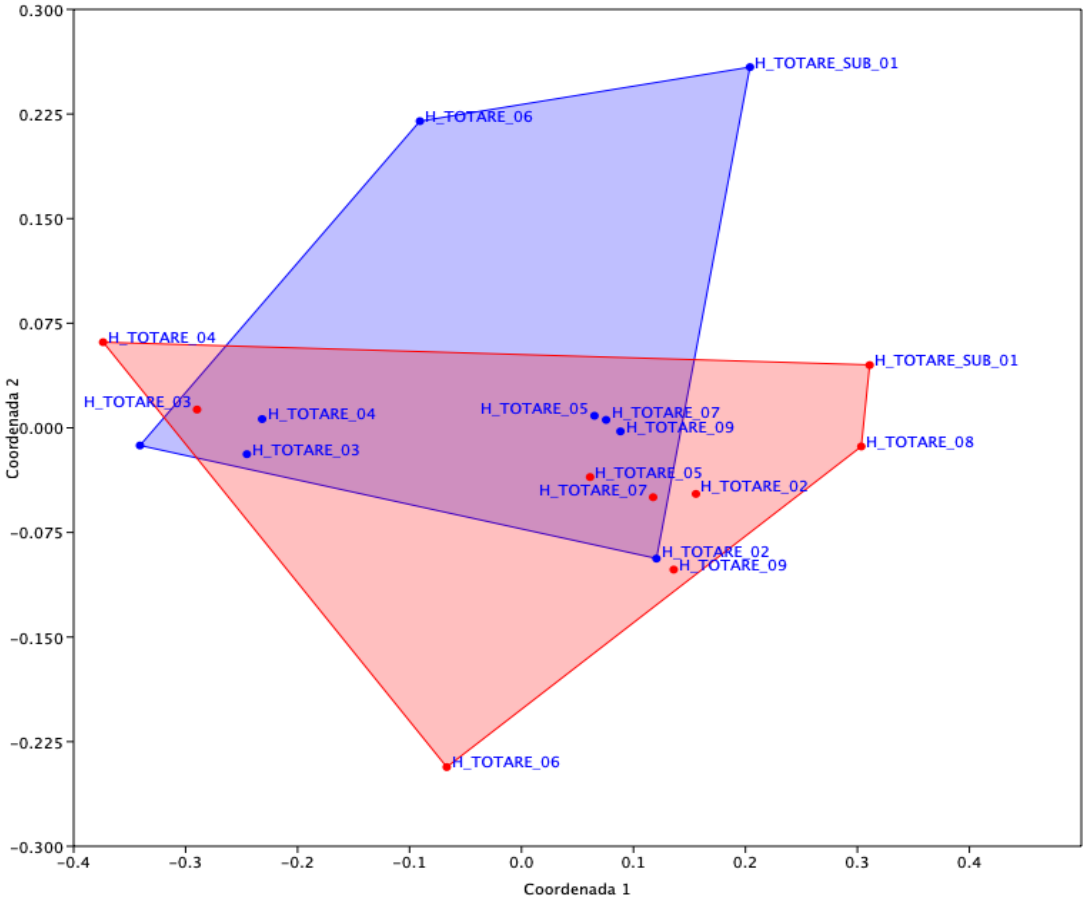
Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

35.2.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.38), permitieron observar que no existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM ($p>0.05$).

Según el diagrama de ordenación, se observa que se comparten diversas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada. Por tanto, no existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 604**).

Figura 604. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

35.2.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

De acuerdo al análisis de correlación de Spearman (ρ), cuatro variables químicas del agua (Conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno, Solidos disueltos y Solidos suspendidos) fueron excluidas del análisis por registrar una alta correlación estadística (ρ > 0.75 y p-valor < 0.05) (**Figura 605**). Es decir, existe una alta multicolinealidad de las variables excluidas que durante el análisis multivariable que podrían generar ruido y afectar los resultados.

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 53 % de la variación total de los datos. En el eje x, una variable química del agua, temperatura (T) (p-valor<0.05) (**Figura 606**), influyó de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. Esta se asoció positivamente a H-TOTARE-

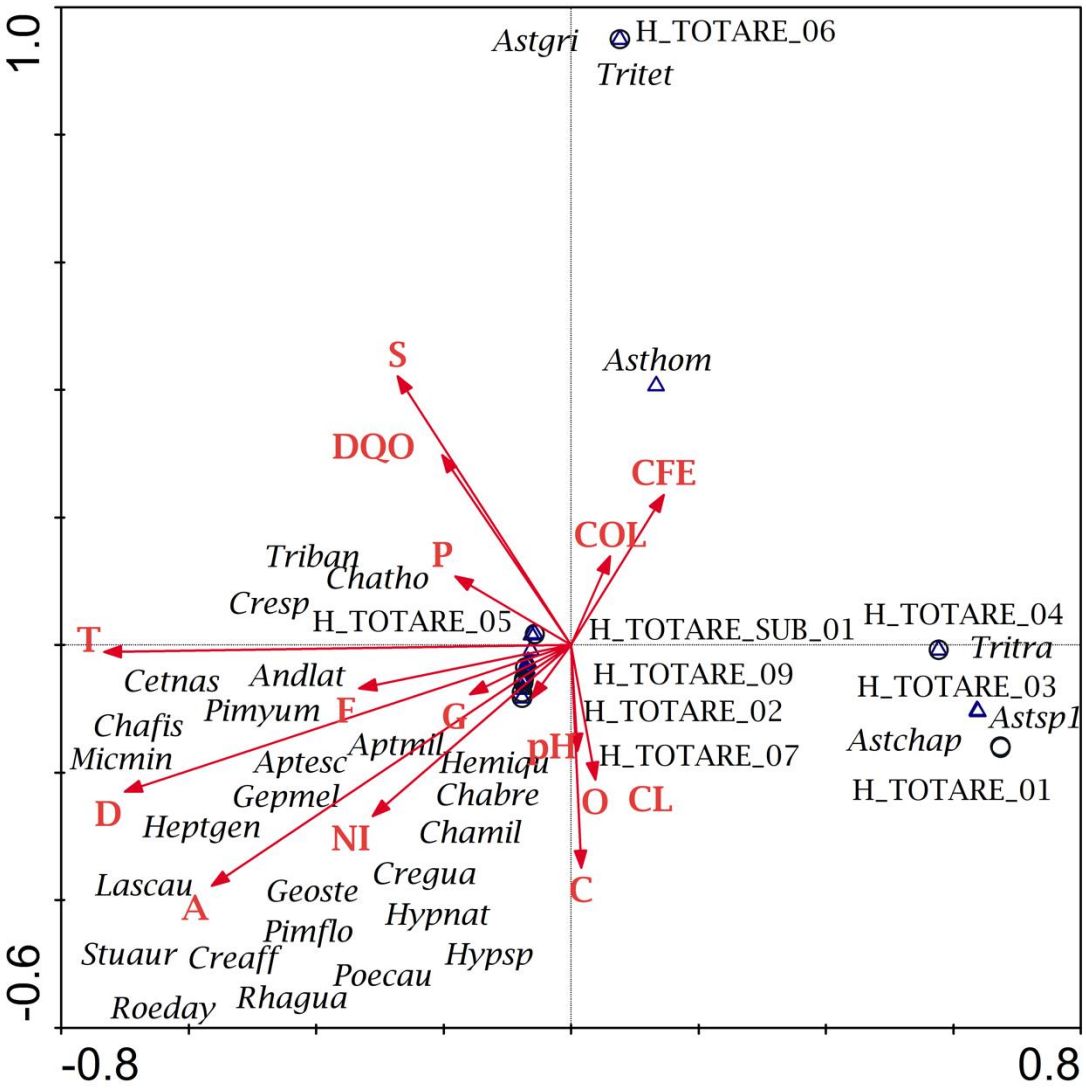
05, H-TOTARE-09, H-TOTARE-02, H-TOTARE-07 y *Chaetsotoma* spp., *Creagrutus* spp., *L. caucanus*, *M. minuta*, *A. latifrons*, *Pimelodus yuma* entre otras. Asimismo, se asoció negativamente con H-TOTARE-04, H-TOTARE-03 y H-TOTARE-01 y *Astroblepus champani*, *A.* sp.1 y *T. transandianus*.

Figura 605. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare.

Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxígeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

Esta disminución de la temperatura en H-TOTARE-04, H-TOTARE-03 y H-TOTARE-01 está relacionada con la cantidad de luz y la cobertura vegetal riparia. Ambas estaciones se encontraron entre 1400 y 1600 m s.n.m, es decir zonas de alta montaña. Según Poveda-Cuellar et al. (2021) *Astroblepus* spp. habitan preferentemente zonas altas caracterizada por aguas frías y alta oxigenación y mayor velocidad del agua. La presencia de *Astroblepus champani*, *A.* sp.1 puede asociarse a la tolerancia y adaptaciones fisiológicas y morfológicas que estas especies presentan. Poveda-Cuellar et al. (2021) comenta que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos sólidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. mayor velocidad del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

Figura 606. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Totare.



Fuente: Autores (2022).

En cuanto a las estaciones H-TOTARE-05, H-TOTARE-09, H-TOTARE-02, H-TOTARE-07 fue posible observar que están ubicadas en zonas de baja montaña y registraron mayores valores de nitrógeno, fuente esencial para el crecimiento de perifiton (p.e, algas) y se relaciona con aumentos de demanda de oxigeno (Roldan, 2003). Esto explica la presencia de especies de la familia Loricariidae (*Chaetostoma milesi*, *Chaetostoma* cf. *fischeri* y *S. aureus*) que presenta hábitos alimenticios relacionados con el consumo de perifiton, las

cuales se ven favorecidas por el incremento de la intensidad lumínica y de la temperatura causado por la disminución de la vegetación de ribera (Vieira & Shibatta, 2007).

Por otro lado, en el eje y, el oxígeno (T) se asoció negativamente con las estaciones H-TOTARE-06 y *Astroblepus grixalvii* y *T. tetuanensis*. Esta estación registró bajos valores de oxígeno disuelto y altos de coliformes fecales y totales. Durante su recorrido atraviesa parte del municipio de Ibagué (El país) y recoge aguas residuales del casco urbano. Es decir, los bajos valores de oxigeno pueden estar relacionados con contaminación acuática (contaminación fecal) debido a drenaje de aguas residuales. Además, registró un ensamblaje pobre en especies, siendo algunas de ellas tolerantes. Esta estación fue caracterizada por registrar arena y roca como sustratos, hábitat de *Astroblepus* spp. y *T. tetuanensis* (Poveda-Cuellar et al., 2021).

35.2.3.8. Distribución de frecuencia de tallas y relación longitud peso

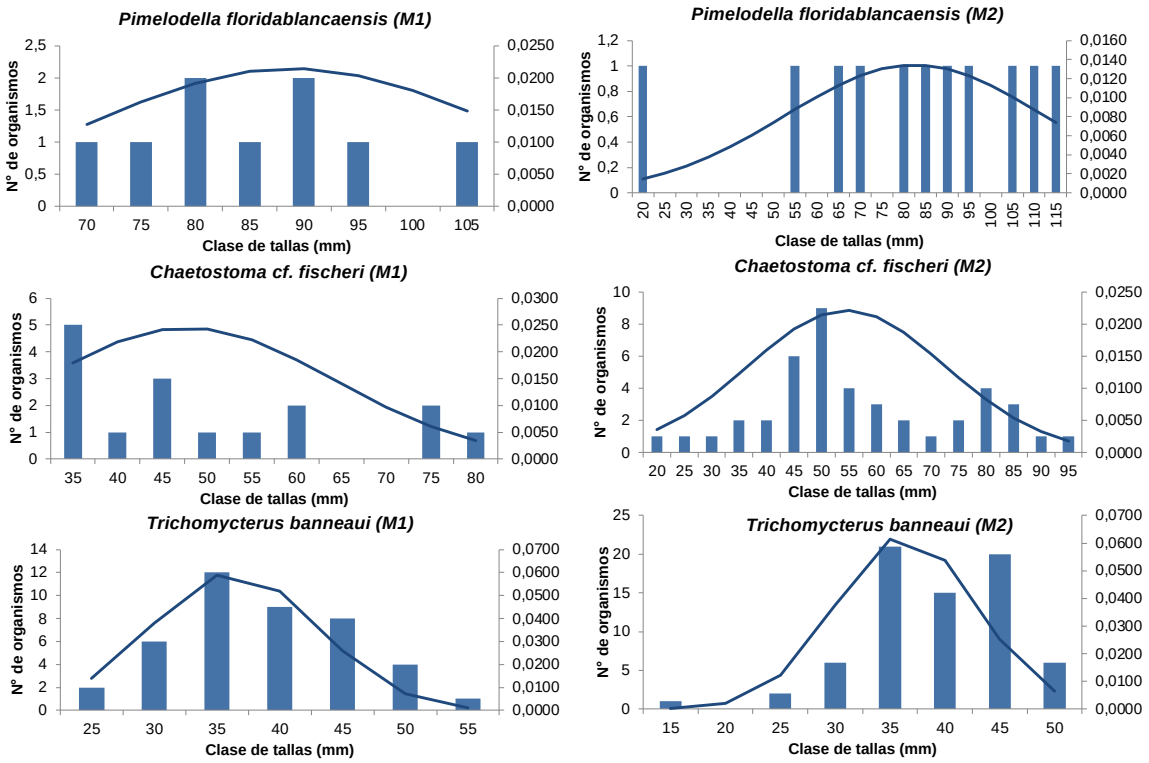
Se analizó un total de 212 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Totare, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). Para *Pimelodella floridablancaensis* se obtuvo valores de longitud 89,0 mm LE (M1), 82,4 mm LE (M2) y peso promedio de 4,8 g (M1), 3,7 g (M2); *Chaetostoma* cf. *fischeri* se obtuvo valores de longitud 47,9 mm LE (M1), 54,6 mm LE (M2) y peso promedio de 2,3 g (M1), 2,9 g (M2); *Trichomycterus banneaui* se obtuvo valores de longitud 36,4 mm LE (M1), 36,4,6 mm LE (M2) y peso promedio de 0,3 g (M1), 0,3 g (M2) (**Figura 607**). Para el caso de *Chaetostoma* cf. *fischeri* hubo un aumento tamaño y peso promedio durante el segundo monitoreo y, por otro lado, *Pimelodella floridablancaensis* registró una disminución.

En términos generales, se observa que durante el segundo monitoreo se registraron para todas las especies analizadas individuos pequeños (<30 mm) o juveniles. Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Totare, algunos individuos de *Chaetostoma* cf. *fischeri*, *Pimelodella floridablancaensis* y *Trichomycterus banneaui* se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Esto aporta información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de

las especies, tales como el diario y el lunar (Galzin, 1987; Shapiro, 1991). Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional las especies evaluadas debido a que la mayoría de especies en el neotropico cumplen estas relaciones.

Figura 607. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condición permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *Chaetostoma* cf. fischeri, *Pimelodella floridablancaensis* y *Trichomycterus banneaui* fueron las únicas especies que contaron con un número mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal.

Por tanto, observamos que existe un ligero aumento de K en el segundo monitoreo. Para el caso de *Pimelodella floridablancaensis* y *Trichomycterus banneaui* registraron un crecimiento alométrico negativo (b< 3), es decir, la especie aumenta más en longitud que peso, pudiendo ser un indicador de la menor inversión en energía acumulada y muestra que la especie posiblemente prioriza su crecimiento por encima de su peso (Le Cren, 1951). Esto ocurre posiblemente a una transferencia energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así que, podemos inferir que la especie se encontraba en reproducción o proceso de reproducción durante el segundo monitoreo. Por otro lado, las especies *Chaetostoma* cf. *fischeri* registran crecimiento alométrico positivo en el primer monitoreo, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951) (**Tabla 541**).

Tabla 541. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Totare.

Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Creagrutus affinis	M2	23	37,3	0,8	3,23	3,6E-06
Creagrutus guanes	M1	42	50,6	1,4	3,49	1,4E-06
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	M1	23	41,8	1,3	3,14	7,8E-06
Pimelodella floridablancaensis	M1	10	89,0	4,8	3,21	2,3E-06
Pimelodella floridablancaensis	M2	12	82,4	3,7	2,87	8,9E-06
Chaetostoma cf. fischeri	M1	17	47,9	2,3	3,40	3,1E-06
Chaetostoma cf. fischeri	M2	43	54,6	2,9	3,22	5,3E-06
Trichomycterus banneaui	M1	42	36,4	0,3	3,37	1,6E-06
Trichomycterus banneaui	M2	71	36,4	0,3	2,94	7,9E-06

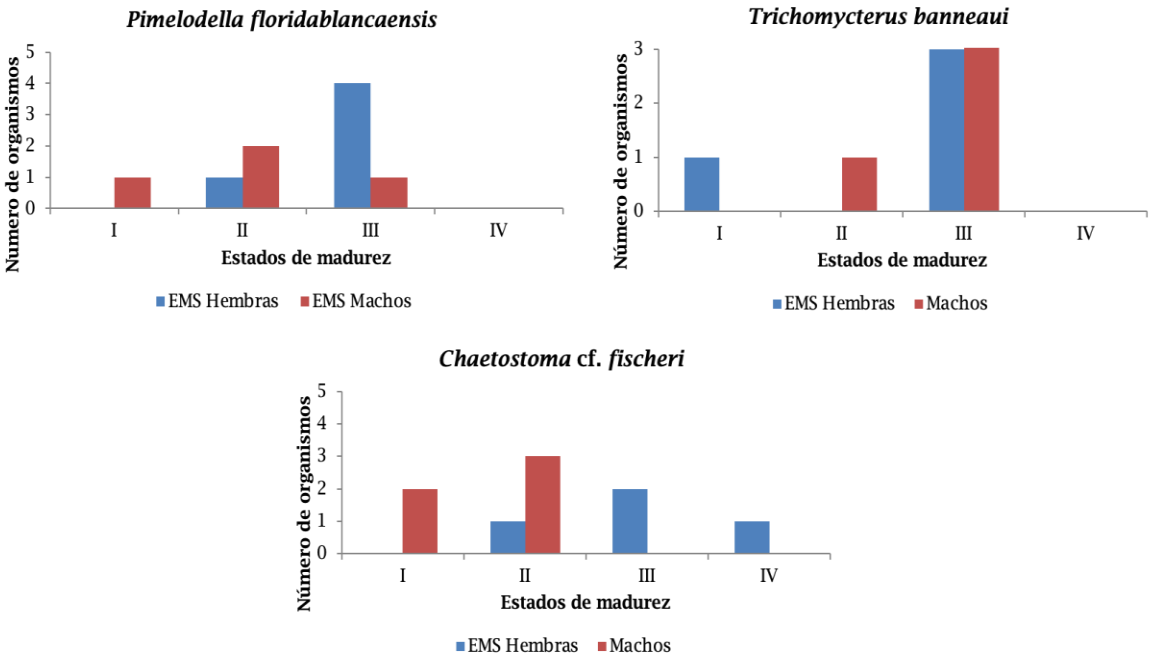
Fuente: Autores (2022).

35.2.3.9. Análisis trófico y reproductivo

En relación al análisis reproductivo, fueron analizados 23 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Totare. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo número de individuos colectados se realiza un análisis compilado.

En términos generales, los individuos analizados se encontraban en época reproductiva y en proceso de maduración sexual. En cuanto a las especies, algunos individuos se *Chaetostoma* cf. *fischeri* se encontraban en época reproductiva (EMS III) y desovado (EMS IV) indicando un periodo de reproducción. Asimismo, la mayoría de individuos de *P. floridablancaensis* y *T. banneaui* individuos estuvieron en estado de madurez sexual EMS III es decir, se encontraban en época reproductiva (**Figura 608).**

Figura 608. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Pimelodella floridablancaensis, Trichomycterus banneaui y Chaetostoma cf. fischeri.* I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Totare.



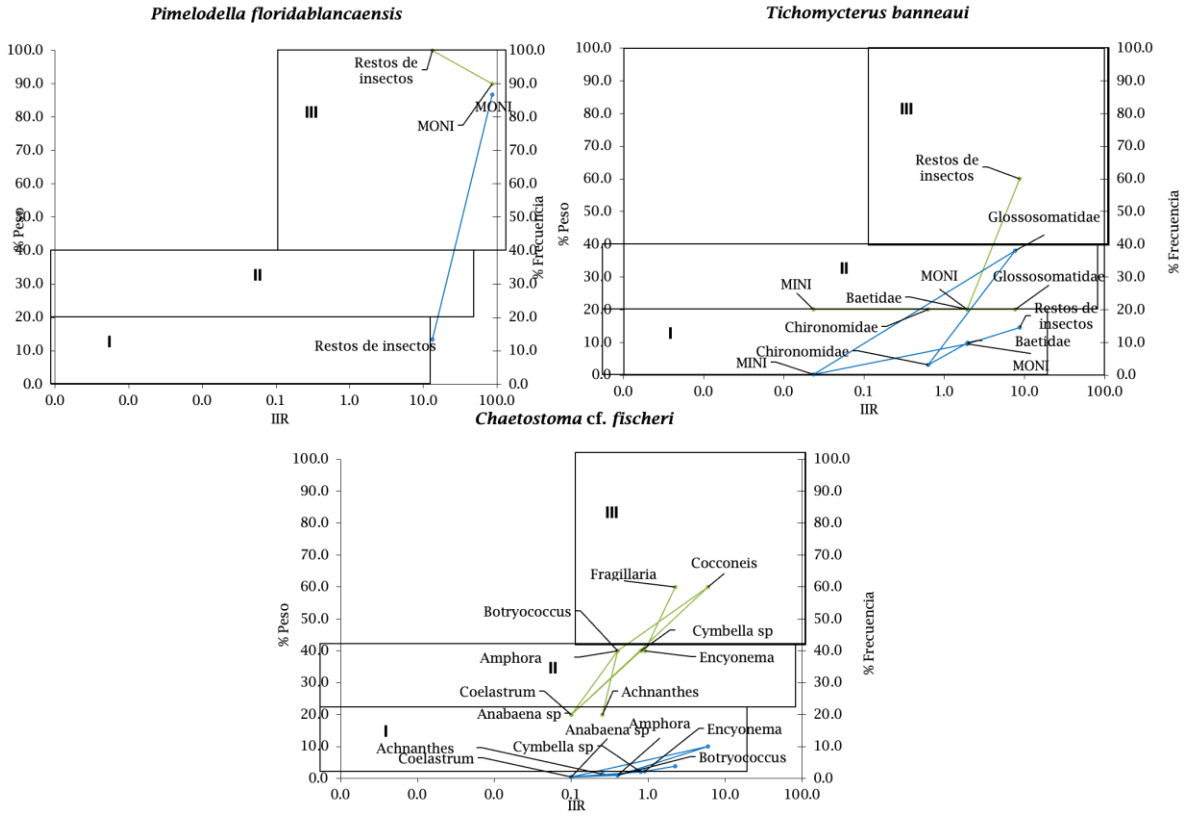
Fuente: Autores (2022).

Ecología trófica

Se analizaron 23 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1. En total se encontraron 29 ítems alimenticios, de los cuales cuatro (Restos de insectos, materia orgánica no indentificada-MONI y *Cocconeis*, *Fragillaria*) fueron considerados preferenciales y los restantes en correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y secundarios según (Yañez- Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013).

Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como insectívoras (*T. banneaui*), consumidor de perifiton (*C. fischeri*) y para *P. floridablancaensis* no fue posible establecer el gremio. Este último consume MONI y Restos de insectos que caen de la vegetación riparia. El gremio trofico Invertívoro son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos. Y, se caracteriza por especies que se alimentan de organismos perifíticos (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 609**).

Figura 609. Espectro trófico de *Pimelodella floridablancaensis, Trichomycterus banneaui y Chaetostoma cf. fischeri* de la subzona hidrográfica del río Totare.



Fuente: Autores (2022).

35.2.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Totare son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de nicuro (*Pimelodus yuma*), bocachico (*Prochilodus magdalenae*), cuchos (*Chaetostoma* spp.) y sardinas (*Astyanax* sp.) y ornamentales como mojarras (*Geophagus steindachneri*) y gupis (Poecilia caucana). Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Totare. Por otro lado, *Prochilodus magdalenae* se encuentra en categoría Vulnerable y *Microgenys minuta* en estatus de Casi Amenazada según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), pero si en preocupación menor (UICN) (**Tabla 542**).

La especie *Prochilodus magdalenae* y *Pimelodus yuma* es migratoria y de importancia comercial. También, detritívora y considerada importantes dentro de la red trófica,

debido a que re-incorpora la energía contenida en el fango y detrito característicos de ambientes lenticos (Benedito-Cecilio et al., 2000; Bowen, 1984). Asimismo, registra migraciones medianas, longitudinales y locales, por tanto, su ciclo reproductivo y de materia sucede parcialmente sobre la cuenca del rio Totare según lo reportado en este estudio.

Tabla 542. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Totare.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	categoría UICN/ Libro Rojo
Andinoacara latifrons	*				
Apteronotus eschmeyeri	*				LC
Apteronotus milesi	*				DD
Astroblepus chapmani	*				LC
Astroblepus grixalvii	*				LC
Astroblepus homodon	*				LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*				LC
Astyanax sp.				Pesca	
Cetopsorhamdia molinae	*				
Cetopsorhamdia nasus	*				LC
Chaetostoma brevilabiatum	*				
Chaetostoma cf. *fischeri*				Pesca	LC
Chaetostoma milesi	*			Pesca	
Chaetostoma thomsoni	*			Pesca | Ornamental	LC
Characidium cf. *zebra*				Ornamental	
Creagrutus affinis					LC
Creagrutus guanes	*				LC
Creagrutus magdalenae	*				LC
Creagrutus sp.					
Geophagus steindachneri				Ornamental	
Gephyrocharax melanocheir	*				LC
Hemibrycon iqueima	*				
Heptapteridae gen. nov.	*				
Hyphessobrycon natagaima	*				
Hypostomus sp.					
Lasiancistrus caucanus					LC

Microgenys minuta	*			LC | Casi Amenazada
Pimelodella floridablancaensis				
Pimelodus yuma	*	Media	Pesca	
Poecilia caucana			Ornamental	LC
Prochilodus magdalenae	*	Mediana, longitudinal y local	Pesca	VU
Rhamdia guatemalensis				LC
Roeboides dayi				LC
Sturisomatichthys aureus	*		Ornamental	LC
Trichomycterus banneaui	*			LC
Trichomycterus tetuanensis	*			
Trichomycterus transandianus	*			

Fuente: Autores (2022).

La subzona hidrográfica del rio Totare representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Asimismo, es el principal suministro de agua para consumo humano y agrícola (Reinoso-Florez et al., 2007). Sin embargo, se han registrado impactos ambientales que generan disturbios como aguas residuales, desechos sólidos y aguas negras (Reinoso-Florez et al., 2007), representando factores de disturbio sobre las comunidades acuáticas.

Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región.

De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica más actualizados en la subzona hidrográfica del rio Totare. Estudios anteriores (Reinoso-Florez et al., 2007, Poveda-Cuellar, 2020) sobre la cuenca del río Totare sobre algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de aproximadamente 50 especies. Valores superiores al reportado en el presente estudio (37 spp).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los órdenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 72 %), con 20 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 22 %) con 13, Blenniiformes (AR= 4.9 %) y Gymnotiformes (AR= 0.7 %) con dos cada una siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, Poveda-Cuellar, 2020; Reinoso-Florez et al., 2007).

De las estaciones evaluadas, se registraron 37 especies, la cuales representan el 74 % de las especies del río Totare (Reinoso-Florez et al., 2007) y 33 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. El bajo número de especies con respecto a Reinoso-Florez et al., 2007 se explica por dos razones. La primera, por diferencias en la cobertura y esfuerzo de muestreo. Y la segunda, por el aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático.

Esto afecta la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta ultima, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

Respecto a la distribución geográfica se observa que algunas especies (*Astroblepus chapmani* y *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus") de la familia Astroblepidae son los unicos representantes de las estaciones ubicadas en la zona alta, como es el caso de H-TOTARE-01. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Trichomcyteridae, Cichlidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas.

Es así que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015).

Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que los peces del rio Totare se encuentran mayoritariamente en rápidos, remansos, vegetación riparia, sustratos heterogéneos como rocas, gravas, guijarros, arena y hojarasca hábitats de especies *Chaetostoma* spp., *Astroblepus* spp., *Prochilodus magdalenae* entre otras.

Estas especies, Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a

sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015). Además, la cobertura de dosel y entrada de luz favorece la producción primaria (perifiton), recursos alimenticios requeridos por estas especies herbívoras (Zuñiga et al., 2014).

Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río.

Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

35.3. Subzona hidrográfica del río Opia

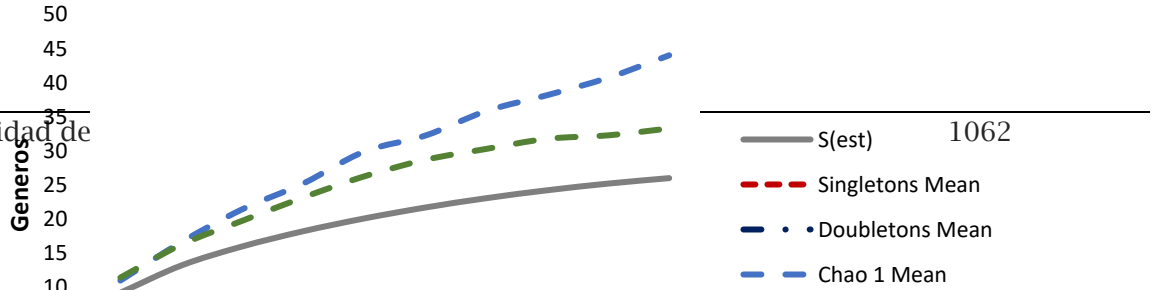
35.3.1. Perifiton

35.3.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza, se registró un número total de 26 géneros observados (Sobs) en 10 estaciones evaluadas (cinco en cada época climática), estas especies representan el 78% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 59% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 44 géneros (**Figura 610**).

Según los estimadores de riqueza se registró una cantidad inferior a lo esperado durante los periodos de muestreo, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica, se debe incrementar el esfuerzo de muestreo, ya sea en un mayor número de estaciones distribuidas en la subzona o replicas en el tiempo. Esto se observa además en la curva de acumulación de especies en la cual se evidencia que hace falta esfuerzo para llegar a la asíntota.

Figura 610. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

35.3.1.2. Composición

Se colectaron 3833 individuos/mm^2 distribuidos en cinco filos, seis clases, 16 órdenes, 22 familias y 26 géneros (**Tabla 543**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 3594 individuos/mm^2 (94%), seguida de la clase Cyanophyceae con 220 individuos/mm^2 (5.7%), las clases restantes registraron densidades muy bajas. La elevada densidad de la clase Bacillariophycea, es común en ecosistemas loticos de corrientes fuertes a moderadas debido a que estos organismos pueden generar estructuras mucilaginosas que les permiten adherirse a rocas y troncos (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003). Con relación a los órdenes Bacillariales, Naviculales, Cymbellales, y Oscillatoriales representaron aproximadamente el 94% de los organismos registrados. (**Tabla 543**). Los tres primeros de la clase Bacillariophyceae, el último de la clase Cyanophyceae, representado por *Oscillatoria* sp, (**Figura 611**, **Tabla 543**) característico de zonas con elevadas cargas de nutrientes (Ramírez 2000).

Tabla 543. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Opia.

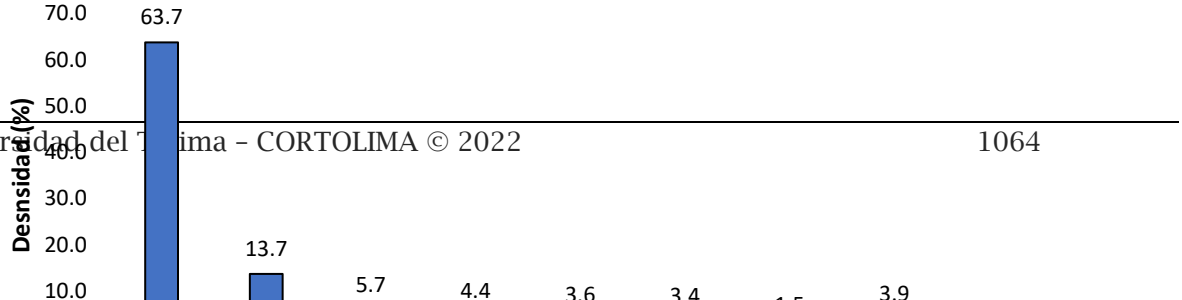
Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia sp*	1
				Nitzchia sp	2443
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	139
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	56
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	170
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	25
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia sp*	5
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	33
				Synedra sp	2
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Hannaea sp*	1

		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	11
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Amphipleura sp*	11
				Frustulia sp	11
			Naviculaceae	*Gyrosigma sp*	131
				Navicula sp	525
			Pinnulariaceae	*Pinnularia sp*	11
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella sp*	19
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	1
Charophyta	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Mougeotia sp*	5
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Chaetophora sp*	1
		Sphaeropleales	Microsporaceae	*Microspora sp*	3
			Scenedesmaceae	*Desmodesmus sp*	6
			Selenastraceae	*Monoraphidium sp*	1
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	219
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina sp*	1
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella sp*	3

Fuente: Autores (2022).

Los taxones más abundantes y frecuentes durante los dos muestreos realizados fueron *Nitzchia sp, y Navicula sp* (**Figura *610***, **Figura 611**). ambos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, la cual como se mencionó previamente se desarrolla ampliamente en este tipo de ecosistemas de corrientes rápidas. Algunos autores como Bellinger & Sigee (2010), consideran que estos taxones, se distribuyen ampliamente en los ecosistemas acuáticos, ya que pueden tolerar cambios en las condiciones físicas y químicas de los ecosistemas acuáticos.

Figura 611. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Opia.

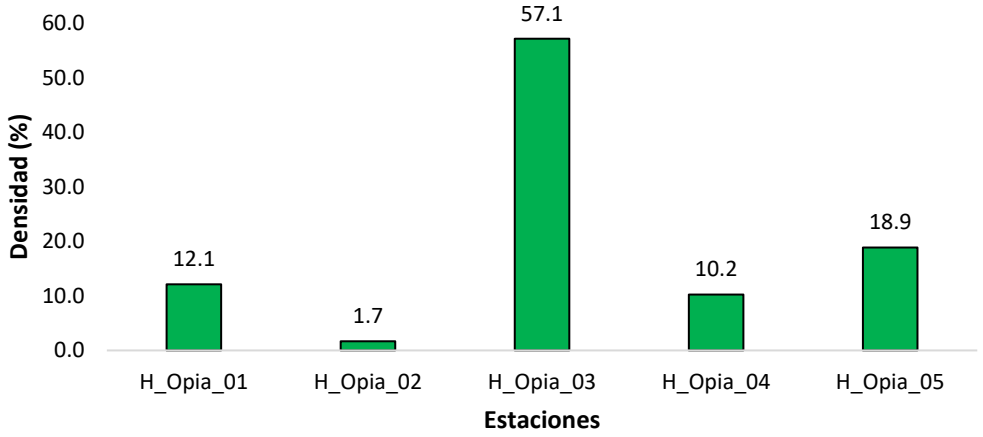


Fuente: Autores (2022).

35.3.1.3. Distribución espacial

Se establecieron cinco estaciones de muestreo, de las cuales la Quebrada Doima (H_Opia_03), registro la mayor densidad relativa con un 57.1%, seguido por la estación del río Opia-Chicala (H_Opia_05) con 18.9%. Por otro lado, la estación con el menor porcentaje de densidad fue el río Opia (Piedras -Doima) (H_Opia_02) con el 1.7% (**Figura *612***, **Tabla 544**).

Figura 612. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 544. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Opia.

Especie	H_Opia_01	H_Opia_02	H_Opia_03	H_Opia_04	H_Opia_05
Achnanthidium sp	0	0	4	0	7
Amphipleura sp	0	0	9	2	0

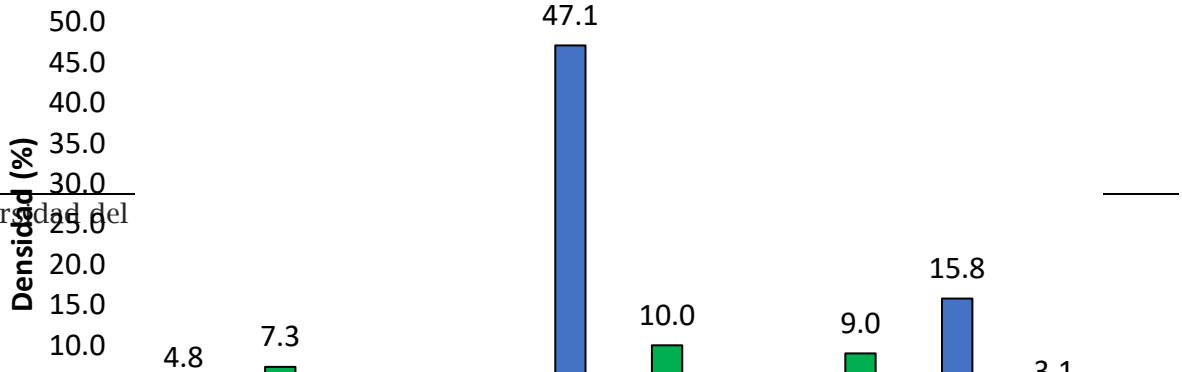
Arcella sp	0	0	3	0	0
Chaetophora sp	1	0	0	0	0
Cocconeis sp	30	1	62	38	9
Cymbella sp	0	4	0	32	20
Desmodesmus sp	0	0	0	1	5
Eunotia sp	0	0	3	2	0
Fragilaria sp	5	1	19	2	6
Frustulia sp	0	0	9	0	1
Gomphonema sp	40	6	49	40	36
Gyrosigma sp	16	0	5	102	9
Hannaea sp	0	0	0	1	0
Hantzschia sp	0	0	0	0	1
Melosira sp	0	0	1	0	0
Microspora sp	3	0	0	0	0
Monoraphidium sp	0	0	0	1	0
Mougeotia sp	5	0	0	0	0
Navicula sp	134	14	306	27	44
Nitzchia sp	185	38	1667	99	454
Oscillatoria sp	44	0	26	28	122
Pinnularia sp	0	0	9	1	1
Rhoicosphenia sp	2	0	17	0	6
Spirulina sp	1	0	0	0	0
Surirella sp	0	0	0	18	1
Synedra sp	0	1	1	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.3.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos fue registrada durante el muestreo M1 realizado durante la época de altas precipitaciones en la estación Quebrada Doima (H_Opia_03) y río Opia-Chicala (H_Opia_05). Patrón que se repitió durante ambas épocas de muestreo. El incremento en la densidad durante esta época podría estar relacionado con el incremento del caudal, el cual en esta subzona generó nuevos hábitats para el establecimiento de la comunidad perifítica (**Figura 613**, **Tabla 545**).

Figura 613. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 545. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Opia.

	HOpia01		HOpia02		HOpia03		HOpia04		HOpia05	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Achnanthidium sp	0	0	0	0	0	4	0	0	7	0
Amphipleura sp	0	0	0	0	9	0	0	2	0	0
Arcella sp	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Chaetophora sp	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cocconeis sp	0	30	1	0	56	6	0	38	1	7
Cymbella sp	0	0	0	4	0	0	0	32	6	15
Desmodesmus sp	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5
Eunotia sp	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0
Fragilaria sp	3	2	1	0	19	1	1	1	0	6
Frustulia sp	0	0	0	0	9	0	0	0	1	0
Gomphonema sp	12	28	2	4	0	49	4	36	14	22
Gyrosigma sp	8	7	0	0	5	0	0	102	6	4
Hannaea sp	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Hantzschia sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Melosira sp	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Microspora sp	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Monoraphidium sp	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Mougeotia sp	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Navicula sp	74	60	9	5	278	28	6	20	29	15
Nitzchia sp	46	139	32	6	1389	278	9	90	417	37
Oscillatoria sp	35	8	0	0	23	3	26	2	122	0
Pinnularia sp	0	0	0	0	9	0	0	1	0	1
Rhoicosphenia sp	2	0	0	0	9	8	0	0	0	6
Spirulina sp	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Surirella sp	0	0	0	0	0	0	0	18	1	0

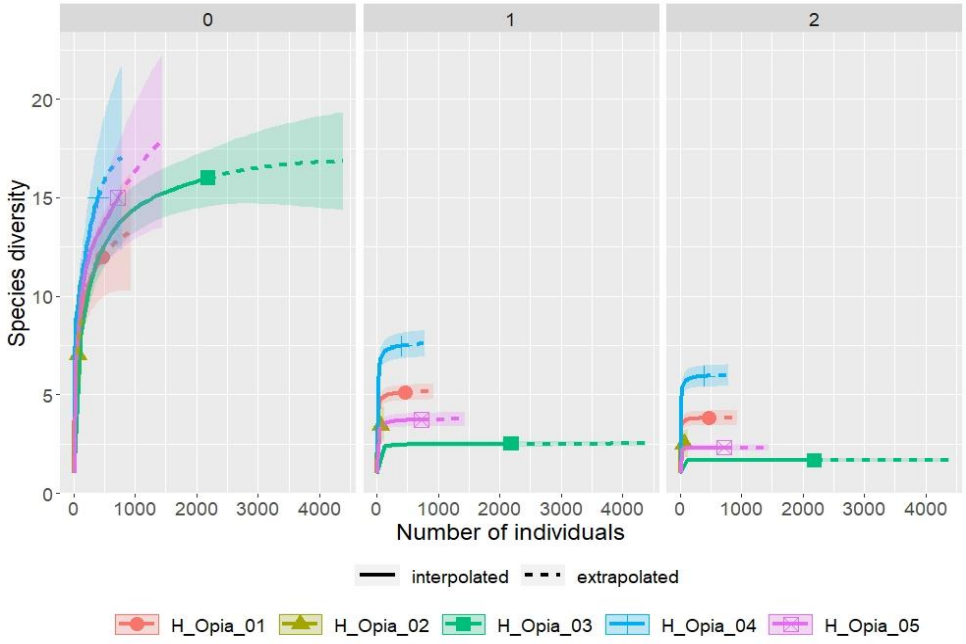
Synedra sp	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.3.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D), a nivel general, se observó que no existen diferencias significativas en la riqueza de especies en las localidades evaluadas en la subzona hidrográfica del río Opia (**Figura 614**). A partir del número de especies típicas (1D) y especies dominantes (2D) se evidenció que la estación Quebrada Doima (Piedras_Doima) (H_Opia_04) y el río Opia (Ibagué-Picaleña) (H_Opia_01) fueron significativamente más diversas que las otras estaciones evaluadas en esta subzona. La estación con la menor diversidad fue Quebrada Doima (H_Opia_03) (**Figura 614**).

Figura 614. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



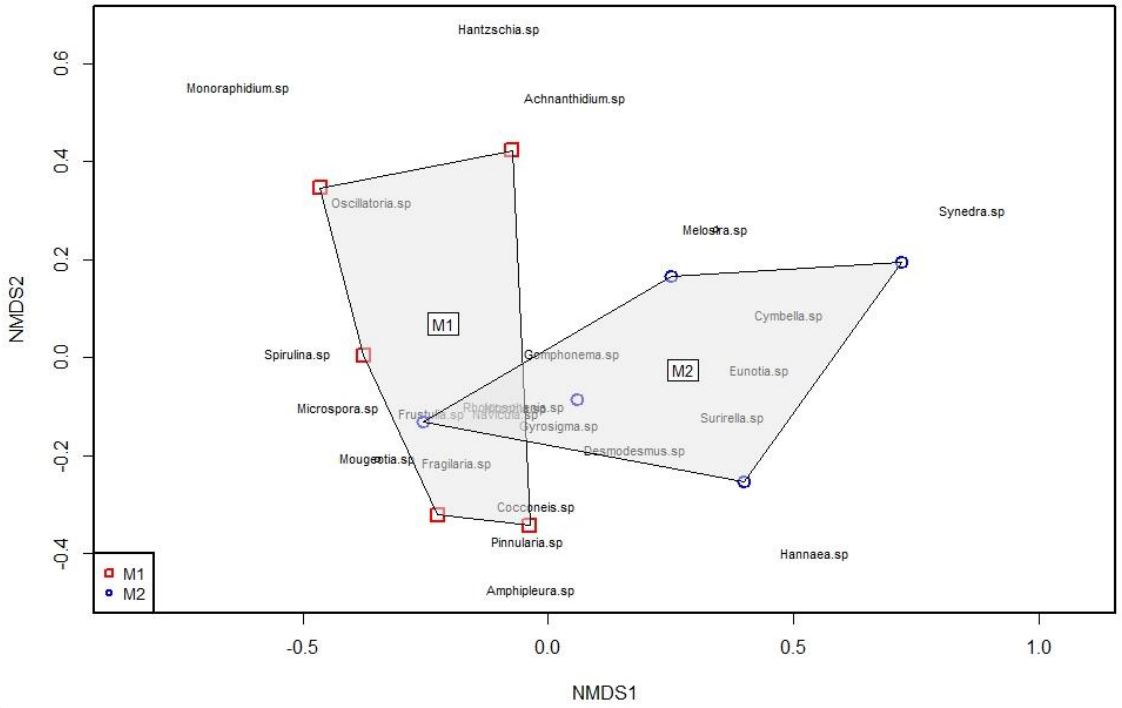
Fuente: Autores (2022).

35.3.1.5.1. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad en las épocas evaluadas (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 615**). Evidenciando, que la comunidad perifítica en esta subzona hidrográfica se mantiene constante durante las épocas climáticas. Algunos taxones como *Synedra sp, Hannaea sp y Melosira sp*, fueron más

comunes durante la época de bajas precipitaciones (M2). Todos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, dominante y frecuente en esta subzona.

Figura 615. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



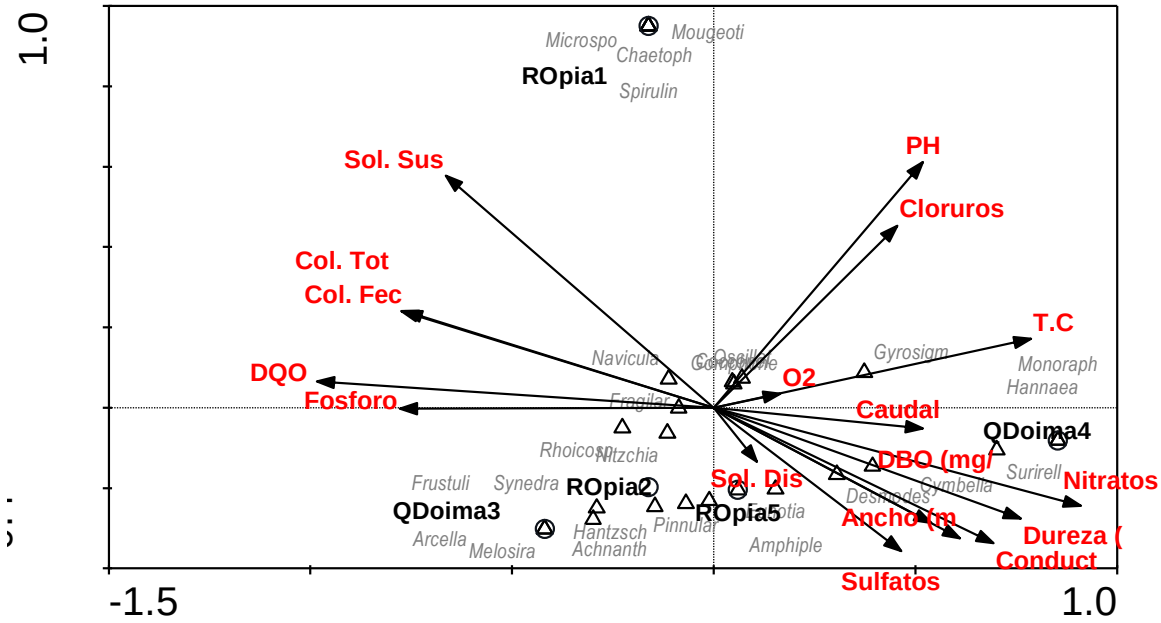
Fuente: Autores (2022).

35.3.1.6. Relación con variables fisicoquímicas

Según los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC), solamente la demanda química de oxígeno (DQO) influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica (p=0.006). Esta variable se asoció con los coliformes totales, fecales, solidos suspendidos y el fosforo, los cuáles se relacionan con altas cargas de nutrientes y procesos de contaminación de materia orgánica, especialmente en el río Opia (Ibagué-Picaleña) (H_Opia_01).

En la cual se observó la presencia de especies como *Microspora sp, Chaetophora sp, Spirulina sp y Mougeotia sp* (**Figura 616**). Estaciones como Quebrada Doima (Piedras_Doima) (H_Opia_04) y el río Opia (Piedras-Chicala) (H_Opia_05) se separaron de las demás por valores elevados de dureza cálcica, conductividad eléctrica y Nitratos (**Figura 616**). Variables relacionadas con actividades agrícolas que posiblemente favorecen la presencia de taxones como *Surirella* sp, *Cymbella* sp, y *Hannaea* sp (**Figura 616**).

Figura 616. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

35.3.1.7. Índice Diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (**Tabla 546**). Las estaciones de la Quebrada Doima en Picaleña y Doima (H_Opia_03, H_Opia_04) registraron niveles de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica. Las estaciones restantes registraron nivel de contaminación intermedio, contaminación media, eutrofización acentuada por materia orgánica.

Tabla 546. Índice Diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.Opia_1	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

R.Opia_2	3.2	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Q.Doima_3	2.7	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Q.Doima_4	2.9	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.Opia_5	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

Fuente: Autores (2022).

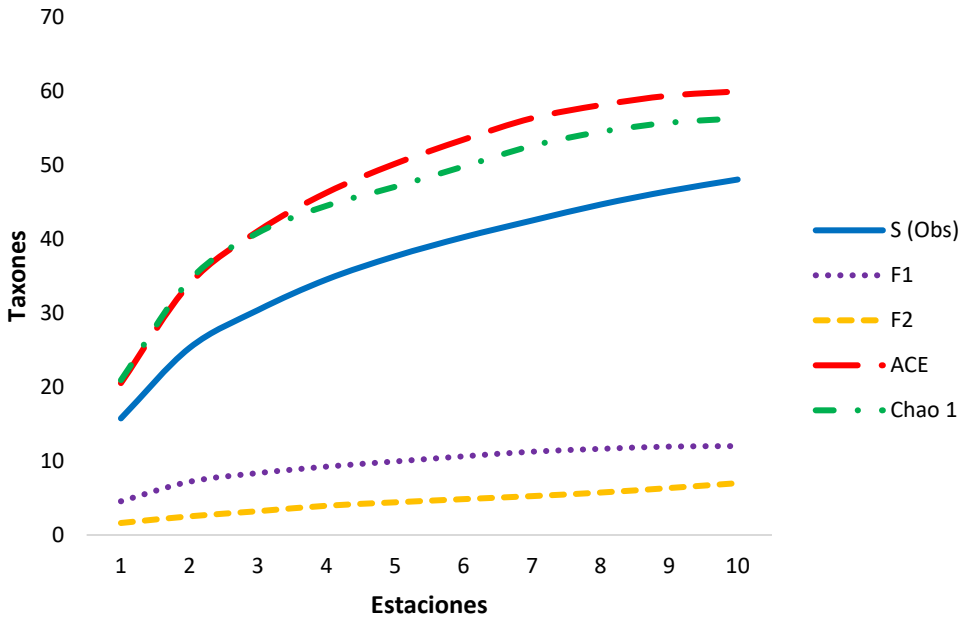
35.3.2. Macroinvertebrados acuáticos

35.3.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 48 géneros observados (Sobs) en las diez estaciones evaluadas (cinco en la subzona durante dos temporadas) para un total de 40 muestras que corresponden al 80.1% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 85.3% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 59 géneros (**Figura 617**).

Se registró una cantidad de géneros considerable, teniendo en cuenta que este rio y sus afluentes en sus cabeceras tienen fuertes alteraciones y se observa un alto nivel de contaminación orgánica, donde solo pueden existir géneros muy resistentes, sin embargo aguas abajo los cuerpos de agua mejoran sus condiciones ambientales y fisicoquímicas que permiten el desarrollo de una fauna acuática más estable y diversa, compuesta tanto por organismos tolerantes como por algunos con algún grado de sensibilidad (Forero et al., 2013). Por otra parte, basado en los valores de los singletons (F1), aun se requiere ampliar las colectas para completar la asíntota, lo que implica que aún existe la posibilidad de hallar más taxones. Cabe aclarar que durante los periodos de monitoreo se presentaron fuertes lluvias que modifican el caudal y limita la colecta de macroinvertebrados acuáticos, no obstante, se logró una alta representatividad para esta subzona (Roldan y Ramirez, 2008).

Figura 617. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrografica del rio Opia.



Fuente: Autores (2022).

35.3.2.2. Composición

Se colectaron 3357 organismos distribuidos en cuatro filos, cinco clases, siete órdenes, 31 familias y 48 géneros (**Tabla 547**).

Tabla 547. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Opia.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	5
Annelida	Clitellata	Hirudinea	Glossiphoniidae	*Helobdella*	1
		Tubificida	Naididae	*Tubifex*	138
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae	*Physa*	3
		Neotaenioglossa	Hydrobiidae	Indeterminado	1
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	2
	Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus*	18
				Heterelmis	55
				Hexanchorus	1
				Huleechius	1
				Macrelmis	72
				Microcylloepus	8
				Neoelmis	1
			Lutrochidae	*Lutrochus*	2

	Psephenidae	*Psephenops*	4
Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	2
	Chironomidae	Chironominae	1135
		Orthocladiinae	68
		Tanypodinae	6
	Empididae	*Chelifera*	1
		Hemerodromia	1
	Psychodidae	*Maruina*	2
	Simuliidae	*Simulium*	4
Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	7
		Baetodes	18
		Camelobaetidius	139
		Zelusia	1
	Leptohyphidae	*Leptohyphes*	113
		Tricorythodes	5
	Leptophlebiidae	*Thraulodes*	142
		Traverella	101
Hemiptera	Corixidae	*Tenagobia*	9
	Gerridae	*Telmatometra*	1
		Trepobates	2
	Naucoridae	*Procryphocricos*	1
	Notonectidae	*Martarega*	1
	Veliidae	*Rhagovelia*	120
Lepidoptera	Crambidae	*Petrophila*	6
Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	13
Odonata	Calopterygidae	*Hetaerina*	2
	Coenagrionidae	*Argia*	5
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	38
Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	87
	Hydropsychidae	*Leptonema*	21
		Smicridea	463
	Hydroptilidae	*Leucotrichia*	2
		Ochrotrichia	1
	Philopotamidae	*Chimarra*	205

Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Díptera con 1219 organismos (40.2%), Trichoptera con 779 organismos (25.7%) y Ephemeroptera con 526 organismos (17.3%). Estas abundancias corresponden a lo reportado para la cuenca (Forero y Reinoso, 2007) y en general se ajusta a la estructura que se presenta en cuencas andinas (Vásquez y Reinoso, 2012). Estos ordenes son los más diversos entre los insectos

acuáticos, lo que incluye que tienen un amplio espectro de adaptaciones que les permiten desarrollarse en una multitud de hábitats sin verse afectados por cambios externos (Dominguez y Fernandez, 2009).

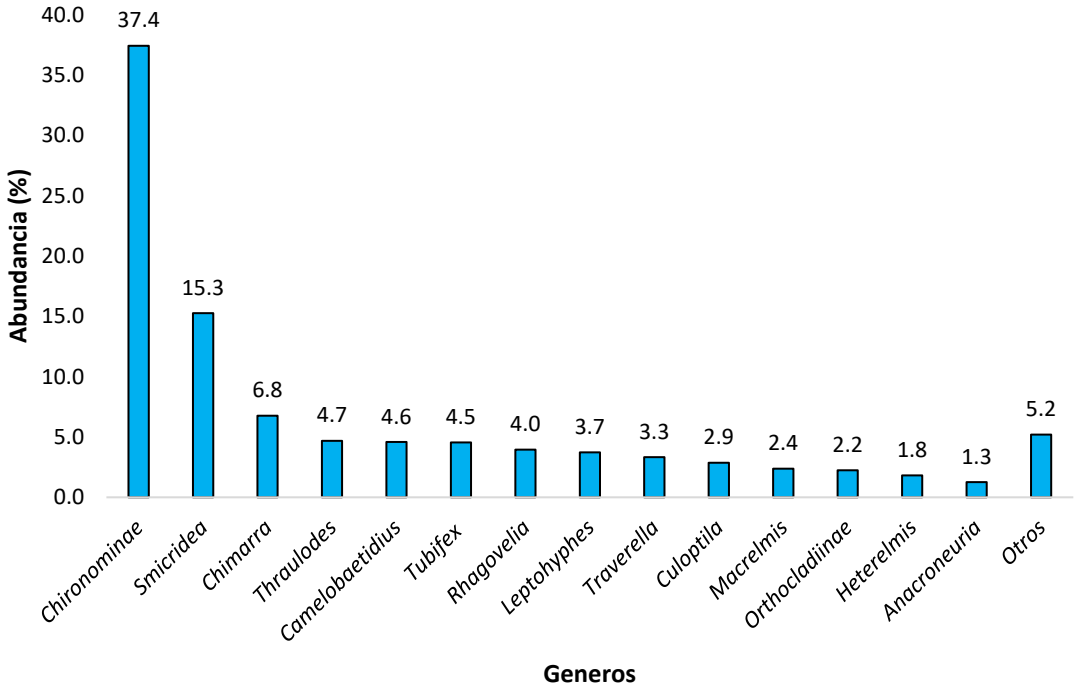
En cuanto a familias, las más abundantes fueron Chironomidae (39.8%), Hydropsychidae (16%) y Leptophlebiidae (8%) mientras que Corydalidae, Corixidae, Crambidae, Coenagrionidae, Dugesiidae, Psephenidae, Simuliidae, Gerridae, Hydroptilidae, Physidae, Calopterygidae, Ceratopogonidae, Empididae, Lutrochidae, Palaemonidae, Psychodidae, Glossiphoniidae, Hydrobiidae, Naucoridae y Notonectidae presentaron la menor abundancia (>1%). A nivel de géneros, los más abundantes fueron Chironominae sp (37.4%), seguido de *Smicridea* (15.3%) y Chimarra (6.8%).

De los 48 generos registrados 34 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Leptonema, Baetodes, Cylloepus, Corydalus, Tenagobia, Microcylloepus, Americabaetis, Petrophila,* Tanypodinae, *Argia, Girardia, Tricorythodes, Psephenops, Simulium, Physa, Alluaudomyia, Hetaerina, Leucotrichia, Lutrochus, Macrobrachium, Maruina, Trepobates, Chelifera, Helobdella, Hemerodromia, Hexanchorus, Huleechius,* Hydrobiidae sp, *Martarega, Neoelmis, Ochrotrichia, Procryphocricos, Telmatometra* y *Zelusia* (**Figura 618**).

El rio Opia y la quebrada Doima tienen sus cabeceras en las inmediaciones del municipio de Ibagué donde inician su recorrido con una alta carga de contaminación orgánica que se refleja en sus aguas negras, fuerte olor a descomposición y presencia de detritos, lo cual impacta fuertemente en la composición y abundancia de la comunidad de macroinvertebrados, ya que ellos no poseen los mecanismos de adaptación a estos eventos tan fuertes, en este caso solo los organismos de la familia Chironomidae y Naididae son capaces de soportar estos eventos de anoxia, ya que poseen pigmentos de hemoglobina que les permiten captar oxígeno y así poder habitar prácticamente cualquier ecosistema sin importar su estado (Forero et al., 2007).

Corriente abajo después de atravesar el corregimiento de Doima, las aguas de las dos corrientes mejoran considerablemente su calidad, esto se refleja en el aumento exponencial de la abundancia de los taxones asociados a este grupo. En estas zonas se presentan condiciones idóneas para el desarrollo de estos organismos como lo serian abundante bosque ripario que aporta sombra y hojarasca, variabilidad en los biotopos y múltiples ofertas alimenticias (Vasquez y Reinoso, 2007).

Figura 618. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Opia.



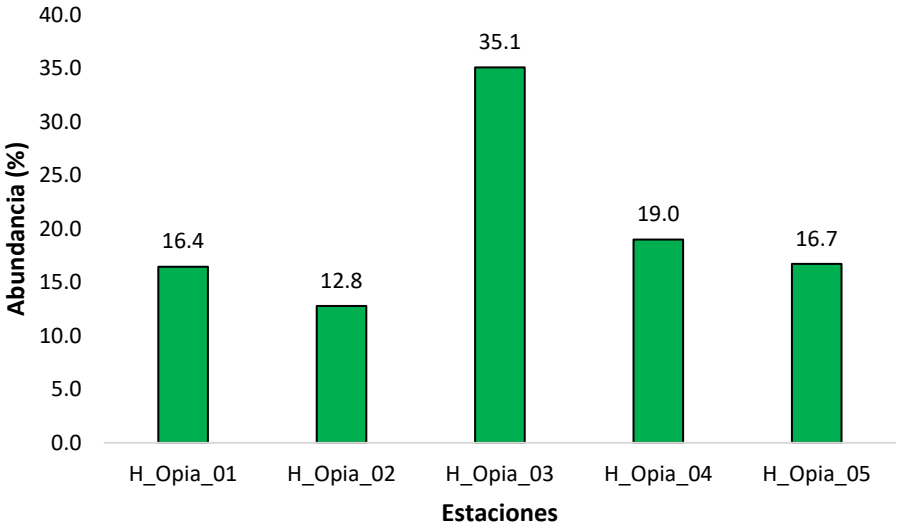
Fuente: Autores (2022).

35.3.2.3. Distribución espacial

Se establecieron cinco estaciones de muestreo de las cuales las dos estaciones de la quebrada Doima (H_Opia_03 y H_Opia_04), presento la mayor abundancia relativa con un 35.1% y un 19% respectivamente. Estas abundancias estas mediadas por el incremento masivo de la presencia de chironomidos, los cuales en benefician de eventos de contaminación orgánica (Pilot, 2014) (**Figura 619**).

Las estaciones del rio Opia (H_Opia_01, H_Opia_02 y H_Opia_05), presentan abundancias muy similares lo cual indica una estabilidad relativa a lo largo de su recorrido, cabe denotar que existen presiones de origen antrópico que limitan el desarrollo del organismo, entre las que se pueden mencionar, ingreso de aguas servidas en los municipios de Ibagué y Piedras, un muro de captación de agua en la zona media y turismo desmedido en la zona baja, sin contar las matrices agrícolas dentro de las cuales está inmersa la cuenca (Forero et al., 2013).

Figura 619. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Esta subzona es relativamente pequeña en comparación de Coello y Totare y presenta un bajo número de tributarios, sin embargo y a pesar de que en sus inicios se encuentra severamente afectada, por la agricultura, urbanización y ganadería, muestra las condiciones favorables (zona media y baja), para el desarrollo de una comunidad constante y bien conformada de macroinvertebrados acuáticos (Forero et al., 2013).

Es importante aclarar que las lluvias fuertes limitaron la colecta, por lo que aún existe la posibilidad de registrar un mayor número de organismos de diferentes taxones y categorías de bioindicación tanto en el rio Opia como en la quebrada Doima aguas abajo, donde se encontró un gran número de taxones por lo que constituye un importante reservorio que aporta biomasa y variabilidad taxonómica al cuerpo de agua principal (Forero et al., 2013).

En cuanto a los géneros registrados Chironominae sp y Orthocladiinae sp (Diptera), se registraron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica, esto es lo que se espera en cuanto a distribución de esta fauna, dado que estos organismos son capaces de colonizar cualquier espacio dentro de los ecosistemas acuáticos (Pillot, 2014). Otros organismos que se distribuyeron ampliamente en la zona fueron *Baetodes,* (Ephemeroptera), *Smicridea* (Trichoptera), *Cylloepus, Heterelmis* (Coleoptera) y Tanypodinae sp (Diptera) (**Tabla 548**). Del material colectado los generos *Alluaudomyia, Chelifera, Helobdella, Hemerodromia, Hexanchorus, Huleechius,* Hydrobiidae sp, *Leucotrichia, Martarega, Maruina, Microcylloepus, Neoelmis, Ochrotrichia, Procryphocricos, Telmatometra, Tenagobia* y *Zelusia* indicaron una distribución restringida a una sola estación.

Varios factores pueden estar influyendo en la distribución de los organismos, particularmente los de menor distribución, ya que sus peculiaridades comportamentales y fisiológicas pueden verse afectadas por los disturbios que se están presentando (Merrit y Cummings, 2008). De este modo y al igual que en las otras subzonas podemos observar patrones de distribución similares, donde la composición y distribución esta mediada por organismos tolerantes que evidencian procesos adversos en los cuerpos de agua, sin embargo la presencia de organismos con potencial de bioindicación indican que las cuencas presentan mecanismos de resiliencia que permiten estabilizar las condiciones ambientales que permite el crecimiento de una mayor variedad de organismos con condiciones específicas de desarrollo (Forero y Reinoso, 2013).

Tabla 548. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Opia.

Genero	H_Opia_01	H_Opia_02	H_Opia_03	H_Opia_04	H_Opia_05
Alluaudomyia	2	*	*	*	*
Americabaetis	*	3	*	3	1
Anacroneuria	*	23	*	11	4
Argia	*	*	*	3	2
Baetodes	6	6	*	4	2
Camelobaetidius	*	20	*	52	67
Chelifera	1	*	*	*	*
Chimarra	*	86	*	83	36
Chironominae	121	27	950	12	25
Corydalus	*	4	*	4	5
Culoptila	*	5	*	32	50
Cylloepus	6	3	*	3	6
Girardia	4	*	*	1	*
Helobdella	*	*	1	*	*
Hemerodromia	*	*	*	*	1
Hetaerina	*	1	*	1	*
Heterelmis	7	9	*	15	24
Hexanchorus	*	*	*	1	*
Huleechius	*	*	*	*	1
Hydrobiidae sp	1	*	*	*	*
Leptohyphes	*	18	*	44	51
Leptonema	17	4	*	*	*
Leucotrichia	*	*	*	*	2
Lutrochus	*	1	*	*	1
Macrelmis	*	14	*	17	41
Macrobrachium	*	1	*	1	*
Martarega	*	1	*	*	*

Maruina	*	*	*	2	*
Microcylloepus	*	*	*	8	*
Neoelmis	*	*	*	*	1
Ochrotrichia	*	1	*	*	*
Orthocladiinae	31	1	22	7	7
Petrophila	*	3	*	*	3
Physa	2	*	*	*	1
Procryphocricos	*	*	*	*	1
Psephenops	*	*	*	2	2
Rhagovelia	*	25	*	51	44
Simulium	2	*	*	2	*
Smicridea	250	66	*	82	65
Tanypodinae	2	1	*	1	2
Telmatometra	*	1	*	*	*
Tenagobia	*	*	*	*	9
Thraulodes	*	41	*	75	26
Traverella	*	20	*	55	26
Trepobates	*	1	*	1	*
Tricorythodes	*	2	*	2	1
Tubifex	47	*	91	*	*
Zelusia	*	*	*	1	*

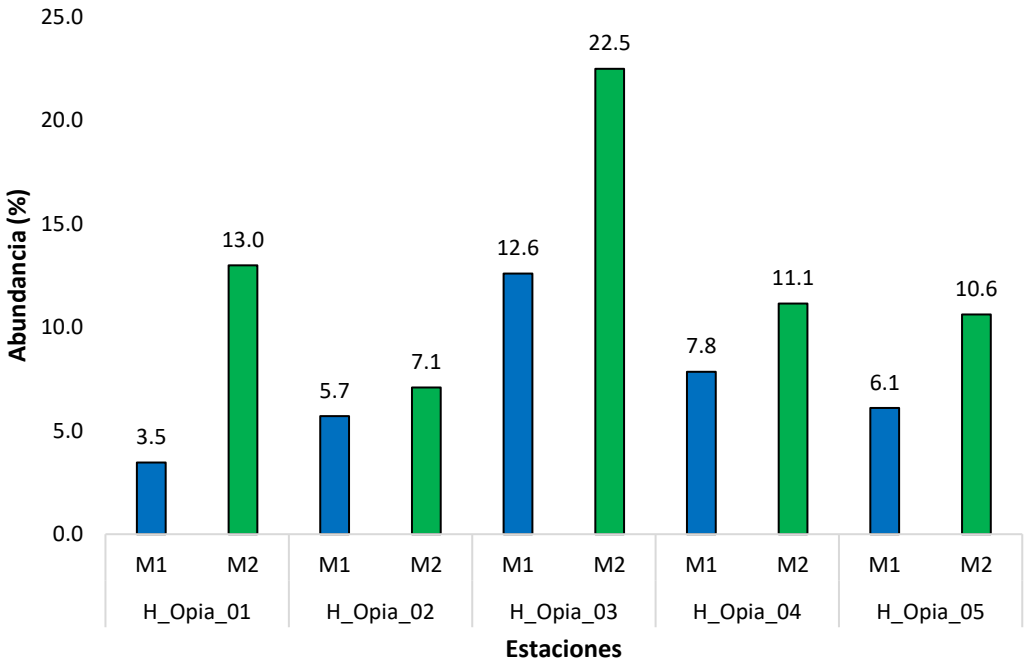
Fuente: Autores (2022).

35.3.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, al momento de la colecta las lluvias alteraron los caudales por lo que en ambos periodos se presentaron condiciones relativamente similares, no obstante, para el segundo periodo el caudal se encontró más estable y menos turbulento que en la primera campaña lo que se refleja en un crecimiento en las abundancias (Neiff, 1999).

La abundancia relativa muestra un crecimiento en todas las estaciones para el periodo de muestreo dos, en particular la quebrada Doima (H_Opia_03) tuvo el mayor valor con 682 organismos (22.5%), seguido del rio Opia (H_Opia_01) con un total de 394 organismos (**Figura 620**). Estas abundancias elevadas en las dos estaciones donde se evidencian mayores disturbios se deben a un incremento en la recolección de chironomidos, los cuales son sumamente abundantes y ante una reducción de la fuerza del caudal, pueden incrementar considerablemente el tamaño de sus poblaciones (Forero y Reinoso, 2013).

Figura 620. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

En esta subzona hidrográfica es posible observar un cambio en las abundancias a nivel temporal, dado que las fuertes lluvias en el primer muestreo aumentan el flujo del agua que por remoción mecánica de los sustratos obligan a los organismos a derivar, lo que reduce la probabilidad de colectarlos, en contraste en el segundo periodo las bajas lluvias, no modificaron el caudal significativamente, lo que permite que la comunidad se estabilice y colonice nuevos ambientes lo que facilita su detección y colecta (Forero y Reinoso, 2013).

La distribución espacio-temporal de los organismos fluctuó bastante, ninguno de ellos fue reportado en todas las estaciones durante los dos muestreos. Los géneros con mayor distribución fueron Chironominae sp, *Smicridea*, *Baetodes*, *Heterelmis*, *Thraulodes* y *Traverella* (**Tabla 549**). La distribución tan dispar de estos organismos pone en evidencia que es necesario evaluar un mayor número de periodos para comprender su dinámica.

Los generos *Huleechius*, Hydrobiidae sp, *Maruina, Neoelmis, Telmatometra* y *Zelusia*, se registraron para el muestreo uno, mientras que *Chelifera, Helobdella, Hemerodromia, Hexanchorus, Leucotrichia, Lutrochus, Martarega, Microcylloepus, Ochrotrichia, Petrophila, Physa, Procryphocricos, Simulium, Tenagobia* y *Trepobates* se registraron únicamente en el muestreo dos. los cambios en la composición son derivados del pulso

de inundación que mitiga y reubica las poblaciones y de los tensores ambientales que modelan la configuración de la comunidad, aun así, la cuenca presenta una cantidad importante de géneros que informan sobre la salud del rio (Sevilla y Villar, 2008).

Tabla 549. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Opia.

Genero	H_Opia_01		H_Opia_02		H_Opia_03		H_Opia_04		H_Opia_05	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Alluaudomyia	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*
Americabaetis	*	*	*	3	*	*	*	3	1	*
Anacroneuria	*	*	9	14	*	*	6	5	4	*
Argia	*	*	*	*	*	*	1	2	*	2
Baetodes	3	3	2	4	*	*	1	3	*	2
Camelobaetidius	*	*	14	6	*	*	33	19	15	52
Chelifera	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*
Chimarra	*	*	31	55	*	*	17	66	24	12
Chironominae	17	104	27	*	360	590	6	6	*	25
Corydalus	*	*	1	3	*	*	2	2	2	3
Culoptila	*	*	1	4	*	*	6	26	*	50
Cylloepus	4	2	1	2	*	*	3	*	6	*
Girardia	1	3	*	*	*	*	*	1	*	*
Helobdella	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*
Hemerodromia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Hetaerina	*	*	1	*	*	*	*	1	*	*
Heterelmis	1	6	4	5	*	*	6	9	6	18
Hexanchorus	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*
Huleechius	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Hydrobiidae sp	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Leptohyphes	*	*	9	9	*	*	13	31	10	41
Leptonema	9	8	3	1	*	*	*	*	*	*
Leucotrichia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2
Lutrochus	*	*	*	1	*	*	*	*	*	1
Macrelmis	*	*	8	6	*	*	7	10	15	26
Macrobrachium	*	*	*	1	*	*	1	*	*	*
Martarega	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*
Maruina	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*
Microcylloepus	*	*	*	*	*	*	*	8	*	*
Neoelmis	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Ochrotrichia	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*
Orthocladiinae	17	14	*	1	22	*	6	1	*	7
Petrophila	*	*	*	3	*	*	*	*	*	3

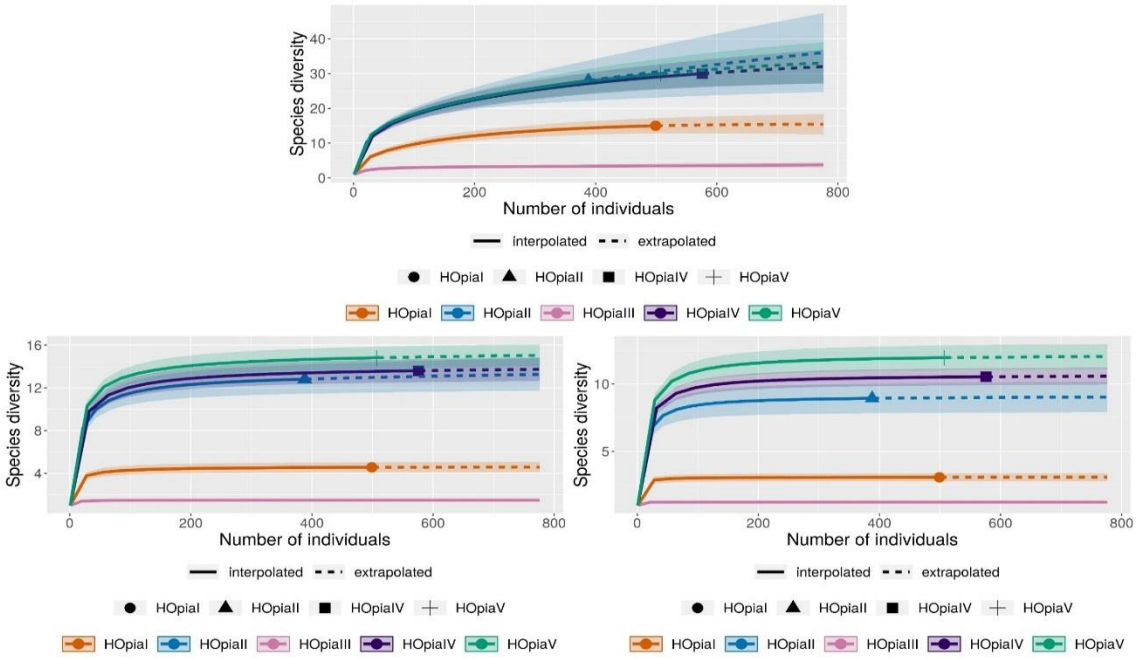
Physa	*	2	*	*	*	*	*	*	*	1
Procryphocricos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Psephenops	*	*	*	*	*	*	2	*	1	1
Rhagovelia	*	*	7	18	*	*	1	50	29	15
Simulium	*	2	*	*	*	*	*	2	*	*
Smicridea	5	245	26	40	*	*	18	64	28	37
Tanypodinae	1	1	*	1	*	*	1	*	*	2
Telmatometra	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*
Tenagobia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9
Thraulodes	*	*	16	25	*	*	69	6	25	1
Traverella	*	*	11	9	*	*	34	21	16	10
Trepobates	*	*	*	1	*	*	*	1	*	*
Tricorythodes	*	*	1	1	*	*	2	*	1	*
Tubifex	45	2	*	*	*	91	*	*	*	*
Zelusia	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*

Fuente: Autores (2022).

35.3.2.5. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Opia, se puede establecer que los valores de riqueza más altos (0D) se dieron en las estaciones rio Opia (H_Opia_05) y la quebrada Doima (H_Opia_04) con 30 géneros cada uno (**Figura 621**). La grafica nos indica que para este nivel de diversidad para cuatro de las cinco estaciones una es posible hallar un mayor número de taxones, por lo que se requiere mayor número de muestreos, en cambio la estación quebrada Doima (H_Opia_03), alcanza la asíntota y se asume que para esa localidad ya no es posible hallar más organismos. Los intervalos de confianza indican que las estaciones H_Opia_01 y H_Opia_03, son diferentes de las demás en cuanto a riqueza.

Figura 621. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican un valor más alto en rio Opia (H_Opia_05) con 14,8 géneros, seguido de quebrada Doima (H_Opia_04) con 13.6 y rio Opia (H_Opia_02) con 12.8, para estas estaciones no se observan cambios significativos a este nivel de diversidad, los intervalos de confianza se encuentran solapados y la extrapolación indica que es posible hallar un número mayor de géneros comunes.

Por último, de acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento similar al obtenido del q1, los valores de taxones dominantes se encuentran solapados, en contraste rio Opia (H_Opia_01) y quebrada Doima (H_Opia_03), muestran diferencia en este nivel de diversidad, esto se da porque en ambas estaciones se registró un numero bajo de taxones, con una alta abundancia, por lo cual para estas estaciones la comunidad es uniforme (Forero y Reinoso, 2013).

La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Opia tiende a ser heterogénea a nivel espacial, sin embargo, estructuralmente se compone principalmente de organismos cosmopolitas, tolerantes y ubicuos (Dominguez y Fernandez, 2009).

Este es el patrón común de diversidad mostrado en estas cuencas, no obstante, las condiciones ambientales de la subzona permiten albergar una fauna consistente en las zonas media y baja, donde se permite el desarrollo de organismos sensibles y especialistas.

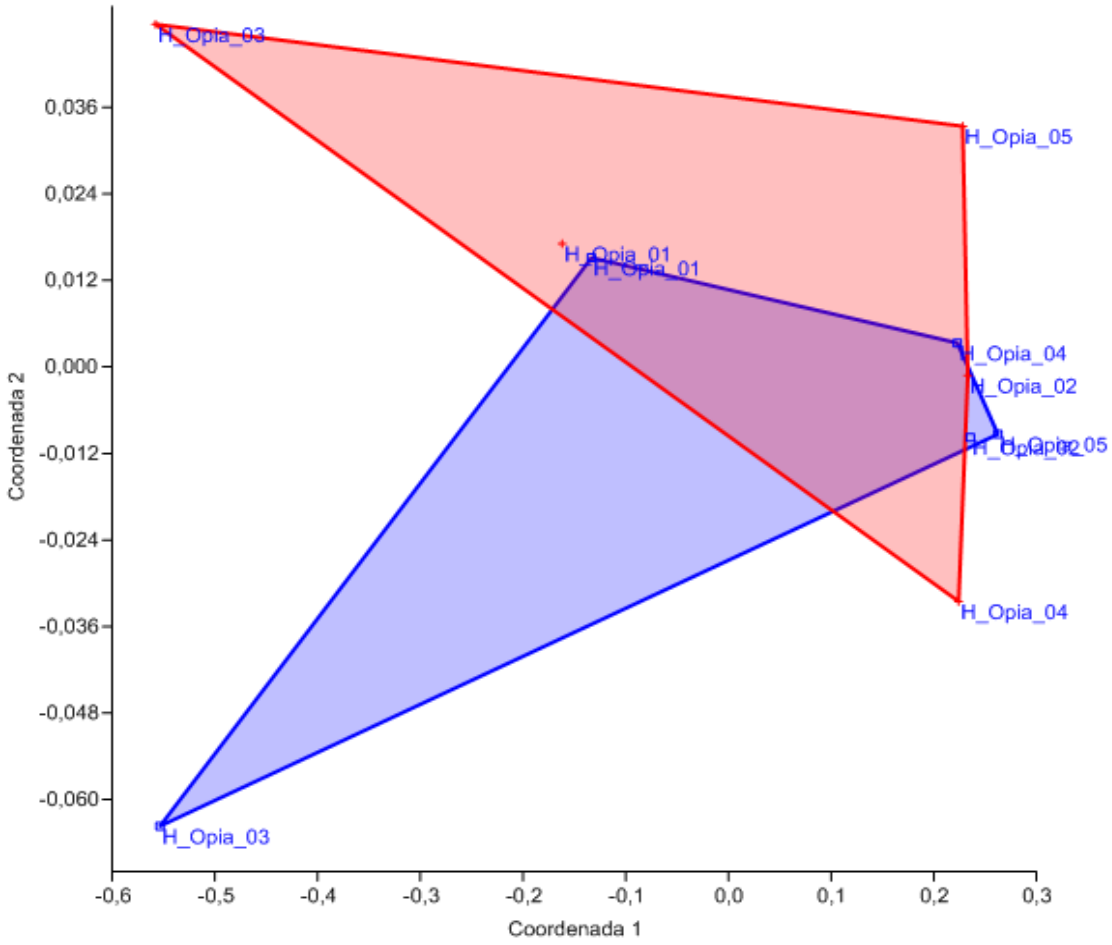
35.3.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, no muestra agrupamientos definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,1) (**Figura 622**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,6).

El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones de un 73%, en cada uno de los polígonos se observan amplias distancias para algunas estaciones lo que indica que en estas se presenta una composición muy distinta a las demás particularmente para el muestreo uno (azul), la Estacion disímil es H_Opia_03, debido a que para este periodo solo se colectaron chironomidos allí. Para el muestreo dos (rojo), H_Opia_03, H_Opia_04 y H_Opia_05, se alejan de las demás estaciones ya para este periodo se dio un incremento en el número de taxones asociados para cada estación, estos cambios podrían indicar que cada localidad de estudio tiene particularidades ecológicas y presiones puntuales que permiten el desarrollo de una fauna diferente.

Las distancias y similitudes están dadas por la presencia y ausencia de los taxones colectados, de este se encontraron como organismos exclusivos del muestreo uno a *Huleechius*, Hydrobiidae sp, *Maruina, Neoelmis, Telmatometra* y *Zelusia*, y para el muestreo dos a *Chelifera, Helobdella, Hemerodromia, Hexanchorus, Leucotrichia, Lutrochus, Martarega, Microcylloepus, Ochrotrichia, Petrophila, Physa, Procryphocricos, Simulium, Tenagobia* y *Trepobates*. Estos cambios en la composcion están modulados por las fluctuaciones de caudal durante el periodo de lluvias y la respuesta especifica temporal de cada localidad a las perturbaciones externas.

Figura 622. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



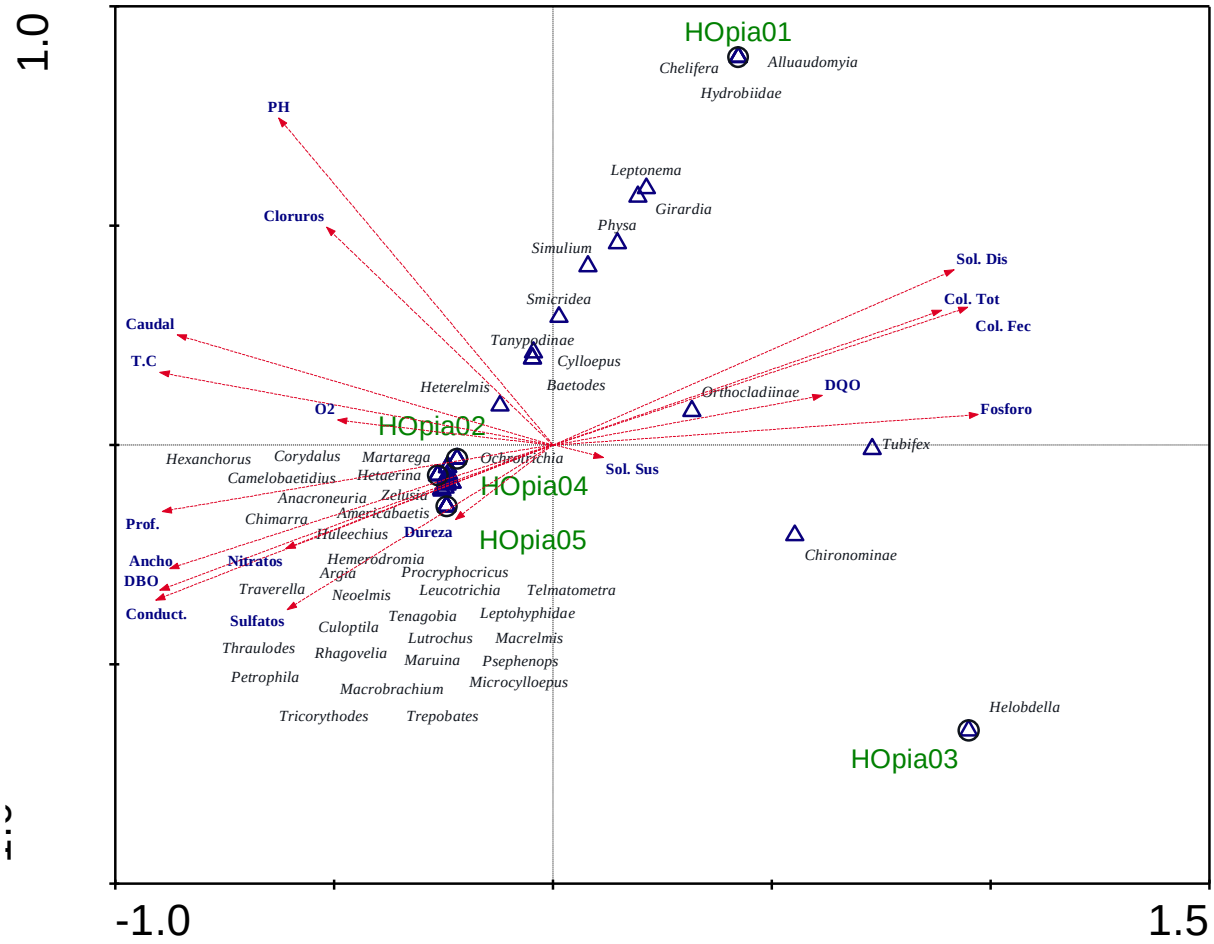
Fuente: Autores (2022).

35.3.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, las variables que presentan efectos condicionantes son el fosforo, pH, el caudal y la temperatura, las cuales modulan la distribución de los organismos (**Figura 623**).

El diagrama de ordenación no muestra una clara distinción en las relaciones entre estaciones, variables y géneros, para el caso de las estaciones H_Opia_02, H_Opia_04 y H_Opia_05 presentan relación con la mayoría de las variables y los géneros colectados. Por otra parte, H_Opia_01 y H_Opia_03 no se relacionan de forma positiva a ninguna variable fisicoquímica.

Figura 623. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Opia.



Fuente: Autores (2022).

35.3.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare, exhiben un comportamiento heterogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas (**Tabla 550**).

En ambos muestreos se observa una mala calidad de agua en las estaciones H_Opia_01 y H_Opia_03, que corresponden a las partes de los cuerpos de agua ubicados en las cabeceras en el municipio de Ibagué, donde se evidencia el mal estado de estas corrientes, ya que reciben aportes significativos de aguas de origen domésticos cargadas con gran cantidad de residuos que inciden directamente en el desarrollo de los organismos, lo que conlleva a la homogenización y uniformidad de la comunidad de macroinvertebrados en estos puntos de monitoreo. En la zona media y baja se observa una mejoría en el índice de calidad de agua, esto a nivel espacial y a nivel temporal se observa un mayor cambio en la calidad para estas zonas, ya que según el valor del índice estas partes de los cuerpos de agua se encuentran en un estado ideal para el

mantenimiento de una comunidad estable y diversa (Roldan y Ramirez, 2008).

Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada con las presiones antrópicas que son bastante evidentes, se establece que la calidad de agua en los ecosistemas que componen la subzona es aceptables, que permiten el desarrollo de organismos bioindicadores como Perlidae y Psephenidae (Roldan, 2003).

Tabla 550. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Opia.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Opia	41	Dudosa	III	48	Dudosa	III
Rio Opia	93	Aceptable	II	121	Buena	I
Q. Doima	2	Muy Critica	V	6	Muy Critica	V
Q. Doima	110	Buena	I	115	Buena	I
Rio Opia	79	Aceptable	II	124	Buena	I

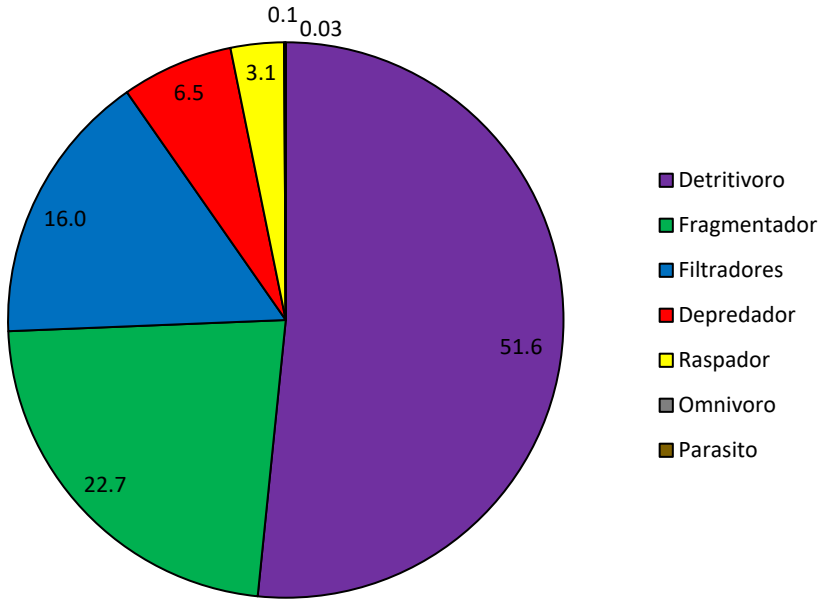
Fuente: Autores (2022).

35.3.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron siete gremios tróficos de los cuales el Detritívoro fue el más abundante (51.6%), seguido de fragmentador (22.7%), filtrador (16%), depredador (6.5%), raspador (3.1%) y por último parasito y omnívoro (>0.1%) (**Figura 624**). La abundancia de estos gremios se relaciona con la cantidad de materiales que están ingresando a la corriente, el aumento en el gremio de los detritívoros se relaciona con la presencia de estos organismos en las zonas de cabecera donde son los únicos representantes, el ingreso de detritos orgánicos provenientes de actividades domésticas y agrícolas proveen un abundante recurso que les permite prosperar (Sevilla y Villar, 2008).

Los organismos fragmentadores tienen un flujo constante de alimento gracias al bosque ripario que aporta hojarasca continua al cuerpo de agua y el aumento en el número de filtradores se relaciona con el aumento de detritos, que, al volverse más finos, componen el principal alimento de este tipo de animales. Por otra parte, la poca abundancia de organismos depredadores puede estar relacionada con el crecimiento del caudal, estos animales deben buscar activamente su presa lo que supone mayor movilidad y por ende mayor probabilidad de ser arrastrados por la corriente, caso contrario que ocurre con los otros grupos que suelen establecerse fijos en un sustrato y limitan su movilidad (Hanson et al., 2010).

Figura 624. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Totare.



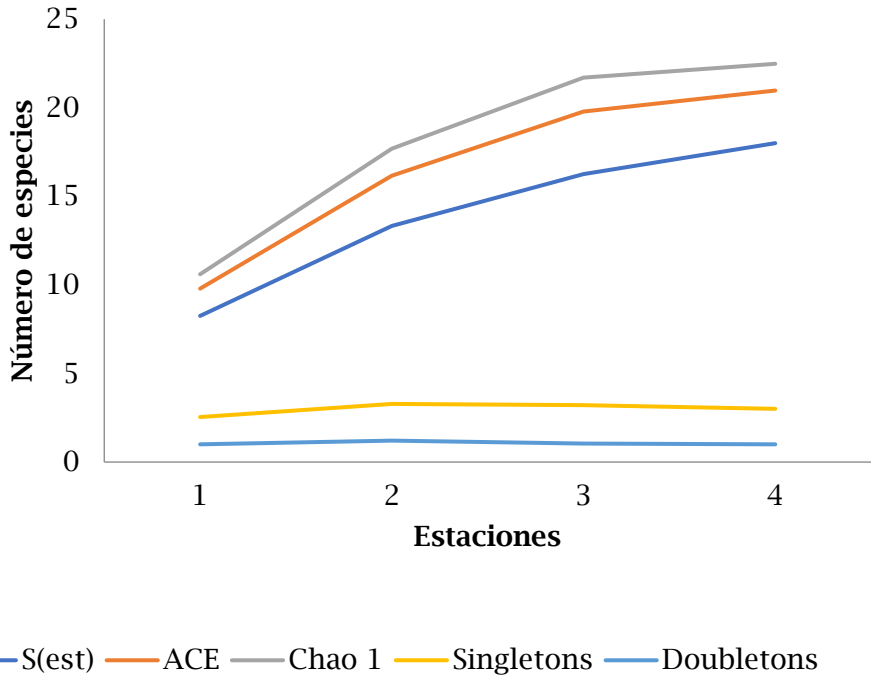
Fuente: Autores (2022).

35.3.3. Ictiofauna

35.3.3.1. Representatividad

De las cinco estaciones establecidas para la subzona hidrográfica del rio Opia, en el río Opia (H-OPIA-01) no se colectaron peces. La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Opia. Donde el porcentaje de especies capturadas (S) fue relativamente alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 18) corresponde al 90 % y 81 % de las especies esperadas, es decir, 20 y 22 especies, respectivamente. Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de diez especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Roeboides* dayi, *Prochilodus magdalenae* y *Rhamdia guatemalensis*) o que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Gephyrocharax melanocheir*). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue relativamente alto (**Figura 625**).

Figura 625. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Opia.



Fuente: Autores (2021).

35.3.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Opia se colectaron 22 individuos, pertenecientes a 18 especies, distribuidas en tres órdenes y siete familias. El orden Characiformes (AR= 37 %), con nueve especies registró la mayor riqueza, seguido de Siluriformes (AR= 13 %) con seis y Blenniiformes (AR= 49 %) con seis (**Tabla 551**).

Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 37 %) registró la mayor riqueza con ocho, seguida de Loricariidae (AR= 10 %) con cuatro, Hpetapteridae (AR= 2.7 %) con dos y Cichlidae (AR= 5 %), Poeciliidae (AR= 38 %), Rivulidae (AR= 5.9 %) y Prochilodontidae (AR= 0.5 %) con una. Con respecto a la abundancia de las especies, *Poecilia reticulata* fue la más abundante con 85 individuos (AR= 38 %), seguida de *Creagrutus guanes* con (AR= 13 %) y *Microgenys minuta* (AR= 7.7 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 5.5 %. Es importante resaltar la dominancia de *Poecilia reticulata*, especie introducida (**Figura 626**).

Tabla 551. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Opia

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Geophagus steindachneri*	11
	Poeciliidae	*Poecilia reticulata*	85

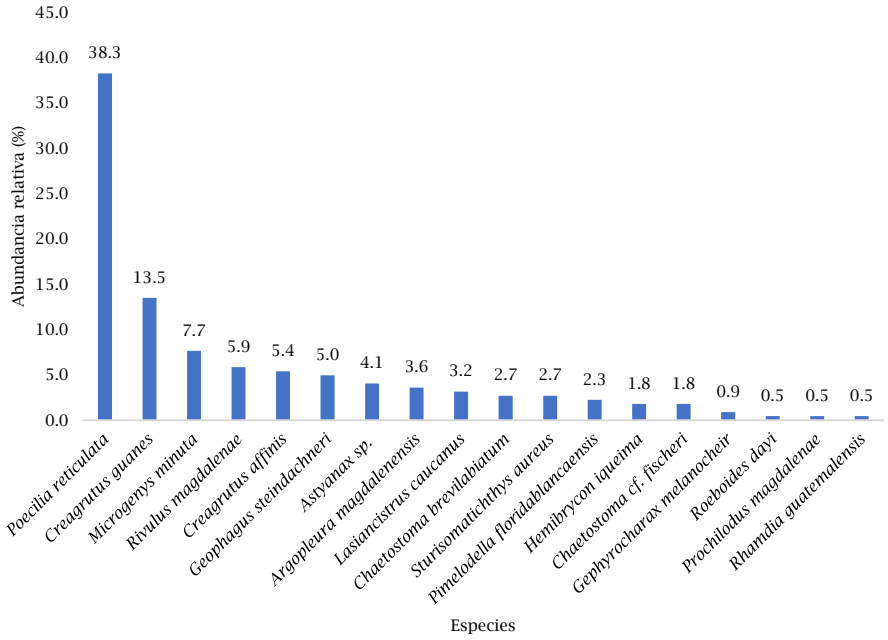
	Rivulidae	*Rivulus magdalenae*	13
Characiformes	Characidae	*Argopleura magdalenensis*	8
		Astyanax sp.	9
		Creagrutus affinis	12
		Creagrutus guanes	30
		Gephyrocharax melanocheir	2
		Hemibrycon iqueima	4
		Microgenys minuta	17
		Roeboides dayi	1
	Prochilodontidae	*Prochilodus magdalenae*	1
Siluriformes	Heptapteridae	*Pimelodella floridablancaensis*	5
		Rhamdia guatemalensis	1
	Loricariidae	*Chaetostoma brevilabiatum*	6
		Chaetostoma cf. *fischeri*	4
		Lasiancistrus caucanus	7
		Sturisomatichthys aureus	6

Fuente: Autores (2022).

35.3.3.3. Distribución espacial

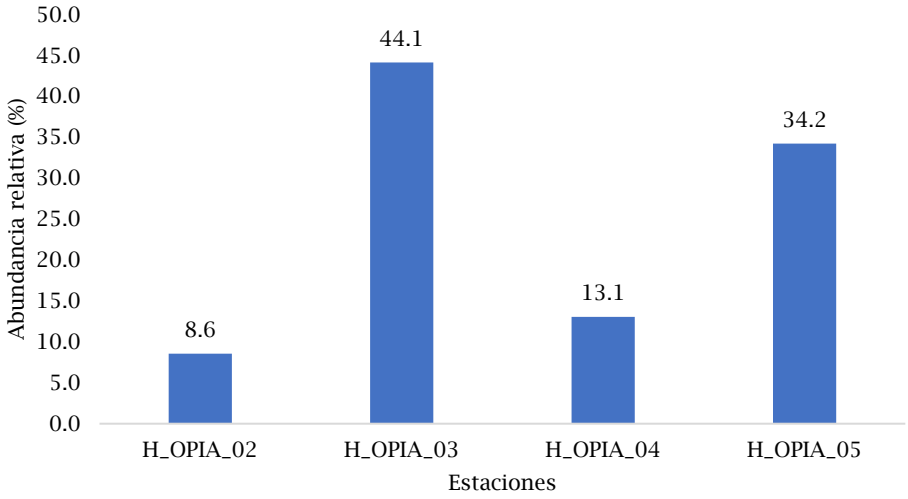
Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-OPIA-03 (Quebrada Doima-944) registró la mayor abundancia con AR= 44 %, seguido de H-OPIA-05 (Río Opia-281) con AR= 34 %, H-OPIA-04 (Quebrada Doima-540) con AR= 13 % y H-OPIA-02 (Río Opia-561) con AR= 10 % (**Figura 627, Tabla 552**). Las estaciones se distribuyen entre 281a 9044 m s.n.m. Es relevante mencionar que a pesar de las diferencias limnológicas, es decir ordenes limnológicos distintos, la estación con mayor abundancia es un tributario del rio Opia.

Figura 626. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Figura 627. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 552. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Opia.

ESPECIE	H_OPIA_02	H_OPIA_03	H_OPIA_04	H_OPIA_05
Geophagus steindachneri	*	*	1	10
Poecilia reticulata	*	85	*	*
Rivulus magdalenae	*	13	*	*
Argopleura magdalenensis	2	*	6	*
Astyanax sp.	1	*		8
Creagrutus affinis	*	*	4	8
Creagrutus guanes	4	*	6	20
Gephyrocharax melanocheir	*	*	*	2
Hemibrycon iqueima	*	*	1	3
Microgenys minuta	3	*	1	13
Roeboides dayi	1	*	*	*
Prochilodus magdalenae	*	*	*	1
Pimelodella floridablancaensis	1	*	*	4
Rhamdia guatemalensis	*	*	1	*
Chaetostoma brevilabiatum	2	*	3	1
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	4
Lasiancistrus caucanus	4	*	3	*
Sturisomatichthys aureus	1	*	3	2

Fuente: Autores (2022).

35.3.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de la abundancia de la ictiofauna entre los dos muestreos evaluados, es posible observar diez especies (*Sturisomatichthys aureus*, *Rivulus magdalenae*, *Poecilia reticulata*, *Microgenys minuta*, *Pimelodella floridablancaensis*, *Hemibrycon iqueima*, *Lasiancistrus caucanus*, *Chaetostoma brevilabiatum* y *Chaetostoma* cf. *fischeri*) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos (**Tabla *553***).

Esto indica, por ejemplo, que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten el mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *Poecilia reticulata* que se encuentra preferencialmente en hábitat con baja velocidad del agua, como aguas estancadas.

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos, como es el caso de algunos characidos como *Argopleura magdalenensis* y *Roeboides dayi* (**Figura 628**).

Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la

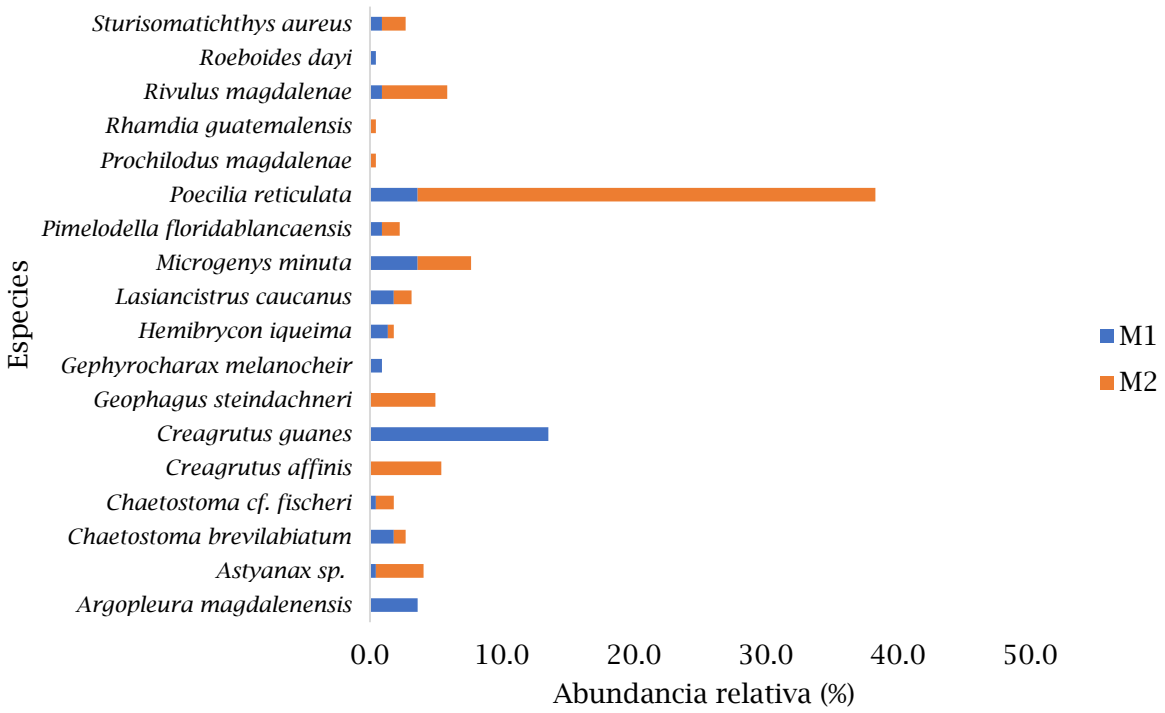
lluvia, temperatura, pendiente, heterogeneidad de sustratos, impactos antrópicos son algunas variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021).

Tabla 553. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Opia.

	M1			M2			
ESPECIE	HOPIA2	HOPIA03	HOPIA04	HOPIA05	HOPIA03	HOPIA04	HOPIA05
Geophagus steindachneri	*	*	*	*	*	1	10
Poecilia reticulata	*	8	*	*	77	*	*
Rivulus magdalenae	*	2	*	*	11	*	*
Argopleura magdalenensis	2	*	6	*	*	*	*
Astyanax sp.	1	*	*	*	*	*	8
Creagrutus affinis	*	*	*	*	*	4	8
Creagrutus guanes	4	*	6	20	*	*	*
Gephyrocharax melanocheir	*	*	*	2	*	*	*
Hemibrycon iqueima	*	*	*	3	*	1	*
Microgenys minuta	3	*	*	5	*	1	8
Roeboides dayi	1	*	*	*	*	*	*
Prochilodus magdalenae	*	*	*	*	*	*	1
Pimelodella floridablancaensis	1	*	*	1	*	*	3
Rhamdia guatemalensis	*	*	*	*	*	1	*
Chaetostoma brevilabiatum	2	*	2	*	*	1	1
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	1	*	*	3
Lasiancistrus caucanus	4	*	*	*	*	3	*
Sturisomatichthys aureus	1	*	1	*	*	2	2

* ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

Figura 628. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

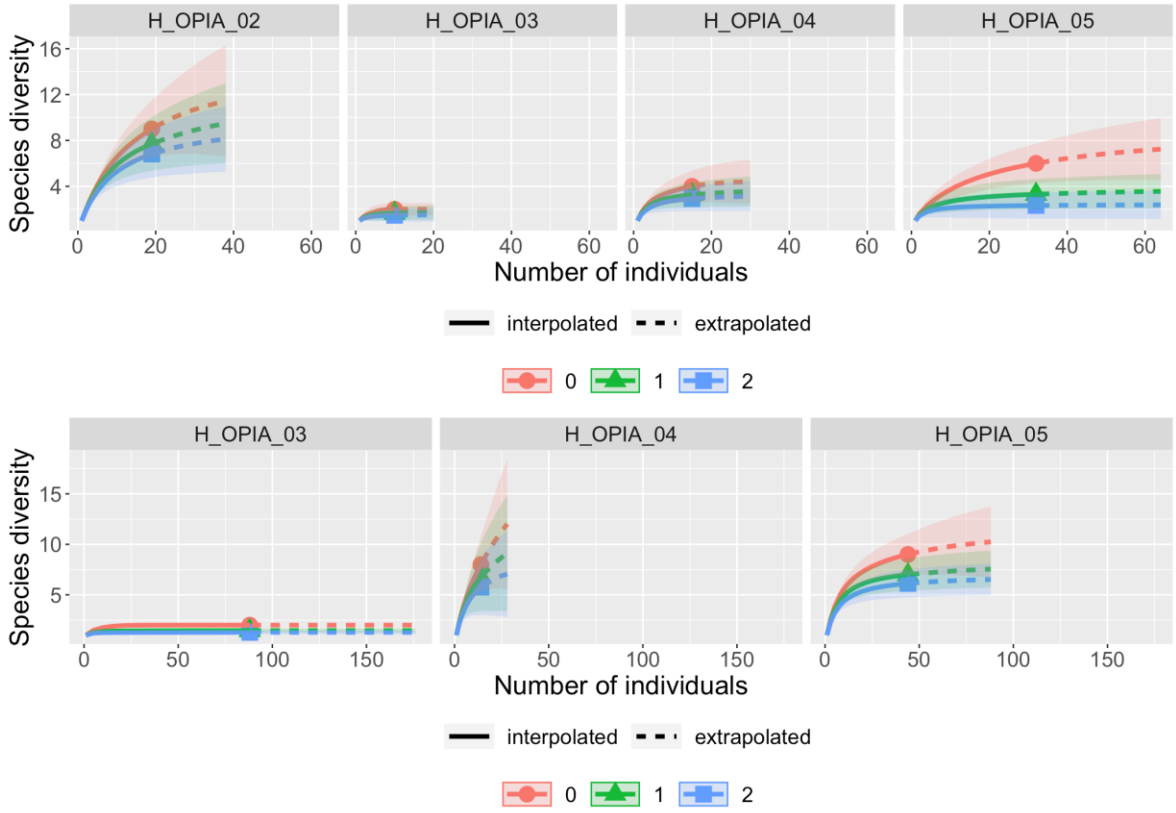
35.3.3.5. Diversidad

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-OPIA-02 Y H-OPIA-05 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 9 y 10 especies. Las restantes estaciones registraron valores inferiores a cuatro (**Figura 629**). Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-OPIA-02 Y H-OPIA-05 son claramente más diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Opia, a pesar de que hubo una disminución en H-OPIA-03 registró la mayor abundancia. En estas dos estaciones las especies comunes tienen mayor equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones, particularmente en la estación H-OPIA-02.

Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-OPIA-02 durante el primer monitoreo tiene una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 7,70, seguida de H-OPIA-05 con 3,30 y H-OPIA-04 con 3,26 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Por su parte, la estación H-OPIA-03 tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad de 1,64 especies efectivas. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-OPIA-02 es 2,3 veces más diversa en especies de peces de H-OPIA-05 y H-OPIA-04. Asimismo, es 4,7 veces más

diversa en especies de peces que H-OPIA-03. Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

Figura 629. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.



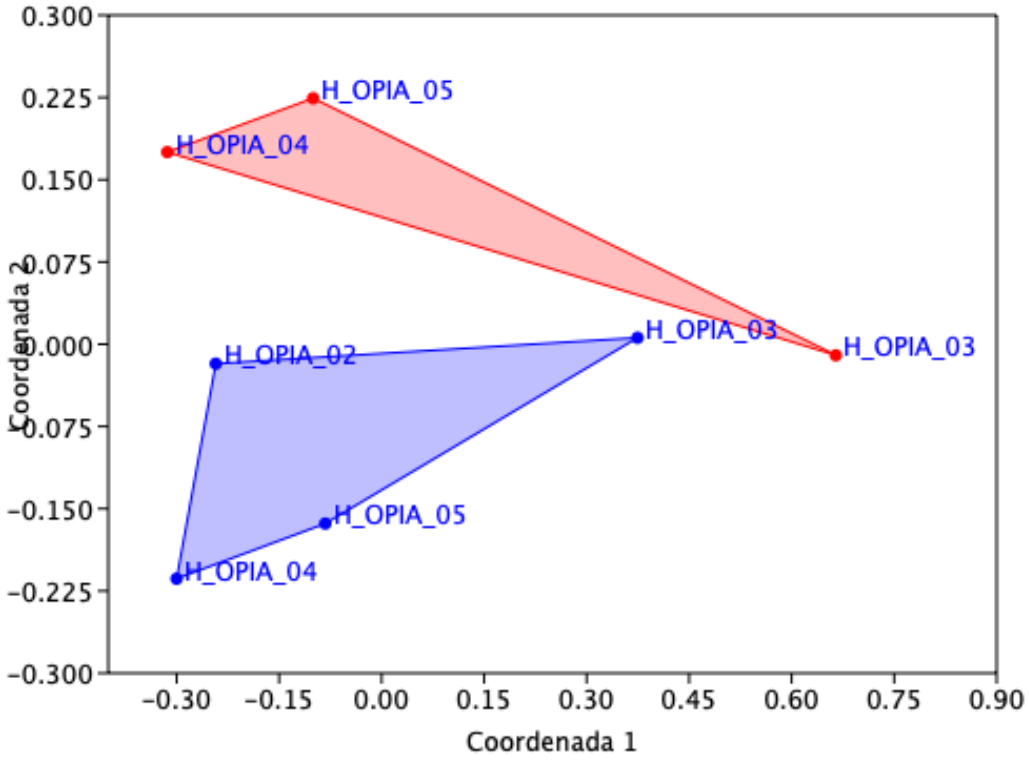
Fuente: Autores (2022).

35.3.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.29), permitieron observar que existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM ($p<0.05$). Según el diagrama de ordenación, se observa que no se comparten algunas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, como es el caso de *Argopleura magdalenensis, Hemibrycon iqueima*, *Roeboides dayi* y *Gephyrocharax melanocheir* registradas exclusivamente durante el segundo monitoreo. Asimismo,

Rhamdia guatemalensis, *Rivulus magdalenae*, *Poecilia reticulata*, *Astyanax* sp., *Creagrutus affinis* y *Creagrutus magdalenae* durante el primer monitoreo. Por tanto, existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 630**).

Figura 630. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.

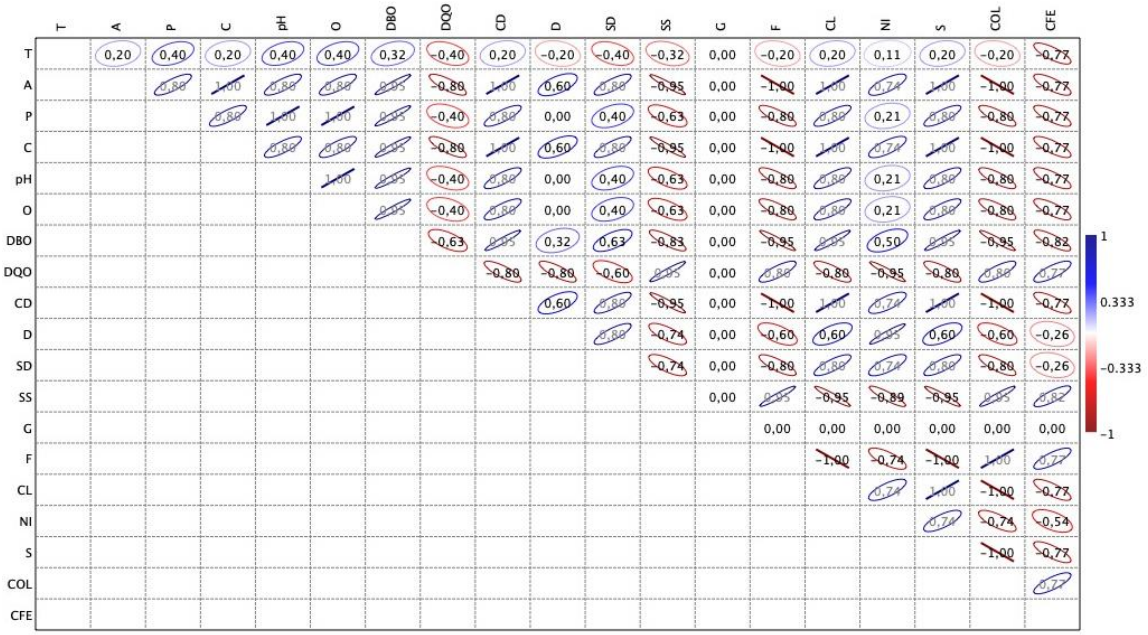


Fuente: Autores (2022).

35.3.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

De acuerdo con el análisis de correlación de Sperman (ρ), ninguna variable química del agua cumplió con los criterios de exclusión, es decir $\rho > 0.75$ y p-valor < 0.05 (**Figura 631**). Por tanto, no se registró alta multicolinealidad entre las variables analizadas que potencialmente podrían generar ruido y afectar los resultados.

Figura 631. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Opia.



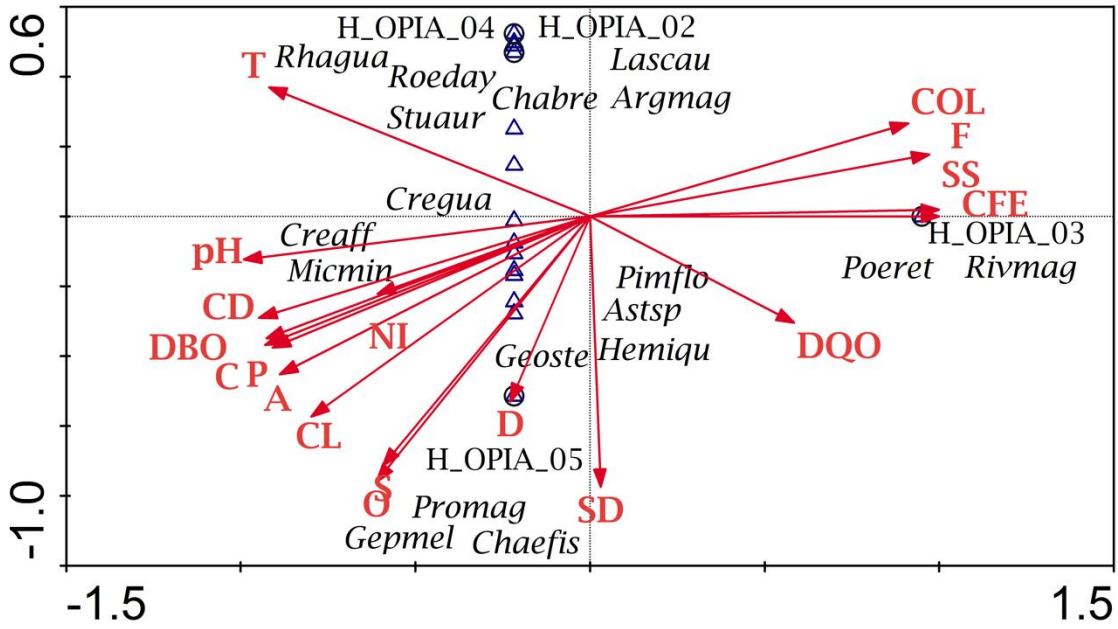
Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxigeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 90 % de la variación total de los datos. En el eje x, una variable química del agua, Coliformes fecales (CFE) (p-valor<0.05) influyó de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. Para el eje Y, ninguna variable influyó significativamente. CFE se asoció positivamente a H-OPIA-03 y poecilidos como *Poecilia reticulata* y *Rivulus magdalenae* (**Figura 632**).

Lo anterior indica contaminación acuática (contaminación fecal) debido a drenaje de aguas residuales. Esta estación pertenece a la quebrada Doima que atraviesa en municipio de Ibagué. Durante su recorrido aguas residuales son liberadas al cuerpo de agua, especialmente en el barrio Picaleña.

La presencia de un ensamblaje de peces pobre en especies y caracterizado por especies tolerantes e introducidas como *Poecilia reticulata* indica un fuerte presión y disturbio en el área de estudio. Según ISSG (Invasive Species Specialist Group) *Poecilia reticulata* es una especie ornamental, oportunista y considerada peligrosa debido que se ha asociado a disminución de especies nativas. Es conocida por ser portadora de parásitos trematodos (Nico & Martin, 2001), se alimenta de huevos de especies nativas.

Figura 632. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Opia.



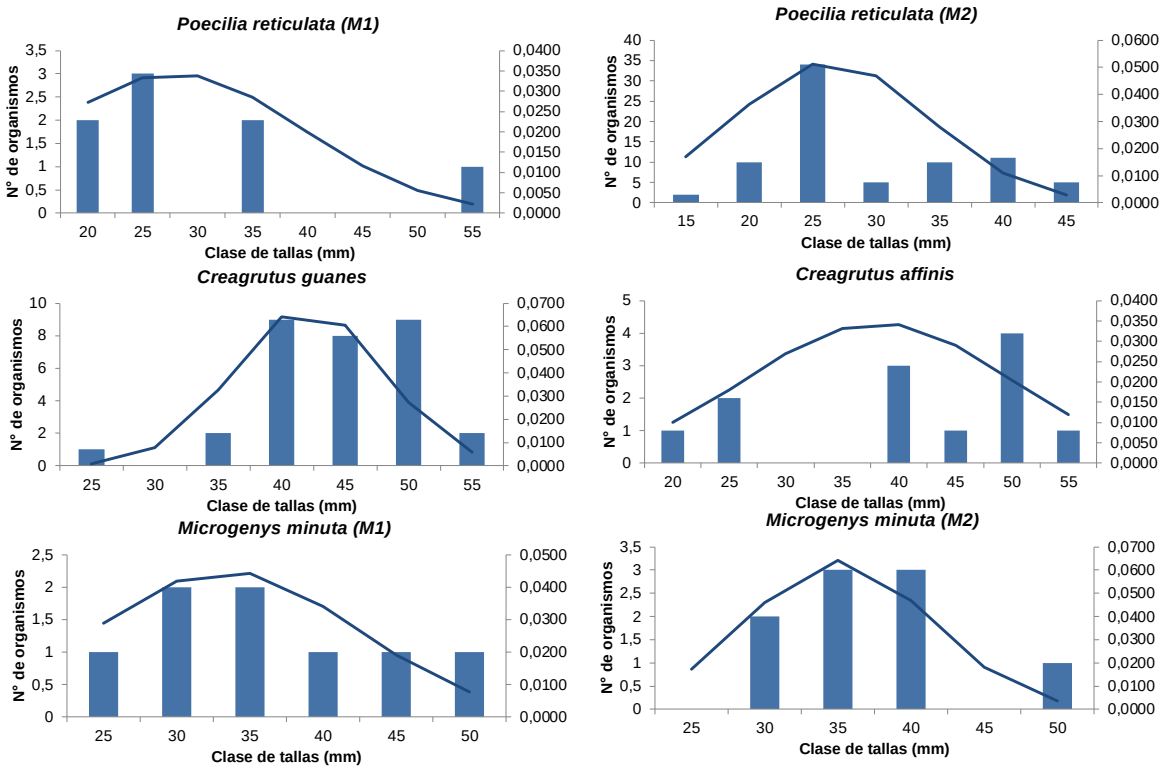
Fuente: Autores (2022).

Todas las estacione evaluadas se registraron en zonas baja montaña, es decir ubicadas entre 200 y 500 m s.n.m. Asimismo, se caracterizaron por registrar presencia de especies de Loricariidae (p.e., *L. caucanus*, *C. brevilaviatum*), Characidae (p.e, *Astyanax* sp., *C. affinis*), Poeciliidae (p.e., *P. reticulata*), Ciclhidae (p.e., *G. steindachneri* y *A. latifrons*). Estas zonas proporcionan una mayor diversidad de hábitats, nichos, fuentes de alimentación y son cuerpos de agua mas cálidos, profundos y anchos y con menor velocidad y pendiente (Poveda-Cuellar et al., 2021). Lo cual favorece la diversidad de nichos y explica la presencia de estas especies.

35.3.3.8. Distribución de frecuencias de talla y relación lontigud-peso

Se analizó un total de 144 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Opia, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE) (Figura 4.3.3.10). Para *Poecilia reticulata*, se obtuvo valores de longitud de 27,8 (M1), 26,4 (M2), mm LE y peso promedio de 0,4 g (M1), 0,3 g (M2); *Creagrutus guanes* 42,1 mm LE y 0,7 g; *Creagrutus affinis* 38,1 mm LE y 0,5 g; y *Microgenys minuta*, obtuvo valores de longitud de 33,3 (M1), 35,1 (M2), mm LE y peso promedio de 0,4 g (M1), 0,4 g (M2). En todas las especies se registran similares clases de talla dentro de sus poblaciones con variaciones en su frecuencia. Siendo las tallas más pequeñas (< 35 mm) las más frecuentes (**Figura 633**).

Figura 633. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Es decir, en ambos monitoreos ejemplares juveniles fueron mayoritariamente colectados. Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Opia, los individuos analizados de algunas especies se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Aportando información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies, tales como el diario y el lunar (Galzin, 1987; Shapiro, 1991).

Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional de las especies analizadas debido a que la mayoría de las especies en el neotropico cumplen estas relaciones. Sin embargo, los individuos analizados de *Poecilia reticulata* siempre estuvieron en reproducción. Esta especie en conocida por los acuaristas como gupi y ha sido introducida en varios continentes, principalmente para el control de mosquitos y fines ornamentales (Rojas et al. 2004). Además, son peces con capacidad de fácil colonización de nuevos hábitats dado sus atributos funcionales como ovovivíparidad, cuidado parental y formación de cardúmenes (López Fuentes et al., 2021). Estas ventajas permiten la competencia y desplazamiento de poblaciones naturales e incluso extinciones locales (Jiménez et al. 2020).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condicíon permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *Poecilia reticulata* y *Microgenys minuta* que contaron con un número mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal podemos observar que existe un ligero aumento de K en el segundo monitoreo.

Además, registramos un crecimiento alométrico positivo (b> 3), en ambos monitoreos, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951). Las demás especies registraron el mismo crecimiento alométrico. Ya en época reproductiva ocurre una transferencia de energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así que, podemos inferir que la especie se encontraba en reproducción o proceso de reproducción durante el segundo monitoreo para el caso de *Microgenys minuta*. En cambio, como se mencionó, *Poecilia reticulata* permaneció en época reproductiva durante los monitoreos (**Tabla 554**).

Tabla 554. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Opia.

Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K

Poecilia reticulata	M2	77	26,48	0,3	3,5	1,9E-06
Poecilia reticulata	M1	8	27,89	0,4	3,6	1,3E-06
Rivulus magdalenae	M2	11	33,87	0,4	2,9	1,2E-05
Creagrutus affinis	M2	12	38,17	0,5	3,2	3,8E-06
Creagrutus guanes	M1	30	42,11	0,7	3,3	3,0E-06
Microgenys minuta	M1	8	33,36625	0,4	3,7	6,6E-07
Microgenys minuta	M2	9	35,087778	0,4	3,9	3,2E-07

Fuente: Autores (2022).

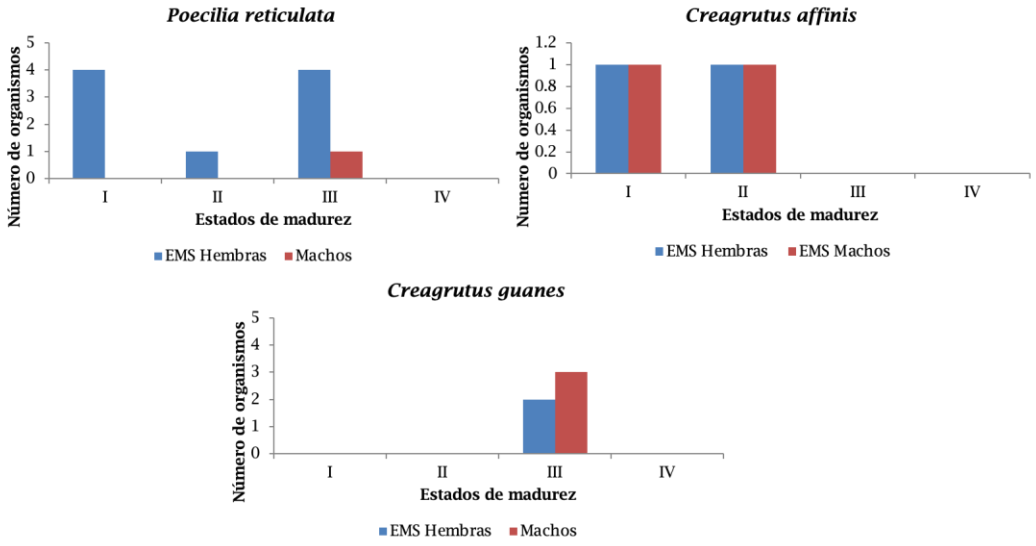
35.3.3.9. Análisis trófico y reproductivo

En relación con el análisis reproductivo, fueron analizados 18 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Opia. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo número de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas fueron mayoritariamente hembras maduras o en proceso de reproducción. En cuanto a las especies, en *Creagrutus guanes* todos los individuos estuvieron en estado de madurez sexual EMS III, es decir, se encontraban en época reproductiva. Y, *Poecilia reticulata* y *Creagrutus affinis* registraron encontraban en estado de madurez sexual EMS II, o en proceso de desarrollo gonadal (**Figura 634**).

Ecología trófica

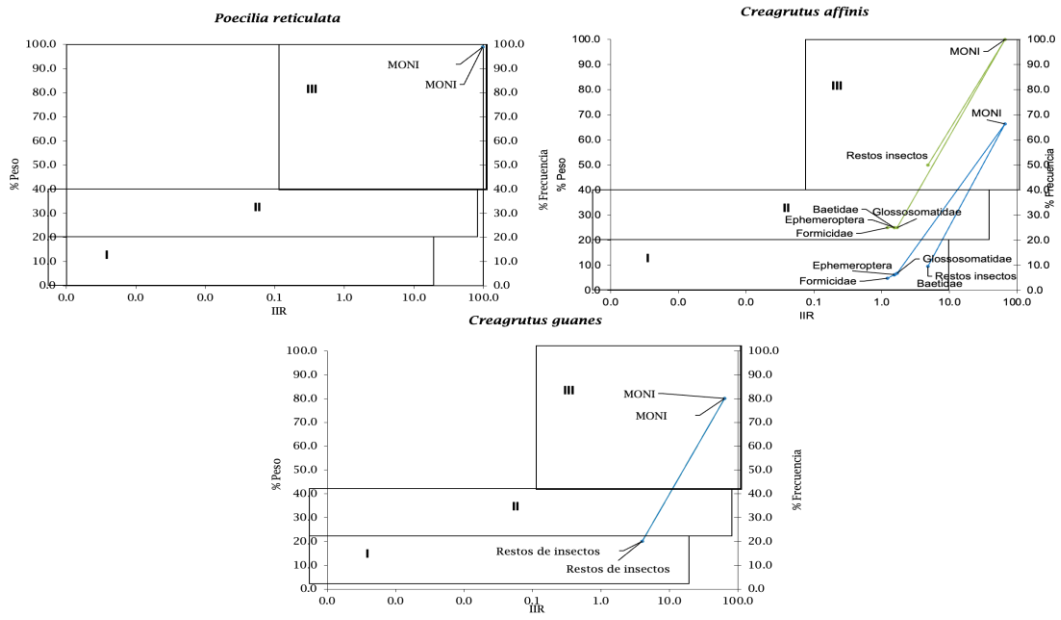
Se analizaron 18 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1. En total se encontraron siete ítems alimenticios, de los cuales dos (Restos de insectos y materia orgánica no indentificada-MONI,) fueron considerados preferenciales y los restantes en correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y secundarios según (Yañez- Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013). Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas Omnívoro-Invertívoro (*Creagrutus affinis*) y *Poecilia reticulata* y *Creagrutus guanes* consumieron únicamente MONI. El gremio trófico Omnívoro-Invertívoro comprenden especies se alimentan de material particulado asociados al fondo e invertebrados acuáticos. (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 635**).

Figura 634. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Poecilia reticulata., Creagrutus affinis y Creagrutus guanes*. I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

Figura 635. Espectro trófico de *Poecilia reticulata, Creagrutus affinis y Creagrutus guanes* de la subzona hidrográfica del río Opia.



Fuente: Autores (2022).

35.3.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Opia son endémicas de Colombia. Se registra la especie introducida,

Poecilia reticulata. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de los cuchos (*Chaetostoma* spp.), sardinas (*Astyanax* sp.) y bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y algunas ornamentales (*Geophagus steindachneri*) (**Tabla 555**).

La especie *Prochilodus magdalenae* es migratoria y de importancia comercial. También, detritívora y considerada importantes dentro de la red trófica, debido a que re-incorpora la energía contenida en el fango y detrito característicos de ambientes lenticos (Benedito-Cecilio et al., 2000; Bowen, 1984). Asimismo, registra migraciones medianas, longitudinales y locales, por tanto, su ciclo reproductivo y de materia sucede parcialmente sobre la cuenca del rio Opia según lo reportado en este estudio.

Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Opia. Por otro lado, *Prochilodus magdalenae* se encuentra catalogada en estatus de Vulnerable y *Microgenys minuta* en estatus de Casi Amenazada según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012).

Tabla 555. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Opia.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	categoría UICN/ Libro Rojo
Geophagus steindachneri				Ornamental	
Creagrutus affinis					LC
Prochilodus magdalenae	*		Mediana, longitudinal y local	Pesca	VU
Rhamdia guatemalensis					LC
Argopleura magdalenensis	*				LC
Astyanax sp.				Pesca	
Chaetostoma brevilabiatum	*				
Chaetostoma cf. *fischeri*				Pesca	LC
Creagrutus guanes	*				LC
Gephyrocharax melanocheir	*				LC
Hemibrycon iqueima	*				
Lasiancistrus caucanus					LC
Microgenys minuta	*				LC | Casi Amenazada
Pimelodella floridablancaensis					
Poecilia reticulata		*			
Rivulus magdalenae	*				LC
Roeboides dayi					LC
Sturisomatichthys aureus	*			Ornamental	LC

Fuente: Autores (2022).

La subzona hidrográfica del rio Opia representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Este río nace en la terraza del municipio de Ibagué y desemboca en el río Magdalena (López-Delgado, 2013). Es así que atraviesa la zona urbana del municipio y es fuente de distritos de riego para cultivos de arroz y la ganadería (López-Delgado, 2013). Además, el río Opia sobresale porque habita la ostra de agua dulce, *Acostae rivoli* (López-Delgado, 2013). Asimismo, se han registrado impactos ambientales que generan disturbios como ingreso de aguas negras provenientes de las localidades aledañas, desechos industriales y extracción de arena, las cuales representan fuertes tensores sobre la fauna acuática.

Es así, que el presente monitoreo de caracterización íctica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y resguardar la diversidad de peces de la región.

De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica mas actualizados en la subzona hidrográfica del rio Opia. Estudios anteriores (López-Delgado, 2013) sobre la cuenca del río Opia registran valores de riqueza de aproximadamente 50 especies. Valores superiores al reportado en el presente estudio (18 spp.).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los ordenes con mayor abundancia y riqueza fueron El orden Characiformes (AR= 37 %), con nueve especies registró la mayor riqueza, seguido de Siluriformes (AR= 13 %) con seis y Blenniiformes (AR= 49 %) con seis siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, 2007, 2010, Poveda-Cuellar, 2020).

De las estaciones evaluadas, se registraron 18 especies, la cuales representan el 34 % de las especies del río Opia (Villa et al. 2003) y 15 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. El bajo numero de especies con respecto a López-Delgado, 2013 se explica por dos razones. La primera, por diferencias en la cobertura y esfuerzo de muestreo, López-Delgado, 2013 realizó muestreos bimensuales. Y la segunda, por el aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático. Esto afecta la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta ultima, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

En cuanto a la especie introducida gupi (*Poecilia reticulata*), no fue registrada por López-Delgado, 2013. Indicando que posiblemente la introducción al río Opia fue reciente, es decir en los últimos ocho años. Sin embargo, al registrar un alto numero de individuos es indicador de que la especies podría permanecer en el tiempo y sy potencial establecimiento como población viable, es decir, que consiga reproducirse. Esta especie se registró únicamente en la quebrada Doima en la subzona hidrográfica del rio Opia y coexistiendo con la especie nativa, Rivulus magdalena.

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae y Salmonidae se registradas en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Trichomcyteridae, Cichlidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas. Es asi que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que, a pesar de registrar una baja diversidad, comparativamente con estudios previos en la cuenca, los peces del rio Opia se encuentran mayoritariamente en rápidos y sustratos rocosos como es el caso de *Astroblepus* spp. Estas especies, Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015)

Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la

alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

35.4. Subzona hidrográfica del río Recio.

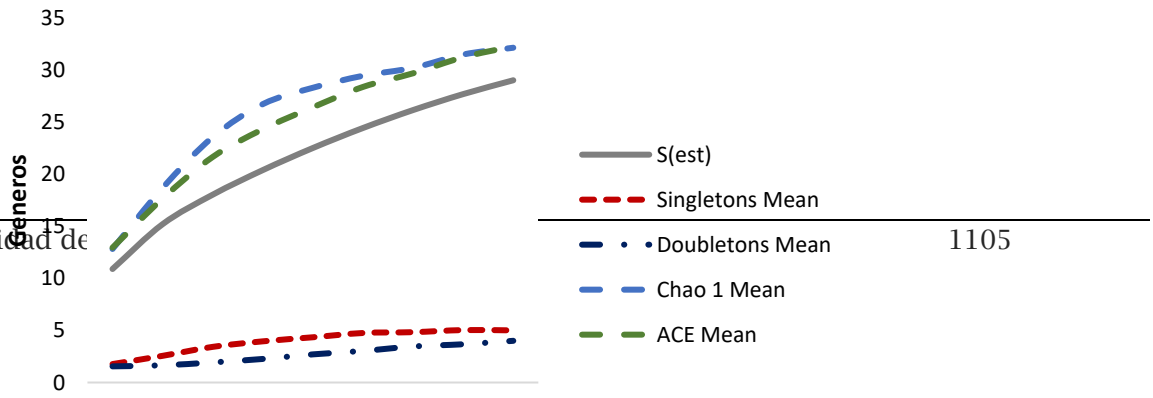
35.4.1. Perifiton

35.4.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza, se registró un número total de 29 géneros observados (Sobs) en 10 estaciones evaluadas (cinco en cada época climática) sobre la subzona del río Recio, estas especies representan el 89.9% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 90.2% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 32 géneros (**Figura 636**).

Según los estimadores de riqueza se registró una riqueza cercana a la esperada durante los periodos de muestreo, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica del río Recio, la eficiencia de muestreo fue buena, por lo tanto, el número de taxones registrados es una aproximación real de los organismos que se encuentran en la subzona hidrográfica. Con respecto subzona hidrografica del río Venadillo se registró un número total de 23 géneros observados (Sobs) en cuatro estaciones evaluadas (dos en cada época climática), estas especies representan el 96% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 98.6% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 24 géneros (**Figura 637**).

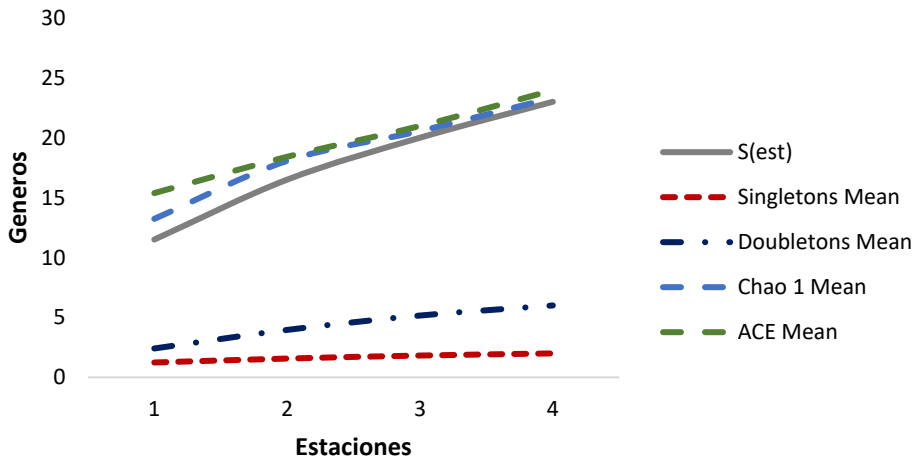
Figura 636. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

A pesar de que en la curva de acumulación (**Figura 637**), no se observe la asíntota (debido al bajo número de muestras), se registró una cantidad de organismos próxima a los esperados durante los periodos de muestreo, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica del río Recio, la eficiencia de muestreo fue muy buena, por lo tanto, el número de taxones registrados es una aproximación real de los organismos que se encuentran en la subzona hidrográfica.

Figura 637. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

35.4.1.2. Composición

Se colectaron 2499 individuos/mm^2 distribuidos en cuatro filos, siete clases, 18 órdenes, 25 familias y 29 géneros (**Tabla 556**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 2112 individuos/mm^2 (84.5%), seguida de la clase Coscinodiscophyceae con 198 individuos/mm^2 (7.9 %) y Cyanophyceae con 127

individuos/mm^2 (5.1%). La elevada densidad de la clase Bacillariophycea es común en ecosistemas acuáticos andinos debido a que los organismos de este grupo presentan adaptaciones para adherirse a troncos y rocas, lo que les permite tolerar la velocidad de la corriente (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003).

Tabla 556. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Recio.

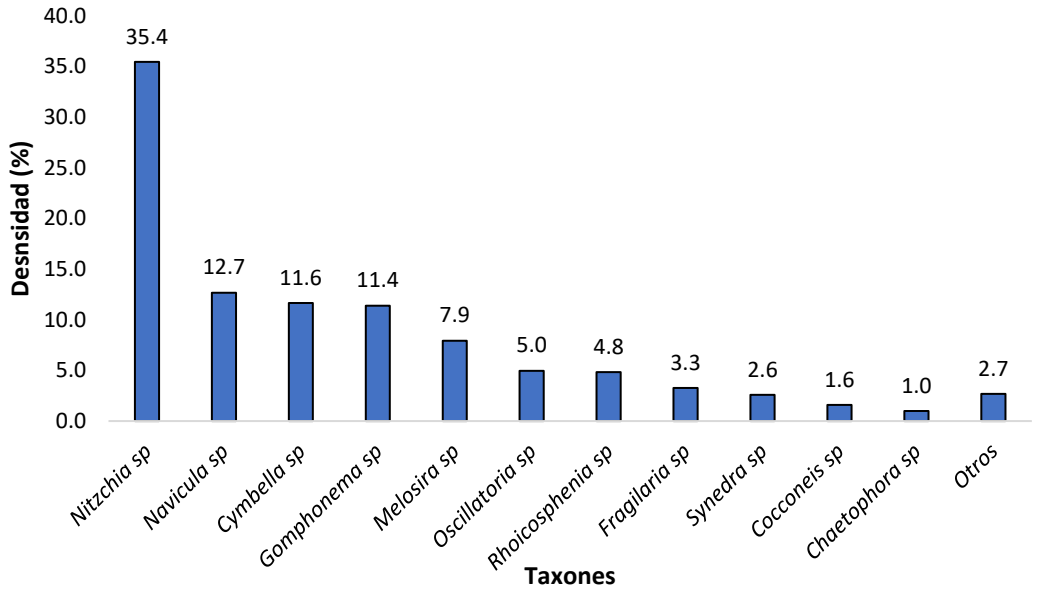
Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia sp*	5
				Nitzchia sp	886
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	40
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	291
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	284
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	121
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia sp*	5
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	81
				Synedra sp	65
		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	8
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia sp*	1
			Diploneidaceae	*Diploneis sp*	4
			Naviculaceae	*Gyrosigma sp*	1
				Navicula sp	316
			Pinnulariaceae	*Pinnularia sp*	2
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria sp*	1
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella sp*	2
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	198
	Mediophyceae	Stephanodiscales	Stephanodiscaceae	*Cyclotella sp*	5
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Chaetophora sp*	25
				Stigeoclonium sp	18
		Oedogoniales	Oedogoniaceae	*Oedogonium sp*	6
		Sphaeropleales	Selenastraceae	*Monoraphidium sp*	1
			Treubariaceae	*Treubaria sp*	2
	Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	*Cladophora sp*	2
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	124
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina sp*	3
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella sp*	3
		Arcellinida	Difflugiidae	*Diflugia sp*	1

Fuente: Autores (2022).

Con relación a los órdenes Bacillariales, Cymbellales y Naviculales representaron aproximadamente el 77% de los organismos registrados, todos pertenecientes a la clase Bacillariophycea. los órdenes restantes registraron densidades menores al 8%. De los 29 taxones registrados, los más abundantes fueron: *Nitzchia sp, Navicula sp, Cymbella sp, Gomphonema sp* y*Melosira sp.* Estos representaron aproximadamente el 79.1% de los individuos registrados (**Figura 638**).

Todos, pertenecientes a la clase Bacillariophyceae comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, en los cuales son muy frecuentes y abundantes. Debido a que poseen una nutrición heterotrófica facultativa, pueden sobrevivir en ambientes con baja luminosidad y segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua y así de esta manera soportar las fuertes corrientes las cuales son características de dichos ecosistemas (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009).

Figura 638. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Para la subzona del río Venadillo Se colectaron 1497 individuos/mm^2 distribuidos en cinco filos, seis clases, 12 órdenes, 15 familias y 19 géneros (**Tabla 557**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 1253 individuos/mm^2 (83.7%) y Cyanophyceae con 166 individuos/mm^2 (11.1%).

La elevada densidad de la clase Bacillariophycea es común en ecosistemas acuáticos andinos debido a que los organismos de este grupo presentan adaptaciones para

adherirse a troncos y rocas, lo que les permite tolerar la velocidad de la corriente (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003).

con relación a los órdenes Bacillariales, Cymbellales, Naviculales y Oscillatoriales representaron aproximadamente el 86.3% de los organismos registrados, los tres primeros pertenecientes a la clase Bacillariophycea (**Tabla 557**).

Los ordenes restantes registraron densidades menores al 5%. De los 19 taxones registrados, los más abundantes fueron: *Nitzchia sp, Navicula sp, Cymbella sp* y *Oscillatoria sp.* Estos representaron aproximadamente el 81.7% de los individuos registrados. Los tres primeros pertenecientes a la clase Bacillariophyceae comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, en los cuales son muy frecuentes y abundantes. (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009).

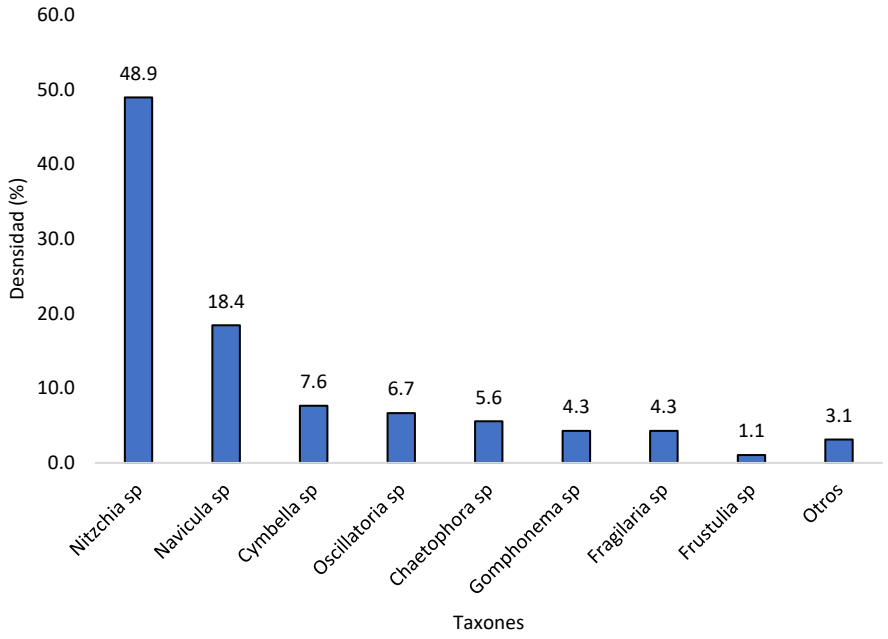
El ultimo taxon perteneciente a la clase Cyanophyceae, caracterizado por la capacidad de tolerar amplios cambios físicos y químicos en el ecosistema, y aprovechar incrementos en las cargas de nutrientes que ocasionan que durante algunos meses se registren altas densidades especialmente en épocas de bajas precipitaciones (Ramírez 2000) (**Tabla 557**, **Figura 639**).

Tabla 557. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia sp*	2
				Nitzchia sp	487
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	8
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	76
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	43
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	7
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	43
				Synedra sp	2
		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	2
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia sp*	11
			Naviculaceae	*Gyrosigma sp*	2
				Navicula sp	183
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	5
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium sp*	1
				Desmidium sp	1
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Chaetophora sp*	56
		Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	*Pediastrum sp*	2
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	66
Rotifera	Monogonta	Ploima	Lecanidae	*Lecane sp*	2

Fuente: Autores (2022).

Figura 639. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

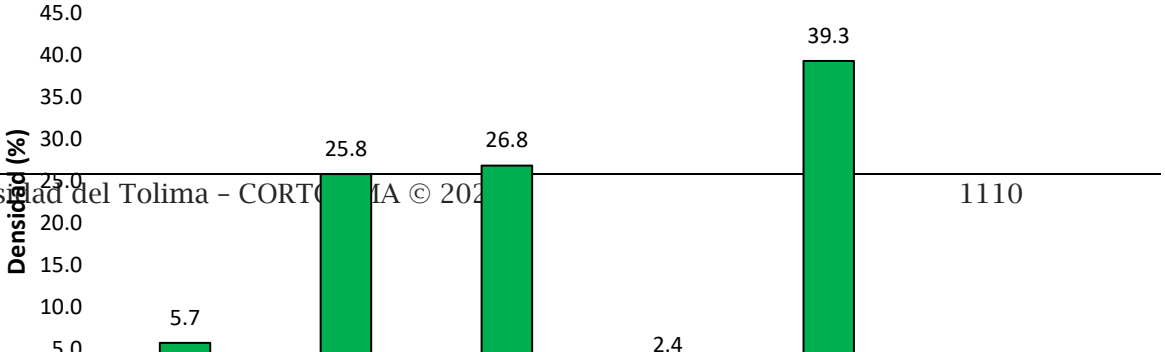


Fuente: Autores (2022).

35.4.1.3. Distribución espacial

Se establecieron cinco estaciones de muestreo, de las cuales la Quebrada El Cairo (H_Recio_06), registro la mayor densidad relativa con un 39.3%, seguido por la estación del río Recio-Lerida (H_Recio_03) con 26.8% y el río La Yuca (H_Recio_02) con 25.8%. Por otro lado, las estaciones que obtuvieron menor porcentaje de densidad fueron Quebrada Las Animas (H_Recio_05) con el 2.4% y el río Recio-Murillo (H_Recio_01) con 5.7% (**Figura 640**, **Tabla 558**).

Figura 640. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 558. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Recio.

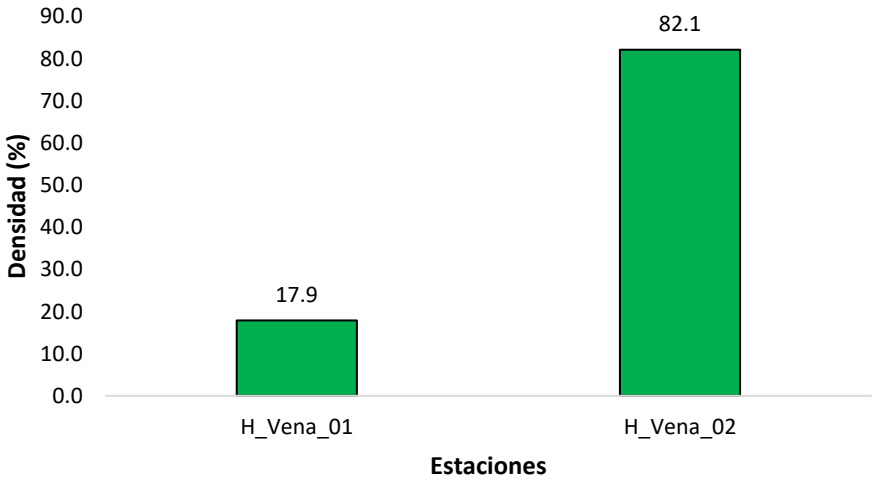
Especie	H_Recio_01	H_Recio_02	H_Recio_03	H_Recio_05	H_Recio_06
Achnanthidium sp	0	0	0	1	7
Arcella sp	0	3	0	0	0
Chaetophora sp	0	25	0	0	0
Cladophora sp	0	0	2	0	0
Cocconeis sp	0	24	4	10	2
Cyclotella sp	0	3	0	0	2
Cymbella sp	13	138	128	11	1
Diflugia sp	0	1	0	0	0
Diploneis sp	1	3	0	0	0
Eunotia sp	0	3	0	0	2
Fragilaria sp	7	63	6	2	4
Frustulia sp	0	1	0	0	0
Gomphonema sp	19	63	53	17	132
Gyrosigma sp	0	1	0	0	0
Hantzschia sp	5	0	0	0	0
Melosira sp	24	46	77	7	44
Monoraphidium sp	1	0	0	0	0
Navicula sp	2	82	127	6	100
Nitzchia sp	15	70	169	6	625
Oedogonium sp	0	0	0	0	6
Oscillatoria sp	36	68	4	0	17
Pinnularia sp	1	1	0	0	0
Rhoicosphenia sp	15	35	36	0	35
Spirulina sp	2	1	0	0	0
Stigeoclonium sp	0	0	14	0	4
Surirella sp	0	2	0	0	0
Synedra sp	1	14	50	0	0
Tabellaria sp	1	0	0	0	0

Treubaria sp	0	0	0	0	2

Fuente: Autores (2022).

Para la subzona del río Venadillo se evaluaron dos estaciones de muestreo, de las cuales el río Venadillo-Venadillo (H_Vena_02), registro la mayor densidad relativa con un 82.1%. (**Tabla 559**, **Figura 641**).

Figura 641. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 559. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

Especie	H_Vena_01	H_Vena_02
Achnanthidium sp	0	2
Amphipleura sp	0	2
Arcella sp	0	6
Centropyxis sp	0	4
Chaetophora sp	0	56
Cocconeis sp	56	13

Cosmarium sp	1	0
Cymbella sp	45	117
Desmidium sp	1	0
Desmodesmus sp	0	2
Fragilaria sp	14	40
Frustulia sp	11	0
Gomphonema sp	22	78
Gyrosigma sp	0	2
Hantzschia sp	1	2
Lecane sp	0	2
Melosira sp	1	6
Navicula sp	131	130
Nitzchia sp	32	541
Oscillatoria sp	0	166
Pediastrum sp	0	2
Rhoicosphenia sp	11	2
Synedra sp	2	2

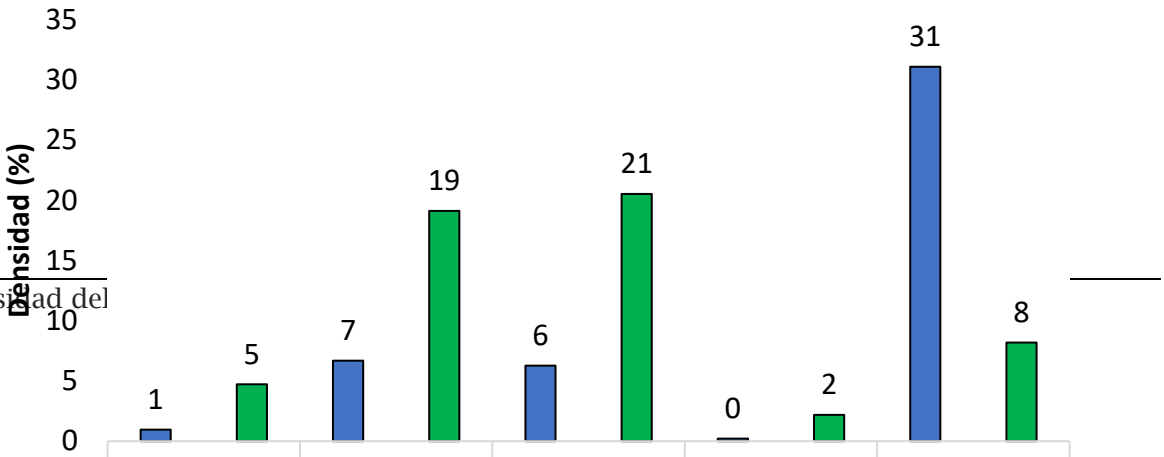
Fuente: Autores (2022).

35.4.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos fue registrada durante el muestreo M2, realizado durante la época de bajas precipitaciones en la cual se observó un bajo caudal y mayor disponibilidad de hábitats para la colonización de organismos lo que genero un incremento en la densidad de la comunidad perifítica.

A nivel temporal, se evidencio que las estaciones río Recio-Lerida (H_Recio_03) y el río La Yuca (H_Recio_02), registraron la mayor densidad relativa durante los monitores realizados. Durante la época de altas precipitaciones M1 la densidad fue mayor en la Quebrada El Cairo (H_Recio_06) (**Figura 642**, **Tabla 560**).

Figura 642. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 560. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Recio.

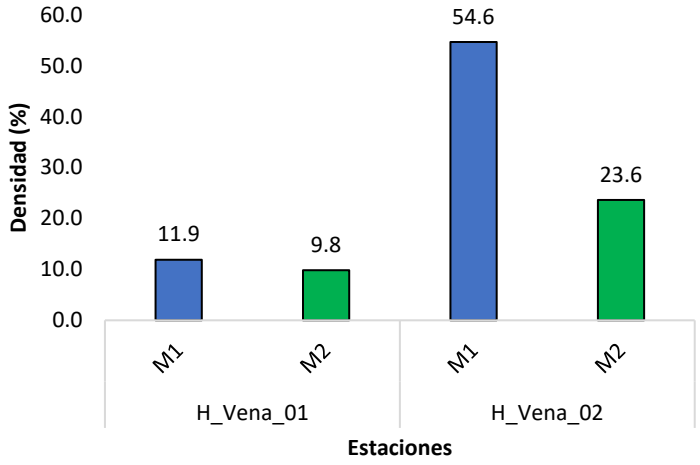
	H_Recio_01		H_Recio_02		H_Recio_03		H_Recio_05		H_Recio_06	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Achnanthidium sp	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7
Arcella sp	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Chaetophora sp	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0
Cladophora sp	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Cocconeis sp	0	0	2	22	2	2	3	7	0	2
Cyclotella sp	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2
Cymbella sp	0	13	16	121	6	122	0	11	0	1
Diflugia sp	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Diploneis sp	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Eunotia sp	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0
Fragilaria sp	4	4	1	61	6	0	0	2	0	4
Frustulia sp	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gomphonema sp	1	19	18	44	11	43	0	17	65	68
Gyrosigma sp	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Hantzschia sp	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Melosira sp	0	24	0	46	3	74	1	6	6	37
Monoraphidium sp	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Navicula sp	0	2	16	66	49	78	1	5	85	15
Nitzchia sp	2	13	15	56	8	161	1	6	556	69
Oedogonium sp	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0
Oscillatoria sp	11	25	66	2	0	4	0	0	17	0
Pinnularia sp	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Rhoicosphenia sp	6	9	5	30	18	19	0	0	35	0
Spirulina sp	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
Stigeoclonium sp	0	0	0	0	14	0	0	0	4	0
Surirella sp	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Synedra sp	0	1	1	13	41	9	0	0	0	0

Tabellaria sp	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Treubaria sp	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0

Fuente: Autores (2022).

Para la subzona del río Venadillo, de manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos fue registrada durante el muestreo M1, realizado durante la época de altas precipitaciones, en la cual posiblemente se oferto una mayor diversidad de hábitats debido al incremento del caudal. A nivel temporal, se evidencio que el río Venadillo-Venadillo (H_Vena_02) registro el mayor número de individuos durante ambas épocas (**Tabla 561**, **Figura 643**).

Figura 643. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 561. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

	H_Vena_01		H_Vena_02	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Achnanthidium sp	0	0	2	0
Amphipleura sp	0	0	0	2
Arcella sp	0	0	0	6
Centropyxis sp	0	0	0	4
Chaetophora sp	0	0	56	0
Cocconeis sp	8	47	0	13

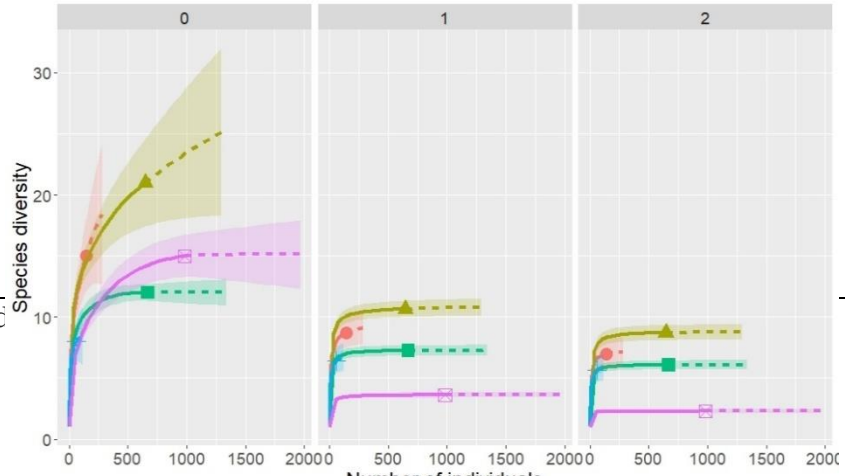
Cosmarium sp	1	0	0	0
Cymbella sp	14	31	62	56
Desmidium sp	1	0	0	0
Desmodesmus sp	0	0	0	2
Fragilaria sp	3	11	40	0
Frustulia sp	11	0	0	0
Gomphonema sp	7	15	35	43
Gyrosigma sp	0	0	2	0
Hantzschia sp	1	0	2	0
Lecane sp	0	0	2	0
Melosira sp	1	0	5	2
Navicula sp	102	30	82	48
Nitzchia sp	24	7	463	78
Oscillatoria sp	0	0	66	100
Pediastrum sp	0	0	2	0
Rhoicosphenia sp	7	5	0	2
Synedra sp	0	2	2	0

Fuente: Autores (2022).

35.4.1.5. Diversidad

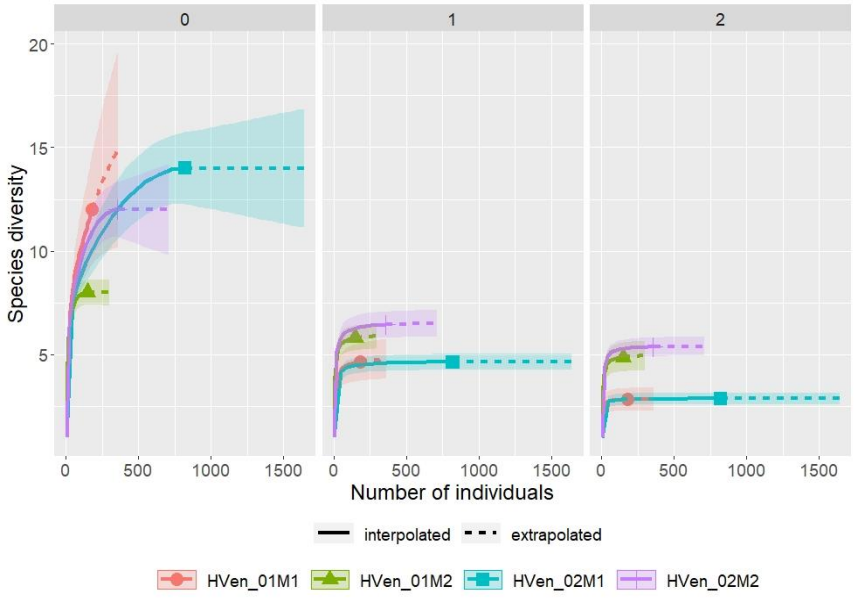
A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D), a nivel general, se observó que las estaciones el río La Yuca (H_Recio_02) y río Recio-Murillo (H_Recio_01), fueron significativamente más diversas que las demás estaciones de la subzona (**Figura 644**). Estos resultados concuerdan al tener en cuenta las especies típicas (1D) y especies dominantes (2D). La estación Quebrada El Cairo (H_Recio_06), fue la menos diversa de las cinco evaluadas en la subzona del río Recio (**Figura 644**). Con relación a la subzona hidrográfica del río Venadillo al tener en cuenta la riqueza especifica (0D), la estación río Venadillo-Venadillo fue la menos diversa (H_Vena_02) durante la época de bajas precipitaciones M2, (**Figura 645**). Por otra parte, al tener en cuenta las especies típicas (1D) y especies dominantes (2D), la estación rio Venadillo-Malabar (H_Vena_02), fue la más diversa durante la época de bajas precipitaciones (**Figura 645**).

Figura 644. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Figura 645. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



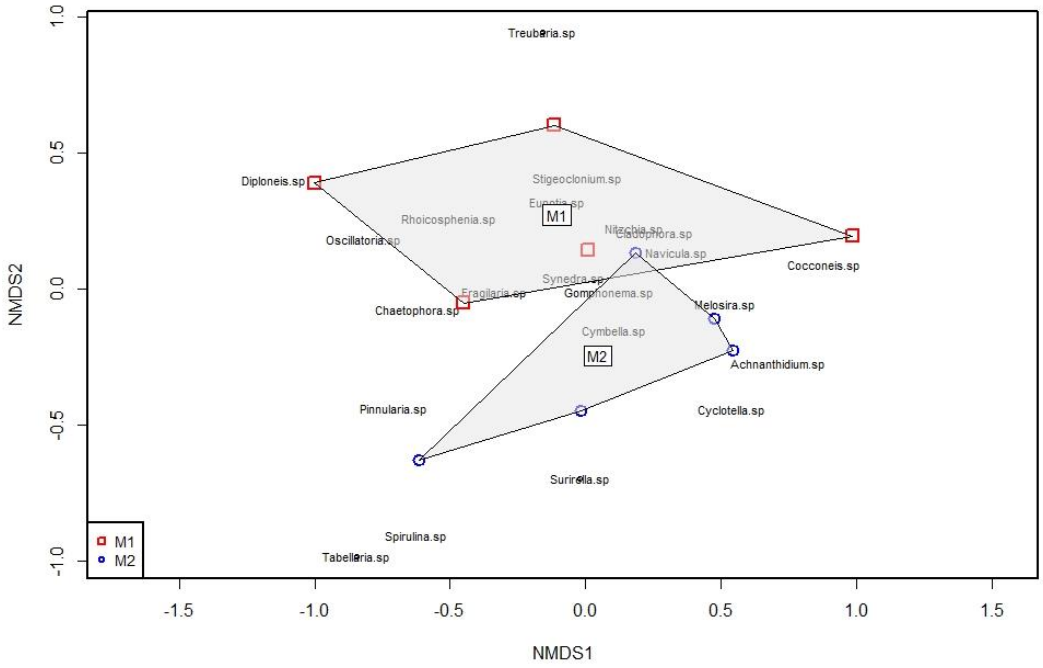
Fuente: Autores (2022).

35.4.1.5.1. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad perifítica en las épocas evaluadas en la subzona del río Recio (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 646**).

Esto es indicativo que la composición y estructura de la comunidad es estable durante las épocas hidrológicas en esta subzona hidrográfica. Vale la pena resaltar la presencia y frecuencia de taxones como *Spirulina sp, Pinnularia sp, Cyclotella y Tabellaria sp* fueron más comunes durante la época de bajas precipitaciones (M2).

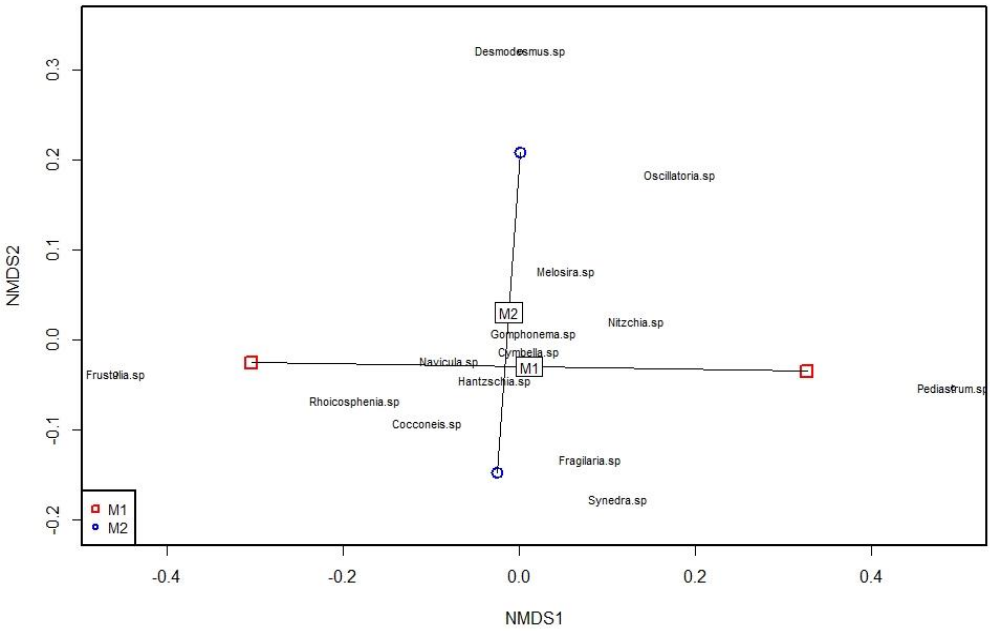
Figura 646. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Para la subcuenca del río Venadillo la comunidad no fue significativamente diferente durante las épocas de muestreo (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 647**), resultados similares a los obtenidos en la subzona del río Recio.

Figura 647. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



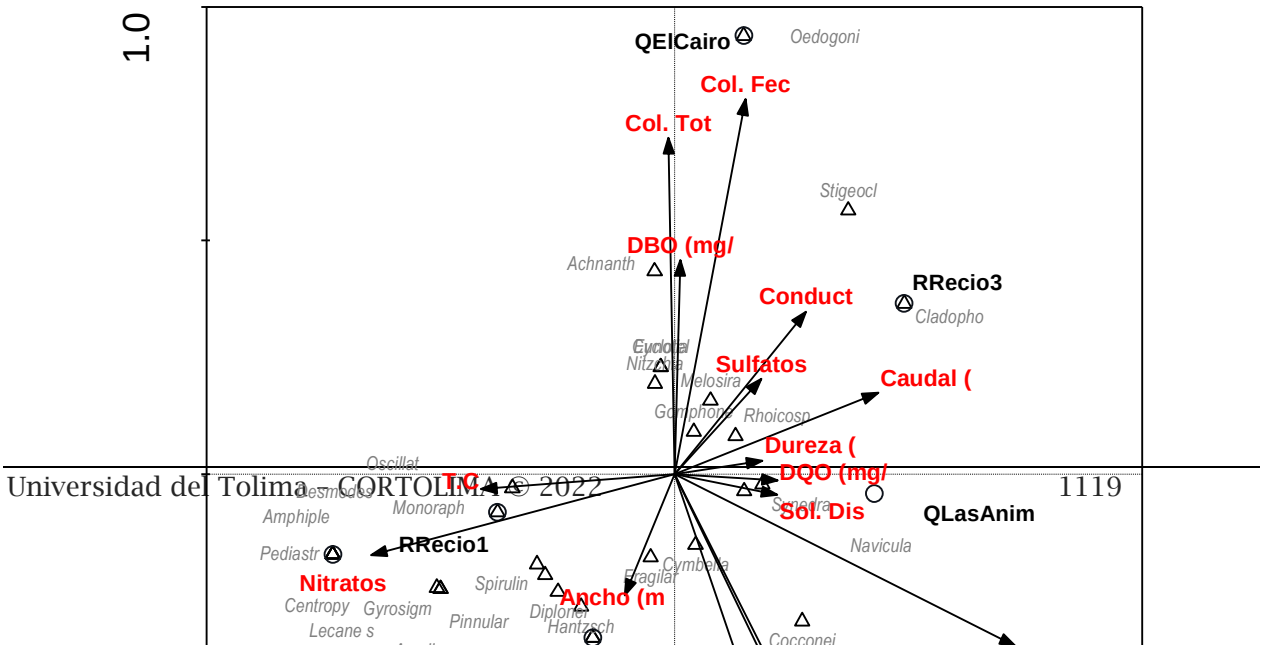
Fuente: Autores (2022).

35.4.1.6. Relación con variables fisicoquímicas

Debido al bajo número de estaciones evaluadas en la subzona del río Venadillo, para la realización del análisis de correspondencia canónica (ACC) se agruparon con las estaciones de la subzona del río Recio. Según los resultados del ACC, ninguna de las variables influyó de manera significativa en la comunidad perifítica. Sin embargo, el diagrama de ordenación permitió evidenciar como las estaciones se separaron teniendo en cuenta las variables ambientales (**Figura 648**). Las estaciones Quebrada El Cairo (H_Recio_06) y río Recio (H_Recio_03) se caracterizaron por la presencia elevada de coliformes fecales, coliformes totales y conductividad eléctrica. Estaciones en las cuales los taxones *Stigeoclonium sp* y *Cladophora sp* fueron frecuentes.

La estación río Venadillo-Malabar (H_Vena_01) se caracterizo por valores elevados de solidos suspendidos, fosforo y algunos taxones como *Cosmarium so, Frsutulia sp y Desmidium sp* (**Figura 648**). Las estaciones río Venadillo-Venadillo (H_Vena_02), río La yuca (H_Recio_02) y río Recio (H_Recio_01), se caracterizaron por valores elevados de nitratos y una gran variedad de taxones (**Figura 648**). Los fosfatos y nitratos son factores limitantes en los ecosistemas acuáticos, por que valores elevados en estos son indicativos de procesos de enriquecimiento de nutrientes que pueden favorecer la presencia taxones dominantes como *Oscillatoria sp* y otras cianobacterias.

Figura 648. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del río Recio y Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

35.4.1.7. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación muy alto, alto, e intermedio (**Tabla 562**). La estación río Venadillo-malabar (H_Vena_01) presento valores de contaminación muy altos. Las estaciones río Venadillo-Venadillo (H_Vena_02), río La yuca (H_Recio_02) y río Recio-Lerida (H_Recio_03) valores de contaminación alto por desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte. las estaciones restantes registraron nivel de contaminación intermedio, contaminación media, eutrofización acentuada por materia orgánica (**Tabla 562**).

Tabla 562. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio y Venadillo.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.Recio_1	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.La_Yuca	2.6	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.Recio_3	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Q.Las_Animas	3.3	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Q.El_Cairo	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

R.Venadillo_01	1.8	Muy alta	Contaminación muy fuerte	
R.Venadillo_02	2.2	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

Fuente: Autores (2022).

35.4.2. Macroinvertebrados acuáticos

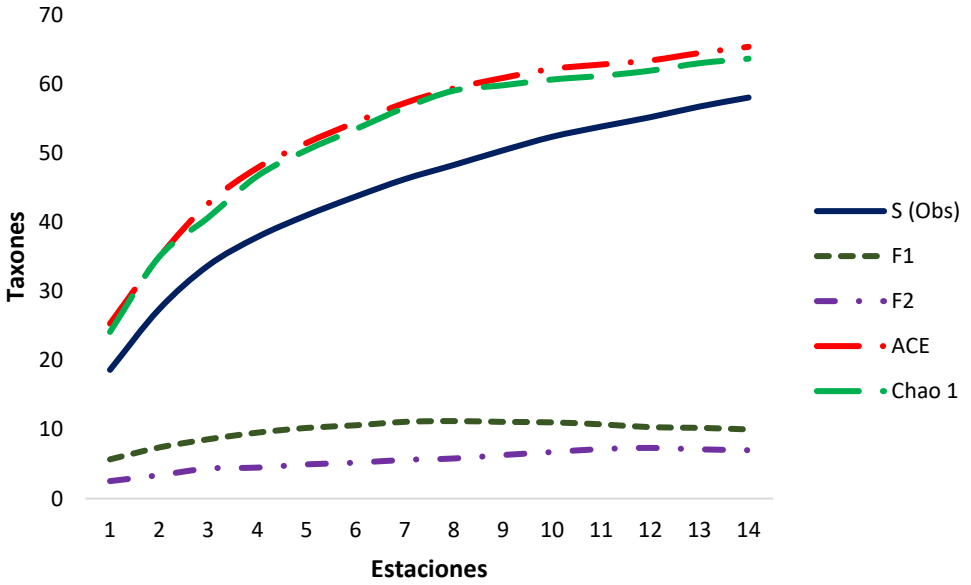
35.4.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 58 géneros observados (Sobs) en las 16 estaciones evaluadas (ocho en la subzona durante dos temporadas) para un total de 64 muestras que corresponden al 88.8% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 91.2% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 65 géneros (**Figura 649**).

Según los estimadores de riqueza se alcanzó una proporción considerable de géneros según lo que podría encontrarse en esta subzona hidrográfica, en estos cuerpos de agua se observa una mayor conservación en las zonas altas, ya que se encuentran asilados de centros poblados y varios de sus tributarios son quebradas de pequeño porte que son ideales para el desarrollo de las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos. Por otra parte, en las estaciones del rio Venadillo, que actúa como un cuerpo de agua independiente, se encontró un gran número de géneros de varios niveles de tolerancia, lo cual da una idea optima del estado de conservación de este rio (Perez et al., 2020)

Las condiciones ecológicas parecen ser las adecuadas para el desarrollo de la comunidad, sin embargo, se observaron varios eventos naturales y artificiales que fungen como disturbios que pueden tener impactos sobre las poblaciones, además a pesar de la alta representatividad lograda se requieren más muestreos para comprender la dinámica de esta biota en esta subzona hidrográfica (Tamariz et al., 2013).

Figura 649. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrografica del rio Recio.



Fuente: Autores (2022)

35.4.2.2. Composición

Se colectaron 2943 organismos distribuidos en tres filos, tres clases, 11 órdenes, 32 familias y 58 géneros (**Tabla 563**). Para el caso puntual del rio Venadillo se registraron 40 géneros.

Tabla 563. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Recio.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	7
Annelida	Clitellata	Hirudinea	Glossiphoniidae	*Helobdella*	1
		Tubificida	Naididae	*Tubifex*	2
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dryopidae	*Dryops*	1
			Elmidae	*Cylloepus*	23
				Heterelmis	33
				Huleechius	3
				Macrelmis	60
				Microcylloepus	8
				Neoelmis	1
				Phanocerus	2
			Psephenidae	*Psephenops*	1
			Ptilodactylidae	*Anchytarsus*	4
		Diptera	Blephariceridae	*Limonicola*	2

	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	2
		Atrichopogon	2
	Chironomidae	Chironominae	322
		Orthocladiinae	590
		Tanypodinae	5
	Empididae	*Chelifera*	3
		Hemerodromia	8
	Simuliidae	*Simulium*	176
	Tipulidae	*Hexatoma*	3
		Limonia	2
		Molophilus	9
Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	82
		Baetodes	474
		Camelobaetidius	175
		Nanomis	3
		Varipes	8
	Leptohyphidae	*Allenhyphes*	1
		Leptohyphes	156
		Traverhyphes	1
		Tricorythodes	4
	Leptophlebiidae	*Farrodes*	22
		Hydrosmilodon	1
		Terpides	7
		Thraulodes	80
		Traverella	15
	Oligoneuriidae	*Lachlania*	1
Hemiptera	Gerridae	*Trepobates*	1
	Naucoridae	*Limnocoris*	4
	Veliidae	*Rhagovelia*	119
Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	22
Odonata	Calopterygidae	*Hetaerina*	3
	Gomphidae	*Progomphus*	4
	Libellulidae	*Dythemis*	3
		Sympetrum	1
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	30
Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	19
	Helicopsychidae	*Helicopsyche*	3
	Hydrobiosidae	*Atopsyche*	11
	Hydropsychidae	*Leptonema*	86
		Smicridea	161
	Hydroptilidae	*Ochrotrichia*	2
	Leptoceridae	*Atanatolica*	12

		Grumichella	15
	Philopotamidae	*Chimarra*	147

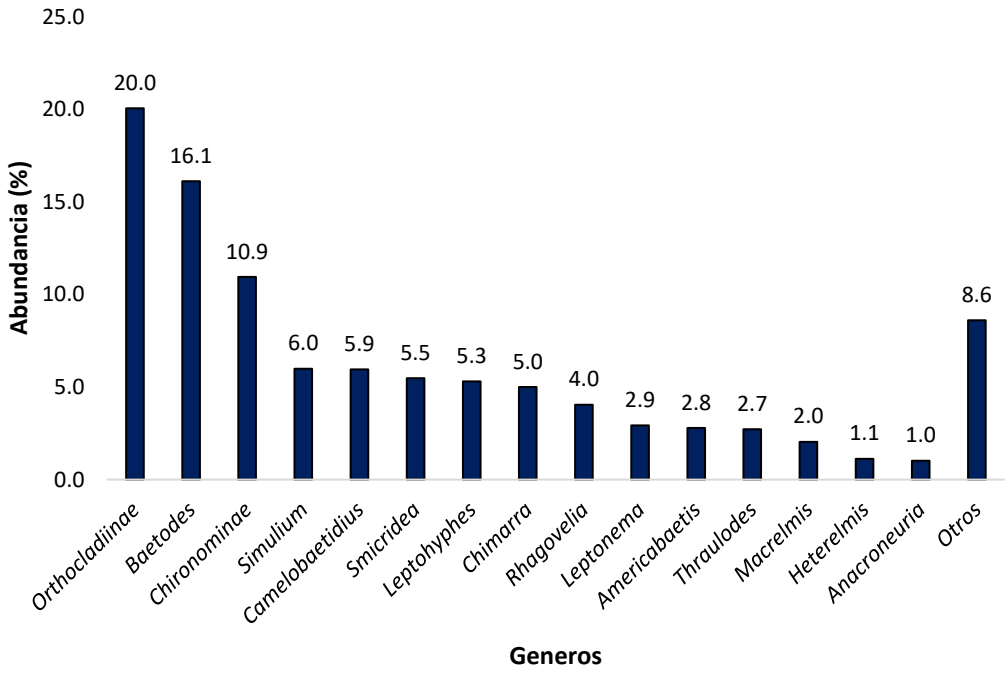
Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Díptera con 1124 organismos (38.2%), Ephemeroptera con 1030 organismos (35%) y Trichoptera con 456 organismos (15.6%). Los patrones de abundancia de los órdenes registrado corresponden a lo reportado para esta misma cuenca (Reinoso et al., 2009) y la estructura exhibida por este grupo faunístico en ecosistemas andinos (Vásquez y Reinoso, 2012) y particularmente similar a la que se observa en las cuencas de los ríos Totare (Reinoso et al., 2007) y Opia (Forero y Reinoso, 2007).

En cuanto a familias, las más abundantes fueron Chironomidae (31.2%), Baetidae (25.2%) y Hydropsychidae (8.4%) mientras que Leptoceridae, Corydalidae, Glossosomatidae, Tipulidae, Empididae, Hydrobiosidae, Dugesiidae, Ceratopogonidae, Gomphidae, Libellulidae, Naucoridae, Ptilodactylidae, Calopterygidae, Helicopsychidae, Blephariceridae, Hydroptilidae, Naididae, Dryopidae, Gerridae, Glossiphoniidae, Oligoneuriidae y Psephenidae presentaron la menor abundancia (>1%).

A nivel de géneros, los más abundantes fueron Orthocladiinae sp (20%), seguido de *Baetodes* (16.1%) y Chironominae sp (10.9%). De los 58 géneros registrados 43 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Cylloepus, Corydalus, Farrodes, Culoptila, Grumichella, Traverella, Atanatolica, Atopsyche, Molophilus, Hemerodromia, Microcylloepus, Varipes, Girardia, Terpides,* Tanypodinae*, Anchytarsus, Limnocoris, Progomphus, Tricorythodes ,Chelifera, Dythemis, Helicopsyche, Hetaerina, Hexatoma, Huleechius, Nanomis, Alluaudomyia, Atrichopogon, Limonia, Limonicola, Ochrotrichia, Phanocerus, Tubifex, Allenhyphes, Dryops, Helobdella, Hydrosmilodon, Lachlania, Neoelmis, Psephenops, Sympetrum, Traverhyphes* y *Trepobates* (**Figura 650**).

Figura 650. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Recio.



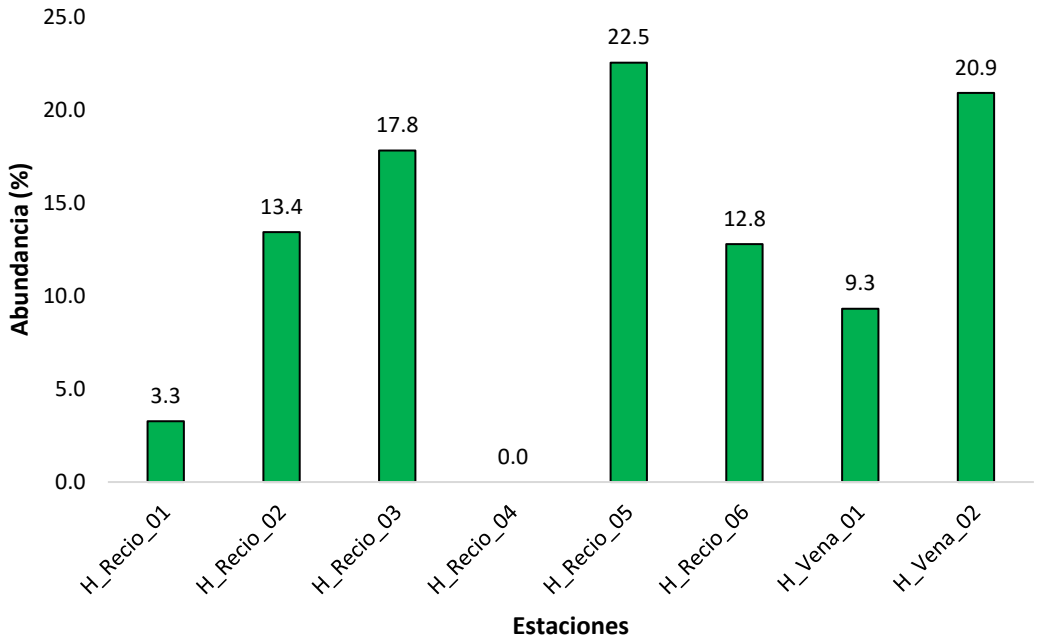
Fuente: Autores (2022).

35.4.2.3. Distribución espacial

Se establecieron ocho estaciones de muestreo en el cauce principal del rio, tres tributarios y el rio venadillo, dentro de la quebrada Las Animas (H_Recio_05), presento la mayor abundancia relativa con un 22.5%, seguido de la estación rio Venadillo (H_Vena_02) con el 20.9% (**Figura 651**).

Las estaciones del rio Recio y Venadillo presentan abundancias diferentes, lo cual implica que en cada Estacion evaluada existen condiciones ambientales diversas que permiten cambios en la composición y abundancia de la comunidad, de este modo se observa que existen alteraciones naturales y antrópicas que afectan la distribución de los organismos. Se observa que los tributarios como el rio la Yuca (H_Recio_02), Quebrada Las Animas (H_Recio_05), quebrada El Cairo (H_Recio_06) presentan una abundancia elevada y un número considerable de taxones, esto se debe a que los tributarios por sus características fungen como reservorios de diversidad que mantienen estable la comunidad en la cuenca.

Figura 651. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Un factor importante es que durante la colecta se presentaron episodios de lluvias que cambiaron la configuración del caudal limitando el muestreo y la captura de los organismos, otro factor a tener en consideración es la configuración morfológica del rio, el cual se encuentra fuertemente encañonado, sumado a la presencia de un muro de contención, que pueden influenciar la dinámica de las poblaciones. Aun con respecto a las condiciones atenuantes se logró obtener una muestra significativa de los organismos presentes en la cuenca (Thomazi et al., 2008).

En cuanto a los géneros registrados Chironominae, Orthocladiinae, *Baetodes*, *Heterelmis*, *Leptonema* y *Simulium*, se registraron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio y Venadillo, estos taxones son ampliamente distribuidos y bastante comunes en las colectas, son capaces de resistir una gran variedad de condiciones ambientales, siempre y cuando no sean criticas (**Tabla 564**). Del material colectado los géneros *Allenhyphes, Anchytarsus, Chelifera, Dryops, Helobdella, Hexatoma, Hydrosmilodon, Lachlania, Limnocoris, Limonicola, Nanomis, Neoelmis, Psephenops, Sympetrum, Terpides, Traverella, Traverhyphes, Trepobates, Tricorythodes* y *Tubifex* indicaron una distribución restringida a una sola estación. Las condiciones ambientales como caudal, temperatura, heterogeneidad de sustratos y cambios altitudinales permiten la colonización y supervivencia de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Vidal y Romero, 2010).

Tabla 564. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Recio.

Genero	H_Rec_1	H_Rec_2	H_Rec_3	H_Rec_5	H_Rec_6	H_Vena_1	H_Vena_2
Allenhyphes	*	*	*	*	*	1	*
Alluaudomyia	*	*	*	1	*	*	1
Americabaetis	17	18	2	25	7	2	11
Anacroneuria	3	15	*	3	2	7	*
Anchytarsus	4	*	*	*	*	*	*
Atanatolica	*	2	*	2	2	6	*
Atopsyche	*	3	*	6	*	2	*
Atrichopogon	1	*	*	1	*	*	*
Baetodes	22	97	47	214	53	35	6
Camelobaetidius	*	70	35	17	12	*	41
Chelifera	*	*	*	3	*	*	*
Chimarra	*	*	2	1	*	*	144
Chironominae	3	13	53	76	79	26	72
Corydalus	*	4	1	10	5	1	1
Culoptila	*	3	1	*	1	7	7
Cylloepus	*	6	1	5	3	8	*
Dryops	*	*	1	*	*	*	*
Dythemis	*	*	1	1	*	1	*
Farrodes	*	*	*	1	*	*	21
Girardia	2	*	*	*	2	3	*
Grumichella	*	1	*	*	4	10	*
Helicopsyche	*	1	*	2	*	*	*
Helobdella	*	*	1	*	*	*	*
Hemerodromia	*	4	*	2	*	*	2
Hetaerina	*	1	*	*	1	1	*
Heterelmis	1	5	6	9	2	3	7
Hexatoma	*	*	*	*	*	3	*
Huleechius	*	1	1	*	*	*	1
Hydrosmilodon	*	*	*	*	*	*	1
Lachlania	*	1	*	*	*	*	*
Leptohyphes	2	32	*	52	3	26	41
Leptonema	3	12	2	47	3	17	2
Limnocoris	*	*	*	*	4	*	*
Limonia	*	*	*	1	*	1	*
Limonicola	2	*	*	*	*	*	*
Macrelmis	*	2	*	20	4	8	26
Microcylloepus	2	*	1	*	1	2	2
Molophilus	7	2	*	*	*	*	*

Nanomis	*	3	*	*	*	*	*
Neoelmis	*	*	*	*	*	*	1
Ochrotrichia	*	*	1	*	1	*	*
Orthocladiinae	25	30	217	97	167	44	10
Phanocerus	*	*	*	*	*	1	1
Progomphus	*	1	3	*	*	*	*
Psephenops	*	*	*	*	1	*	*
Rhagovelia	*	1	22	*	1	24	71
Simulium	1	24	113	25	6	6	1
Smicridea	*	26	2	32	6	20	75
Sympetrum	*	*	1	*	*	*	*
Tanypodinae	*	*	*	*	1	*	4
Terpides	*	*	7	*	*	*	*
Thraulodes	*	17	3	5	2	9	44
Traverella	*	*	*	*	*	*	15
Traverhyphes	1	*	*	*	*	*	*
Trepobates	*	*	*	*	*	*	1
Tricorythodes	*	*	*	*	*	*	4
Tubifex	*	*	*	*	2	*	*
Varipes	*	*	*	5	1	*	2

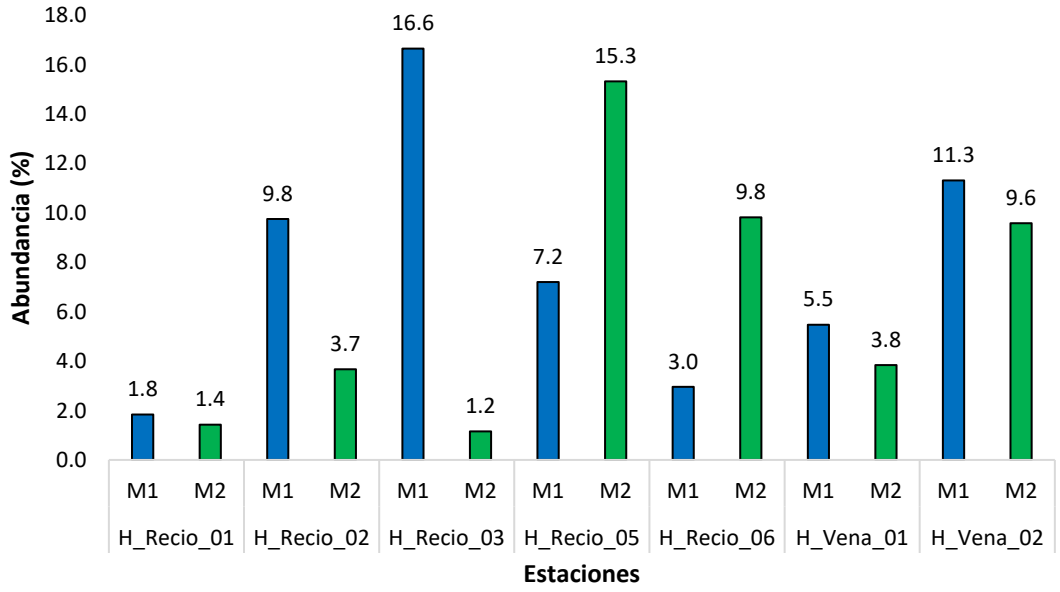
* ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.4.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, al momento de las colectas, se presentaron lluvias que modificaron el caudal, en especial en la Estacion del rio Recio (H_Recio_04), en la cual el volumen del agua era alto y no se pudo efectuar el monitoreo en las dos temporadas. La abundancia relativa no muestra un patrón en cuanto a la temporalidad, para el muestreo 1 se registró una abundancia de 55.2%, mientras que para el muestreo 2 se recolecto un 44.8%.

En cuanto a las estaciones no hay una tendencia definida debido a que, durante los dos periodos, las condiciones climáticas eran relativamente similares y los periodos de lluvias se presentaron en ambas temporadas, aun así para el monitoreo 1, la Estacion rio Recio (H_Recio_03) presento la mayor abundancia con el 16.6%, mientras que para el muestreo 2, la quebrada Las Animas (H_Recio_05), fue la más abundante con 15.3% (**Figura 652**). Estos cambios en la abundancia se deben principalmente a la alternancia del caudal y la continua modificación del lecho que reconfigura los sustratos y obliga a derivar a los organismos, de este modo permite la colonización y la disminución de las poblaciones en las diferentes estaciones (Perez et al., 2020).

Figura 652. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

La distribución espacio-temporal de los organismos fluctuó bastante, los géneros con mayor distribución fueron Chironominae sp y Orthocladiinae sp (**Tabla 565**). Los chironomidos son sumamente abundantes y cosmopolitas, razón por la cual fue posible colectarlo en todas las estaciones en ambos periodos de muestreo. Es necesario ampliar las épocas de monitoreo para comprender la dinámica de los organismos en épocas contrastantes (Roldan, 2017).

Tabla 565. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Recio.

Genero	HRec1		HRec2		HRec3		HRec5		HRec6		HVena1		HVena2	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Allenhyphes	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*
Alluaudomyia	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	1	*
Americabaetis	6	11	18	*	2	*	9	16	*	7	1	1	7	4
Anacroneuria	2	1	3	12	*	*	3	*	2	*	6	1	*	*
Anchytarsus	3	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Atanatolica	*	*	*	2	*	*	2	*	2	*	6	*	*	*
Atopsyche	*	*	1	2	*	*	*	6	*	*	2	*	*	*
Atrichopogon	1	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*
Baetodes	17	5	90	7	46	1	49	165	7	46	25	10	*	6
Camelobaetidius	*	*	65	5	28	7	1	16	6	6	*	*	26	15

Chelifera	*	*	*	*	*	*	2	1	*	*	*	*	*	*
Chimarra	*	*	*	*	2	*	1	*	*	*	*	*	102	42
Chironominae	2	1	11	2	50	3	1	75	15	64	6	20	22	50
Corydalus	*	*	4	*	1	*	9	1	4	1	1	*	1	*
Culoptila	*	*	*	3	1	*	*	*	*	1	4	3	7	*
Cylloepus	*	*	4	2	1	*	4	1	1	2	4	4	*	*
Dryops	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*
Dythemis	*	*	*	*	*	1	*	1	*	*	*	1	*	*
Farrodes	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	9	12
Girardia	2	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*	3	*	*
Grumichella	*	*	1	*	*	*	*	*	4	*	9	1	*	*
Helicopsyche	*	*	*	1	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*
Helobdella	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hemerodromia	*	*	*	4	*	*	*	2	*	*	*	*	2	*
Hetaerina	*	*	1	*	*	*	*	*	1	*	1	*	*	*
Heterelmis	*	1	2	3	3	3	8	1	2	*	1	2	7	*
Hexatoma	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*	*	*
Huleechius	*	*	*	1	1	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Hydrosmilodon	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Lachlania	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Leptohyphes	2	*	27	5	*	*	43	9	*	3	22	4	17	24
Leptonema	2	1	*	12	2	*	28	19	3	*	12	5	*	2
Limnocoris	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*
Limonia	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	1	*	*	*
Limonicola	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Macrelmis	*	*	1	1	*	*	16	4	3	1	1	7	10	16
Microcylloepus	2	*	*	*	1	*	*	*	1	*	*	2	*	2
Molophilus	4	3	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nanomis	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Neoelmis	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Ochrotrichia	*	*	*	*	1	*	*	*	*	1	*	*	*	*
Orthocladiinae	7	18	8	22	204	13	6	91	24	143	10	34	5	5
Phanocerus	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	1
Progomphus	*	*	*	1	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Psephenops	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*
Rhagovelia	*	*	*	1	21	1	*	*	1	*	22	2	43	28
Simulium	1	*	21	3	111	2	4	21	4	2	1	5	1	*
Smicridea	*	*	15	11	1	1	20	12	2	4	16	4	33	42
Sympetrum	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tanypodinae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	3	1
Terpides	*	*	*	*	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Thraulodes	*	*	11	6	2	1	3	2	*	2	6	3	17	27

Traverella	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	13	2
Traverhyphes	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Trepobates	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Tricorythodes	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
Tubifex	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*	*
Varipes	*	*	*	*	*	*	*	5	*	1	*	*	*	2

*ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

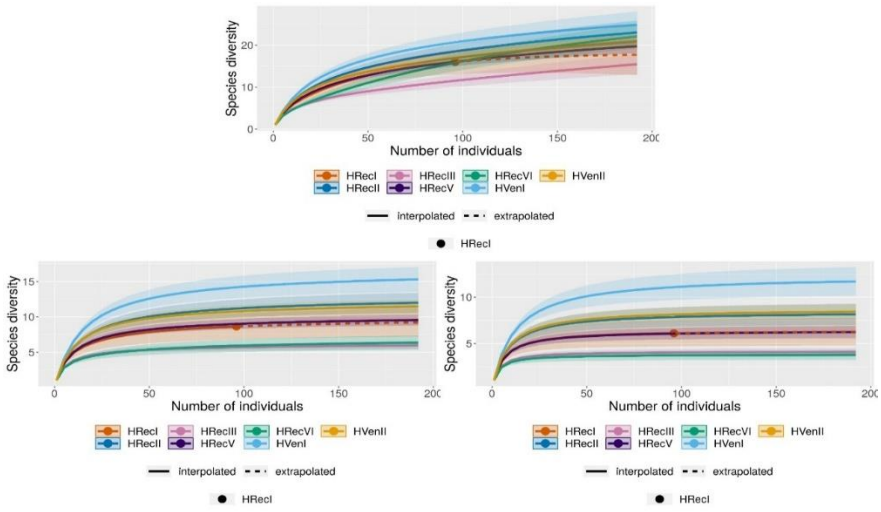
Los generos *Allenhyphes, Atrichopogon, Helobdella, Hetaerina, Hexatoma, Hydrosmilodon, Limnocoris, Limonia, Limonicola, Nanomis, Neoelmis, Psephenops, Sympetrum, Terpides, Traverhyphes* y *Tricorythodes*, se registraron para el muestreo uno, mientras que *Dryops, Dythemis, Helicopsyche, Lachlania, Phanocerus, Trepobates, Tubifex* y *Varipes* se registraron únicamente en el muestreo dos.

35.4.2.5. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio y Venadillo, se puede establecer que los valores de riqueza (0D) registrados fueron bastante similares para todas las estaciones, los cuales oscilan entre 16 y 29 géneros, siendo las estaciones con mayor número de géneros el rio Venadillo (H_Vena_02) con 29, el rio la Yuca (H_Recio_02) y la quebrada Las Animas (H_Recio_05) con 28 respectivamente (**Figura 653**). La grafica de diversidad para este nivel nos muestras que no existen diferencias en cuanto a la diversidad, en la mayoría de las estaciones se alcanzó la asíntota lo cual nos muestra que se colecto la totalidad de géneros teórica, por otro lado, para la Estacion H_Recio_05, se muestra que aún no se colecta la cantidad total de organismos que podrían presentarse allí (Moreno et al.,2011).

Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican un valor más alto en rio Venadillo (H_Vena_01) con 15.7 géneros, seguido del rio La Yuca (H_Recio_02) con 12.5, para estas estaciones no se observan cambios a este nivel de diversidad, los intervalos de confianza no indican diferencias entre las estaciones y la extrapolación muestra que se colectaron la mayor cantidad de géneros para estas estaciones. Por último, de acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento similar al obtenido del q1, los valores de taxones dominantes se encuentran solapados, solo la Estacion rio La Yuca (H_Recio_02), muestran diferencia en este nivel de diversidad por lo que se asume una mayor dominancia en la comunidad registrada en este lugar (Vidal y Romero, 2010).

Figura 653. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

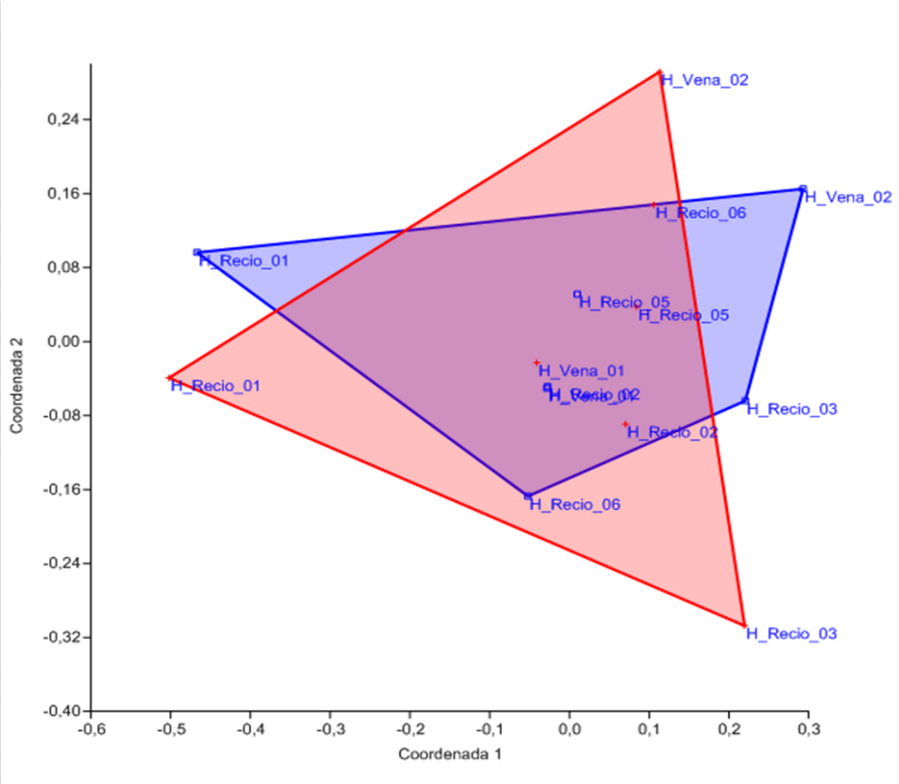
La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Recio y Venadillo tiende a ser heterogénea a nivel espacial, esto se debe a que los cuerpos de agua que lo componen son bastante disimiles con componentes estructurales particulares, los cuales permiten albergar tanto organismos comunes como algunos específicos. Estos cambios permiten que, aunque se presente una composición base muy similar, exista la presencia de una cantidad de géneros sensibles y poco comunes que corresponde al patrón común de diversidad mostrado en estas cuencas (Pérez et al, 2020).

35.4.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, no muestra agrupamientos definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,15) (**Figura 654**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,4).

El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones de un 60%, en los polígonos formados se observan grandes diferencias espaciales entre las estaciones lo que indica que durante los periodos muestreados no hay cambios significativos en la composición y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Se observa que las estaciones H_Recio_01, H_Recio_03 y H_Vena_02, en el segundo muestreo presentan la mayor disimilitud en cuanto a composición, esto se debe a que, durante este periodo, se presentaron afectaciones de tipo natural y artificial que redujeron notablemente la presencia de macroinvertebrados en las estaciones (Vidal y Romero, 2010).

Figura 654. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



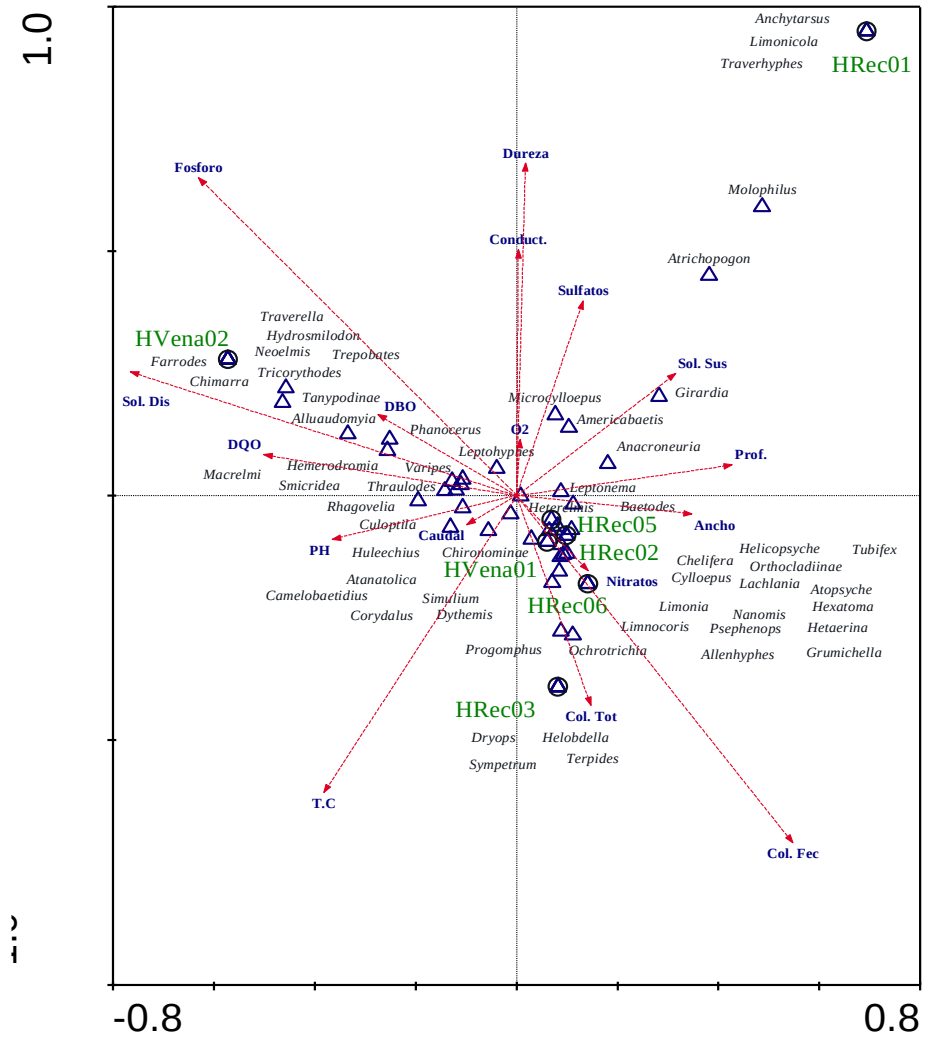
Fuente: Autores (2022).

Las distancias y similitudes están dadas por la presencia y ausencia de los taxones colectados, de este se encontraron como organismos exclusivos del muestreo uno a *Allenhyphes, Atrichopogon, Helobdella, Hetaerina, Hexatoma, Hydrosmilodon, Limnocoris, Limonia, Limonicola, Nanomis, Neoelmis, Psephenops, Sympetrum, Terpides, Traverhyphes* y *Tricorythodes*, mientras que *Dryops, Dythemis, Helicopsyche, Lachlania, Phanocerus, Trepobates, Tubifex* y *Varipes* se presentaron para el muestreo dos.

35.4.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, las variables Fosforo, temperatura, Caudal, solidos disueltos, pH y ancho, tienen efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos (**Figura 655**).

Figura 655. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Recio.



Fuente: Autores (2022).

En general no se encuentran asociaciones claras entre los taxones registrados y las estaciones y variables evaluadas, se observa que la mayoría de las localidades se encuentran muy cercanas, al igual que los géneros, esto indica que la composición en estas zonas es altamente similar, existen algunos casos atípicos como la estación H_Recio_01, que se separa completamente de las demás, dado que presenta una baja cantidad de taxones asociados.

35.4.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col.

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio y Venadillo, exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas (**Tabla 566**).

Tabla 566. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Recio	80	Aceptable	II	45	Dudosa	III
Rio La Yuca	89	Aceptable	II	123	Buena	I
Rio Recio	95	Aceptable	II	60	Dudosa	III
Q. Las Animas	89	Aceptable	II	82	Aceptable	II
Q El Cairo	86	Aceptable	II	74	Aceptable	II
Rio Venadillo	104	Buena	I	92	Aceptable	II
Rio Venadillo	83	Aceptable	II	63	Aceptable	II

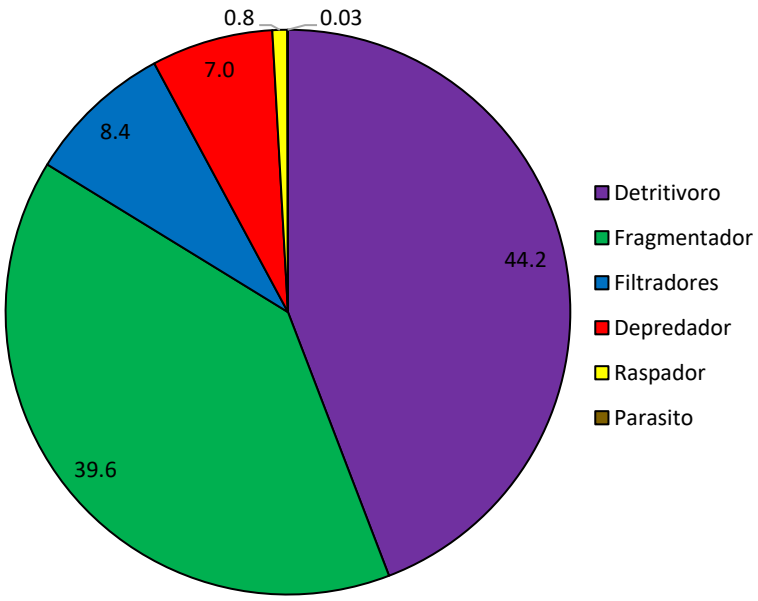
Fuente: Autores (2022).

En ambos muestreos se observa una calidad de agua en su mayoría aceptable en la mayoría de las estaciones de muestreo, esto puede ser producto de que las estaciones se encuentran en puntos alejados de centro urbanos importantes por lo que sus afectaciones antrópicas son reducidas. para el segundo muestreo se presentó un evento en la zona alta, aparentemente producto de actividad volcánica e ingreso de material con altas cargas de azufre o fosforo, lo cual se evidencio en una coloración blanquecina del agua con un fuerte olor a cerillo, lo cual implica un tensor importante para la comunidad en ese periodo (Roldan y Ramirez, 2008). Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada con las presiones naturales y antrópicas que son bastante disimiles en cada una de las estaciones, se establece que la calidad de agua en los ecosistemas que componen la subzona es aceptable, que permite el desarrollo de organismos bioindicadores (Ramirez y Viña, 1998; Esteves, 2011).

35.4.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron cinco gremios tróficos de los cuales el Detritívoro fue el más abundante (44.2%), seguido de fragmentador (39.6%), filtrador (8.4%), depredador (7%), raspador (0.8%) y por último parasito (0.03%) (**Figura 656**, **Figura *597***).

Figura 656. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

La abundancia de estos gremios se relaciona con la cantidad de materiales que transportan los ríos y los tributarios, el aumento en el gremio de los detritívoros se relaciona con la presencia de detritos orgánicos provenientes de actividades naturales como la descomposición de hojarasca y relacionado con aguas domésticas y agrícolas que proveen un abundante recurso que les permite prosperar.

Los organismos fragmentadores tienen un flujo constante de alimento gracias al aporta continuo de hojarasca que ingresa al cuerpo de cuerpo de agua y el aumento en el número de filtradores se relaciona con la cantidad de solidos orgánicos en suspensión, que componen el principal alimento de este tipo de animales. Por otra parte, la poca abundancia de organismos depredadores puede estar relacionada con las modificaciones del caudal, dado que estos animales se movilizan en búsqueda de presas es más probable que sean removidos por la fuerza de la corriente (Sevilla y Villar, 2008).

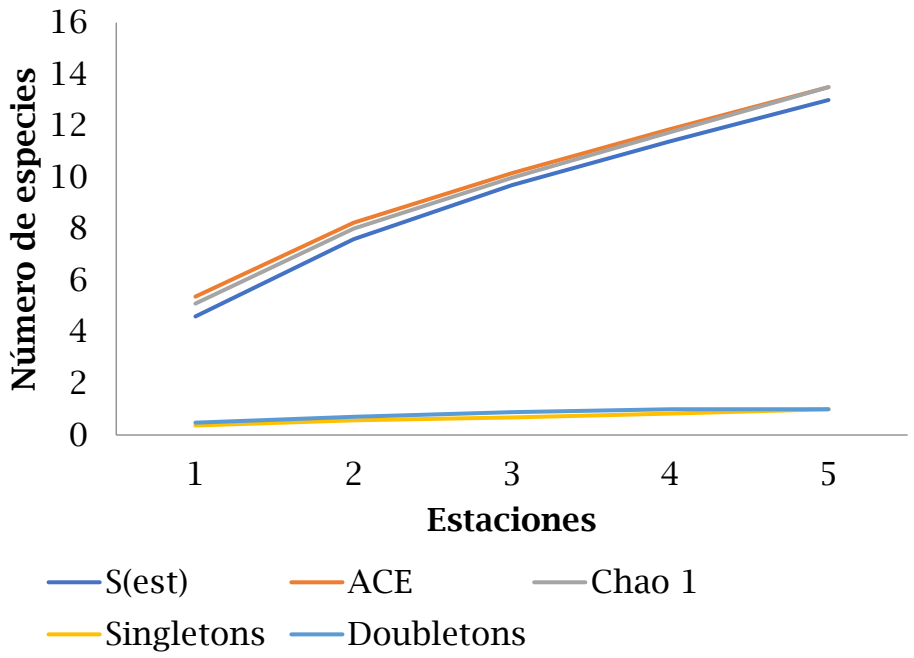
35.4.3. Ictiofauna

35.4.3.1. Representatividad (Rio Recio)

La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Recio con un alto porcentaje de especies capturadas. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 13) corresponde al 100 % de las especies esperadas, es decir, 13 especies, para ambos estimadores.

Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de diez especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Trichomycterus transandianus*) o que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Hypostomus* sp.). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue alto (**Figura 657**).

Figura 657. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Recio.



Fuente: Autores (2021).

35.4.3.2. Composición (Rio Recio)

En la subzona hidrográfica del rio Recio se colectaron 462 individuos (Tabla 4.4.3.1), pertenecientes a 13 especies, distribuidas en cuatro ordenes y seis familias. El orden Siluriformes (AR= 81 %), con 10 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 14 %), Salmoniformes (AR= 1.1 %) y Blenniiformes (AR= 2.8 %) con una especie cada una (**Tabla 567**).

Tabla 567. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Recio.

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Geophagus steindachneri*	13

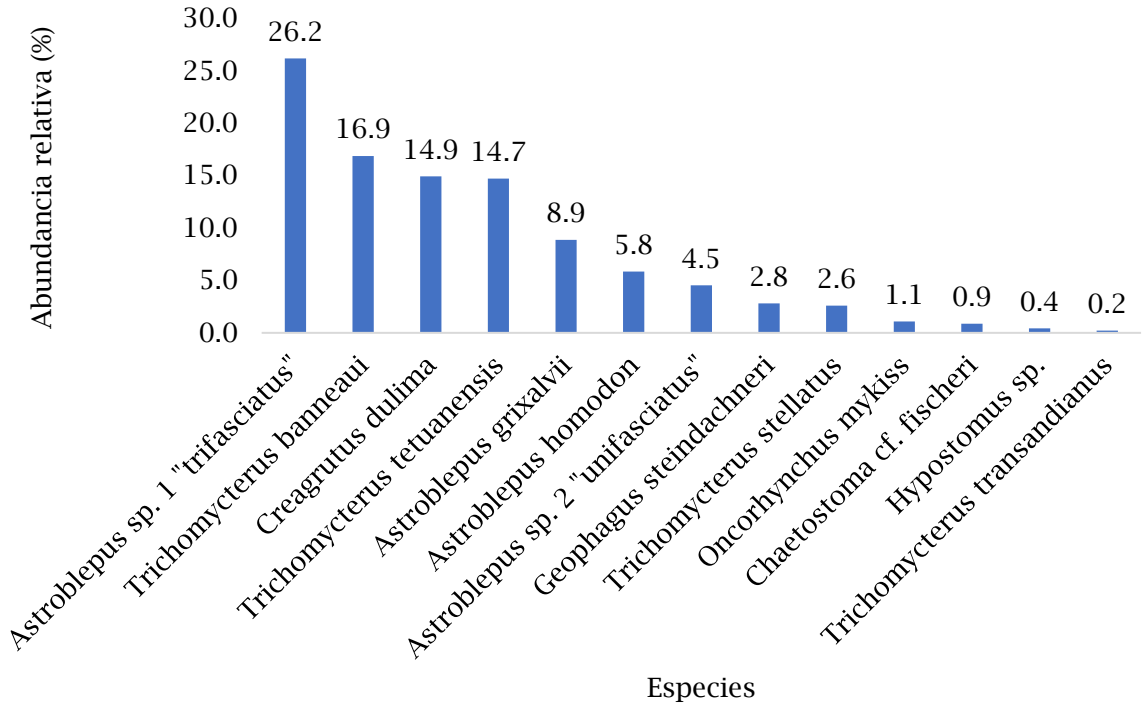
Characiformes	Characidae	*Creagrutus dulima*	69
Salmoniforme	Salmonidae	*Oncorhynchus mykiss*	5
Siluriformes	Astroblepidae	*Astroblepus grixalvii*	41
		Astroblepus homodon	27
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	121
		Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	21
	Loricariidae	*Chaetostoma* cf. *fischeri*	4
		Hypostomus sp.	2
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	78
		Trichomycterus stellatus	12
		Trichomycterus tetuanensis	68
		Trichomycterus transandianus	1

Fuente: Autores (2022).

Con relación al número de especies por familia, Astroblepidae (AR= 45 %) y Trichomycteridae (AR= 34 %) registraron la mayor riqueza con cuatro, seguida de Lorcariidae (AR= 1.3 %) con dos y Characidae (AR= 14 %), Salmonidae (AR= 1.1 %), Cichlidae (AR= 2.8 %) con una especie cada una.

Con respecto a la abundancia de las especies, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus" fue la más abundante con 121 individuos (AR= 26 %), seguida de Trichomycterus banneaui (AR= 16 %), *Creagrutus dulima* (AR= 14.9 %), *Trichomycterus tetuanensis* (AR= 14.7 %) y *Astroblepus grixalvii* (AR= 8.9 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 6 % (**Figura 658**).

Figura 658. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Recio.



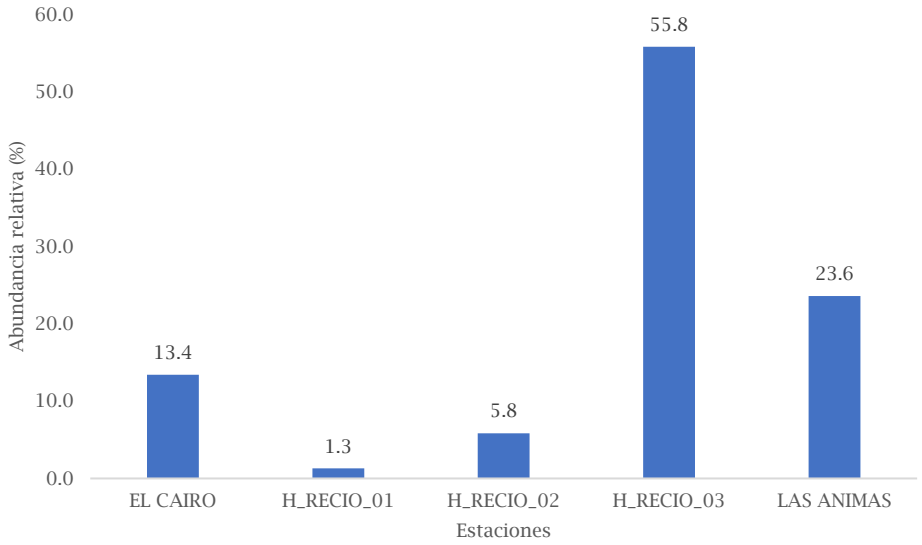
Fuente: Autores (2022).

35.4.3.3. Distribución espacial (Rio Recio)

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-RECIO-03 (Río Recio-511) registró la mayor abundancia con AR= 55 %, seguido de LAS ANIMAS (Quebrada Las Animas-1554) con AR= 23 % , EL CAIRO (Quebrada El Cairo-1521) con AR= 13 %, H-RECIO-02 (Río La Yuca-1013) con AR= 5.8 % y finalmente H-RECIO-01 (Río Recio-2510) con AR= 1.3 % (**Figura 659, Tabla 568**).

Es relevante mencionar que las estaciones se distribuyen entre 511 a 2510 m s.n.m. Es relevante mencionar que Las ANIMAS Y EL CAIRO a pesar de estar ubicado en las zonas altas (>1500 m s.n.m) registraron una alta abundancia de individuos, sin embargo, representadas únicamente por *Astroblepus* spp. y *Trichomcyterus* spp.

Figura 659. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 568. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Recio.

ESPECIE	EL CAIRO	H_RECIO_01	H_RECIO_02	H_RECIO_03	LAS ANIMAS
Geophagus steindachneri	*	*	*	13	*
Creagrutus dulima	*	*	*	69	*
Oncorhynchus mykiss	*	5	*	*	*
Astroblepus grixalvii	21	*	7	*	13
Astroblepus homodon	9	1	*	14	3
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	22	*	17	*	82
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	7	*	3	*	11
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	4	*
Hypostomus sp.	*	*	*	2	*
Trichomycterus banneaui	*	*	*	78	*
Trichomycterus stellatus	2	*	*	10	*
Trichomycterus tetuanensis	*	*	*	68	*
Trichomycterus transandianus	1	*	*	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.4.3.4. Distribución temporal (Rio Recio)

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de las abundancia de la ictiofauna entre las dos muestreos evaluados, es posible observar diez especies (*Trichomycterus banneaui*, *Trichomycterus stellatus*, *Trichomycterus tetuanensis*, *Oncorhynchus mykiss*, *Creagrutus dulima*, *Geophagus steindachneri*, *Astroblepus grixalvii*, *Astroblepus homodon*, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus", *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus") (**Tabla 569,**

Figura 660) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos. Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten la proliferación y mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *Astroblepus* spp. y *Trichomycterus* spp. que son dependientes de sustratos arenosos, rocosos, y aguas moderadamente rápidas y macroinvertebrados acuáticos.

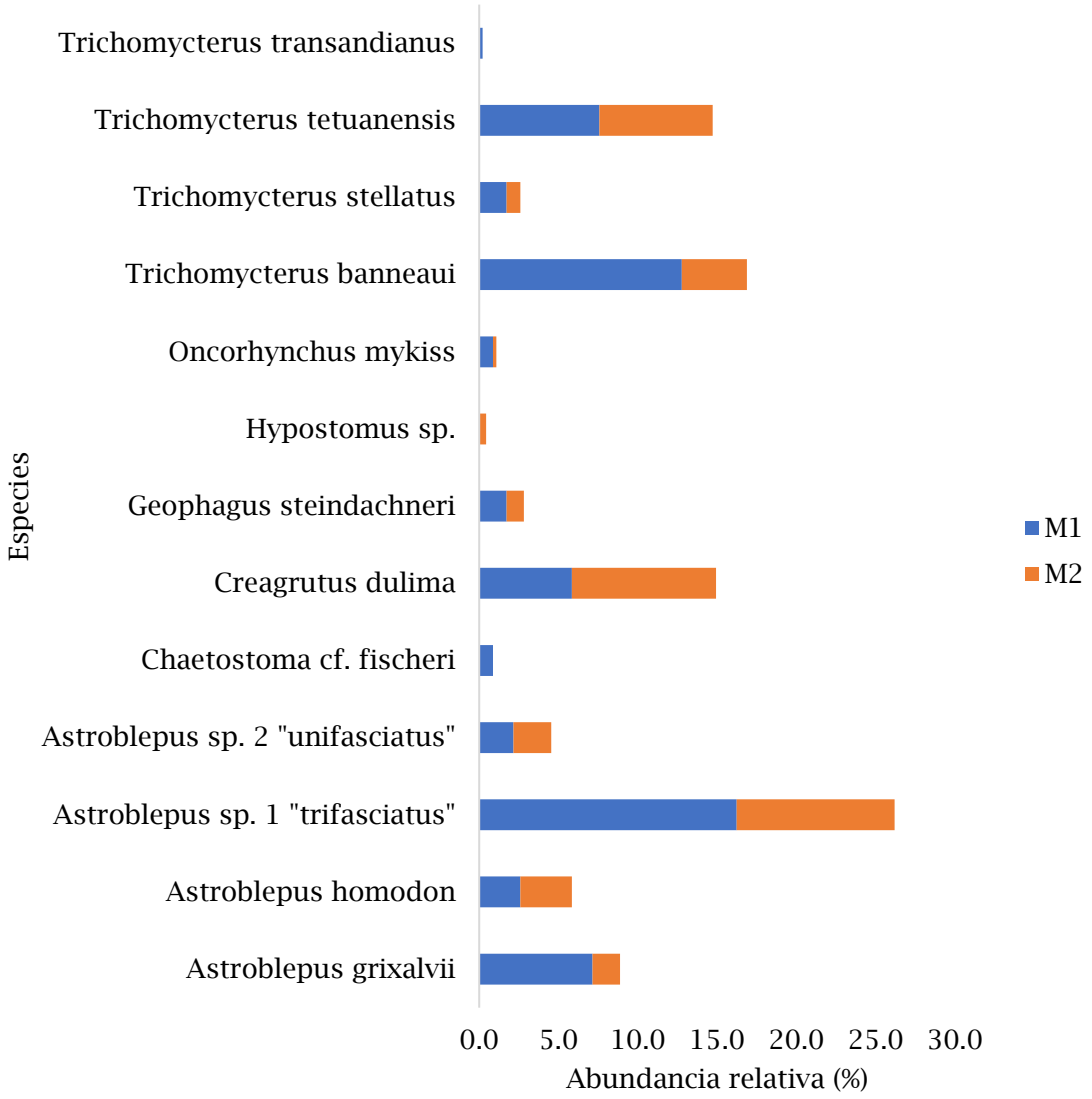
Tabla 569. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Recio.

ESPECIE	M1					M2				
	EL CAIRO	HRECIO01	HRECIO02	HRECIO03	LAS ANIMAS	EL CAIRO	HRECIO01	HRECIO02	HRECIO03	LAS ANIMAS
Geophagus steindachneri	*	*	*	8	*	*	*	*	5	*
Creagrutus dulima	*	*	*	27	*	*	*	*	42	*
Oncorhynchus mykiss	*	4	*	*	*	*	1	*	*	*
Astroblepus grixalvii	16	*	7	*	10	5	*	*	*	3
Astroblepus homodon	4	*	*	5	3	5	1	*	9	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*	*	*	*	75	22	*	17	*	7
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	5	*	1	*	4	2	*	2	*	7
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*
Hypostomus sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*
Trichomycterus banneaui	*	*	*	59	*	*	*	*	19	*
Trichomycterus stellatus	*	*	*	8	*	2	*	*	2	*
Trichomycterus tetuanensis	*	*	*	35	*	*	*	*	33	*
Trichomycterus transandianus	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura, pendiente son variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021).

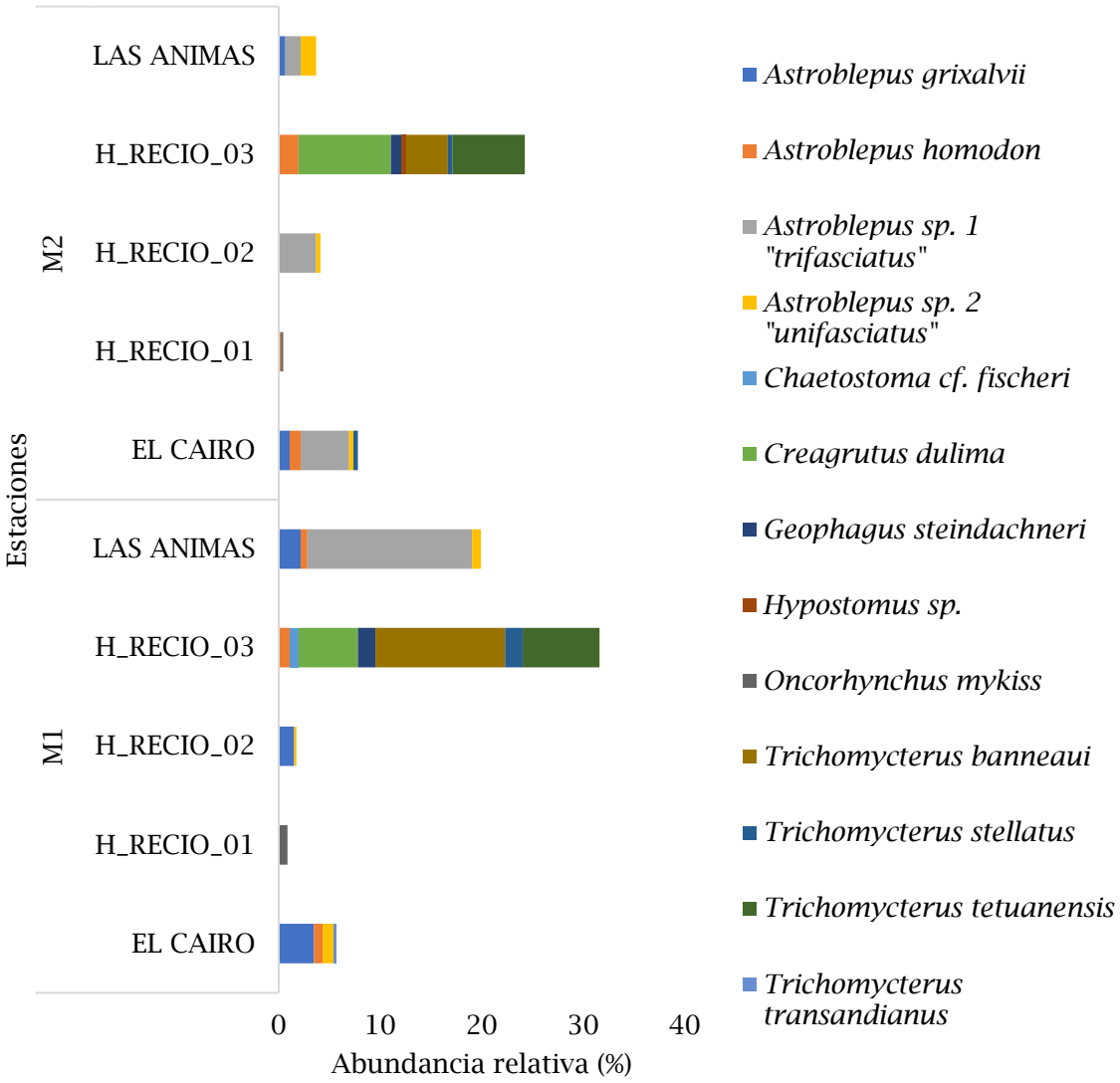
Figura 660. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Para el caso de las estaciones, podemos observar que aquellas que registran mayor numero de individuos, son caracterizadas por especies dominantes. Por ejemplo, H-RECIO-03 registra altos valores de abundancia, sin embargo, tres especies (*T. banneaui*, *T. tetuanensis* y *C. dulima* (**Figura 661**) representan mayoritariamente los ensamblajes y son consideradas dominantes. Por otro lado, estaciones con bajas abundancia son pobres en especies, como el caso de El Cairo y H- RECIO-01.

Figura 661. Distribución de la abundancia relativa de las especies en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



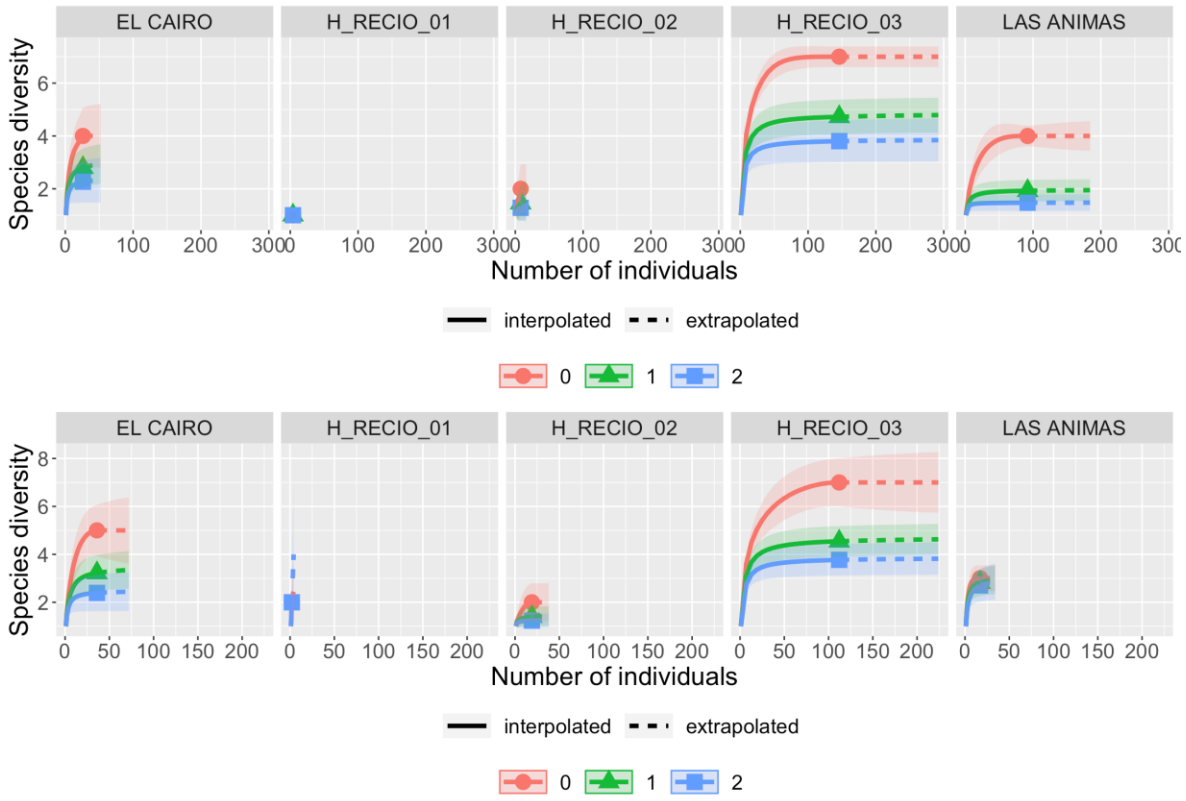
Fuente: Autores (2022).

35.4.3.5. Diversidad (Rio Recio)

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-RECIO-03, LAS ANIMAS Y EL CAIRO en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 4 y 7 especies. Las restantes estaciones registraron valores inferiores a dos (**Figura 662**). Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-RECIO-03, LAS ANIMAS Y EL CAIRO son claramente más diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Recio, a pesar de que hubo una disminución en LAS ANIMAS en el segundo monitoreo. En estas estaciones las especies comunes tienen mayor

equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones, particularmente en la estación H-RECIO-03.

Figura 662. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 durante el primer monitoreo se encontró que la estación H-RECIO-03 tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 4,72, seguida de El CAIRO con 2,80, LAS ANIMAS con 1,92 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Por su parte, las estaciones H-RECIO-02 y H-RECIO-01 tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad de 1,45 y 1,0 especies efectivas. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-RECIO-03 es 1,6 veces más diversa en especies de peces de El CAIRO, y 2,4 veces más diversa que LAS ANIMAS. Asimismo, es H-RECIO-03 es 3,8 veces más diversa que H-RECIO-02 y H-RECIO-01.

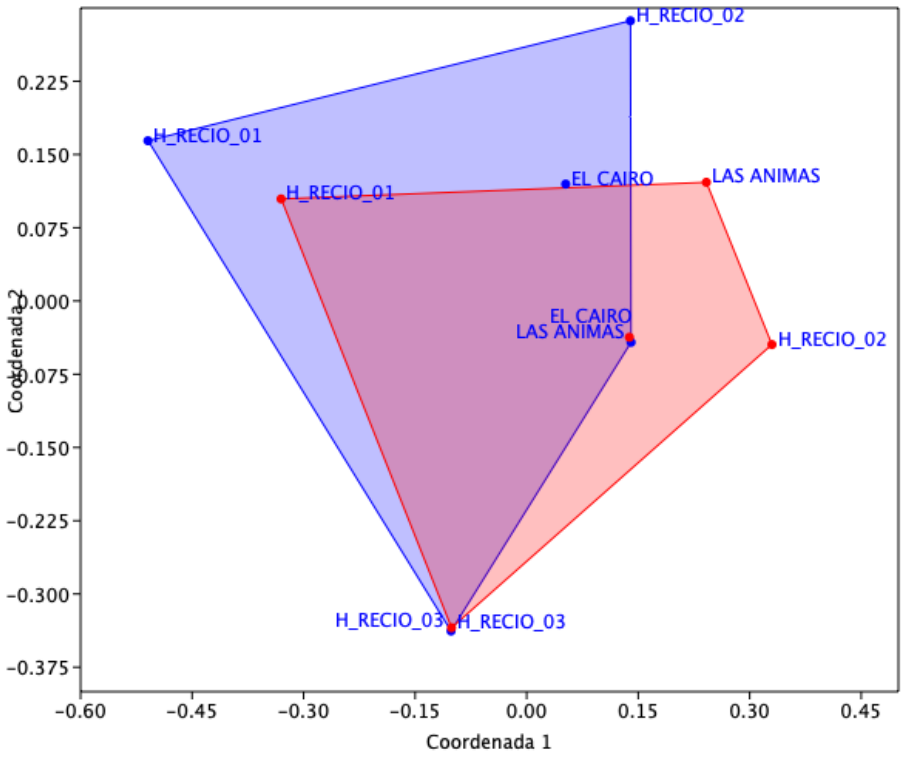
Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los

aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

35.4.3.6. Ensamblaje (Rio Recio)

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.23), permitieron observar que no existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM (p>0.05). Según el diagrama de ordenación, se observa que se comparten diversas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada. Por tanto, no existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 663**).

Figura 663. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

35.4.3.7. Relaciones fisicoquímicas (Rio Recio)

De acuerdo al análisis de correlación de Spearman (ρ), tres variables químicas del agua (Sulfatos, Solidos disueltos y Conductividad eléctrica) fueron excluidas del análisis por registrar una alta correlación estadística (ρ > 0.75 y p-valor < 0.05) (**Figura 664**). Es decir,

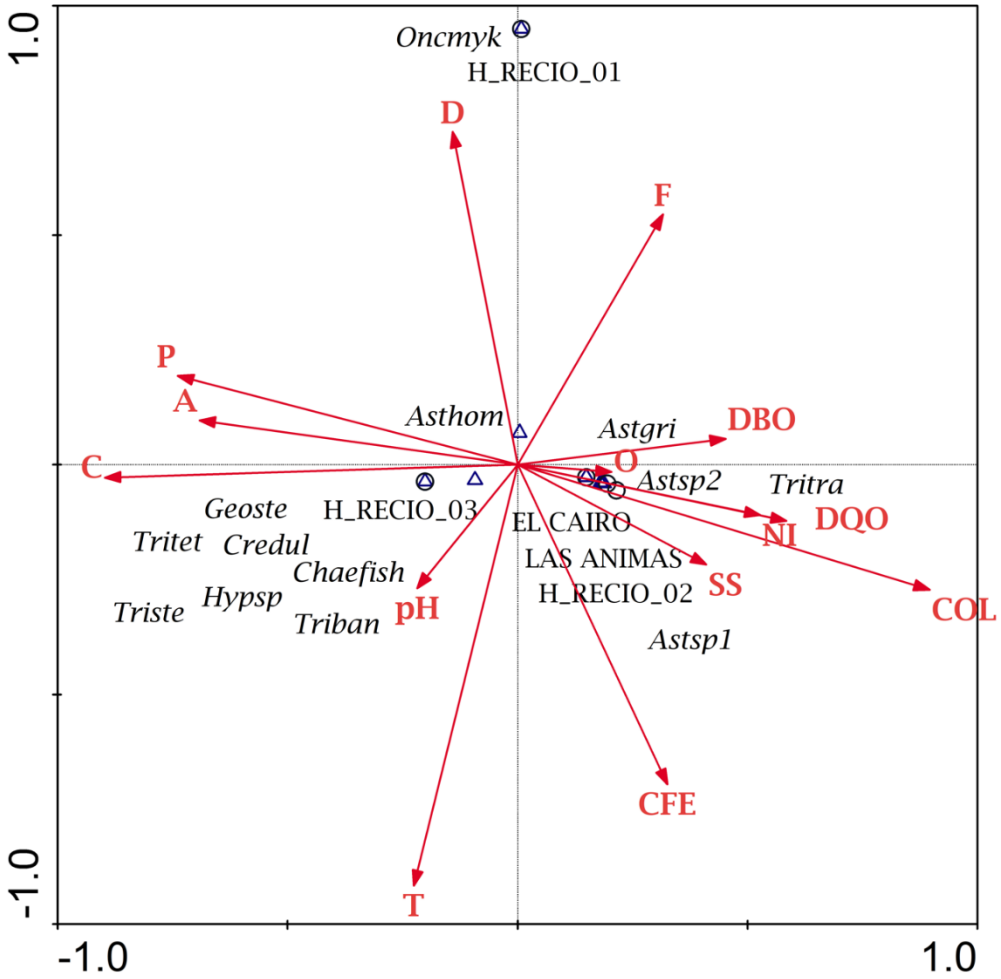
existe un alta multicolinealidad de las variables excluidas que durante el análisis multivariable podrían generar ruido y afectar los resultados.

Figura 664. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio.

Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxigeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 94 % de la variación total de los datos. En el eje x, una variable química del agua, coliformes totales (p-valor<0.05) (**Figura 665***)*, influyó de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. Asimismo, se asoció positivamente a H-RECIO-02, Las animas y El Cairo, y a las especies *A. grixalvii*, *Astroblepus* sp.2, *Astroblepus* sp.1 y *T. banneaui*. Las estaciones se registraron entre 1000 y 1500 m s.n.m y registraron altos valores de coliformes totales. Lo anterior indica contaminación acuática (contaminación fecal) debido a drenaje de aguas residuales. Las estaciones pertenecen a las quebradas El Cairo, Las Animas y La Yuca. Durante el monitoreo fue posible observar depósito de aguas residuales de poblaciones rurales. La presencia de un ensamblaje pobre en especies y con presencia únicamente *Astroblepus* spp. y *T. banneaui* podría ser un indicador del disturbio generado por la contaminación acuática. Asimismo, se percibe que las especies registraran pueden tolerar estos valores de contaminación y explica la baja diversidad de hábitats y peces.

Figura 665. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Recio.



Fuente: Autores (2022).

Por otro lado, en el eje y, la temperatura (T) influyó de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. Asimismo, se asoció negativamente a H-RECIO-01 y *O. mykiss*. Los bajos valores la temperatura y cuerpos de agua poco profundos y anchos se relaciona con la cantidad de luz y la cobertura vegetal riparia. Esta estación se encuentra a 2500 m s.n.m, es decir zonas de alta montaña. Zonas caracterizadas por sus condiciones hostiles debido a aguas rápidas, frías y baja heterogeneidad de sustratos (Poveda-Cuellar et al., 2021). La estación H-RECIO-01 se caracterizó por registrar únicamente la especie introducida *O. mykiss*. Según ISSG (Invasive Species Specialist Group) *O. mykiss* es una especie que ha generado hibridación con especies nativas, transmisión d enfermedades, depredación y competencia.

35.4.3.8. Distribución de tallas y relación longitud-peso (Rio Recio)

Se analizó un total de 360 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Recio, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). En relación a la longitud y peso promedio se observa que en todas las especies hubo una ligera disminución durante el segundo monitoreo. Complementariamente, en relación a la distribución de las frecuencias de tallas se observa una estructuración temporal, es decir, una parte de las especies evaluadas como es el caso de *Geophagus steindachneri*, *Astroblepus homodon*, *Astroblepus homodon* y *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus" registraron una mayor frecuencia de tallas pequeñas durante el segundo monitoreo, es decir, individuos juveniles fueron registrados (Figura 4.4.3.8.1). En cambio, la otra parte compuesta por *Creagrutus dulima* y *Trichomycterus tetuanensis* registraron mayores frecuencias de juveniles durante el primer monitoreo. Finalmente, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus" no registró variaciones temporales, es decir, se colectaros juveniles y adultos en ambos monitoreos.

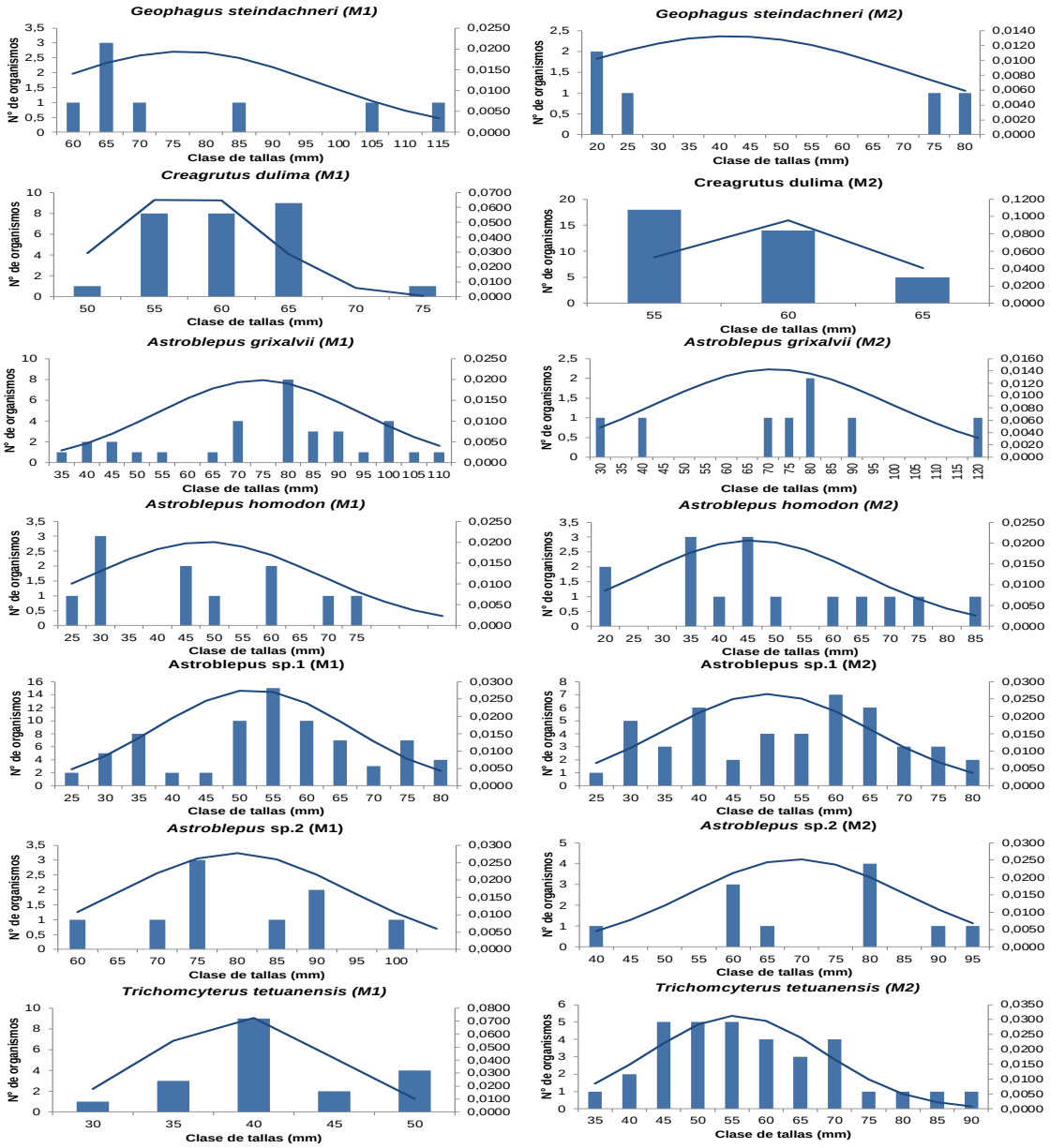
Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Recio, algunos individuos de las especies analizadas se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Además, la relación fue distinta entre los monitoreos. Aportando información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies, tales como el diario y el lunar (Galzin, 1987; Shapiro, 1991). Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional de las especies analizadas debido a que la mayoría de las especies en el neotropico cumplen estas relaciones.

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condición permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes (**Figura 666**).

Figura 666. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *Geophagus steindachneri*, *Creagrutus dulima*, *Astroblepus grixalvii*, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus", *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus" *Astroblepus homodon*, *Trichomycterus banneaui* y *Trichomycterus tetuanensis* fueron las únicas especies que contaron con un número mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal. Por tanto, observamos que existe una ligera disminución de K en el segundo monitoreo, a excepción de Astroblepus sp. 1 "trifasciatus" donde se observó un aumento.

Además, registramos un crecimiento alométrico positivo (b> 3), en ambos monitoreros y todas las especies, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951). Cuando esto ocurre se transfiere energía almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así que, podemos inferir que la especie se encontraba en reproducción o proceso de reproducción durante en ambos monitoreos (**Tabla 570**).

Tabla 570. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Recio.

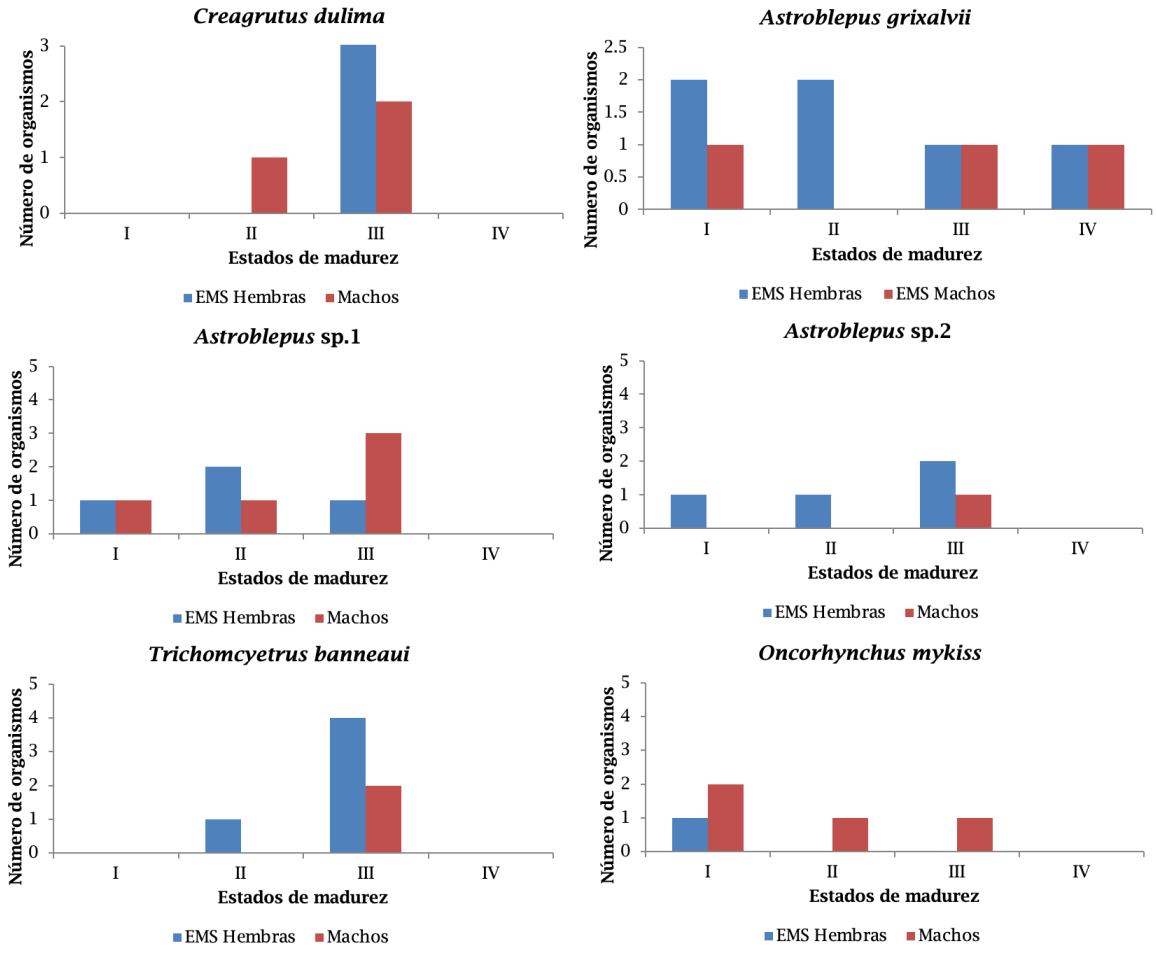
Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Geophagus steindachneri	M1	8	76,5	7,4	3,1	9E-06
Geophagus steindachneri	M2	5	41,8	2,3	3,2	6E-06
Creagrutus dulima	M1	27	57,5	2,0	3,9	2E-07
Creagrutus dulima	M2	42	54,5	1,5	3,4	2E-06
Astroblepus grixalvii	M1	33	74,2	5,5	3,1	6E-06
Astroblepus grixalvii	M2	8	71,2	4,6	3,1	5E-06
Astroblepus homodon	M1	12	48,4	1,7	3,1	8E-06
Astroblepus homodon	M2	15	45,7	1,5	3,3	3E-06
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	M1	75	52,0	1,8	3,0	1E-05
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	M2	46	50,1	1,6	3,2	5E-06
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	M1	10	74,8	4,4	3,1	7E-06
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	M2	11	69,3	3,5	3,3	2E-06
Trichomycterus banneaui	M1	59	39,1	0,4	3,6	7E-07
Trichomycterus banneaui	M2	19	39,2	0,3	3,7	4E-07
Trichomycterus tetuanensis	M1	35	58,6	1,7	3,2	3E-06
Trichomycterus tetuanensis	M2	33	55,7	1,3	3,2	2E-06

Fuente: Autores (2022).

35.4.3.9. Análisis trófico y reproductivo (Rio Recio)

En relación con el análisis reproductivo, fueron analizados 46 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Recio. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo número de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas se observaron variaciones en los estados de madurez sexual, con similar proporción de sexos. En cuanto a las especies, en *Creagrutus dulima* y *T. banneaui* la mayoría de los individuos estuvieron en estado de madurez sexual EMS III, es decir, se encontraban en época reproductiva. Las demás especies, registraron mayoritariamente individuos en estado de madurez sexual EMS I y II o en proceso de desarrollo gonadal (**Figura 667**).

Figura 667. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Astroblepus grixalvii, Creagrutus dulima, Astroblepus sp.1, Astroblepus sp.2, Trichomcyterus banneaui y Oncorrhynchus mykiss*. I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Ecología trófica

Se analizaron 46 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1. En total se encontraron 17 ítems alimenticios, de los cuales cuatro (Restos de insectos, materia orgánica no indentificada-MONI, Ephemeroptera y Chironomidae) fueron considerados preferenciales y los restantes en correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y seucndarios según (Yañez- Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013). Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como Omnívoro-Invertívoro (*Creagrutus dulima*), Invertívoro (*A. grixalvii*, *Astroblepus* sp.1, *Astroblepus* sp.2). El gremio trofico Invertívoro son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos. Omnívoro-Invertívoro comprenden especies se alimentan de

material particulado asociados al fondo e invertebrados acuáticos (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 668**).

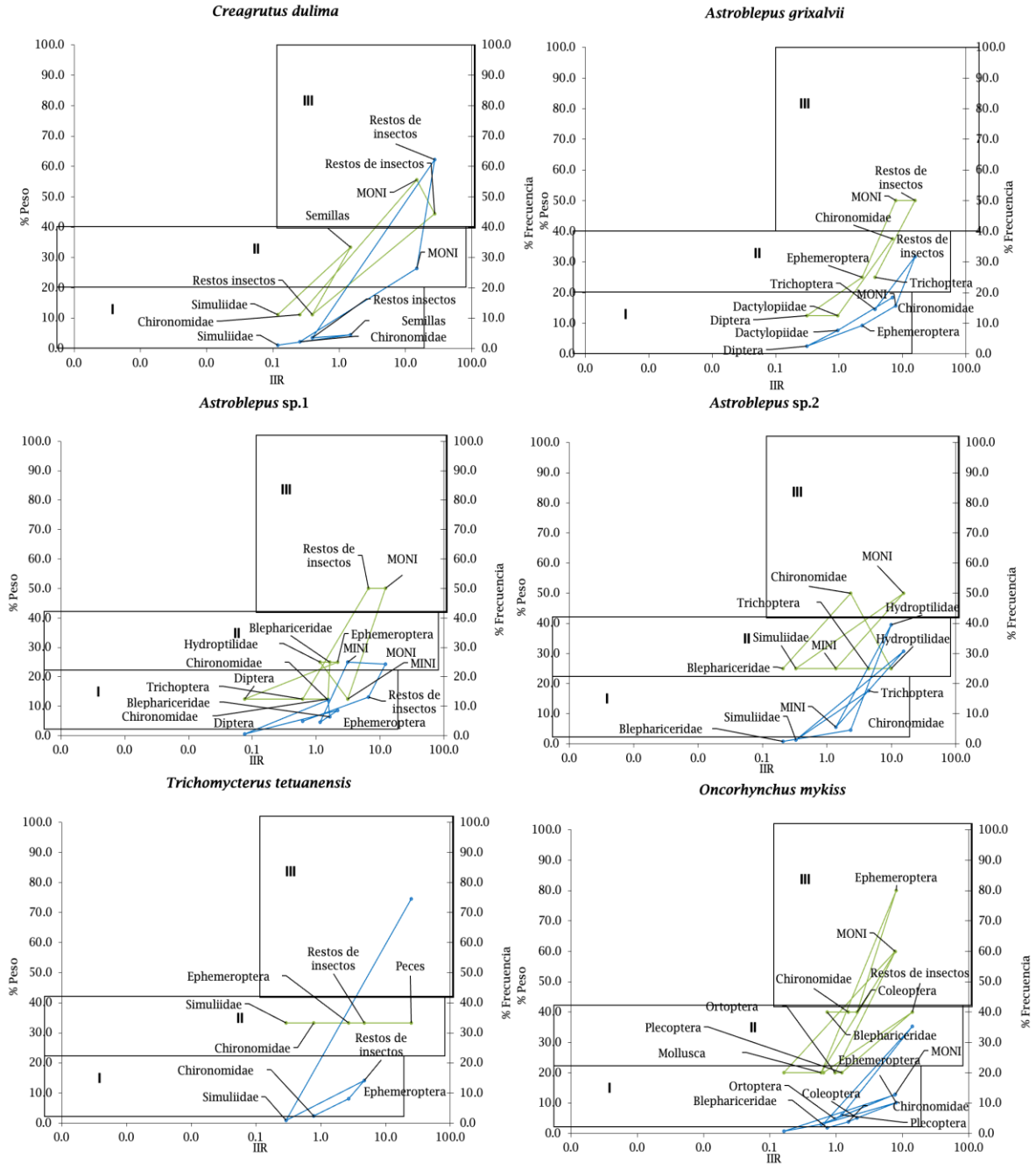
35.4.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones (Rio Recio)

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Recio son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca (*Chaetostoma* cf. *fischeri*) y ornamentales (*Geophagus steindachneri*). Asimismo, se registra una especie introducida, trucha (*Oncorhynchus mykiss*). Por otro lado, ninguna especie se encuentra en categoría de amenaza según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), pero si en preocupación menor (UICN) (**Tabla 571**).

La subzona hidrográfica del rio Recio representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces, así como fuente de abastecimiento de distritos de riego para la agricultura. Sin embargo, se han registrado impactos ambientales que generan disturbios como deforestación, modificación de suelos para agricultura y ganadería (Lozano et al., 2009). Asimismo, se registraron ingreso de aguas negras provenientes de las localidades aledañas, desechos industriales y extracción de arena que generan disturbios sobre la fauna acuática.

Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región.

Figura 668. Espectro trófico de *Astroblepus grixalvii, Creagrutus dulima, Astroblepus sp.1, Astroblepus sp.2, Trichomcyterus banneaui y Oncorrhynchus mykiss* de la subzona hidrográfica del río Recio.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 571. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Recio.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	categoría UICN/ Libro Rojo

Geophagus steindachneri			Ornamental	
Creagrutus dulima	*			
Oncorhynchus mykiss		*		
Astroblepus grixalvii	*			LC
Astroblepus homodon	*			LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*			LC
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	*			LC
Chaetostoma cf. *fischeri*			Pesca	LC
Trichomycterus banneaui	*			LC
Trichomycterus stellatus	*			LC
Trichomycterus tetuanensis	*			
Hypostomus sp.	*			
Trichomycterus transandianus	*			

Fuente: Autores (2022).

De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica mas actualizados en la subzona hidrográfica del rio Recio. Estudios anteriores (Lozano et al., 2009) sobre la cuenca del río Recio sobre algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de aproximadamente 21 especies. Valores superiores al reportado en el presente estudio (13 spp).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los órdenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 81 %), con 10 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 14 %), Salmoniformes (AR= 1.1 %) y Blenniiformes (AR= 2.8 %) con una especie cada una siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Lozano et al., 2009; Villa et al., 2003, 2007, 2010, Poveda-Cuellar, 2020).

De las estaciones evaluadas, se registraron 13 especies, la cuales representan el 61 % de las especies del río Recio (Lozano et al., 2009) y 11 % del Alto Magdalena (García-Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. El bajo número de especies con respecto a Lozano et al., 2009 se explica por dos razones. La primera, por diferencias en la cobertura y esfuerzo de muestreo. Lozano et al., 2009 colectaron en más estaciones de muestreo. Y la segunda, por el aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático. Esto afecta la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta última, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

En cuanto a las especies, se registró Trucha arcoíris (*Onchorynchus mykiss*), también registrada por Lozano et al., 2009. A pesar de que registrar un bajo número de individuos es indicador de que la especies permanece en el tiempo y se ha establecido como población viable, es decir, consigue reproducirse. Esta especie se registró en las zonas altas de la subzona hidrográfica del rio Recio coexistiendo con especies de *Astroblepus* spp.

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae y Salmonidae se registradas en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Trichomcyteridae, Cichlidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas. Es asi que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que a pesar de registrar una baja diversidad, comparativamente con estudios previos en la cuenca, los peces del rio Recio se encuentran mayoritariamente en rápidos, remansos, sustratos rocosos y arenosos con hojarasca y troncos como es el caso de *Astroblepus* spp y *Chaetostoma* cf. *fischeri* y *Trichomycterus* spp. Estas especies (*Astroblepus* spp.), Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

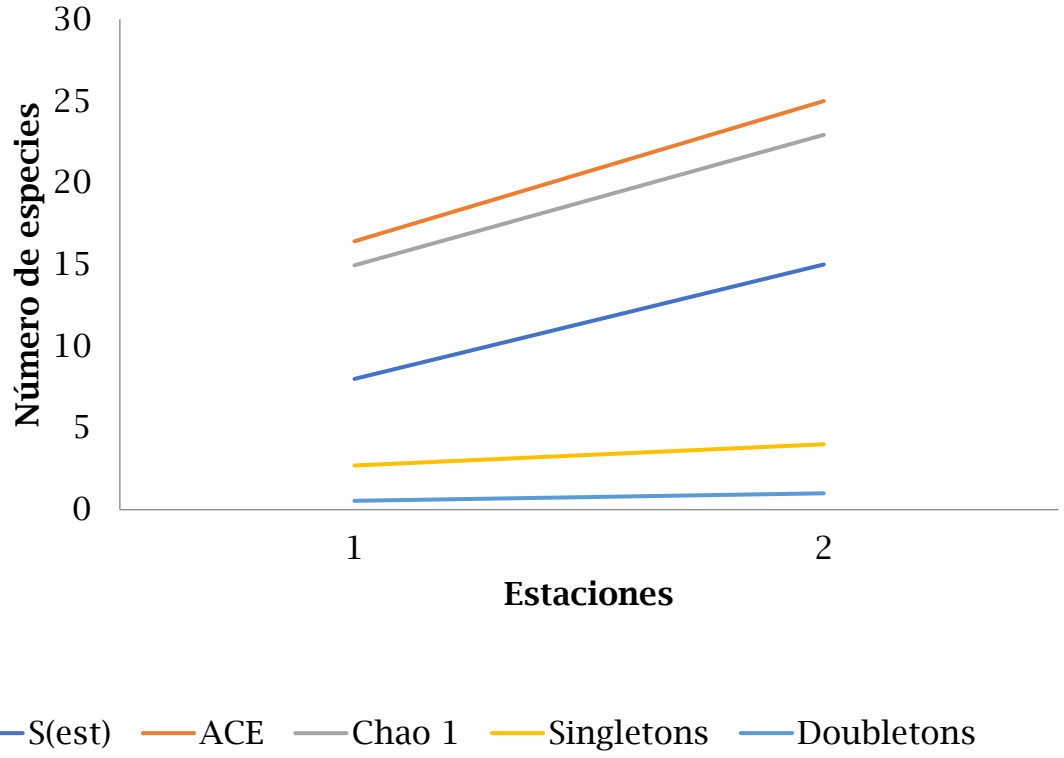
Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte,

la especie introducida que refleja una utilidad económica por las poblaciones aledañas, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

35.4.3.11. Representatividad (Río Venadillo)

La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Venadillo. Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue bajo. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 15) corresponde al 60 % y 68 % de las especies esperadas, es decir, 25 y 22 especies, respectivamente. Esto puede explicarse porque los estimadores de riqueza son sensibles en comunidades donde hay muchas especies con baja frecuencia de captura, es decir abundancia (**Figura 669**).

Figura 669. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Venadillo.



Fuente: Autores (2021)

Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de diez especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Creagrutus magdalenae*, *Parodon* sp., *Prochilodus magdalenae* y Heptapteridae gen. nov.) o que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Argopleura magdalenensis*). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, sin embargo, se recomienda aumentar el esfuerzo para aumentar el porcentaje de representatividad de las especies de peces en el área de estudio debido que es bajo.

35.4.3.12. Composición (Río Venadillo)

En la subzona hidrográfica del rio Venadillo se colectaron 117 individuos, pertenecientes a 15 especies, distribuidas en dos órdenes y siete familias. El orden Siluriformes (AR= 61 %), con ocho especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 38 %) con siete (**Tabla 572**).

Tabla 572. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Venadillo

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Characiformes	Characidae	*Argopleura magdalenensis*	2

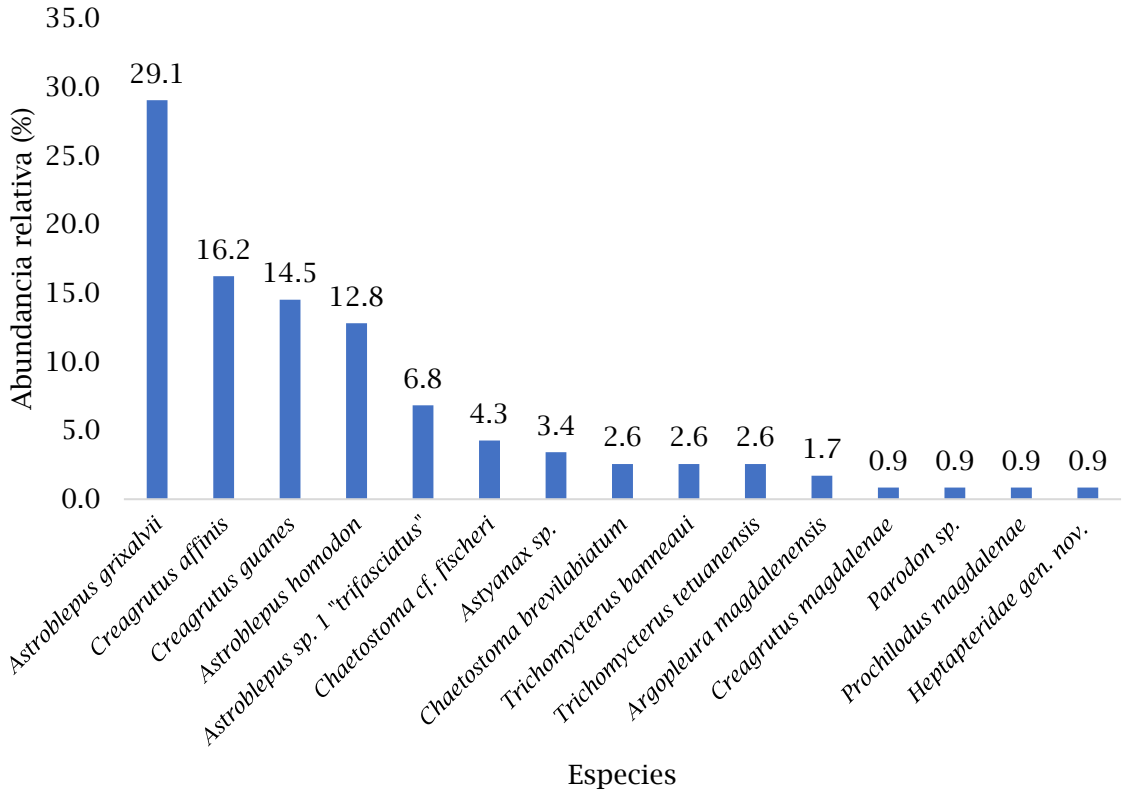
		Astyanax sp.	4
		Creagrutus affinis	19
		Creagrutus guanes	17
		Creagrutus magdalenae	1
	Parodontidae	*Parodon* sp.	1
	Prochilodontidae	*Prochilodus magdalenae*	1
Siluriformes	Astroblepidae	*Astroblepus grixalvii*	34
		Astroblepus homodon	15
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	8
	Heptapteridae	Heptapteridae gen. nov.	1
	Loricariidae	*Chaetostoma brevilabiatum*	3
		Chaetostoma cf. *fischeri*	5
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	3
		Trichomycterus tetuanensis	3

Fuente: Autores (2022).

Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 36 %) registró la mayor riqueza con cinco, seguida de Astroblepidae (AR= 48 %) con tres, Trichomycteridae (AR= 5 %) y Loricariidae con dos (AR= 6.8 %) y Parodontidae (AR= 0.9 %), Prochilodontidae (AR= 0.9 %) y Heptapteridae (AR= 0.9 %) con una.

Con respecto a la abundancia de las especies, *Astroblepus grixalvii* fue la más abundante con 34 individuos (AR= 29 %), seguida de *Creagrutus affinis* (AR= 21 %), *Creagrutus guanes* (AR= 10 %), *Astroblepus homodon* (AR= 10 %), *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus" (AR= 10 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 5 % (**Figura 670**).

Figura 670. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

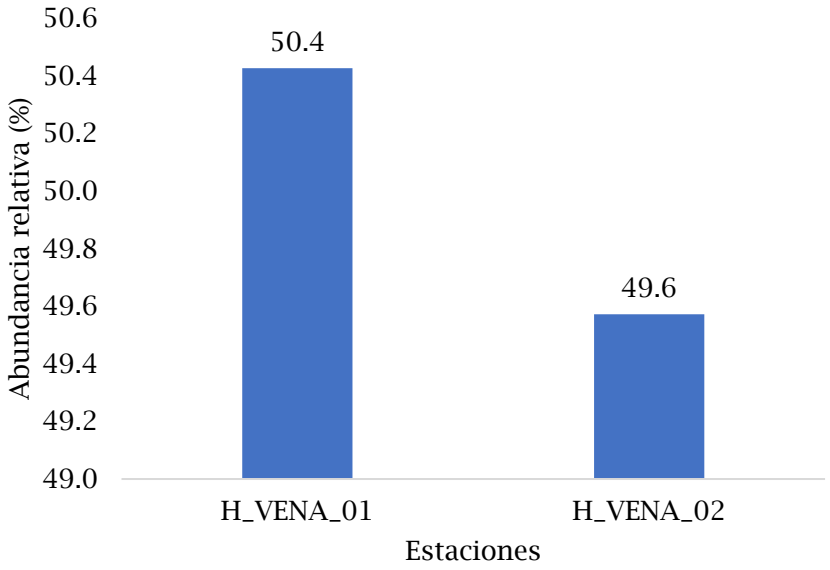


Fue: Autores (2022).

35.4.3.13. Distribución espacial (Río Venadillo)

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-VENA-01 (Río Venadillo-1274) registró la mayor abundancia con AR= 38 %, seguido de H-VENA-02 (Río Venadillo-262) con AR= 29 % (**Figura 671**, **Tabla 573**). Las demás estaciones se distribuyen entre 262 a 1274 m s.n.m.

Figura 671. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 573. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

ESPECIE	H_VENA_01	H_VENA_02
Argopleura magdalenensis	*	2
Astyanax sp.	*	4
Creagrutus affinis	*	19
Creagrutus guanes	*	17
Creagrutus magdalenae	*	1
Parodon sp.	*	1
Prochilodus magdalenae	*	1
Astroblepus grixalvii	34	*
Astroblepus homodon	14	1
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	8	*
Heptapteridae gen. nov.	*	1
Chaetostoma brevilabiatum	*	3
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	5
Trichomycterus banneaui	*	3
Trichomycterus tetuanensis	3	*

Fuente: Autores (2022).

35.4.3.14. Distribución temporal (Río Venadillo)

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de la abundancia de la ictiofauna entre los dos muestreos evaluados, es posible observar cuatro especies (*Trichomycterus banneaui*, *Astroblepus grixalvii*, *Astroblepus homodon*, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus") comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos (**Tabla 574**, **Figura 672**). Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten el mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *T. banneaui* y *Astroblepus* spp. que es dependiente se sustratos arenosos, rocosos, aguas moderadamente rápidas y macroinvertebrados acuáticos.

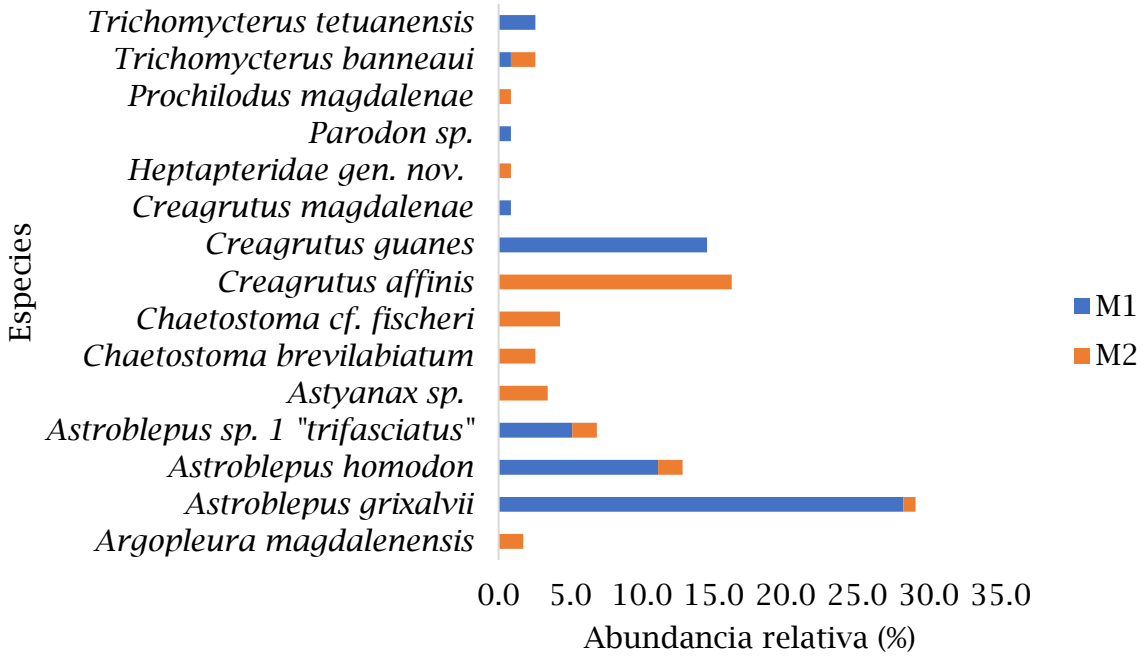
Tabla 574. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Venadillo.

	M1		M2	
ESPECIE	H_VENA_01	H_VENA_02	H_VENA_01	H_VENA_02
Argopleura magdalenensis	*	*	*	2
Astyanax sp.	*	*	*	4
Creagrutus affinis	*	*	*	19
Creagrutus guanes	*	17	*	*
Creagrutus magdalenae	*	1	*	*
Parodon sp.	*	1	*	*
Prochilodus magdalenae	*	*	*	1
Astroblepus grixalvii	33	*	1	*
Astroblepus homodon	13	*	1	1
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	6	*	2	*
Heptapteridae gen. nov.	*	*	*	1
Chaetostoma brevilabiatum	*	*	*	3
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	*	5
Trichomycterus banneaui	*	1	*	2
Trichomycterus tetuanensis	3	*	*	*

Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia son variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021).

Figura 672. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

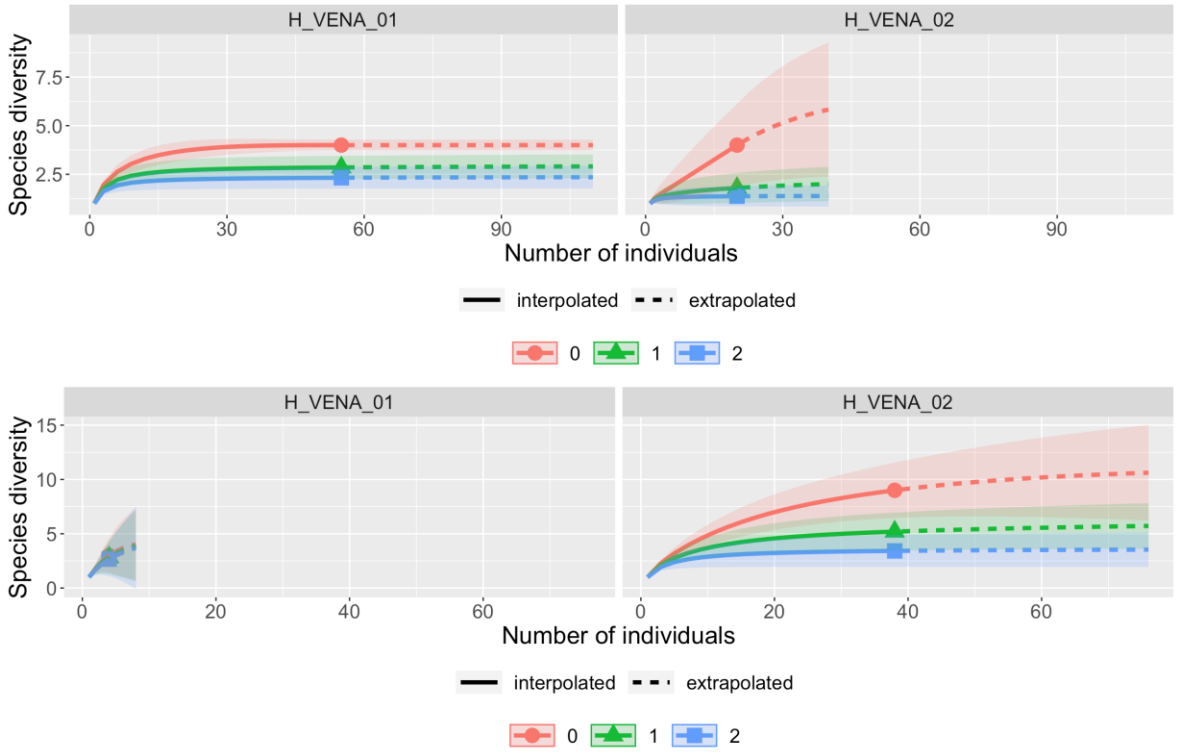
35.4.3.15. Diversidad (Río Venadillo)

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-VENA-02, seguido de H-VENA-01 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 4 y 10 especies. Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la relación inversa, es decir H-VENA-01 registró menos mayores valores que en relación con H-VENA-01 (**Figura 673**). Es decir, H-VENA-02 a pesar de registrar mayor riqueza, algunas de esas especies son dominantes. Asimismo, se registró una disminución de los valores de diversidad para H-VENA-01 durante el segundo monitoreo, pero un aumento para H-VENA-02. Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-VENA-01 tienen una diversidad promedio igual a la que tendría una comunidad teórica de 2,85 y H-VENA-02 de 1,79 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-VENA-01 es 3,09 veces más diversa en especies de peces que H-VENA-02.

Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los

aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

Figura 673. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

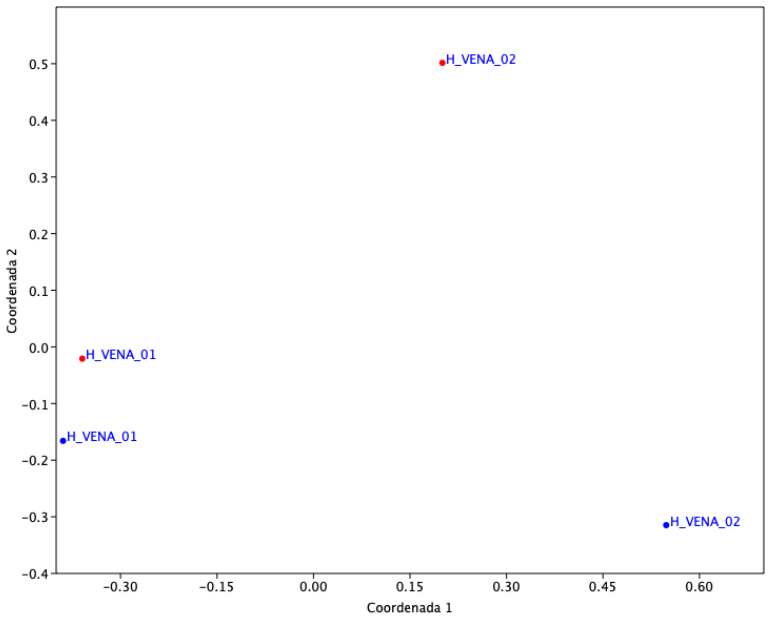
35.4.3.16. Ensamblaje (Río Venadillo)

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.10), permitieron observar que no existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM (p>0.05) (**Figura 674**). Según el diagrama de ordenación, se observa que se comparten diversas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada.

Por tanto, no existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (Figura x). Sin embargo, la estación H-VENA-02 se diferencia en términos de composición y estructura entre ambos monitoreos debido a que existen especies exclusivas que se colectaron únicamente en algunos de monitoreos, pero no en ambos. Por ejemplo, durante el primer monitoreo se colectaron *Creagrutus*

magdalenae, *Creagrutus guanes* y *Parodo*n sp. que no se registraron una vez terminado el segundo monitoreo.

Figura 674. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



35.4.3.17. Relación con variables fisicoquímicas (Río Venadillo).

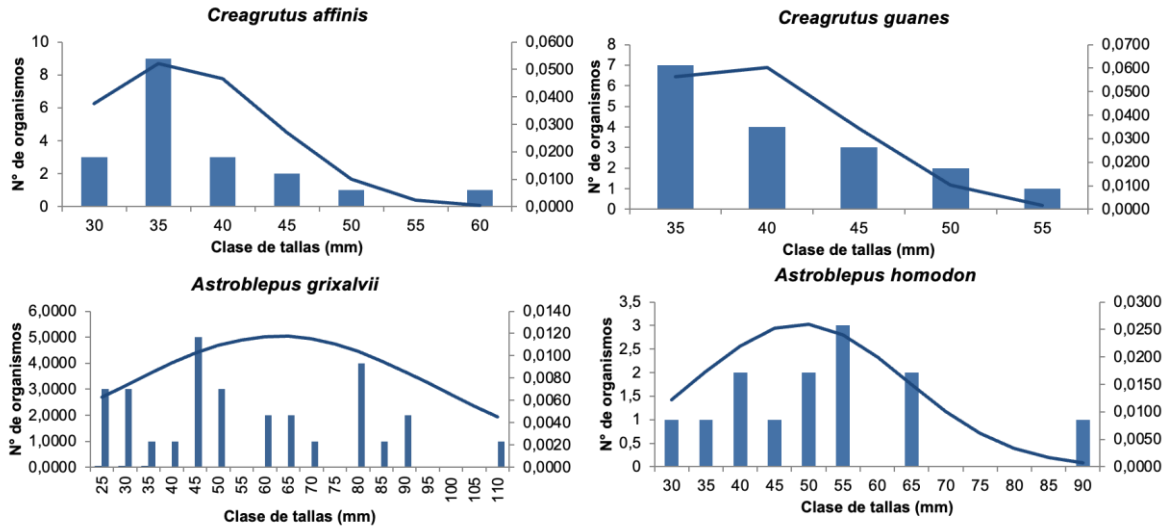
La matriz de correlación de Spearman (ρ) y el análisis de correspondencia canónica (ACC) no se pudieron realizar debido al bajo numero de estaciones evaluadas en la subzona hidrográfica del río Venadillo. Operacionalmente se requieren mínimo tres estaciones para ejecutar los análisis.

35.4.3.18. Distribución de frecuencias de talla y relación longitud-peso (Río Venadillo)

Se analizó un total de 85 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Venadillo, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). En todas las especies evaluadas se registraron variaciones en valores de longitud y peso promedio lo cual obedece a diferencias interespecificas. En cuanto a la variación intraespecifica, se observa que algunos individuos, es especial aquellos de tallas superiores, por ejemplo, *C. affinis* (>50 mm) se encontraban en proceso de desarrollo gonadal. En el caso de *A. grixalvii* y *A. homodon* se observa que la clase de talla con mayor frecuencia fueron 45 y 55 mm, respectivamente, correspondiente a juveniles (**Figura 675**). Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Si bien, no se puede establecer procesos de reclutamiento a nivel poblacional porque no se analizaron muestras temporalmente por falta de un número

mínimo para estos análisis se siguiere estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

Figura 675. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Venadillo.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condición permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de las especies evaluadas no contaron con un número mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal.

En términos generales, se observa que en todas las especies se registra crecimiento alométrico positivo en el primer monitoreo, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951) (**Tabla 575**). Es posible que estas especies estén preparándose para la reproducción y esté ocurriendo una transferencia de energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción.

Tabla 575. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Venadillo.

Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Creagrutus affinis	M2	19	36,2	0,4	3,6	9E-07
Creagrutus guanes	M1	17	38,0	0,5	3,0	9E-06
Astroblepus grixalvii	M1	33	63,1	5,1	3,2	4E-06
Astroblepus homodon	M1	13	48,8	1,4	3,3	3E-06

Fuente: Autores (2022).

35.4.3.19. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones (Río Venadillo)

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Venadillo son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de los cuchos (*Chaetostoma* cf. *fischeri*), sardinas (*Astyanax* sp.), bocachico (*Prochilodus magdalenae*) (**Figura 676**). Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Venadillo. Por otro lado, *Prochilodus magdalenae* se encuentra en estatus de Vulnerable según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), y las demás en preocupación menor (UICN).

La especie *Prochilodus magdalenae* es migratoria y de importancia comercial. También, detritívora y considerada importantes dentro de la red trófica, debido a que re-incorpora la energía contenida en el fango y detrito característicos de ambientes lenticos (Benedito-Cecilio et al., 2000; Bowen, 1984). Asimismo, registra migraciones medianas, longitudinales y locales, por tanto, su ciclo reproductivo y de materia sucede parcialmente sobre la cuenca del rio Venadillo según lo reportado en este estudio.

La subzona hidrográfica del rio Venadillo representan un importante afluente que drena directamente en la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Además, algunos impactos ambientales como asentamientos urbanos, agricultura intensiva y ganadería (Lopez-Delgado, 2013) que generan impactos sobre las comunidades acuáticas que deben ser medidos para entender sus impactos y permitir tomar decisiones para su conservación y gestión ambiental.

Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que

es un importe subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región.

Figura 676. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Venadillo.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	categoría UICN/ Libro Rojo
Argopleura magdalenensis					
Astroblepus grixalvii	*				LC
Astroblepus homodon	*				LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*				LC
Astyanax sp.				Pesca	
Chaetostoma brevilabiatum	*				
Chaetostoma cf. *fischeri*				Pesca	LC
Creagrutus affinis					LC
Creagrutus guanes	*				LC
Creagrutus magdalenae	*				LC
Heptapteridae gen. nov.	*				
Parodon sp.	*				
Prochilodus magdalenae	*		Mediana, longitudinal y local	Pesca	VU
Trichomycterus banneaui	*				LC
Trichomycterus tetuanensis	*				

Fuente: Autores (2022).

De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica más actualizados en la subzona hidrográfica del rio Venadillo. Estudios anteriores (Lopez-Delgado, 2013) sobre la cuenca del río Venadillo sobre algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de aproximadamente 34 especies. Valores superiores al reportado en el presente estudio (15 spp).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los órdenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 81 %), con 10 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 14 %), Salmoniformes (AR= 1.1 %) y Blenniiformes (AR= 2.8 %) con una especie cada una siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Lopez-Delgado, 2013; Villa et al., 2003, 2007, 2010, Poveda-Cuellar, 2020).

De las estaciones evaluadas, se registraron 15 especies, la cuales representan el 44 % de las especies del río Venadillo (Lopez-Delgado, 2013) y 13 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. El bajo número de especies con respecto a

Lopez-Delgado, 2013 se explica por dos razones. La primera, por diferencias en la cobertura y esfuerzo de muestreo. Lopez-Delgado, 2013, realizó muestreos temporales y cuatro estaciones. Y la segunda, por el aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático. Esto afecta la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta última, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae y Trichomycteridae se registradas en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas (i.e, H_VENA_01). Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Parodontidae, Procholodontidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas. Es asi que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que, a pesar de registrar una baja diversidad, comparativamente con estudios previos en la cuenca, los peces del rio Venadillo se encuentran mayoritariamente en rápidos y sustratos rocosos como es el caso de Astroblepus spp. Estas especies, Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos sólidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

Por otro lado, *Chaetostoma* spp. caracterizada por rasgos funcionales asociados hábitos como preferencias a rápidos, sustratos rocosos, disco oral en forma de ventosa, alto numero de branquiespinas y ramoneadores de perifiton (Zuñiga et al., 2020, Poveda-Cuellar et al., 2021) permiten explicar la presencia en zonas bajas, como H_VENA_02.

Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

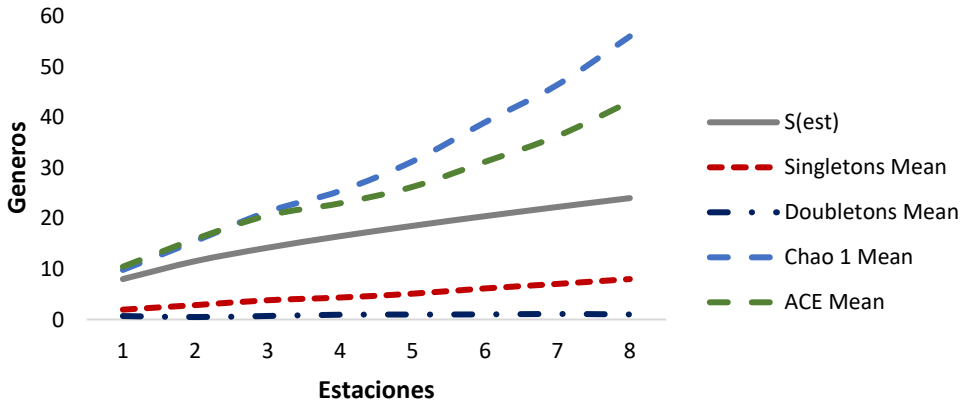
35.5. Subzona hidrográfica del río Lagunilla.

35.5.1. Perifiton

35.5.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 24 géneros observados (Sobs) en ocho estaciones evaluadas (cuatro en la subzona durante dos temporadas), estas especies representan el 56% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 43% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 56 géneros (**Figura 677**).

Figura 677. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



Fuente: Autores (2022).

Estos resultados son indicativos de una eficiencia de muestreo regular, posiblemente relacionada con el bajo número de sitios evaluados en la subzona hidrográfica y a la elevada aparición de taxones con un solo individuo (singletons). En la **Figura 677** se observa como la curva de acumulación de especies, continúa creciendo de forma exponencial, los cual es indicativo de que se necesitan más campañas de muestreo con

el fin tener una estimación más precisa de la comunidad perifítica en esta subzona.

35.5.1.2. Composición

Se colectaron 1433 individuos/mm^2 distribuidos en seis filos, ocho clases, 17 órdenes, 22 familias y 24 géneros (**Tabla *576.*** Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.**Tabla 576**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 845 individuos/mm^2 (58.9%) seguida de la clase Cyanophyceae con 535 individuos/mm^2 (37.3%). Esta configuración de abundancia sigue el patrón de composición que se presenta en las cuencas andinas, en los cuales las especies algales dominantes pertenecen a la clase Bacillariophycea. Estos organismos son comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, debido a que se caracterizan principalmente por tener una nutrición heterotrófica facultativa, sobrevivir en ambientes con baja luminosidad y segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003). Con relación a los órdenes Cymbellales, y Oscillatoriales representaron aproximadamente el 81.1% de los organismos registrados. (**Figura 678**), los órdenes restantes registraron densidades menores al 7% de la densidad total.

Tabla 576. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

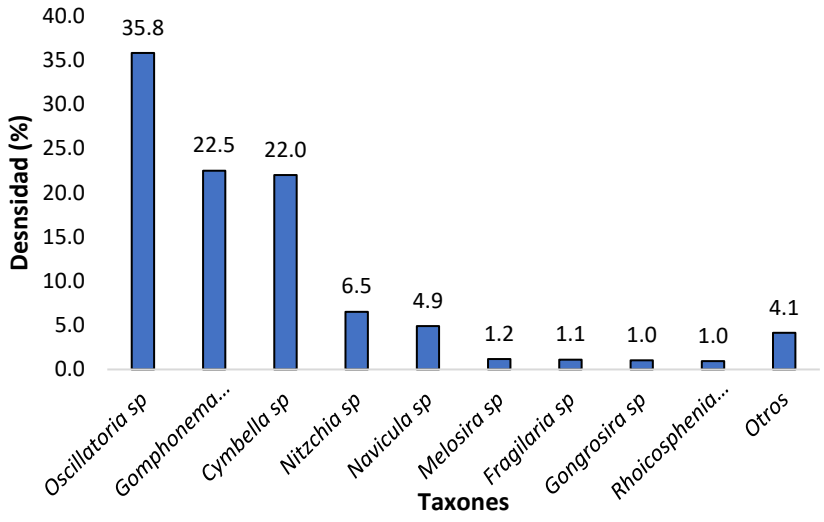
Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	*Chironomidae sp*	1
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzchia sp*	93
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	315
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	322
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	14
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	16
				Synedra sp	13
		Naviculales	Diploneidaceae	*Diploneis sp*	1
			Naviculaceae	*Navicula sp*	70
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Epithemia sp*	1
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella sp*	1
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	17
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium sp*	1
	Zygnematophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	*Spirogyra sp*	2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Gongrosira sp*	15
				Stigeoclonium sp	8
		Sphaeropleales	Scenedesmaceae	*Desmodesmus sp*	1
			Selenastraceae	*Monoraphidium sp*	4
			Treubariaceae	*Treubaria sp*	4

Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	*Gleocapsa sp*	1
		Nostocales	Nostocaceae	*Anabaena sp*	11
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	512
		Synechococcales	Pseudanabaenaceae	*Pseudoanabaena sp*	11
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella sp*	1

Fuente: Autores (2022).

En esta subzona hidrográfica el taxon más abundante fue *Oscillatoria* sp perteneciente a la clase Cyanophyceae, estos organismos pertenecen al grupo de las cianobacterias y son indicativos de aguas con altas cargas de materia organica y nutrientes que permiten que este taxon incremente sus densidades rápidamente (Ramírez 2000). Los taxones *Gomphonema sp y Cymbella sp*, fueron los siguientes en abundancia Segun Ramírez y Viña (1998), los organismos de esta clase están perfectamente adaptados a cuerpos de agua con velocidades rápidas, debido a que poseen algunas estructuras las cuales les permiten segregar sustancias mucilaginosas, que les permiten sujetarse a los diferentes sustratos y así soportar las fuertes corrientes características de estos tipos de ecosistemas acuáticos.

Figura 678. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

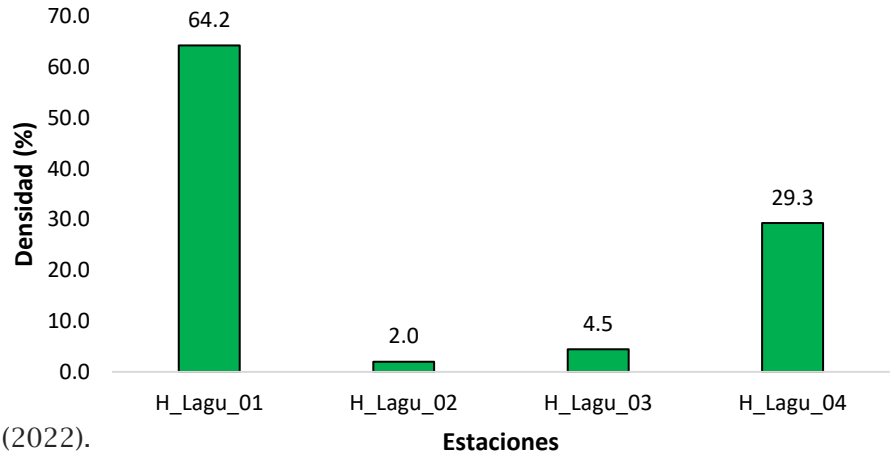


Fuente: Autores (2022).

35.5.1.3. Distribución espacial

Se establecieron cuatro estaciones de muestreo, de las cuales la mayor densidad fue registrada en el río Lagunillas-Libano (H_Lagu_01) con un 64.2%, seguido por la estación río Lagunillas-Ambalema (H_Lagu_04) con 29.3%. Por otro lado, la estación que obtuvo el menor porcentaje de densidad relativa fue el río Azufrado (H_Lagu_02) con el 2% (**Figura 679**, **Tabla 577**).

Figura 679. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 577. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

Especie	H_Lagu_01	H_Lagu_02	H_Lagu_03	H_Lagu_04
Anabaena sp	0	0	0	11
Arcella sp	0	0	1	0
Chironomidae sp	1	0	0	0
Cosmarium sp	0	0	0	1
Cymbella sp	167	0	0	148
Desmodesmus sp	0	0	1	0
Diploneis sp	0	1	0	0
Epithemia sp	0	0	0	1
Fragilaria sp	3	0	3	10
Gleocapsa sp	0	0	1	0
Gomphonema sp	291	6	6	20
Gongrosira sp	0	0	0	15
Melosira sp	0	0	0	17
Monoraphidium sp	0	0	0	4
Navicula sp	23	1	10	36
Nitzchia sp	11	4	28	51
Oscillatoria sp	417	18	12	66

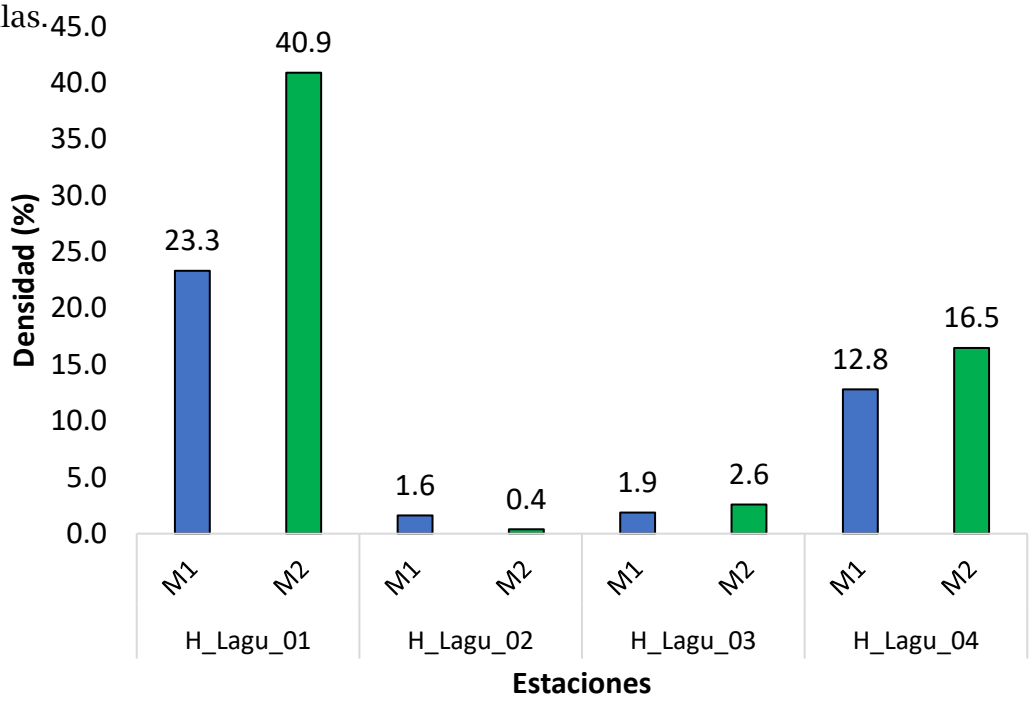
Pseudoanabaena sp	0	0	0	11
Rhoicosphenia sp	6	0	0	7
Spirogyra sp	0	0	2	0
Stigeoclonium sp	1	0	0	7
Surirella sp	0	0	0	1
Synedra sp	1	0	1	11
Treubaria sp	0	0	0	4

Fuente: Autores (2022).

35.5.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos, fue registrada durante el muestreo M2 realizado durante la época de bajas precipitaciones en la cual se observó un bajo caudal y pocas precipitaciones que permitieron la colonización de un mayor número de individuos. A nivel temporal, se evidencia que las estaciones río Lagunillas-Libano (H_Lagu_01) y río Lagunillas-Ambalema (H_Lagu_04) registraron la mayor densidad relativa durante ambas épocas de muestreo (**Figura 680**, **Tabla 578**).

Figura 680. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 578. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

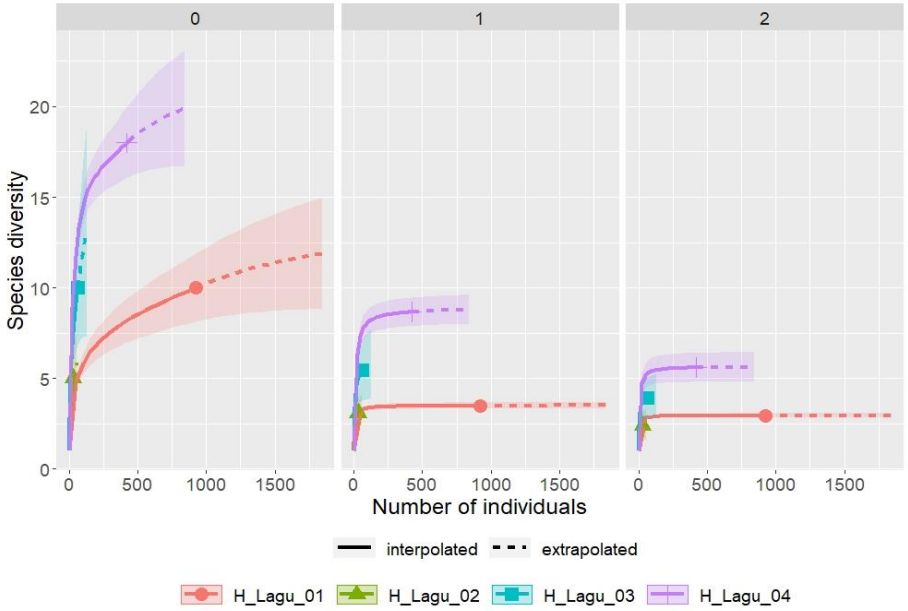
	H_Lagu_01		H_Lagu_02		H_Lagu_03		H_Lagu_04	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Anabaena sp	0	0	0	0	0	0	11	0
Arcella sp	0	0	0	0	1	0	0	0
Chironomidae sp	0	1	0	0	0	0	0	0
Cosmarium sp	0	0	0	0	0	0	1	0
Cymbella sp	14	153	0	0	0	0	74	74
Desmodesmus sp	0	0	0	0	1	0	0	0
Diploneis sp	0	0	1	0	0	0	0	0
Epithemia sp	0	0	0	0	0	0	1	0
Fragilaria sp	1	2	0	0	0	3	6	4
Gleocapsa sp	0	0	0	0	1	0	0	0
Gomphonema sp	13	278	2	4	2	4	9	11
Gongrosira sp	0	0	0	0	0	0	15	0
Melosira sp	0	0	0	0	0	0	3	14
Monoraphidium sp	0	0	0	0	0	0	4	0
Navicula sp	16	7	0	1	2	8	9	27
Nitzchia sp	6	5	4	0	13	15	10	41
Oscillatoria sp	278	139	17	1	7	5	9	57
Pseudoanabaena sp	0	0	0	0	0	0	11	0
Rhoicosphenia sp	6	0	0	0	0	0	7	0
Spirogyra sp	0	0	0	0	0	2	0	0
Stigeoclonium sp	0	1	0	0	0	0	6	1
Surirella sp	0	0	0	0	0	0	1	0
Synedra sp	0	1	0	0	0	1	4	7
Treubaria sp	0	0	0	0	0	0	4	0

Fuente: Autores (2022).

35.5.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D), número de especies típicas (1D) y especies dominantes (2D), se determinó que las estaciones río Lagunillas-Ambalema (H_Lagu_04) y río Bledo-Lérida (H_Lagu_03), fueron significativamente más diversas en la subzona hidrográfica del río lagunillas (**Figura 681**). La estación río Lagunillas-Líbano (H_Lagu_01) fue la menos diversa.

Figura 681. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

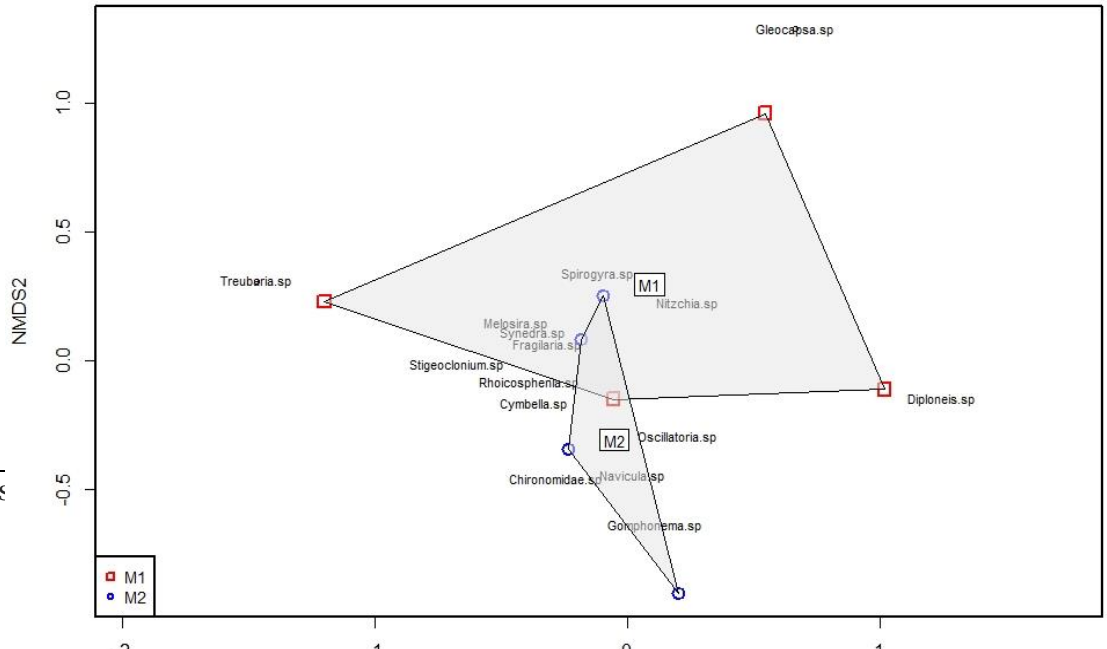


Fuente: Autores (2022).

35.5.1.6. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad en las épocas evaluadas (ANOSIM, p>0.05) (**Figura *682***). Por lo que las comunidades perifíticas son estables y se mantiene en el tiempo en las localidades evaluadas. Algunos taxones como *Treubaria sp, Gleocapsa sp y Diploneis sp*, fueron más comunes durante la época de altas precipitaciones (M1).

Figura 682. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



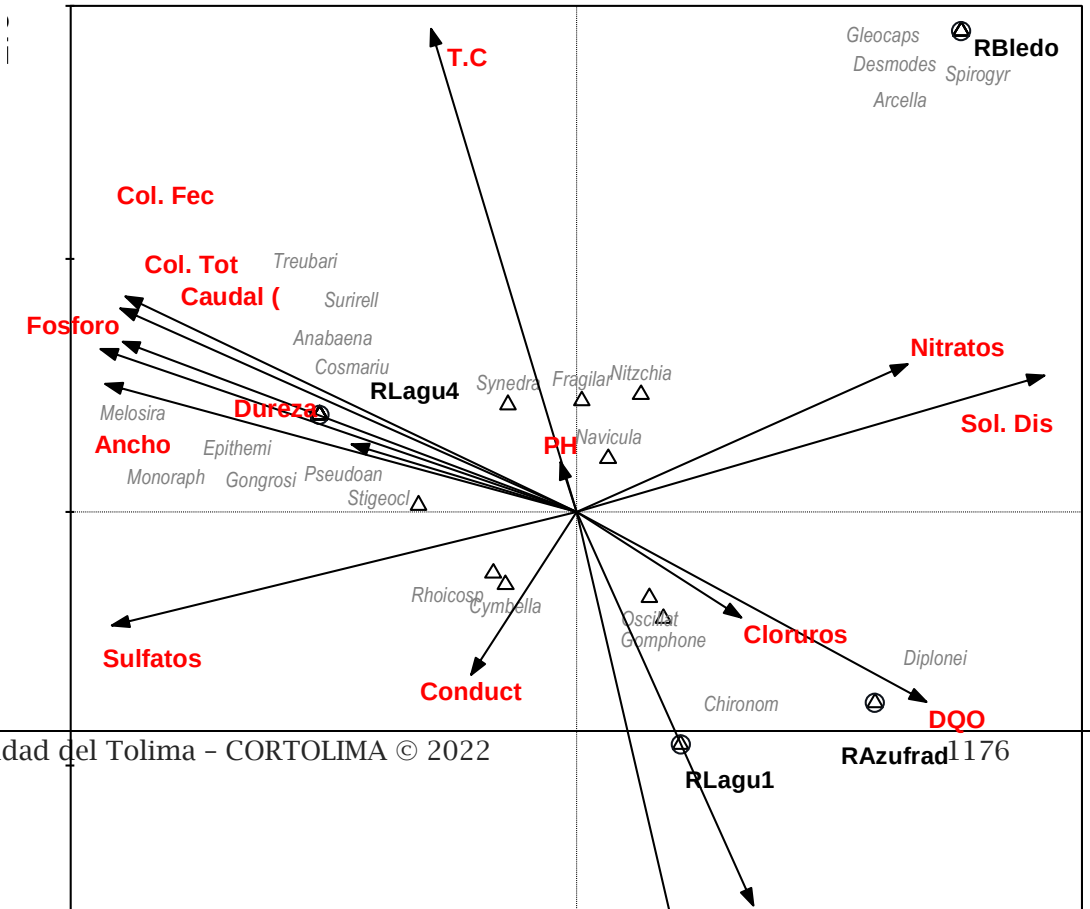
Fuente: Autores (2022).

35.5.1.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC), ninguna de las variables evaluadas influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica. Sin embargo, vale la pena resaltar que, en el diagrama de ordenación, se observó una separación clara en las estaciones evaluadas en la subzona hidrográfica del río Lagunillas (**Figura 683**).

Estaciones como río Azufrado (H_Lagu_04) y río Lagunillas-Líbano (H_Lagu_01), se separaron de las demás por valores elevados de demanda química y biológica de oxígeno (**Figura 683**). Variables relacionadas con procesos de contaminación de materia orgánica e iones disueltos en el cuerpo de agua. En estas estaciones se registró la presencia de taxones como Chironomidae sp, y *Diploneis* sp.

Figura 683. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



Fuente: Autores (2022).

La estación río Bledo-Lérida (H_Lagu_03) se caracterizó por valores elevados de nitratos y solidos disueltos, variables relacionadas con incremento en los nutrientes en el cuerpo de agua, posiblemente relacionados con actividades agrícolas, algunos taxones como *Gleocapsa* sp, *Desmodesmus* sp, *Arcella* sp y *Spirogyra* sp fueron característicos de esta subzona.

Finalmente, la estación río Lagunillas-Ambalema (H_Lagu_04) presento valores elevados de coliformes fecales, totales, fosforo. Variables relacionadas con descargas de aguas residuales y actividades agrícolas. Taxones como *Melosira* sp, *Anabaena*, *Surirella* sp y *Stigeoclonium* sp fueron representativos en este cuerpo de agua.

35.5.1.8. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (**Tabla 579**). El río Azufrado (H_Lagu_02) registro los valores de contaminación intermedia, con eutrofización acentuada (**Tabla 579**). Las estaciones restantes registraron nivel de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifitica.

Tabla 579. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
Rio Lagunillas	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Azufrado	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Rio Bledo	2.9	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

Rio Lagunillas	2.2	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

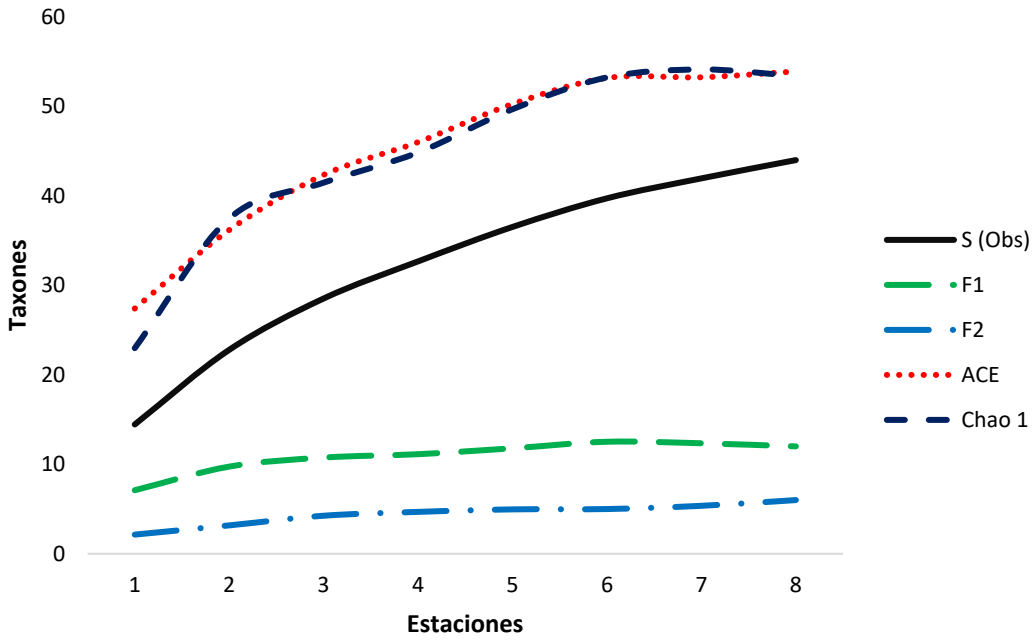
Fuente: Autores (2022).

35.5.2. Macroinvertebrados acuáticos

35.5.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 44 géneros observados (Sobs) en las 8 estaciones evaluadas (cuatro en la subzona durante dos temporadas) para un total de 16 muestras que corresponden al 81.6% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 82.4% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 54 géneros (**Figura 684**).

Figura 684. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla.



Fuente: Autores (2022)

Según los estimadores de riqueza se colecto la mayoría de los géneros que se podrían encontrar esta subzona hidrográfica, en estos cuerpos de agua se observa que en sus

zonas altas se encuentran con una mayor conservación, no obstante la geografía de la cuenca limita bastante los puntos de acceso a los afluentes lo cual es una limitante para la colecta de organismos, por otro lado, estos ríos se encuentran influenciados por la actividad del volcán nevado del Ruiz, el cual aporta cantidades importantes de azufre que significan un fuerte limitante en la distribución de los organismos (Reinoso et al., 2008).

Las condiciones ecológicas son muy variadas para el desarrollo de la comunidad, los tensores naturales y artificiales tienen impactos significativos sobre la comunidad, no obstante, existen mecanismos de resiliencia que permiten que los invertebrados puedan soportar y sobrevivir en estas corrientes (Hanson et al., 2010).

35.5.2.2. Composición

Se colectaron 657 organismos distribuidos en tres filos, tres clases, 10 órdenes, 26 familias y 44 géneros (**Tabla 580**).

Tabla 580. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	7
Mollusca	Gastropoda	Neotaenioglossa	Thiaridae	*Melanoides*	2
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus*	2
				Heterelmis	12
				Macrelmis	3
				Microcylloepus	3
				Phanocerus	4
				Promoresia	1
			Hydrophilidae	*Hydrophilidae sp*	1
			Ptilodactylidae	*Anchytarsus*	2
			Staphylinidae	*Bledius*	15
		Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	3
			Chironomidae	*Chironominae*	46
				Orthocladiinae	18
				Tanypodinae	5
			Empididae	*Hemerodromia*	2
			Psychodidae	*Maruina*	1
			Simuliidae	*Simulium*	55
			Stratiomyidae	*Odontomyia*	1
			Tipulidae	*Hexatoma*	1

		Molophilus	2
Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	43
		Baetodes	37
		Camelobaetidius	5
		Nanomis	1
		Varipes	1
	Leptohyphidae	*Leptohyphes*	21
		Tricorythodes	63
	Leptophlebiidae	*Farrodes*	126
		Thraulodes	57
Hemiptera	Gerridae	*Rheumatobates*	3
		Trepobates	2
	Naucoridae	*Limnocoris*	14
	Veliidae	*Euvelia*	1
		Rhagovelia	47
Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	4
Odonata	Coenagrionidae	*Argia*	1
	Libellulidae	*Brechmorhoga*	1
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	5
Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	5
		Protoptila	1
	Hydrobiosidae	*Atopsyche*	1
	Hydropsychidae	*Leptonema*	11
		Smicridea	21

Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Ephemeroptera con 354 organismos (53.9%), Diptera con 134 organismos (20.4%) y Hemíptera con 67 organismos (10.2%). Los patrones de abundancia registrados son similares a los registrados para esta misma cuenca y en general a lo observado en las cuencas andinas (Vásquez y Reinoso, 2012).

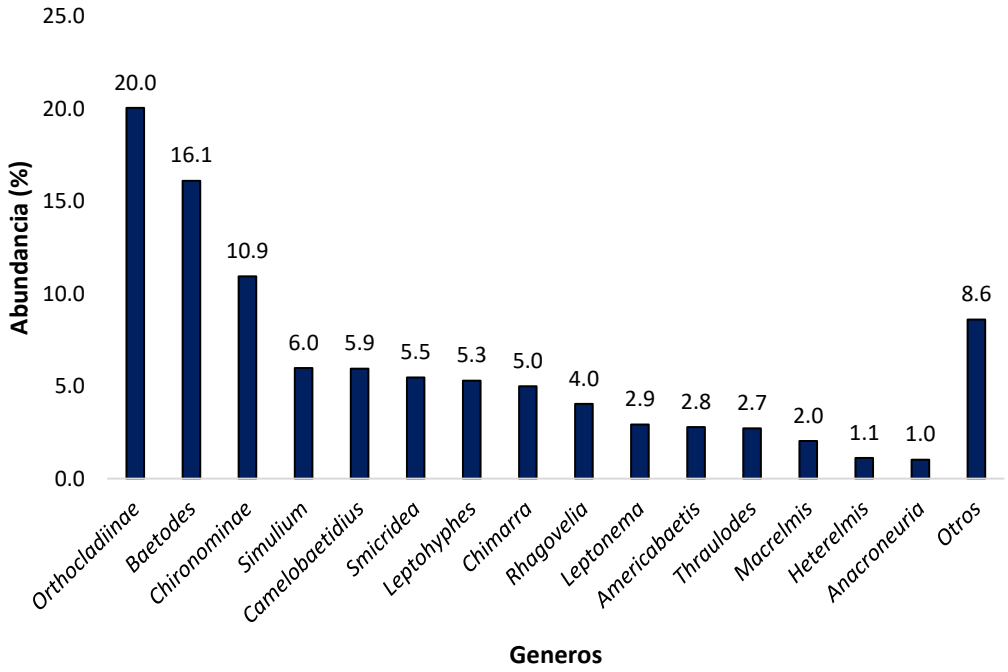
En cuanto a familias, las más abundantes fueron Leptophlebiidae (27.9%), Baetidae (13.2%) y Leptohyphidae (12.8%) mientras que Glossosomatidae, Gerridae, Perlidae, Corydalidae, Ceratopogonidae, Tipulidae, Empididae, Ptilodactylidae, Thiaridae, Coenagrionidae, Hydrobiosidae, Hydrophilidae, Libellulidae, Psychodidae y Stratiomyidae (>1%).

A nivel de géneros, los más abundantes fueron *Farrodes* (19.2%), seguido de *Tricorythodes* (9.6%) y *Thraulodes* (8.7%). De los 44 géneros registrados 28 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Anacroneuria, Camelobaetidius, Culoptila,* Tanypodinae, *Corydalus, Phanocerus, Alluaudomyia, Macrelmis, Microcylloepus,*

Rheumatobates, Anchytarsus, Cylloepus, Hemerodromia, Melanoides, Molophilus, Trepobates, Argia, Atopsyche, Brechmorhoga, Euvelia, Hexatoma, Hydrophilidae sp, *Maruina, Nanomis, Odontomyia, Promoresia, Protoptila* y *Varipes* (**Figura 685**).

La subzona hidrográfica del rio Lagunilla presenta pocos tributarios importantes, sin embargo, se evidencia que la cuenca en general está influenciada por la actividad del volcán nevado del Ruiz, que tiene un fuerte impacto sobre la dinámica de los ecosistemas, esto se evidencia en el rio Azufrado, que, debido a su la fuerte presencia de este elemento, limita la presencia de comunidades animales. Otro factor para tener en consideración es la geografía escarpada de la cuenca, la cual limita el acceso a la zona alta, lo escarpado y accidentado de la geografía, aumenta el caudal y limita el asentamiento de algunos sustratos, lo cual puede ser un factor decisivo en la colonización de los invertebrados (Reinoso et al., 2008).

Figura 685. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



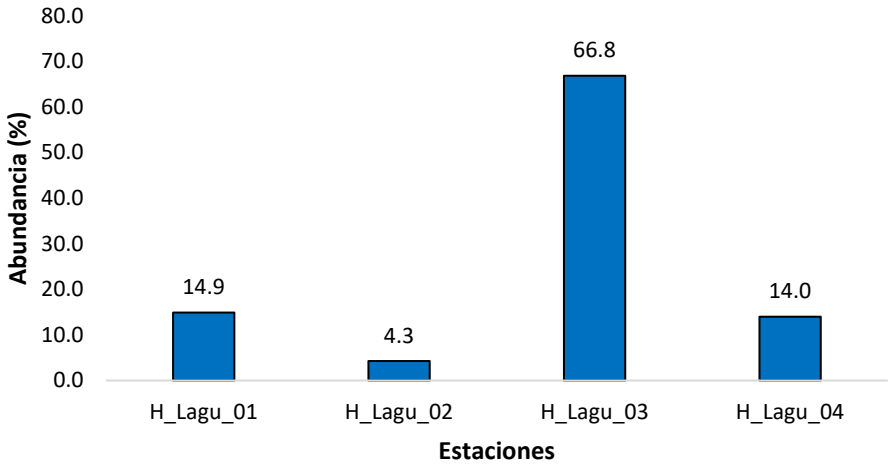
Fuente: Autores (2022).

35.5.2.3. Distribución espacial

Se establecieron cuatro estaciones de muestreo en el cauce principal del rio, y dos tributarios (rio Azufrado y Bledo), se registró la mayor abundancia en el rio Bledo (H_Lagu_03) con 439 organismos (66.8%), seguido del rio Lagunilla (H_Lagu_01) con 98 organismos (14.9%) (**Figura 686**).

Las estaciones del rio Lagunillas presentan cambios drásticos en la abundancia, en particular las asociadas al rio lagunilla y Azufrado, presentan una baja cantidad de organismos, esto puede atribuirse a factores como el fuerte caudal, el terreno escarpado, la baja variabilidad de sustratos y la naturaleza química del agua influenciada por actividad volcánica, estos factores influyen directamente en las poblaciones evaluadas, por otra parte el rio Bledo es un ecosistema independiente de zona baja, presenta un caudal moderado, poca amplitud y presencia de hojarasca, estas condiciones serian óptimas para el desarrollo de una fauna más robusta y abundante. Otro factor para tener en consideración durante la colecta fue la presencia de lluvias, las cuales modifican el caudal y obligan a los organismos a derivar, esto significa limitaciones en la presencia de los organismos, así como su detección y captura (Tamariz et al., 2013).

Figura 686. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

En cuanto a los géneros registrados *Anacroneuria, Baetodes,* Chironominae, *Heterelmis* y Orthocladiinae, se colectaron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Lagunilla, estos taxones son comunes en los monitoreos y son capaces de sobrevivir en una gran variedad de ambientes (**Tabla 581**). Del material colectado los géneros *Anchytarsus, Argia, Atopsyche, Brechmorhoga, Culoptila, Euvelia,*

Farrodes, *Hexatoma*, Hydrophilidae sp, *Limnocoris*, *Maruina*, *Melanoides*, *Nanomis*, *Odontomyia*, *Promoresia*, *Protoptila*, *Rheumatobates*, *Trepobates*, *Tricorythodes*, *Varipes* y *Bledius* indicaron una distribución restringida a una sola estación.

Tabla 581. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Recio.

Genero	H_Lagu_01	H_Lagu_02	H_Lagu_03	H_Lagu_04
Alluaudomyia	*	2	1	*
Americabaetis	6	*	36	1
Anacroneuria	2	1	1	1
Anchytarsus	2	*	*	*
Argia	*	*	1	*
Atopsyche	1	*	*	*
Baetodes	24	1	1	11
Brechmorhoga	1	*	*	*
Camelobaetidius	3	*	*	2
Chironominae	5	9	13	19
Corydalus	2	1	1	*
Culoptila	5	*	*	*
Cylloepus	1	*	*	1
Euvelia	*	*	*	1
Farrodes	*	*	126	*
Girardia	4	*	2	1
Hemerodromia	*	*	1	1
Heterelmis	1	2	3	6
Hexatoma	1	*	*	*
Hydrophilidae sp	*	*	*	1
Leptohyphes	10	*	3	8
Leptonema	4	*	2	5
Limnocoris	*	*	14	*
Macrelmis	1	*	2	*
Maruina	*	*	*	1
Melanoides	*	*	2	*
Microcylloepus	1	1	1	*
Molophilus	1	1	*	*
Nanomis	1	*	*	*
Odontomyia	*	1	*	*
Orthocladiinae	5	3	5	5
Phanocerus	*	1	3	*
Promoresia	*	1	*	*
Protoptila	*	*	*	1

Rhagovelia	5	1	41	*
Rheumatobates	*	*	3	*
Simulium	2	2	51	*
Smicridea	3	*	8	10
Tanypodinae	*	*	4	1
Thraulodes	7	1	49	*
Trepobates	*	*	2	*
Tricorythodes	*	*	63	*
Varipes	*	*	*	1
Bledius	*	*	*	15

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

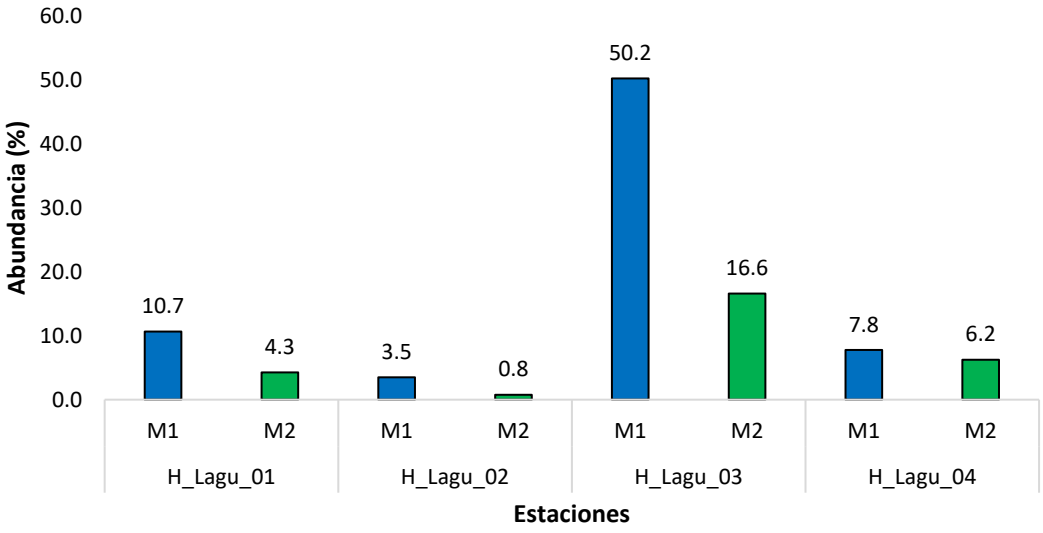
35.5.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, al momento de las colectas, se presentaron lluvias intermitentes que afectaron el caudal, en general el muestreo uno presenta mayor abundancia con 72.1%, mientras que en el segundo se obtuvo un 27.9%. a nivel temporal se registró una mayor abundancia en el rio Bledo (H_Lagu_03) en ambas temporadas, seguido de la Estacion rio Lagunilla (H_Lagu_04).

En cuanto a las estaciones no hay una tendencia definida debido a que, durante los dos periodos, las condiciones climáticas eran relativamente similares y los periodos de lluvias se presentaron en ambas temporadas, aun así para el monitoreo 1, la Estacion rio Recio (H_Recio_03) presento la mayor abundancia con el 16.6%, mientras que para el muestreo 2, la quebrada Las Animas (H_Recio_05), fue la más abundante con 15.3% (**Figura 687**). Estos cambios en la abundancia se deben principalmente a la alternancia del caudal y la continua modificación del lecho que reconfigura los sustratos y obliga a derivar a los organismos, de este modo permite la colonización y la disminución de las poblaciones en las diferentes estaciones (Dominguez y Fernandez, 2009).

La distribución espacio-temporal de los organismos fluctuó bastante, solo Chironominae sp se registró en todas las estaciones durante las dos temporadas (**Tabla 582**). Estos organismos son cosmopolitas y muy abundantes en todos los ecosistemas acuáticos, lo que justifica su presencia en las estaciones evaluadas. Los géneros *Varipes, Rheumatobates, Rhagovelia, Protoptila, Promoresia, Odontomyia, Nanomis, Microcylloepus, Macrelmis,* Hydrophilidae sp, *Hexatoma, Euvelia, Cylloepus, Anchytarsus* y *Alluaudomyia,* se registraron únicamente en el muestreo uno, mientras que *Maruina, Hemerodromia, Brechmorhoga, Bledius, Atopsyche* y *Argia* se registraron para el muestreo dos.

Figura 687. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 582. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

Genero	H_Lagu_01		H_Lagu_02		H_Lagu_03		H_Lagu_04	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Alluaudomyia	*	*	2	*	1	*	*	*
Americabaetis	5	1	*	*	34	2	1	*
Anacroneuria	1	1	1	*	*	1	1	*
Anchytarsus	2	*	*	*	*	*	*	*
Argia	*	*	*	*	*	1	*	*
Atopsyche	*	1	*	*	*	*	*	*
Baetodes	22	2	*	1	1	*	9	2
Brechmorhoga	*	1	*	*	*	*	*	*
Camelobaetidius	*	3	*	*	*	*	2	*
Chironominae	4	1	7	2	7	6	15	4
Corydalus	1	1	1	*	*	1	*	*
Culoptila	4	1	*	*	*	*	*	*
Cylloepus	1	*	*	*	*	*	1	*
Euvelia	*	*	*	*	*	*	1	*
Farrodes	*	*	*	*	104	22	*	*
Girardia	4	*	*	*	*	2	1	*
Hemerodromia	*	*	*	*	*	1	*	1

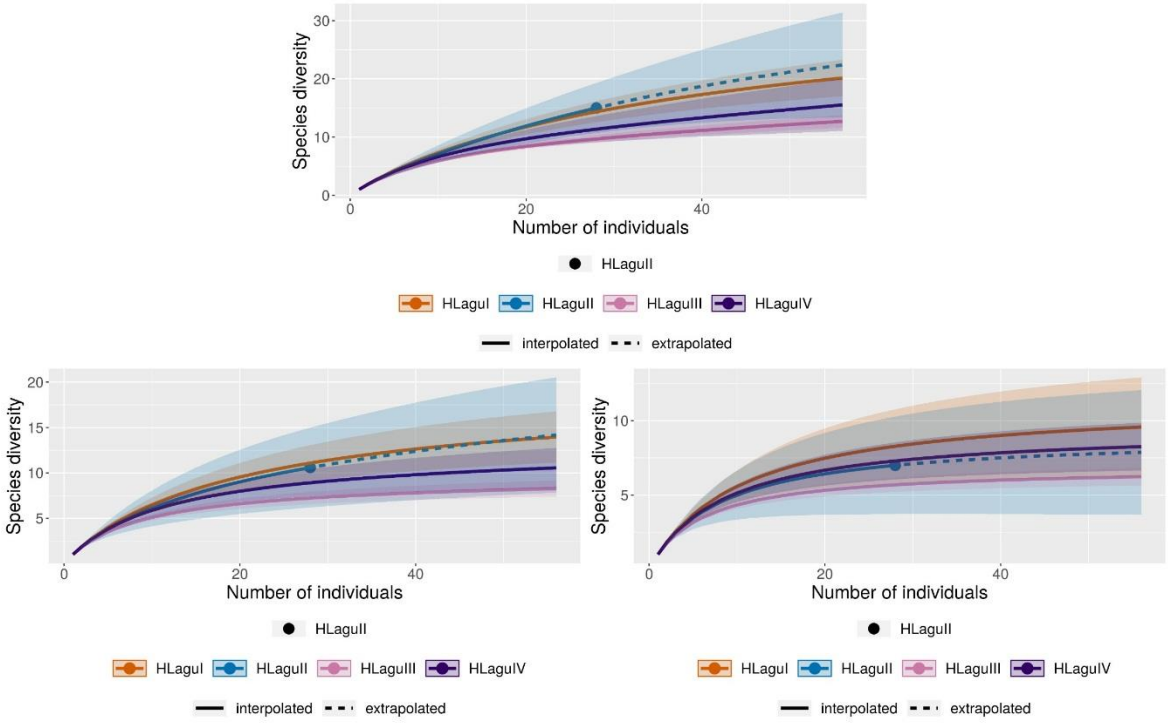
Heterelmis	*	1	2	*	*	3	5	1
Hexatoma	1	*	*	*	*	*	*	*
Hydrophilidae sp	*	*	*	*	*	*	1	*
Leptohyphes	4	6	*	*	2	1	6	2
Leptonema	*	4	*	*	*	2	3	2
Limnocoris	*	*	*	*	3	11	*	*
Macrelmis	1	*	*	*	2	*	*	*
Maruina	*	*	*	*	*	*	*	1
Melanoides	*	*	*	*	1	1	*	*
Microcylloepus	1	*	1	*	1	*	*	*
Molophilus	*	1	1	*	*	*	*	*
Nanomis	1	*	*	*	*	*	*	*
Odontomyia	*	*	1	*	*	*	*	*
Orthocladiinae	5	*	2	1	5	*	*	5
Phanocerus	*	*	1	*	*	3	*	*
Promoresia	*	*	1	*	*	*	*	*
Protoptila	*	*	*	*	*	*	1	*
Rhagovelia	5	*	1	*	41	*	*	*
Rheumatobates	*	*	*	*	3	*	*	*
Simulium	2	*	1	1	51	*	*	*
Smicridea	2	1	*	*	*	8	3	7
Tanypodinae	*	*	*	*	3	1	*	1
Thraulodes	4	3	1	*	45	4	*	*
Trepobates	*	*	*	*	1	1	*	*
Tricorythodes	*	*	*	*	25	38	*	*
Varipes	*	*	*	*	*	*	1	*
Bledius	*	*	*	*	*	*	*	15

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.5.2.5. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Lagunilla, se puede establecer que los valores de riqueza (0D) registrados fueron similares para todas las estaciones, los cuales oscilan entre 15 y 27 géneros, siendo las estaciones con mayor número de géneros el rio Bledo (H_Lagu_03) con 27, y el rio Lagunilla (H_Lagu_01) con 25 (**Figura 688**).

Figura 688. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

La grafica de diversidad para la riqueza según sus intervalos de confianza, muestra que no existen diferencias significativas, sin embargo, para el rio Azufrado (H_Lagu_02), se denota que hace falta muestrear más para conseguir la representatividad total de los géneros que pueden existir en esa estación. Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican un valor más alto en rio Lagunilla (H_Lagu_01) con 15.8 géneros, seguido del rio La Lagunilla (H_Lagu_04) con 11.6, nuevamente no se observan diferencias en cuanto a los géneros comunes, según los intervalos de confianza, lo cual indica que la comunidad tiende a la homogeneidad.

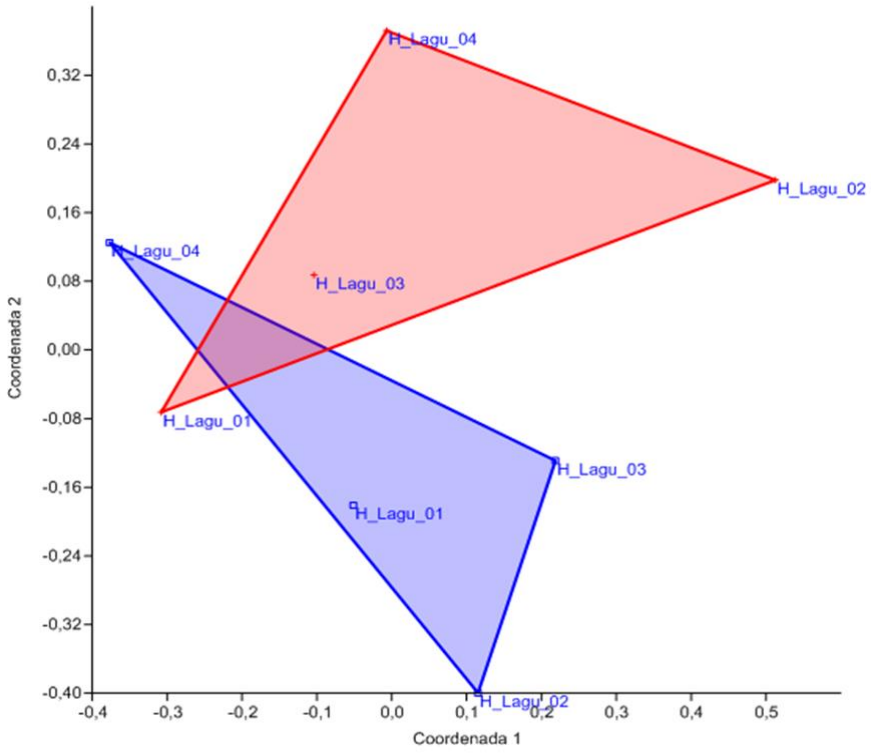
De acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento similar en las cuatro estaciones, los valores de taxones dominantes se encuentran solapados, por lo que se puede asumir que los taxones dominantes otorgan cierta uniformidad a la comunidad.

La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla y sus tributarios es bastante homogénea, no existen cambios drásticos a lo largo de la cuenca, incluso con cambios altitudinales importantes, la composición esta mediada por organismos comunes y generalistas lo cual funciona como base para la riqueza encontrada en cada una de las estaciones, además existen disturbios naturales que inciden directamente en la distribución de los organismos y puede limitar la diversidad de la subzona (Reinoso et al., 2008).

35.5.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, muestra agrupamientos parcialmente definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,2) (**Figura 689**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,6).

Figura 689. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones de un 30%, en los polígonos formados se observan algunas distinciones en la distribución de las estaciones, lo cual indica cierta independencia a nivel temporal. Esto implica un cambio en la composición durante las dos campañas de monitoreo, lo cual se debe a la aparición o desaparición de algunos taxones. Caso contrario ocurre en la estación (H_Lagu_01), en la cual no parecen existir cambios notables de composición y es el punto donde se solapan los polígonos en el diagrama.

Las distancias y similitudes están dadas por la presencia y ausencia de los taxones colectados, de este se encontraron como organismos exclusivos del muestreo uno a *Varipes, Rheumatobates, Rhagovelia, Protoptila, Promoresia, Odontomyia, Nanomis, Microcylloepus, Macrelmis, Hydrophilidae sp, Hexatoma, Euvelia, Cylloepus, Anchytarsus* y *Alluaudomyia,* mientras que *Maruina, Hemerodromia, Brechmorhoga, Bledius, Atopsyche* y *Argia* se presentaron para el muestreo dos.

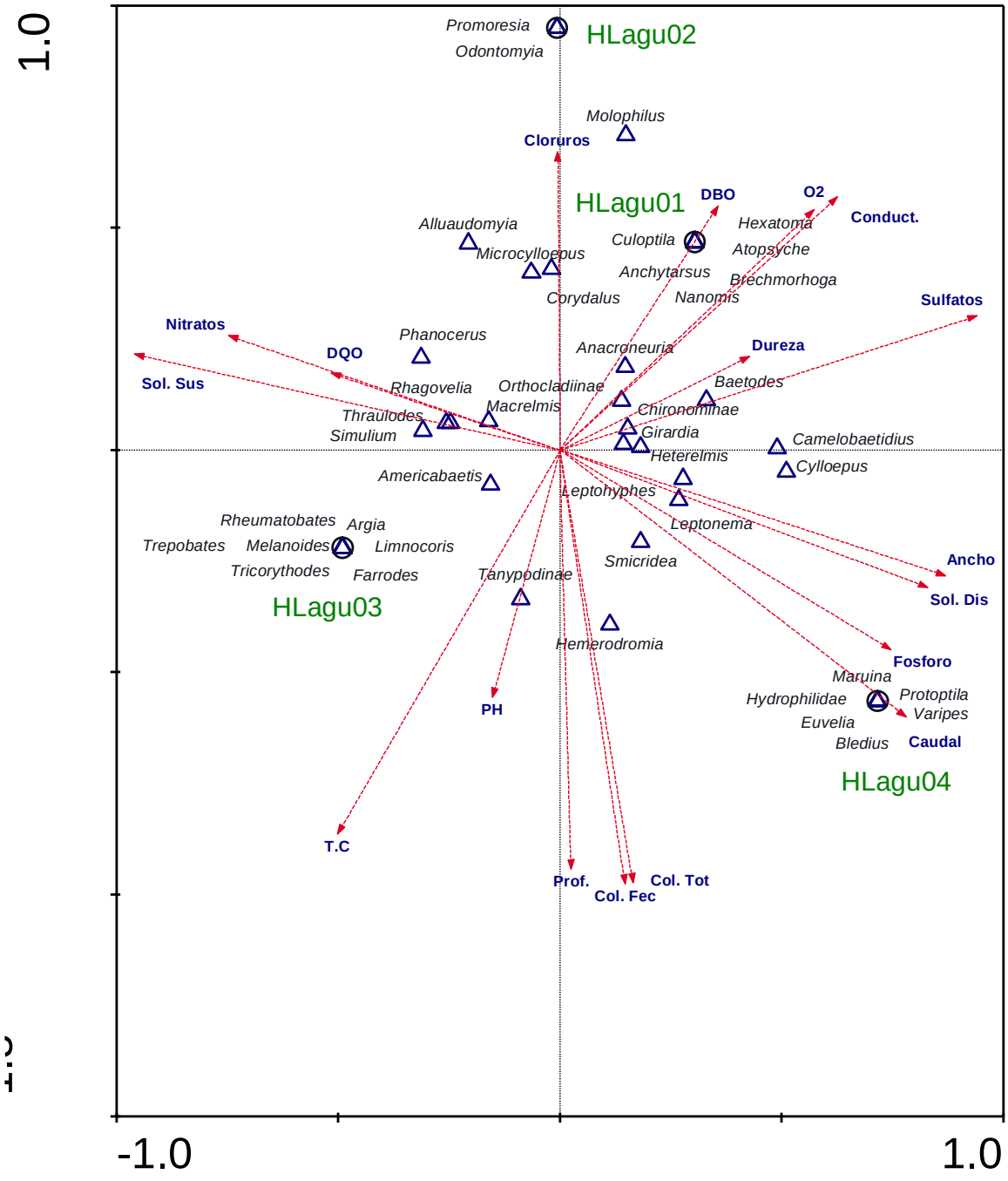
35.5.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, la temperatura, los sólidos suspendidos y el ancho presentan efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos y se asume que modulan la dinámica de la comunidad de macroinvertebrados (**Figura 690**).

Se pueden observar algunas asociaciones entre las variables fisicoquímicas y los grupos de macroinvertebrados con las estaciones evaluadas, en general, no se puede establecer un comportamiento definido en la dinámica de la cuenca, según los resultados obtenidos cada estación tiene un comportamiento diferente en función de las variables con las que interactúa, dando indicios de que pueden estar ocurriendo eventos de eutrofización a causa de los nutrientes y iones disueltos (Ramirez y Viña, 1998; Roldan y Ramirez, 2008).

Se observa una relación positiva directa únicamente en las Estacion H_Lagu_04 con las variables fosforo y caudal, junto con los géneros *Protoptila*, *Varipes*, *Maruina*, Hydrophilidae, *Euvelia* y *Bledius*. Para el caso de H_Lagu_01 se encuentra parcialmente relacionado con la variable DBO con los géneros Culoptila y *Anchytarsus.* La estación H_lagu_02 no se relaciona directamente con ninguna variable, pero si con los géneros *Promoresia* y *Odontomyia* y por último la estación H_Lagu_03 se relaciona con los generos *Argia, Limnocoris, Farrodes, Tricorythodes, Melanoides, Rheumatobates y Trepobates.*

Figura 690. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

35.5.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Lagunilla exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo (**Tabla 583**).

Tabla 583. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Lagunilla.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Lagunillas	97	Aceptable	II	79	Aceptable	II
Rio Azufrado	59	Dudosa	III	17	Critica	IV
Rio Bledo	70	Aceptable	II	92	Aceptable	II
Rio Lagunillas	64	Aceptable	II	46	Dudosa	III

Fuente: Autores (2022).

En ambos muestreos se observa una calidad de agua en su mayoría aceptable, esto se puede relacionar a las condiciones geográficas que permiten cierta independencia de los asentamientos humanos. La estación que presenta una calidad baja en sus aguas es el rio Azufrado (H_Lagu_02), en el cual como su nombre lo indica, se presentan altos niveles de azufre lo que limita fuertemente la colonización de cualquier forma de vida animal, sin embargo, se observó la presencia de algunos pocos taxones muy tolerantes a los cambios fisicoquímicos del agua (Roldan, 2003).

Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada sobre todo a presiones naturales, producidas por la actividad volcánica del nevado del Ruiz (Reinoso et al., 2008).

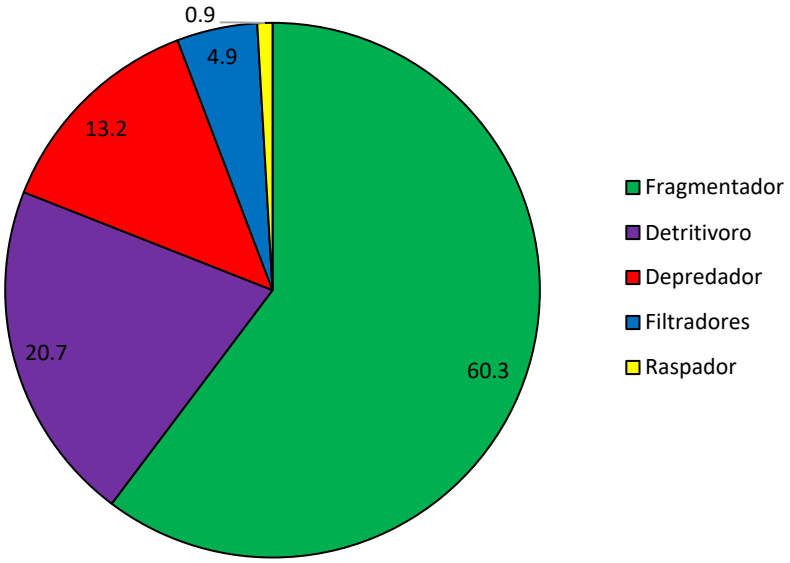
35.5.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron cinco gremios tróficos de los cuales el fragmentador fue el más abundante (60.3%), seguido de detritívoro (20.7%), depredador (13.2%), filtrador (4.9%) y por último raspador (0.9%) (**Figura 691**).

En general la abundancia registrada corresponde al patrón normal encontrado donde los organismos herbívoros son los que se presentan en mayor cantidad, de este modo los organismos fragmentadores se relacionan directamente con la cantidad de hojarasca presente en el medio, estas cuencas de zona alta cuentan con bosques riparios abundantes que aportan un recurso continuo para estos animales. Los organismos detritívoros se alimentan de materia orgánica desmenuzada proveniente de origen natural o artificial, y es común en ríos con gran capacidad de transporte de materiales (Sevilla y Villar, 2008)

Por otra parte, la abundancia de organismos depredadores se relacionada con la disponibilidad de presas, de este modo siempre existe una proporción alta de herbívoros vs una baja de depredadores, por lo que las abundancias relacionadas siguen el patrón habitual que se observa en todos los cuerpos de agua (Perez et al., 2004).

Figura 691. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

35.5.3. Ictiofauna

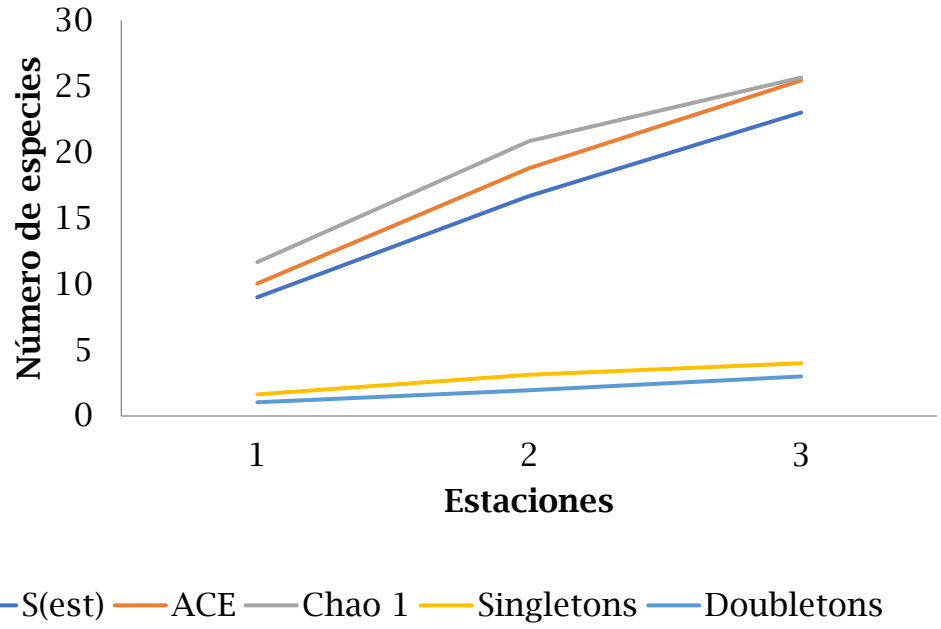
35.5.3.1. Representatividad

De las cuatro estaciones establecidas para la subzona hidrográfica del rio Lagunillas, en una (H-LAGU-02) sobre el río Azufrado no se colectaron peces. La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Lagunillas.

Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 23) corresponde al 90 % y 88 % de las especies esperadas, es decir, 25 y 26 especies, respectivamente. Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de cuatro especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Creagrutus* sp., *Hoplias malabaricus*, *Dupouyichthys sapito* y *Rhamdia guatemalensis*) o que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Creagrutus guanes* y *Chaetostoma* cf. *fischeri*). Por lo tanto, es posible

utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue alto (**Figura 692**).

Figura 692. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Lagunilla.



Fuente: Autores (2021)

35.5.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Lagunilla se colectaron 154 individuos, pertenecientes a 23 especies, distribuidas en tres órdenes y nueve familias. El orden Siluriformes (AR= 49 %), con 11 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 39 %) con nueve y Blenniiformes (AR= 11 %) con tres (**Tabla 584**).

Tabla 584. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara latifrons*	3
		Geophagus steindachneri	3
	Poeciliidae	*Poecilia caucana*	12
Characiformes	Characidae	*Astyanax* sp.	23
		Creagrutus affinis	13
		Creagrutus guanes	2

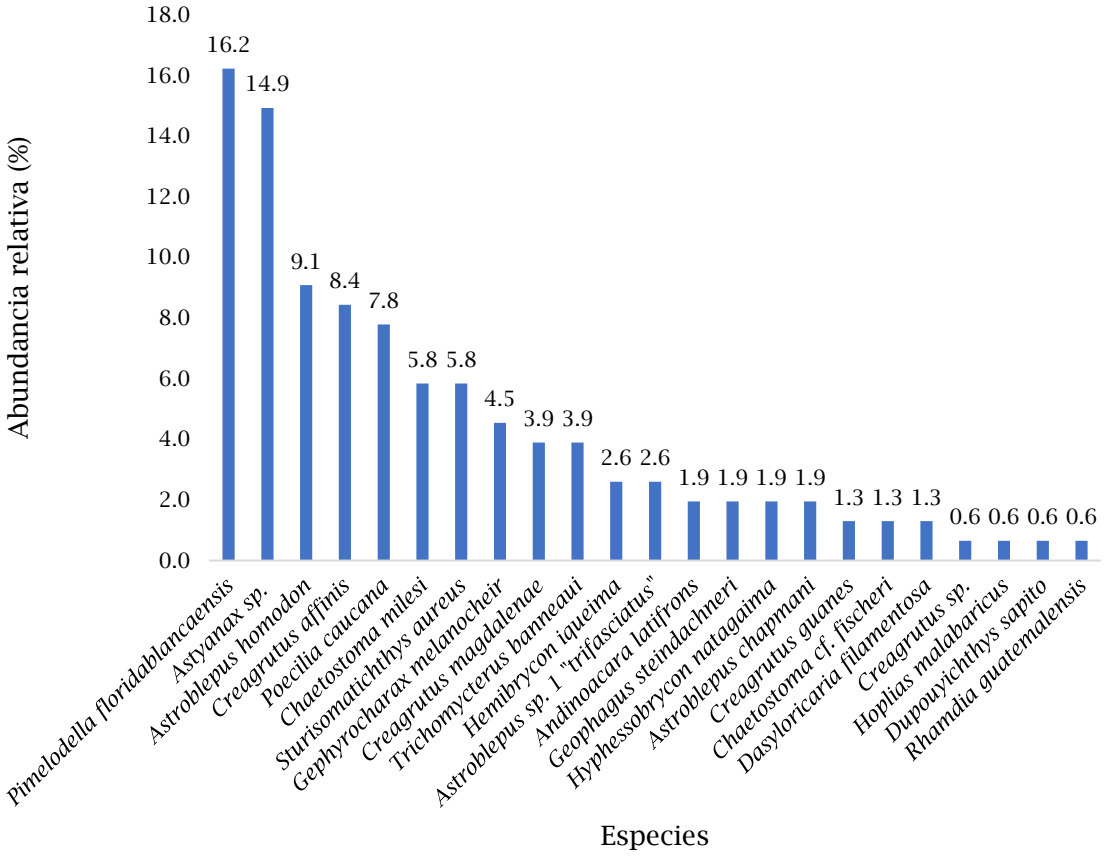
		Creagrutus magdalenae	6
		Creagrutus sp.	1
		Gephyrocharax melanocheir	7
		Hemibrycon iqueima	4
		Hyphessobrycon natagaima	3
	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	1
Siluriformes	Aspredinidae	*Dupouyichthys sapito*	1
	Astroblepidae	*Astroblepus chapmani*	3
		Astroblepus homodon	14
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	4
	Heptapteridae	*Pimelodella floridablancaensis*	25
		Rhamdia guatemalensis	1
	Loricariidae	*Chaetostoma* cf. *fischeri*	2
		Chaetostoma milesi	9
		Dasyloricaria filamentosa	2
		Sturisomatichthys aureus	9
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	6

Fuente: Autores (2022).

Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 38 %) registró la mayor riqueza con ocho, seguida de Lorcariidae (AR= 14 %) con cuatro, Astroblepidae (AR= 13 %) con tres, Cichlidae (AR= 3.9 %) y Heptapteridae (AR= 16.9 %) con dos cada una y las restantes familias con una especie cada una (**Figura 693**).

Con respecto a la abundancia de las especies, *Pimelodella floridablancaensis* fue la más abundante con 25 individuos (AR= 16 %), seguida de *Astyana*x sp. con (AR= 14.9 %), *Astroblepus homodon* con (AR= 9 %), *Creagrutus affinis* con (AR= 8.4 %), *Poecilia caucana* con (AR= 7.8 %). *Astroblepus homodon* con (AR= 9 %), *Chaetostoma milesi* y *Sturisomatichthys aureus* con (AR= 5.8 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 5 %.

Figura 693. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

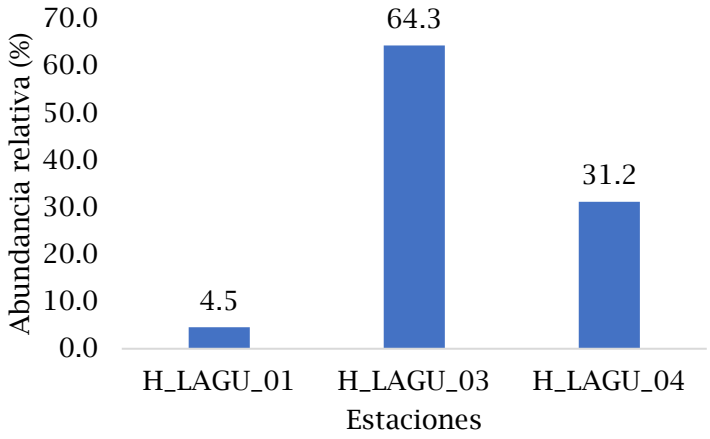


Fuente: Autores (2022).

35.5.3.3. Distribución espacial

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-LAGU-03 (Río Bledo-280) registró la mayor abundancia con AR= 64 %, seguido de H-LAGU-04 (Río Lagunillas-244) con AR= 31 % y H H-LAGU-01 (Río Lagunillas-1214) con AR= 4.5 % (**Figura 694**). Estas estaciones se distribuyen entre 244 a 1214 m s.n.m (**Tabla 585**). Es relevante mencionar que las estaciones con mayor abundancia fueron aquellas ubicadas en las zonas bajas.

Figura 694. Abundancia relativa por estaciones de la fauna ictica subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 585. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

ESPECIE	H_LAGU_01	H_LAGU_03	H_LAGU_04
Andinoacara latifrons	*	3	*
Geophagus steindachneri	*	3	*
Poecilia caucana	*	12	*
Astyanax sp.	*	20	3
Creagrutus affinis	*	9	4
Creagrutus guanes	*	*	2
Creagrutus magdalenae	*	3	3
Creagrutus sp.	*	1	*
Gephyrocharax melanocheir	*	7	*
Hemibrycon iqueima	*	*	4
Hyphessobrycon natagaima	*	3	*
Hoplias malabaricus	*	1	*
Dupouyichthys sapito	*	1	*
Astroblepus chapmani	3	*	*
Astroblepus homodon	*	*	14
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	4	*	*
Pimelodella floridablancaensis	*	24	1
Rhamdia guatemalensis	*	1	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	2
Chaetostoma milesi	*	*	9
Dasyloricaria filamentosa	*	2	*
Sturisomatichthys aureus	*	9	*

Trichomycterus banneaui	*	*	6

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.5.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de la abundancia de la ictiofauna entre las dos muestreos evaluados, es posible observar ocho especies (*Trichomycterus banneaui*, *Sturisomatichthys aureus*, *Poecilia caucana*, *Pimelodella floridablancaensis*, *Gephyrocharax melanocheir*, *Chaetostoma milesi*, *Astroblepus homodon* y *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus") (**Tabla 586, Figura 695**) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos. Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten el mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *Gephyrocharax melanocheir* y *Astroblepus* spp. que prefiere sustratos de roca, grava y aguas moderadamente rápidas.

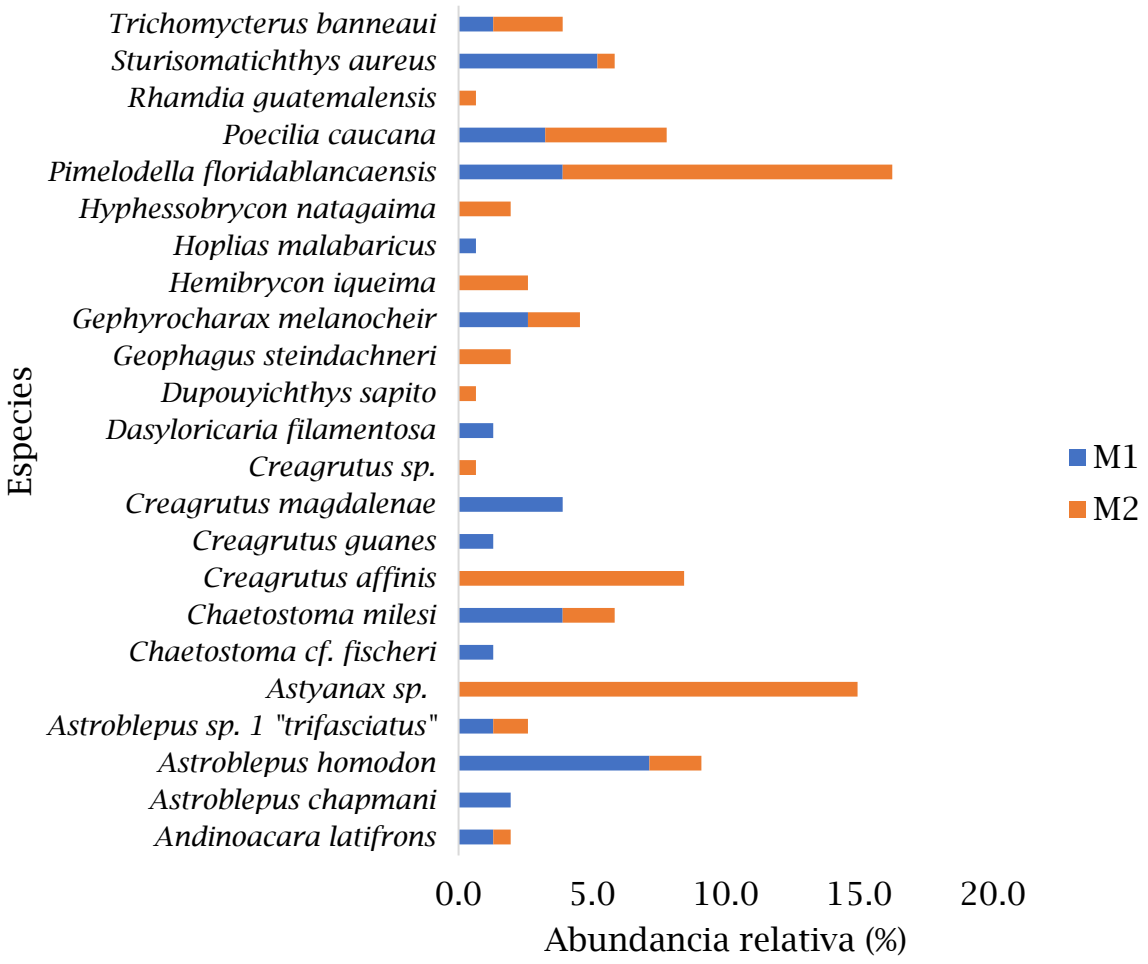
Tabla 586. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

ESPECIE	M1			M2		
	H_LAGU_01	H_LAGU_03	H_LAGU_04	H_LAGU_01	H_LAGU_03	H_LAGU_04
Andinoacara latifrons	*	2	*	*	1	*
Geophagus steindachneri	*	*	*	*	3	*
Poecilia caucana	*	5	*	*	7	*
Astyanax sp.	*	*	*	*	20	3
Creagrutus affinis	*	*	*	*	9	4
Creagrutus guanes	*	*	2	*	*	*
Creagrutus magdalenae	*	3	3	*	*	*
Creagrutus sp.	*	*	*	*	1	*
Gephyrocharax melanocheir	*	4	*	*	3	*
Hemibrycon iqueima	*	*	*	*	*	4
Hyphessobrycon natagaima	*	*	*	*	3	*
Hoplias malabaricus	*	1	*	*	*	*
Dupouyichthys sapito	*	*	*	*	1	*
Astroblepus chapmani	3	*	*	*	*	*
Astroblepus homodon	*	*	11	*	*	3
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	2	*	*	2	*	*
Pimelodella floridablancaensis	*	6	*	*	18	1
Rhamdia guatemalensis	*	*	*	*	1	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	2	*	*	*

Chaetostoma milesi	*	*	6	*	*	3
Dasyloricaria filamentosa	*	2	*	*	*	*
Sturisomatichthys aureus	*	8	*	*	1	*
Trichomycterus banneaui	*	*	2	*	*	4

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

Figura 695. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo,

es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura, pendiente, heterogeneidad de sustratos son variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021).

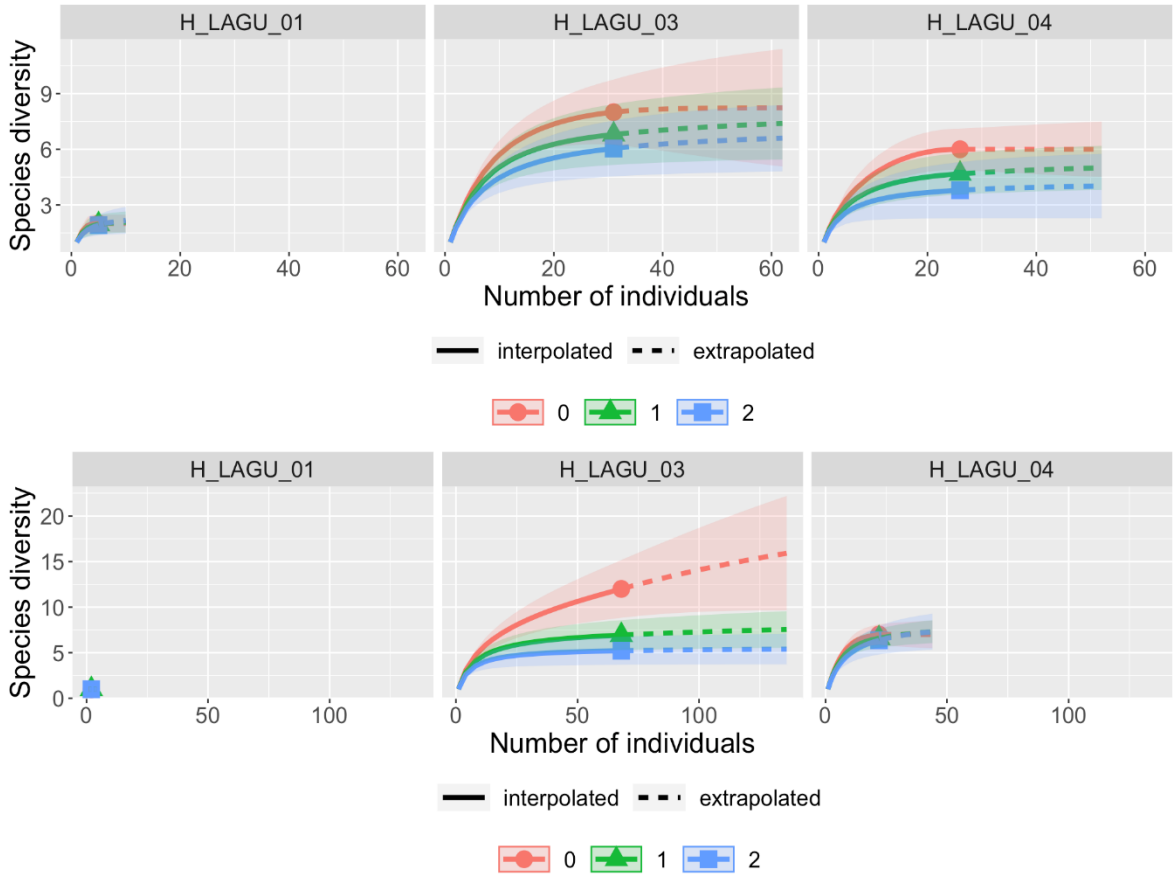
Para el caso de las las que registran mayor numero de individuos, son caracterizadas por especies comunes, es decir ensamblajes con distribuciones equitativas de la abundancia. Si bien existen sutiles variaciones de abundancia entre monitoreos, no existen especies dominantes que representen mayoritariamente el ensamblaje. Esto indica que se ofertan diversos recursos y se distribuyen equitativamente entre las poblaciones. Por otro lado, se observa que a medida que aumenta la elevación la abundancia y riqueza tiende a disminuir.

35.5.3.5. Diversidad

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-LAGU-03, seguido de H-LAGU-04 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 8 y 6 especies. En cambio, H-LAGU-01 registró los menos valores (**Figura 696**). Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-LAGU-03 y H-LAGU-04 son claramente más diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Lagunillas, a pesar de que hubo un aumento en H-LAGU-03 en el segundo monitoreo. En estas dos estaciones las especies comunes tienen mayor equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones, particularmente en la estación H-LAGU-03.

Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-LAGU-03 para el primer monitoreo tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 6,79, seguida de H-LAGU-04 con 4,68 y H-LAGU-01 con 1,96 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-LAGU-03 es 1,45 veces más diversa en especies de peces de H-LAGU-04 y 3,46 veces más diversa que H-LAGU-01. Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo, particularmente para H-LAGU-04 y H-LAGU-01. Esto puede explicarse parcialmente debido a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

Figura 696. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

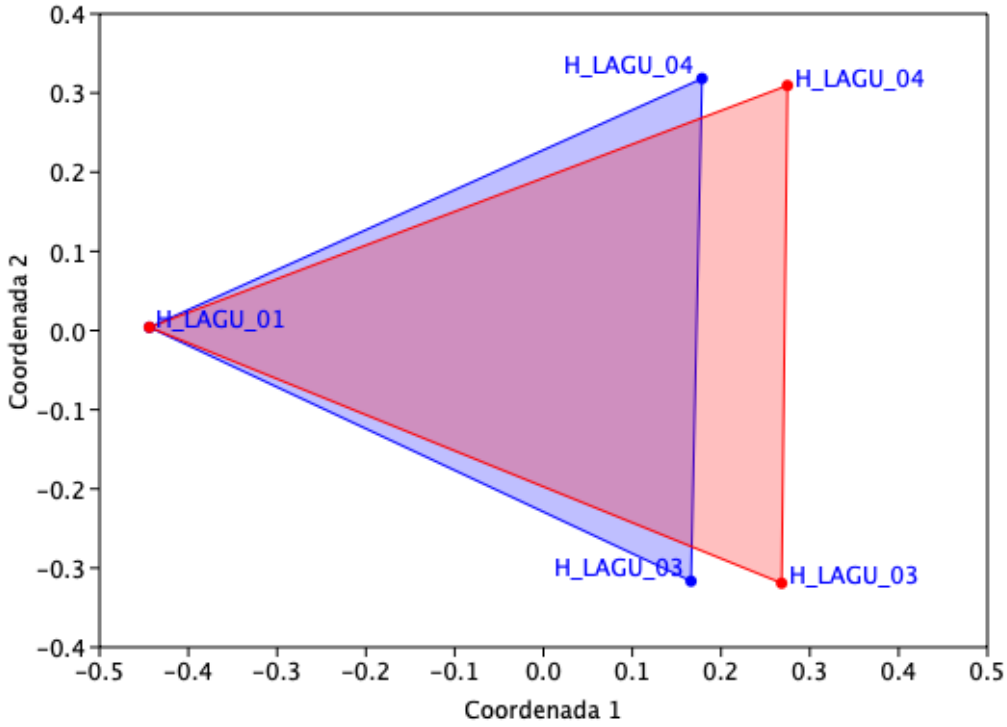


Fuente: Autores (2022).

35.5.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.40), permitieron observar que no existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM (p>0.05). Según el diagrama de ordenación, se observa que se comparten diversas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada. Por tanto, no existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 697**)

Figura 697. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



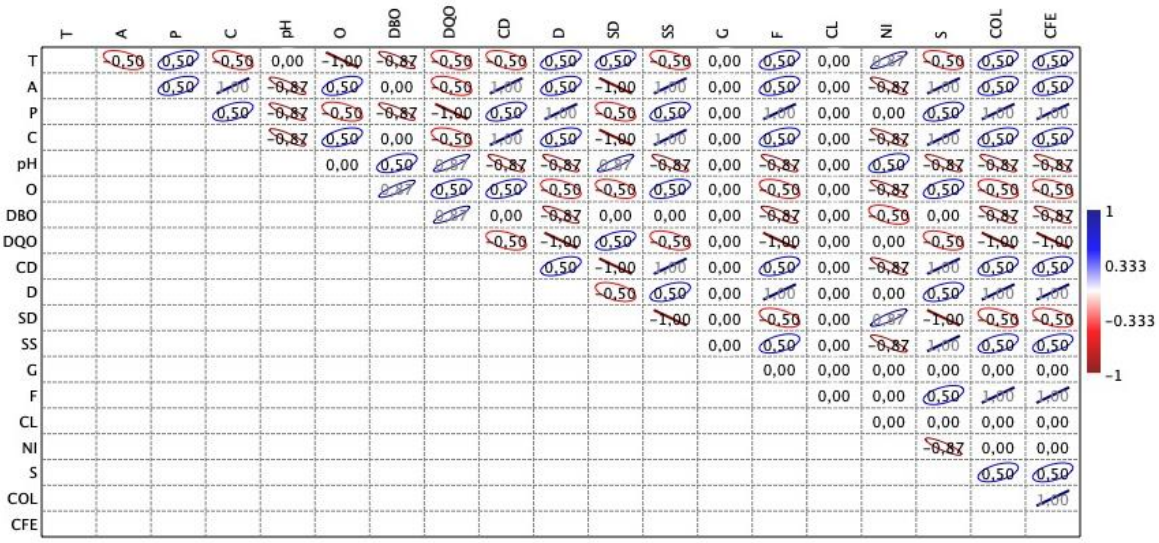
35.5.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

De acuerdo al análisis de correlación de Spearman (ρ), ninguna variable química del agua cumplió con los criterios de exclusión, es decir $\rho > 0.75$ y p-valor < 0.05. Por tanto, no se registró alta multicolinealidad entre las variables analizadas que potencialmente podrían generar ruido y afectar los resultados (**Figura 698**).

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 100 % de la variación total de los datos. En ambos ejes ninguna variable influyó significativamente en la composición y la estructura de la ictiofauna, es decir no se registraron variables con efectos condicionantes estadísticamente significativos. Se observa que los vectores tienen la misma longitud en el espacio multivariable.

Sin embargo, en el eje x la variable demanda biológica de oxigeno (DBO) se asoció positivamente y temperatura (T) y profundidad (P) se asociaron negativamente a H-LAGU-01 y especies Astroblepus chapmani y Astroblepus sp.1 (**Figura 699**). Es decir, H-LAGU-01 es un cuerpo de agua ubicado 1214 m s.n.m y caracterizado por aguas frías, poco profundas y con altos valores de DBO.

Figura 698. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Lagunilla.

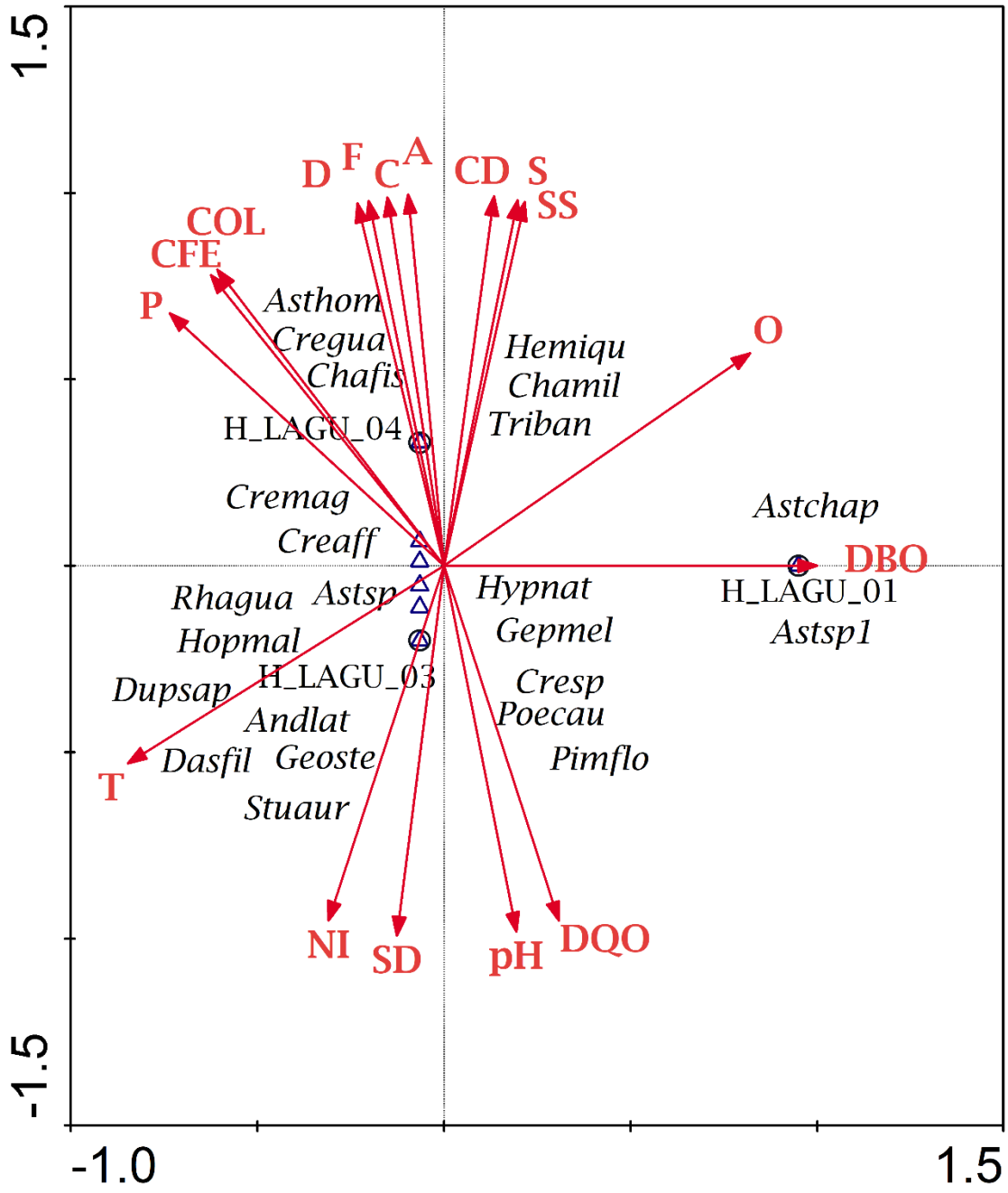


Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxigeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

La presencia de especies de *Astroblepus* spp. es común en zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015) debido a rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. mayor velocidad del agua) (De Crop et al., 2013; Poveda-Cuellar et al., 2021).

Por otro lado, en el eje y algunas variables como caudal (C) y solidos disueltos (SD) se asociaron positivamente con H-LAGU-04 y Astroblepus homodon y negativamente a H-LAGU-03 y Pimelodella floridablancaensis, Astyanax sp y Poecilia caucana (Figura 4.5.3.7.2). Es decir, H-LAGU-04 se caracterizó por registrar un mayor caudal y solidos disueltos en relación a H-LAGU-03. Ambas estaciones se registraron en zonas de baja montaña entre 244 y 280 m s.n.m. Estas zonas debido que proporcionan una mayor diversidad de hábitats, nichos, fuentes de alimentación y son cuerpos de agua mas cálidos, profundos y anchos y con menor velocidad y pendiente (Poveda-Cuellar et al., 2021), favorece la diversidad de nichos y explica la presencia de estas especies de Characidae, Cichlidae y Poeciliidae.

Figura 699. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

35.5.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso

Se analizó un total de 96 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Lagunillas, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). Para *Poecilia caucana*, se obtuvo valores de longitud y peso promedio de 22,0 mm LE y 0,12 g; *Astyanax* sp. obtuvo valores de longitud 52,28 mm LE y peso

promedio de 2,70 g; *Creagrutus affinis* registró valores de longitud 40,7 mm LE y peso promedio de 0,91 g; *Astroblepus homodon* obtuvo valores de longitud 33,36 mm LE y peso promedio de 0,59 g; *Pimelodella floridablancaensis* obtuvo valores de longitud 57,18 mm LE y peso promedio de 1,16 g.

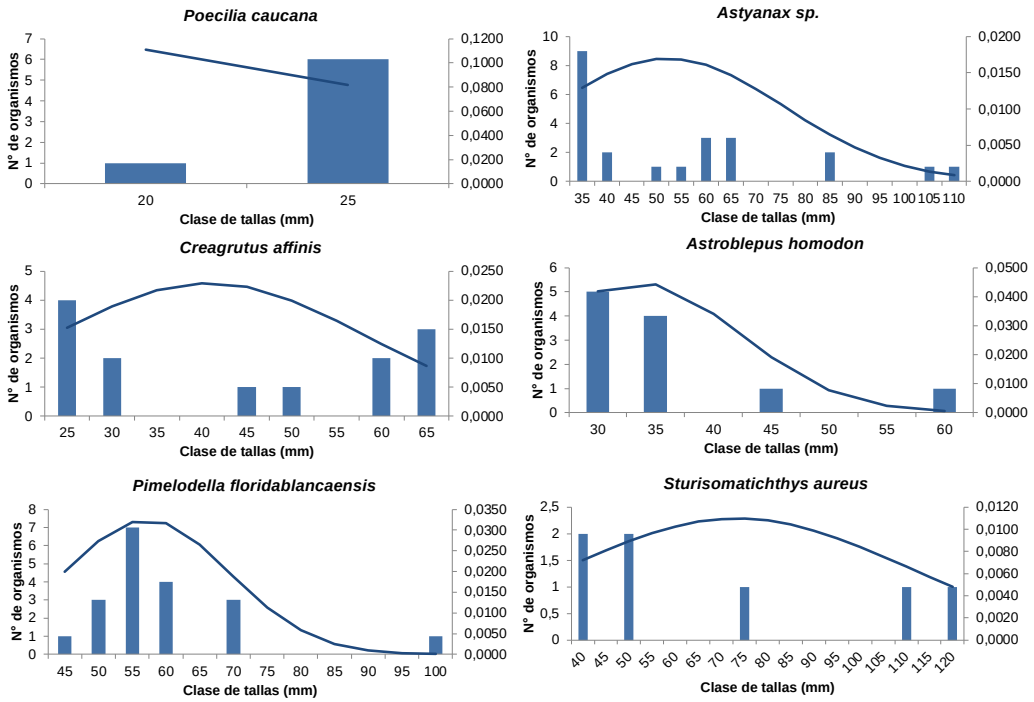
En general, se observan variaciones en tamaño y peso entre las especies del ensamblaje. Algunas especies como *Astyanax* sp., *Creagrutus affinis*, *Pimelodella floridablancaensis* y *Sturisomatichthys aureus* registraron altas variaciones en clases de talla entre sus poblaciones (**Figura 700**).

Con individuos juveniles y adultos. Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Si bien no es posible establecer variaciones de frecuencias de talla a nivel temporal, se puede asegurar dentro de las poblaciones existen individuos juveniles y adultos. Caso contrario en lo encontrado en *Poecilia caucana* y *Astroblepus homodon* que se caracterizaron mayoritariamente por individuos adultos.

Estas dinámicas poblacionales a nivel temporal explican la adición de nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Lo anterior aporta información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

Por ejemplo, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies, tales como el diario y el lunar (Galzin, 1987; Shapiro, 1991).

Figura 700. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condicíon permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Sin embargo, ninguna especie contó con un numero mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal.

A pesar de esto, registramos un crecimiento alométrico positivo (b> 3) para la mayoría de las especies, esto indica un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951). Por el contrario, *Poecilia caucana*, registró crecimiento alométrico negativo, es decir, la especie aumenta más en longitud que peso, pudiendo ser un indicador de la menor inversión en energía acumulada y muestra que la especie posiblemente prioriza su crecimiento por encima de su peso (Le Cren, 1951). Esto ocurre posiblemente a una transferencia energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así como, podemos inferir que la especie posiblemente se encontraba en reproducción o proceso de reproducción en alguno de los monitoreos (**Tabla 587**).

Tabla 587. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

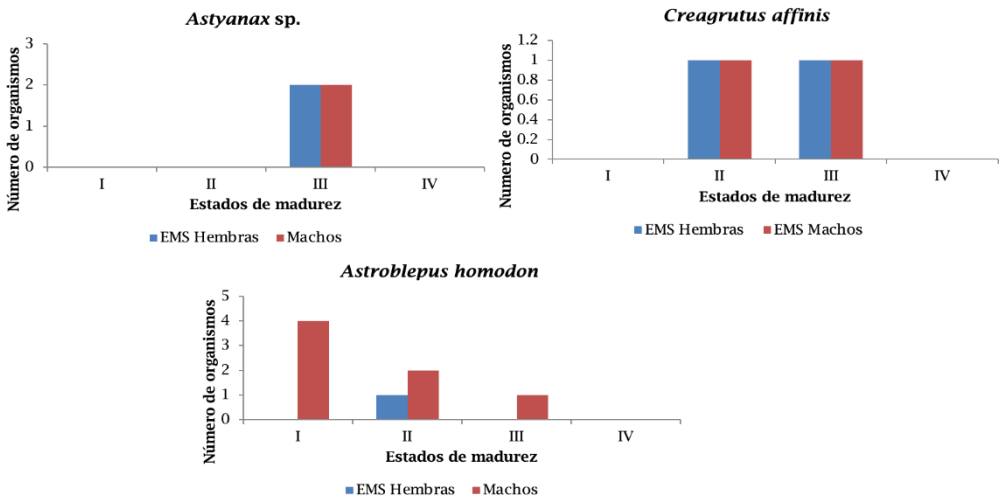
Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente crecimiento b	Factor de condición K
Poecilia caucana	M2	6	22,06	0,12	2,62	3,6E-05
Astyanax sp.	M2	23	52,28	2,70	3,27	3,6E-06
Creagrutus affinis	M2	13	40,74	0,91	3,31	2,6E-06
Astroblepus homodon	M1	11	33,36	0,59	3,15	7,6E-06
Pimelodella floridablancaensis	M2	19	57,18	1,16	3,51	6,4E-07
Sturisomatichthys aureus	M1	8	73,4075	1,925	3,04	2,5E-06

Fuente: Autores (2022).

35.5.3.9. Análisis trófico y reproductivo

En relación con el análisis reproductivo, fueron analizados 18 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Guarinó. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo numero de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas fueron mayoritariamente machos maduros o en proceso de reproducción. En cuanto a la especie *Astyanax* sp. todos los individuos se encontraban en estado de madurez sexual EMS II o época reproductiva. *Creagrutus affinis* y *Astroblepus homodon* registraron individuos en proceso de desarrollo gonadal y época reproductiva (**Figura 701**).

Figura 701. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Astyanax sp., Creagrutus affinis 1 y Astroblepus homodon.* I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.

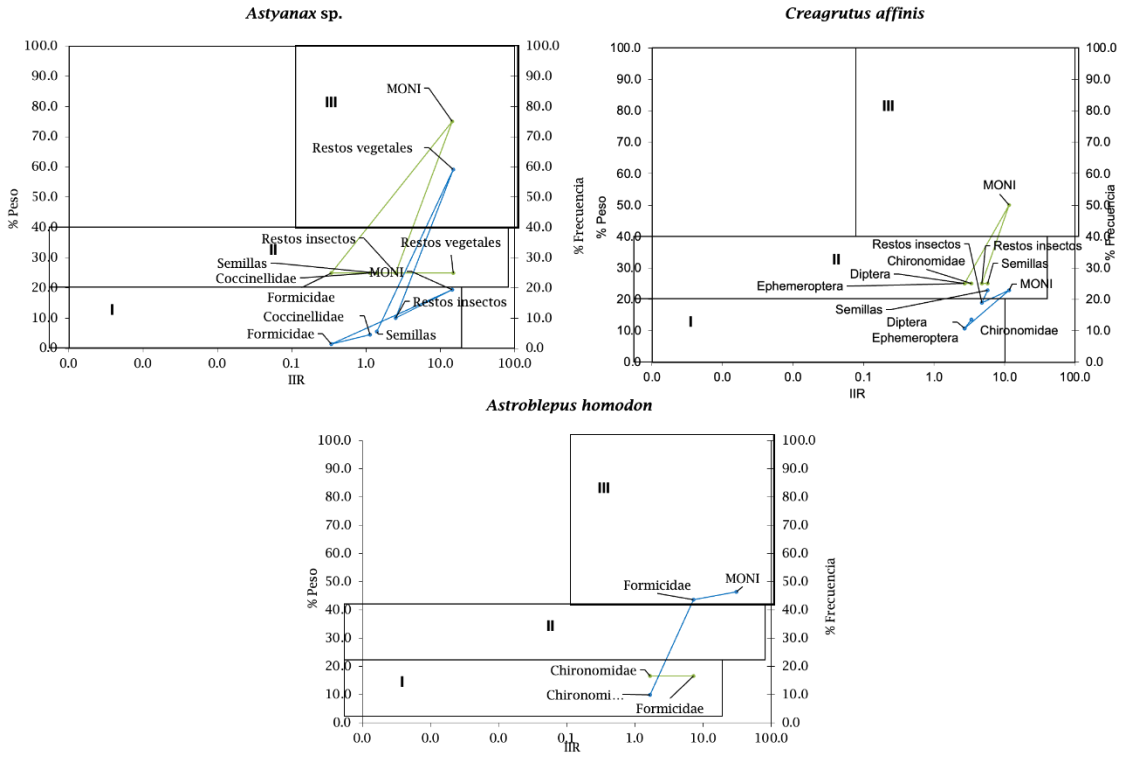


Fuente: Autores (2022).

Ecología trófica

Se analizaron 18 estómagos, de los cuales la mayoría estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1 para las especies Astyanax sp. y Astroblepus sp.1. En cuanto a Astroblepus homodon fue de 0.7. En total se encontraron siete ítems alimenticios, de los cuales tres (Restos vegetales, materia orgánica no indentificada-MONI y Formicidae) fueron considerados preferenciales y los restantes correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y secundarios según (Yañez- Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013). Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como Invertívoro-insectívoro (Astyanax sp.), Omnívoro-Invertívoro (Creagrutus affinis) e Invertívoro (Astroblepus homodon). El gremio trofico Invertívoro son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos. Y, Invertívoro-insectívoro son organismo que se alimentan de larvas de invertebrados acuáticos, con cierta preferencia por organismo de la clase Insecta adultos. Y, Omnívoro-Invertívoro comprenden especies se alimentan de material particulado asociados al fondo e invertebrados acuáticos. (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 702**).

Figura 702. Espectro trófico de *Astyanax sp., Creagrutus affinis 1 y Astroblepus homodon* de la subzona hidrográfica del río Lagunillas.



Fuente: Autores (2022).

35.5.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Lagunillas son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de las sardínas (*Astyanax* sp.), cuchos (p.e., *Chaetostoma* spp.) y ornamentales como cuchos y gupis (p.e. *Dasyloricaria filamentosa* y *Poecilia caucana*). Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Lagunillas. Por otro lado, ninguna especie se encuentra en categoría de amenaza según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), pero si en preocupación menor (UICN) (**Tabla 588**).

Tabla 588. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	categoría UICN/ Libro Rojo
Andinoacara latifrons	*				
Astroblepus chapmani	*				LC
Astroblepus homodon	*				LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*				LC
Astyanax sp.				Pesca	

Chaetostoma cf. *fischeri*		Pesca	LC
Chaetostoma milesi		Pesca	LC
Creagrutus affinis			LC
Creagrutus guanes	*		LC
Creagrutus magdalenae	*		LC
Creagrutus sp.			
Dasyloricaria filamentosa		Ornamental	LC
Dupouyichthys sapito			
Geophagus steindachneri		Ornamental	
Gephyrocharax melanocheir	*		LC
Hemibrycon iqueima	*		
Hoplias malabaricus		Pesca | Ornamental	LC
Hyphessobrycon natagaima	*		
Pimelodella floridablancaensis	*		
Poecilia caucana		Ornamental	LC
Rhamdia guatemalensis			LC
Sturisomatichthys aureus	*	Ornamental	
Trichomycterus banneaui	*		LC

Fuente: Autores (2022).

La subzona hidrográfica del rio Lagunillas representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, múltiples afluentes y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Asimismo, en la década de los 80 el río Lagunillas experimentó una avalancha por el deshielo del nevado del Ruiz que trajo consigo proceso de colonización desde el río Magdalena y tributarios no impactados. Estos eventos naturales generan disturbio y afecta la fauna acuática, como es el caso de los peces de agua dulce.

Sin embargo, se han registrado impactos ambientales que generan disturbios como ingreso de aguas negras provenientes de las localidades aledañas, desechos industriales y extracción de arena, las cuales representan fuertes tensores sobre la fauna acuática.

Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región.

De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica mas actualizados en la subzona hidrográfica del rio Lagunillas. Estudios anteriores (Garcia-Melo & Lozano, 2008) sobre la cuenca del río Lagunillas sobre algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de aproximadamente 19 especies. Valores inferiores al reportado en el presente estudio (23 spp).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los ordenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 49 %), con 11 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 39 %) con nueve y Blenniiformes (AR= 11 %) con tres, siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, Garcia-Melo & Lozano, 2008; Poveda-Cuellar, 2020).

De las estaciones evaluadas, se registraron 23 especies, la cuales representan el 27 121 % de las especies del río Lagunillas (Garcia-Melo & Lozano, 2008) y 20 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. Es importante mencionar que durante el monitoreo las lluvias podrían haber afectado la captura de los organismos acuáticos y especies en especial aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta ultima, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

En cuanto a las especies, no se registro Trucha arcoíris (*Onchorynchus mykiss*), ya registrada por Villa et al. 2003. Esta especie se registró en las zonas altas de la subzona hidrográfica del rio Lagunillas donde habitan especies nativas como *Astroblepus* spp. La ausencia de Trucha en esas zonas es un buen indicador del estado de los ecosistemas y poblaciones ícticas debido el establecimiento de especies puede llevar al desplazamiento peces nativos por competencia y enfermedades.

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae fueron las unicas registradas en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Trichomcyteridae, Cichlidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas. Es así que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que los peces del rio Lagunillas se encuentran mayoritariamente en rápidos, remansos, sustratos rocosos, grava, arena y hojarasca como es el caso de *Astroblepus* spp que prefieren rápidos y sustratos de roca. Estas

especies, Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015)

Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas.

35.6. Subzona hidrográfica del río Sabandija.

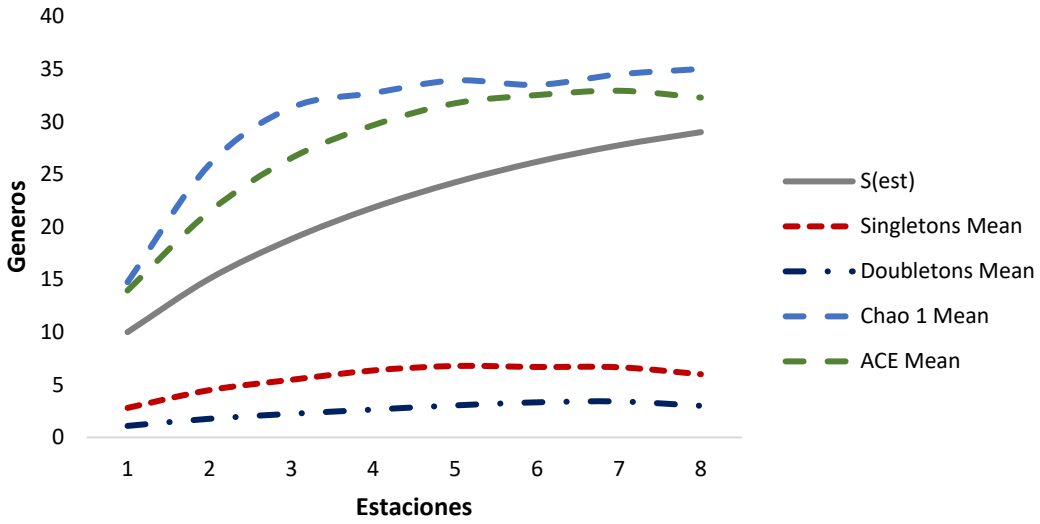
35.6.1. Perifiton

35.6.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 29 géneros observados (Sobs) en ocho estaciones evaluadas (cuatro en la subzona durante dos temporadas), estas especies representan el 89.9% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 82.8% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 35 géneros (**Figura 703**).

Según los estimadores de riqueza se registró una cantidad de organismos próxima a los esperados por los estimadores de riqueza durante ambos muestreos, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica, la eficiencia de muestreo fue buena y los organismos registrados, representan correctamente los individuos que se registran en esta cuenca hidrográfica, esto, puede ser corroborado en la **Figura 703** en donde se observa que la curva ha llegado a la zona asintótica.

Figura 703. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrografica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

35.6.1.2. Composición

Se colectaron 1587 individuos/mm^2 distribuidos en ocho filos, nueve clases, 19 órdenes, 26 familias y 29 géneros (**Tabla 589**).

A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 920 individuos/mm^2 (58%) seguida de la clase Cyanophyceae con 615 individuos/mm^2 (38.8%). Estas dos clases son comunes y frecuentes en cuerpos de agua andinos, en donde principalmente dominan los organismos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, gracias a las capacidades de este grupo para adherirse a sustratos naturales ofertados por los cuerpos de agua (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003). Con relación a los órdenes Oscillatoriales, Naviculales y Bacillariales representaron aproximadamente el 85.5% de los organismos registrados. Los órdenes restantes registraron densidades menores al 8%.

Tabla 589. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

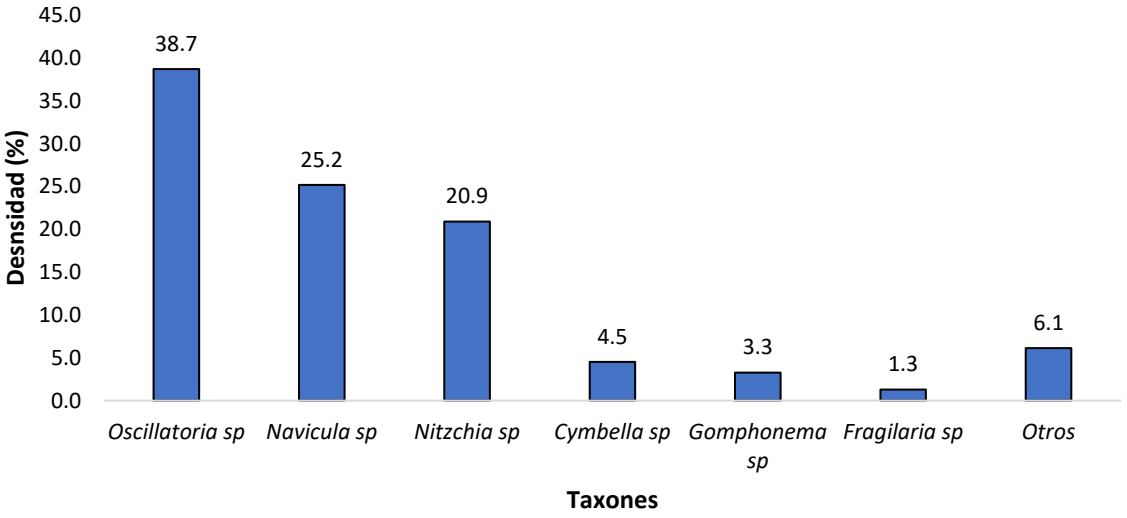
Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2

Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzchia sp*	332
		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	5
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	72
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	52
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	5
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia sp*	1
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	21
				Synedra sp	5
		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	1
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Amphipleura sp*	2
				Frustulia sp	6
			Naviculaceae	*Navicula sp*	400
			Pinnulariaceae	*Pinnularia sp*	2
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Epithemia sp*	7
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella sp*	11
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	5
Charophyta	Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	*Cosmarium sp*	5
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Chaetophora sp*	6
		Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	*Pediastrum sp*	1
			Scenedesmaceae	*Desmodesmus sp*	10
			Selenastraceae	*Ankistrodesmus sp*	1
				Monoraphidium sp	11
Ciliophora	Ciliatea	Peritrichida	Vorticellidae	*Vorticella sp*	1
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Chroococcales	Microcystaceae	*Gleocapsa sp*	1
		Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	614
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Eugleninae	*Euglena sp*	6
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Arcellidae	*Arcella sp*	2
	Lobosa	Arcellinida	Difflugiidae	*Diflugia sp*	2
Rotifera	Monogonta	Ploima	Lecanidae	*Lecane sp*	1

Fuente: Autores (2022).

El taxon dominante en esta subzona fue *Osillatoria sp* (**Figura 704**) perteneciente a la clase Cyanophyceae, comúnmente conocidos como cianobacterias o algas verde azules, los cuales se desarrollan en altas densidades en ecosistemas con altas cargas de nutrientes (Gualtero y Trilleras, 2001; Ramírez González & Vizcaíno 1998).

Figura 704. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Sabandija.



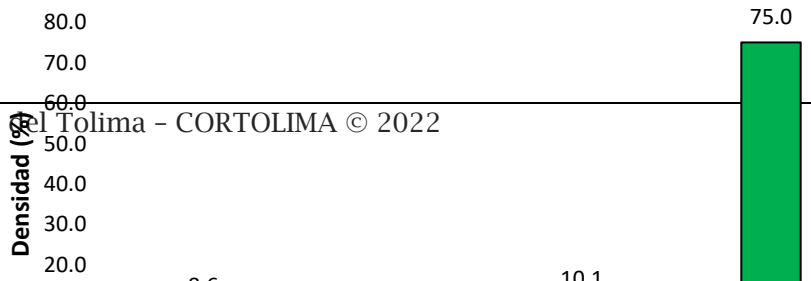
Fuente: Autores (2022).

Navicula sp y Nitzchia sp fueron los siguientes en abundancia. Estos organismos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae se desarrolla ampliamente en este tipo de ecosistemas de corrientes rápidas, debido a la capacidad que poseen estos organismos para tolerar el estrés producido por la corriente del agua y a la capacidad de soportar cambios en las condiciones ambientales que se presentan a lo largo del cuerpo de agua evaluado. Algunos autores como Bellinger & Sigee (2010), consideran que estos taxones, se distribuyen ampliamente en los ecosistemas acuáticos, principalmente en los cuerpos de agua con fuertes corrientes.

35.6.1.3. Distribución espacial

Se establecieron cuatro estaciones de muestreo, de las cuales el río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04), registro la mayor densidad relativa con un 75%, seguida por río Cuamo (H_Saban_03) (**Figura 705**, **Tabla 590**). La estación río Sabandija-Armero Guayabal (H_Saban_02) registro la menor densida.

Figura 705. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 590. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Especie	H_Saban_01	H_Saban_02	H_Saban_03	H_Saban_04
Achnanthidium sp	1	0	0	1
Amphipleura sp	1	0	0	2
Ankistrodesmus sp	0	0	1	0
Arcella sp	1	1	0	1
Chaetophora sp	0	0	0	6
Cocconeis sp	0	0	0	5
Cosmarium sp	0	0	0	5
Cymbella sp	4	3	37	28
Desmodesmus sp	0	3	0	7
Diflugia sp	0	1	1	0
Epithemia sp	7	0	0	0
Euglena sp	6	0	0	0
Eunotia sp	0	0	1	0
Fragilaria sp	3	0	8	9
Frustulia sp	6	0	0	0
Gleocapsa sp	0	1	0	0
Gomphonema sp	3	9	10	30
Lecane sp	1	0	0	0
Melosira sp	4	0	1	0
Monoraphidium sp	11	0	0	0
Navicula sp	59	31	32	278
Nitzchia sp	13	30	30	259
Oscillatoria sp	4	21	31	557
Pediastrum sp	0	1	0	0
Pinnularia sp	1	0	0	1
Rhoicosphenia sp	3	0	2	0
Surirella sp	6	0	5	0
Synedra sp	1	0	1	3

Vorticella sp	1	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.6.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos, fue registrada durante el muestreo M2 realizado durante la época de bajas precipitaciones en la cual se observó un bajo caudal y pocas precipitaciones que permitieron la colonización de un mayor número de individuos. A nivel temporal, se evidencia que el río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04) registro la mayor densidad relativa durante las dos épocas evaluadas (**Figura 706**, **Tabla 591**).

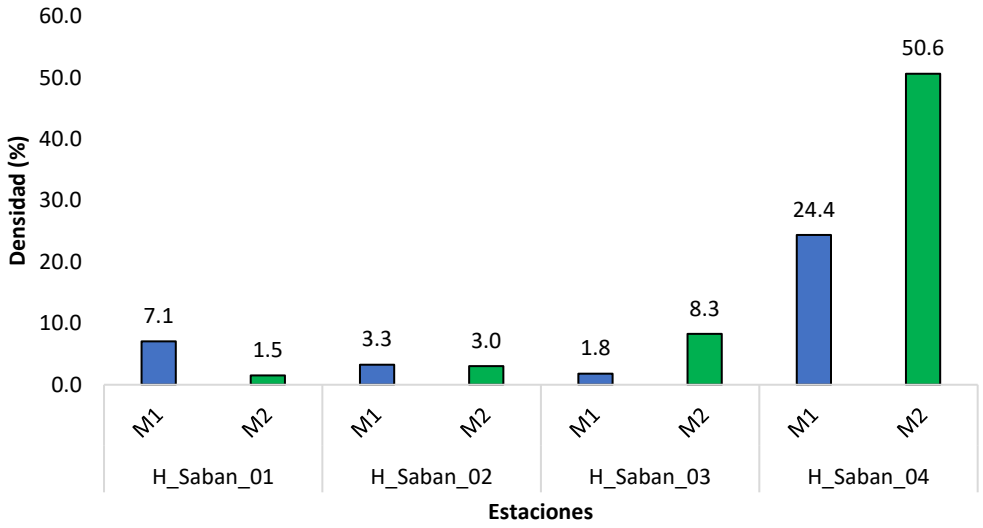
Tabla 591. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

	H_Saban_01		H_Saban_02		H_Saban_03		H_Saban_04	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Achnanthidium sp	1	0	0	0	0	0	1	0
Amphipleura sp	1	0	0	0	0	0	2	0
Ankistrodesmus sp	0	0	0	0	0	1	0	0
Arcella sp	1	0	1	0	0	0	1	0
Chaetophora sp	0	0	0	0	0	0	6	0
Cocconeis sp	0	0	0	0	0	0	3	2
Cosmarium sp	0	0	0	0	0	0	3	2
Cymbella sp	4	0	3	0	0	37	7	20
Desmodesmus sp	0	0	1	2	0	0	2	6
Diflugia sp	0	0	0	1	0	1	0	0
Epithemia sp	7	0	0	0	0	0	0	0
Euglena sp	0	6	0	0	0	0	0	0
Eunotia sp	0	0	0	0	0	1	0	0
Fragilaria sp	3	0	0	0	4	5	0	9
Frustulia sp	6	0	0	0	0	0	0	0
Gleocapsa sp	0	0	1	0	0	0	0	0
Gomphonema sp	3	0	1	8	5	6	6	24
Lecane sp	0	1	0	0	0	0	0	0
Melosira sp	4	0	0	0	0	1	0	0
Monoraphidium sp	1	10	0	0	0	0	0	0
Navicula sp	56	3	16	15	10	22	167	111
Nitzchia sp	10	3	10	19	3	27	185	74
Oscillatoria sp	4	0	19	2	4	28	2	556
Pediastrum sp	0	0	0	1	0	0	0	0
Pinnularia sp	1	0	0	0	0	0	1	0
Rhoicosphenia sp	3	0	0	0	2	0	0	0
Surirella sp	6	0	0	0	2	3	0	0

Synedra sp	1	0	0	0	0	1	3	0
Vorticella sp	0	1	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

Figura 706. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



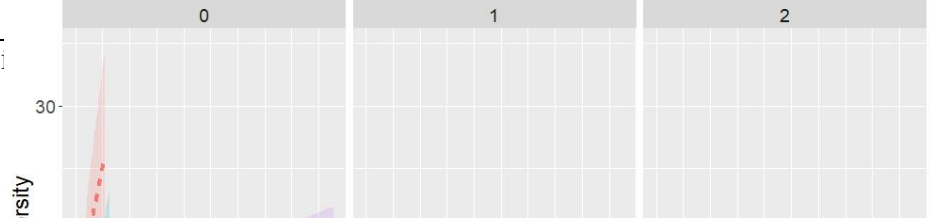
Fuente: Autores (2022).

35.6.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D) a nivel general, se determinó que la estación río Sabandija-Palocabildo (H_Saban_01) registro la riqueza más alta y en la estación río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04) la riqueza más baja (**Figura 707**).

Al tener en cuenta las especies típicas (1D) y especies dominantes (2D) se evidenció que las estaciones más diversas fueron río Sabandija-Palocabildo (H_Saban_01) y río Cuamo (H_Saban_03). A diferencia la estación río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04) la cual; al igual que en el orden (0D) registro el menor número de especies (**Figura 707**).

Figura 707. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija

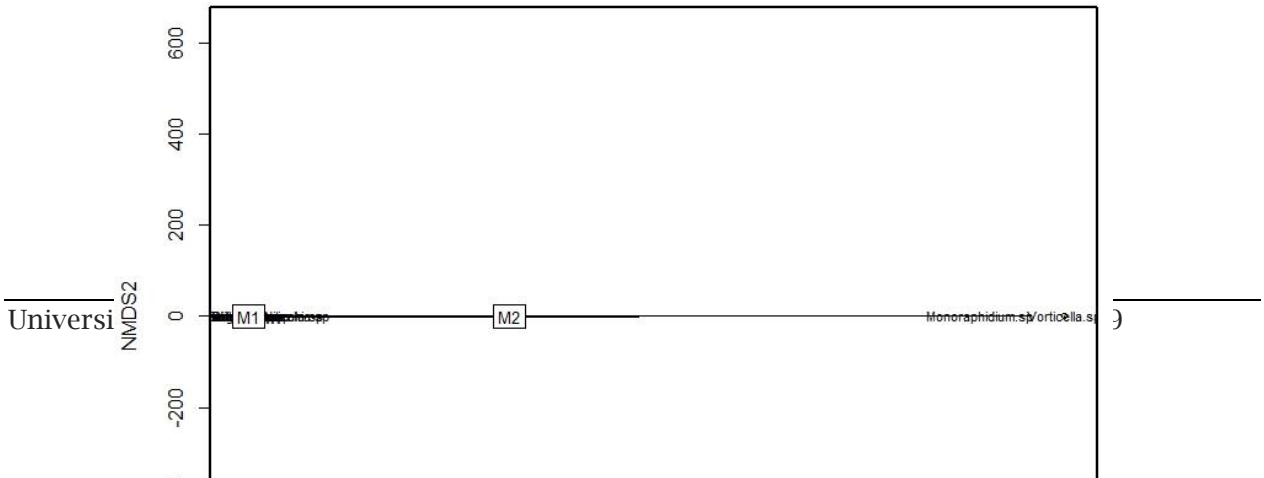


Fuente: Autores (2022).

35.6.1.6. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad en las épocas evaluadas (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 708**). Por lo que las comunidades perifíticas son estables y se mantiene en el tiempo en las localidades evaluadas. LA variabilidad en las estaciones evaluadas fue tan baja que el diagrama de dispersión no separo claramente las épocas evaluadas.

Figura 708. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



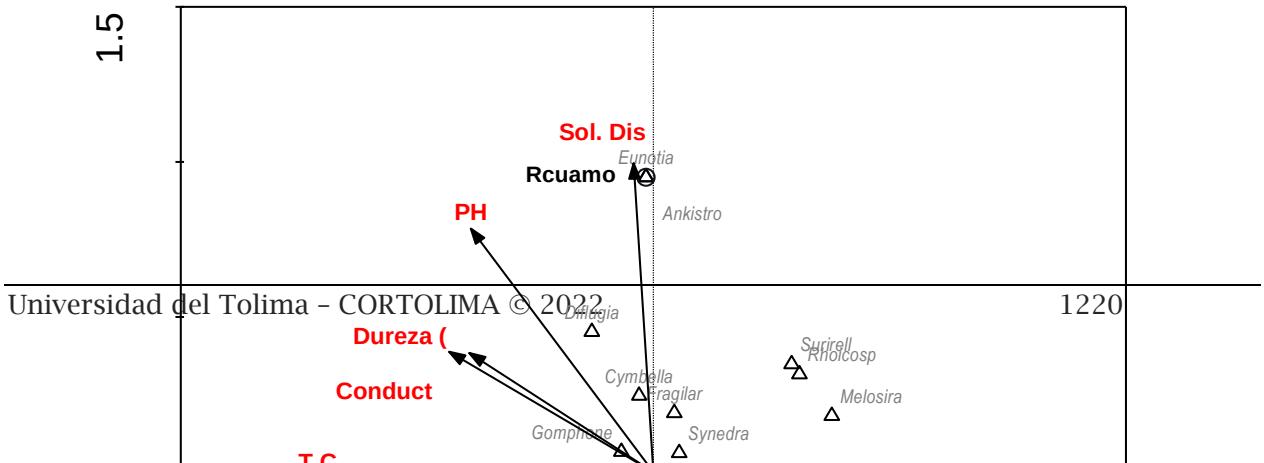
Fuente: Autores (2022).

35.6.1.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC), ninguna de las variables evaluadas influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica. Sin embargo, vale la pena resaltar que, en el diagrama de ordenación, se observó una separación clara de las estaciones evaluadas en la subzona del río Sabandija (**Figura 709**).

La estación río Cuamo (H_Saban_03), se separó por valores elevados de solidos disueltos y pH, caracterizada por la presencia de *Eunotia sp* y *Ankistrodesmus sp*. La estación río Sabandija-Palocabildo (H_Saban_01) se separó por valores elevados de coliformes fecales, totales, solidos suspendidos y fosforo, variables relacionadas con descargas de aguas residuales y actividades agrícolas. Taxones como *Euglena sp, Vorticella sp y Monoraphidium sp* fueron característicos de esta localidad y son comunes en cuerpos de agua con altas cargas de nutrientes. Finalmente, las estaciones río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04) y río Sabandija-Armero Guayabal (H_Saban_02), se caracterizaron por valores elevados de caudal y oxígeno disuelto, taxones como *Pediastrum sp y Desmodesmus sp* fueron característicos en estos cuerpos de agua.

Figura 709. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

35.6.1.8. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (**Tabla 592**). Siendo el río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04) el que registro los valores más altos de contaminación y desaparición de especies sensibles. Las estaciones restantes, presentaron niveles de contaminación intermedia con eutrofización acentuada (**Tabla 592**).

Tabla 592. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.sabandija_1	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.sabandija_2	3.2	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

R.Cuamo	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.sabandija_4	2.9	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

Fuente: Autores (2022).

35.6.2. Macroinvertebrados acuáticos

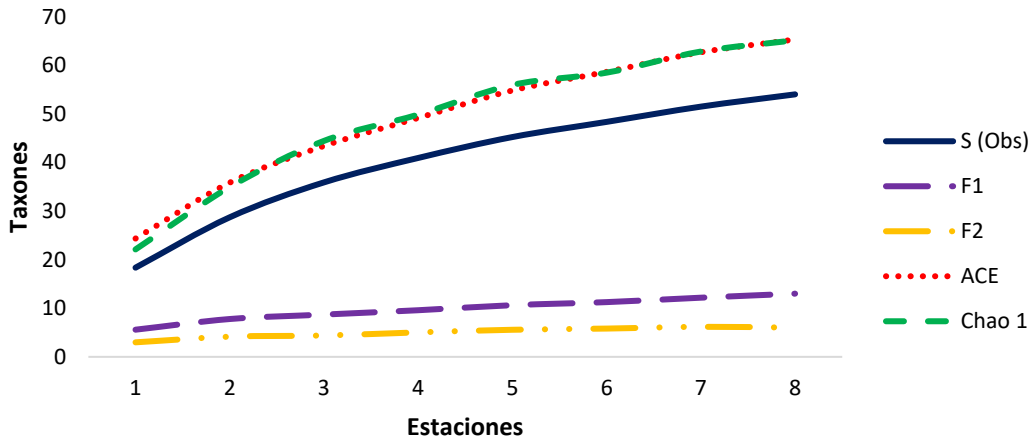
35.6.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 54 géneros observados (Sobs) en las 8 estaciones evaluadas (cuatro en la subzona durante dos temporadas) para un total de 16 muestras que corresponden al 65.2% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 65.1% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 65 géneros (**Figura 710**).

Según los estimadores de riqueza se colecto poco más de la mitad de los géneros estimados para la subzona hidrográfica del rio Sabandija, este cuerpo de agua es de morfología cambiante con una alta variabilidad de sustratos, lo que permite el desarrollo de una mayor cantidad de taxones. Sin embargo, se observan varios impactos de origen artificial desde la parte alta, hasta la zona media-baja, lo cual puede incidir en la distribución de los organismos (Roldan, 2016).

Por otro lado, para el segundo monitoreo se presentaron fuertes lluvias en la zona alta lo que limito la posibilidad de detectar los organismos en la mayoría de las estaciones, estos factores indican que es necesario muestrear en periodos climáticos más extensos para lograr alcanzar la totalidad de los organismos que puedan existir en la zona (Reinoso et al., 2008).

Figura 710. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrografica del rio Sabandija.



Fuente: Autores (2022)

35.6.2.2. Composición

Se colectaron 846 organismos distribuidos en tres filos, cuatro clases, 12 órdenes, 31 familias y 54 géneros (**Tabla 593**).

Tabla 593. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	5
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	*Tubifex*	1
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	6
	Insecta	Coleoptera	Dryopidae	*Dryops*	18
			Dytiscidae	*Dytiscidae sp*	2
			Elmidae	*Cylloepus*	21
				Heterelmis	35
				Huleechius	6
				Macrelmis	31
				Microcylloepus	12
				Phanocerus	34
				Xenelmis	1
			Hydrophilidae	*Hydrophilidae sp*	1
			Staphylinidae	*Bledius*	4
		Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	1
			Chironomidae	*Chironominae*	64
				Orthocladiinae	22
				Tanypodinae	13
			Simuliidae	*Simulium*	22

	Tabanidae	*Chrysops*	1
	Tipulidae	*Hexatoma*	4
Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	5
		Baetodes	7
		Camelobaetidius	11
		Varipes	2
		Zelusia	1
	Leptohyphidae	*Leptohyphes*	69
		Tricorythodes	36
	Leptophlebiidae	*Farrodes*	12
		Terpides	15
		Thraulodes	41
		Traverella	1
Hemiptera	Gerridae	*Limnogonus*	1
		Platygerris	5
		Rheumatobates	1
		Trepobates	7
	Mesoveliidae	*Mesoveloidea*	3
	Naucoridae	*Limnocoris*	74
		Procryphocricos	2
	Notonectidae	*Martarega*	2
		Notonecta	1
	Veliidae	*Rhagovelia*	104
Lepidoptera	Crambidae	*Petrophila*	3
Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	15
Odonata	Calopterygidae	*Hetaerina*	7
	Gomphidae	*Agriogomphus*	1
	Libellulidae	*Dythemis*	2
		Elasmothemis	2
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	24
Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	1
	Hydropsychidae	*Leptonema*	5
		Smicridea	63
	Leptoceridae	*Nectopsyche*	1
	Philopotamidae	*Chimarra*	18

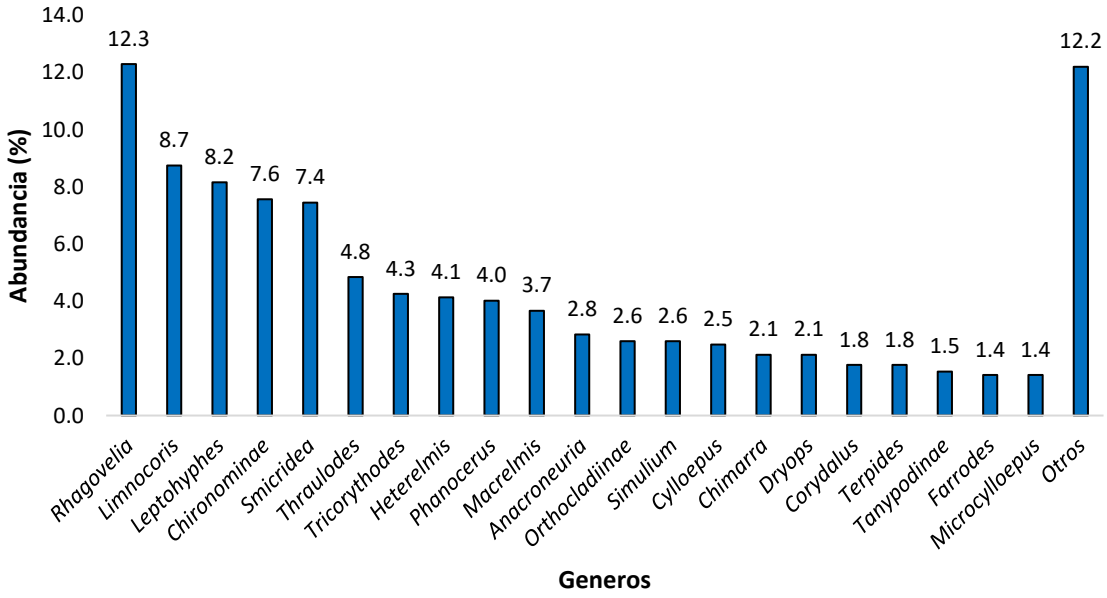
Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Ephemeroptera con 200 organismos (23.6%), Hemiptera con 200 organismos (23.6%) y Coleoptera con 165 organismos (19.5%). Los patrones de abundancia registrados son similares a los

registrados para lo observado en las cuencas andinas (Vásquez y Reinoso, 2012) y en la misma área de estudio.

En cuanto a familias, las más abundantes fueron Elmidae (16.5%), Leptohyphidae (12.4%) y Veliidae (12.3%) mientras que Calopterygidae, Palaemonidae, Dugesiidae, Libellulidae, Staphylinidae, Tipulidae, Crambidae, Mesoveliidae, Notonectidae, Dytiscidae, Ceratopogonidae, Glossosomatidae, Gomphidae, Hydrophilidae, Leptoceridae, Naididae y Tabanidae presentaron la menor cantidad de organismos (>1%). A nivel de géneros, los más abundantes fueron *Rhagovelia* (12.3%), seguido de *Limnocoris* (8.7%) y *Leptohyphes* (8.2%). De los 44 géneros registrados 28 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Baetodes, Hetaerina, Trepobates, Huleechius, Macrobrachium, Americabaetis, Girardia, Leptonema, Platygerris, Hexatoma, Bledius, Mesoveloidea, Petrophila, Dythemis,* Dytiscidae sp, *Elasmothemis, Martarega, Procryphocricos, Varipes, Agriogomphus, Alluaudomyia, Chrysops, Culoptila,* Hydrophilidae sp, *Limnogonus, Nectopsyche, Notonecta, Rheumatobates, Traverella, Tubifex, Xenelmis* y *Zelusia* (**Figura 711**).

Figura 711. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



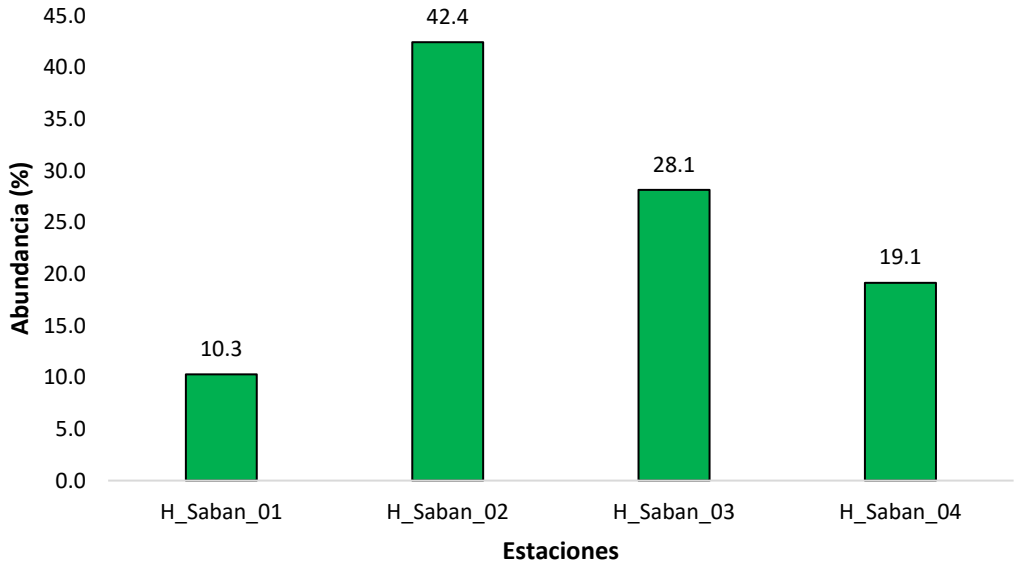
Fuente: Autores (2022).

La subzona hidrográfica del rio Sabandija presenta pocos tributarios importantes, no obstante, presenta condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de los invertebrados, dado que en toda su extensión presenta la variabilidad de sustrato y los recursos necesarios para sostener una comunidad amplia y diversa.

35.6.2.3. Distribución espacial

Se establecieron cuatro estaciones de muestreo en el cauce principal del rio, y el rio Cuamo, se registró la mayor abundancia en el rio Sabandija (H_Saban_02) con 359 organismos (42.4%), seguido del rio Cuamo (H_Saban_03) con 238 organismos (28.1%) (**Figura 712**).

Figura 712. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija



Fuente: Autores (2022).

Las estaciones del rio Sabandija cuentan con características particulares en cada uno de sus tramos, por lo tanto, tienen un variado conjunto de condiciones ecológicas y ambientales que permiten el desarrollo de una fauna relativamente diferente en cada una de ellas, que en conjunto indican una composición abundante en la subzona hidrográfica. Aun cuando existen impactos evidentes en la zona media a la altura de Armero Guayabal producto de la urbanización y la agricultura. Se entiende que aún puede existir una cantidad de organismos aun mayor, dado que no se alcanzó la asíntota de muestreo, por lo que los cambios pluviométricos son esenciales en la distribución de los organismos, por lo tanto, es necesario ampliar los monitoreos a un mayor número de épocas (Roldan y Ramirez, 2008; Dominguez y Fernandez, 2009).

En cuanto a los géneros registrados Chironominae, *Leptohyphes, Limnocoris, Macrelmis,* Orthocladiinae, *Rhagovelia, Simulium, Smicridea* y *Tricorythodes*, se colectaron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Sabandija, estos taxones son comunes en los monitoreos y son capaces de sobrevivir en una una multitud

de ecosistemas con diferente estructura (**Tabla 594**). Del material colectado los géneros *Agriogomphus, Alluaudomyia, Chrysops, Culoptila, Dythemis,* Dytiscidae sp, *Girardia,* Hydrophilidae sp, *Limnogonus, Martarega, Nectopsyche, Notonecta, Procryphocricos, Rheumatobates, Traverella, Tubifex, Varipes, Xenelmis* y *Zelusia* indicaron una distribución restringida a una sola estación.

Tabla 594. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Genero	H_Saban_01	H_Saban_02	H_Saban_03	H_Saban_04
Agriogomphus	*	*	1	*
Alluaudomyia	*	*	1	*
Americabaetis	*	3	2	*
Anacroneuria	6	3	15	*
Baetodes	1	5	1	*
Camelobaetidius	*	8	1	2
Chimarra	4	11	3	*
Chironominae	13	19	10	22
Chrysops	1	*	*	*
Corydalus	2	12	1	*
Culoptila	1	*	*	*
Cylloepus	2	5	14	*
Dryops	*	*	3	15
Dythemis	*	*	*	2
Dytiscidae sp	*	*	2	*
Elasmothemis	*	*	1	1
Farrodes	*	10	*	2
Girardia	*	5	*	*
Hetaerina	*	*	1	6
Heterelmis	4	18	13	*
Hexatoma	3	*	1	*
Huleechius	*	5	*	1
Hydrophilidae sp	*	1	*	*
Leptohyphes	2	59	4	4
Leptonema	3	2	*	*
Limnocoris	3	1	46	24
Limnogonus	*	*	*	1
Macrelmis	1	15	11	4
Macrobrachium	*	1	*	5
Martarega	*	*	*	2
Mesoveloidea	*	1	2	*
Microcylloepus	*	7	5	*

Nectopsyche	1	*	*	*
Notonecta	*	*	*	1
Orthocladiinae	2	13	5	2
Petrophila	2	1	*	*
Phanocerus	*	2	21	11
Platygerris	3	*	*	2
Procryphocricos	*	*	*	2
Rhagovelia	10	69	23	2
Rheumatobates	*	*	1	*
Simulium	4	10	1	7
Smicridea	10	37	12	4
Tanypodinae	*	5	4	4
Terpides	*	*	7	8
Thraulodes	5	25	11	*
Traverella	*	*	1	*
Trepobates	*	3	*	4
Tricorythodes	4	1	10	21
Tubifex	*	*	*	1
Varipes	*	*	*	2
Xenelmis	*	1	*	*
Zelusia	*	1	*	*
Bledius	*	*	4	*

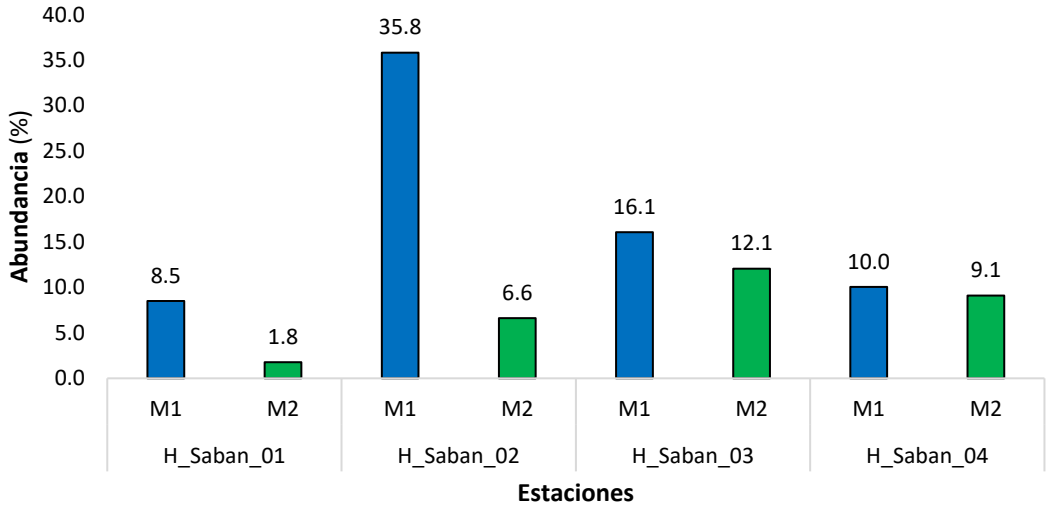
*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.6.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, al momento de la segunda colecta, se presentaron fuertes lluvias que afectaron el caudal, en general el muestreo uno presenta mayor abundancia con 70.4%, mientras que en el segundo se obtuvo un 29.6%. a nivel temporal se registró una mayor abundancia en el rio Sabandija (H_Saban_02) en el primer muestreo, mientras que la mayor abundancia para el segundo periodo se presentó en el rio Cuamo (H_Saban_03) (**Figura 713**).

En cuanto a las estaciones hay una tendencia definida donde se presenta la mayor abundancia en el primer muestreo, sin embargo, esta tiende ser muy similar, presentando pocos cambios significativos, dado que a lo largo de la cuenca se presentan una variedad de condiciones apropiadas para el desarrollo de los organismos.

Figura 713. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.



Fuente: Autores (2022).

La distribución espacio-temporal de los organismos fluctuó bastante, ninguno de los géneros se registró en todas las estaciones durante las dos temporadas, sin embargo Chironominae, *Rhagovelia* y Orthocladiinae estuvieron ampliamente distribuidos (**Tabla 595**).

Estos organismos son cosmopolitas y muy abundantes en todos los ecosistemas acuáticos, lo que justifica su presencia en las estaciones evaluadas. Los géneros *Alluaudomyia, Culoptila, Dythemis, Hetaerina, Limnogonus, Martarega, Mesoveloidea, Nectopsyche, Notonecta, Platygerris, Rheumatobates, Terpides, Traverella, Tubifex, Varipes, Xenelmis* y *Zelusia,* se registraron únicamente en el muestreo uno, mientras que *Agriogomphus, Chrysops,* Dytiscidae sp, Hydrophilidae *sp* y *Procryphocricos* se registraron para el muestreo dos.

Tabla 595. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Genero	H_Saban_01		H_Saban_02		H_Saban_03		H_Saban_04	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Agriogomphus	*	*	*	*	*	1	*	*
Alluaudomyia	*	*	*	*	1	*	*	*
Americabaetis	*	*	3	*	*	2	*	*
Anacroneuria	6	*	3	*	11	4	*	*

Baetodes	1	*	5	*	*	1	*	*
Camelobaetidius	*	*	8	*	*	1	1	1
Chimarra	3	1	11	*	3	*	*	*
Chironominae	13	*	13	6	9	1	12	10
Chrysops	*	1	*	*	*	*	*	*
Corydalus	2	*	12	*	*	1	*	*
Culoptila	1	*	*	*	*	*	*	*
Cylloepus	2	*	5	*	11	3	*	*
Dryops	*	*	*	*	*	3	7	8
Dythemis	*	*	*	*	*	*	2	*
Dytiscidae sp	*	*	*	*	*	2	*	*
Elasmothemis	*	*	*	*	1	*	1	*
Farrodes	*	*	8	2	*	*	*	2
Girardia	*	*	3	2	*	*	*	*
Hetaerina	*	*	*	*	1	*	6	*
Heterelmis	4	*	16	2	11	2	*	*
Hexatoma	*	3	*	*	1	*	*	*
Huleechius	*	*	5	*	*	*	*	1
Hydrophilidae sp	*	*	*	1	*	*	*	*
Leptohyphes	*	2	58	1	3	1	4	*
Leptonema	2	1	2	*	*	*	*	*
Limnocoris	3	*	*	1	19	27	9	15
Limnogonus	*	*	*	*	*	*	1	*
Macrelmis	1	*	12	3	7	4	1	3
Macrobrachium	*	*	*	1	*	*	5	*
Martarega	*	*	*	*	*	*	2	*
Mesoveloidea	*	*	1	*	2	*	*	*
Microcylloepus	*	*	6	1	5	*	*	*
Nectopsyche	1	*	*	*	*	*	*	*
Notonecta	*	*	*	*	*	*	1	*
Orthocladiinae	2	*	13	*	5	*	*	2
Petrophila	1	1	*	1	*	*	*	*
Phanocerus	*	*	2	*	2	19	1	10
Platygerris	3	*	*	*	*	*	2	*
Procryphocricos	*	*	*	*	*	*	*	2
Rhagovelia	10	*	37	32	5	18	2	*
Rheumatobates	*	*	*	*	1	*	*	*
Simulium	*	4	10	*	1	*	2	5
Smicridea	9	1	37	*	4	8	*	4
Tanypodinae	*	*	4	1	4	*	3	1
Terpides	*	*	*	*	7	*	8	*
Thraulodes	4	1	23	2	11	*	*	*

Traverella	*	*	*	*	1	*	*	*
Trepobates	*	*	3	*	*	*	*	4
Tricorythodes	4	*	1	*	10	*	12	9
Tubifex	*	*	*	*	*	*	1	*
Varipes	*	*	*	*	*	*	2	*
Xenelmis	*	*	1	*	*	*	*	*
Zelusia	*	*	1	*	*	*	*	*
Bledius	*	*	*	*	*	4	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

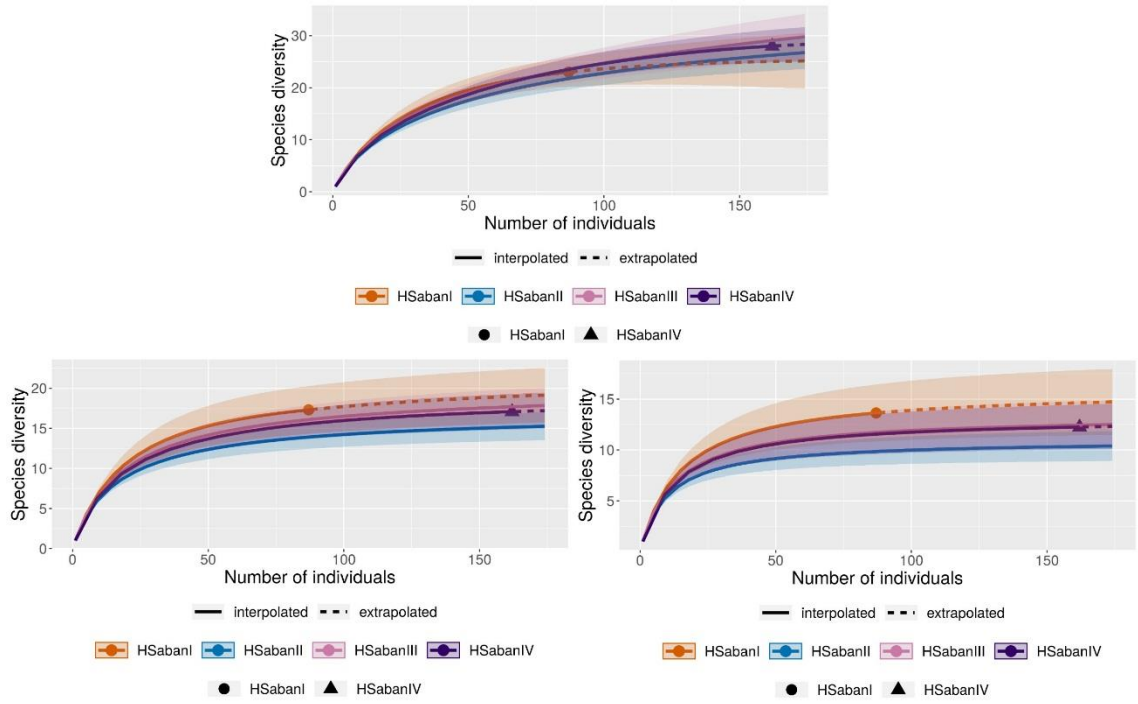
35.6.2.5. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Sabandija, se puede establecer que los valores de riqueza (0D) registrados oscilaron entre los 23 a 33 géneros, siendo las estaciones con mayor número de géneros el rio Cuamo (H_Saban_03) con 33 y el rio Sabandija (H_Saban_02) con 32 (**Figura 714**).

La grafica de diversidad para la riqueza según sus intervalos de confianza, se encuentra sobrexpuesta por lo que se indica que no existen diferencias significativas, sin embargo, para el rio sabandija (H_Saban_01 y H_Saban_04), se denota que aún existe la posibilidad de encontrar un mayor número de taxones, por lo que se recalca que se debe muestrear más para alcanzar la totalidad de la riqueza.

Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican que los valores en las cuatro estaciones son muy similares por lo que se indica una homogeneidad de los organismos abundantes. De acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento similar en las cuatro estaciones, los valores de taxones dominantes se encuentran solapados, por lo que se puede asumir que los taxones dominantes otorgan cierta uniformidad a la comunidad.

Figura 714. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



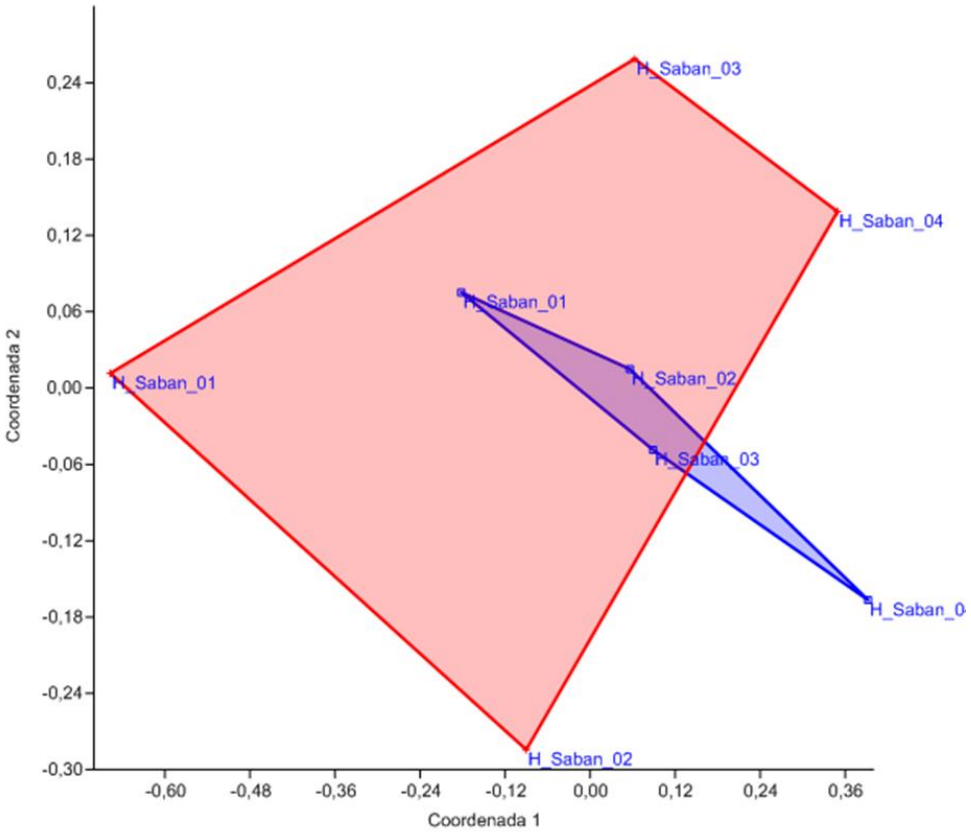
Fuente: Autores (2022).

La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Sabandija y sus tributarios es bastante similar, no se observan cambios significativos en la cuenca, por lo que se asume que hay una diversidad relativamente alta, compuesta por organismos comunes, tolerantes y otros sensibles y ubicuos. aun cuando existen afectaciones importantes a lo largo de la cuenca, esta se encuentra en un estado de conservación apropiado para mantener una comunidad diversa y abundante (Reinoso et al., 2008; Merrit y Cummings, 2008).

35.6.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, muestra agrupamientos parcialmente definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,2) (**Figura 715**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,8).

Figura 715. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija



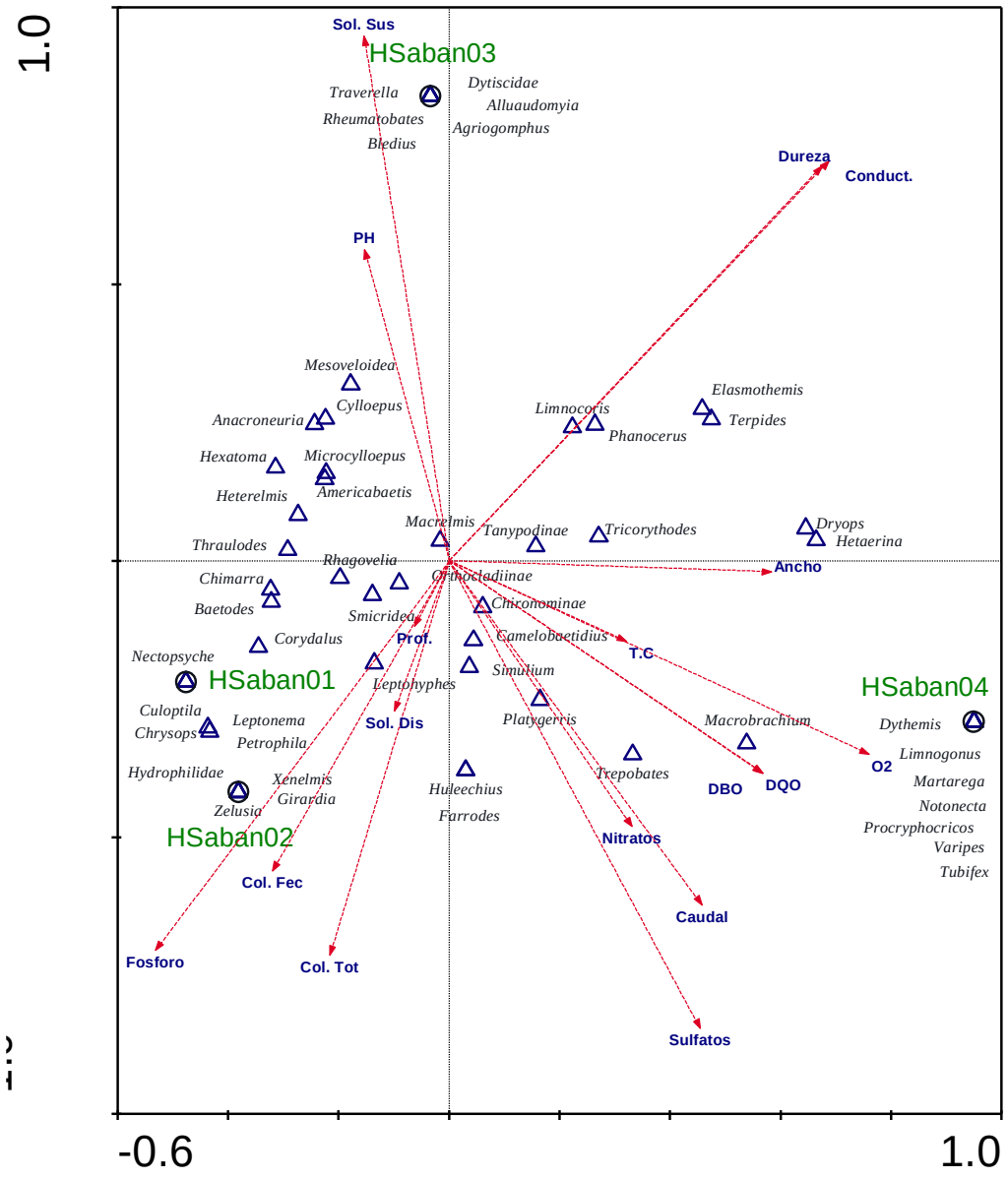
Fuente: Autores (2022).

El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones de un 40%, en los polígonos formados se observan cambios espaciales grandes, para el primer muestreo se observa que la composición tiende a ser bastante homogénea, en donde se ve que el polígono azul esta agrupado, mientras que en el polígono rojo que representa el muestreo 2 se ve bastante disperso, esto indica que la composición taxonómica difiere entre estaciones, ya que al presentarse cambios en el caudal producido por lluvias, los organismos presentes son muy variados y en general coinciden únicamente en los organismos comunes (Roldan y Ramirez, 2008). Las distancias y similitudes están dadas por la presencia y ausencia de los taxones colectados, de este se encontraron como organismos exclusivos del muestreo uno a *Alluaudomyia, Culoptila, Dythemis, Hetaerina, Limnogonus, Martarega, Mesoveloidea, Nectopsyche, Notonecta, Platygerris, Rheumatobates, Terpides, Traverella, Tubifex, Varipes, Xenelmis* y *Zelusia,* mientras que *Agriogomphus, Chrysops,* Dytiscidae sp, Hydrophilidae *sp* y *Procryphocricos* se presentaron para el muestreo dos.

35.6.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, las variables temperatura del agua, oxígeno disuelto y pH, presentan efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos (**Figura 716**).

Figura 716. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

las relaciones que se observan son particulares de cada estación, para el primer caso H_Saban_01 se asocia a los géneros *Nectopsyche* y *Culoptila,* sin embargo, no se asocia con ninguna de las variables fisicoquímicas. La estación H_Saban_02 se asocia con las variables fosforo y con el género *Zelusia*. La estación H_Saban_03 se asocia con los generos *Traverella*, *Rheumatobates*, *Bledius*, Dytiscidae, *Alluaudomyia* y *Agriogomphus.* Por ultimo la estacion H_Saban_04 se asocia con el oxígeno disuelto junto con *Dythemis, Limnogonus, Martarega, Notonecta, Procryphocricos, Varipes* y *Tubifex.*

35.6.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Sabandija exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo (**Tabla 596**, **Tabla 537**).

Tabla 596. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Sabandija.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Sabandija	106	Buena	I	53	Dudosa	III
Rio Sabandija	99	Aceptable	II	62	Aceptable	II
Rio Cuamo	105	Buena	I	92	Aceptable	II
Rio Sabandija	98	Aceptable	II	68	Aceptable	III

Fuente: Autores (2022).

En ambos muestreos se observa una calidad de agua en su mayoría buena y aceptable, esto se puede relacionar a las condiciones estructurales de los ambientes evaluados. En el primer muestreo todas las estaciones tienen una calidad de agua optima, con leves trazas de contaminación, aun cuando está afectada por el poblado de Armero Guayabal. Para el segundo monitoreo se presentaron fuertes lluvias que alteraron el caudal lo que redujo la presencia de animales y por ende su calidad (Roldan, 2003).

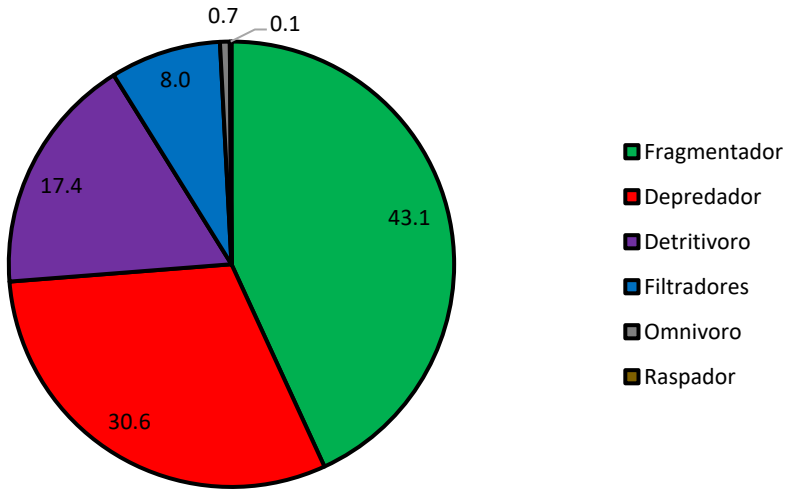
35.6.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron seis gremios tróficos de los cuales el fragmentador fue el más abundante (43.1%), seguido de depredador (30.6%), detritívoro (17.4%), filtrador (8%), omnívoro (0.7%) y por último raspador (0.1%) (**Figura 717**).

La abundancia registrada sigue el patrón común que se presenta en la naturaleza donde los herbívoros se presentan en mayor proporción, de este modo los organismos fragmentadores se relacionan directamente con la cantidad material vegetal presente en

el medio, esto se evidencia en el constante ingreso de hojarasca al rio proveniente del bosque ripario. la abundancia de organismos depredadores se relacionada con la disponibilidad de presas, lo cual es consistente con la abundancia reportada. Los organismos detritívoros se alimentan de materia orgánica desmenuzada proveniente de cualquier sustancia que ingrese en el rio (Sevilla y Villar, 2008).

Figura 717. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

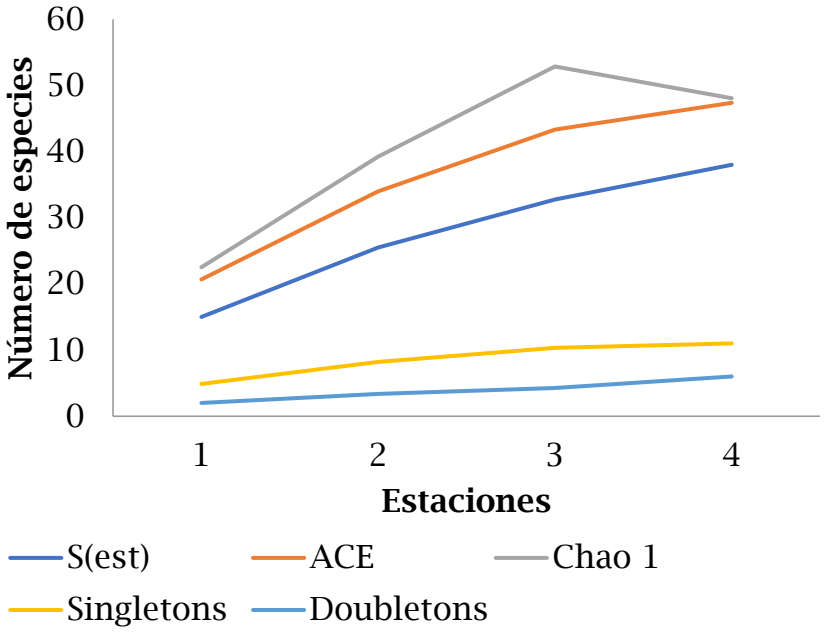
35.6.3. Ictiofauna

35.6.3.1. Representatividad

La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a los largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Sabandija. Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 38) corresponde al 80 % y 79 % de las especies esperadas, es decir, 47 y 48 especies, respectivamente. Esto puede explicarse porque los estimadores de riqueza son sensibles en comunidades donde hay muchas especies con baja frecuencia de captura, es decir abundancia. Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de diez especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Geophagus steindachneri*, *Microgenys minuta*, *Roeboides dayi*, *Ctenolucius hujeta*, *Astroblepus grixalvii*, *Rhamdia guatemalensis*, *Hypostomus hondae*, *Hypostomus* sp., *Trichomycterus* sp. y *Trichomycterus tetuanensis*) o que se capturaron dos individuos

(doubletons) (*Andinoacara latifrons*, *Oreochromis* sp., *Creagrutus guanes*, *Characidium* cf. *zebra*, *Hoplias malabaricus*, *Sternopygus aequilabiatus*, *Crossoloricaria variegata*). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue relativamente alto **(Figura 718).**

Figura 718. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Sabandija.



Fuente: Autores (2021).

35.6.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Sabandija se colectaron 382 individuos (**Tabla 597**), pertenecientes a 38 especies, distribuidas en cuatro órdenes y 11 familias. El orden Siluriformes (AR= 59 %), con 19 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 35 %) con 15, Blenniiformes (AR= 4.7 %) con cuatro y Gymnotiformes (AR= 0.5 %) con una.

Tabla 597. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Sabandija

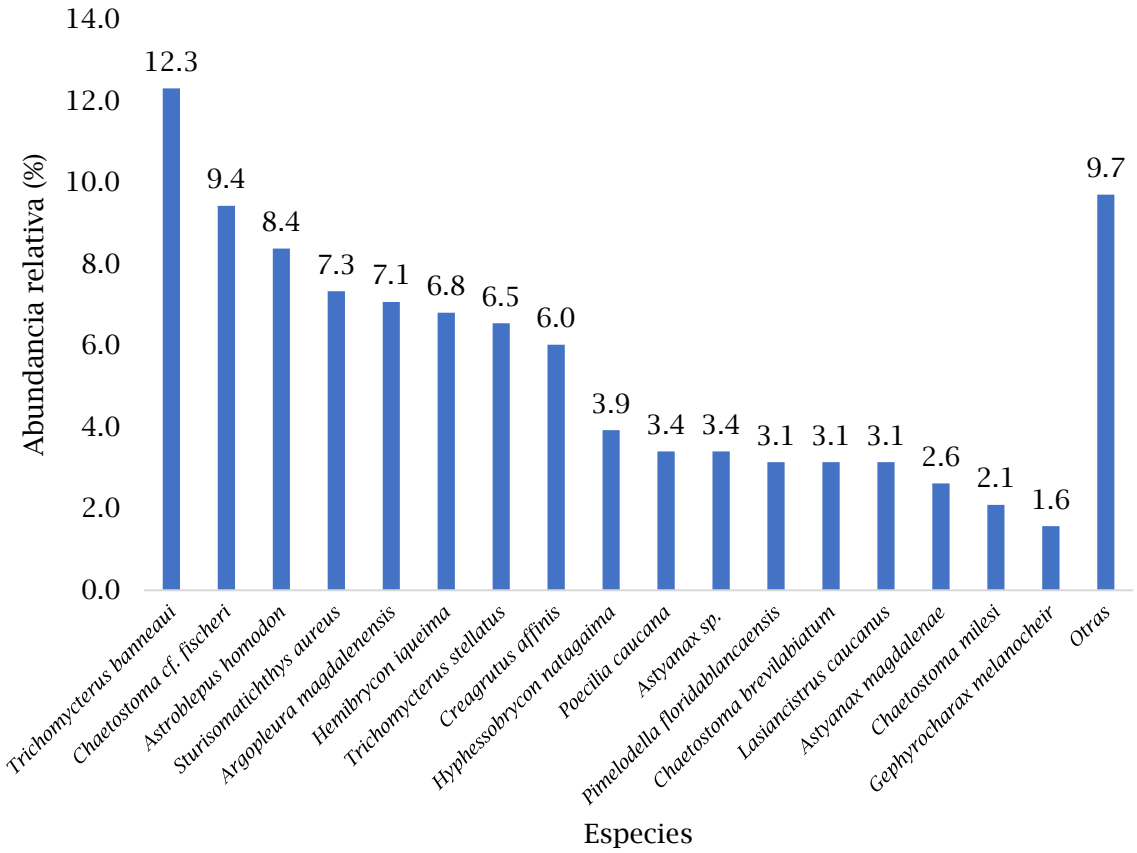
ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara latifrons*	2
		Geophagus steindachneri	1
		Oreochromis sp.	2
	Poeciliidae	*Poecilia caucana*	13

Characiformes	Characidae	*Argopleura magdalenensis*	27
		Astyanax magdalenae	10
		Astyanax sp.	13
		Creagrutus affinis	23
		Creagrutus guanes	2
		Creagrutus magdalenae	3
		Gephyrocharax melanocheir	6
		Hemibrycon iqueima	26
		Hyphessobrycon natagaima	15
		Microgenys minuta	1
		Roeboides dayi	1
	Crenuchidae	*Characidium* cf. *boavistae*	4
		Characidium cf. *zebra*	2
	Ctenoluciidae	*Ctenolucius hujeta*	1
	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	2
Gymnotiformes	Sternopygidae	*Sternopygus aequilabiatus*	2
Siluriformes	Astroblepidae	*Astroblepus grixalvii*	1
		Astroblepus homodon	32
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	3
	Heptapteridae	Heptapteridae gen. nov.	3
		Pimelodella floridablancaensis	12
		Rhamdia guatemalensis	1
	Loricariidae	*Chaetostoma brevilabiatum*	12
		Chaetostoma cf. *fischeri*	36
		Chaetostoma milesi	8
		Crossoloricaria variegata	2
		Hypostomus hondae	1
		Hypostomus sp.	1
		Lasiancistrus caucanus	12
		Sturisomatichthys aureus	28
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	47
		Trichomycterus sp.	1
		Trichomycterus stellatus	25
		Trichomycterus tetuanensis	1

Fuente: Autores (2022).

Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 33 %) registró la mayor riqueza con 11, seguida de Loricariidae (AR= 26 %) con ocho, Trichomycteridae (AR= 19 %) con cuatro, Heptapteridae (AR= 4.2 %) y Cichlidae (AR= 1.3 %) con tres cada una y las estantes familias con menos de tres especies (**Figura 719**).

Figura 719. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Sabandija.



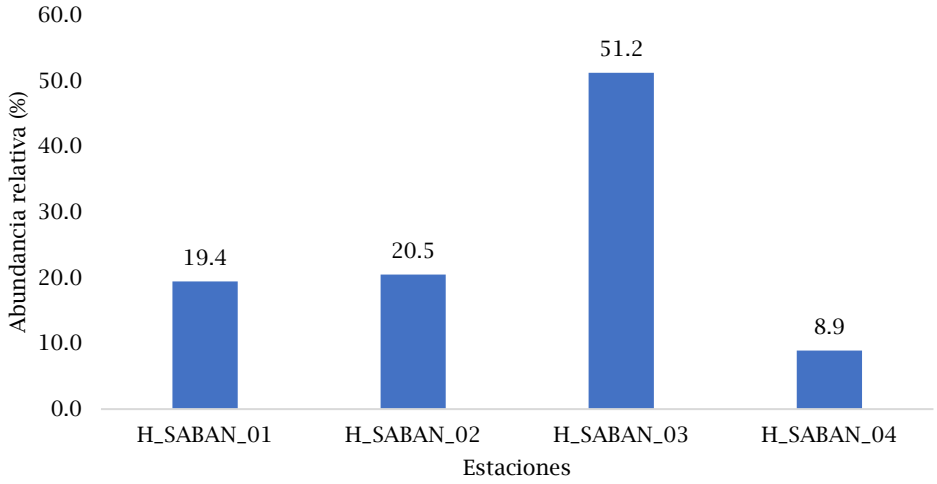
Fuente: Autores (2022).

Con respecto a la abundancia de las especies, *Trichomycterus banneaui* fue la más abundante con 47 individuos (AR= 12 %), seguida de *Chaetostoma* cf. *fischeri* (AR= 9 %), *Astroblepus homodon* (AR= 8 %), *Sturisomatichthys aureus* (AR= 7.3 %), *Argopleura magdalenensis* (AR= 7.1 %) y las restantes especies registran abundancias relativas inferiores al 7 %.

35.6.3.3. Distribución espacial

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluadas, es posible observar que H-SABAN-03 (Río Cuamo-288) registró la mayor abundancia con AR= 51 %, seguido de H-SABAN-02 (Río Sabandija-287) con AR= 20 % , H-SABAN-01 (Río Sabandja-1251) con AR= 19 % y H-SABAN-04 (Río Sabandija-283) con AR= 8.9 % (**Figura 720, Tabla 598**). Las estaciones se distribuyen entre 230 a 1251 m s.n.m. Es relevante mencionar que la mayor abundancia de las estaciones se restringe a zonas bajas, es decir por debajo de los 500 m s.n.m.

Figura 720. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 598. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Especie	H_SABAN_01	H_SABAN_02	H_SABAN_03	H_SABAN_04
Andinoacara latifrons	*	2	*	*
Argopleura magdalenensis	*	1	26	*
Astroblepus grixalvii	1	*	*	*
Astroblepus homodon	12	*	20	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	3	*	*	*
Astyanax magdalenae	*	7	*	3
Astyanax sp.	*	3	1	9
Chaetostoma brevilabiatum	*	2	10	*
Chaetostoma cf. fischeri	5	8	23	*
Chaetostoma milesi	*	4	4	*
Characidium cf. boavistae	*	4	*	*
Characidium cf. zebra	*	1	*	1
Creagrutus affinis	*	2	21	*
Creagrutus guanes	*	2	*	*
Creagrutus magdalenae	*	*	*	3
Crossoloricaria variegata	*	*	*	1
Ctenolucius hujeta	*	1	*	*
Geophagus steindachneri	*	*	*	1
Gephyrocharax melanocheir	*	*	6	*

Hemibrycon iqueima	26	*	*	*
Heptapteridae gen. nov.	*	*	3	*
Hoplias malabaricus	*	1	1	*
Hyphessobrycon natagaima	*	8	2	5
Hypostomus hondae	*	*	1	*
Hypostomus sp.	*	*	1	*
Lasiancistrus caucanus	*	1	11	*
Microgenys minuta	*	1	*	*
Oreochromis sp.	*	*	*	2
Pimelodella floridablancaensis	*	5	5	2
Poecilia caucana	2	*	5	6
Rhamdia guatemalensis	*	*	1	*
Roeboides dayi	*	1	*	*
Sternopygus aequilabiatus	*	1	1	*
Sturisomatichthys aureus	*	9	19	*
Trichomycterus banneaui	*	13	34	*
Trichomycterus sp.	*	*	*	1
Trichomycterus stellatus	25	*	*	*
Trichomycterus tetuanensis	*	1	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.6.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de las abundancia de la ictiofauna entre las dos muestreos evaluados, es posible observar 16 especies (*Trichomycterus stellatus, Trichomycterus tetuanensis*, *Sternopygus aequilabiatus*, *Pimelodella floridablancaensis*, *Lasiancistrus caucanus*, *Gephyrocharax melanocheir*, *Hemibrycon iqueima*, *Characidium* cf. *zebra*, *Creagrutus affinis*, *Chaetostoma brevilabiatum*, *Chaetostoma* cf. *fischeri*, *Astyanax magdalenae*, *Astyanax* sp., *Astroblepus homodon* y *Argopleura magdalenensis*) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos (**Tabla 599, Figura 721**). Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten la proliferación y mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *T. banneaui* que es dependiente se sustratos arenosos y aguas moderadamente rápidas o *Astroblepus* spp. que habita en sustratos de roca y aguas rápidas.

Tabla 599. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

ESPECIE	M1				M2			
	H_SABAN_01	H_SABAN_02	H_SABAN_03	H_SABAN_04	H_SABAN_01	H_SABAN_02	H_SABAN_03	H_SABAN_04
Andinoacara latifrons	*	2	*	*	*	*	*	*
Geophagus steindachneri	*	*	*	1	*	*	*	*
Oreochromis sp.	*	*	*	2	*	*	*	*
Poecilia caucana	2	*	5	6	*	*	*	*
Argopleura magdalenensis	*	1	20	*	*	*	6	*
Astyanax magdalenae	*	6	*	1	*	1	*	2
Astyanax sp.	*	2	1	9	*	1	*	*
Creagrutus affinis	*	*	17	*	*	2	4	*
Creagrutus guanes	*	2	*	*	*	*	*	*
Creagrutus magdalenae	*	*	*	3	*	*	*	*
Gephyrocharax melanocheir	*	*	1	*	*	*	5	*
Hemibrycon iqueima	23	*	*	*	3	*	*	*
Hyphessobrycon natagaima	*	8	2	5	*	*	*	*
Microgenys minuta	*	1	*	*	*	*	*	*
Roeboides dayi	*	1	*	*	*	*	*	*
Characidium cf. *boavistae*	*	4	*	*	*	*	*	*
Characidium cf. *zebra*	*	1	*	*	*	*	*	1
Ctenolucius hujeta	*	1	*	*	*	*	*	*
Hoplias malabaricus	*	1	1	*	*	*	*	*
Sternopygus aequilabiatus	*	1	*	*	*	*	1	*
Astroblepus grixalvii	*	*	*	*	1	*	*	*
Astroblepus homodon	12	*	18	*	*	*	2	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	3	*	*	*	*	*	*	*
Heptapteridae gen. nov.	*	*	2	*	*	*	1	*
Pimelodella floridablancaensis	*	4	5	*	*	1	*	2
Rhamdia guatemalensis	*	*	1	*	*	*	*	*
Chaetostoma brevilabiatum	*	*	9	*	*	2	1	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	5	8	18	*	*	*	5	*
Chaetostoma milesi	*	4	4	*	*	*	*	*
Crossoloricaria variegata	*	*	*	*	*	*	*	1
Hypostomus hondae	*	*	*	*	*	*	1	*
Hypostomus sp.	*	*	1	*	*	*	*	*
Lasiancistrus caucanus	*	1	9	*	*	*	2	*
Sturisomatichthys aureus	*	9	17	*	*	*	2	*

Trichomycterus banneaui	*	13	23	*	*	*	11	*
Trichomycterus sp.	*	*	*	1	*	*	*	*
Trichomycterus stellatus	20	*	*	*	5	*	*	*
Trichomycterus tetuanensis	*	1	*	*	*	*	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura, pendiente, heterogeneidad de sustratos son algunas de las variables ambientales que explican estos procesos (Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021).

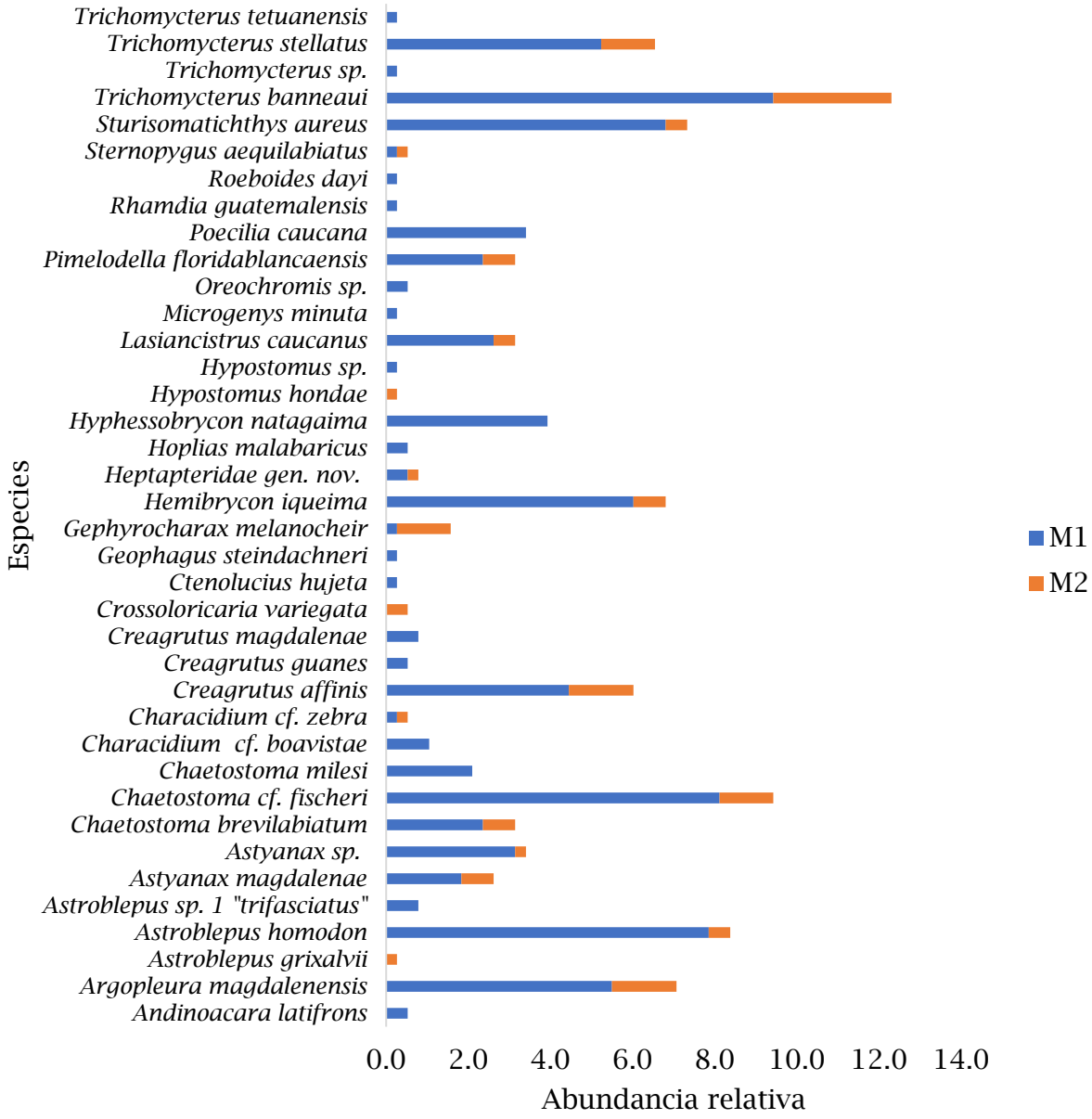
35.6.3.5. Diversidad

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-SABAN-02 Y H-SABAN-03 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 12 y 20 especies. Las restantes estaciones registraron valores inferiores a diez (**Figura 722**). Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-SABAN-02 Y H-SABAN-03 son claramente más diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica del río Sabandija y se encuentran a elevaciones similares, a pesar de que hubo una disminución en H-SABAN-02 en el segundo monitoreo.

En estas dos estaciones las especies comunes tienen mayor equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones, particularmente en la estación H-SABAN-02. Por ejemplo, durante el primer monitoreo con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-SABAN-02 tienen una diversidad igual a la que tendría una comunidad teórica de 13,48, seguida de H-SABAN-03 con 11,73 y, H-SABAN-04 con 5,97 y H-SABAN-01 con 4,68 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-SABAN-02 es 1,14 veces más diversa en especies de peces que H-LAGU-03, y 2,25 veces más diversa que H-SABAN-04. Asimismo, H-SABAN-02 es 2,88 veces más diversa que H-SABAN-01. Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido

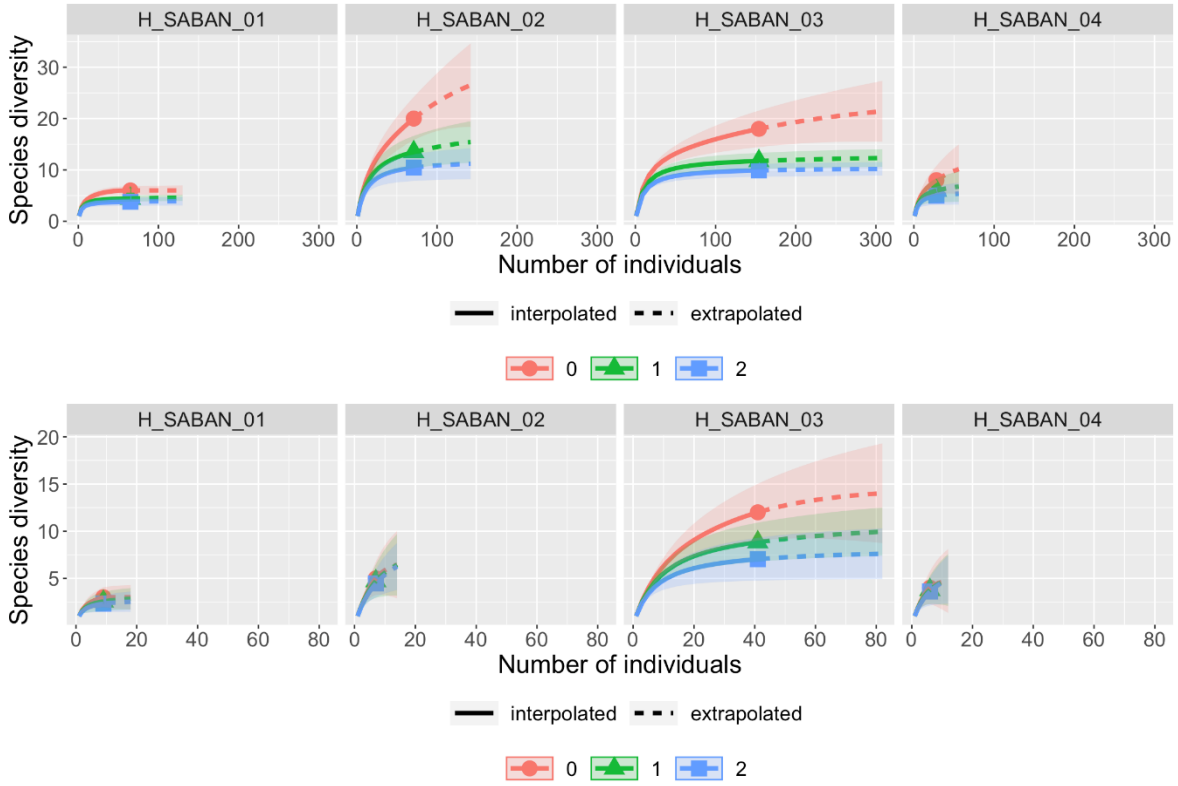
a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de material biológico.

Figura 721. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Sabandija



Fuente: Autores (2022).

Figura 722. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.

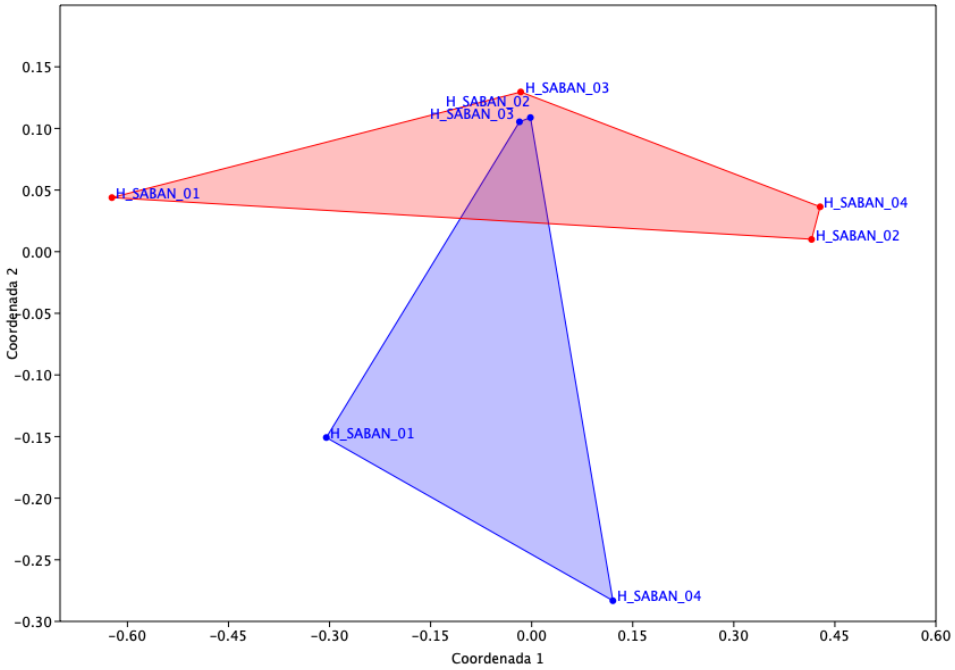


Fuente: Autores (2022).

35.6.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.24), permitieron observar que existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM ($p<0.05$). Según el diagrama de ordenación, se observa que se a pesar de que comparten algunas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada, hay una regios del polígono que no se solapa. En realidad, la diferencia se explica porque algunas especies *Astyanax* sp., *Creagrutus magdalenae*, *Geophagus steindachneri*, *Hyphessobrycon natagaima*, *Oreochromis* sp., *Poecilia caucana* y *Trichomycterus* sp.) fueron exclusivamente encontradas en la estación H_SABAN-04 durante el primer monitoreo. Y, para la misma estación, tres especies (*Characidium* cf. *zebra*, *Crossoloricaria variegata*, *Pimelodella floridablancaensis*) fueron únicamente registradas en H_SABAN-04 durante el segundo monitoreo. Por tanto, existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 723**).

Figura 723. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



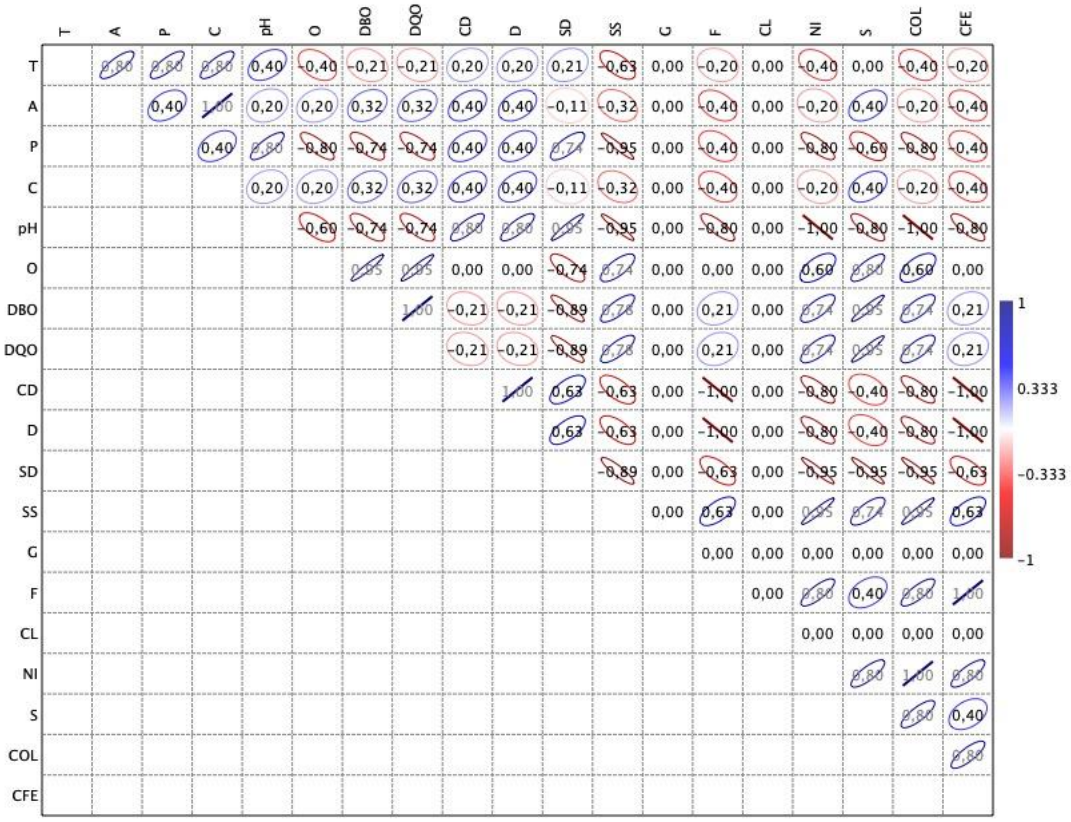
35.6.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

De acuerdo con el análisis de correlación de Sperman (ρ), ninguna variable química del agua cumplió con los criterios de exclusión, es decir ρ > 0.75 y p-valor < 0.05 (**Figura 724**). Por tanto, no se registró alta multicolinealidad entre las variables analizadas que potencialmente podrían generar ruido y afectar los resultados.

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 82 % de la variación total de los datos. En el eje x, una variable química del agua, ancho (A) (p-valor<0.05), influyó de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. Para el eje Y, ninguna variable influyo significativamente. Esta variable esta correlacionada positivamente con la temperatura (T) (**Figura 725**).

Asimismo, se observa que el ancho se asoció negativamente a H-SABAN-01 y A. grixalvii, A. sp.1, T. tetuanensis y H. iqueima. Los bajos valores la temperatura y cuerpos de agua poco profundos y anchos (p.e, H-SABAN-01) se relaciona con la cantidad de luz y la cobertura vegetal riparia. Esta estación se encuentra a 1251 m s.n.m, y se caracterizó por aguas frías y con un ancho de 3,5 m.

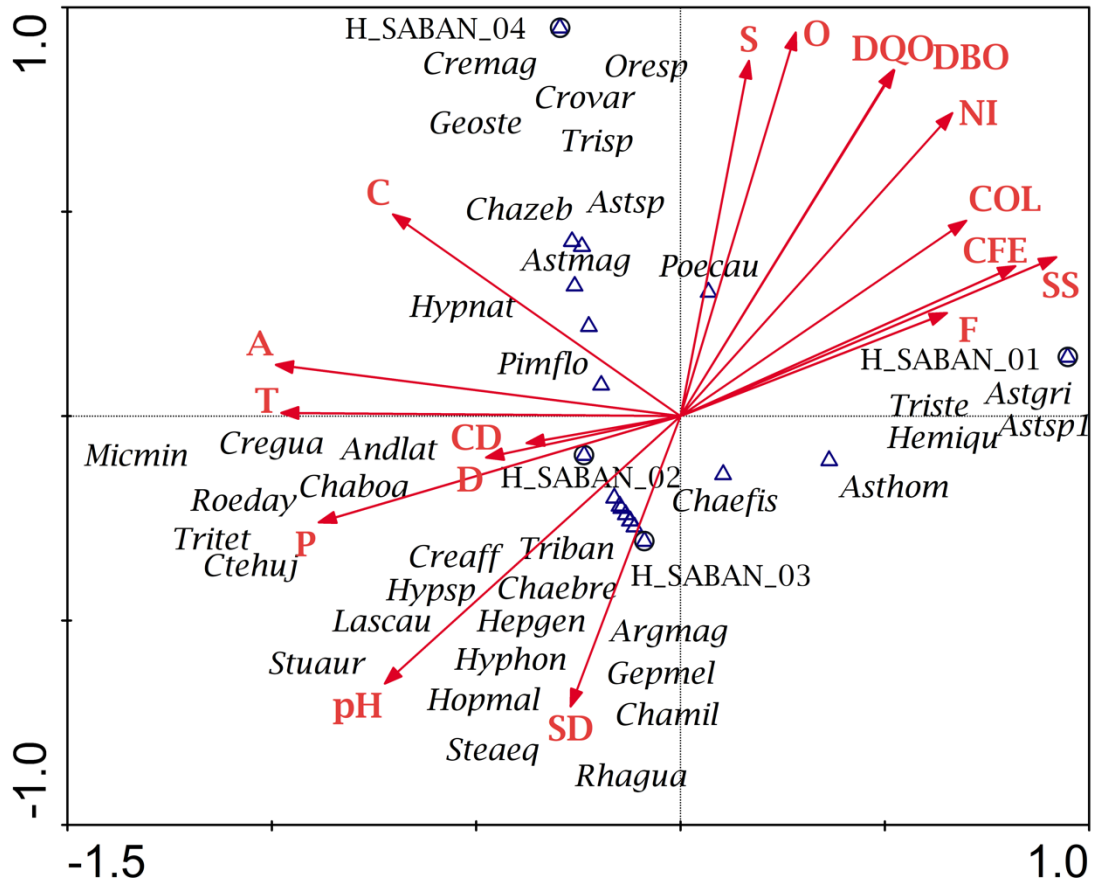
Figura 724. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Sabandija.



Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxigeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

La presencia de y *A. grixalvii*, A. sp.1puede asociarse a la tolerancia y adaptaciones fisiológicas y morfológicas que estas especies presentan. Poveda-Cuellar et al. (2021) comentan que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. mayor velocidad del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

Figura 725. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

Trichomcyterus banneaui se registró en sustratos de arena y aguas moderadamente rápidas. Y, *H. iqueima* es un characido insectívoro, es decir se alimenta a base de insectos terrestres de la cobertura vegetal riparia fue registraron dentro de este ensamblaje.

Las zonas bajas, es decir, H-SABAN-04 y H-SABAN-02 ubicadas entre 230 y 280 m s.n.m se caracterizaron por registrar mayor riqueza y la presencia de especies de Characidae (p.e, *Astyanax* sp., *C. affinis*), Loricariidae (p.e., *Chaetostoma* spp.), Ciclhidae (p.e., *G. steindachneri* y *A. latifrons*). Estas zonas debido que proporcionan una mayor diversidad de hábitats, nichos, fuentes de alimentación y son cuerpos de agua mas cálidos, profundos y anchos y con menor velocidad y pendiente (Poveda-Cuellar et al., 2021). Lo cual favorece la diversidad de nichos y explica la presencia de estas especies.

35.6.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso

Se analizó un total de 97 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud

estándar (LE). Para *Argopleura magdalenensis*, se obtuvo valores de 35,4 mm LE (M1), 38,9 mm LE (M1) y peso promedio de 0,4 g (M1), 0,5 g (M2); *Creagrutus affinis*, se obtuvo valores de 40,3 mm LE (M1), 41,4 mm LE (M1) y peso promedio de 0,9 g (M1), 0,7 (M2); *Trichomycterus banneaui*, se obtuvo valores de 33,9 mm LE (M1), 34,9 mm LE (M1) y peso promedio de 0,3 g (M1), 0,2 (M2).

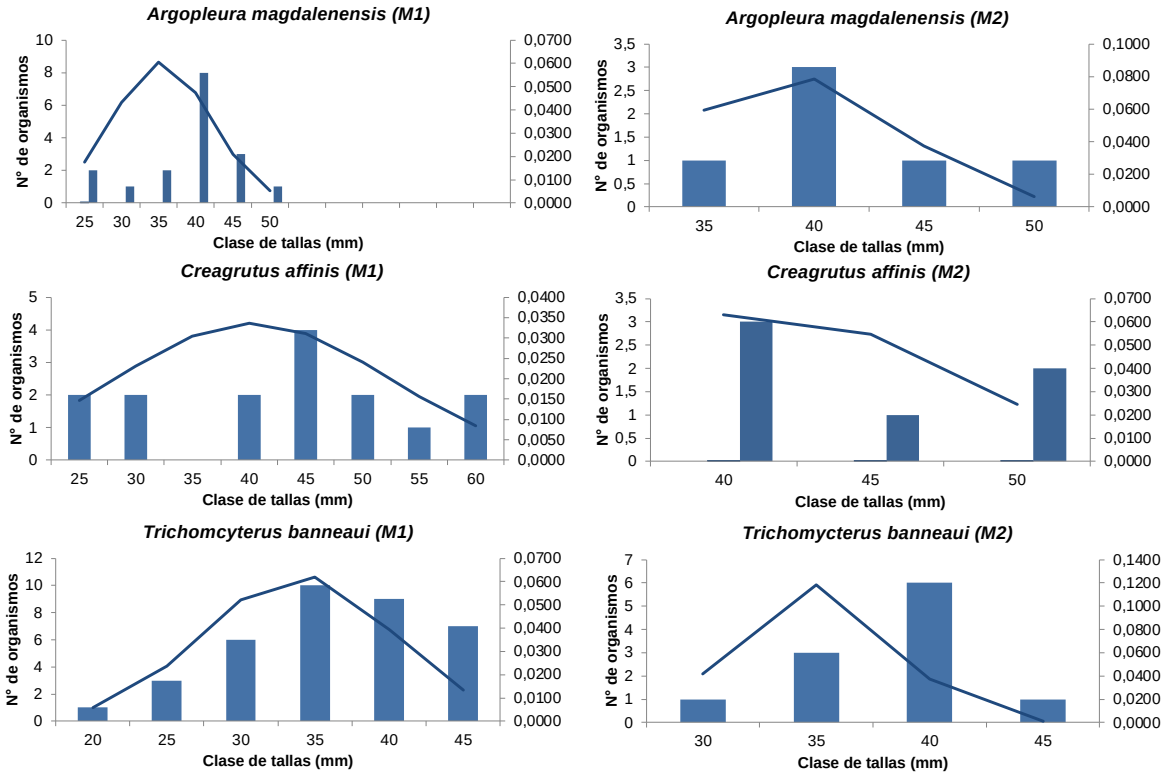
Para todas las especies hubo variaciones sutiles de peso y longitud entre ambos monitoreos. Y, en cuanto a la distribución de las frecuencias de talla se observa que las especies analizadas durante el primer monitoreo se registraron tallas pequeñas (<25 mm) que no fueron registradas en el segundo monitoreo. Es decir, se dejaron de registrar ejemplares juveniles en M2 (**Figura 726**).

Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija, algunos individuos de las especies analizadas se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Aportando información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies, tales como el diario y el lunar (Galzin, 1987; Shapiro, 1991).

Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional de *T. banneaui*, *A. magdalenensis* y *C. affinis*. La mayoría de las especies en el neotrópico cumplen estas relaciones.

Figura 726. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condicíon permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *T. banneaui*, *A. magdalenensis* y *C. affinis* fueron las únicas especies que contaron con un numero mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal.

Por tanto, observamos que existe una disminución de K en el segundo monitoreo para *A. magdalenensis* y *C. affinis*. Pero un aumento en *T. banneaui*. Además, registramos un crecimiento alométrico positivo (b>3), en ambos monitoreos iindicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951). Es posiblemente que exista una transferencia energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así como, podemos inferir que la especie se encontraba en proceso de reproducción durante el segundo monitoreo (**Tabla 600**).

Tabla 600. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Argopleura magdalenensis	M1	17	35,4	0,4	3,1	6,E-06
Argopleura magdalenensis	M2	6	38,9	0,5	3,2095	3,E-06
Creagrutus affinis	M1	15	40,3	0,9	3,1528	6,E-06
Creagrutus affinis	M2	6	41,4	0,7	3,7588	5,E-07
Hemibrycon iqueima	M1	23	73,1	4,7	3,2101	4,E-06
Astroblepus homodon	M1	27	41,5	0,9	3,1225	6,E-06
Chaetostoma cf. *fischeri*	M1	30	59,5	3,6	2,7697	4,E-05
Sturisomatichthys aureus	M1	23	50,3	0,6	3,027	3,E-06
Trichomycterus banneaui	M1	36	33,9	0,3	3,1583	4,E-06
Trichomycterus banneaui	M2	11	34,9	0,2	4,869	6,E-09
Trichomycterus stellatus	M1	10	48,3	0,8	3,1099	4,E-06

Fuente: Autores (2022).

35.6.3.9. Análisis trófico y reproductivo

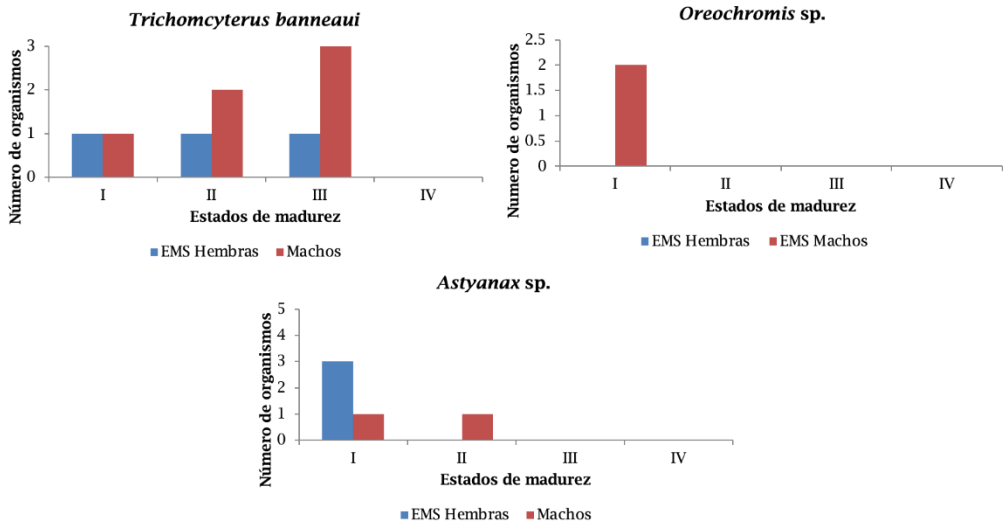
En relación con el análisis reproductivo, fueron analizados 15 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Sabandija. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo número de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas fueron mayoritariamente machos maduros o en proceso de reproducción.

En cuanto a las especies, en *Astyanax* sp. y *Oreochromis* sp., todos los individuos se encontraban en estado de madurez sexual EMS I y II, o en proceso de desarrollo gonadal. En cambio, para *T. banneaui* algunos individuos estuvieron en estado de madurez sexual EMS III, es decir, se encontraban en época reproductiva (**Figura 727**).

Ecología trófica

Se analizaron 15 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1. En total se encontraron 16 ítems alimenticios, de los cuales diez (Restos de insectos, restos vegetales, materia orgánica no indentificada-MONI, Fragillaria, Gomphonema, Nitzchia, Pinnularia, Melosira y Botryococcus) fueron considerados preferenciales y los restantes en correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y secundarios según (Yañez- Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013).

Figura 727. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Trichomycterus banneaui, Astyanax sp., Oreochromis sp.* I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

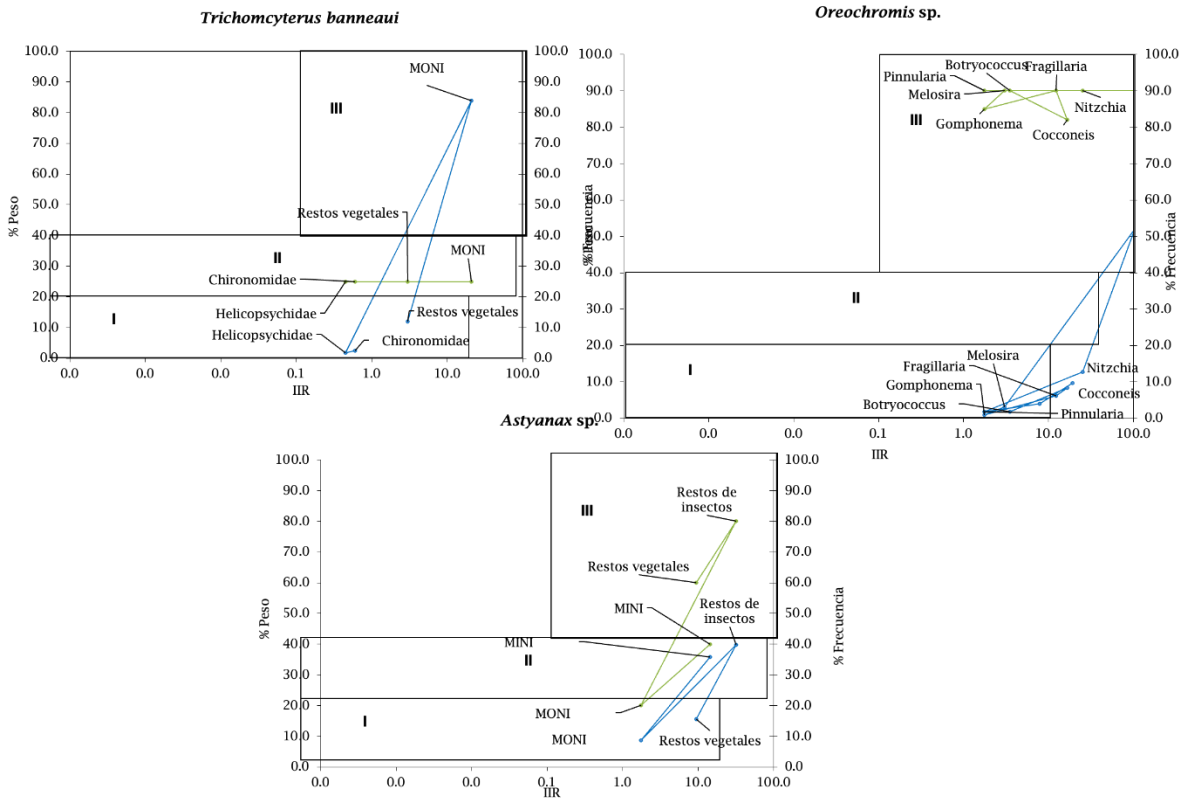
Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como Invertívoro-insectívoro (Astyanax sp.), Invertívoro (T. banneaui) y Detritivora (Oreochromis sp.).

El gremio trofico Invertívoro son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos. Invertívoro-insectívoro son organismo que se alimentan de larvas de invertebrados acuáticos, con cierta preferencia por organismo de la clase Insecta adultos. Y, detritívoro son organismo que se alimentan de detritus orgánico (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 728**).

35.6.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Sabandija son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de los cuchos (*Chaetostoma* spp.), sardinas (*Astyanax* sp.) y ornamentales como dormilón (*Hoplias malabarcus)* (**Tabla 601**). Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Sabandija. Por otro lado, dos especies (*Microgenys minuta* y *Hypostomus hondae*) se encuentra en categoría de Casi Amenazada según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), y las restantes especies en preocupación menor (UICN). Asimismo, se registra una especie (*Oreochromis* sp.) introducida.

Figura 728. Espectro trófico de Poecilia caucana, Trichomycterus banneaui, Astyanax sp., Oreochromis sp. de la subzona hidrográfica del río Sabandija.



Fuente: Autores (2022).

La subzona hidrográfica del rio Sabandija representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Sin embargo, ha sido poco estudiado y no se conocen estudios publicados para esta subzona hidrográfica. Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región. De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica mas actualizados en la subzona hidrográfica del rio Sabandija. A pesar de la ausencia de estudios anteriores se registró una composición taxonómica conformada principalmente por los órdenes Siluriformes (AR= 63 %), con 11 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 33 %) con cuatro, Salmoniformes (AR= 1.9 %) y Blenniiformes (AR= 0.9 %) siendo un patrón, encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, Poveda-Cuellar, 2020).

De las estaciones evaluadas, se registraron 38 especies, la cuales representan el 33 % de la ictiofauna del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna.

Tabla 601. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	categoría UICN/ Libro Rojo
Andinoacara latifrons	*				
Geophagus steindachneri				Ornamental	
Oreochromis sp.		*			
Poecilia caucana				Ornamental	LC
Argopleura magdalenensis					
Astyanax sp.				Pesca	
Astyanax magdalenae					
Creagrutus affinis					LC
Creagrutus guanes	*				LC
Creagrutus magdalenae	*				LC
Gephyrocharax melanocheir	*				LC
Hemibrycon iqueima	*				
Hyphessobrycon natagaima	*				
Microgenys minuta	*				LC | Casi Amenazada
Roeboides dayi					LC
Characidium cf. *boavistae*					
Characidium cf. *zebra*				Ornamental	
Ctenolucius hujeta				Ornamental	
Astroblepus grixalvii	*				LC
Crossoloricaria variegata					LC
Hypostomus hondae				Pesca	Casi Amenazada
Hoplias malabaricus				Pesca | Ornamental	LC
Sternopygus aequilabiatus				Pesca	LC
Astroblepus homodon	*				LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*				LC
Heptapteridae gen. nov.	*				
Pimelodella floridablancaensis	*				
Rhamdia guatemalensis					LC
Chaetostoma brevilabiatum	*				
Chaetostoma cf. *fischeri*				Pesca	LC
Chaetostoma milesi				Pesca	LC
Hypostomus sp.					
Lasiancistrus caucanus					LC
Sturisomatichthys aureus	*			Ornamental	LC

Trichomycterus banneaui	*	LC
Trichomycterus sp.		
Trichomycterus stellatus	*	LC
Trichomycterus tetuanensis	*	

Fuente: Autores (2022).

En cuanto a la variación de la estructura y composición de la ictiofauna entre los dos monitoreos, se evidencia que algunas especies se dejaron de registrar y otras, por el contrario, permanecieron comunes. Esto puede explicarse por atributos funcionales claves que permiten adherirse a sustratos cuando existe aumento del caudal producto del periodo climático y procesos de recolonización propios de ecosistemas acuáticos neotropicales. Algunas especies, como *Chaetostoma brevilabiatum*, *Chaetostoma* cf. *fischeri* y *Astroblepus homodon* son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir (Poveda-Cuellar et al., 2021).

En cuanto a las especies, se registró Tilapia o mojarra (*Orechromis* sp.). A pesar de que registrar un bajo numero de individuos es indicador de que la especies por lo menos habita estos sistemas acuáticos y debido a sus atributos funcionales se podría establer como población viable, es decir, conseguir reproducirse. Esta especie se registró únicamente en H-SABAN-04 (M2) en la zona baja de la subzona hidrográfica del rio Sabandija coexistiendo con especies nativas como *Geophagus steindachneri*, *Poecilia caucana*, *Astyanax magdalenae*, *Astyanax* sp. entre otras.

Según investigaciones en ecosistemas acuáticos, se ha evidenciado efectos negativos después del establecimiento de esta especie en sistemas loticos o lenticos tal como eutrofización, altas tasas de reproducción y competencia que lleva una perdida de biodiversidad (Giani & Figurerdo, 2005; Mahmud-ul-Ameen, 2000; GISD, 2021).

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae y algunas especies de Trichomycteridae y Loricariidae se registradan en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas, es decir en la estación H-SABAN-01. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Cichlidae y Poeciliidae se ubican en zonas bajas. Es así que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-

Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que los peces del rio Sabandija se encuentran mayoritariamente en rápidos, remansos y sustratos rocosos, arenosos y de hojarasca y material alóctono, hábitat de algunas especies (p.e., *Lasiancistrus caucanus*, *Sturisomatichthys aureus*). Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

35.7. Subzona hidrográfica del río Gualí.

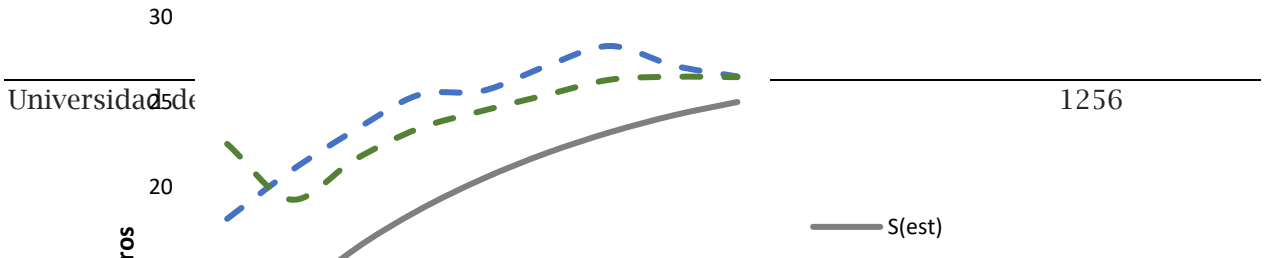
35.7.1. Perifiton

35.7.1.1. Representatividad

Teniendo en cuenta los estimadores de riqueza se registró un número total de 25 géneros observados (Sobs) en nueve estaciones evaluadas (Cinco durante la época de altas precipitaciones y cuatro durante la época de bajas), estas especies representan el 94.5% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 94.3% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 26 géneros (**Figura 729**).

Según los estimadores de riqueza se registró una riqueza muy cercana a la esperada por los estimadores de riqueza durante ambos muestreos, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica, la eficiencia de muestreo fue buena y los organismos registrados, representan correctamente los individuos que se registran en esta cuenca hidrográfica, esto, puede ser corroborado en la **Figura 729** en donde se observa que la curva ha llegado a la zona asintótica, y las especies únicas (Singletons) disminuyen.

Figura 729. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrografica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

35.7.1.2. Composición

Se colectaron 442 individuos/mm^2 distribuidos en cinco filos, seis clases, 17 órdenes, 23 familias y 25 géneros (**Tabla 602**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 284 individuos/mm^2 (64.1%), seguida de la clase Cyanophyceae con 99 individuos/mm^2 (22.5 %) y Chlorophyceae con 52 individuos/mm^2 (11.7%). La elevada densidad de la clase Bacillariophycea es común y frecuente en ecosistemas loticos acuáticos andinos debido a que estos organismos presentan adaptaciones para soportar la velocidad del agua, como estructuras mucilaginosas que les permiten adherirse a troncos y rocas (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003).

La clase Cyanophyceae segunda más abundante hace parte de las comúnmente conocidas cianobacterias, organismos procariotas capaces de realizar fotosíntesis, considerados como oportunistas debido a que pueden aprovechar muy bien cambios en la disponibilidad de nutrientes para incrementar sus densidades rápidamente. Los órdenes Oscillatoriales, Naviculales, Cymbellales y Bacillariales representaron aproximadamente el 76% de los organismos registrados, el primero perteneciente a la clase Cyanophyceae y los restantes a la clase Bacillariophycea (**Tabla 602**). Los 13 ordenes restantes registraron densidades menores al 7%.

Tabla 602. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Gualí.

Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Nitzchia sp*	74

		Cocconeidales	Cocconeidaceae	*Cocconeis sp*	5
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	12
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	44
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	21
		Eunotiales	Eunotiaceae	*Eunotia sp*	4
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	6
				Synedra sp	3
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Hannaea sp*	3
		Mastogloiales	Achnanthaceae	*Achnanthidium sp*	5
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Amphipleura sp*	1
				Frustulia sp	1
			Naviculaceae	*Navicula sp*	83
			Pinnulariaceae	*Pinnularia sp*	2
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella sp*	19
		Thalassiophysales	Catenulaceae	*Amphora sp*	1
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	3
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium sp*	25
		Sphaeropleales	Microsporaceae	*Microspora sp*	14
			Scenedesmaceae	*Desmodesmus sp*	8
			Treubariaceae	*Treubaria sp*	5
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	98
		Spirulinales	Spirulinaceae	*Spirulina sp*	1
Euglenozoa	Euglenophyceae	Euglenida	Euglenidae	*Trachelomonas sp*	3
Protozoa	Lobosa	Arcellinida	Difflugiidae	*Diflugia sp*	2

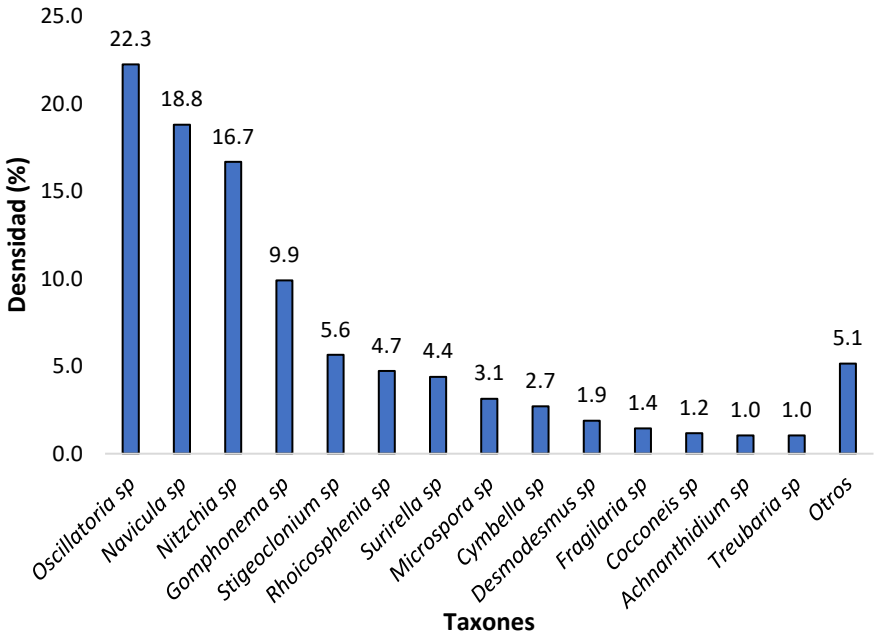
Fuente: Autores (2022).

De los 29 taxones registrados, los más abundantes fueron: *Oscillatoria sp, Navicula sp*, *Nitzchia sp* y *Gomphonema sp.* Estos representaron aproximadamente el 67.6% de los individuos registrados (**Figura 730**). El primer taxon y más dominante perteneciente a la clase Cyanophyceae es común en aguas estancadas o de baja velocidad con temperaturas altas. En Colombia es muy frecuente en ecosistemas lenticos con algún tipo de intervención antrópica (Roldan y Ramírez, 2008). La presencia de este taxon en esta subzona puede estar relacionada a la presencia de contaminantes externos que generan cambios químicos (iones-Nitrogeno, Fosforo), en el ecosistema, que ocasionan que durante algunos meses se registren en altas densidades (Ramírez 2000), estos incrementos en las densidades son conocidos como blooms algales, asociados a procesos de eutrofización.

Los tres taxones restantes pertenecientes a la clase Bacillariophyceae son muy comunes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y pequeños arroyos, en los cuales son muy frecuentes y abundantes. Debido a que poseen una nutrición heterotrófica facultativa, pueden sobrevivir en ambientes con baja luminosidad y segregar estructuras

mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua. Adicionalmente, estos taxones son de amplia distribución y están catalogados como tolerantes a estresores en los cuerpos de agua, por lo que altas densidades son indicativas de algún tipo de polución (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009).

Figura 730. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Gualí.

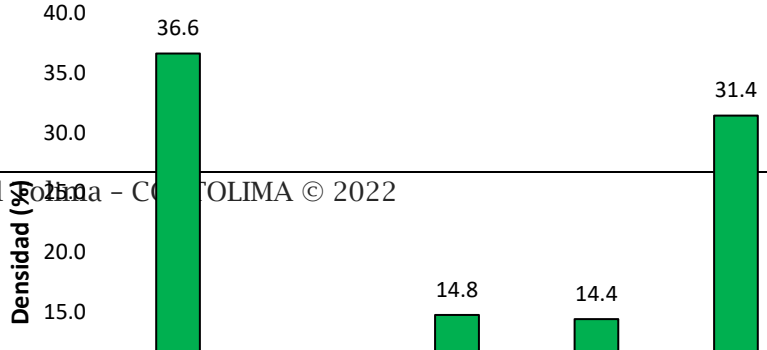


Fuente: Autores (2022).

35.7.1.3. Distribución espacial

Se establecieron cinco estaciones de muestreo, de las cuales el río Aguacatal (H_Guali_01), registro la mayor densidad relativa con un 36.6%, seguido por la estación río Guali-Honda (H_Guali_05) con 31.4%. Por otro lado, la estación que registro el menor porcentaje de densidad fue río Guali-Casabianca (H_Guali_05) (**Tabla 603**, **Figura 731**).

Figura 731. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 603. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Gualí.

Especie	H_Guali_01	H_Guali_02	H_Guali_03	H_Guali_04	H_Guali_05
Achnanthidium sp	4	0	1	0	0
Amphipleura sp	0	0	0	0	1
Amphora sp	0	0	0	1	0
Cocconeis sp	4	1	1	0	0
Cymbella sp	3	1	2	5	1
Desmodesmus sp	0	0	5	0	4
Diflugia sp	0	0	0	2	0
Eunotia sp	1	0	0	2	1
Fragilaria sp	2	2	1	1	0
Frustulia sp	0	1	0	1	0
Gomphonema sp	30	0	3	7	4
Hannaea sp	1	0	2	0	0
Melosira sp	0	0	0	3	0
Microspora sp	0	0	14	0	0
Navicula sp	35	1	4	6	37
Nitzchia sp	24	1	4	12	33
Oscillatoria sp	15	6	23	19	36
Pinnularia sp	0	0	1	0	1
Rhoicosphenia sp	19	1	0	1	1
Spirulina sp	0	0	1	0	0
Stigeoclonium sp	23	0	0	2	0
Surirella sp	0	0	0	0	19
Synedra sp	2	0	0	1	0
Trachelomonas sp	0	0	0	2	1
Treubaria sp	0	0	5	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.7.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos fue registrada durante el muestreo M1, realizado durante la época de altas precipitaciones en la cual, para esta subzona hidrográfica, es posible que el incremento de las lluvias incrementara el volumen de los cuerpos de agua, lo que podría haber ofertado más hábitats para la colonización de organismos perifíticos. Es importante resaltar que, durante el segundo muestreo, no fue posible evaluar la estación río Guali-Casabianca (H_Guali_05) debido al difícil acceso. A nivel temporal, se evidencio que el río Aguacatal (H_Guali_01), registro la mayor densidad relativa durante el muestreo M1, mientras que el río Guali-Honda (H_Guali_05) registro la mayor densidad relativa durante el muestreo M2 (**Tabla 604**, **Figura 732**).

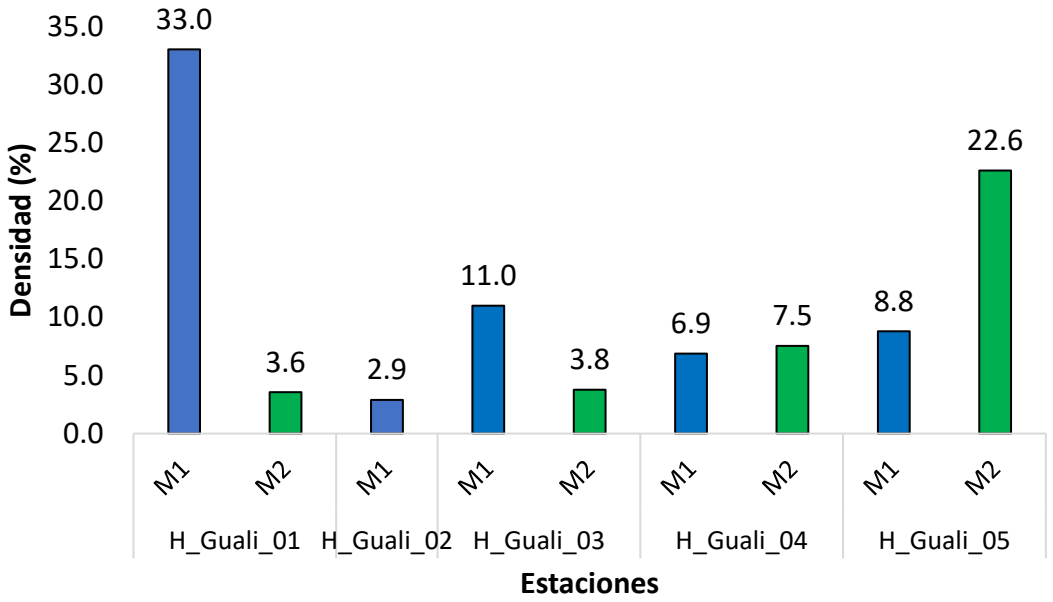
Tabla 604. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Gualí.

	H_Guali_01		H_Guali_02		H_Guali_03		H_Guali_04		H_Guali_05	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**	
Achnanthidium sp	4	0	0	1	0	0	0	0	0	
Amphipleura sp	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
Amphora sp	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
Cocconeis sp	1	3	1	1	0	0	0	0	0	
Cymbella sp	3	0	1	1	1	3	2	0	1	
Desmodesmus sp	0	0	0	1	4	0	0	1	3	
Diflugia sp	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Eunotia sp	1	0	0	0	0	0	2	0	1	
Fragilaria sp	1	1	2	1	0	0	1	0	0	
Frustulia sp	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
Gomphonema sp	23	6	0	0	3	5	3	0	4	
Hannaea sp	0	1	0	0	2	0	0	0	0	
Melosira sp	0	0	0	0	0	3	0	0	0	
Microspora sp	0	0	0	14	0	0	0	0	0	
Navicula sp	31	4	1	1	3	3	3	0	37	
Nitzchia sp	24	0	1	0	4	3	9	1	32	
Oscillatoria sp	14	1	6	22	1	7	12	35	1	
Pinnularia sp	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
Rhoicosphenia sp	19	0	1	0	0	1	0	1	0	
Spirulina sp	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Stigeoclonium sp	23	0	0	0	0	2	0	0	0	
Surirella sp	0	0	0	0	0	0	0	0	19	
Synedra sp	2	0	0	0	0	1	0	0	0	
Trachelomonas sp	0	0	0	0	0	2	0	1	0	

Treubaria sp	0	0	0	5	0	0	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

Figura 732. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Gualí.

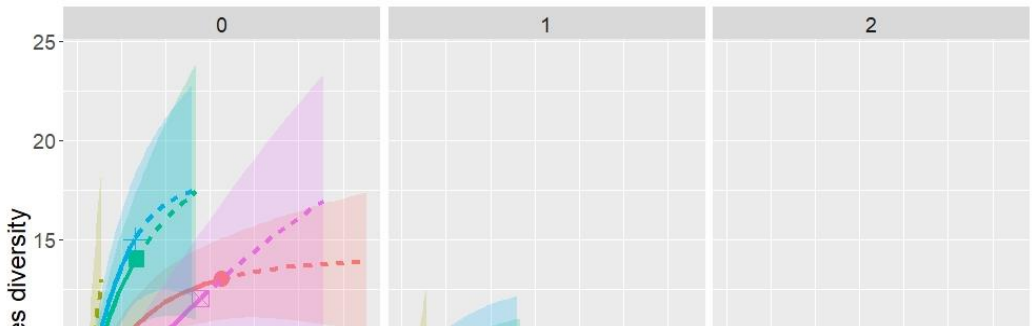


Fuente: Autores (2022).

35.7.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D), a nivel general, no se observaron diferencias significativas en el número de especies en las estaciones evaluadas en la subzona del río Gualí (**Figura 733**). Sin embargo, al tener en cuenta las especies típicas (1D) y especies dominantes (2D), la estación río Guali-Casabianca (H_Guali_05) fue significativamente menos diversa que las demás estaciones, en las cuales no se observaron diferencias significativas a nivel de diversidad.

Figura 733. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



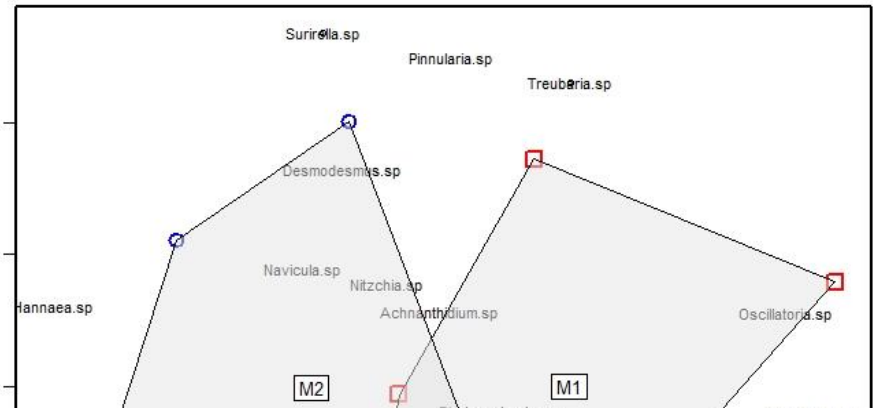
Fuente: Autores (2022).

35.7.1.6. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad perifítica en las épocas evaluadas en la subzona del río Guali (ANOSIM, p>0.05) (**Figura 734**).

Esto es indicativo que la composición y estructura de la comunidad es estable durante las épocas hidrológicas en esta subzona hidrográfica. Vale la pena resaltar la presencia y frecuencia de taxones como Oscillatoria sp, Treubaria sp y Trachelomonas sp en la época de altas precipitaciones (M1). Para la época de bajas precipitaciones (M2) se observaron con mayor frecuencia Hannaea sp, Desmodesmus sp y Cocconeis sp (**Figura 734**).

Figura 734. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



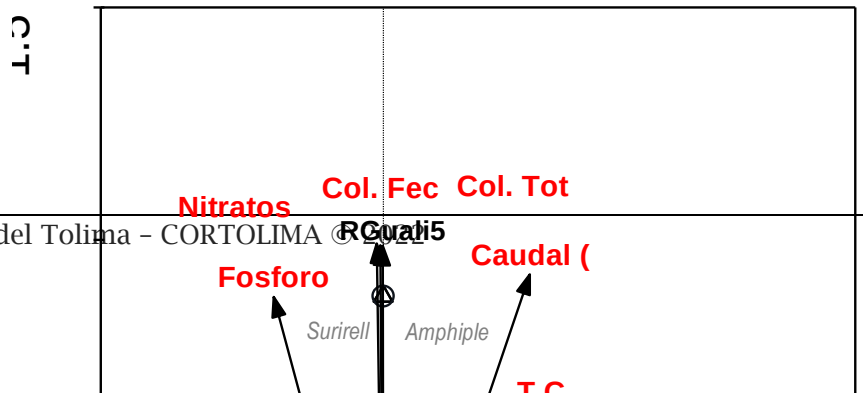
Fuente: Autores (2022).

35.7.1.7. Relación con variables fisicoquímicas

Según los resultados del análisis de correspondencia canónica (ACC), ninguna de las variables evaluadas influyó de manera significativa en la distribución de los taxones de la comunidad perifítica. Sin embargo, vale la pena resaltar que, en el diagrama de ordenación, se observó una separación clara en las cinco estaciones evaluadas en la subzona hidrográfica del río Guali.

Estaciones como el río Medina (H_Guali_04), río Guali-Casabianca (H_Guali_05) y el río Aguacatal (H_Guali_01), se separaron de las demás por valores elevados de solidos disueltos y demanda biológica de oxígeno (DBO) (**Figura 735**). Variables relacionadas con procesos de contaminación de materia orgánica. En estas estaciones se registró la presencia de taxones como *Synedra sp, Rhoicosphenia sp, Melosira sp, Stigeoclonium sp.* entre otros (**Figura 735**). La estación río Guali-Mariquita (H_Guali_03), se aisló de las restantes por el ancho del cuerpo de agua y por la presencia de cloruros y sulfatos, valores que incrementaron la conductividad eléctrica en este cuerpo de agua (**Figura 735**).

Figura 735. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de la comunidad perifítica registradas en la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

Estas variables esta por lo general asociadas a procesos de mineralización. En esta estación fueron característicos taxones como: Microspora sp, Hannaea sp Treubaria sp y Spirulina sp. Finalmente, la estación río Guali-Honda (H_Guali_05) se separó de las demás debido a la presencia de coliformes fecales, totales, nitratos y fosfatos. Variables relacionadas con procesos de contaminación por materia orgánica y aguas residuales (**Figura 735**). En esta estación fueron característicos taxones como: *Surirella sp y Amphora sp.*

35.7.1.8. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio. Las estaciones río Guali-

Mariquita (H_Guali_03) y río Guali-Casabianca (H_Guali_05), registraron niveles de contaminación intermedio, indicativos de contaminación media y eutrofización acentuada. Las estaciones restantes registraron niveles de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica (**Tabla 605**).

Tabla 605. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
Rio Aguacatal	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Gualí_2	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Rio Gualí_3	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Rio Medina	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Gualí_5	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

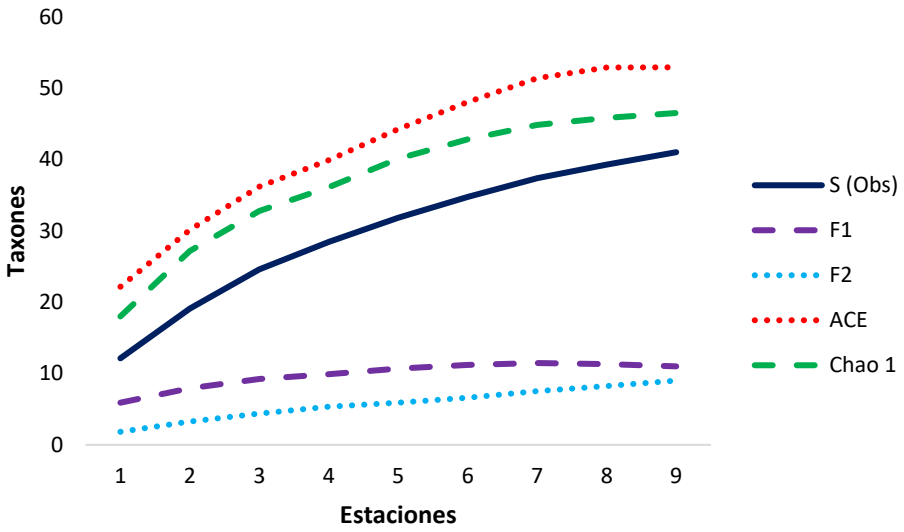
Fuente: Autores (2022).

35.7.2. Macroinvertebrados acuáticos

35.7.2.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 41 géneros observados (Sobs) en las 10 estaciones evaluadas (cinco en la subzona durante dos temporadas) para un total de 20 muestras que corresponden al 77.5% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 88.2% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 53 géneros (**Figura 736**, ***Figura 590***).

Figura 736. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrografica del rio Gualí.



Fuente: Autores (2022)

Según los estimadores de riqueza se tuvo una alta representatividad de muestreo, donde se logró detectar la mayoría de los organismos que se pueden encontrar en esta subzona hidrográfica. El cauce del rio Gualí es sumamente extenso, con una fuerte corriente y baja disponibilidad de sustratos, estas condiciones no permiten explorar en su totalidad la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, ya que no se tiene acceso a todas las partes del cuerpo de agua, adicionalmente durante los periodos de lluvias el caudal se incrementa de modo exponencial, lo que limita aún más la colecta. Aun cuando existen estas situaciones atenuantes se logró un porcentaje alto de colecta (Jara, 2017; Bazan, 2020).

En caso de ríos de gran amplitud, es normal registrar un bajo número de géneros, ya que estos animales al ser de tamaño tan reducido son sumamente sensibles al efecto de remoción que tiene el caudal, la mayoría de ellos no puede competir contra la fuerza del agua y tienden a ubicarse en zonas de remanso o corriente más moderada, donde existan sustratos firmemente fijados, lo cuales le sirven de refugio (Hanson et al., 2010).

35.7.2.2. Composición

Se colectaron 667 organismos distribuidos en tres filos, tres clases, 10 órdenes, 27 familias y 41 géneros (**Tabla 606**).

Tabla 606. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Guali.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Platyhelminthes	Rhabditophora	Neoophora	Dugesiidae	*Girardia*	1
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	*Tubifex*	3
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Dryopidae	*Dryops*	2
			Elmidae	*Cylloepus*	1
				Heterelmis	20
				Hexanchorus	7
				Huleechius	1
				Macrelmis	23
				Neoelmis	1
			Lutrochidae	*Lutrochus*	1
		Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	2
				Atrichopogon	1
			Chironomidae	*Chironominae*	36
				Orthocladiinae	95
				Tanypodinae	2
			Empididae	*Chelifera*	3
			Simuliidae	*Simulium*	13
			Tipulidae	*Molophilus*	4
		Ephemeroptera	Baetidae	*Baetodes*	248
				Camelobaetidius	10
			Leptohyphidae	*Leptohyphes*	2
				Tricorythodes	3
			Leptophlebiidae	*Farrodes*	2
				Terpides	2
				Thraulodes	5
		Hemiptera	Gerridae	*Trepobates*	2
			Naucoridae	*Ambrysus*	1
				Limnocoris	4
			Notonectidae	*Martarega*	18
			Veliidae	*Rhagovelia*	87
		Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	11
		Odonata	Coenagrionidae	*Argia*	1
			Gomphidae	*Progomphus*	1
			Libellulidae	*Dythemis*	2
		Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	20
		Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	1
			Hydrobiosidae	*Atopsyche*	2
			Hydropsychidae	*Leptonema*	13
				Smicridea	12
			Leptoceridae	*Atanatolica*	3

Philopotamidae *Chimarra* 1

Fuente: Autores (2022).

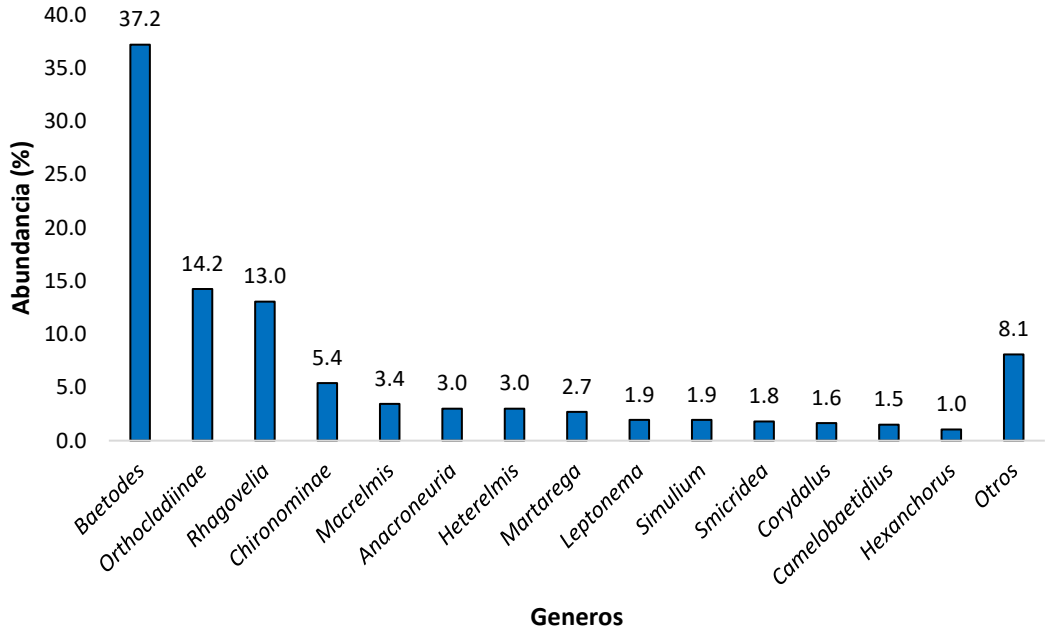
A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Ephemeroptera con 272 organismos (40.8%), Diptera con 156 organismos (23.4%) y Hemiptera con 112 organismos (16.8%). Para las cuencas de alta montañas de gran porte es común encontrar esta estructura de la comunidad, donde los dípteros y efemerópteros dominan la composición taxonómica de macroinvertebrados acuáticos, ya que presentan un amplio espectro de adaptaciones morfológicas y ecológicas que les permite habitar en ecosistemas de corriente fuerte (Tamaris et al., 2013).

En cuanto a familias, las más abundantes fueron Baetidae (38.7%), Chironomidae (19.9%) y Veliidae (13%) mientras que Leptohyphidae, Naucoridae, Tipulidae, Ceratopogonidae, Empididae, Leptoceridae, Naididae, Dryopidae, Gerridae, Hydrobiosidae, Libellulidae, Coenagrionidae, Dugesiidae, Glossosomatidae, Gomphidae, Lutrochidae, Philopotamidae presentaron la menor cantidad de organismos (>1%).

A nivel de géneros, los más abundantes fueron *Baetodes* (37.2%), seguido de Orthocladiinae (14.2%) y *Rhagovelia* (8.2%). De los 44 géneros registrados 27 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Thraulodes, Limnocoris, Molophilus, Atanatolica, Chelifera, Tricorythodes, Tubifex, Alluaudomyia, Atopsyche, Dryops, Dythemis, Farrodes, Leptohyphes, Tanypodinae, Terpides, Trepobates, Ambrysus, Argia, Atrichopogon, Chimarra, Culoptila, Cylloepus, Girardia, Huleechius, Lutrochus, Neoelmis* y *Progomphus* (**Figura 737**).

La subzona hidrográfica del rio Gualí es un rio de gran tamaño, esto implica un aumento de la corriente y la profundidad, así como la reducción de sustratos específicos, donde se puedan desarrollar organismos pocos comunes. No obstante, se observa una gran cantidad de taxones reportados para esta subzona hidrográfica, la mayoría de ellos son cosmopolitas y de amplia distribución geográfica, capaces de soportar múltiples tensores ambiental, también se encontraron algunos organismos poco comunes, estos fueron encontrados en su mayoría en sus tributarios que aunque también son ríos grandes, presentan una mayor estabilidad de sustratos en particular se resalta la presencia de hojarasca, lo cual permite el desarrollo de una comunidad más grande y diversa El factor lluvias también es un factor a considerar ya que impide el desarrollo de una colecta apropiada, lo cual limita la detección de la totalidad de la comunidad (Quesada et al., 2020).

Figura 737. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

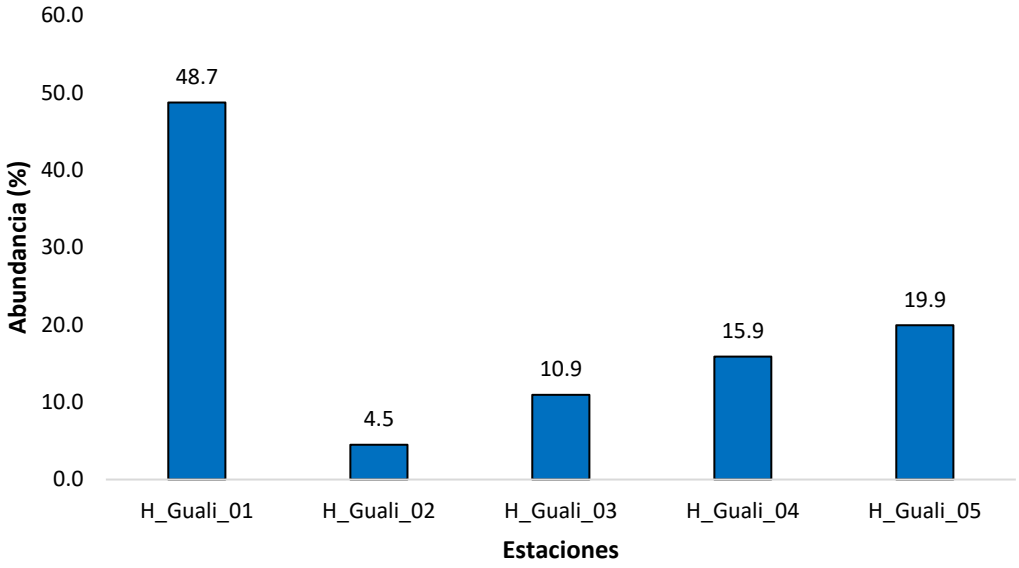
35.7.2.3. Distribución espacial

Se establecieron cinco estaciones de muestreo en el cauce principal del rio Gualí y los tributarios rio Aguacatal y rio Medina, se registró la mayor abundancia en el rio Aguacatal (H_Guali_01) con 325 organismos (48.7%), seguido del rio Gualí (H_Guali_05) con 133 organismos (19.9%) (**Figura 738**).

Las estaciones del rio Gualí y sus tributarios al ser cuerpos de agua amplios los efectos de las variables físicas tienen un efecto superior sobre la dinámica de las poblaciones, esto se refleja especialmente en las estaciones del rio Gualí, donde la fuerza de la corriente es un factor de tensión para los macroinvertebrados acuáticos. Esto se refleja en las bajas abundancias registradas allí, sumado a ello existen disturbios de origen antrópico provenientes de varios poblados aledaños al cauce, principalmente en la localidad de Mariquita y Honda.

El rio Aguacatal se encuentra bastante alejado de las urbes y sus tensores provienen principalmente de la agricultura periférica, sin embargo, este rio también presenta una amplitud y fuerza de corriente a tener en consideración, lo cual limite la distribución de los organismos. Por último, el rio Medina a pesar de tener condiciones aparentemente idóneas para el establecimiento de estos organismos, presenta efectos negativos producto del turismo desmedido tiene un impacto fuerte y se refleja en la baja abundancia registrada.

Figura 738. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

En cuanto a los géneros registrados Chironominae, Orthocladiinae, *Rhagovelia* y *Simulium*, se colectaron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Guali, estos taxones son cosmopolitas y con amplia distribución, por lo tanto, es común detectarlos en los monitoreos (**Tabla 607**). Del material colectado los géneros *Ambrysus, Argia, Atrichopogon, Chimarra, Culoptila, Cylloepus, Girardia, Huleechius, Lutrochus, Neoelmis, Progomphus, Alluaudomyia, Atopsyche, Dythemis, Tanypodinae, Terpides* y *Chelifera* indicaron una distribución restringida a una sola estación.

Tabla 607. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Genero	H_Guali_01	H_Guali_02	H_Guali_03	H_Guali_04	H_Guali_05
Alluaudomyia	2	*	*	*	*
Ambrysus	*	*	*	*	1
Anacroneuria	5	*	*	14	1
Argia	*	*	*	1	*
Atanatolica	*	*	*	2	1
Atopsyche	2	*	*	*	*
Atrichopogon	*	*	*	*	1
Baetodes	223	*	25	*	*
Camelobaetidius	8	*	*	1	1
Chelifera	*	3	*	*	*

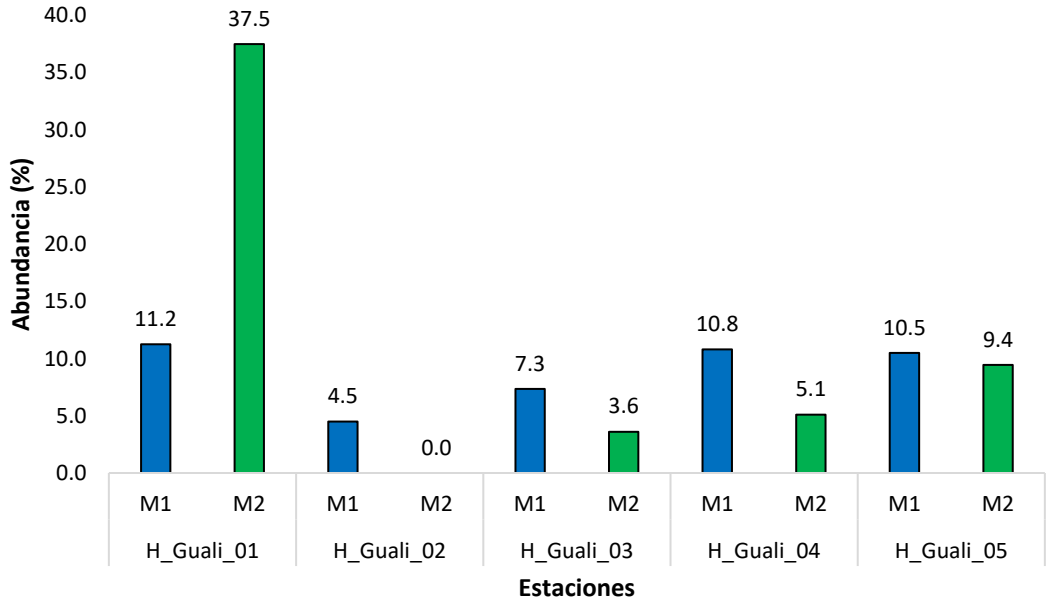
Chimarra	*	*	*	*	1
Chironominae	9	2	2	4	19
Corydalus	4	2	4	*	1
Culoptila	1	*	*	*	*
Cylloepus	*	*	*	1	*
Dryops	1	*	*	1	*
Dythemis	*	*	2	*	*
Farrodes	*	*	*	1	1
Girardia	*	*	*	1	*
Heterelmis	1	*	*	19	*
Hexanchorus	3	*	1	2	1
Huleechius	*	*	*	1	*
Leptohyphes	*	*	*	1	1
Leptonema	*	*	10	1	2
Limnocoris	*	*	2	*	2
Lutrochus	*	*	1	*	*
Macrelmis	*	1	3	19	*
Martarega	*	*	*	*	18
Molophilus	*	1	2	*	1
Neoelmis	1	*	*	*	*
Orthocladiinae	56	19	8	2	10
Progomphus	1	*	*	*	*
Rhagovelia	1	1	1	21	63
Simulium	5	1	1	3	3
Smicridea	1	*	10	1	*
Tanypodinae	*	*	*	*	2
Terpides	*	*	*	2	*
Thraulodes	1	*	*	4	*
Trepobates	*	*	*	1	1
Tricorythodes	*	*	*	1	2
Tubifex	*	*	1	2	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.7.2.4. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, al momento de la segunda colecta, se presentaron fuertes lluvias que afectaron el caudal, por lo cual no fue posible muestrear la estación rio Gualí (H_Guali_02). En cuanto a la abundancia el muestreo uno registro un total de 296 organismos que representan el 44.4%, mientras que en el segundo se obtuvo un 55.6% con 371 organismos. a nivel temporal se registró una mayor abundancia en el rio Aguacatal (H_Guali_01) en los dos muestreos (**Figura 739**).

Figura 739. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

La tendencia de la abundancia está definida como mayor en el muestreo 1 para el compendio de estaciones, solo en la estación del rio Aguacatal en el segundo muestreo se dio un crecimiento abrupto de las densidades poblacionales registradas. En general se observa que esta cuenca se encuentra con una comunidad relativamente pobre de macroinvertebrados acuáticos, dado el bajo número de taxones registrados con su respectiva abundancia (Dominguez y Fernandez, 2009)

La distribución espacio-temporal de los organismos fluctuó bastante, ninguno de los géneros se registró en todas las estaciones durante las dos temporadas, sin embargo Chironominae y Orthocladiinae estuvieron ampliamente distribuidos (**Tabla 608**).

Tabla 608. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Gualí.

Genero	H_Guali_01		H_Guali_02	H_Guali_03		H_Guali_04		H_Guali_05	
	M1	M2	M1	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Alluaudomyia	*	2	*	*	*	*	*	*	*
Ambrysus	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Anacroneuria	1	4	*	*	*	9	5	*	1
Argia	*	*	*	*	*	1	*	*	*
Atanatolica	*	*	*	*	*	2	*	1	*

Atopsyche	1	1	*	*	*	*	*	*	*
Atrichopogon	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Baetodes	42	181	*	25	*	*	*	*	*
Camelobaetidius	3	5	*	*	*	1	*	*	1
Chelifera	*	*	3	*	*	*	*	*	*
Chimarra	*	*	*	*	*	*	*	1	*
Chironominae	5	4	2	1	1	1	3	19	*
Corydalus	3	1	2	3	1	*	*	1	*
Culoptila	1	*	*	*	*	*	*	*	*
Cylloepus	*	*	*	*	*	*	1	*	*
Dryops	*	1	*	*	*	*	1	*	*
Dythemis	*	*	*	2	*	*	*	*	*
Farrodes	*	*	*	*	*	*	1	1	*
Girardia	*	*	*	*	*	1	*	*	*
Heterelmis	1	*	*	*	*	15	4	*	*
Hexanchorus	*	3	*	1	*	2	*	1	*
Huleechius	*	*	*	*	*	1	*	*	*
Leptohyphes	*	*	*	*	*	1	*	1	*
Leptonema	*	*	*	5	5	1	*	1	1
Limnocoris	*	*	*	*	2	*	*	2	*
Lutrochus	*	*	*	1	*	*	*	*	*
Macrelmis	*	*	1	1	2	6	13	*	*
Martarega	*	*	*	*	*	*	*	18	*
Molophilus	*	*	1	2	*	*	*	1	*
Neoelmis	*	1	*	*	*	*	*	*	*
Orthocladiinae	14	42	19	4	4	*	2	7	3
Progomphus	*	1	*	*	*	*	*	*	*
Rhagovelia	*	1	1	*	1	21	*	7	56
Simulium	3	2	1	*	1	3	*	3	*
Smicridea	1	*	*	4	6	1	*	*	*
Tanypodinae	*	*	*	*	*	*	*	2	*
Terpides	*	*	*	*	*	2	*	*	*
Thraulodes	*	1	*	*	*	*	4	*	*
Trepobates	*	*	*	*	*	1	*	*	1
Tricorythodes	*	*	*	*	*	1	*	2	*
Tubifex	*	*	*	*	1	2	*	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

Estos organismos se encuentran dispersos en todos los ecosistemas y es bastante común encontrarlos. Los géneros *Ambrysus, Argia, Atrichopogon, Chelifera, Chimarra, Dythemis, Girardia, Huleechius, Leptohyphes, Lutrochus, Martarega, Molophilus,*

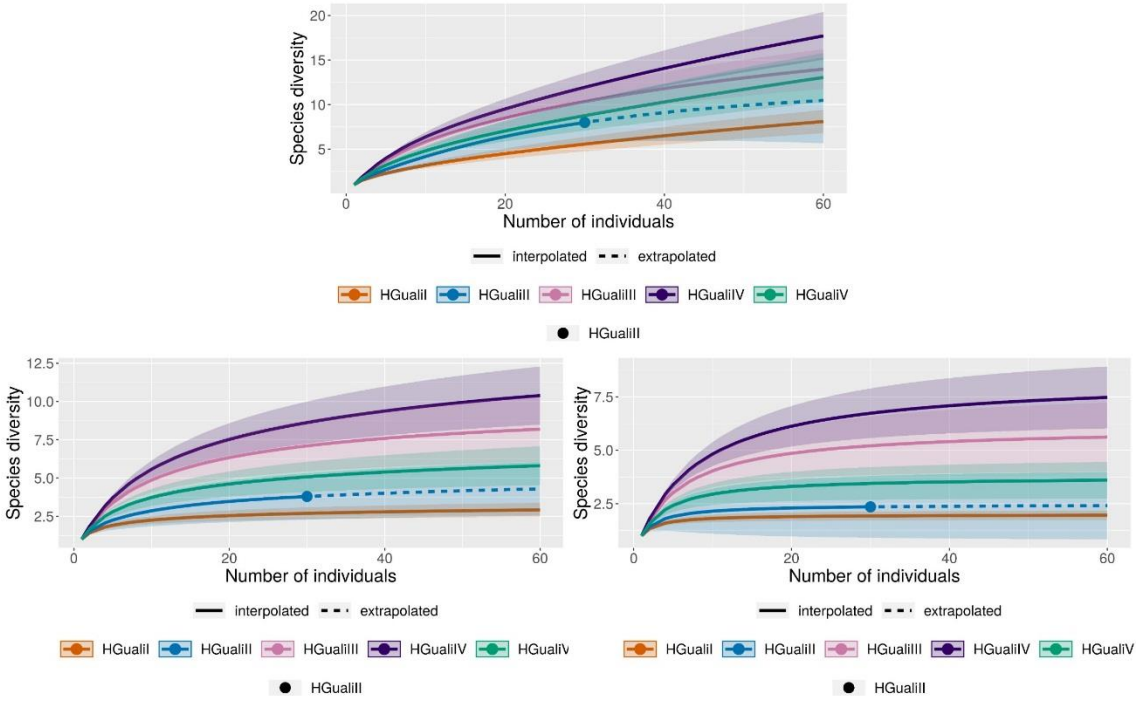
Tanypodinae, Terpides, Tricorythodes, Atanatolica y *Culoptila,* se registraron únicamente en el muestreo uno, mientras que *Alluaudomyia, Cylloepus, Dryops, Neoelmis, Progomphus* y *Thraulodes* se registraron para el muestreo dos.

35.7.2.5. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Sabandija, se puede establecer que los valores de riqueza (0D) registrados oscilaron entre los 8 a 24 géneros, siendo las estaciones con mayor número de géneros el rio Gualí (H_Guali_04) con 24 y el rio Aguacatal (H_Guali_01) con 18 (**Figura 740**).

La grafica de diversidad para la riqueza según sus intervalos de confianza, se encuentra solapados por lo que se indica que no existen diferencias significativas, aun cuando hay una variación significativa en la cantidad de géneros registrada para cada estación, en general es muy baja. Para el rio Guali (H_Guali_03), la extrapolación muestra que aún existe la posibilidad de encontrar un mayor número de taxones, por lo que se recalca que se debe muestrear más para alcanzar la totalidad de la riqueza. Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican que los valores en las cinco estaciones tienden a ser similares sobre todo se agrupan en función de la altitud, las estaciones de zonas altas se encuentran menor número de organismos comunes, mientras que las estaciones de baja montaña registran el mayor valor con 11.6.

Figura 740. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

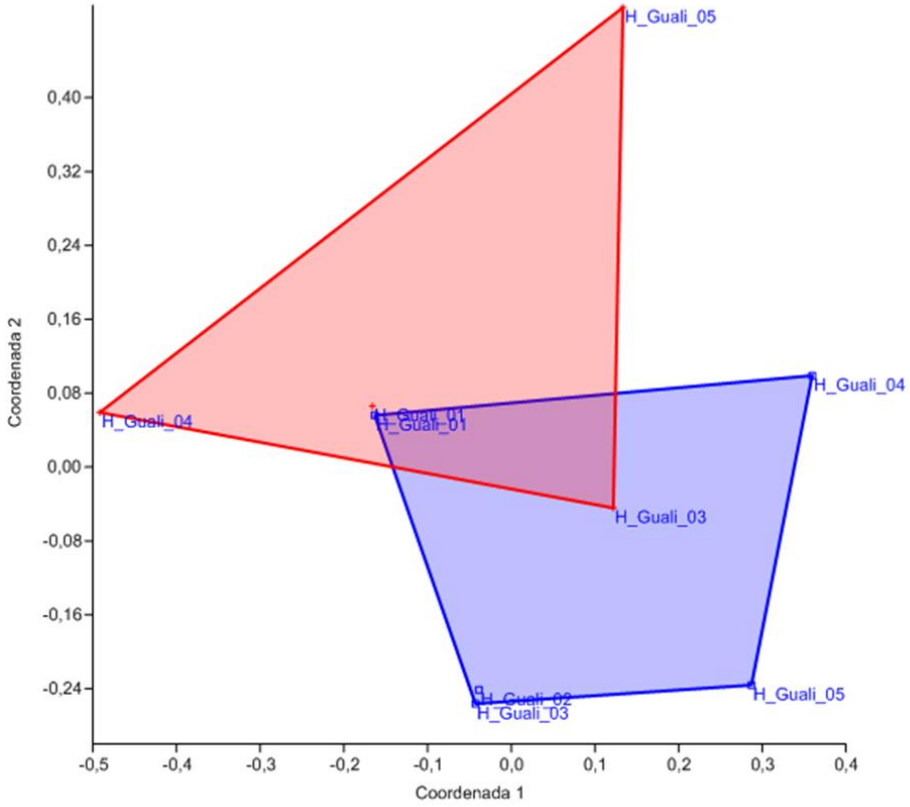
De acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento relativamente homogéneo en las cinco estaciones, teniendo en cuenta la baja riqueza encontrada, los valores de taxones dominantes se son bajos también.

La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Gualí y sus tributarios es baja y no muestra diferencias en la extensión evaluada, los tensores naturales y artificiales que presenta este rio dificultan el desarrollo de una comunidad mayor, en esta subzona se compone principalmente por organismos comunes con amplia distribución y una resistencia alta a las condiciones físicas de los ríos grandes. Por tamaño del rio es baja la probabilidad de encontrar organismos raros o poco comunes, sin embargo, pueden existir ambientes más estables que provean las condiciones adecuadas para su desarrollo (Gonzales et al., 2020).

35.7.2.6. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, muestra agrupamientos parcialmente definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,2) (**Figura 741**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,7).

Figura 741. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones de un 50%, en los polígonos se observa una independencia parcial según la temporalidad, en cuanto a los cambios espaciales, también se observan cambios grandes en la composición taxonómica.

Para ambos periodos de muestreo la composición varia significativamente entre estaciones, lo que da un bajo porcentaje de similaridad, lo cual implica que las condiciones de algunos ambientes son adversas lo que se refleja en la disminución en la diversidad de organismos y la persistencia de taxones comunes que pueden sobrevivir en diferentes escenarios poco aptos para el desarrollo de estos (Sevilla y Villar, 2008).

Las distancias y similitudes se determinan por la presencia y ausencia de los taxones colectados, de este modo se encontraron como organismos exclusivos del muestreo uno a *Ambrysus, Argia, Atrichopogon, Chelifera, Chimarra, Dythemis, Girardia, Huleechius,*

Leptohyphes, Lutrochus, Martarega, Molophilus, Tanypodinae, Terpides, Tricorythodes, Atanatolica y *Culoptila,* mientras que *Alluaudomyia, Cylloepus, Dryops, Neoelmis, Progomphus* y *Thraulodes* se presentaron para el muestreo dos.

35.7.2.7. Relación con variables fisicoquímicas

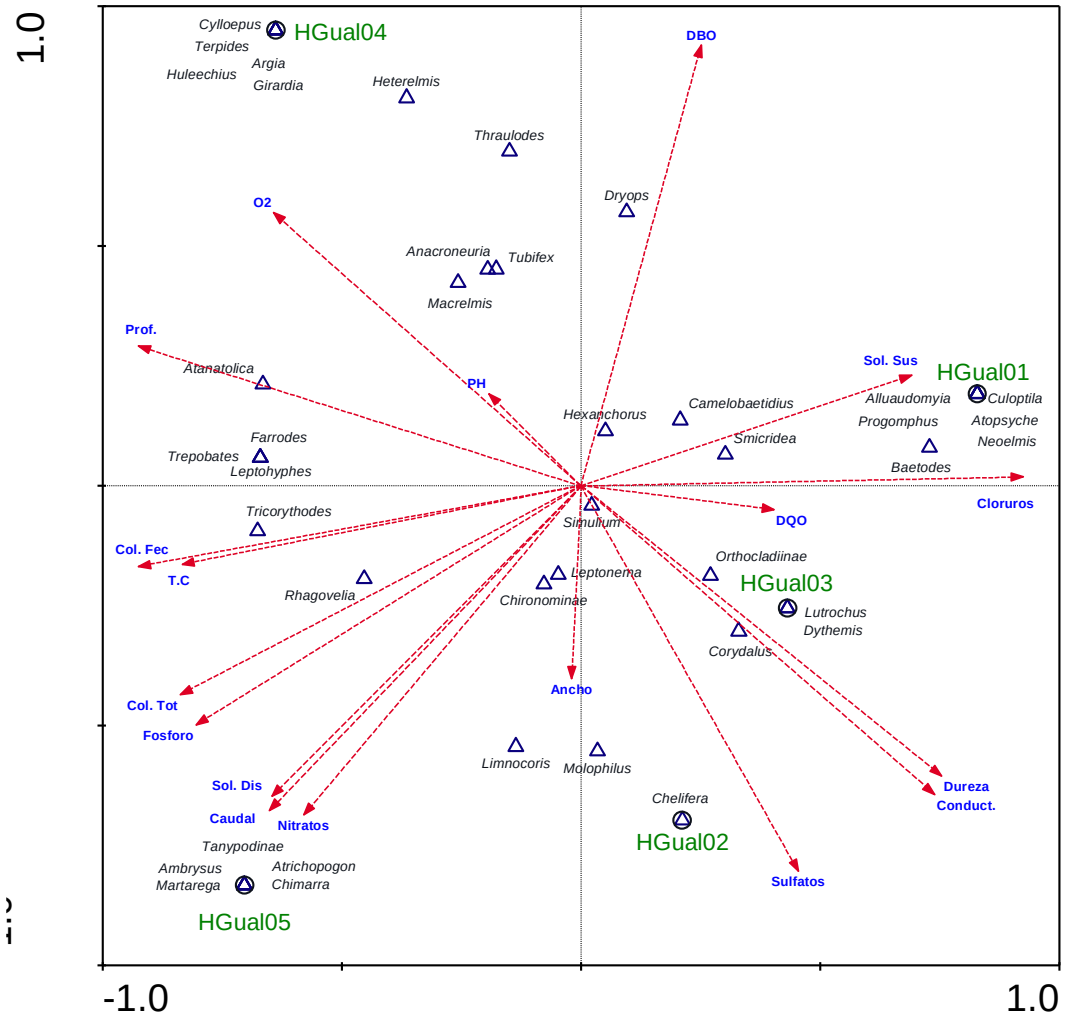
Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, la temperatura del agua, DQO, La dureza y la profundidad presentan efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos (**Figura 742**).

En general se encuentran asociaciones definida entre los taxones registrados y las estaciones y variables evaluadas, se observa que la mayoría de las localidades se encuentran alejadas, al igual que los géneros, esto indica que la composición en estas zonas es altamente diferente (Ramirez y Viña, 1998).

La estación H_Guali_01 se asocia con las variables solidos suspendidos y cloruros y a su vez con los géneros *Culoptila, Atopsyche, Neoelmis, Alluaudomyia* y *Progomphus.* La estación H_Guali_02 se asocia con el género *Chelifera* y los sulfatos. La estación H_Guali_03 se relaciona con el DQO, la dureza y la conductividad eléctrica, junto con los géneros *Lutrochus* y *Dythemis.*

La estación H_Guali_04 no se relaciona con las variables fisicoquímicas, aun asi se relaciona con los géneros *Cylloepus, Terpides, Argia, Huleechius* y *Girardia.* Por último, la estación H_Guali_05 se asocia con los géneros *Ambrysus*, Tanypodinae, *Atrichopogon, Martarega y Chimarra* y estos se relacionan con las variables nitratos, caudal y solidos suspendidos.

Figura 742. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Gualí.



Fuente: Autores (2022).

35.7.2.8. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Gualí exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo, apuntando hacia calidades de agua dudosas y poco conservadas (**Tabla 609**, **Tabla 537**).

La calidad de agua registrada para las estaciones de esta subzona vario en los dos

muestreos, esto puede darse en función de las características morfológicas, físicas y químicas de los ríos, de este modo al ser ríos de gran porte es difícil colectar los organismos, ya que los ambientes propicios para su desarrollo son limitados. La calidad de agua se reduce considerablemente para el segundo muestreo, en el cual se presentaron lluvias que reconfiguran las densidades poblaciones por efecto de la deriva en el pulso de inundación (Roldan, 2003).

Tabla 609. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Gualí.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Aguacatal	62	Aceptable	II	85	Aceptable	II
Rio Guali	37	Dudosa	III	*	*	*
Rio Guali	43	Dudosa	III	45	Dudosa	III
Rio Medina	95	Aceptable	II	34	Critica	IV
Rio Guali	90	Aceptable	II	42	Dudosa	III

Fuente: Autores (2022).

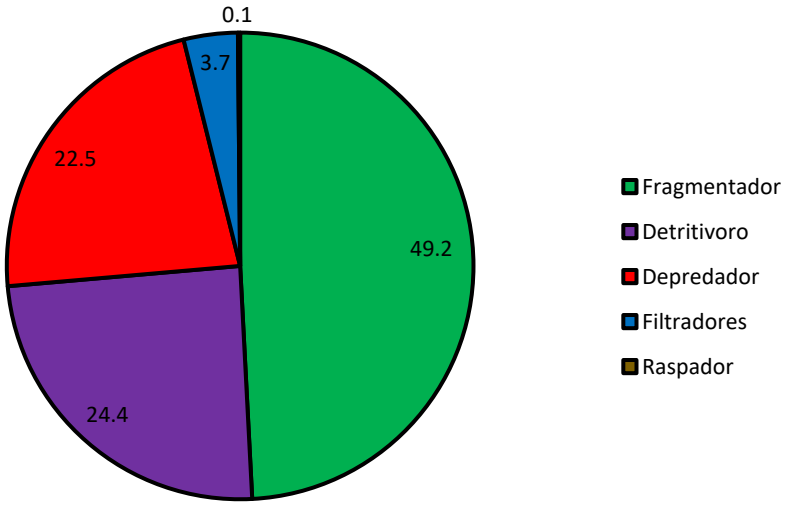
35.7.2.9. Gremios tróficos

Se identificaron cinco gremios tróficos de los cuales el fragmentador fue el más abundante (49.2%), seguido de detritívoro (24.4%), depredador (22.5%), filtrador (3.7%) y por último raspador (0.1%) (**Figura 743**).

La abundancia registrada en esta subzona evidencia que los organismos herbívoros como fragmentadores y detritívoros tienen la mayor presencia dentro de estos cuerpos de agua, en los ríos de esta cuenca se produce un gran transporte de material vegetal y detritos orgánicos provenientes de las actividades domésticas, lo cual aporta un recurso constante a estos animales (Sevilla y Villar, 2008).

Con el aumento de los organismos herbívoros se incrementa el número de los depredadores ya que también tienen una oferta variada de presas para capturar. Por otro lado, las condiciones físicas parecen limitar el crecimiento del perifiton el cual es el alimento de los raspadores, por esta razón este gremio es tan poco representativo en estos ríos (Hanson et al., 2010).

Figura 743. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Gualí.



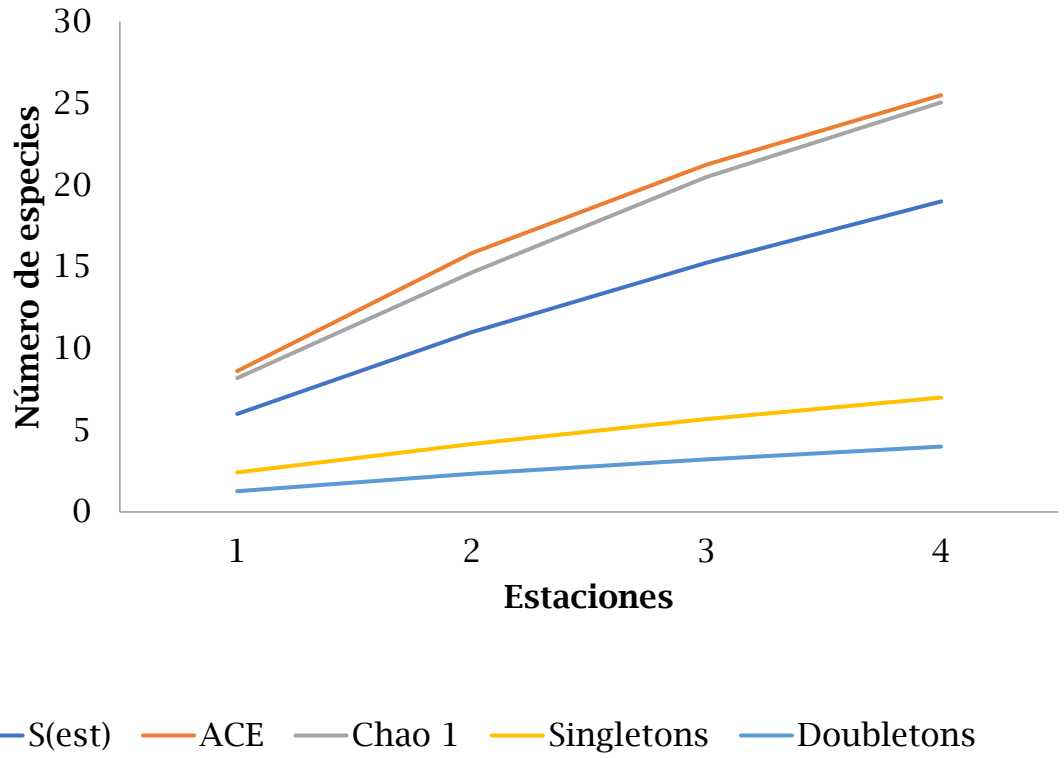
Fuente: Autores (2022).

35.7.3. Ictiofauna

35.7.3.1. Representatividad

La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Gualí. Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue relativamente alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 20) corresponde al 76 % en ambos casos de las especies esperadas, es decir, 25 especies. Esto puede explicarse porque los estimadores de riqueza son sensibles en comunidades donde hay muchas especies con baja frecuencia de captura, es decir abundancia. Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de siete especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Andinoacara latifrons, Rivulus magdalenae*, *Hemibrycon iqueima*, *Astroblepus grixalvii*, *Rhamdia guatemalensis*, *Chaetostoma thomsoni* y *Lasiancistrus caucanus*) o que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Geophagus steindachneri*, *Saccoderma hastata*, *Hoplias malabaricus* y *Chaetostoma* cf. *fischeri*). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue relativamente alto (**Figura 744**).

Figura 744. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Gualí.



Fuente: Autores (2021)

35.7.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Gualí se colectaron 102 individuos, pertenecientes a 20 especies, distribuidas en tres ordenes y nueve familias. El orden Siluriformes (AR= 43 %), con nueve especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 38 %) con seis, Blenniiformes (AR= 19 %) con cinco (**Tabla 610**).

Tabla 610. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Gualí

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara latifrons*	1
		Geophagus steindachneri	2
	Poeciliidae	*Poecilia caucana*	12
		Poecilia reticulata	3
	Rivulidae	*Rivulus magdalenae*	1
Characiformes	Characidae	*Astyanax* sp.	13
		Creagrutus affinis	13

		Gephyrocharax melanocheir	8
		Hemibrycon iqueima	1
		Saccoderma hastata	2
	Erythrinidae	*Hoplias malabaricus*	2
Siluriformes	Astroblepidae	*Astroblepus grixalvii*	1
		Astroblepus homodon	13
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	5
		Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	17
	Heptapteridae	*Rhamdia guatemalensis*	1
	Loricariidae	*Chaetostoma* cf. *fischeri*	2
		Chaetostoma thomsoni	1
		Lasiancistrus caucanus	1
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	3

Fuente: Autores (2022).

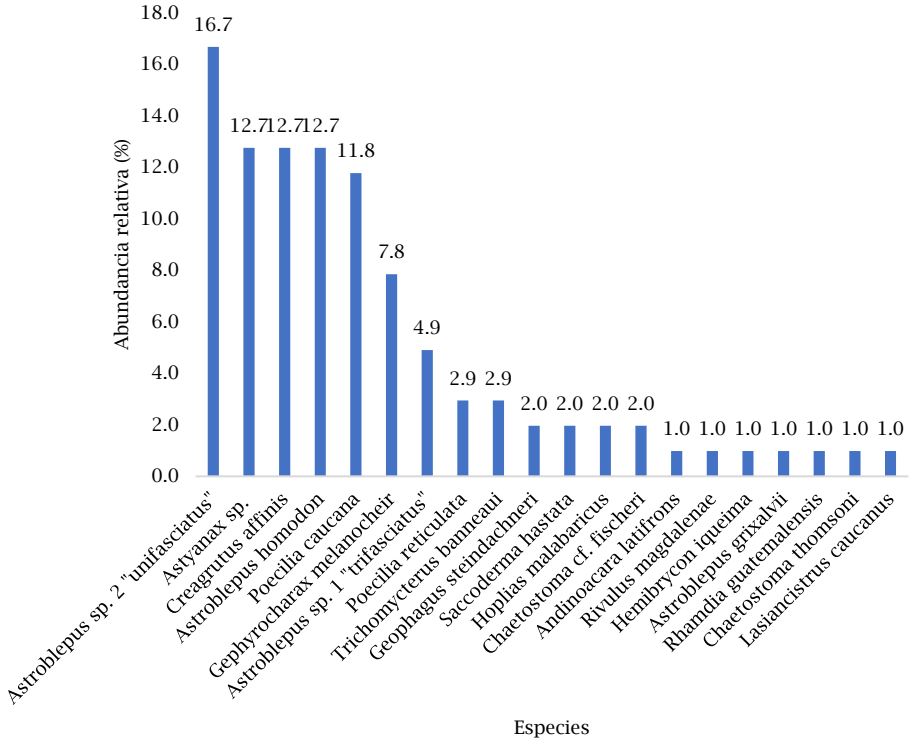
Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 36 %) registró la mayor riqueza con cinco, seguida de Astroblepidae (AR= 35 %) con cuatro, Loricariidae (AR= 3.9 %) con tres y las restantes familias con menos de dos especies cada una (**Figura 745**).

Con respecto a la abundancia de las especies, *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus" fue la más abundante con 17 individuos (AR= 16 %), seguida de *Astyanax* sp. (AR= 12 %), *Creagrutus affinis* (AR= 12 %), *Astroblepus homodo*n (AR= 12 %) y *Poecilia caucana* (AR= 11 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 8 %.

35.7.3.3. Distribución espacial

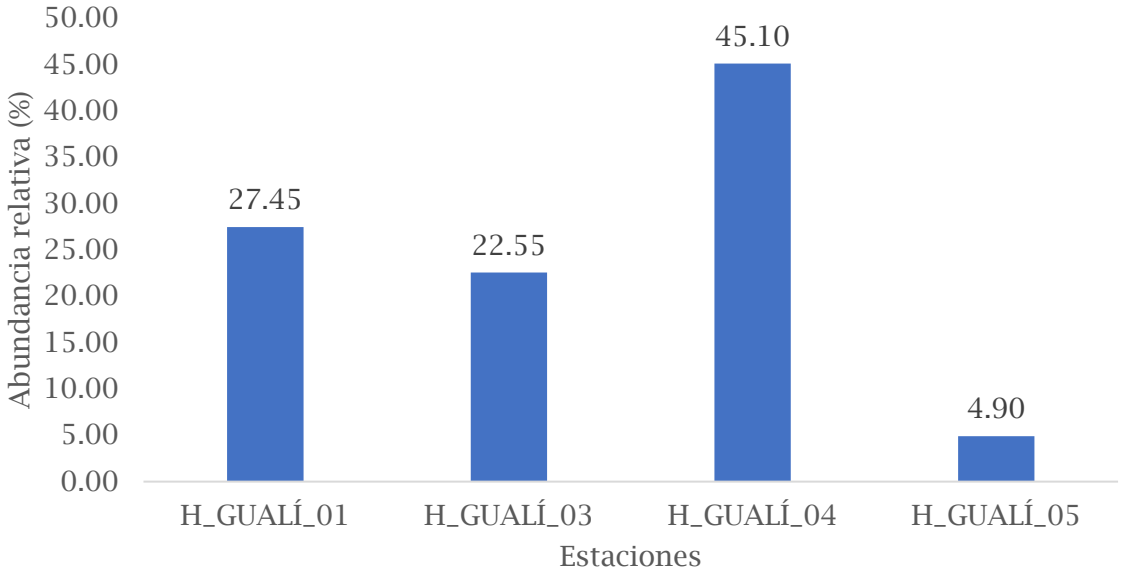
Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluadas, es posible observar que H-GUALÍ-04 (Río Medina-414) registró la mayor abundancia con AR= 45 %, seguido de H-GUALÍ-01 (Río Aguacatal-1908) con AR= 27 %, H-GUALÍ-03 (Río Gualí-423) con AR= 22 % y H-GUALÍ-05 (Río Gualí-221) con AR= 5 % (**Figura 746**). Es relevante mencionar que H-GUALÍ-01 registró únicamente especies de *Astroblepus* spp. debido a que es la única estación que se encuentra por encima de 1900 m s.n.m, es decir en las zonas altas. Esta fauna íctica es representante de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015; Poveda-Cuellar et al., 2021) y corrobora lo encontrado en esta caracterización biológica.

Figura 745. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

Figura 746. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

35.7.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de la abundancia de la ictiofauna entre los dos muestreos evaluados, es posible observar ocho especies (*Poecilia caucana*, *Poecilia reticulata*, *Hoplias malabaricus*, *Gephyrocharax melanocheir*, *Creagrutus affinis*, *Astyanax* sp. y *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus") comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos (**Figura 747, Tabla 611)**. Esto indica que los sustratos o nichos (p.e., tróficos-alimenticios) que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten el mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus" que es dependiente se sustrato rocoso y aguas rápidas, además de macoinvertebrados acuáticos para su alimentación.

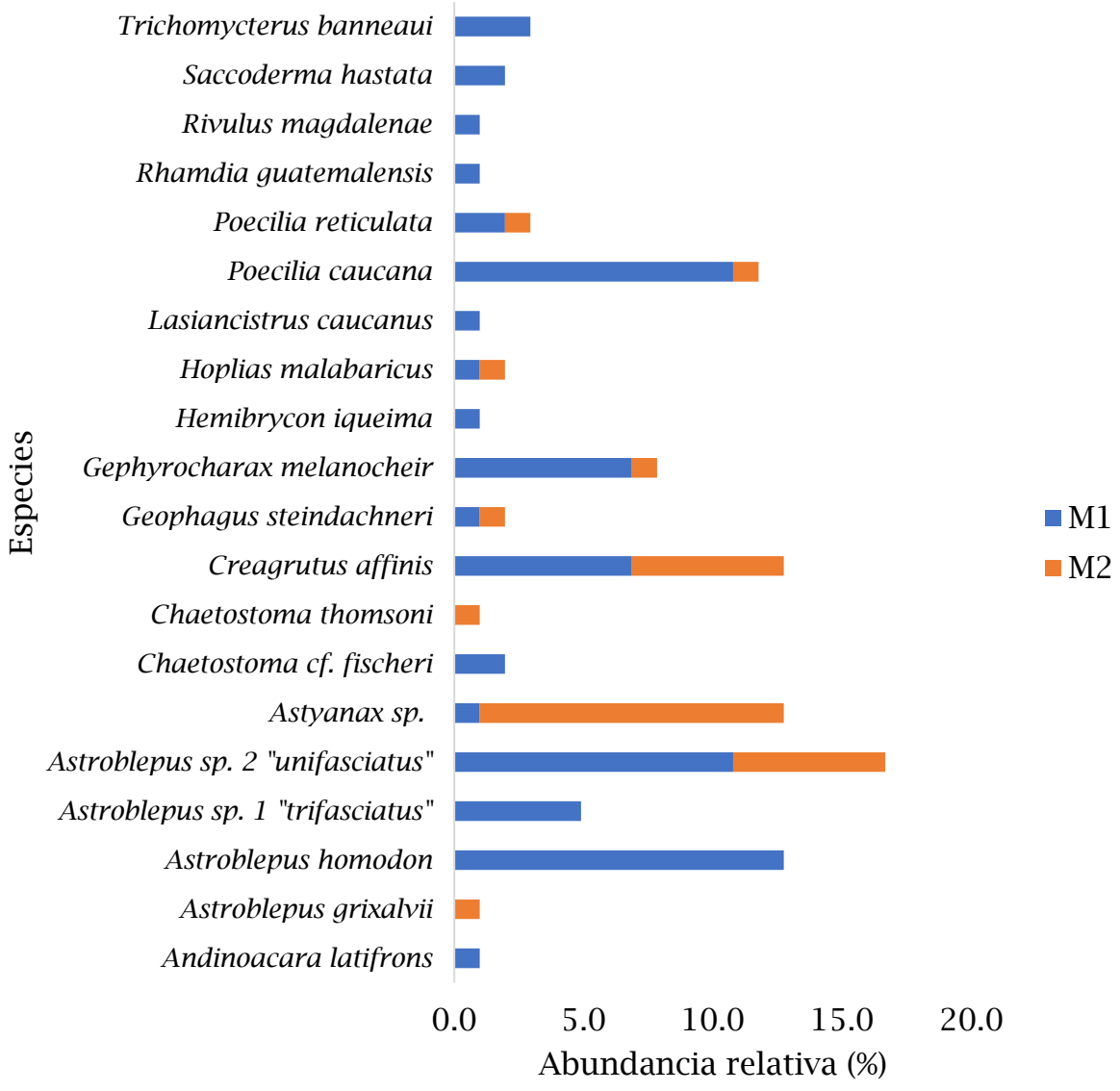
Tabla 611. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Gualí.

	M1				M2		
ESPECIE	H_GUALÍ_01	H_GUALÍ_03	H_GUALÍ_04	H_GUALÍ_05	H_GUALÍ_01	H_GUALÍ_03	H_GUALÍ_04
Andinoacara latifrons	*	1	*	*	*	*	*
Geophagus steindachneri	*	*	1	*	*	*	1
Poecilia caucana	*	7	*	4	*	*	1
Poecilia reticulata	*	2	*	*	*	*	1
Rivulus magdalenae	*	*	1	*	*	*	*
Astyanax sp.	*	*	*	1	*	*	12
Creagrutus affinis	*	*	7	*	*	*	6
Gephyrocharax melanocheir	*	7	*	*	*	1	*
Hemibrycon iqueima	*	*	1	*	*	*	*
Saccoderma hastata	*	2	*	*	*	*	*
Hoplias malabaricus	*	1	*	*	*	1	*
Astroblepus grixalvii	*	*	*	*	1	*	*
Astroblepus homodon	5	*	8	*	*	*	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	5	*	*	*	*	*	*
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	11	*	*	*	6	*	*
Rhamdia guatemalensis	*	1	*	*	*	*	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	*	2	*	*	*	*
Chaetostoma thomsoni	*	*	*	*	*	*	1
Lasiancistrus caucanus	*	*	1	*	*	*	*
Trichomycterus banneaui	*	*	3	*	*	*	*

Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema. Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia, la temperatura y pendiente son variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2021).

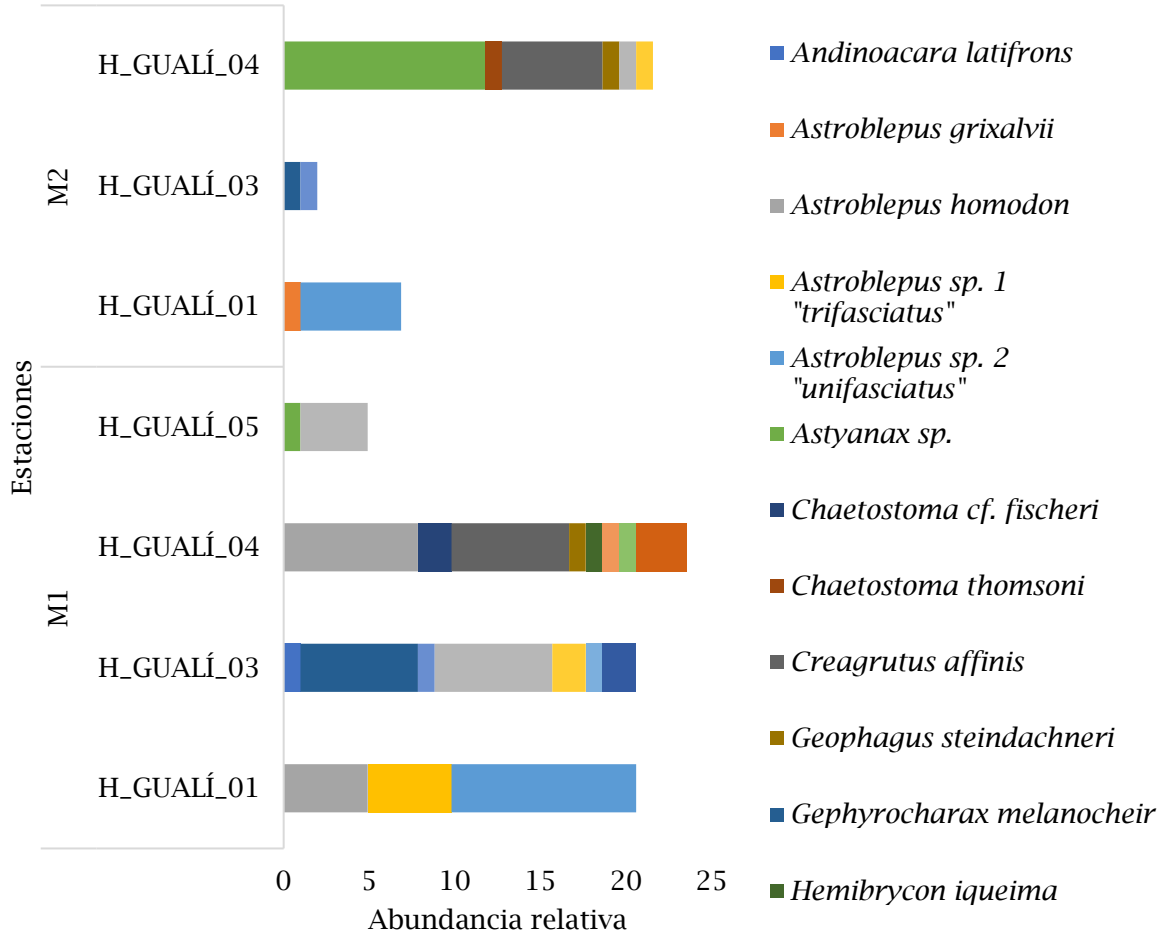
Figura 747. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

Para el caso de las estaciones, podemos observar que aquellas que registran mayor número de individuos, son caracterizadas por no registrar especies dominantes (**Figura 748**). Es decir, las especies que componen estos ensamblajes registran abundancias equitativas. Es decir, particionan los recursos (pe., físico o alimenticios) equitativamente y no hay especies que representen mayoritariamente de la abundancia total del ensamblaje. Por otro lado, se observan variaciones en abundancia y composición a lo largo del tiempo, es decir, durante le primer muestreo se registraron más especies y mayor abundancia que en relación con el segundo monitoreo. Algunas especies se mantiene a lo largo del espacio-tiempo y otras se registran en una de las campañas, pero no en ambas.

Figura 748. Distribución de la abundancia relativa de las especies en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.

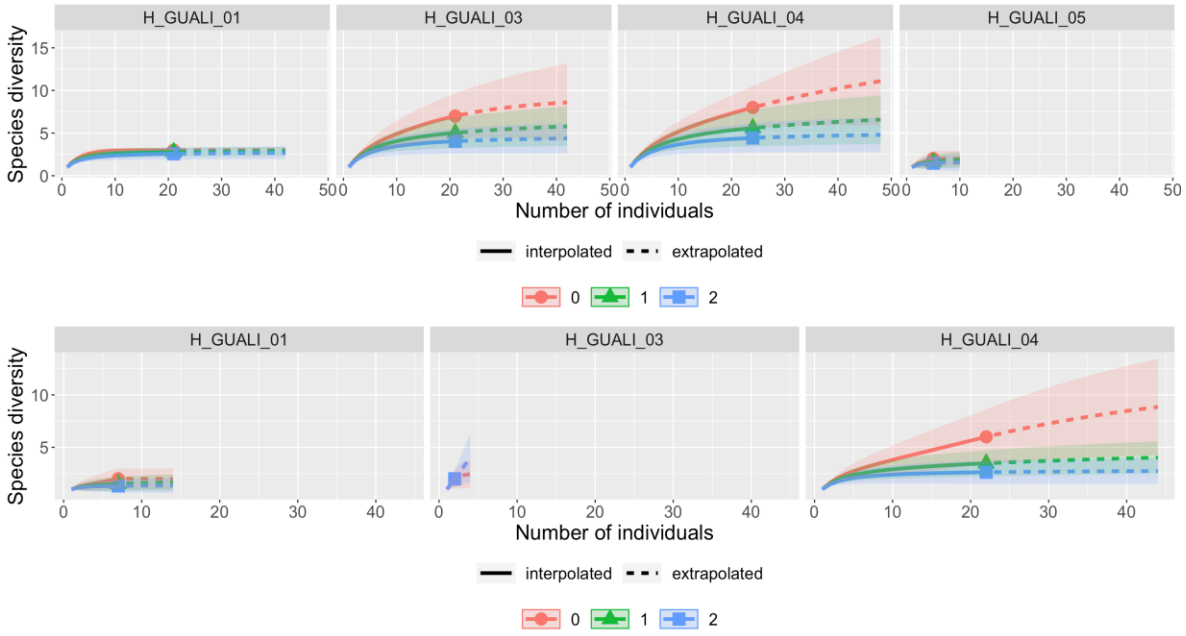


Fuente: Autores (2022).

35.7.3.5. Diversidad

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en las estaciones H-GUALÍ-03 Y H-GUALÍ-04 en ambos monitoreos con valores de riqueza entre 7 y 8 especies. Las restantes estaciones registraron valores inferiores a tres (**Figura 749**).

Figura 749. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

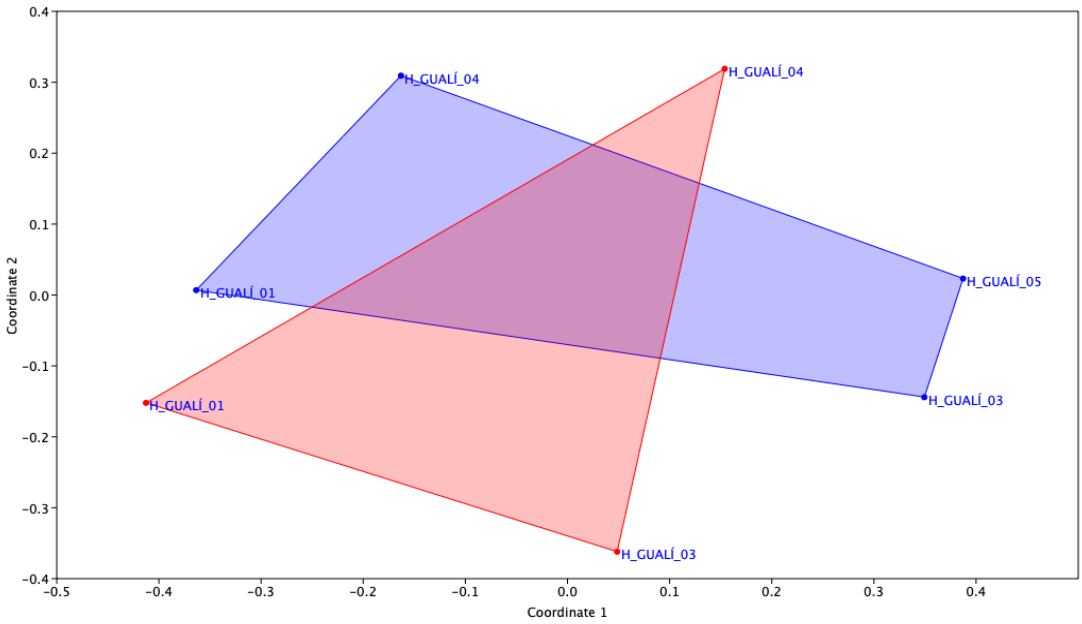
Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó la misma tendencia anteriormente mencionada, las estaciones H-GUALÍ-03 Y H-GUALÍ-04 son claramente mas diversas que las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Gualí, a pesar de que hubo una disminución en H-GUALÍ-03 en el segundo monitoreo. En estas dos estaciones las especies comunes tienen mayor equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones. Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-GUALÍ-03 Y H-GUALÍ-04 tienen una diversidad promedio igual a la que tendría una comunidad teórica de 5,3 especies, seguida de H-GUALI-01 y H-GUALI-05 con 2,2 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-GUALI-04 y H-GUALI-03 son 2,40 veces más diversa en especies de peces que H-GUALI-01 y H-GUALI-05. Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar

que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de material biológico.

35.7.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.49), permitieron observar que no existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM (p>0.05). Según el diagrama de ordenación, se observa que se comparten diversas especies entre las estaciones en ambos monitoreos, evidenciándose en la región solapada. Por tanto, no existen diferencias en composición y estructura entre las estaciones evaluados en ambos monitoreos (**Figura 750**).

Figura 750. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

35.7.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

De acuerdo al análisis de correlación de Spearman (ρ), tres variables químicas del agua (Solidos suspendidos, Dureza y Coliformes totales) fueron excluidas del análisis por registrar una alta correlación estadística (ρ > 0.75 y p-valor < 0.05) (**Figura 751**). Es decir,

existe una alta multicolinealidad de las variables excluidas que durante el análisis multivariable podrían generar ruido y afectar los resultados.

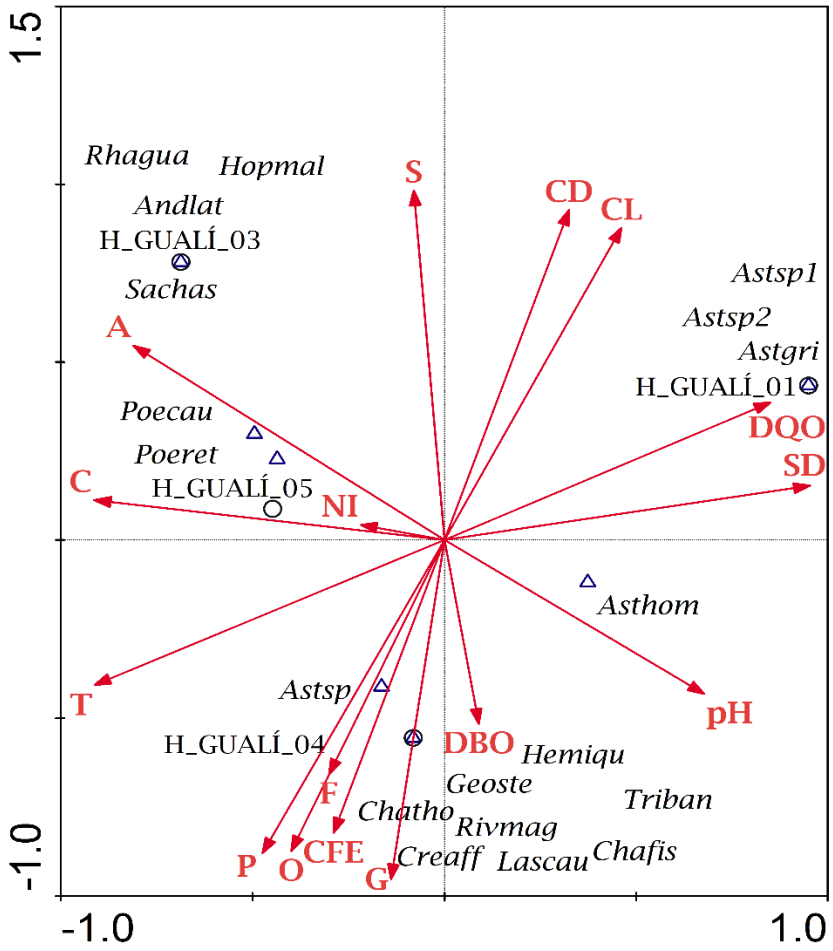
Figura 751. Correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas del agua registradas en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Gualí.

Temperatura (T), Ancho (A), Profundidad (P), Caudal (C), pH, Oxigeno disuelto (O), Demanda biológica de oxigeno (DBO), Demanda química de oxigeno (DQO), Conductividad eléctrica (CD), Dureza (D), Solidos disueltos (SD), Solidos en suspensión (SS), Grasas (G), Fosforo (F), Cloruros (CL), Nitratos (NI), Sulfatos (S), Coliformes totales (COL), Coliformes fecales (CFE). Fuente: Autores (2022).

En el análisis de correspondencia canónica (ACC) los dos primeros ejes explicaron el 87 % de la variación total de los datos. En el eje x, una variable química del agua, temperatura (p-valor<0.05), influyó de forma significativa en la composición y la estructura de la ictiofauna. Para el eje Y, ninguna variable influyo significativamente. Sin embargo, otras variables marginales (profundidad y ancho) a pesar de no influir significativamente (p-valor>0.05) (**Figura 752**) se asociaron negativamente a H-GUALI-01. La temperatura se asoció negativamente a las estaciones H-GUALI-01 y las especies *Astroblepus* sp.1, *Astroblepus* sp.2 y *Astroblepus grixalvii*.

Los bajos valores la temperatura y cuerpos de agua poco profundos y anchos (p.e, H-GUALI-01) se relaciona con la cantidad de luz y la cobertura vegetal riparia. Esta estación se encuentra a 1900 m s.n.m, es decir zonas altas. Zonas caracterizadas por sus condiciones hostiles debido a aguas rápidas, frías y baja heterogeneidad de sustratos (Poveda-Cuellar et al., 2021) que limitan la ocurrencia y abundancia de las especies (Mason et al., 2008; Mouillot et al., 2007).

Figura 752. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de peces registrados en la subzona hidrográfica del rio Gualí.



Fuente: Autores (2022).

Astroblepus spp. habitan preferentemente zonas altas caracterizada por aguas frías y alta oxigenación y mayor velocidad del agua. La presencia de *Astroblepus sp.1, Astroblepus sp.2 y Astroblepus grixalvii* puede asociarse a la tolerancia y adaptaciones fisiológicas y morfológicas que estas especies presentan. De Crop et al., (2013) y Poveda-Cuellar et al. (2021) comentan que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. mayor velocidad del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015).

Las zonas bajas, es decir, H-GUALI-04, H-GUALI-05 y H-GUALI-03 ubicadas entre 200 y 400 m s.n.m se caracterizaron por registrar mayor riqueza y la presencia de especies de Characidae (p.e, *Astyanax* sp., *C. affinis*, *S. hastata*), Poeciliidae (p.e., *P. caucana* y *P.*

reticulata), Ciclhidae (p.e., *G. steindachneri* y *A. latifrons*) (Figura 4.8.3.9). Estas zonas debido que proporcionan una mayor diversidad de hábitats, nichos, fuentes de alimentación y son cuerpos de agua mas cálidos, profundos y anchos y con menor velocidad y pendiente (Poveda-Cuellar et al., 2021). Lo cual favorece la diversidad de nichos y explica la presencia de estas especies.

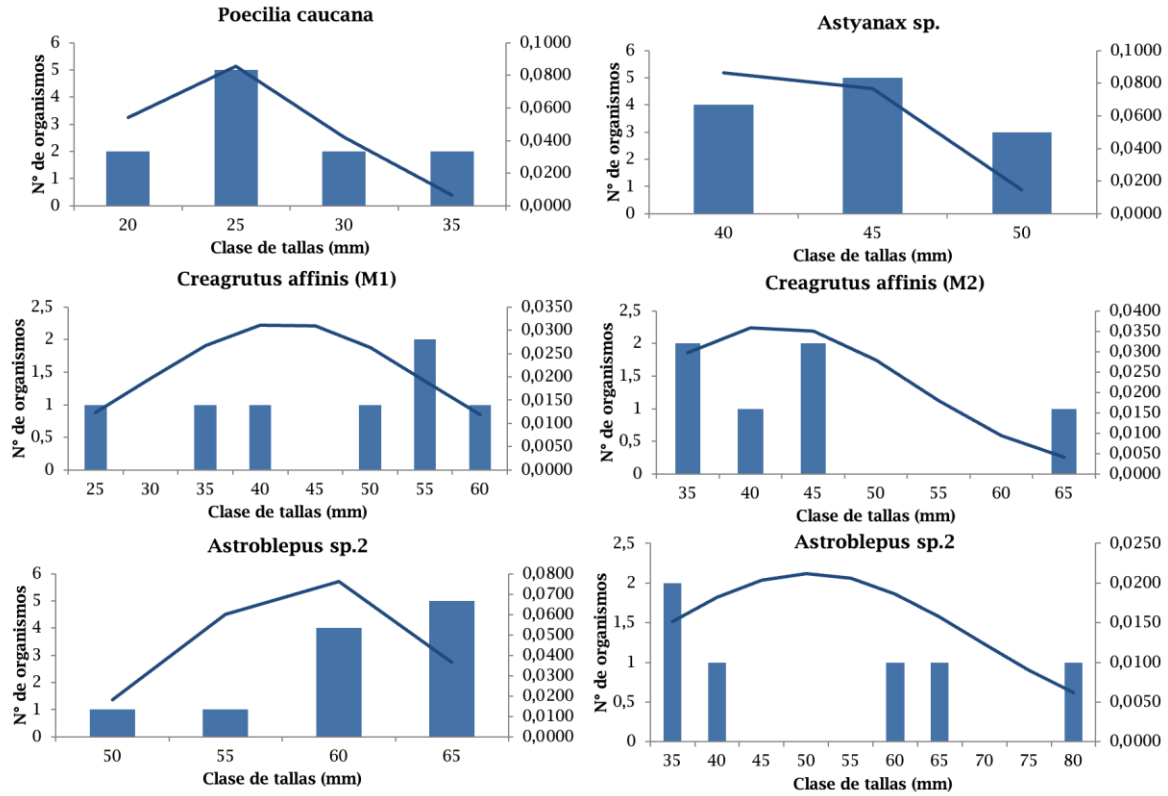
35.7.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso

Se analizó un total de 55 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Gualí, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). Para *Poecilia caucana* se obtuvo valores de longitud y peso promedio de 24,46 mm LE y 0,18 g, respectivamente. *Astyanax* sp. registró valores promedios de longitud (42,1 mm) LE y peso (0,79 g); *C. affinis* con valores promedios de longitud 42,3 mm (M1) y 41,9 mm (M2) y peso promedio de 1,0 g (M1) y 0,7 g (M2); *Astroblepus* sp.2 con valores promedios de longitud 58,7 mm (M1) y 50,4 mm (M2) y peso promedio de 2,0 g (M1) y 1,6 g (M2). Para el caso de *C. affinis* y *Astroblepu*s sp.2 se observa que no hubo variaciones en tamaño y peso promedio, pero si en clases de talla (**Figura 753**).

Es decir, durante el segundo monitoreo los individuos fueron más grandes (i.e., adultos), para el caso de *C. affinis* se registran clases de tallas (>60 mm) (M1) y pocas tallas pequeñas (<35 mm) (M2) y para *Astroblepus* sp.2 se observa la misma relación, durante el segundo monitoreo se registraron tallas (>75 mm). Por tanto, podemos registrar la presencia de juveniles y adultos. Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos. Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Gualí, algunos individuos de *C. affinis* y *Astroblepus* sp.2 se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Esto aporta información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros, permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso se las ha asociado a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies, tales como el diario y el lunar (Galzin, 1987; Shapiro, 1991). Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional de *C. affinis* y *Astroblepus* sp.2 debido a que la mayoría de las especies en el neotropico cumplen estas relaciones.

Figura 753. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condición permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *C. affinis* y *Astroblepus* sp.2 fueron las únicas especies que contaron con un numero mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal. Por tanto, observamos que existe una ligera disminución de K en el segundo monitoreo. Además, registramos un crecimiento alométrico negativo (b< 3) (Tabla 4.7.3.8.1), durante el primer monitoreo, es decir, la especie aumenta más en longitud que peso, pudiendo ser un indicador de la menor inversión en energía acumulada y muestra que la especie posiblemente prioriza su crecimiento por encima de su peso (Le Cren, 1951). Esto ocurre posiblemente a una transferencia energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así que, podemos inferir que la especie se encontraba en reproducción o proceso de reproducción durante este monitoreo.

Por otro lado, se registran crecimiento alométrico positivo (b>3), en el segundo monitoreo, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951) (**Tabla 612**).

Tabla 612. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Gualí.

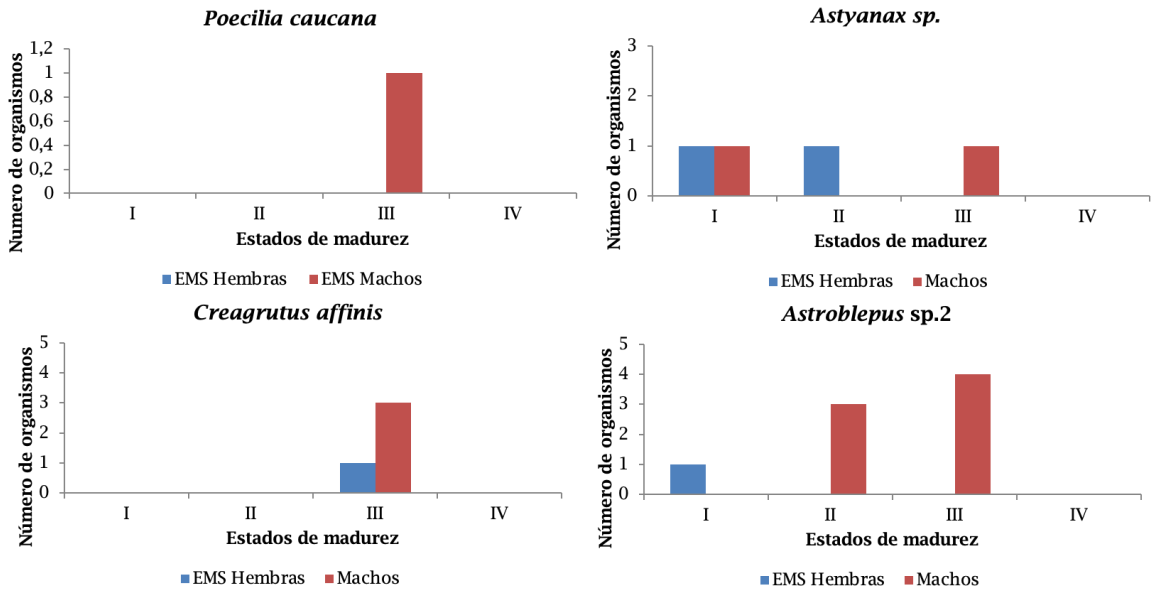
Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Poecilia caucana	M1	11	24,46	0,18	2,3669	8,9E-05
Astyanax sp.	M2	12	42,11	0,79	3,3284	3,0E-06
Creagrutus affinis	M1	7	42,34	1,03	2,6171	4,4E-05
Creagrutus affinis	M2	6	41,99	0,73	4,4336	3,3E-08
Astroblepus homodon	M1	13	47,57	1,64	2,8154	2,3E-05
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus	M1	11	58,72	2,03	2,8811	1,6E-05
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus	M2	6	50,44	1,67	3,35	2,3E-06

Fuente: Autores (2022).

35.7.3.9. Análisis trófico y reproductivo

En relación con el análisis reproductivo, fueron analizados 17 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Gualí. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo numero de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas fueron mayoritariamente machos maduros o en proceso de reproducción. En cuanto a las especies, en *Poecilia caucana* y *Creagrutus affinis* todos (100%) los individuos estuvieron en estado de madurez sexual EMS III, es decir, se encontraban en época reproductiva. Para *Astyanax* sp., un individuo (25 %) se individuos se encontraba en estado de madurez sexual EMS III y los restantes individuos se encontraban en estado de madurez sexual EMS II, o en proceso de desarrollo gonadal (**Figura 754**).

Figura 754. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Poecilia caucana, Astyanax sp., Creagrutus affinis y Astroblepus sp.2*. I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Gualí.

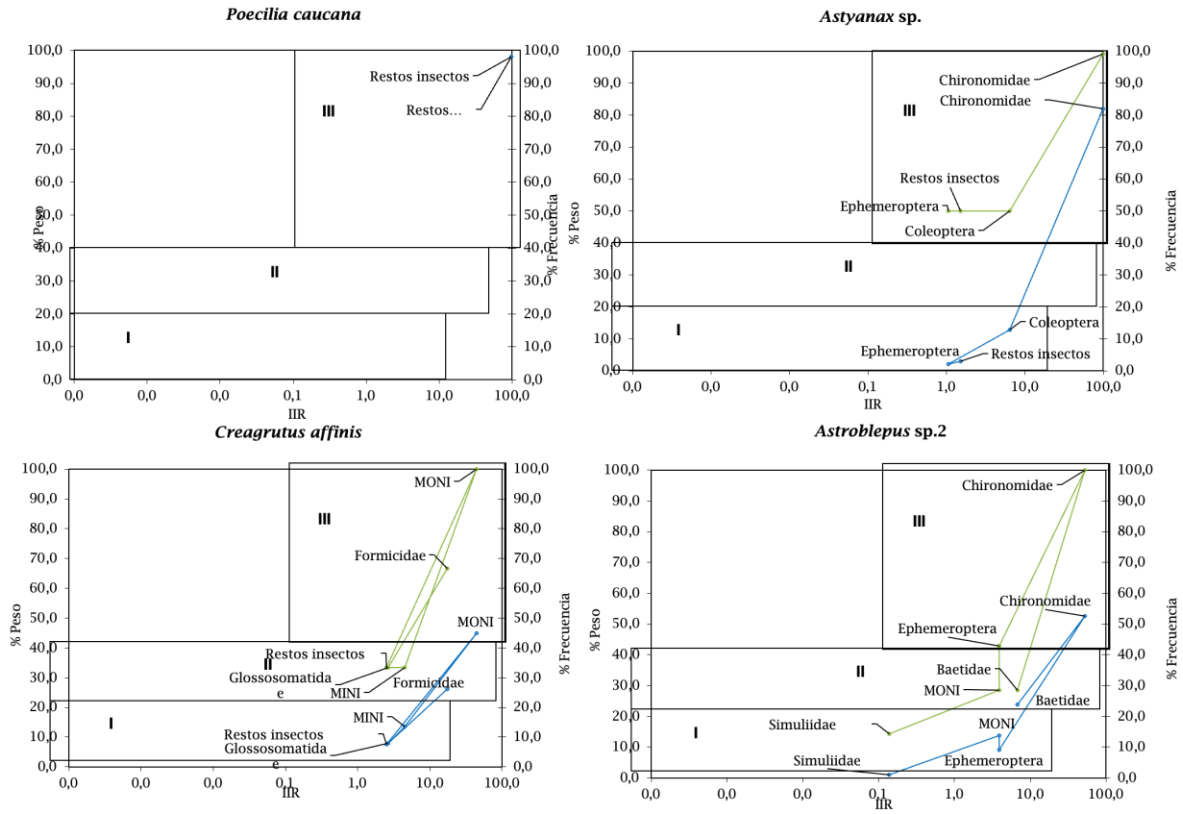


Fuente: Autores (2022).

Ecología trófica

Se analizaron 17 estómagos, de los cuales todos estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1. En total se encontraron 11 ítems alimenticios, de los cuales seis (Restos de insectos, materia orgánica no indentificada-MONI, Chironomidae, Coleoptera y Ephemeroptera) fueron considerados preferenciales y los restantes en correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y secundarios según (Yañez-Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013). Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como insectívoras (*Poecilia caucana*), Omnívoro-Invertívoro (*Creagrutus affinis*), Invertívoro-insectívoro (*Astyanax* sp.) e Invertívoro (*Astroblepus* sp.2). El gremio trofico Invertívoro son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos. Omnívoro-Invertívoro comprenden especies se alimentan de material particulado asociados al fondo e invertebrados acuáticos. Y, Invertívoro-insectívoro son organismo que se alimentan de larvas de invertebrados acuáticos, con cierta preferencia por organismo de la clase Insecta adultos (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 755**).

Figura 755. Espectro trófico de *Poecilia caucana, Astyanax sp., Creagrutus affinis y Astroblepus sp.2* de la subzona hidrográfica del río Gualí.



Fuente: Autores (2022).

35.7.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Gualí son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de los cuchos (*Chaetostoma* spp.) y ornamentales (pe., *Hoplias malabaricus*) (**Tabla 613**).

Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Gualí. Por otro lado, ninguna especie se encuentra en categoría de amenaza según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012), pero si en preocupación menor (UICN). Adicionalmente, se registra la especie introducida *Poecilia reticulata*.

Tabla 613. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Gualí.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	Categoria UICN/Libro rojo

Andinoacara latifrons	*			
Astroblepus grixalvii	*			LC
Astroblepus homodon	*			LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*			LC
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	*			LC
Astyanax sp.			Pesca	
Chaetostoma cf. *fischeri*			Pesca	LC
Chaetostoma thomsoni	*		Pesca | Ornamental	LC
Creagrutus affinis				LC
Geophagus steindachneri			Ornamental	
Gephyrocharax melanocheir	*			LC
Hemibrycon iqueima	*			
Hoplias malabaricus			Pesca | Ornamental	LC
Lasiancistrus caucanus				LC
Poecilia caucana			Ornamental	LC
Poecilia reticulata		*		
Rhamdia guatemalensis				LC
Rivulus magdalenae	*			LC
Saccoderma hastata	*			LC
Trichomycterus banneaui	*			LC

Fuente: Autores (2022).

La subzona hidrográfica del rio Gualí representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces. Asimismo, presenta una alta transformación de los ecosistemas naturales y la matriz vegetal (pe., fragmentación de habitats), registrándose mosaicos de cultivos, pastos, vegetación arbórea y vegetación de páramo (Reinoso-Flores et al., 2010).

Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importantee subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región. De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica mas actualizados en la subzona hidrográfica del rio Gualí. Estudios anteriores (Villa et al., 2010) sobre la cuenca del río Gualí sobre algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de 20 especies. Valores iguales al reportado en el presente estudio (20 spp). En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los ordenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 43 %), con nueve especies, seguido de Characiformes (AR= 38 %) con seis, Blenniiformes (AR=

19 %) con cinco, siendo un patrón encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, Poveda-Cuellar, 2020). De las estaciones evaluadas, se registraron 20 especies, la cuales representan el 100 % de las especies del río Gualí (Villa et al. 2003) y 17 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. A pesar de que registrar el mismo numero de especies con respecto a Villa et al. 2010 hubo variaciones en composición. Algunas especies se registraron de nuevo, pero otras se dejaron se observar, como es el caso de *Cordylancistrus* sp. Esto puede deberse múltiples razones, durante el presente estudio hubo un considerable aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático que arrastró material biológico; los hábitats fueron submuestreados o definitivamente la especies no se encuentra. Sin embargo, estas relaciones deberán evaluarse a la luz de muestreos temporales y espaciales.

Para el caso del aumento del caudal, esto afecta la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves & Lobón-Cerviá, 2011). Asimismo, esta ultima, explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura ictica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal. En cuanto a las especies, se registró Gupi (*Poecilia reticulata*), también registrada por Villa et al. 2010. A pesar de registrar un bajo numero de individuos es indicador de que la especies permanece en el tiempo y se ha establecido como población viable, es decir, consigue reproducirse. Esta especie se registró en las zonas bajas de la subzona hidrográfica del rio Gualí coexistiendo con especies nativas de la familia Characidae, Poeciilidae, Loricariidae entre otras.

Respecto a la distribución geográfica se observa que las especies de las familias Astroblepidae se registra mayoritariamente en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas. Por otro lado, las especies de las familias Characidae, Trichomcyteridae, Cichlidae y Loricariidae se ubican en zonas bajas. Es así que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad. En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diferentes autores reportan que la elevación influye directamente sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación se espera que haya unas pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018). Recurso clave para entender la biodiversidad y promover una adecuada gestión ambiental. Si bien, algunos lugares no registraron altos

valores de diversidad, están únicamente conformados por especies especialistas y fieles representantes de estos ambientes.

Finalmente, encontramos que los peces del rio Gualí se encuentran mayoritariamente en rápidos y sustratos rocosos como es el caso de *Astroblepus* spp, *Chaetostoma* spp. Estas especies, Por tanto, fueron frecuentemente capturadas y según Poveda-Cuellar et al. (2021) son especies con rasgos funcionales únicos, debido a que algunos rasgos funcionales asociados al uso del hábitat tales como preferencia a rápidos, sustratos de roca y grava, hábitos nectobentónicos, disco oral en forma de ventosa para adherirse a sustratos solidos, y pequeñas y pocas branquiespinas describen como estos peces usan el nicho espacial y ofrecen ventajas para sobrevivir en condiciones hostiles (p.e. baja temperatura del agua), no observadas en otras especies de peces y así ser representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015)

Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

35.8. Subzona hidrográfica del río Guarino.

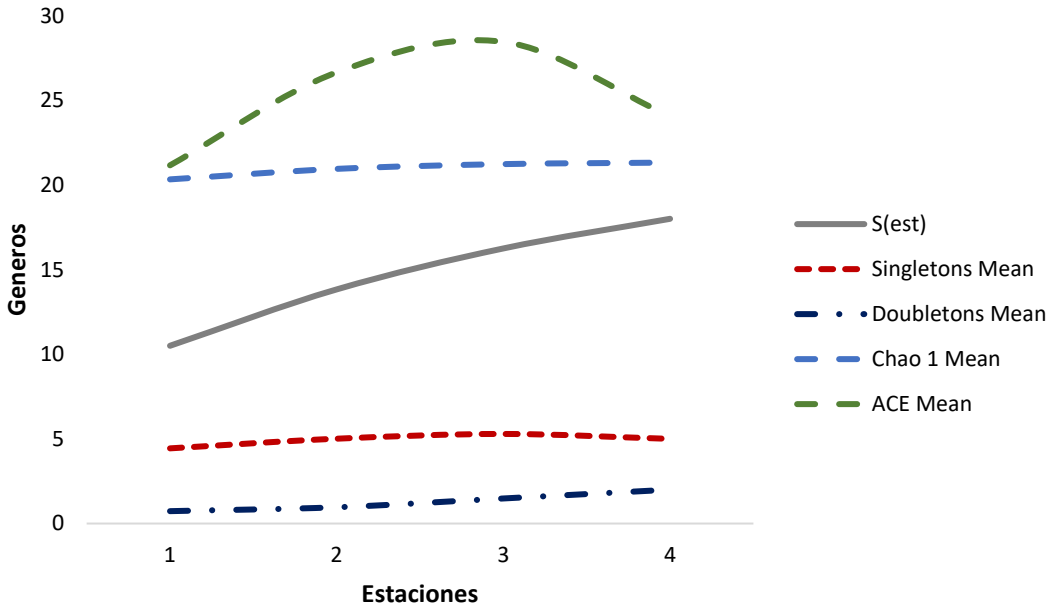
35.8.1. Perifiton

35.8.1.1. Representatividad

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 18 géneros observados (Sobs) en dos estaciones evaluadas, estas especies representan el 74.84% de las esperadas teniendo en cuenta el estimador de riqueza ACE y el 84.4% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 24 géneros (**Figura 756**).

Según los estimadores de riqueza se registró una riqueza de especies próxima a la esperada, lo que permite establecer que, para esta subzona hidrográfica, la eficiencia de muestreo fue regular y se debería incrementar el número de puntos de muestreo, con el fin de tener una representatividad mayor de la diversidad perifítica en esta área.

Figura 756. Curva de acumulación de la comunidad perifítica en la subzona hidrografica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

35.8.1.2. Composición

Se colectaron 360 individuos/mm^2 distribuidos en tres filos, cuatro clases, 12 órdenes, 16 familias y 18 géneros (**Tabla 614**). A nivel de clase, presentaron mayor abundancia Bacillariophyceae con 244 individuos/mm^2 (67.9%), seguida de la clase Cyanophyceae con 97 individuos/mm^2 (26.9%) y Chlorophyceae con 16 individuos/mm^2 (4.5%). Esta configuración de abundancia sigue el patrón de composición que se presenta en las cuencas andinas, en los cuales las especies algales dominantes pertenecen a la clase Bacillariophycea (Pinilla, 1998; Ramírez & Viña, 1998; Ramírez, 2000; Martínez & Donato, 2003).

La clase Cyanophyceae segunda más abundante hace parte de las comúnmente conocidas cianobacterias, organismos procariotas capaces de realizar fotosíntesis, considerados como oportunistas debido a que pueden aprovechar muy bien cambios en la disponibilidad de nutrientes para incrementar sus densidades rápidamente. Con relación a los órdenes Oscillatoriales, Bacillariales, Cymbellales y Naviculales representaron aproximadamente el 87.4% de los organismos registrados. (**Tabla 614**), los ocho ordenes restantes registraron densidades menores al 4%.

De los 18 taxones registrados, los más abundantes fueron: *Oscillatoria sp, Nitzchia sp, Navicula sp*, y *Gomphonema sp.* Estos representaron aproximadamente el 75% de los individuos registrados (**Tabla 614**, **Figura 757**). El primer taxon y más dominante perteneciente a la clase Cyanophyceae es común en aguas estancadas o de baja velocidad con temperaturas altas. En Colombia es muy frecuente en ecosistemas lenticos con algún

tipo de intervención antrópica (Roldan y Ramírez, 2008). La alta densidad de este taxon está asociada a procesos de eutrofización.

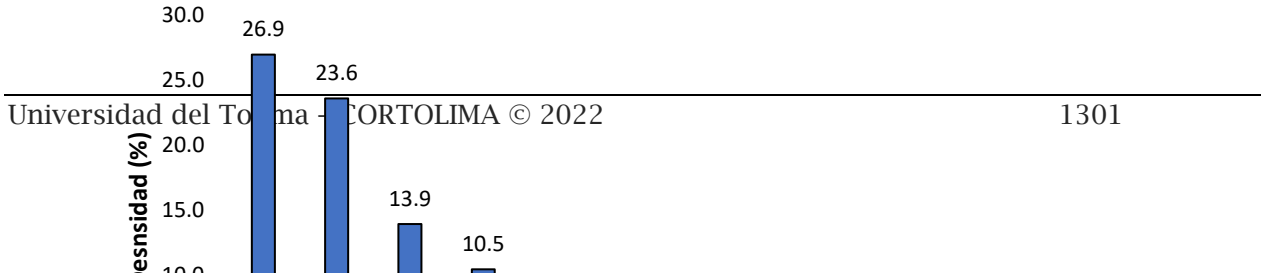
Tabla 614. Composición de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

Filo	Clase	Orden	Familia	Especie	Ind/mm2
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	*Hantzschia sp*	1
				Nitzchia sp	85
		Cymbellales	Cymbellaceae	*Cymbella sp*	26
			Gomphonemataceae	*Gomphonema sp*	38
			Rhoicospheniaceae	*Rhoicosphenia sp*	16
		Fragilariales	Fragilariaceae	*Fragilaria sp*	10
				Synedra sp	1
		Licmophorales	Ulnariaceae	*Hannaea sp*	1
		Naviculales	Amphipleuraceae	*Frustulia sp*	1
			Diploneidaceae	*Diploneis sp*	1
			Naviculaceae	*Navicula sp*	50
		Rhabdonematales	Tabellariaceae	*Tabellaria sp*	1
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	*Epithemia sp*	1
		Surirellales	Surirellaceae	*Surirella sp*	13
	Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	*Melosira sp*	2
Chlorophyta	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	*Stigeoclonium sp*	6
		Sphaeropleales	Selenastraceae	*Monoraphidium sp*	11
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	*Oscillatoria sp*	97

Fuente: Autores (2022).

Los tres taxones restantes pertenecientes a la clase Bacillariophyceae son frecuentes en ríos, riachuelos y pequeños arroyos. Debido a que pueden segregar estructuras mucilaginosas, las cuales les permiten adherirse a sustratos como rocas y troncos presentes en el cuerpo de agua. Adicionalmente, estos organismos poseen una nutrición heterotrófica facultativa y pueden sobrevivir en ambientes con baja luminosidad (Pinilla, 1998; Bustamante et al., 2009).

Figura 757. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

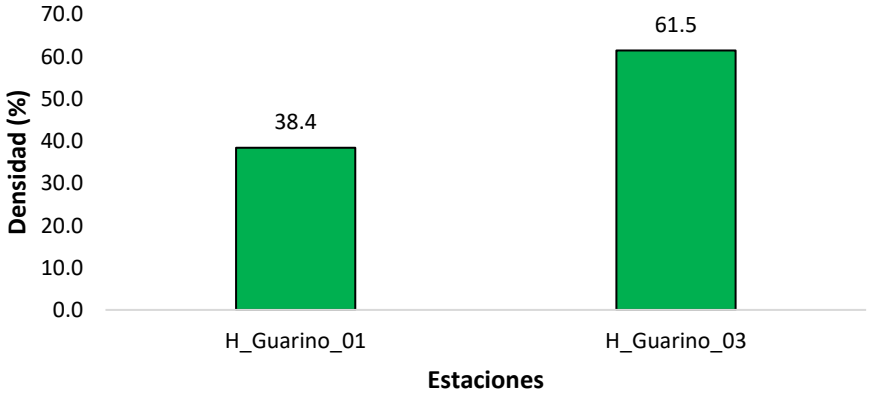


Fuente: Autores (2022).

35.8.1.3. Distribución espacial

Se evaluaron dos estaciones de muestreo, de las cuales el río Guarino-Honda (H_Guarino_03), registro la mayor densidad relativa con un 61.5%. (**Tabla 615**, **Figura 758**).

Figura 758. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 615. Distribución espacial de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

Especie	H_Guarino_01	H_Guarino_03
Cymbella sp	8	18
Diploneis sp	0	1

Epithemia sp	1	0
Fragilaria sp	1	8
Frustulia sp	1	0
Gomphonema sp	14	23
Hannaea sp	1	0
Hantzschia sp	1	0
Melosira sp	1	2
Monoraphidium sp	11	0
Navicula sp	15	35
Nitzchia sp	24	60
Oscillatoria sp	47	50
Rhoicosphenia sp	11	5
Stigeoclonium sp	0	6
Surirella sp	0	13
Synedra sp	1	1
Tabellaria sp	1	0

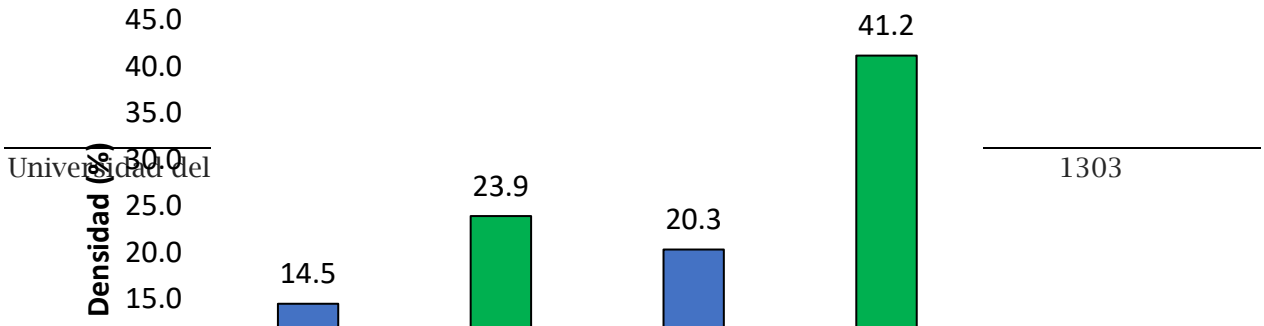
Fuente: Autores (2022).

35.8.1.4. Distribución temporal

De manera general, se observó que la mayor densidad de organismos perifíticos fue registrada durante el muestreo M2, correspondiente a la época de bajas precipitaciones, en la cual se observó un bajo caudal y menor velocidad de la corriente que facilitaron la colonización de organismos, incrementando la densidad de la comunidad perifítica.

A nivel temporal, se evidencio que la estación río Guarino-Honda (H_Guarino_03) registro el mayor número de individuos durante el muestreo M2, mientras que la estación río Guarino-Fresno (H_Guarino_01), registro mayor densidad durante el muestreo M1 (**Figura 759**, **Tabla 616**).

Figura 759. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 616. Distribución temporal de la comunidad perifítica registrada en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

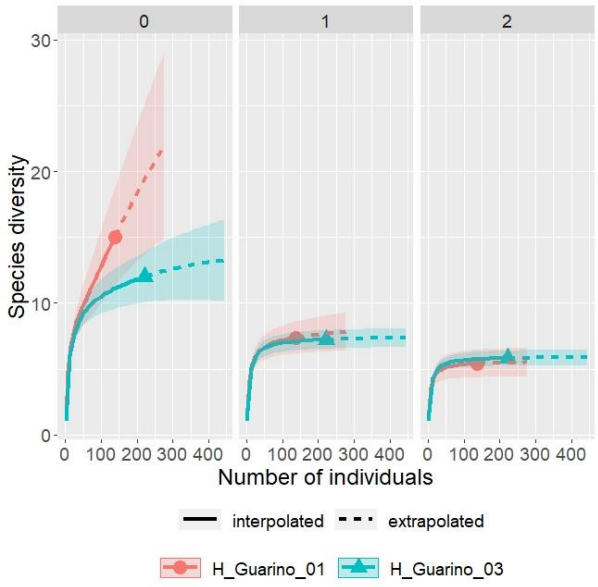
	H_Guarino_01		H_Guarino_03	
Especie	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**
Cymbella sp	6	3	11	6
Diploneis sp	0	0	1	0
Epithemia sp	1	0	0	0
Fragilaria sp	1	1	0	8
Frustulia sp	1	0	0	0
Gomphonema sp	3	11	2	21
Hannaea sp	0	1	0	0
Hantzschia sp	1	1	0	0
Melosira sp	1	0	2	0
Monoraphidium sp	11	0	0	0
Navicula sp	13	2	7	28
Nitzchia sp	4	20	6	55
Oscillatoria sp	1	46	39	11
Rhoicosphenia sp	10	1	4	1
Stigeoclonium sp	0	0	1	5
Surirella sp	0	0	0	13
Synedra sp	1	0	1	0
Tabellaria sp	1	0	0	0

Fuente: Autores (2022).

35.8.1.5. Diversidad

A partir de la extrapolación del número de especies teniendo en cuenta la riqueza especifica (0D), las especies típicas (1D) y especies dominantes (2D) no se observaron diferencias significativas en la diversidad de especies en las estaciones evaluadas en la subzona del río Guarino (**Figura 760**)

Figura 760. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



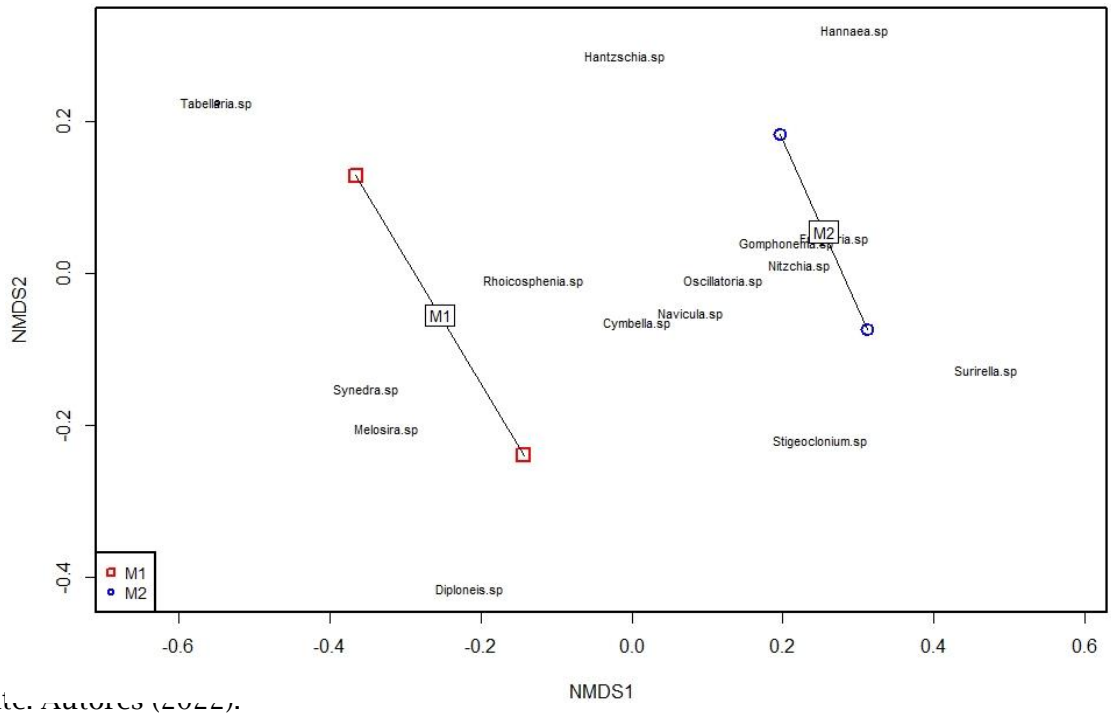
Fuente: Autores (2022).

35.8.1.6. Ensamblaje

Los resultados del escalamiento no métrico multidimensional (EMNM), permitieron evidenciar que no existen diferencias significativas en la composición de la comunidad perifítica en las épocas evaluadas en la subzona del río Guarino (ANOSIM, $p>0.05$) (**Figura 761**). Esto es indicativo que la composición y estructura de la comunidad es estable durante las épocas hidrológicas en esta subzona hidrográfica. Sin embargo, es importante resaltar la necesidad de más puntos de muestreo sobre esta subzona, para poder representar mejor los resultados de la composición y estructura de la comunidad.

Vale la pena resaltar la presencia y frecuencia de taxones como *Surirella sp, Hantzchia sp, Stigeoclonium y Hannaea sp* ya que fueron más comunes durante la época de bajas precipitaciones (M2). Para la época de altas precipitaciones (M1) fueron: *Tabellaria sp, Melosira sp y Syndra sp* (**Figura 761**).

Figura 761. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

35.8.1.7. Relación con variables fisicoquímicas

Debido al bajo número de estaciones no fue posible realizar el análisis de correspondencia canónica. Esto se debe a que no fue posible obtener organimos de la estacion H_Guarino_02, dado que al momento de las colectas el punto se encontraba crecido por las fuertes lluvias.

35.8.1.8. Índice diatómico genérico (IDG)

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica (**Tabla 617**, **Tabla 605**). Los niveles de contaminación registrados por el IDG se deben a que este índice tiene en cuenta la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación como *Amphora, Gomphonema, Melosira, Navicula, Synedra y Oscillatoria*, registrados en todas las estaciones evaluadas de la presente subzona hidrográfica. Lo cual podría estar relacionado con cambios en las condiciones físicas y químicas de los cuerpos de agua, así como a la intervención antrópica observada en la mayoría de las localidades evaluadas.

Tabla 617. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarino.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica

		Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
H_Guarino_01	2.6	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
H_Guarino_03	2.5			

35.8.2. Macroinvertebrados acuáticos

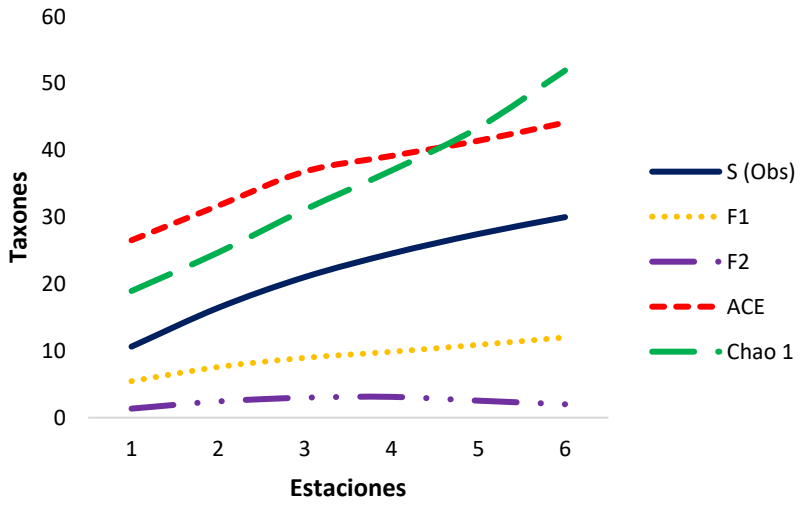
35.8.2.1. Representatividad.

Con respecto a los estimadores de riqueza se registró un número total de 30 géneros observados (Sobs) en las 6 estaciones evaluadas (tres en la subzona durante dos temporadas) para un total de 24 muestras que corresponden al 68% del valor esperado con el estimador de riqueza ACE y el 57.8% para Chao 1. Se estima un potencial máximo de 52 géneros (**Figura 762**).

Según los estimadores de riqueza se tuvo una representatividad media durante los muestreos. Esto se debe probablemente a que el rio Guarinó es de gran amplitud, con fuerte caudal, estas características limitan la detección de organismos, esto sumado a que solo se evaluaron puntos del rio principal y no sus tributarios, esto puede provocar que la fauna sea subestimada, no obstante, esta cuenca al ser compartida con el departamento de Caldas limita la cantidad de sitios que pueden ser monitoreados dentro del estudio.

A esto se le suma que gran parte del recorrido del rio transcurre en un cañón, esto amplifica el efecto de las condiciones físicas sobre los organismos y por último se pueden mencionar los efectos provocados por el trasvase y el impacto de las actividades agrícolas y urbanas suponen un conjunto importante de tensores que están afectando la fauna (Rodriguez et al., 2008).

Figura 762. Curva de acumulación de Macroinvertebrados acuáticos colectados en la subzona hidrografica del rio Guarinó.



Fuente: Autores (2022)

Composición

Se colectaron 319 organismos distribuidos en dos filos, tres clases, nueve órdenes, 20 familias y 30 géneros (**Tabla 618**).

Tabla 618. Composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Guarinó.

Filo	Clase	Orden	Familia	Genero	Abundancia
Annelida	Clitellata	Tubificida	Naididae	*Tubifex*	1
Arthropoda	Malacostraca	Decapoda	Palaemonidae	*Macrobrachium*	1
	Insecta	Coleoptera	Elmidae	*Cylloepus*	4
				Heterelmis	4
				Huleechius	1
				Microcylloepus	3
				Pharceonus	1
		Diptera	Ceratopogonidae	*Alluaudomyia*	1
				Atrichopogon	2
			Chironomidae	*Chironominae*	60
				Orthocladiinae	74
			Dixidae	*Dixella*	1
			Empididae	*Chelifera*	3
			Phoridae	*Phoridae sp*	1
			Simuliidae	*Simulium*	33
			Tipulidae	*Molophilus*	4
		Ephemeroptera	Baetidae	*Americabaetis*	3

		Baetodes	62
		Camelobaetidius	2
	Leptohyphidae	*Leptohyphes*	7
		Tricorythodes	1
	Leptophlebiidae	*Thraulodes*	1
Hemiptera	Naucoridae	*Limnocoris*	1
Megaloptera	Corydalidae	*Corydalus*	5
Plecoptera	Perlidae	*Anacroneuria*	1
Trichoptera	Glossosomatidae	*Culoptila*	14
	Hydrobiosidae	*Atopsyche*	3
	Hydropsychidae	*Leptonema*	8
		Smicridea	16
	Hydroptilidae	*Leucotrichia*	1

Fuente: Autores (2022).

A nivel de orden, los que tuvieron mayor abundancia fueron Diptera con 179 organismos (56.1%), Ephemeroptera con 76 organismos (23.8%) y Trichoptera con 42 organismos (13.2%). La composición y estructura encontrada para esta subzona sigue el patrón reportado para las cuencas del departamento del Tolima. Estos ordenes por lo general presentan el mayor número de generos con un amplio espectro de adaptaciones morfológicas y estructurales que les permiten compensar las condiciones físicas del ecosistema (Ramirez y Castro, 2008).

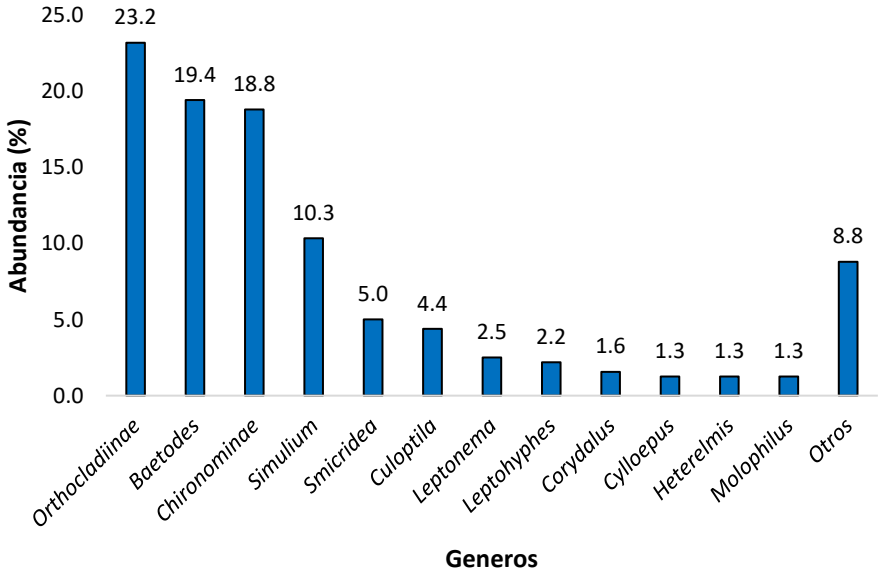
En cuanto a familias, las más abundantes fueron Chironomidae (42%), Baetidae (21%) y Simuliidae (10.3%) mientras que Ceratopogonidae, Empididae, Hydrobiosidae, Dixidae, Hydroptilidae, Leptophlebiidae, Naididae, Naucoridae, Palaemonidae, Perlidae y Phoridae (>1%).

A nivel de géneros, los más abundantes fueron Orthocladiinae (23.2%), seguido de *Baetodes* (19.4%) y Chironominae (18.8%). De los 30 géneros registrados 18 de ellos registran un valor inferior al 1%, estos son *Americabaetis, Atopsyche, Chelifera, Microcylloepus, Atrichopogon, Camelobaetidius, Alluaudomyia, Anacroneuria, Dixella, Huleechius, Leucotrichia, Limnocoris, Macrobrachium, Pharceonus,* Phoridae sp*, Thraulodes, Tricorythodes* y *Tubifex* (**Figura 763**).

La subzona hidrográfica del rio Guarinó es un compartida con el departamento de Caldas, este rio es de gran tamaño en todos sus tramos y en su zona media, está fuertemente encañonado, estas características implican una mayor fuerza de caudal, mayor profundidad y baja variabilidad espacial, bajo estas circunstancias la comunidad de macroinvertebrados no prospera eficientemente, ya que carece de las condiciones adecuadas para su supervivencia, sin embargo esto no implica que no existan organismos allí, bajo estas limitaciones, se observa un compendio de géneros bastante

tolerante capaces de soportar la presión de agua y explotar los recursos disponibles (Murillo et al, 2018).

Figura 763. Abundancia relativa de los géneros más abundantes colectados en la subzona hidrográfica del río Guarinó.



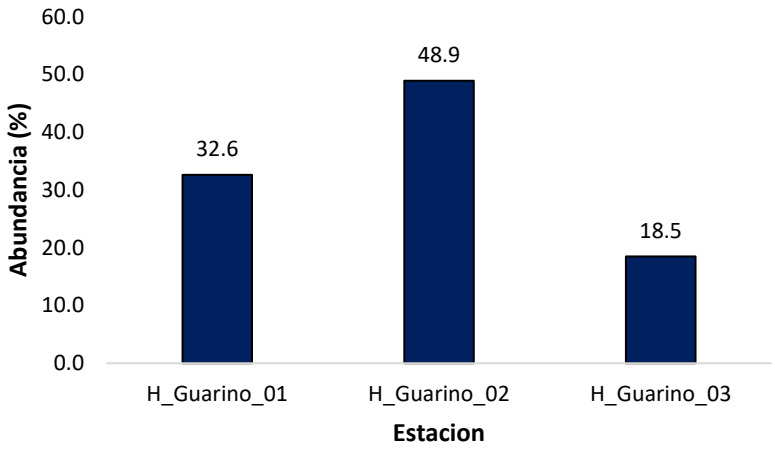
Fuente: Autores (2022).

35.8.2.2. Distribución espacial

Se establecieron tres estaciones de muestreo en el cauce principal del rio Guarinó, se registró la mayor abundancia en el rio Guarinó (H_Guarino_02) con 156 organismos (48.9%), seguido del rio Guarinó (H_Guarino_01) con 104 organismos (32.6%) y por último el rio Guarinó (H_Guarino_03) con 59 organismos (**Figura 764**).

El rio Guarinó es un ecosistema de gran porte, con un fuerte caudal y una geografía accidentada, estas condiciones no aportan ambientes idóneos para la colonización de macroinvertebrados, esta comunidad se localiza principalmente en zonas de rebalse donde el caudal es moderado y existe la posibilidad de que se anclen algunos recursos importantes como hojarasca.

Figura 764. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

En cuanto a los géneros registrados *Baetodes,* Chironominae, *Heterelmis, Molophilus,* Orthocladiinae, *Simulium* y *Smicridea*, se colectaron en todas las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Guarino, estos taxones son cosmopolitas y con amplia distribución, por lo tanto, es común detectarlos en los monitoreos (**Tabla 619**). Del material colectado los géneros *Alluaudomyia, Americabaetis, Anacroneuria, Camelobaetidius, Culoptila, Cylloepus, Dixella, Huleechius, Leptonema, Leucotrichia, Limnocoris, Macrobrachium, Pharceonus,* Phoridae sp, *Thraulodes, Tricorythodes* y *Tubifex* indicaron una distribución restringida a una sola estación.

Tabla 619. Distribución espacial de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Guarino.

Genero	H_Guarino_01	H_Guarino_02	H_Guarino_03
Alluaudomyia	*	*	1
Americabaetis	*	3	*
Anacroneuria	*	1	*
Atopsyche	1	2	*
Atrichopogon	1	1	*
Baetodes	35	25	2
Camelobaetidius	2	*	*
Chelifera	*	2	1
Chironominae	10	33	17
Corydalus	*	4	1
Culoptila	14	*	*
Cylloepus	4	*	*
Dixella	*	*	1
Heterelmis	1	1	2

Huleechius	*	1	*
Leptohyphes	3	4	*
Leptonema	*	8	*
Leucotrichia	1	*	*
Limnocoris	*	*	1
Macrobrachium	*	*	1
Microcylloepus	1	2	*
Molophilus	2	1	1
Orthocladiinae	17	49	8
Pharceonus	1	*	*
Phoridae sp	*	1	*
Simulium	5	6	22
Smicridea	5	10	1
Thraulodes	1	*	*
Tricorythodes	*	1	*
Tubifex	*	1	*

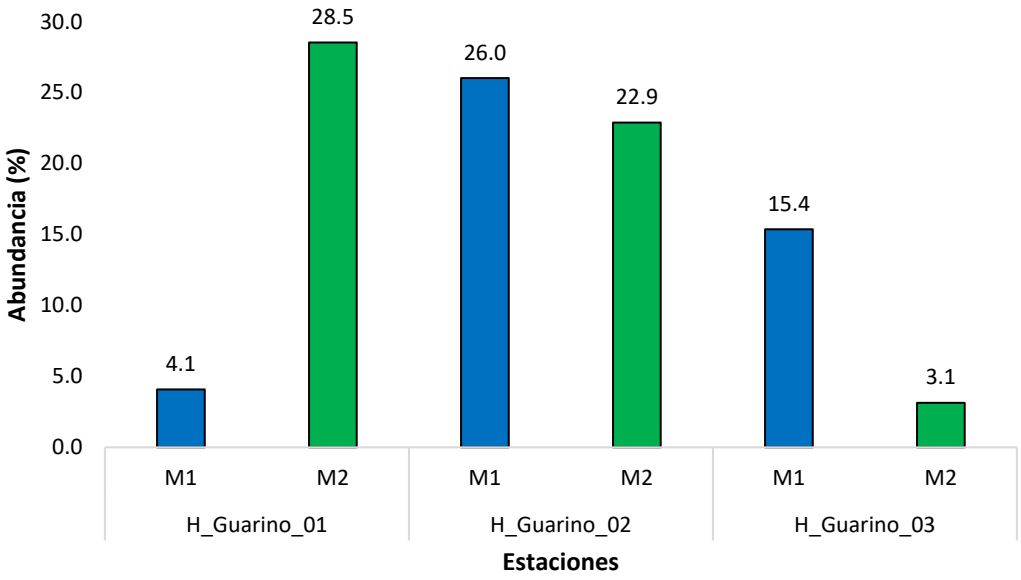
*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.8.2.3. Distribución temporal

Se efectuaron dos colectas tratando de abarcar periodos climáticos contrastantes, al momento de las dos colectas se presentaron fuertes lluvias que afectaron el caudal. En cuanto a la abundancia, el muestreo uno registro un total de 145 organismos que representan el 45.5%, mientras que en el segundo se obtuvo un 54.5% con 174 organismos. A nivel temporal se registró una mayor abundancia en el rio Guarinó (H_Guarino_02) en el muestreo uno con un 26%, mientras que para el muestreo dos el rio Guarinó (H_Guarino_01) fue el más abundante con 28.5% (**Figura 765**).

La tendencia de la abundancia no se encuentra claramente definida, sin embargo, no existen cambios significativos a nivel temporal entre las estaciones evaluadas, ya que, al momento de las colectas, las condiciones climáticas eran similares. La distribución espacio-temporal de los organismos fluctuó bastante, los géneros que se registró en todas las estaciones durante las dos temporadas, fueron Chironominae, Orthocladiinae y *Simulium,* siendo estos los más ampliamente distribuidos (**Tabla *620***).

Figura 765. Abundancia relativa por muestreos de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 620. Distribución temporal de los macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

Genero	H_Guarino_01		H_Guarino_02		H_Guarino_03	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
Alluaudomyia	*	*	*	*	1	*
Americabaetis	*	*	3	*	*	*
Anacroneuria	*	*	*	1	*	*
Atopsyche	*	1	2	*	*	*
Atrichopogon	*	1	1	*	*	*
Baetodes	*	35	16	9	1	1
Camelobaetidius	*	2	*	*	*	*
Chelifera	*	*	1	1	1	*
Chironominae	2	8	13	20	14	3
Corydalus	*	*	4	*	*	1
Culoptila	*	14	*	*	*	*
Cylloepus	4	*	*	*	*	*
Dixella	*	*	*	*	1	*
Heterelmis	1	*	1	*	1	1
Huleechius	*	*	1	*	*	*
Leptohyphes	1	2	4	*	*	*
Leptonema	*	*	1	7	*	*
Leucotrichia	*	1	*	*	*	*
Limnocoris	*	*	*	*	*	1

Macrobrachium	*	*	*	*	1	*
Microcylloepus	1	*	2	*	*	*
Molophilus	*	2	1	*	1	*
Orthocladiinae	2	15	24	25	7	1
Pharceonus	1	*	*	*	*	*
Phoridae sp	*	*	1	*	*	*
Simulium	1	4	5	1	21	1
Smicridea	*	5	2	8	*	1
Thraulodes	*	1	*	*	*	*
Tricorythodes	*	*	*	1	*	*
Tubifex	*	*	1	*	*	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

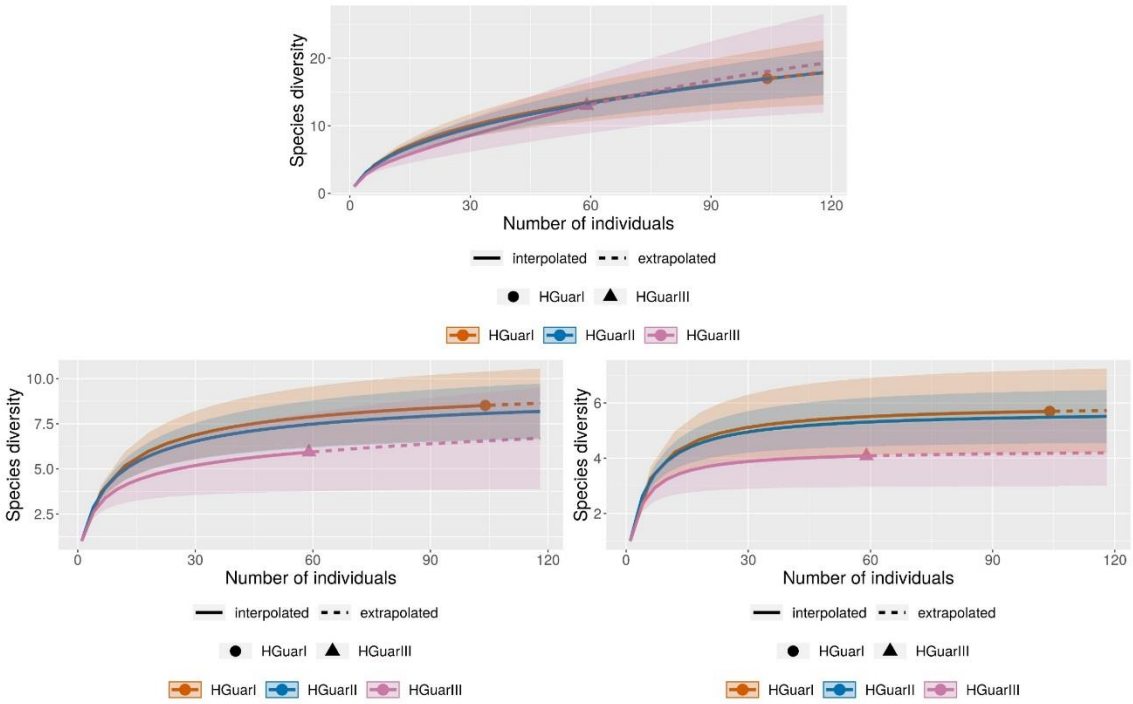
Estos organismos se encuentran dispersos en todos los ecosistemas y es bastante común encontrarlos. Los géneros *Ambrysus, Argia, Atanatolica, Atrichopogon, Chelifera, Chimarra, Culoptila, Dythemis, Girardia, Huleechius, Leptohyphes, Lutrochus, Martarega, Molophilus,* Tanypodinae, *Terpides, Tricorythodes* se registraron únicamente en el muestreo uno, mientras que *Alluaudomyia, Cylloepus, Dryops, Neoelmis, Progomphus* y *Thraulodes* se registraron para el muestreo dos.

35.8.2.4. Diversidad

Según lo observado en la extrapolación de número de géneros en las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Guarinó, se puede establecer que los valores de riqueza (0D) registrados oscilaron entre los 13 a 20 géneros, siendo las estaciones con mayor número de géneros el rio Guarinó (H_Guarino_02) con 20 géneros (**Figura 766**).

Dentro de las tres estaciones no se observan cambios significativos en la riqueza registrada para esta subzona, esto se ratifica por la superposición de los intervalos de confianza, además según la curva de rarefacción aún es posible encontrar más taxones en este ecosistema. Los valores relacionados a los taxones típicos o comunes (1D), indican que los valores en las tres estaciones son bastante homogéneos, presentando casi el mismo número de organismos abundantes. De acuerdo con el número de taxones dominantes (2D), se observa un comportamiento uniforme en las tres estaciones, teniendo en cuenta la baja riqueza encontrada, los valores de taxones dominantes se son bajos también.

Figura 766. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarino.



Fuente: Autores (2022).

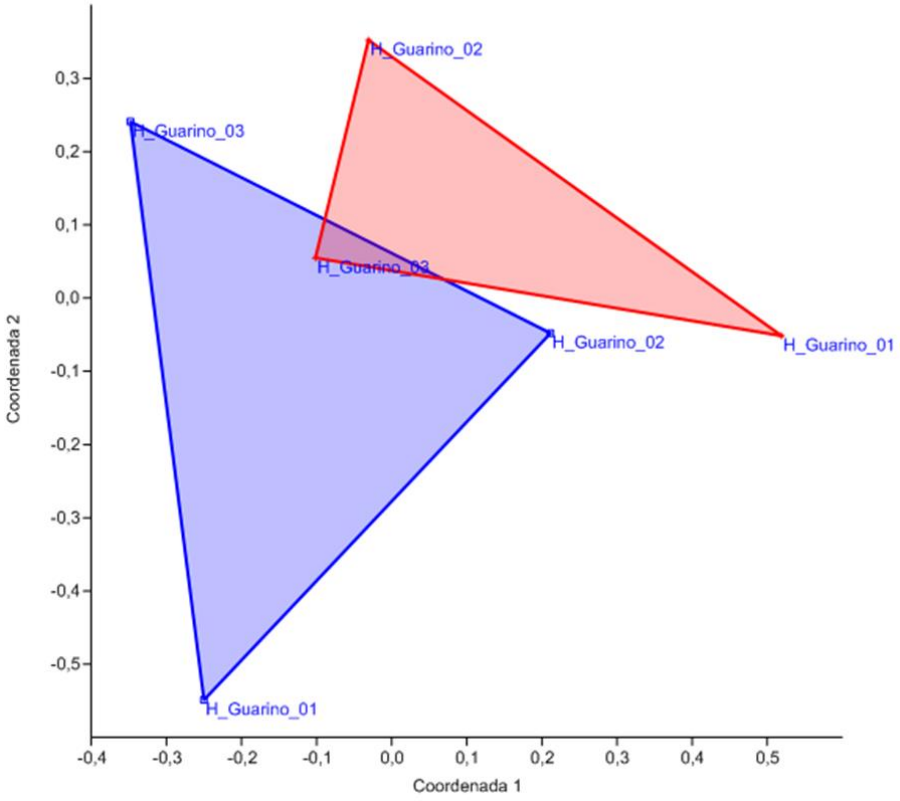
La diversidad en la subzona hidrográfica del rio Guarinó es la más baja registrada en comparación de cuencas de tamaños similares, estos resultados pueden estar siendo influenciados por las características y geomorfología de la cuenca, sumado a la intervención humana que se presenta a lo largo de la cuenca (Rodriguez y Castro, 2008).

Los tensores naturales y artificiales que presenta este rio dificultan el desarrollo de los invertebrados que se encuentran representados por animales tolerantes y con gran capacidad para resistir la fuerza del caudal (Roldan y Ramirez, 2008).

35.8.2.5. Ensamblaje

Los resultados del análisis NMDS teniendo en cuenta la presencia de los géneros (Jaccard) en cada una de las estaciones, muestra agrupamientos parcialmente definidos para los dos periodos de muestreo (M1: Azul y M2: Rojo) (Stress = 0,2) (**Figura 767**). Al realizar la prueba estadística ANOSIM entre los grupos analizados, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p= 0,5).

Figura 767. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

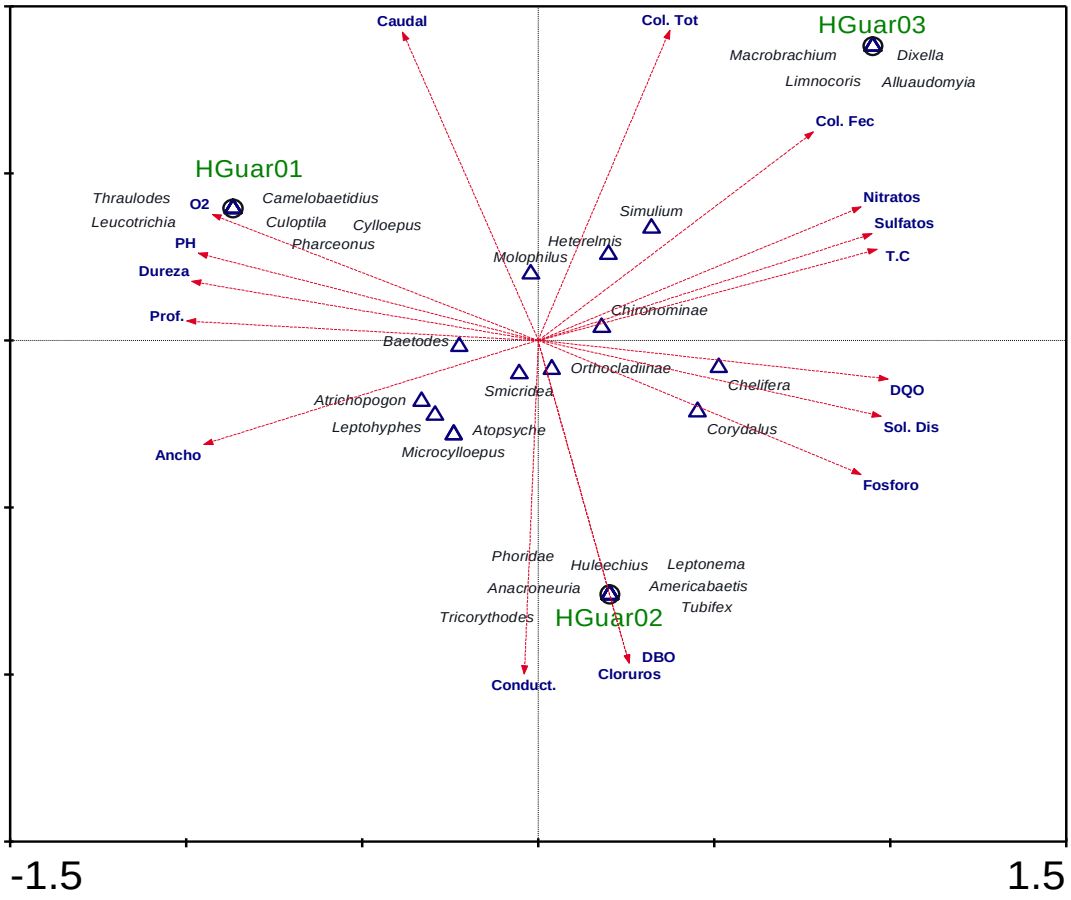
El diagrama NMDS indica una similaridad entre las estaciones de un 40%, en los polígonos se observa una independencia casi total siguiendo de acuerdo a las épocas de muestreo evaluadas, para el monitoreo se observa una gran separación entre las estaciones, lo cual indica poca similitud en cuanto a la presencia de géneros, contrario a lo que pasa en el polígono rojo del muestreo dos que indica una mayor similitud entre estaciones, lo cual es lógico teniendo en cuenta la conectividad entre estaciones. por otra parte, el factor lluvias en el segundo periodo de muestreo puede homogenizar la comunidad limitándola a organismos tolerantes y cosmopolitas.

Las distancias y similitudes se determinan por la presencia y ausencia de los taxones colectados, de este modo se encontraron como organismos exclusivos del muestreo uno a *Ambrysus, Argia, Atanatolica, Atrichopogon, Chelifera, Chimarra, Culoptila, Dythemis, Girardia, Huleechius, Leptohyphes, Lutrochus, Martarega, Molophilus,* Tanypodinae, *Terpides, Tricorythodes,* mientras que *Alluaudomyia, Cylloepus, Dryops, Neoelmis, Progomphus* y *Thraulodes* se presentaron para el muestreo dos.

35.8.2.6. Relación con variables fisicoquímicas

Según el ACC y la prueba de Monte Carlo, la temperatura del agua, el caudal y la profundidad presentan efectos condicionantes sobre la distribución de los organismos (**Figura 768**).

Figura 768. Análisis de Correspondencia Canónica para las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de macroinvertebrados acuáticos registrados en la subzona hidrográfica del rio Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Este rio al ser de gran tamaño, son las variables físicas las que determinan y condicionan la distribución de los organismos por encima de las modificaciones químicas producto de actividades antropogénica y otras alteraciones asociadas. En general se pueden observar algunas asociaciones entre los taxones registrados y las estaciones con las variables fisicoquímicas. La estación H_Guarino_01 se relaciona con los taxones *Thraulodes, Leucotrichia, Camelobaetidius, Culoptila, Cylloepus* y *Pharceonus*

que a su vez se encuentran influenciados por el oxígeno disuelto, el pH, la dureza y la profundidad.

La estación H_Guarino_02 presenta una asociación directa con las variables cloruros, DBO y conductividad eléctrica junto con los generos Phoridae, *Anacroneuria, Tricorythodes, Huleechius, Leptonema, Tubifex* y *Americabaetis*. Por último, la estación H_Guarino_03 se encuentra asociado con los generos *Macrobrachium, Limnocoris, Dixella* y *Alluaudomyia* junto con las variables de Coliformes totales y fecales.

35.8.2.7. Índice de calidad Ambiental BMWP/Col

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Guarinó exhiben un comportamiento variable en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo, apuntando hacia calidades de agua dudosas y poco conservadas (**Tabla 621**). La calidad de agua registrada para las estaciones de esta subzona vario en los dos muestreos, una posible respuesta a esto radica en la fuerza del caudal y la amplitud del rio, que limitan el desarrollo de los organismos, esto sumado a otros factores derivados de actividades humanas deriva en una baja calidad ecológica del agua por la baja proporción de macroinvertebrados acuáticos hallados en las estaciones del rio (Roldan, 2003).

Tabla 621. Índice de calidad ambiental (BMWP/Col) de las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Guarinó.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Guarinó	23	Critica	IV	69	Aceptable	II
Rio Guarinó	63	Aceptable	II	45	Dudosa	III
Rio Guarinó	48	Dudosa	III	43	Dudosa	III

Fuente: Autores (2022).

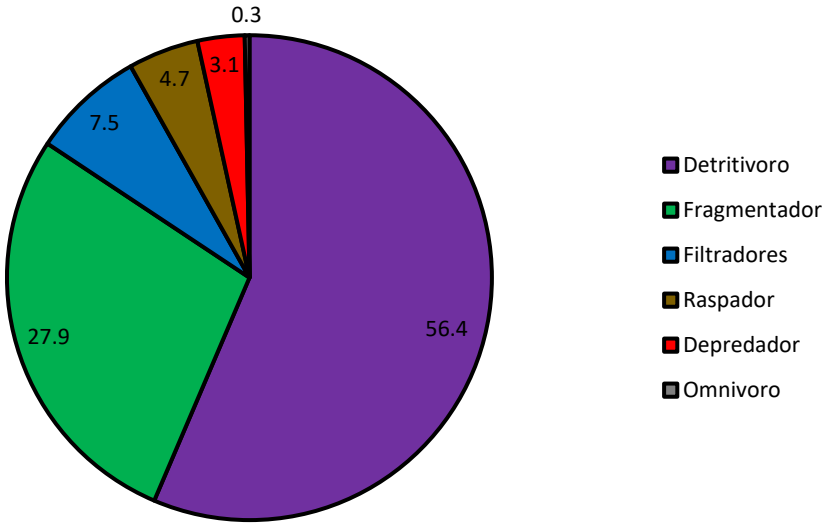
35.8.2.8. Gremios tróficos

Se identificaron seis gremios tróficos de los cuales el detritívoro fue el más abundante (56.4%), seguido de fragmentador (27.9%), filtrador (7.5%), raspador (4.7%), depredador (3.1%) y por último omnívoro (0.3%) (**Figura 769**).

Se registra una gran abundancia de organismos detritívoros, fragmentadores y filtradores, esto se debe a que este rio, transporta grandes cantidades de material orgánico, entre ellos hojarasca y otros elementos provenientes de las actividades domésticas, estos compuestos son la base alimenticia de estos organismos. Por otro lado, la baja abundancia de los depredadores y raspadores se relaciona con la fuerza del caudal, por una parte, los depredadores deben buscar activamente su presa, razón por la cual quedan expuestos a la fuerza del agua que puede arrastrarlos fácilmente, y para

el caso de los raspadores la fuerte corriente limita el crecimiento perifitica, el cual es su fuente de alimento (Sevilla y Villar, 2008).

Figura 769. Distribución de los gremios tróficos de macroinvertebrados acuáticos de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

35.8.3. Ictiofauna

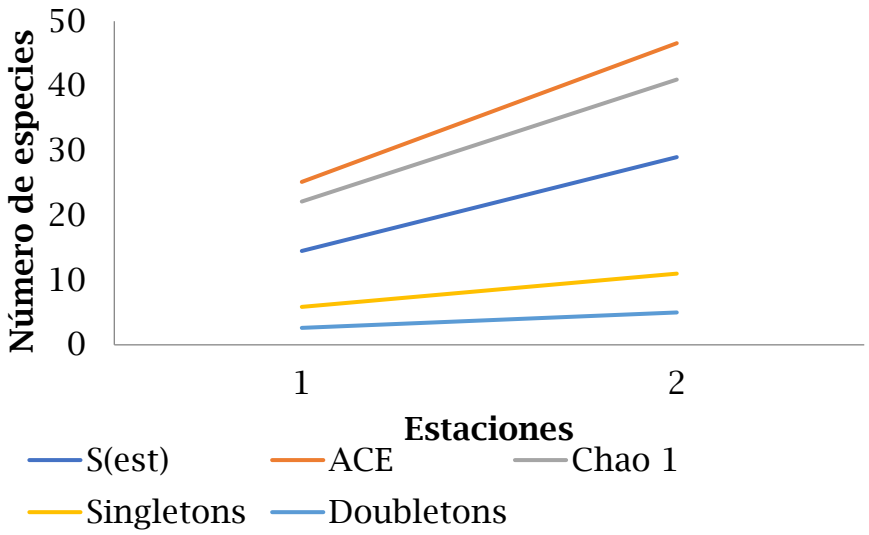
35.8.3.1. Representatividad

De las tres estaciones establecidas para la subzona hidrográfica del rio Guarinó, en una (H-GUARINO-02) no se colectaron peces. La curva de acumulación de especies muestras un incremento sucesivo a lo largo del muestreo realizado en la subzona hidrográfica del rio Guarinó. Sin embargo, el porcentaje de especies capturadas (S) fue relativamente alto. Según los estimadores de riqueza ACE y Chao 1, se evidencia que el número de especies observada (S = 29) corresponde al 63 % y 72 % de las especies esperadas, es decir, 46 y 40 especies, respectivamente. Esto puede explicarse porque los estimadores de riqueza son sensibles en comunidades donde hay muchas especies con baja frecuencia de captura, es decir abundancia.

Según Colwell (2005) las especies de una muestra con menos de 10 individuos pueden considerarse como raras. Tal es el caso de 11 especies que fueron colectadas una sola vez (singletons) (*Creagrutus guanes*, *Creagrutus magdalenae*, *Hyphessobrycon natagaima, Cyphocharax magdalenae, Parodon magdalenensis*, *Apteronotus milesi*,

Dupouyichthys sapito, *Rhamdia guatemalensis*, *Chaetostoma* cf. *fischer*i, *Hypostomus hondae* y *Trichomycterus tetuanensis*) o que se capturaron dos individuos (doubletons) (*Hemibrycon iqueima*, *Microgenys minuta*, *Roeboides dayi*, *Cetopsorhamdia molinae* y *Chaetostoma brevilabiatum*). Por lo tanto, es posible utilizar los datos registrados para hacer comparaciones de diversidad y riqueza entre los cuerpos de agua, debido a que el porcentaje de representatividad de las especies de peces que se encuentran en el área de estudio fue relativamente alto (**Figura 770**). Sin embargo, no se alcanzó la asíntota y se recomienda aumentar el esfuerzo de muestreo.

Figura 770. Curva de acumulación de especies ícticas en las estaciones de la subzona hidrográfica rio Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

35.8.3.2. Composición

En la subzona hidrográfica del rio Guarinó se colectaron 103 individuos (**Tabla 622**), pertenecientes a 29 especies, distribuidas en cuatro ordenes y 13 familias. El orden Siluriformes (AR= 54 %), con 13 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 35 %) con 12, Blenniiformes (AR= 5.8 %) y Gymnotiformes (AR= 3.9 %) con dos especies cada una.

Tabla 622. Composición íctica registrada en la subzona hidrográfica del rio Guarinó

ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	TOTAL
Blenniiformes	Cichlidae	*Andinoacara latifrons*	3
	Poeciliidae	*Poecilia caucana*	3
Characiformes	Characidae	*Argopleura magdalenensis*	6

		Astyanax sp.	11
		Creagrutus guanes	1
		Creagrutus magdalenae	1
		Gephyrocharax melanocheir	3
		Hemibrycon iqueima	2
		Hyphessobrycon natagaima	1
		Microgenys minuta	2
		Roeboides dayi	2
	Curimatidae	*Cyphocharax magdalenae*	1
	Parodontidae	*Parodon magdalenensis*	1
	Prochilodontidae	*Prochilodus magdalenae*	6
Gymnotiformes	Apteronotidae	*Apteronotus milesi*	1
	Sternopygidae	*Sternopygus aequilabiatus*	3
Siluriformes	Aspredinidae	*Dupouyichthys sapito*	1
	Astroblepidae	*Astroblepus homodon*	10
		Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	14
		Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	7
	Heptapteridae	*Cetopsorhamdia molinae*	2
		Pimelodella floridablancaensis	7
		Rhamdia guatemalensis	1
	Loricariidae	*Chaetostoma brevilabiatum*	2
		Chaetostoma cf. *fischeri*	1
		Hypostomus hondae	1
		Lasiancistrus caucanus	3
	Trichomycteridae	*Trichomycterus banneaui*	6
		Trichomycterus tetuanensis	1

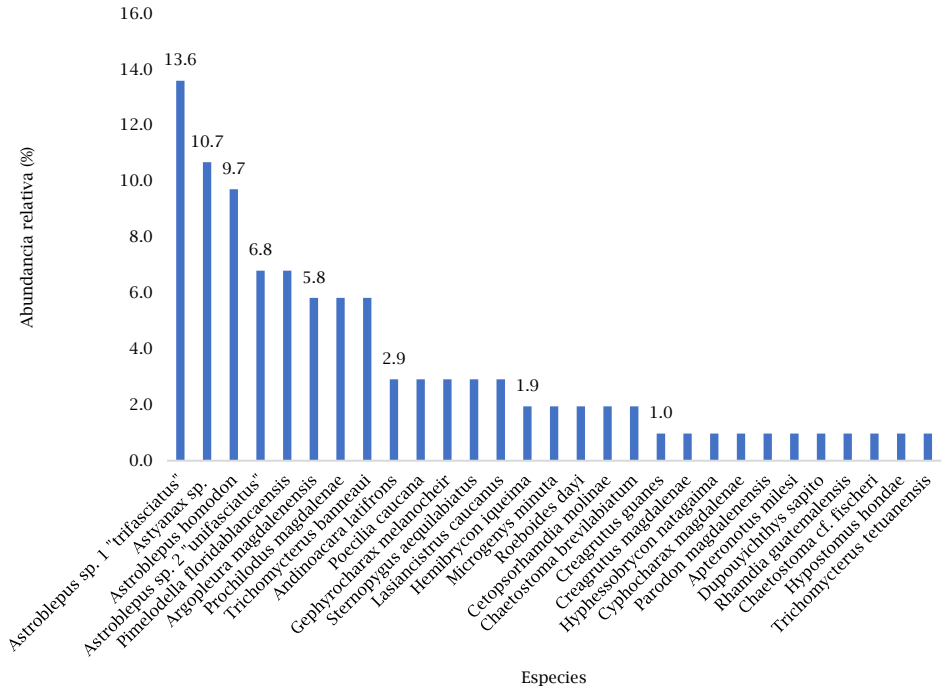
Fuente: Autores (2022).

Con relación al número de especies por familia, Characidae (AR= 28 %) registró la mayor riqueza con nueve, seguida de Loricariidae (AR= 6.8 %) con cuatro, Heptapteridae (AR= 9.7 %) y Astroblepidae (AR= 30 %) con tres cada una y Trichomycteridae (AR= 6.8 %) con una. Las restantes familias registraron una especie cada una (**Figura 771**).

Con respecto a la abundancia de las especies, *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus" fue la más abundante con 14 individuos (AR= 13 %), seguida de Astyanax sp. con 11 individuos (AR= 10 %), *Astroblepus homodon* con diez (AR= 9.7 %), *Astroblepus* sp. 2 "unifasciatus" y *Pimelodella floridablancaensis* con siete individuos cada una (AR= 6.8 %) y, *Argopleura magdalenensis*, *Prochilodus magdalenae* y *Trichomycterus banneaui* con seis individuos

cada una (AR= 5.8 %). Las demás especies registran abundancias relativas inferiores al 5 %.

Figura 771. Abundancia relativa de las especies colectadas en la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

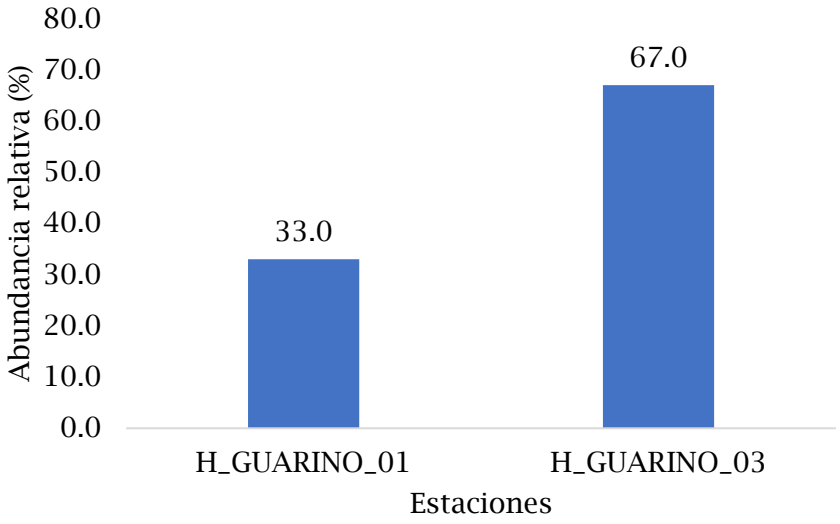
35.8.3.3. Distribución espacial

Con respecto a la distribución de las abundancias entre las estaciones evaluados, es posible observar que H-GUARINO-03 (Río Guarinó-219) registró la mayor abundancia con AR= 67 %, seguido de H-GUARINO-01 (Río Guarinó-1219) con AR= 33 % (**Tabla 623**).

Esta variación en la abundancia es debido al gradiente altitudinal, la estación H-GUARINO-03 se encuentra a 219 m s.n.m, en cambio H-GUARINO-01 esta a 1219 m s.n.m. Es decir, se encuentran en biomas distintos (p.e., Bosque seco tropical y Bosque húmedo premontano).

Por ejemplo, en zonas altas, las condiciones del ecosistema son mas hostiles como baja temperatura, mayor velocidad el agua y pendiente estructurando los ensamblajes de peces y reduciendo la diversidad funcional (Buisson et al., 200; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021) (**Figura 772**).

Figura 772. Abundancia relativa por estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Tabla 623. Distribución espacial de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

ESPECIE	H_GUARINO_01	H_GUARINO_03
Andinoacara latifrons	*	3
Poecilia caucana	*	3
Argopleura magdalenensis	*	6
Astyanax sp.	*	11
Creagrutus guanes	*	1
Creagrutus magdalenae	*	1
Gephyrocharax melanocheir	*	3
Hemibrycon iqueima	2	*
Hyphessobrycon natagaima	*	1
Microgenys minuta	*	2
Roeboides dayi	*	2
Cyphocharax magdalenae	*	1
Parodon magdalenensis	*	1
Prochilodus magdalenae	*	6
Apteronotus milesi	*	1
Sternopygus aequilabiatus	*	3
Dupouyichthys sapito	*	1
Astroblepus homodon	10	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	14	*

Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	7	*
Cetopsorhamdia molinae	*	2
Pimelodella floridablancaensis	*	7
Rhamdia guatemalensis	*	1
Chaetostoma brevilabiatum	*	2
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	1
Hypostomus hondae	*	1
Lasiancistrus caucanus	*	3
Trichomycterus banneaui	*	6
Trichomycterus tetuanensis	1	*

*Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

35.8.3.4. Distribución temporal

Por otro lado, en cuanto a la distribución temporal de la abundancia de la ictiofauna entre los dos muestreos evaluados, es posible observar siete especies (*Pimelodella floridablancaensis*, *Sternopygus aequilabiatus*, *Poecilia caucana*, *Microgenys minuta*, *Hemibrycon iqueima*, *Astroblepus homodon* y *Astroblepus* sp. 1 "trifasciatus") (**Tabla 624**) comunes, es decir que se registraron en ambos monitoreos.

Esto indica que los sustratos o nichos tróficos que explotan en esta cuenca se mantiene estables y permiten el mantenimiento de las poblaciones. Tal es el caso *Astroblepus* spp. que son dependiente se sustratos rocosos, aguas con velocidades altas y macroinvertebrados como fuente de alimento (**Tabla 624**).

Tabla 624. Distribución temporal de los peces registrados en la subzona hidrográfica del río *Guarinó.*

	M1		M2	
ESPECIE	H_GUARINO_01	H_GUARINO_03	H_GUARINO_01	H_GUARINO_03
Andinoacara latifrons	*	*	*	3
Poecilia caucana	*	1	*	2
Argopleura magdalenensis	*	6	*	*
Astyanax sp.	*	*	*	11
Creagrutus guanes	*	1	*	*
Creagrutus magdalenae	*	*	*	1
Gephyrocharax melanocheir	*	*	*	3
Hemibrycon iqueima	1	*	1	*
Hyphessobrycon natagaima	*	1	*	*
Microgenys minuta	*	1	*	1
Roeboides dayi	*	*	*	2
Cyphocharax magdalenae	*	*	*	1

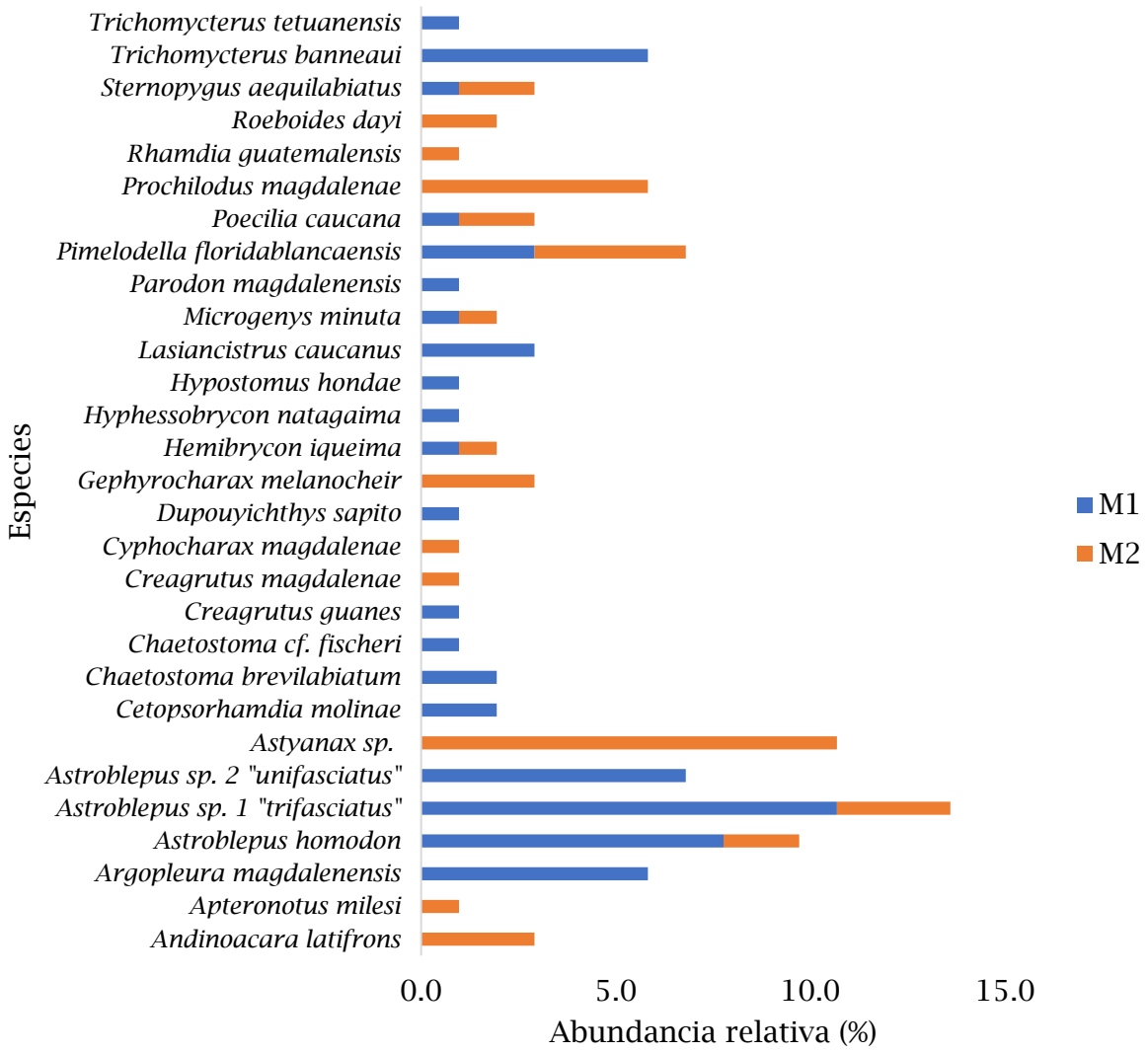
Parodon magdalenensis	*	1	*	*
Prochilodus magdalenae	*	*	*	6
Apteronotus milesi	*	*	*	1
Sternopygus aequilabiatus	*	1	*	2
Dupouyichthys sapito	*	*	*	*
Astroblepus homodon	8	*	2	*
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	11	*	3	*
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	7	*	*	*
Cetopsorhamdia molinae	*	2	*	*
Pimelodella floridablancaensis	*	3	*	4
Rhamdia guatemalensis	*	*	*	1
Chaetostoma brevilabiatum	*	2	*	*
Chaetostoma cf. *fischeri*	*	1	*	*
Hypostomus hondae	*	1	*	*
Lasiancistrus caucanus	*	3	*	*
Trichomycterus banneaui	*	6	*	*
Trichomycterus tetuanensis	1	*	*	*

Ausencia de organismos. Fuente: Autores (2022).

En cambio, las restantes especies, que son mayoría, son exclusivas de un monitoreo, es decir, fueron registradas en alguno de los muestreos, pero no en ambos. Esto siguiere que las comunidades son dinámicas y constantemente ocurren procesos de colonización o migración. Permitiendo así un flujo constante de energía en el ecosistema.

Sin embargo, es preciso mencionar que las condiciones climáticas como la lluvia, temperatura, pendiente, cambios en los biomas entre otras, son variables ambientales que explican estos procesos (Córdova-Tapia et al., 2018; Poveda-Cuellar et al., 2018, 2021). Para el caso de las estaciones, podemos observar que aquellas que registran mayor número de individuos, H_GUARINO_03 está caracterizada por especies comunes, es decir no existen especies dominantes y su abundancia están distribuidas equitativamente.

Figura 773. Distribución temporal de la abundancia relativa de las especies en la subzona hidrográfica del río Guarinó.

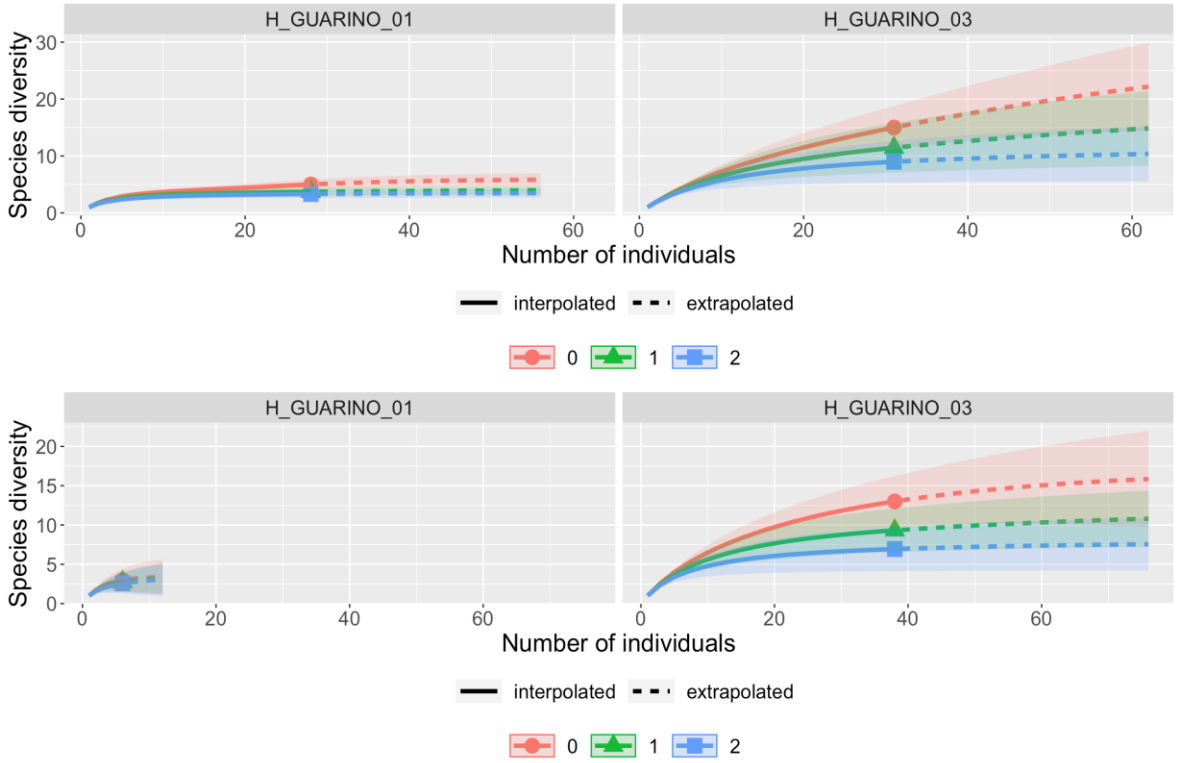


Fuente: Autores (2022).

35.8.3.5. Diversidad

En cuanto a la diversidad de especies usando los números de Hill, se observó que la riqueza de especies (q=0) fue mayor en la estación H-GUARINO-03 en ambos monitoreos con valores de riqueza de 15 especies. En cambio, H-GUARINO-01 registró valores inferiores a cinco (**Figura 774**). Con respecto al número de especies comunes (q=1) y número de especies dominantes (q=2), se observó que H-GUARINO-03 fue la mas diversa de las demás estaciones evaluadas sobre la subzona hidrográfica río Guarinó, y H-GUARINO-01 fue la menos diversa.

Figura 774. Diversidad Alfa en las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

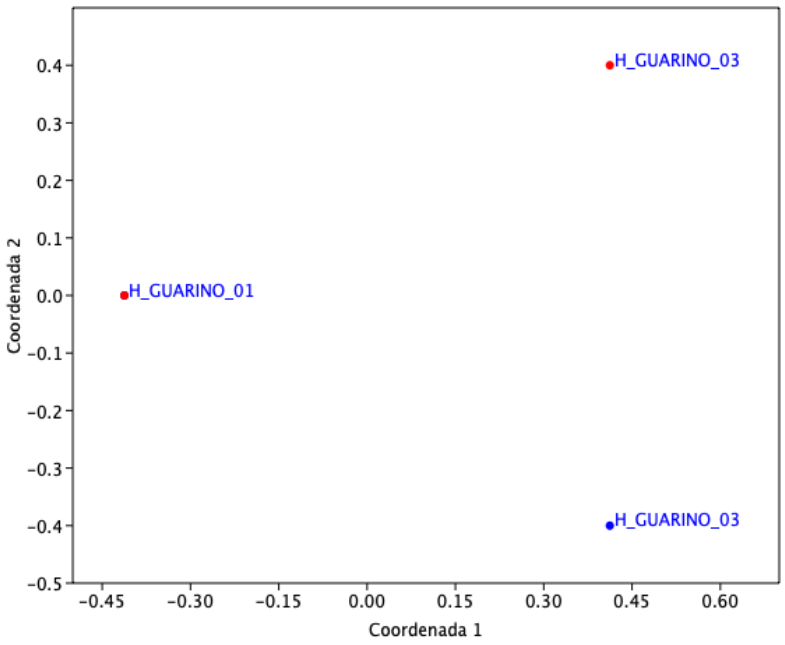
En esta estación más diversa, las especies comunes tienen mayor equidad (i.e. similar distribución de abundancia) que las demás especies comunes de otras estaciones. Por ejemplo, con la medida de diversidad de orden 1 se encontró que la estación H-GUARINO-03 para el primer monitoreo tienen una diversidad promedio igual a la que tendría una comunidad teórica de 11,45 y H-GUARINO-01 de 3,70 especies donde todas ellas tuvieran la misma abundancia. Al expresar estas equivalencias, se concluye que H-GUARINO-03 es 3,09 veces más diversa en especies de peces que H-GUARINO-01. Lo anterior se soporta por medio de los intervalos de confianza y las curvas de rarefacción e interpolación, dado que no se observaron intervalos solapados entre las estaciones en estas relaciones, y por tanto se establecen diferencias significativas. Finalmente, es importante resaltar que hubo un valor bajo de diversidad entre las estaciones del segundo monitoreo. Esto puede explicarse parcialmente debido a los aumentos del caudal de los ríos, lo que conlleva a una deriva o arrastre de materia biológico.

35.8.3.6. Ensamblaje

De acuerdo con los resultados obtenidos por el NMDs (Non-metric multidimensional scaling) (stress = 0.39), permitieron observar que no existen diferencias en las abundancias de los ensamblajes de especies entre los hábitats evaluados según los resultados de la prueba de ANOSIM ($p>0.05$). A pesar del resultado de ANOSIM, se

observa una variacion en composición de H-GUARINO-03 entre los dos monitoreos. Es decir, algunas especies fueron exclusivas de un monitoreo, por ejemplo, durante el primero especies como *Parodon magdalenensis* y *Trichomcyterus banneaui* fueron uncialmente registradas durante esta campaña, pero posteriormente no colectada en la segunda. Es indica, que algunas especies colonizan diferentes hábitats a lo largo del espacio y tiempo (**Figura 775**).

Figura 775. Diagrama de ordenación NMDS para las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

35.8.3.7. Relación con variables fisicoquímicas

La matriz de correlación de Spearman (ρ) y el análisis de correspondencia canónica (ACC) no se pudieron realizar debido al bajo numero de estaciones evaluadas en la subzona hidrográfica del río Guarinó. Operacionalmente se requieren mínimo tres estaciones para ejecutar los análisis. Esto se debe a que no se pudieron colextar organismos en H_Guarino_02, dado que se encontraba crecido el caudal al momento d ela colecta lo que impidió la obtención de organismos.

35.8.3.8. Distribución de frecuencias de tallas y relación longitud-peso

Se analizó un total de 41 individuos durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Guarinó, con una distribución de tallas cada 5 mm de longitud estándar (LE). Para *Astyanax* sp., se obtuvo valores de longitud y peso promedio de

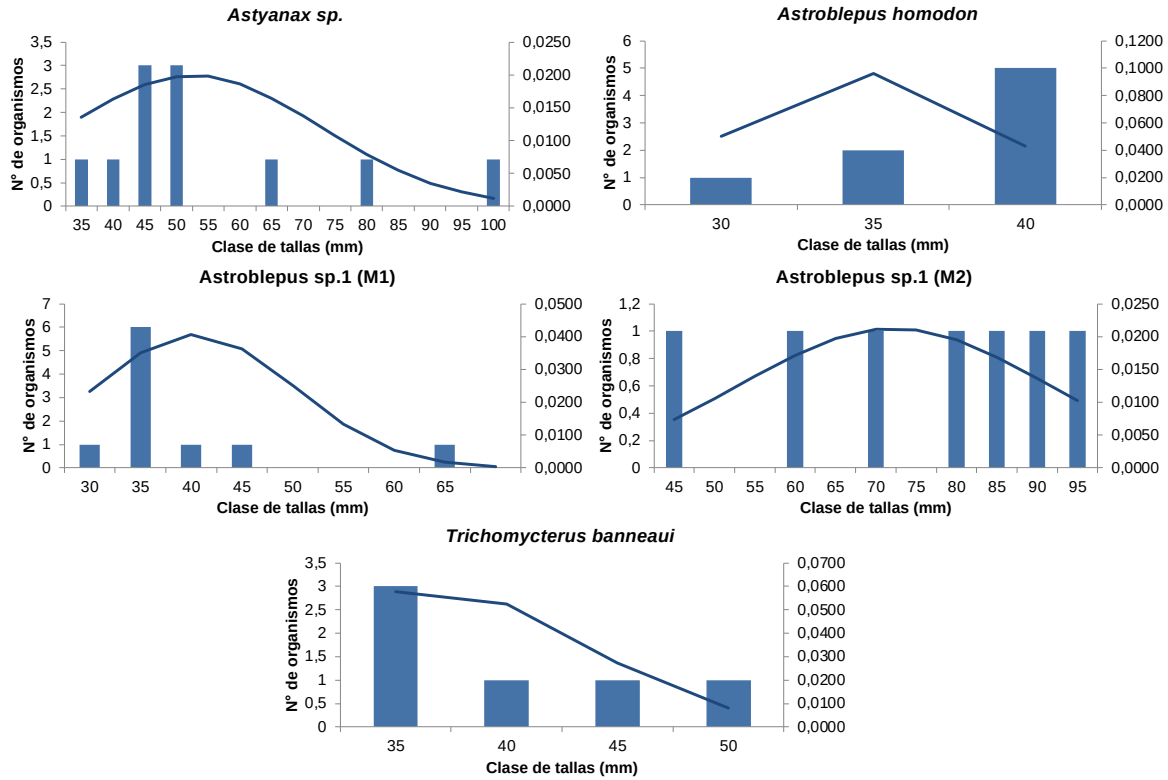
52,67 mm LE y 2,06 g, respectivamente. *Astroblepus homodon* registró valores promedios de longitud (34,7 mm) LE y peso (0,41 g*); Astroblepus* sp.1 con 35,3 mm LE y peso 0,55 g; *Astroblepus* sp.2 con 72,27 mm LE y peso 4,84 g y *Trichomcyterus banneaui* con 36,63 mm LE y peso 0,27 g.

Analizando la relación entre las especies, es posible observar variaciones en tamaño y peso, además de clases de talla. Para el caso de *Astroblepus* sp.1, se observa que no hubo variaciones en tamaño y peso promedio, pero si en clases de talla (**Figura 776**). Es decir, durante el segundo monitoreo los individuos fueron mas grandes (i.e., adultos) (>65 mm) respecto al primero (<65 mm) que se caracterizó por registrar algunos juveniles. Esta información se corroboró examinando las gónadas de algunos individuos.

Lo anterior siguiere que durante los monitoreos realizados en la subzona hidrográfica del rio Guarinó, algunos individuos de *Astroblepus* sp.1 se reclutaron. Es decir, se adicionaron nuevos individuos a la población local, permitiendo el mantenimiento de la especie. Aportando información valiosa para entender las dinámicas poblacionales. Es posible que algunos atributos del hábitat tales como refugios, alimentos, competencia entre otros permitan explicar el reclutamiento de la especie. Aunque se requiere de estudios más amplios en términos de número de hábitats para establecer estas relaciones.

En teoría, algunos autores han propuesto que las oscilaciones en los patrones de asentamiento y reclutamiento de peces pueden tener un fuerte componente estocástico o aleatorio (Doherty, 2002), mientras que otros plantean que podrían deberse a cambios en ciertas conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales o estacionales (Ault y Johnson, 1998), e incluso asociados a ciclos de mayor influencia en la conducta social de las especies (p.e, diario y lunar) (Shapiro, 1991). Posiblemente, conductas reproductivas relacionadas con ciclos anuales expliquen estos procesos de dinámica poblacional de *Astroblepus* sp.1 debido a que la mayoría de las especies en el neotrópico están estrechamente relacionadas con estas relaciones.

Figura 776. Distribución de frecuencias de talla de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

Relación longitud-peso

En cuanto a la relación longitud y peso dado específicamente por los valores de coeficiente de crecimiento b y factor de condición K. En especial el factor de condición permite evaluar cualitativamente el grado de bienestar de las especies, reflejando las condiciones alimenticias recientes. Para que este factor guarde sentido es necesario comparar su variación en el tiempo. Para el caso de *Astroblepus* sp.1, fue la única especie que contó con un numero mínimo de individuos para realizar las comparaciones a nivel temporal.

Por tanto, observamos que existe una ligera disminución de K en el segundo monitoreo. Además, registramos un crecimiento alométrico positivo (b< 3), en ambos monitoreos, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951). Esto ocurre posiblemente a una transferencia energía que se almacena en las vísceras para el desarrollo gonadal y posterior reproducción. Es así que, podemos inferir que la especie se encontraba en reproducción o proceso de reproducción durante ambos monitoreos.

Por otro lado, las especies *Astyanax* sp., *Astroblepus homodon* y *T. banneaui* registran crecimiento alométrico positivo en el primer monitoreo, indicando un estado robusto del pez, lo cual podría obedecer a oferta alimenticia abundante o almacenamiento de energía previo a la época de reproducción (Le Cren, 1951) (**Tabla 625**).

Tabla 625. Relación longitud-peso de las especies dominantes de la subzona hidrográfica del río Guarinó.

Especie	Monitoreos	N	Promedio L (mm)	Promedio P (g)	Coeficiente de crecimiento b	Factor de condición K
Astyanax sp.	M2	11	52,67	2,06	3,09	6,8E-06
Astroblepus homodon	M1	8	34,74	0,41	4,34	8,0E-08
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	M1	7	72,26	4,84	3,02	7,7E-06
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	M2	11	35,33	0,55	3,02	1,0E+00
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	M1	7	72,27	4,84	3,08	7,7E-06
Trichomycterus banneaui	M1	6	36,63	0,27	4,42	2,7E-08

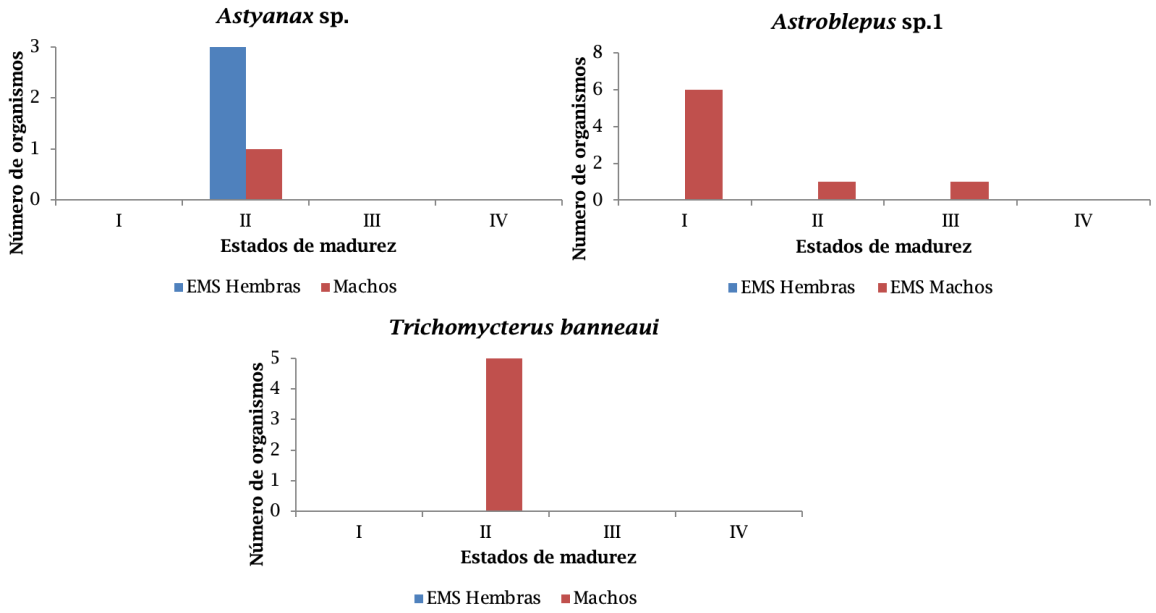
Fuente: Autores (2022).

35.8.3.9. Análisis trófico y reproductivo

En relación al análisis reproductivo, fueron analizados 18 individuos durante el monitoreo realizado en subzona hidrográfica del río Guarinó. Dado que no fue posible realizar análisis temporales debido al bajo numero de individuos colectados se realiza un análisis compilado. En términos generales, las especies analizadas fueron mayoritariamente machos maduros o en proceso de reproducción.

En cuanto a las especies, en *Astyanax* sp. y *Trichomcyterus banneaui* todos los individuos se encontraban en estado de madurez sexual EMS II, o en proceso de desarrollo gonadal. En cambio, *Astroblepus* sp.1 registro un individuo en estado de madurez sexual EMS III es decir, se encontraban en época reproductiva (**Figura 777**).

Figura 777. Frecuencia relativa de los EMS para hembras y machos de *Astyanax sp., Astroblepus sp.1 y Trichomycterus banneaui.* I=inmaduro, II=madurando, III= maduro, IV en reposo de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

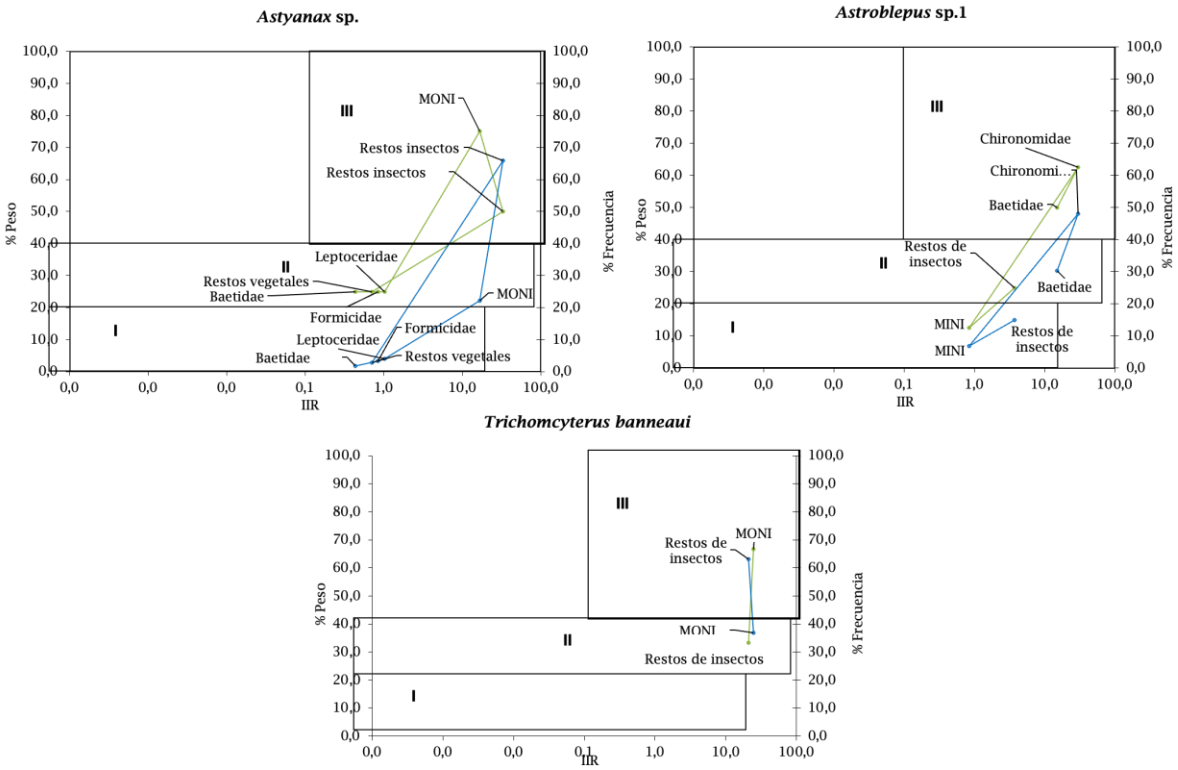
Ecología trófica

Se analizaron 18 estómagos, de los cuales la mayoría estuvieron llenos. El coeficiente de repleción fue de 1 para las especies Astyanax sp. y Astroblepus sp.1. En cuanto a Trichomycterus banneaui fue de 0.6.

En total se encontraron seis ítems alimenticios, de los cuales cuatro (Restos de insectos, materia orgánica no indentificada-MONI, Chironomidae y Baetidae) fueron considerados preferenciales y los restantes correspondientes a grupos ocasionales o circunstanciales y secundarios según (Yañez- Aranciba 1985, Lopez-Delgado, 2013). Es así, que basados en esta información y los resultados de López-Delgado, 2013 podemos clasificar a las especies evaluadas como Invertívoro-insectívoro (Astyanax sp. y T. banneaui) e Invertívoro (Astroblepus sp.1).

El gremio trófico Invertívoro son organismos que se alimentan preferencialmente de larvas de insectos acuáticos. Y, Invertívoro-insectívoro son organismo que se alimentan de larvas de invertebrados acuáticos, con cierta preferencia por organismo de la clase Insecta adultos (Lopez-Delgado, 2013) (**Figura 778**).

Figura 778. Espectro trófico de *Astyanax sp., Astroblepus sp.1 y Trichomycterus banneaui* de la subzona hidrográfica del río Guarinó.



Fuente: Autores (2022).

35.8.3.10. Especies de interés, categorías de amenaza y consideraciones

En términos generales, se observa que la mayoría de la ictiofauna de la subzona hidrográfica del río Guarinó son endémicas de Colombia. Asimismo, algunas especies son usadas para pesca, como es el caso de los cuchos (*Hypsotomus* sp., *Chaetostoma* spp., *Prochilodus magdalenae*) y ornamentales (*Poecilia caucana*). Asimismo, *se registra doss especie (Prochilodus magdalenae y Cyphocharax* magdalenae) migratoria y de importancia comercial. También, son detritívora y consideradas importantes dentro de la red trófica, debido a que re-incorpora la energía contenida en el fango y detrito característicos de ambientes lenticos (Benedito-Cecilio et al., 2000; Bowen, 1984). Asimismo, registra migraciones medianas, longitudinales y locales, por tanto, su ciclo reproductivo y de materia sucede parcialmente sobre la cuenca del rio Guarinó.

Esto representa una alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas del río Guarinó. Por otro lado, dos especies (*Hypostomus hondae* y *Microgenys minuta*) se encuentran catalogadas en Casi Amenazada y una especie (*Prochilodus magdalenae*) en Vulnerable según Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia (Mojica et al. 2012) (**Tabla 626**).

La subzona hidrográfica del rio Guarinó representan un importante afluente de la parte alta del río Magdalena en el departamento del Tolima en especial por su extensión, tributarios y heterogeneidad ambiental (p.e., tipos de hábitats) que permiten el establecimiento de poblaciones de diversas especies de peces, como es el caso de aquellas que realizan migraciones como *Prochilodus magdalenae* y *Cyphocharax magdalenae*. Sin embargo, se han registrado impactos ambientales que generan disturbios como alta remoción de sustratos para canalizar y contrucción de vías (Reinoso-Flores et al., 2008). Asimismo, se observó extracción de material como arena y grava sobre el río Guarinó, lo cual representan cambios en los sustratos y disturbios sobre la fauna acuática.

Tabla 626. Especies de interés y categoría de amenaza de la subzona hidrográfica del río Guarinó.

Especies	Endemica	Introducida	Migraciones	Usos	Categoria UICN/Libro rojo
Andinoacara latifrons	*				
Apteronotus milesi	*				DD
Argopleura magdalenensis	*				LC
Astroblepus homodon	*				LC
Astroblepus sp. 1 "trifasciatus"	*				LC
Astroblepus sp. 2 "unifasciatus"	*				LC
Astyanax sp.				Pesca	
Cetopsorhamdia molinae	*				
Chaetostoma brevilabiatum	*				
Chaetostoma cf. *fischeri*				Pesca	LC
Chaetostoma cf. *fischeri*				Pesca	LC
Creagrutus guanes	*				LC
Creagrutus magdalenae	*				LC
Cyphocharax magdalenae			Corta	Pesca	LC
Dupouyichthys sapito					
Gephyrocharax melanocheir	*				LC
Hemibrycon iqueima	*				
Hyphessobrycon natagaima	*				
Hypostomus hondae				Pesca	Casi amenazada
Lasiancistrus caucanus					LC
Microgenys minuta	*				LC | Casi Amenazada
Parodon magdalenensis	*				LC

Pimelodella floridablancaensis	*			
Poecilia caucana			Ornamental	LC
Prochilodus magdalenae	*	Mediana, longitudinal y local	Pesca	VU
Rhamdia guatemalensis				LC
Roeboides dayi				LC
Sternopygus aequilabiatus			Pesca	LC
Trichomycterus banneaui	*			LC
Trichomycterus tetuanensis	*			

Fuente: Autores (2022).

Es así, que el presente monitoreo de caracterización ictica esencialmente dirigido al cauce principal y tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal y ambiental revela que es una importante subzona hidrográfica para preservar y reguardar la diversidad de peces de la región. De esta manera, los resultados los datos de diversidad íctica mas actualizados en la subzona hidrográfica del rio Guarinó. Estudios anteriores (Reinoso-Flores et al., 2008) sobre la cuenca del río Guarinó, algunos tributarios o comprendiendo la cuenca, registran valores de riqueza de aproximadamente tres especies. Valores inferiores al reportado en el presente estudio (29 spp.).

En cuanto a la composición taxonómica registrada para el área de estudio, los ordenes con mayor abundancia y riqueza fueron Siluriformes (AR= 54 %), con 13 especies registró la mayor riqueza, seguido de Characiformes (AR= 35 %) con 12, Blenniiformes (AR= 5.8 %) y Gymnotiformes (AR= 3.9 %) siendo un patrón encontrado en ensamblajes de peces en la cuenca del río Magdalena (Villa et al., 2003, 2007, 2010; Poveda-Cuellar, 2020).

De las estaciones evaluadas, se registraron 29 especies, la cuales representan el mas del 100% de las especies del río Guarinó (Reinoso-Flores et al., 2008) y 25 % del Alto Magdalena (García- Alzate, et al., 2020) y por tanto claves, en términos de diversidad, para el establecimiento y resguardo de la ictiofauna. El bajo numero de especies registrado por Reinoso-Flores et al., 2008 se explica por dos razones. La primera, por diferencias en la cobertura y esfuerzo de muestreo. Y la segunda, porque Reinoso-Flores et al., 2008 se centraron en quebradas de ordenes limnológicos inferiores (pe., 1 o 2).

Si bien durante este estudio se capturaron mas especies, es importante mencionar que el aumento del caudal de los cuerpos de agua producto del periodo climático afectó la captura de los organismos acuáticos y especies aquellos que no tiene estructuras para adherirse a sustratos, esencialmente por remoción de sustratos que obliga a los organismos a derivar (Roldan & Ramírez, 2008; Esteves, 2011). Asimismo, esta ultima,

explica la baja diversidad y similitud en composición y estructura íctica entre las estaciones evaluadas a nivel temporal.

En cuanto a las especies, se registraron *Prochilodus magdalenae* y *Cyphocharax magdalenae*, no registradas por Reinoso-Flores et al., 2008 y de una alta importancia en la conservación por sus particulares atributos funcionales y estado de amenaza. Estas especies se registraron únicamente en H-GUARINO-03 a 229 m s.n.m, muy cerca a la desembocadura sobre el río Magdalena. Siendo esto un factor clave para explicar la presencia de las especies.

Respecto a la distribución geográfica se observa que la mayoría de las especies de las familias Characidae, Loricariidae, poecilidae, Heptapteridae entre otras se encuentran en la zona baja donde existe mayor temperatura del agua, alta heterogeneidad de ambientes y sustratos (Poveda-Cuellar et al., 2021). En cambio, La familia Astroblepidae se registradas en estaciones con mayor rango altitudinal, es decir zonas altas. Es así, que podemos señalar que existe un efecto de la elevación sobre la composición de la ictiofauna, clave para entender los patrones de diversidad.

En relación con la elevación, uno de los patrones más estudiados en términos de variación espacial es el cambio de la diversidad a través del gradiente altitudinal (Carvajal-Quintero et al., 2015). Diversos autores reportan que la elevación influye sobre la composición de las especies (Jaramillo-Villa et al., 2010; Carvajal-Quintero et al., 2015; Conde-Saldaña et al., 2017; Poveda-Cuellar et al., 2021), de modo que en zonas de mayor elevación (p.e., zonas altas) se espera que halla pocas especies dominantes, por lo cual sólo un grupo de especies pueden alcanzar rangos de elevación específicos y cumplir con requisitos biológicos determinados (Da Costa et al., 2018).

Finalmente, encontramos que los peces del rio Guarinó se encuentran mayoritariamente en rápidos y sustratos rocosos como es el caso de *Astroblepus* spp. representantes de la fauna íctica de zonas de alta montaña en los Andes suramericanos (Buitrago-Suarez et al., 2015). También, en sustratos arenosos (pe., *T. banneaui*) , remansos (p.e., *Poecilia caucana*), hojarasca y raíces sumergidas (pe., *Dupouyichthys sapito*). Adicionalmente, se refleja la necesidad de ampliar los inventarios ictiológicos hacia otros tipos de hábitats, preferentemente zonas sin muestreos previos, tales como quebradas. Así mismo, estudios bioecológicos en especies comerciales u ornamentales son fundamentales para entender la dinámica de las poblaciones en el río. Por otra parte, el alto número de especies encontradas con potencial ornamental y pesca, reflejan la alternativa económica que tienen las comunidades locales, pero también demuestra la gran vulnerabilidad que puede presentar el recurso, sino existe un apropiado programa de monitoreo de las especies comercializadas. Por lo tanto, se hace necesario, un diagnóstico que involucre la pesca comercial con acciones claras hacia su ordenamiento.

36. Conclusiones del análisis hidrobiológico.

La comunidad perifítica en las subzonas evaluadas estuvo dominada por las clases Bacillariophyceae, Cyanophyceae y Chlorophyceae, siendo la primera de estas la más representativa registradas en todos los sitios de muestreo evaluados. Este patrón es común en los ecosistemas Andinos como ríos, arroyos y quebradas de Colombia.

A nivel temporal, se observó que la mayoría de las subzonas registraron valores de densidad altos durante la época de bajas precipitaciones (M2), patrón común en ecosistemas acuáticos, especialmente en las algas, debido a que, en esta época, el caudal se reduce y las condiciones permiten el establecimiento de algunos taxones en mayores densidades, como es el caso Oscillatoria sp.

Con relación a la calidad del agua, teniendo en cuenta el índice diatómico genérico, la mayoría de las estaciones presentaron niveles de contaminación intermedios y altos. Esto se debe principalmente a la desaparición de especies sensibles a cauda de procesos de eutrofización y contaminación por materia orgánica.

La composición de los macroinvertebrados acuáticos registrados en las ocho subzonas hidrográficas siguen el patrón de estructura reportado para las cuencas andina, siendo los órdenes Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera y Coleoptera los más abundantes.

A nivel espacial y temporal no se registran cambios marcados en la composición, se reportan en su mayoría organismos comunes y ampliamente distribuidos, esto se debe principalmente a que durante las colectas se presentaron condiciones climáticas similares que no permiten observar los cambios de la comunidad a nivel estacional.

La diversidad reportada para el compendio de las subzonas es media, compuesta principalmente por organismos cosmopolitas y dominantes, que pueden colonizar una gran variedad de ambientes, aunque se registraron organismos “raros”, estos se presentan en muy baja proporción

En cuanto a la calidad de agua se puede establecer que en las cuencas presentan niveles variables de intervención, cada una de ellas cuenta con disturbios particulares que afectan la calidad ecológica del agua, sin embargo, según los datos obtenidos se puede observar que todas cuentan con una calidad intermedia. Esto se deduce a partir de la ausencia de organismos sensibles o con gran especificidad de habitat

Se observa que la mayoría de la ictiofauna colectada en las subzonas hidrografías es la típica que se puede registrar en las cuencas andinas, muchas de las especies reportadas son endémicas de Colombia.

Se reportaron las especies Oncorhynchus mykkis, Oreochromis sp y Poecilia reticulata como especies introducidas e invasoras en el caso de la trucha y la mojarra y potencialmente invasora en el caso de los gupis

Se registraron especies de interés para la pesca siendo algunas de ellas el nicuro (Pimelodus yuma), bocachico (Prochilodus magdalenae), cuchos (Chaetostoma spp.) y sardinas (Astyanax sp.) y ornamentales como mojarras (Geophagus steindachneri) y gupis (Poecilia caucana). Entre estas, Prochilodus magdalenae y Pimelodus yuma son migratoria y de importancia comercial con hábitats específicos (rápidos y continuidad de los hábitats) para su mantenimiento y reproducción

Finalmente, a nivel general, teniendo en cuenta la hidrobiota en las subzonas evaluadas, es posible concluir que los organismos que existen en estos cuerpos de agua, son habitantes comunes de ríos y quebradas de los andes que drenan la gran cuenca del Magdalena-Cauca. Sin embargo, es importante resaltar que, teniendo en cuenta los bioindicadores de la calidad del agua, la mayoría de las estaciones se encuentran en condiciones de contaminación intermedias o altas. Esto es indicativo de que en muchos de los sitios evaluados existe descarga de residuos sólidos y líquidos, que impiden la presencia de especies sensibles y por ende es un llamado de atención al control de residuos en las zonas aledañas a la mayoría de las estaciones evaluadas en las subzonas hidrográficas del norte del Tolima.

37. Referencias

CENICAFÉ y PUERTA (2000). Centro Nacional de Investigaciones del Café. Revista Avances Técnicos No. 276.

CENICAFÉ (2015). Federación Nacional de Cafeteros. Beneficio del Café en Colombia.

Cude, C. (2001). Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. Jour. Amer. Water Resources Assoc.: 37: 125-137.

CORANTIOQUIA. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. (2016) Manual de Producción y Consumo Sostenible. Gestión del Recurso Hídrico. Piscícolas. Cultivo de Trucha y Tilapia.

Ditorres L, Sanín A., Arango A, Serna J. (2019). Caracterización fisicoquímica de aguas mieles del beneficio del café. Revista ION. 2019;32(2):59-66.

Federación Nacional de Cafeteros (2021): Página Web. https://federaciondecafeteros.org/wp/sostenibilidad/eje-ambiental/.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2020). Hoja Metodológica Versión 1,1. para la determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2018). Estudio Nacional del Agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2014). Estudio Nacional del Agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2013). Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las Evaluaciones Regionales del Agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2010). Estudio Nacional del Agua.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (2015). Decreto No. 1076 de 26 de mayo de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (2015). Resolución MADS No. 0631 de 17 de marzo de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

OMM-N° 168 (2011): Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I. Hidrología. De la medición a la información Hidrológica. Disponible en www.whycos.org/hwrp/guide/index_es.php.

Tchobanoglous G, Theissen H y Eliassen R. Desechos Sólidos. (1994) Principios de Ingeniería y Administración.

WHO. (1993). Assesment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. Parte One: Rapid Inventory Techniques in Environmental Pollution.

CENICAFÉ y PUERTA (2000). Centro Nacional de Investigaciones del Café. Revista Avances Técnicos No. 276.

CENICAFÉ (2015). Federación Nacional de Cafeteros. Beneficio del Café en Colombia.

Cude, C. (2001). Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. Jour. Amer. Water Resources Assoc.: 37: 125-137.

CORANTIOQUIA. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. (2016) Manual de Producción y Consumo Sostenible. Gestión del Recurso Hídrico. Piscícolas. Cultivo de Trucha y Tilapia.

Ditorres L, Sanín A., Arango A, Serna J. (2019). Caracterización fisicoquímica de aguas mieles del beneficio del café. Revista ION. 2019;32(2):59-66.

Federación Nacional de Cafeteros (2021): Página Web. https://federaciondecafeteros.org/wp/sostenibilidad/eje-ambiental/.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2020). Hoja Metodológica Versión 1,1. para la determinación del índice de Alteración Potencial de la Calidad del Agua IACAL,

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2018). Estudio Nacional del Agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2014). Estudio Nacional del Agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2013). Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las Evaluaciones Regionales del Agua.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2010). Estudio Nacional del Agua.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (2015). Decreto No. 1076 de 26 de mayo de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS (2015). Resolución MADS No. 0631 de 17 de marzo de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

OMM-N° 168 (2011): Guía de prácticas hidrológicas. Volumen I. Hidrología. De la medición a la información Hidrológica. Disponible en www.whycos.org/hwrp/guide/index_es.php.

Tchobanoglous G, Theissen H y Eliassen R. Desechos Sólidos. (1994) Principios de Ingeniería y Administración.

WHO. (1993). Assesment of Sources of Air, Water, and Land Pollution. Parte One: Rapid Inventory Techniques in Environmental Pollution.

Álvarez, M., Gast, F., Umaña, A. M., Mendoza, H., & Schiele, R. (2006). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. (C. M. Villa, Ed.) (Segunda ed., p. 236). Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Alzate, C. G., DoNascimiento, C. L., Navarro, F. A. V., Melo, J. E. G., & Herrera, G. (2021). Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. In Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible (pp. 85-114).

APHA-AWWA-WPCF. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 18th Ed. Academic Press, Washington D.C.

Arias-Diaz, D., Reinoso-Flórez, G., Guevara-Cardona, G., & Villa-Navarro, F. A. (2007). Distribución espacial y temporal de los coleópteros acuáticos en la cuenca del río Coello (Tolima, Colombia). Caldasia, 29(1), 177-194.

Ault, T. R., & Johnson, C. R. (1998). Spatially and temporally predictable fish communities on coral reefs. Ecological Monographs, 68(1), 25-50.

Bazán Carranza, D. (2020). Determinación de la calidad del agua de los humedales de eten utilizando macroinvertebrados odonata, coleóptera, díptera y hemíptera durante septiembre 2019–abril 2020.

Belhouari, B. Evaluation of the organic pollution impact on freshwater diatoms in the northern Algerian river “Allala”. Environmental and Water Sciences, public Health and Territorial Intelligence Journal, 1(2), 07-12.

Benedito-Cecilio, E., Araujo-lima, C. M., Forsberg, B. R., Bittencourt, M. M., & Martinelli, L. C. (2000). Carbon sources of Amazonian fisheries. Fisheries Management and Ecology, 7(4), 305-314.

Bicudo C. De M. & M. Menezes. (2006). Gêneros de algas de aguas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. 2da Edição. RiMa (ed). São Carlos, Brasil.

Bowen, S. H. (1984). Detritivory in neotropical fish communities. In Evolutionary ecology of neotropical freshwater fishes (pp. 59-66). Springer, Dordrecht

Braak, C. J., Smilauer, P. (2002). CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, Microcomputer Power, p. 500.

Braak, C. J., Ter, F., & Smilauer, P. (2009). Canoco. Wage¬ningen, The Netherlands: Biometris Plant Research International.

Briñez-Vásquez, G. (2004). Distribución altitudinal, diversidad y algunos aspectos ecológicos de la familia Astroblepidae (Peces: Siluriformes) en la cuenca del río Coello (Tolima). Trabajo de grado. Programa de Biología. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad del Tolima. Ibagué.

Brower, J; Zar, J; Von, E. (1997). Field and laboratory methods for general ecology.WCB/McGraw-Hill.Boston, E.E.U.U. 273 p.

Buitrago-Suarez, U. A., Mojica, J. I., & Bonneau, L. K. (2015). Habitat perturbation and survival strategies of the Andean catfish Astroblepus mariae (Fowler, 1919). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 39(150), 36-41

Bustamante, C. A., Davila, C. A., Torres, S. L. & Ortiz, J. F. (2008). Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el río Quindío. Revista de Investigaciones Universidad del Quindío, 18, 15-21.

Bustamante, C. A., Torres, S. L. & Zapata, L. M. (2009). Composición y estructura numérica de la comunidad de microalgas perifíticas del río Quindío departamento del Quindío, Colombia. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. 21: 45-62.

Callisto, M., Gonçalves, J.R. & Graça, M.A. (2007). Leaf litter as a possible food source for chironomids (Diptera) in Brazilian and Portuguese headwater streams. Revista brasileira de zoologia 24(2): 442–448.

Campos, T. D. (2017). Insetos bentônicos como indicadores da qualidade da água em áreas reabilitadas após mineração de carvão no sul de Santa Catarina.

Carvajal-Quintero, J. D., Escobar, F., Alvarado, F., Villa-Navarro, F. A., Jaramillo-Villa, Ú., & Maldonado-Ocampo, J. A. (2015). Variation in freshwater fish assemblages along a regional elevation gradient in the northern Andes, Colombia. Ecology and Evolution, 5(13), 2608-2620.

Castro, M. I., Donato, J. C., & Donato Rondon, J. C. (2008). Aspectos generales sobre la ecología de ríos. Ecología de un río de montaña de los andes colombianos (Río Tota, Boyacá), 15.

Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9 and earlier. User´s Guide and application.

Colwell, R. K., & Elsensohn, J. E. (2014). EstimateS turns 20: statistical estimation of species richness and shared species from samples, with non-parametric extrapolation. Ecography, 37(6), 609-613.

Conde-Saldaña, C. C., Albornoz-Garzón, J. G., López-Delgado, E. O., & Villa-Navarro, F. A. (2017). Ecomorphological relationships of fish assemblages in a trans-Andean drainage, Upper Magdalena River Basin, Colombia. Neotropical Ichthyology, 15.

Córdova-Tapia, F., Hernández-Marroquín, V., & Zambrano, L. (2018). The role of environmental filtering in the functional structure of fish communities in tropical wetlands. Ecology of Freshwater Fish, 27(2), 522-532.

Coscaron, S., Sarandon, R., Coscaron-Arias, C. L., & Drago, E. (1996). Analisis de Factores Ambientales Que Influyen en la Distribucion de Los Simulidae (Diptera: Insecta) en El Cono Austral de America Del Sur.

De Crop, W., Pauwels, E., Van Hoorebeke, L., & Geerinckx, T. (2013). Functional morphology of the Andean climbing catfishes (Astroblepidae, Siluriformes): Alternative ways of respiration, adhesion, and locomotion using the mouth. Journal of Morphology, 274(10), 1164-1179.

Doherty, P. J. (2002). Variable replenishment and the dynamics of reef fish populations. Coral reef fishes: dynamics and diversity in a complex ecosystem. Academic Press, San Diego, CA, 327-355.

Domínguez, E. & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistematica y biología. (1a ed.) Tucumán, Argentina. Fundación Miguel Lillo. ISBN 978-950-668-015-2.

DoNascimiento, C., Herrera-Collazos, E. E., Herrera-R, G. A., Ortega-Lara, A., Villa-Navarro, F. A., Oviedo, J. S. U., & Maldonado-Ocampo, J. A. (2017). Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. ZooKeys, (708), 25.

Esteves, F. D. A. (2011). Fundamentos de limnologia (No. 504.45 FUN).

Esteves, K., & Lobón-Cerviá, J. (2001). Composition and trophic structure of a fish community of a clear water Atlantic rainforest stream in southeastern Brazil. Environmental Biology of fishes, 62(4), 429-440.

Flowers, R.W., De la Rosa, C. (2010). Capítulo 4. Ephemeroptera. Revista de Biología Tropical, 58(4) 63-93.

Forero-Céspedes, A. M., & Reinoso-Flórez, G. (2013). Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado-Tolima. Revista de la Asociación. Colombiana de Ciencias Biológicas, 25, 12-21.

Forero-Céspedes, A. M., Gutiérrez, C., & Reinoso-Flórez, G. (2016). Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. Hidrobiológica, 26(3), 459-474.

Forero-Céspedes, A. M., Reinoso-Flórez, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río opia (tolima-colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos: water quality assessment of the Opia River (Tolima-Colombia), using macroinvertebrates and physicochemical parameters. Caldasia, 35(2), 371-387.

Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. Journal of applied ichthyology, 22(4), 241-253

García-Alzate, C., DoNascimiento, C., Villa-Navarro, F. A., García-Melo, J. E. & Herrera-R., G. (2020). Diversidad de peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. En: Jiménez-Segura, L. & C. A. Lasso (Eds.). XIX. Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Pp: 85-113. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. DOI: 10.21068/B2020RRHHXIX02

García-Melo, L. (2005). Distribución, Diversidad y Ecologia Básica de la familia Trichomycteridae (Ostariophysy: Siluriformes) en la cuenca del río Coello departamento del Tolima. Tesis de Pregrado. Programa de Biología., Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Tolima. Ibagué.

Garcia-Melo, Luis José y Lozano-Zarate, Yeimi Yaneth. Capítulo de peces. 357 pp. en: Reinoso-Florez, F., Villa-Navarro, F., Esquivel, H., Garcia-Melo, J. y Vejarano-Delgado, A. 2008. Biodiversidad Faunística Y Florística de la Cuenca del río Lagunillas - Biodiversidad Regional Fase IV. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Garcia-Melo, Luis José y Lozano-Zarate, Yeimi Yaneth. Capítulo de peces. 99 pp. en: Reinoso-Florez, F., Garcia-Melo, J. y Vejarano-Delgado, A. 2008. Seguimiento hidrobiológico corrientes de agua cruzadas por vía de acceso al portal de entrada altunel - proyecto trasvase guarinó. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Global Invasive Species Database. 2019. Species profile: Oncorhynchus mykiss. Downloaded from http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=103 on 03-05-2019.

González, E., Varona, M. P., & Cala, P. (1996). Datos biológicos del oscar, Astronotus ocellatus (Pisces: Cichlidae), en los alrededores de Leticia, Amazonia. Dahlia, 1, 51-62.

González, S. M., Ramírez, Y. P., Meza, A. M., & Dias, L. G. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 16(2), 135-148.

Gutiérrez, J. D., Riss, W., & Ospina, R. (2006). Bioindicación de la calidad del agua en la Sabana de Bogotá-Colombia, mediante la utilización de la lógica difusa neuroadaptativa como herramienta. Caldasia, 28(1), 45.

Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia electronica, 4(1), 9.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software pckage for education and data analysis. Education, 4(1), 1–9.

Hanson, P., Springer, M., &Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. Revista de Biología Tropical, 58, 3-37.

Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology, 54(2), 427-432.

Hilsenhoff, W. L. (2017). An improved biotic index of organic stream pollution. The Great Lakes Entomologist, 20(1), 7.

Jara Céspedes, C. F. (2017). Los determinantes ambientales y su efecto en la planificación del territorio.

Jaramillo-Villa, U., Maldonado-Ocampo, J. A., & Escobar, F. (2010). Altitudinal variation in fish assemblage diversity in streams of the central Andes of Colombia. Journal of fish biology, 76(10), 2401-2417

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. Oikos, 113(2), 363-375.

Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences, 106(1), 110-127.

Le Cren, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (Perca fluviatilis). The Journal of Animal Ecology, 201-219.

Longo, M., Zarnora, H., Guisande, C., & Ramírez, J. J. (2010). Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia) respuesta a los cambios estacionales de caudal. Limnetica, 29(2), 0195-210.

López-Delgado, E. (2013). Composición y estructura de la comunidad de peces y sus relaciones con la calidad de la vegetación riparia y algunas variables ambientales en dos ríos de Bosque Seco Tropical (Bs-T), Tolima (Colombia). Universidad de Tolima. Facultad de Ciencias. Maestría en Ciencias Biológicas. Ibagué, 167.

Lozano, Y. & Garcia-Melo, L. (2009). cuenca mayor del río recio biodiversidad regional fase v 104 pp. En: Reinoso- florez, g., villa-navarro, f.a., garcia-melo j.e y vejarano-delgado m.a. 2009 grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

Machado, T. (octubre de 1989). Distribución Ecológica e Identificación de los Coleópteros Acuáticos en Diferentes Pisos Altitudinales en el Departamento de Antioquia. Distribución Ecológica e Identificación de los Coleópteros Acuáticos en

Diferentes Pisos Altitudinales en el Departamento de Antioquia. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.

Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Galvis, G., Villa-Navarro, F. A., Vásquez, L., ... & Ardila, C. (2005). Peces de los Andes de Colombia. Bogotá: Instituto HUMBOLDT Colombia.

Martínez, F. & Donato, J. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). Caldasia. 25(2), 337-354.

Mason, N. W., Lanoiselée, C., Mouillot, D., Wilson, J. B., & Argillier, C. (2008). Does niche overlap control relative abundance in French lacustrine fish communities? A new method incorporating functional traits. Journal of Animal Ecology, 661-669.

Medianero, E., & Samaniego, M. (2004). Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. Folia Entomológica Mexicana, 279-294.

Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt.

Merritt, R., Cummins, K., & Berg, M. (2008). An introduction to the Aquatic Insects of North América.Kendall: Kendall/Hunt Publishing Company.

Mojica, J. I. E., Usma Oviedo, J. U. E., Alvarez León, R. E., & Lasso, C. A. (2012). Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (2012) (No. Doc. 26063) CO-BAC, Bogotá).

MOJICA, J. I. Y GALVIS, G. Métodos para el estudio de los peces continentales. En: Manual de métodos en limnología. Bogotá: Asociación Colombiana de Limnología ACL-Limnos, 2002. p. 62.

Molina, C. I., Gibon, F. M., Pinto, J., & Rosales, C. (2008). Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la Cordillera Real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. Ecología aplicada, 7(1-2).

Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. Revista mexicana de biodiversidad, 82(4), 1249-1261.

Mouillot, D., Dumay, O., & Tomasini, J. A. (2007). Limiting similarity, niche filtering and functional diversity in coastal lagoon fish communities. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 71(3-4), 443-456.

Mueller, R. J., & Pyron, M. (2010). Fish assemblages and substrates in the middle Wabash River, USA. Copeia, 2010(1), 47-53.

Murillo-Montoya, S. A., Mendoza-Mora, A., Restrepo-Bastidas, E. S., & Rodríguez, M. Á. (2018). Utilización de macroinvertebrados acuáticos como herramienta para determinar la calidad del agua en la quebrada Santo Tomás, municipio de Pensilvania, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42(164), 212-220.

Neiff, J. J. (1999). El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica, 229.

Nico, L. G., & Martin, R. T. (2001). The South American suckermouth armored catfish, Pterygoplichthys anisitsi (Pisces: Loricaridae), in Texas, with comments on foreign fish introductions in the American Southwest. The Southwestern Naturalist, 46(1), 98-104.

Novelo, E. (2012). Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán. Bacillariophyta. Fascículo, 102.

Pérez, G. R. (2020). La limnología en Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 44(171), 301-303.

Pérez, J. H., Martínez-Romero, L. C., Castellanos-Guerrero, L. T., Mora-Parada, A. R., & Rocha-Gil, Z. E. (2020). Macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua en sistemas hídricos artificiales del Departamento de Boyacá, Colombia. Producción+ Limpia, 15(1), 35-48.

Pérez, R. M., Pineda, R. F., & Campos, V. (2004). Estructura trófica de las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos de manantiales cársticos en la Huasteca Mexicana. Biológicas, 6, 37-47.

Pillot, H. K. M. (2014). Chironomidae Larvae, Vol. 3: Orthocladiinae: Biology and Ecology of the Aquatic Orthocladiinae (Vol. 3). Hotei Publishing

Pinilla, A. G. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos de Colombia. Compilación Bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia.

Posada, J. & G. Roldán. (2003). Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-Occidente de Colombia. Caldasia 25: 169-192.

Poveda-Cuellar, J. L., López Delgado, E. O., & Villa Navarro, F. A. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de ribera en las comunidades ícticas en el bosque húmedo premontano y muy húmedo premontano del Alto Magdalena, Colombia.

Poveda-Cuellar, J. L., López Delgado, E. O., Zúñiga-Upegui, P. T., & Villa Navarro, F. A. (2022). What controls fish functional diversity patterns in Colombian Andean streams? Ecology of Freshwater Fish, 31(1), 87-101.

Prescott, G. W. 1970. The freshwater Algae.Brow Company Publisher. Duboque, Iowa. 348 p.

Quesada-Alvarado, F., & Solano-Ulate, D. (2020). Colonización de macroinvertebrados acuáticos en tres tipos de sustratos artificiales, en un río tropical. Revista de Biología Tropical, 68, 68-78.

R Development Core Team (2017). R: A language and environment for sta- tistical computing. R Foundation for Statistical Computing. www.r- project.org

Ramírez G., A. & Viña, V. G. (1998). Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Bogotá – Colombia, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Ramírez, A., & Viña, G. (1998). Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Bogotá: BP-Exploration, Universidad Jorge Tadeo Lozano, 1-191.

Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.

Ramírez, J. J. 2000. Fitoplancton de aguas dulces: Aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Universidad de Antioquia: Colombia. 207 p.

Reinoso, G., Villa, F., García, J., Vejarano, M., & Esquivel, H. (2008). Biodiversidad Faunística y Florística de la cuenca del Río Lagunilla. Biodiversidad Regional Fase IV. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.

REINOSO-FLOREZ, G., villa-navarro, f.a., losada-prado, s., garcia- melo j.e., vejarano-delgado m.a. y molina – martínez y.g. (2010) biodiversidad faunística y florística de la cuenca mayor del río guali biodiversidad regional fase vi. grupo de Investigación en Zoología-Universidad del Tolima, Cortolima. Ibagué, Colombia.

Reinoso-Florez, Garcia-Melo, J y Vejarano, M. (2008). seguimiento hidrobiológico corrientes agua cruzada por via de acesso al portal de entrada al tunel-proyecto trasvase guarinó. Grupo de Investigación en Zoología-Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.

Rodríguez, J. M. W., & Castro, J. F. D. (2008). Caracterización hidrobiológica y evaluación ecológica de la calidad del agua del río Guarino, Departamento de Caldas. Revista de Ciencias, 12, 31-44.

Rodríguez, J., Ospina, R., Berrío, M., Cepeda, B., Castellanos, G., & Valencia, M. (2006). Variación diaria de la deriva de macroinvertebrados acuáticos y de materia orgánica en la cabecera de un río tropical de montaña en el departamento de Nariño, Colombia. Acta Biológica Colombiana, 11, 47-53.

Roldán G. & Ramírez J. (2008). Fundamentos de Limnología neotropical. (2.a ed.) Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. ISBN: 978-958-714-144-3.

Roldán Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica.

Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colección de Ciencia y Tecnología. Medellín.

Roldán, G. (2017). Contribución al conocimiento de las ninfas de los efemerópteros (clase; insecta, orden: Ephemeroptera) en el departamente de Antioquia, Colombiaq. Actualidades Biológicas, 14(51), 3-13.

Roldan, G. R. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia.

Roldán, G., & Ramirez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia, 2, 324-346

Rumeau, A., & Coste, M. (1988). Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture, (309), 1-69.

Sevilla, J. R., & Villar, R. H. (2008). Caracterización de la estructura trófica de los macroinvertebrados del río Júcar y sus tributarios en la provincia de Albacete mediante la aplicación del índice del modo de nutrición (IMN). Sabuco: revista de estudios albacetenses, (6), 53-70.

Shapiro, D. Y. (1991). Intraespecific variability in social system of coral reef fishes. En P. F. Sale (Ed.), The ecology of fishes on coral reefs (pp. 331–355). San Diego: Academic Press.

Streble, H., & Krauter, D. (1987). Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce: la vida en una gota de agua (Ediciones, 372 p.). Barcelona

Tamaris-Turizo, C., Rodríguez-Barrios, J., & Ospina-Torres, R. (2013). Deriva de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del río Gaira, vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Caldasia, 35(1), 149-163.

Tejerina, E. G., & Molineri, C. (2007). Comunidades de Chironomidae (Diptera) en arroyos de montaña del NOA: comparación entre Yungas y Monte. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 66(3-4), 169-177.

Thomazi, R.D., Kiifer, W.P., Ferreria, J.R. & Sá, F.S. (2008). A sucessão ecológica sazonal de macroinvertebrados bentônicos em diferentes tipos de atratores artificiais no rioBubu, Cariacica, ES Natureza online 6(1): 1-8.

Umaña Villalobos, G., Springer, M., & Picado Barboza, J. (2020). Variación estacional y características fisicoquímicas e hidrológicas que influyen en los macroinvertebrados acuáticos, en un río tropical. Revista de Biología Tropical, 68, 54-67.

Vásquez, J., & Reinoso, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. Revista Colombiana de Entomología, 351-358.

Vazzoler, A. E.A. (1982). Manual de métodos para estudos biológicos de populações de peixes reprodução e crescimento. Brasilia: CNPq. Programa Nacional de Zoología, p. 48–52.

Vidal, C., & Romero Aravena, H. (2010). Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bíobío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción.

Vieira, D. B., & Shibatta, O. A. (2007). Peixes como indicadores da qualidade ambiental do ribeirão Esperança, município de Londrina, Paraná, Brasil. Biota Neotropica, 7(1), 0-0.

Villa-Navarro, F., Lozano, Y. & Garcia-Melo, L & (2010). Peces. 186 pp. reinoso- florez, g., villa-navarro, f.a., losada-prado, s., garcia-melo j.e., vejarano-delgado m.a. y molina – martínez y. g. 2010 biodiversidad faunística y florística de la cuenca mayor del río guali.

biodiversidad regional fase vi. Grupo de Investigación en Zoología-Universidad del Tolima, Cortolima. Ibagué, Colombia.

Villa-Navarro, F., Garcia-Melo, L., Herrera, E & Lozano, Y. (2007). Biodiversidad Faunística y Florística de las cuencas del río Totare: Biodiversidad Regional Fase III. Informe técnico. Ibagué: Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), Universidad del Tolima.

Villa-Navarro, F.; Ortega-Lara, A.; García-Melo J.; Briñez, G; García-Melo, L. & Zúñiga, P. (2003). Biodiversidad Faunística de la Cuenca del río Coello. Biodiversidad Regional Fase I. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 390-413

Wantzen, R. & Rueda-Delgado, G. (2009). Técnica de muestreo de macroinvertebrados bentónicos. En: Domínguez, E. y H. Fernández (Eds.), Macroinvertebrados bentónicos Sudamericano: sistemática y biología. Primera edición. Tucumán - Argentina. Fundación Miguel Lillo.

Wehr, J., Sheath, R. (2002). Freshwater Algae of North America: Ecology and Clasification (917 p.). California: AcademicPress.

Yacobson, S. (1969). Algas de ambientes continentales nuevos para Venezuela (cyanophytas y chlorophytas) (180 p.). Venezuela.

Yáñez-Arancibia, A., Curiel-Gómez, J., & De Yánez, V. L. (1976). Prospección biológica y ecología del bagre marino Galeichthys caerulescens (Günther) en el sistema lagunar costero de Guerrero, México (Pisces: Ariidae). An Centro Cienc del Mar y Limnol Univ Nal Autón México, 3(1), 125-180.

Capítulo Indicadores de la Evaluación Regional del Agua

La disponibilidad hídrica en el territorio está determinada por la cantidad y calidad del agua, es decir, un cuerpo de agua puede presentar una alta fluctuación temporal del caudal, implicando que el volumen de agua ofertado no sea suficiente en algunas épocas del año para satisfacer las demandas hídricas para uso doméstico, agrícola, pecuario, piscícola, industrial, entre otros. Por otro lado, el cuerpo de agua podría presentar una oferta hídrica suficiente pero un estado de calidad del agua que impida su uso benéfico generando restricciones para su aprovechamiento.

De allí se deriva la importancia de contar con una evaluación de la variabilidad, estado y tendencia del agua con datos actualizados obtenidos mediante un monitoreo sistemático y aplicación de herramientas de modelación hidrológica. En esta perspectiva la Evaluación Regional del Agua (ERA) se constituye en el instrumento base para la gestión y administración del recurso hídrico a través de la generación actualizada de los indicadores del Sistema Hídrico Natural, indicadores de Presión por el Uso del Agua, indicadores de Estado de la Calidad del Agua, e indicadores de riesgo en las subzonas hidrográficas de los ríos Coello, Totare, Opia, Recio-Venadillo, Lagunilla, Sabandija, Gualí y Guarinó.

Este documento presenta la base de indicadores hídricos regionales consolidado en el marco de ejecución del convenio interadministrativo 495-2020 “Evaluación Regional del Agua del Departamento del Tolima Fase 1”.

38. Indicadores del Sistema Hídrico Natural

38.1. Índice de Aridez (IA)

Permite identificar las áreas con déficit o excedente de humedad y cuantifica el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de la zona de estudio (IDEAM, 2013). Su determinación se realiza mediante la siguiente expresión:

$$IA = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Donde,

IA es el índice de aridez (adimensional)
ETP es la evapotranspiración potencial en mm
ETR es la evapotranspiración real en mm

La Tabla 627 presenta la clasificación del índice.

Tabla 627. Categorías del índice de aridez. (Fuente: IDEAM, 2013)

Límites de categorías	Categoría	Descripción
<0.15		Altos excedentes de agua
0.15 – 0.19		Excedentes de agua
0.2 – 0.29		Entre moderado y excedentes de agua
0.30 – 0.39		Moderado
0.40 – 0.49		Entre moderado y deficitario de agua
0.50 – 0.59		Deficitario de agua
>0.59		Altamente deficitario de agua

38.1.1. IA en la subzona hidrográfica del río Coello

Las unidades de análisis de la parte alta y media de la subzona hidrográfica (río Toche, río Coello, río Combeima 1, río Bermellón 1, río Anaime, río Bermellón 2, rio Coello 2, río Cocora, río Combeima 1 y río Combeima 2) presentan excedentes y altos excedentes de humedad durante la mayoría de los meses en año medio (Figura 779). Para el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición altamente deficitaria de humedad durante el mes de diciembre y una reducción de la disponibilidad de humedad que las lleva a una condición deficitaria durante los meses de enero y agosto, así como excedentes de humedad en marzo, abril mayo, octubre y noviembre en año seco (Figura 780).

Las unidades de análisis río Coello 3, río Combeima 3, río Combeima 4, río Coello 4, quebrada Gualanday, río Coello 5, quebrada Chagualá y río Coello 6 evidencian una tendencia a presentar déficit de humedad en año medio durante los meses de julio y agosto y su condición propende por mantener excedentes y altos excedentes de humedad en los meses de marzo, abril, mayo octubre y noviembre (Figura 779). Para el escenario de año seco, estas unidades hidrológicas alcanzan una categoría deficitaria de humedad en los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre, representando un 41% del año. Se identifica que septiembre llega a ser de moderado a deficitario y los meses restantes tienden a presentar una condición que varía de moderada a altos excedentes de humedad (Figura 780).

Se observa que la parte baja de la subzona hidrográfica propende a tener una condición de moderada a deficitaria de humedad durante los meses de enero, julio y agosto en año medio. Para año seco, los meses de junio y julio llegan a ser altamente deficitarios, y la condición más crítica en toda la SZH se alcanza en enero, agosto y diciembre (Figura 780).

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Toche y río Cocora presentan excedentes de humedad durante todo el año; una condición similar se presenta en río Coello, río Combeima 1, río Bermellón 1, río Anaime, río Bermellón 2, rio Coello 2, río Combeima 1 y río Combeima 2 con la diferencia que en éstas últimas el mes de enero alcanza una condición de moderada a deficitaria (Figura 781). Mientras que en la parte baja de la SZH enero y agosto son los meses más desfavorables presentando unidades altamente deficitarias a moderadamente deficitarias de humedad (Figura 781).

Índice de Aridez para año medio en la SZH del río Coello

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Toche	0.201	0.16	0.092	0.073	0.061	0.092	0.104	0.145	0.094	0.067	0.067	0.117
(2): Rio Coello 1	0.267	0.211	0.115	0.09	0.076	0.116	0.136	0.198	0.125	0.089	0.095	0.159
(3): Rio Bermellon 1	0.224	0.189	0.108	0.077	0.072	0.115	0.144	0.206	0.13	0.084	0.083	0.134
(4): Rio Anaime	0.232	0.2	0.116	0.078	0.076	0.118	0.148	0.216	0.143	0.094	0.089	0.143
(5): Rio Bermellon 2	0.29	0.231	0.125	0.093	0.082	0.132	0.166	0.235	0.152	0.102	0.105	0.172
(6): Rio Coello 2	0.25	0.218	0.116	0.088	0.085	0.144	0.186	0.25	0.149	0.097	0.103	0.163
(7): Rio Cocora	0.233	0.192	0.102	0.079	0.075	0.12	0.151	0.205	0.133	0.089	0.089	0.142
(8): Rio Coello 3	0.241	0.22	0.118	0.085	0.089	0.188	0.261	0.319	0.178	0.1	0.098	0.156
(9): Rio Combeima 1	0.237	0.189	0.097	0.073	0.064	0.086	0.104	0.13	0.087	0.075	0.084	0.157
(10): Rio Combeima 2	0.212	0.173	0.092	0.077	0.071	0.106	0.127	0.162	0.104	0.077	0.093	0.144
(11): Rio Combeima 3	0.206	0.195	0.108	0.082	0.086	0.164	0.228	0.278	0.157	0.095	0.09	0.132
(12): Rio Combeima 4	0.263	0.245	0.131	0.091	0.1	0.223	0.31	0.366	0.203	0.115	0.111	0.17
(13): Rio Coello 4	0.346	0.316	0.159	0.102	0.113	0.275	0.376	0.438	0.242	0.132	0.141	0.228
(14): Quebrada Gualanday	0.406	0.36	0.172	0.11	0.116	0.285	0.405	0.474	0.25	0.149	0.172	0.262
(15): Rio Coello 5	0.398	0.366	0.164	0.115	0.134	0.328	0.463	0.547	0.312	0.155	0.164	0.248
(16): Quebrada Chaguala	0.377	0.337	0.164	0.113	0.128	0.314	0.434	0.509	0.292	0.145	0.152	0.24
(17): Rio Coello 6	0.386	0.341	0.171	0.12	0.139	0.346	0.465	0.54	0.319	0.151	0.155	0.249

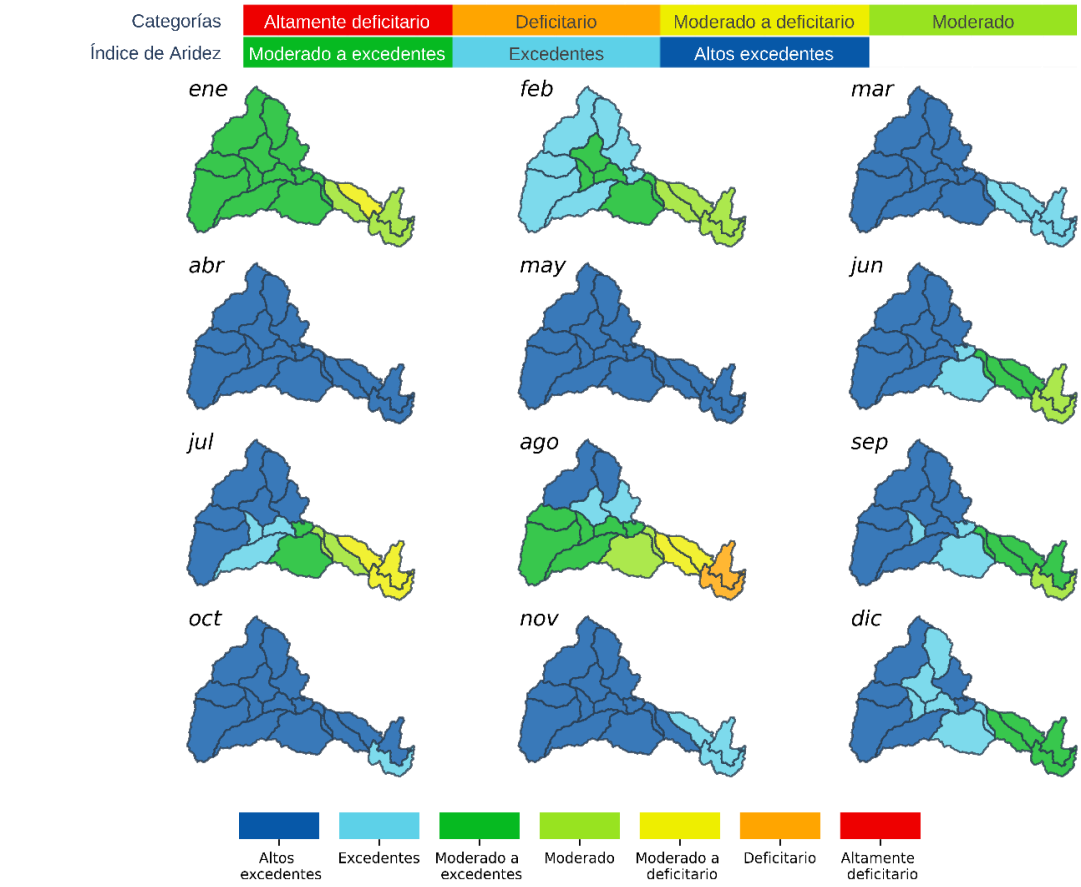


Figura 779. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Coello para año medio

Índice de Aridez para año seco en la SZH del río Coello

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Toche	0.59	0.27	0.146	0.104	0.12	0.182	0.155	0.438	0.19	0.087	0.089	0.742
(2): Rio Coello 1	0.694	0.3	0.166	0.103	0.135	0.259	0.224	0.609	0.253	0.113	0.121	0.873
(3): Rio Bermellon 1	0.495	0.29	0.158	0.107	0.171	0.252	0.218	0.693	0.273	0.112	0.099	0.853
(4): Rio Anaime	0.465	0.273	0.185	0.126	0.201	0.238	0.186	0.741	0.374	0.148	0.104	0.856
(5): Rio Bermellon 2	0.613	0.279	0.169	0.105	0.185	0.307	0.283	0.708	0.312	0.123	0.115	0.875
(6): Rio Coello 2	0.636	0.29	0.178	0.103	0.196	0.345	0.371	0.751	0.324	0.119	0.11	0.901
(7): Rio Cocora	0.521	0.203	0.147	0.093	0.189	0.284	0.259	0.76	0.327	0.115	0.096	0.854
(8): Rio Coello 3	0.665	0.228	0.16	0.099	0.24	0.468	0.531	0.849	0.365	0.124	0.105	0.889
(9): Rio Combeima 1	0.704	0.293	0.19	0.078	0.102	0.155	0.155	0.383	0.132	0.088	0.096	0.8
(10): Rio Combeima 2	0.654	0.345	0.182	0.082	0.124	0.232	0.224	0.653	0.232	0.098	0.111	0.936
(11): Rio Combeima 3	0.591	0.232	0.158	0.145	0.265	0.345	0.532	0.659	0.377	0.099	0.084	0.915
(12): Rio Combeima 4	0.639	0.267	0.2	0.124	0.297	0.538	0.659	0.836	0.403	0.14	0.109	0.923
(13): Rio Coello 4	0.774	0.293	0.256	0.115	0.288	0.693	0.758	0.928	0.441	0.152	0.154	0.904
(14): Quebrada Gualanday	0.79	0.303	0.316	0.117	0.256	0.797	0.777	0.965	0.439	0.134	0.167	0.861
(15): Rio Coello 5	0.87	0.318	0.21	0.104	0.336	0.646	0.764	0.954	0.563	0.155	0.153	0.819
(16): Quebrada Chaguala	0.807	0.337	0.219	0.104	0.322	0.66	0.743	0.924	0.498	0.162	0.159	0.848
(17): Rio Coello 6	0.787	0.374	0.217	0.096	0.347	0.668	0.783	0.904	0.487	0.197	0.174	0.854

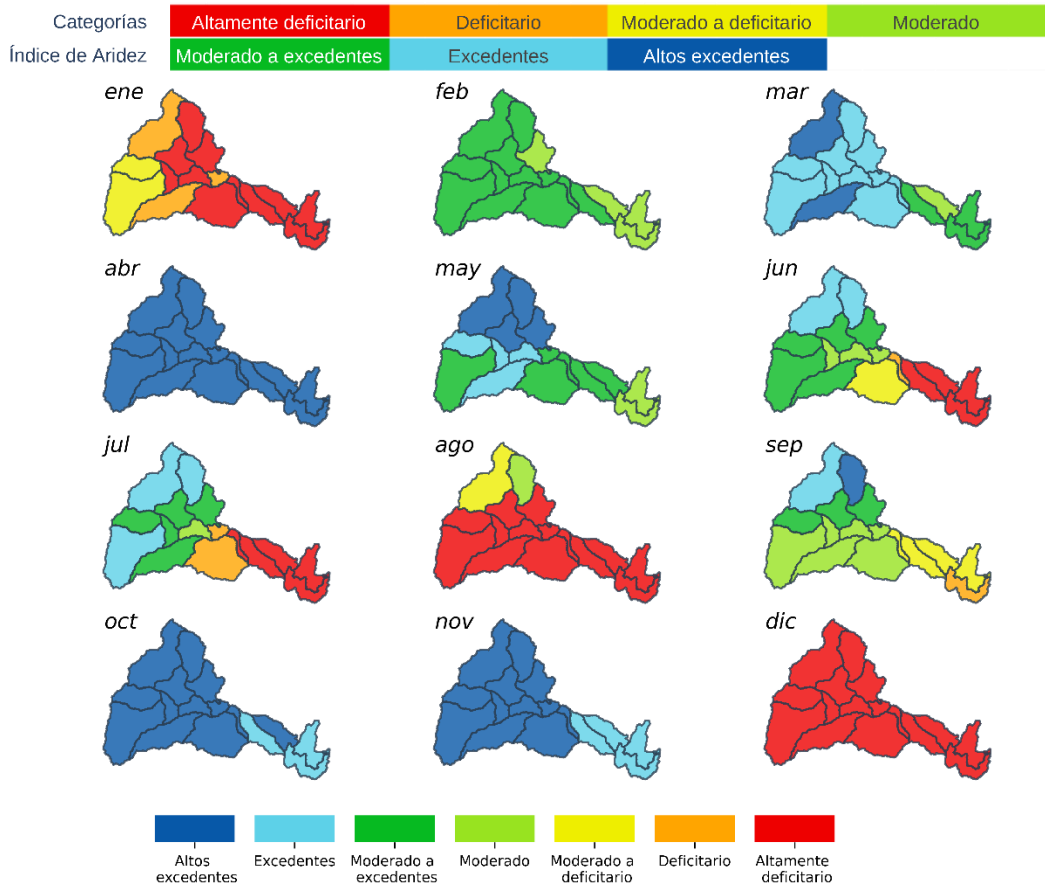


Figura 780. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Coello para año seco

Índice de Aridez para año húmedo en la SZH del río Coello

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Toche	0.255	0.101	0.063	0.048	0.064	0.061	0.047	0.181	0.091	0.061	0.037	0.056
(2): Rio Coello 1	0.379	0.157	0.089	0.057	0.073	0.073	0.055	0.195	0.086	0.083	0.052	0.081
(3): Rio Bermellon 1	0.356	0.131	0.09	0.046	0.075	0.087	0.06	0.227	0.094	0.079	0.053	0.084
(4): Rio Anaime	0.316	0.119	0.081	0.044	0.076	0.092	0.065	0.225	0.1	0.092	0.065	0.102
(5): Rio Bermellon 2	0.499	0.199	0.135	0.052	0.078	0.091	0.064	0.215	0.096	0.093	0.063	0.097
(6): Rio Coello 2	0.414	0.165	0.091	0.054	0.079	0.085	0.061	0.233	0.092	0.097	0.072	0.099
(7): Rio Cocora	0.295	0.115	0.086	0.044	0.069	0.092	0.061	0.177	0.085	0.089	0.068	0.105
(8): Rio Coello 3	0.318	0.148	0.091	0.049	0.093	0.114	0.063	0.321	0.098	0.112	0.067	0.101
(9): Rio Combeima 1	0.331	0.114	0.067	0.055	0.07	0.065	0.051	0.165	0.09	0.083	0.059	0.078
(10): Rio Combeima 2	0.41	0.142	0.068	0.051	0.057	0.061	0.049	0.143	0.082	0.074	0.068	0.082
(11): Rio Combeima 3	0.341	0.132	0.094	0.047	0.087	0.097	0.06	0.273	0.081	0.084	0.053	0.079
(12): Rio Combeima 4	0.37	0.167	0.101	0.055	0.106	0.135	0.07	0.39	0.111	0.129	0.071	0.095
(13): Rio Coello 4	0.467	0.207	0.117	0.067	0.13	0.154	0.075	0.498	0.19	0.193	0.123	0.139
(14): Quebrada Gualanday	0.639	0.242	0.132	0.081	0.149	0.139	0.079	0.515	0.26	0.261	0.218	0.153
(15): Rio Coello 5	0.506	0.257	0.164	0.077	0.129	0.177	0.106	0.56	0.238	0.394	0.16	0.194
(16): Quebrada Chaguala	0.471	0.219	0.143	0.074	0.137	0.162	0.101	0.501	0.214	0.265	0.126	0.176
(17): Rio Coello 6	0.432	0.207	0.148	0.077	0.163	0.178	0.118	0.489	0.212	0.248	0.119	0.191

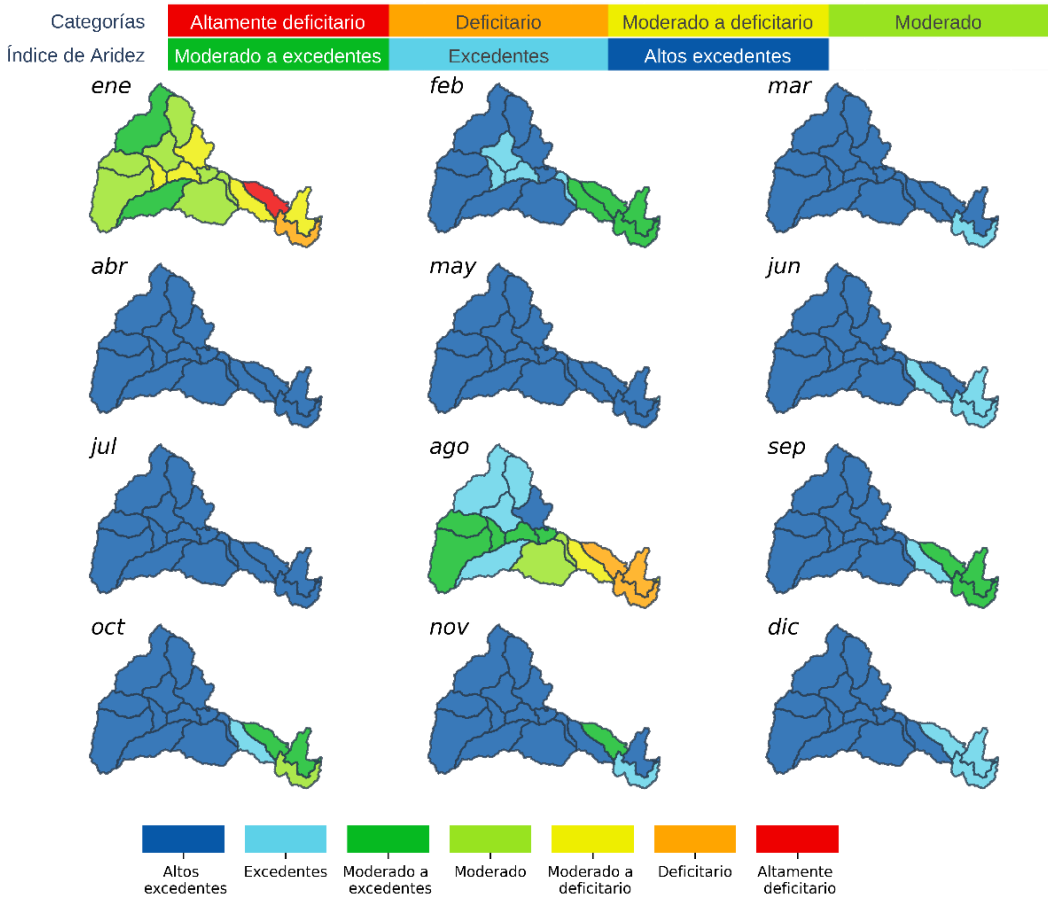


Figura 781. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Coello para año húmedo

38.1.2. IA en la subzona hidrográfica del río Totare

Las unidades de análisis de la parte alta y media de la subzona hidrográfica (río Totare 1, río Totarito, río Totare 2, río Totare 3, río Alvarado 1, río La China 1, río San Romualdo, río La China 2, río Frío, y río Chipalo 1) presentan condición de moderada a excedentes y altos excedentes de humedad durante año medio (Figura 782). Para el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición de moderada a altamente deficitaria de humedad durante los meses de enero, agosto, y diciembre, a excepción de las unidades río Totare 1, río Totarito y río San Romualdo las cuales solamente presentan déficit de humedad en el mes de diciembre, en este mismo escenario, dichas unidades de análisis evidencian excedentes de humedad en marzo, abril mayo, octubre y noviembre (Figura 783).

Las unidades de análisis río La China 3, río La China 4, río Alvarado 2, río Totare 4, río Chipalo 2, río Totare 5 y drenajes directos al Magdalena evidencian una tendencia a presentar una condición de moderado a déficit de humedad en año medio durante los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y septiembre; y mantienen excedentes y altos excedentes de humedad en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre (Figura 782). Para el escenario de año seco, estas unidades hidrológicas alcanzan una categoría deficitaria de humedad en los meses de enero, agosto y diciembre. Se identifica que septiembre llega a ser de moderado a deficitario y los meses restantes tienden a presentar una condición que varía de moderada a altos excedentes de humedad (Figura 783).

Se observa que la parte baja de la subzona hidrográfica tiene una condición de moderada a deficitaria de humedad durante los meses de enero, julio y agosto en año medio (Figura 782). Para año seco, los meses de enero, junio, agosto y diciembre llegan a ser altamente deficitarios, y la condición más crítica en toda la SZH se alcanza en diciembre (Figura 783).

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Totare 1 y río Totarito presentan excedentes de humedad durante todo el año; una condición similar se presenta en río Totare 2, río Totare 3, río Alvarado 1, río La China 1, río San Romualdo, río La China 2, río Frío, y río Chipalo 1 con la diferencia que en éstas últimas el mes de enero alcanza una condición de moderada a deficitaria (Figura 784). Mientras que en la parte baja de la SZH enero y agosto son los meses más desfavorables presentando unidades deficitarias a moderadamente deficitarias de humedad.

Índice de Aridez para año medio en la SZH del río Totare

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Totare 1	0.09	0.076	0.05	0.042	0.04	0.061	0.07	0.075	0.053	0.039	0.042	0.065
(2): Rio Totarito	0.085	0.073	0.048	0.042	0.04	0.064	0.073	0.075	0.054	0.038	0.04	0.061
(3): Rio Totare 2	0.18	0.151	0.088	0.07	0.072	0.147	0.199	0.231	0.128	0.076	0.074	0.115
(4): Rio Totare 3	0.343	0.314	0.168	0.115	0.105	0.242	0.343	0.387	0.237	0.141	0.156	0.247
(5): Rio Alvarado 1	0.299	0.26	0.142	0.102	0.102	0.233	0.336	0.356	0.21	0.121	0.13	0.209
(6): Rio La China 1	0.16	0.136	0.078	0.064	0.066	0.108	0.132	0.151	0.098	0.067	0.073	0.11
(7): Rio San Romualdo	0.139	0.116	0.068	0.055	0.054	0.083	0.101	0.117	0.077	0.056	0.061	0.095
(8): Rio La China 2	0.216	0.182	0.106	0.082	0.083	0.178	0.265	0.282	0.154	0.09	0.098	0.151
(9): Rio Frio	0.156	0.133	0.079	0.065	0.066	0.121	0.169	0.196	0.11	0.067	0.068	0.104
(10): Rio La China 3	0.301	0.264	0.144	0.105	0.104	0.235	0.332	0.362	0.215	0.121	0.124	0.204
(11): Rio La China 4	0.355	0.318	0.172	0.118	0.11	0.251	0.353	0.393	0.244	0.143	0.156	0.248
(12): Rio Alvarado 2	0.399	0.353	0.194	0.13	0.119	0.284	0.387	0.424	0.271	0.161	0.178	0.28
(13): Rio Totare 4	0.403	0.352	0.196	0.131	0.121	0.294	0.397	0.431	0.275	0.161	0.179	0.282
(14): Rio Chipalo 1	0.23	0.21	0.115	0.085	0.092	0.193	0.255	0.291	0.172	0.101	0.102	0.154
(15): Rio Chipalo 2	0.366	0.317	0.173	0.119	0.117	0.28	0.391	0.416	0.253	0.146	0.156	0.252
(16): Rio Totare 5	0.435	0.363	0.213	0.139	0.125	0.322	0.443	0.461	0.282	0.173	0.205	0.308
(17): Directos Magdalena Totare	0.402	0.344	0.198	0.132	0.127	0.32	0.421	0.446	0.281	0.158	0.172	0.279

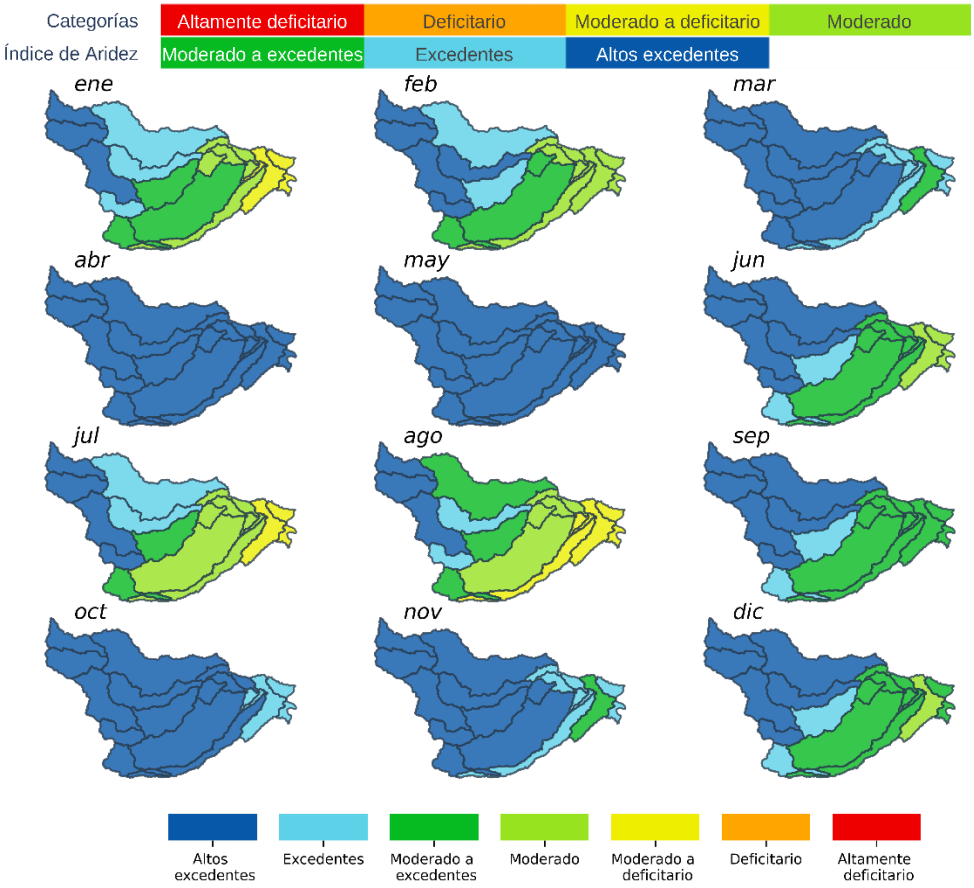


Figura 782. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Totare para año medio

Índice de Aridez para año seco en la SZH del río Totare

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Totare 1	0.303	0.107	0.085	0.053	0.082	0.107	0.101	0.255	0.082	0.052	0.047	0.489
(2): Rio Totarito	0.255	0.097	0.083	0.052	0.085	0.126	0.106	0.27	0.084	0.054	0.047	0.453
(3): Rio Totare 2	0.563	0.203	0.143	0.07	0.207	0.254	0.332	0.712	0.261	0.105	0.107	0.721
(4): Rio Totare 3	0.828	0.491	0.214	0.136	0.215	0.478	0.361	0.893	0.467	0.138	0.171	0.865
(5): Rio Alvarado 1	0.737	0.294	0.188	0.101	0.273	0.527	0.554	0.888	0.411	0.149	0.15	0.9
(6): Rio La China 1	0.507	0.229	0.141	0.072	0.133	0.25	0.257	0.631	0.205	0.084	0.087	0.904
(7): Rio San Romualdo	0.485	0.168	0.115	0.06	0.1	0.166	0.166	0.482	0.138	0.07	0.07	0.792
(8): Rio La China 2	0.667	0.195	0.149	0.08	0.232	0.378	0.465	0.864	0.338	0.115	0.113	0.908
(9): Rio Frio	0.537	0.161	0.129	0.068	0.181	0.218	0.322	0.701	0.223	0.085	0.087	0.818
(10): Rio La China 3	0.746	0.33	0.202	0.105	0.265	0.466	0.486	0.894	0.424	0.146	0.157	0.885
(11): Rio La China 4	0.835	0.475	0.221	0.133	0.223	0.47	0.369	0.892	0.468	0.151	0.177	0.865
(12): Rio Alvarado 2	0.86	0.497	0.24	0.139	0.237	0.569	0.349	0.891	0.483	0.166	0.209	0.786
(13): Rio Totare 4	0.859	0.494	0.242	0.137	0.247	0.62	0.378	0.895	0.479	0.168	0.214	0.787
(14): Rio Chipalo 1	0.563	0.291	0.199	0.109	0.269	0.49	0.578	0.81	0.357	0.13	0.112	0.946
(15): Rio Chipalo 2	0.786	0.378	0.227	0.115	0.298	0.632	0.632	0.892	0.444	0.171	0.197	0.833
(16): Rio Totare 5	0.893	0.489	0.245	0.134	0.255	0.7	0.541	0.899	0.473	0.176	0.257	0.755
(17): Directos Magdalena Totare	0.845	0.483	0.249	0.135	0.272	0.666	0.553	0.898	0.47	0.183	0.217	0.815

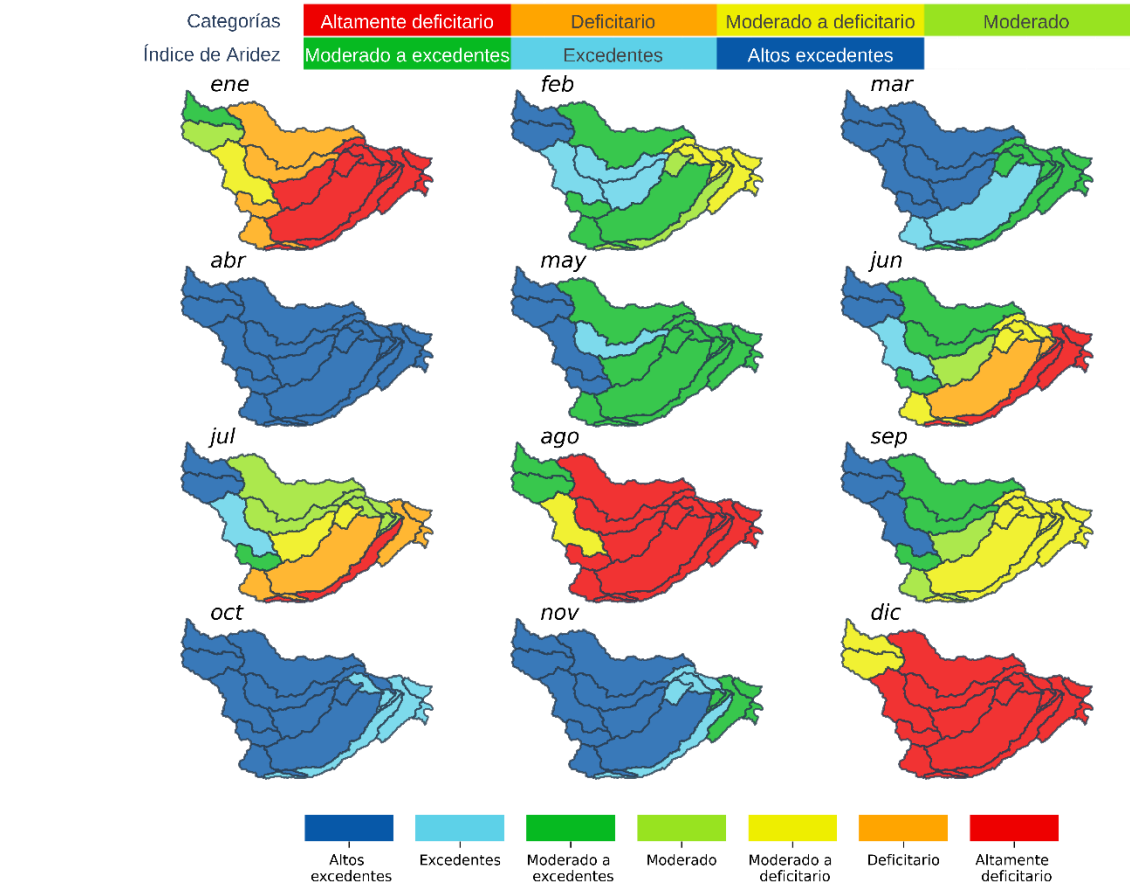


Figura 783. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Totare para año seco

Índice de Aridez para año húmedo en la SZH del río Totare

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Totare 1	0.13	0.045	0.033	0.027	0.041	0.044	0.032	0.104	0.048	0.039	0.026	0.036
(2): Rio Totarito	0.117	0.041	0.033	0.026	0.041	0.046	0.033	0.107	0.044	0.039	0.025	0.037
(3): Rio Totare 2	0.283	0.11	0.07	0.046	0.068	0.084	0.058	0.341	0.089	0.078	0.047	0.066
(4): Rio Totare 3	0.293	0.277	0.167	0.112	0.091	0.104	0.107	0.497	0.273	0.189	0.105	0.119
(5): Rio Alvarado 1	0.443	0.173	0.113	0.074	0.111	0.159	0.122	0.341	0.173	0.161	0.087	0.117
(6): Rio La China 1	0.302	0.091	0.051	0.039	0.05	0.065	0.049	0.121	0.079	0.061	0.047	0.052
(7): Rio San Romualdo	0.222	0.075	0.048	0.037	0.049	0.056	0.042	0.122	0.064	0.056	0.04	0.051
(8): Rio La China 2	0.415	0.126	0.084	0.062	0.091	0.143	0.118	0.258	0.146	0.124	0.068	0.089
(9): Rio Frio	0.243	0.086	0.055	0.045	0.06	0.074	0.055	0.236	0.089	0.071	0.047	0.058
(10): Rio La China 3	0.366	0.171	0.117	0.077	0.099	0.125	0.097	0.401	0.177	0.144	0.083	0.113
(11): Rio La China 4	0.321	0.243	0.16	0.102	0.097	0.113	0.11	0.47	0.252	0.184	0.103	0.126
(12): Rio Alvarado 2	0.37	0.27	0.18	0.106	0.108	0.131	0.128	0.497	0.264	0.217	0.118	0.157
(13): Rio Totare 4	0.38	0.261	0.179	0.104	0.112	0.136	0.131	0.493	0.26	0.221	0.12	0.17
(14): Rio Chipalo 1	0.375	0.143	0.076	0.052	0.081	0.117	0.069	0.29	0.103	0.104	0.065	0.071
(15): Rio Chipalo 2	0.44	0.218	0.14	0.083	0.121	0.156	0.116	0.461	0.185	0.195	0.107	0.152
(16): Rio Totare 5	0.451	0.319	0.209	0.106	0.116	0.155	0.154	0.557	0.244	0.277	0.147	0.23
(17): Directos Magdalena Totare	0.42	0.225	0.174	0.099	0.122	0.152	0.135	0.468	0.246	0.213	0.116	0.186

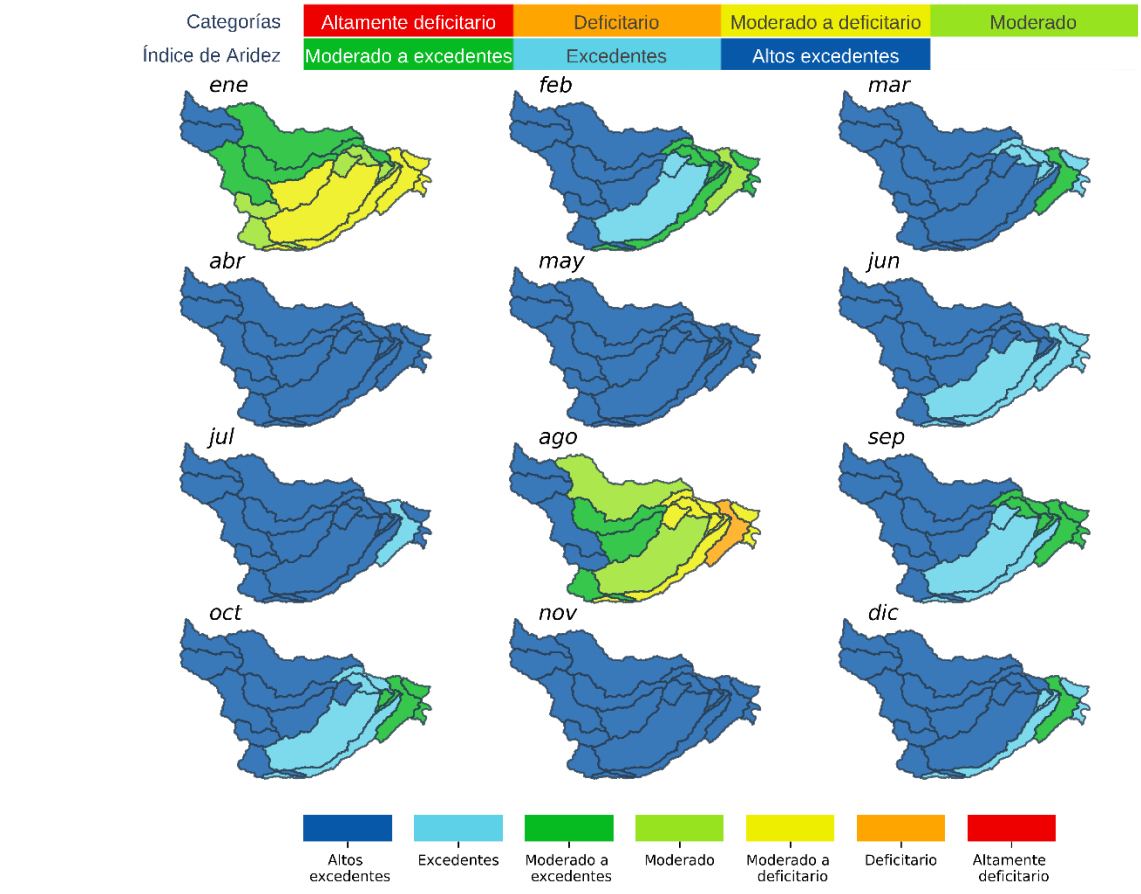


Figura 784. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Totare para año húmedo

38.1.3. IA en la subzona hidrográfica del río Opia

Las unidades de análisis (río Opia 1, quebrada Doima, río Opia 2 y drenajes directos al Magdalena) presentan excedentes y altos excedentes de humedad durante los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre del año medio, se identifica que toda la subzona hidrográfica es moderadamente deficitaria de humedad durante el mes de agosto, los meses restantes del año medio se presentan condiciones de humedad moderadas (Figura 785). Para el escenario de año seco, en estas unidades de análisis se identifica una condición altamente deficitaria de humedad en los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre que representan un 41% del año, en este mismo escenario, se evidencian excedentes de humedad únicamente durante el mes de abril y el resto del año condiciones moderadas, a excepción de septiembre, el cual alcanza una condición tendiente al déficit (Figura 786).

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades de análisis presentan excedentes de humedad durante el periodo de marzo a julio, en septiembre y noviembre, es decir el 59% del año. Mientras que enero y agosto son los meses más desfavorables presentando unidades deficitarias a moderadamente deficitarias (Figura 787).

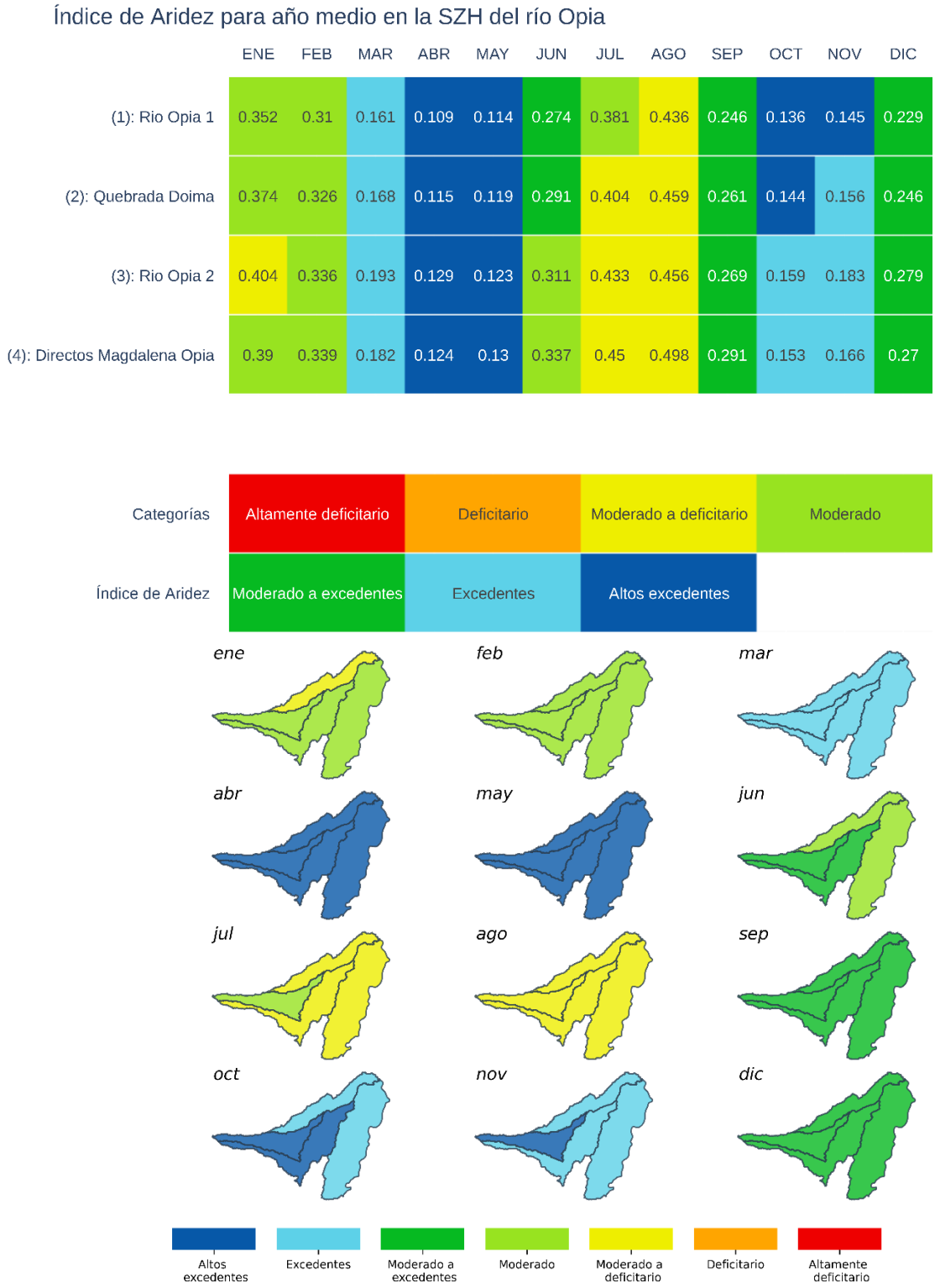


Figura 785. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Opia para año medio

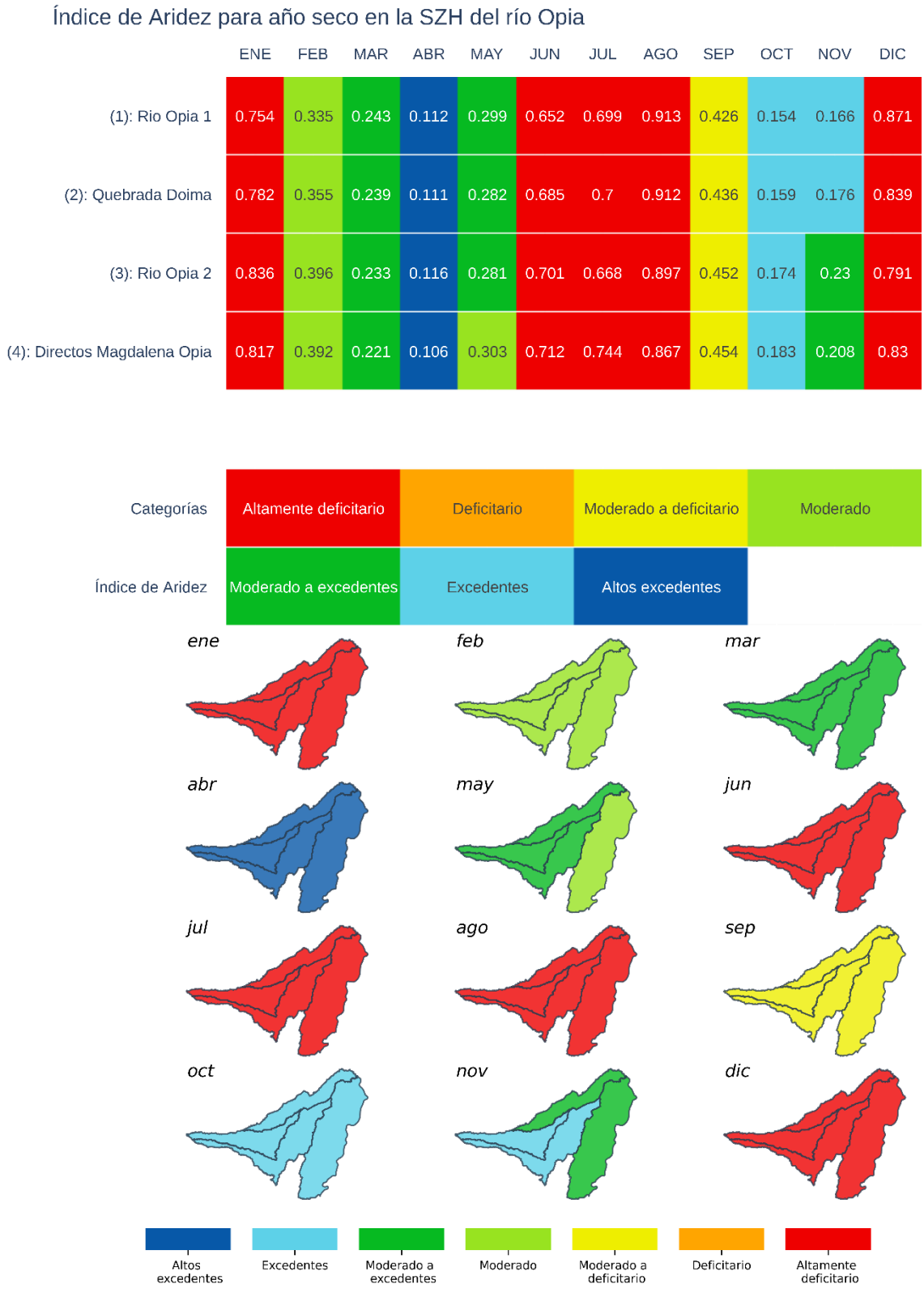


Figura 786. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Opia para año seco

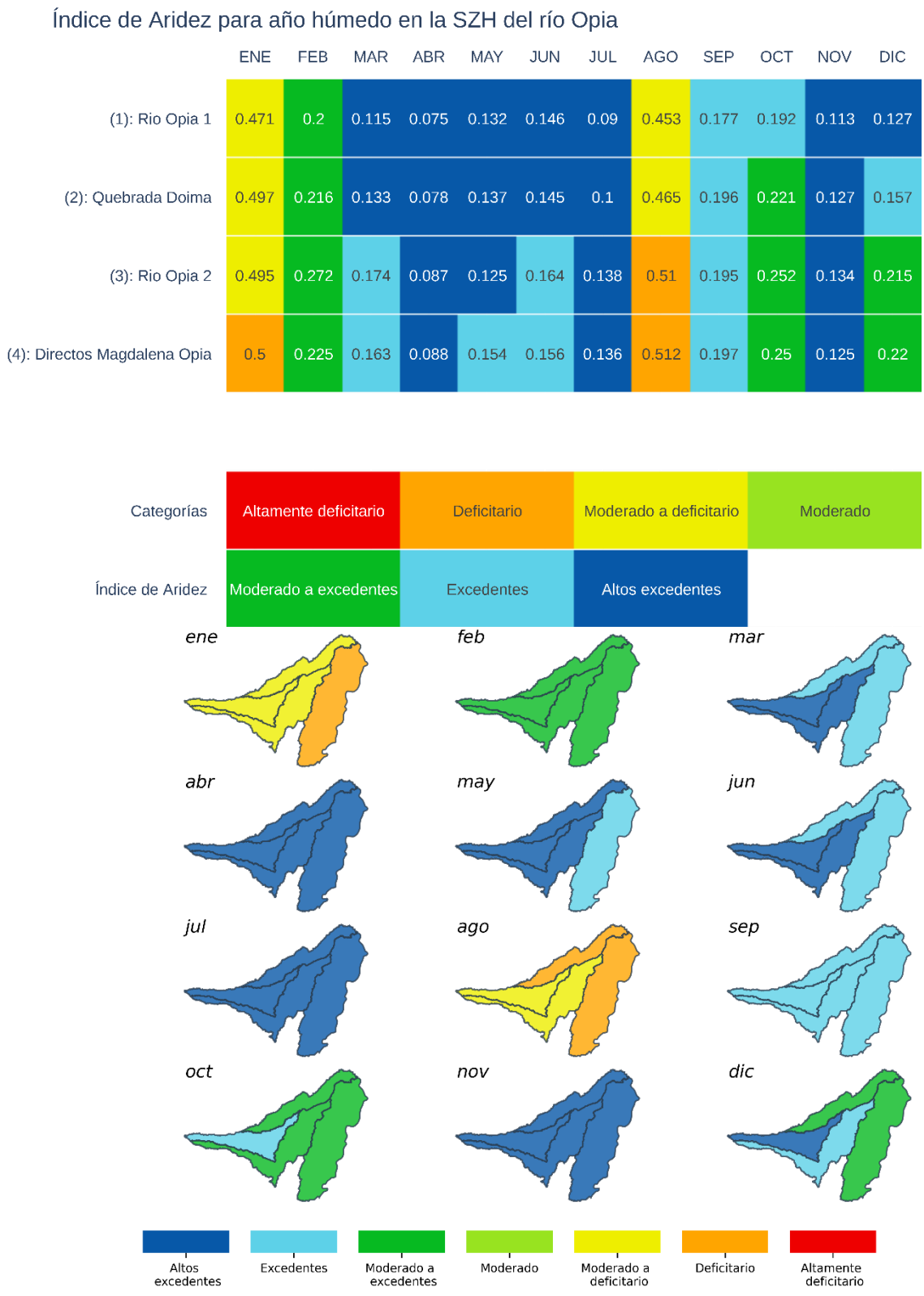


Figura 787. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Opia para año húmedo

38.1.4. IA en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

Las unidades de análisis de la parte alta y media de la subzona hidrográfica (río Recio 1, río Azul, río Recio 2, quebrada Santa Rosa, río Recio 3, río Yuca, río Recio 4, río Recio 5 y río Venadillo 1) presentan condición de moderada a excedentes y altos excedentes de humedad durante año medio (Figura 788). Para el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición de deficitaria a altamente deficitaria de humedad durante los meses de agosto, y diciembre, a excepción de las unidades río Recio 1 y río Azul de las cuales solamente río Azul presenta moderado déficit de humedad en el mes de diciembre, en este mismo escenario, dichas unidades de análisis evidencian excedentes de humedad en marzo, abril mayo, octubre y noviembre. Se observa que río Yuca, río Venadillo 1, río Recio 4 y río Recio 5 presentan altos déficit de humedad en el mes de enero de año seco (Figura 789).

Las unidades de análisis río Recio 6, río Venadillo 2, quebrada Tautau y drenajes directos al Magdalena evidencian una tendencia a presentar una condición de moderado y moderado a deficitario de humedad en año medio durante los meses de enero, febrero, julio, y agosto; manteniendo excedentes y altos excedentes de humedad en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre. Para el escenario de año seco, estas unidades hidrológicas alcanzan una categoría altamente deficitaria de humedad en los meses de enero, agosto y diciembre. Se identifica que febrero y septiembre llegna a ser de moderado a deficitario y los meses restantes tienden a presentar una condición que varía de moderada a altos excedentes de humedad.

Se observa que la parte baja de la subzona hidrográfica tiene una condición de moderada a deficitaria de humedad durante los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre en año medio. Para año seco, los meses de enero, junio, agosto y diciembre llegan a ser altamente deficitarios, y la condición más crítica en toda la SZH se alcanza en diciembre y agosto.

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Recio 1 y río Azul presentan excedentes de humedad durante todo el año (Figura 790); una condición similar se presenta en río Recio 2, quebrada Santa Rosa, río Recio 3 y río Recio 4, con la diferencia que, los meses de enero y agosto alcanza una condición de moderada a deficitaria en éstas últimas unidades (). Mientras que en la parte baja de la SZH, enero y agosto son los meses más desfavorables presentando unidades moderadamente deficitarias de humedad.

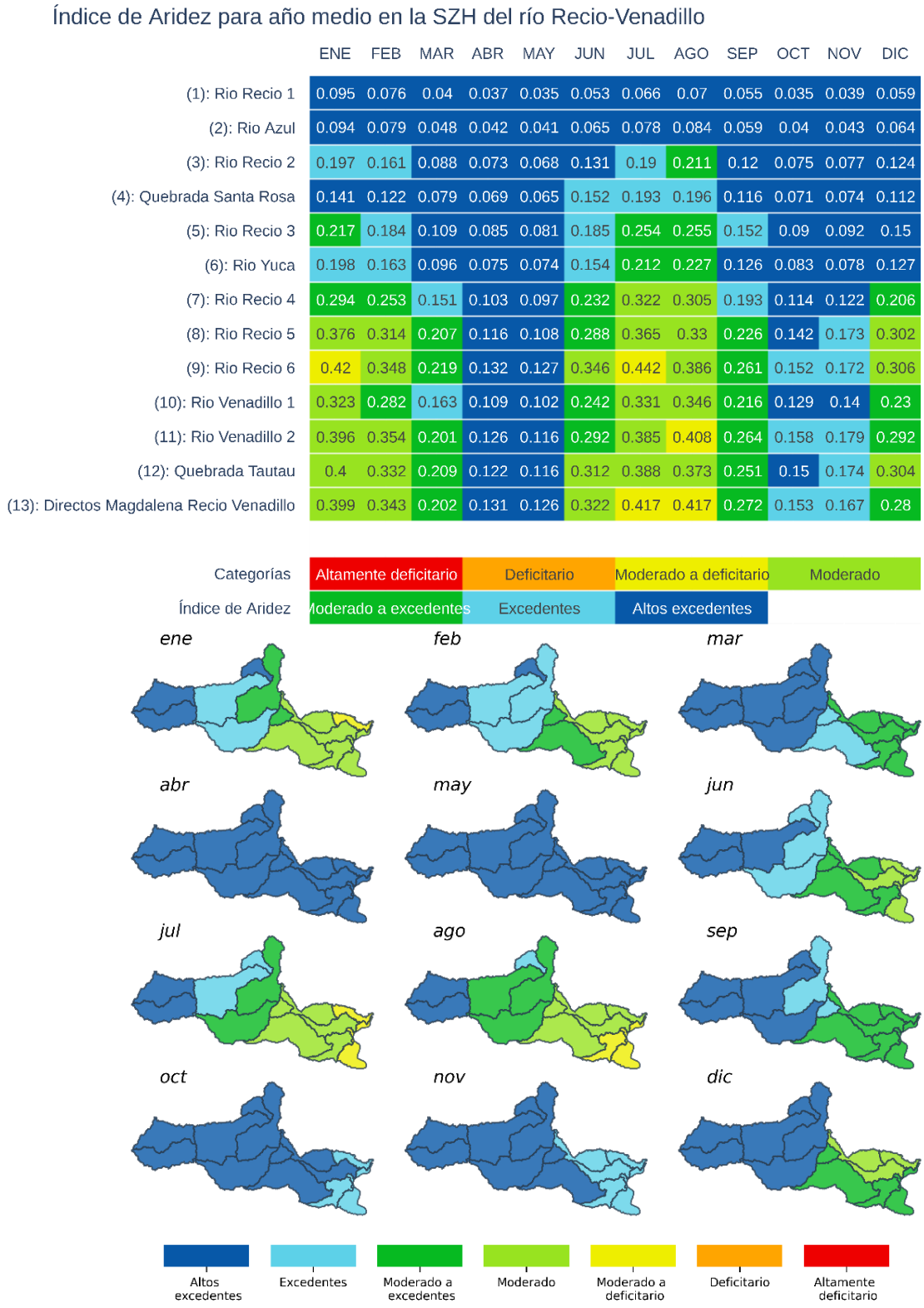


Figura 788. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo para año medio

Índice de Aridez para año seco en la SZH del río Recio-Venadillo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Recio 1	0.234	0.106	0.084	0.055	0.079	0.147	0.122	0.322	0.094	0.055	0.048	0.378
(2): Rio Azul	0.281	0.104	0.084	0.054	0.089	0.15	0.136	0.37	0.106	0.059	0.054	0.474
(3): Rio Recio 2	0.519	0.229	0.135	0.081	0.157	0.341	0.354	0.687	0.296	0.141	0.162	0.849
(4): Quebrada Santa Rosa	0.159	0.146	0.115	0.063	0.16	0.526	0.588	0.832	0.426	0.146	0.147	0.782
(5): Rio Recio 3	0.442	0.246	0.16	0.084	0.209	0.465	0.495	0.82	0.372	0.152	0.148	0.812
(6): Rio Yuca	0.654	0.241	0.163	0.072	0.225	0.276	0.351	0.731	0.309	0.143	0.143	0.723
(7): Rio Recio 4	0.716	0.324	0.212	0.102	0.235	0.55	0.528	0.899	0.38	0.163	0.158	0.887
(8): Rio Recio 5	0.886	0.518	0.26	0.132	0.172	0.729	0.525	0.978	0.441	0.161	0.157	0.925
(9): Rio Recio 6	0.897	0.588	0.305	0.154	0.24	0.752	0.611	0.947	0.4	0.208	0.156	0.924
(10): Rio Venadillo 1	0.806	0.429	0.215	0.12	0.216	0.504	0.422	0.898	0.427	0.149	0.155	0.847
(11): Rio Venadillo 2	0.892	0.59	0.25	0.154	0.207	0.61	0.361	0.917	0.495	0.165	0.173	0.882
(12): Quebrada Tautau	0.899	0.58	0.267	0.145	0.195	0.715	0.493	0.955	0.47	0.176	0.159	0.905
(13): Directos Magdalena Recio Venadillo	0.857	0.527	0.266	0.143	0.262	0.674	0.529	0.918	0.455	0.192	0.184	0.879

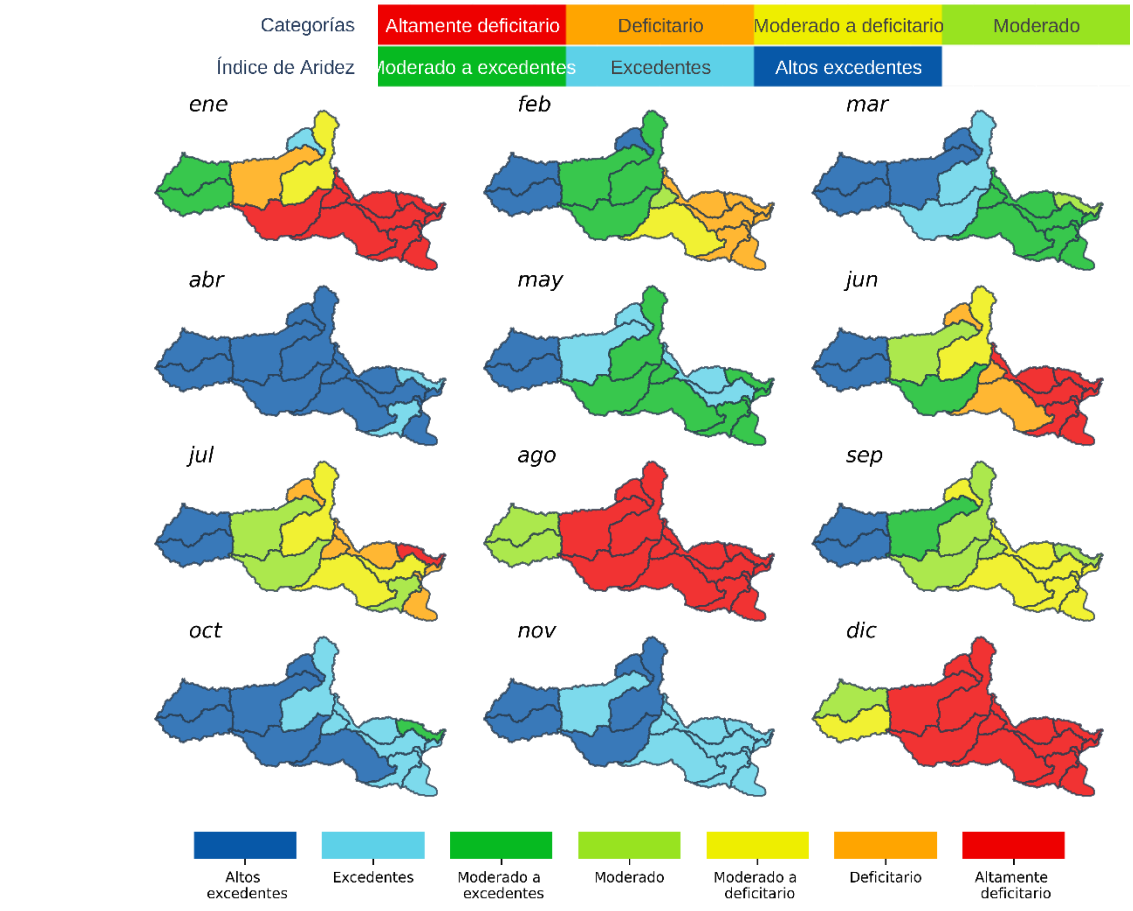


Figura 789. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo para año seco

Índice de Aridez para año húmedo en la SZH del río Recio-Venadillo

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Recio 1	0.194	0.03	0.024	0.024	0.036	0.041	0.028	0.196	0.027	0.046	0.018	0.035
(2): Rio Azul	0.151	0.041	0.031	0.027	0.041	0.047	0.033	0.148	0.036	0.044	0.023	0.039
(3): Rio Recio 2	0.308	0.097	0.062	0.051	0.069	0.072	0.054	0.287	0.069	0.078	0.044	0.073
(4): Quebrada Santa Rosa	0.212	0.083	0.069	0.064	0.057	0.079	0.047	0.166	0.069	0.084	0.055	0.078
(5): Rio Recio 3	0.301	0.109	0.086	0.066	0.078	0.1	0.068	0.267	0.1	0.096	0.06	0.094
(6): Rio Yuca	0.414	0.14	0.074	0.05	0.066	0.076	0.053	0.42	0.079	0.074	0.045	0.072
(7): Rio Recio 4	0.372	0.132	0.129	0.084	0.095	0.133	0.09	0.283	0.173	0.126	0.082	0.141
(8): Rio Recio 5	0.372	0.132	0.235	0.135	0.103	0.145	0.124	0.262	0.324	0.195	0.135	0.311
(9): Rio Recio 6	0.475	0.149	0.181	0.113	0.129	0.139	0.128	0.335	0.309	0.204	0.142	0.327
(10): Rio Venadillo 1	0.334	0.188	0.154	0.099	0.093	0.113	0.1	0.39	0.227	0.158	0.095	0.139
(11): Rio Venadillo 2	0.334	0.254	0.199	0.129	0.104	0.115	0.127	0.452	0.325	0.218	0.126	0.187
(12): Quebrada Tautau	0.37	0.15	0.208	0.125	0.109	0.124	0.13	0.323	0.311	0.207	0.13	0.278
(13): Directos Magdalena Recio Venadillo	0.414	0.189	0.17	0.104	0.121	0.141	0.127	0.41	0.266	0.199	0.118	0.207

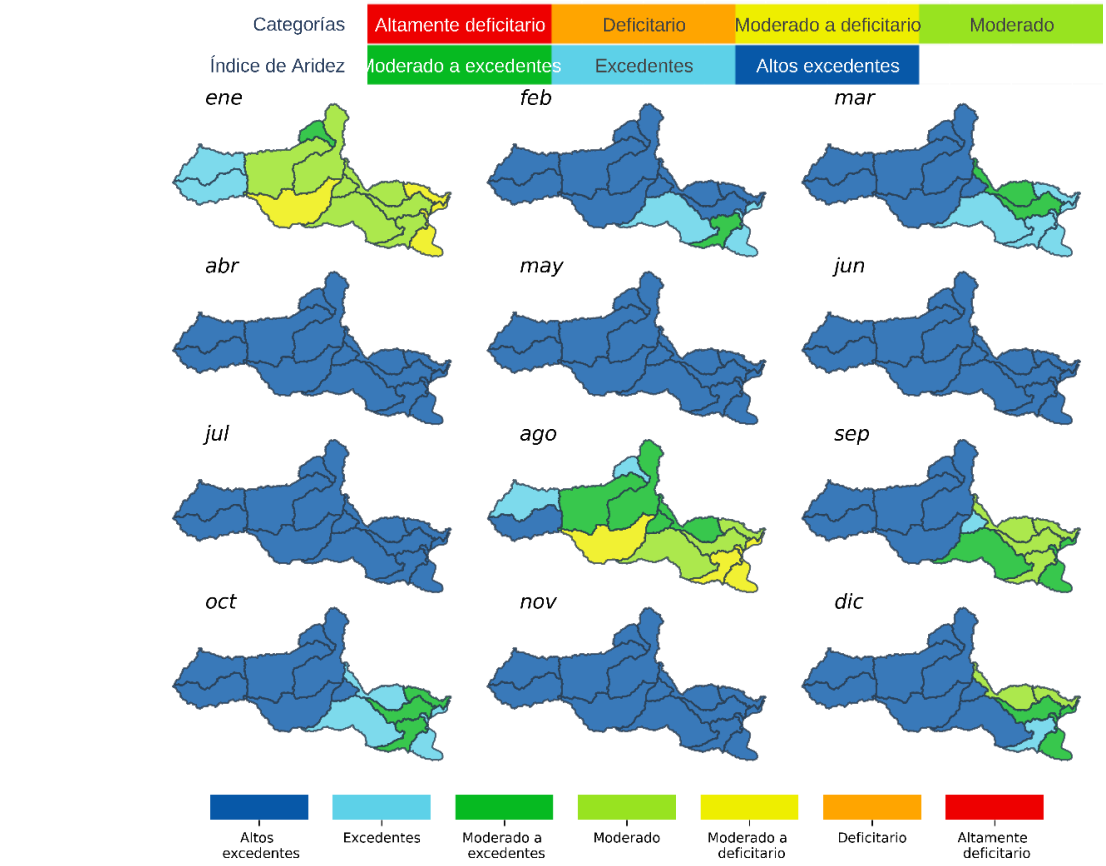


Figura 790. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo para año húmedo

38.1.5. IA en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

Las unidades de análisis de la parte alta y media de la subzona hidrográfica (río Lagunilla 1, río Vallecitos, río Lagunilla 2, río Azufrado, y río lagunilla 3) presentan excedentes y altos excedentes de humedad durante año medio (Figura 791). Para el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición deficitaria y altamente deficitaria de humedad en los meses de agosto, y diciembre (Figura 792), en este mismo escenario, dichas unidades de análisis evidencian excedentes de humedad en marzo, abril mayo, octubre y noviembre. En los meses de junio, julio y septiembre de año seco se identifican condiciones moderadas de humedad en las unidades río Lagunilla 1, río Vallecitos, y río Azufrado (parte alta de la SZH) y se observan condiciones deficitarias de humedad para este mismo periodo en las unidades río Lagunilla 2 y río Lagunilla 3 (parte media de la SZH).

Las unidades de análisis río Lagunilla 4, río Bledo, río Lagunilla 5, quebrada Palmas, río Lagunilla 6, quebrada la Joya, y río Lagunilla 7 evidencian una tendencia a presentar una condición de moderado y moderado a excedentes de humedad en año medio durante los meses de enero, febrero, agosto, y septiembre; manteniendo excedentes y altos excedentes de humedad en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre (Figura 791). Para el escenario de año seco (Figura 792), estas unidades hidrológicas alcanzan una categoría altamente deficitaria de humedad en los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre. Se identifica que marzo y septiembre llegan a ser de moderado a deficitario y la unidad drenajes directos al Magdalena tiende a presentar una condición deficitaria de humedad la mayor parte de año seco.

Se observa que la parte baja de la subzona hidrográfica tiene una condición de moderada a deficitaria de humedad durante los meses de enero, febrero, junio, julio, y agosto en año medio (Figura 791). Para año seco, los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre llegan a ser altamente deficitarios, y la condición más crítica en toda la SZH se alcanza en diciembre y agosto (Figura 792).

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Lagunilla 1, río Vallecitos, río Lagunilla 2, río Azufrado, y río lagunilla 3 presentan excedentes de humedad durante al menos 10 meses del año; una condición similar se presenta en río Lagunilla 4 y río Bledo, con la diferencia que, en el mes de septiembre éstas últimas unidades alcanzan una condición de moderada a excedentes de humedad (Figura 793). Mientras que en la parte baja de la SZH, enero es el mes más desfavorable presentando unidades moderadamente deficitarias de humedad.

Índice de Aridez para año medio en la SZH del río Lagunilla

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Lagunilla 1	0.155	0.121	0.069	0.057	0.053	0.096	0.143	0.168	0.096	0.054	0.059	0.097
(2): Rio Vallecitos	0.188	0.147	0.076	0.065	0.057	0.098	0.149	0.178	0.1	0.063	0.068	0.111
(3): Rio Lagunilla 2	0.151	0.124	0.079	0.069	0.065	0.136	0.189	0.193	0.113	0.067	0.07	0.107
(4): Rio Azufrado	0.132	0.103	0.072	0.065	0.059	0.123	0.185	0.176	0.101	0.058	0.06	0.09
(5): Rio Lagunilla 3	0.186	0.158	0.102	0.084	0.078	0.189	0.259	0.236	0.142	0.082	0.084	0.133
(6): Rio Lagunilla 4	0.326	0.29	0.176	0.114	0.11	0.292	0.388	0.321	0.22	0.123	0.133	0.233
(7): Rio Bledo	0.307	0.272	0.165	0.106	0.1	0.257	0.351	0.295	0.201	0.119	0.134	0.23
(8): Rio Lagunilla 5	0.377	0.337	0.203	0.118	0.115	0.315	0.411	0.323	0.242	0.141	0.166	0.289
(9): Quebrada Palmas	0.381	0.34	0.209	0.119	0.115	0.314	0.414	0.327	0.244	0.143	0.17	0.293
(10): Rio Lagunilla 6	0.371	0.326	0.198	0.122	0.121	0.324	0.422	0.356	0.252	0.136	0.149	0.257
(11): Quebrada La Joya	0.394	0.339	0.208	0.121	0.118	0.318	0.422	0.353	0.251	0.144	0.165	0.287
(12): Rio Lagunilla 7	0.377	0.324	0.198	0.128	0.129	0.34	0.44	0.374	0.265	0.136	0.145	0.256
(13): Directos Magdalena Lagunilla	0.434	0.357	0.225	0.138	0.137	0.368	0.478	0.401	0.271	0.149	0.165	0.303

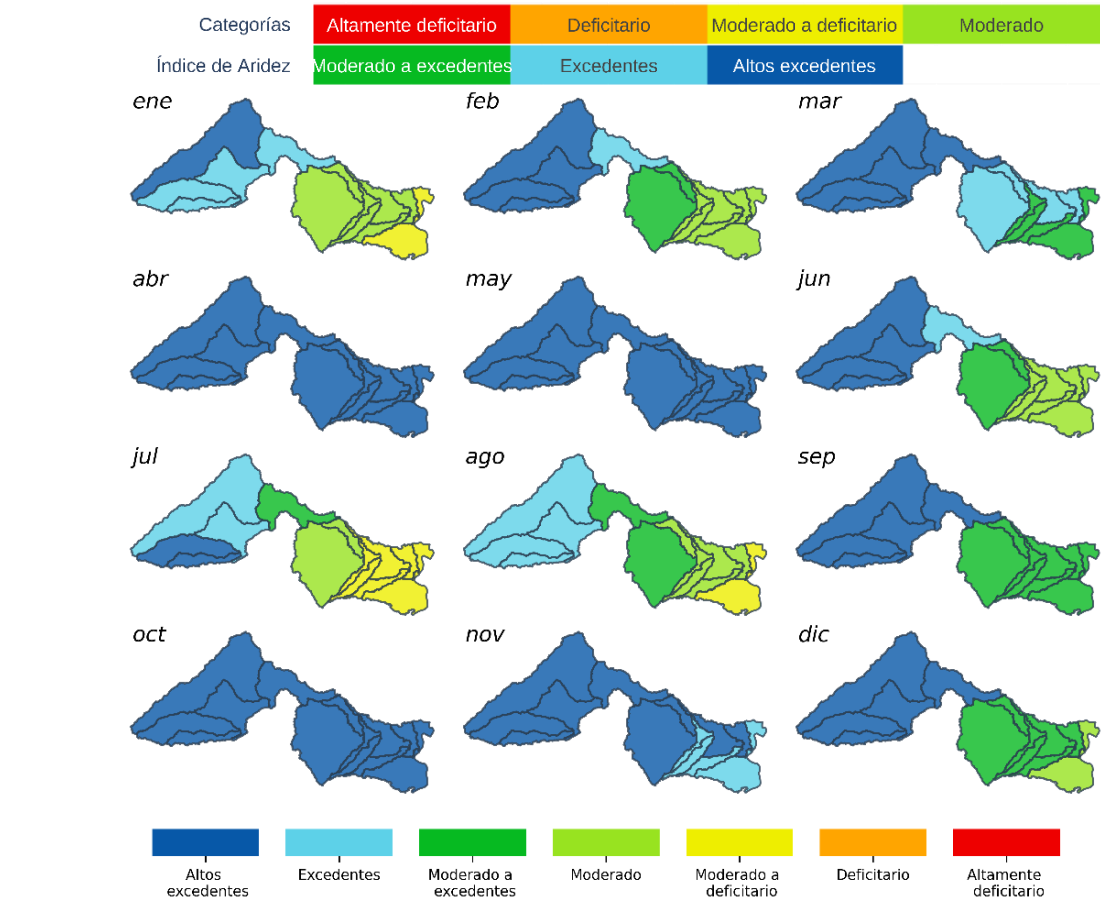


Figura 791. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Lagunilla para año medio

Índice de Aridez para año seco en la SZH del río Lagunilla

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Lagunilla 1	0.554	0.331	0.238	0.135	0.134	0.356	0.305	0.609	0.243	0.164	0.118	0.629
(2): Rio Vallecitos	0.622	0.264	0.148	0.1	0.119	0.314	0.262	0.594	0.24	0.149	0.191	0.816
(3): Rio Lagunilla 2	0.313	0.183	0.114	0.076	0.153	0.408	0.448	0.757	0.333	0.133	0.146	0.719
(4): Rio Azufrado	0.437	0.188	0.114	0.088	0.146	0.316	0.38	0.704	0.254	0.105	0.127	0.567
(5): Rio Lagunilla 3	0.348	0.231	0.13	0.08	0.206	0.475	0.547	0.823	0.381	0.151	0.149	0.722
(6): Rio Lagunilla 4	0.715	0.407	0.234	0.1	0.285	0.67	0.641	0.904	0.443	0.223	0.174	0.814
(7): Rio Bledo	0.684	0.308	0.232	0.099	0.225	0.646	0.594	0.917	0.375	0.188	0.164	0.892
(8): Rio Lagunilla 5	0.838	0.349	0.291	0.11	0.232	0.722	0.623	0.95	0.382	0.22	0.181	0.933
(9): Quebrada Palmas	0.857	0.361	0.29	0.115	0.204	0.731	0.621	0.957	0.383	0.211	0.171	0.94
(10): Rio Lagunilla 6	0.797	0.436	0.262	0.12	0.277	0.688	0.637	0.919	0.427	0.217	0.169	0.883
(11): Quebrada La Joya	0.857	0.438	0.284	0.126	0.229	0.721	0.625	0.945	0.4	0.212	0.157	0.918
(12): Rio Lagunilla 7	0.804	0.453	0.264	0.127	0.289	0.694	0.649	0.912	0.422	0.221	0.169	0.884
(13): Directos Magdalena Lagunilla	0.893	0.616	0.328	0.165	0.279	0.778	0.693	0.938	0.369	0.233	0.155	0.927

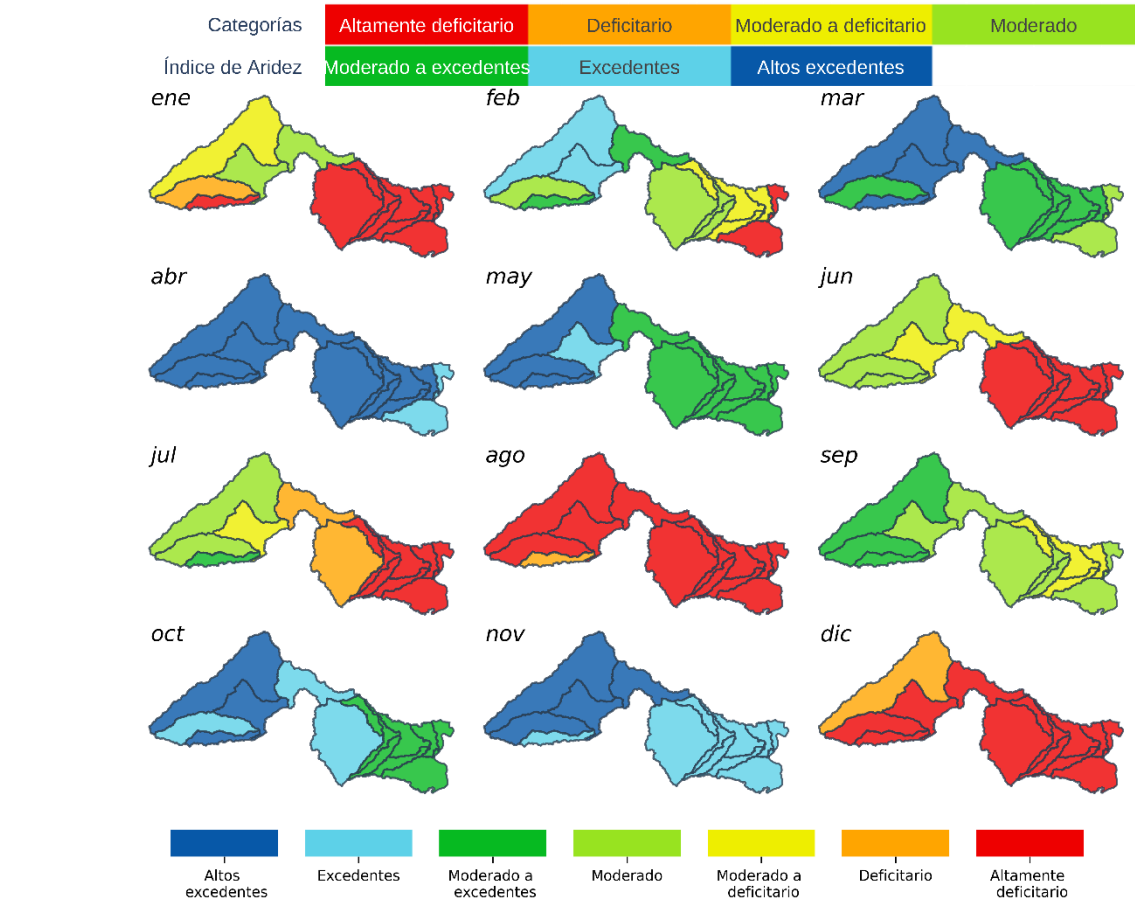


Figura 792. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Lagunilla para año seco

Índice de Aridez para año húmedo en la SZH del río Lagunilla

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Lagunilla 1	0.3	0.057	0.049	0.037	0.063	0.071	0.06	0.331	0.053	0.069	0.034	0.12
(2): Rio Vallecitos	0.319	0.081	0.047	0.042	0.065	0.062	0.051	0.306	0.055	0.07	0.034	0.069
(3): Rio Lagunilla 2	0.199	0.075	0.061	0.054	0.064	0.08	0.055	0.213	0.066	0.078	0.045	0.071
(4): Rio Azufrado	0.149	0.057	0.053	0.045	0.062	0.085	0.063	0.242	0.058	0.069	0.037	0.06
(5): Rio Lagunilla 3	0.215	0.089	0.079	0.067	0.077	0.107	0.074	0.228	0.09	0.09	0.055	0.083
(6): Rio Lagunilla 4	0.399	0.128	0.127	0.09	0.117	0.18	0.122	0.287	0.212	0.126	0.091	0.183
(7): Rio Bledo	0.395	0.123	0.137	0.093	0.106	0.182	0.107	0.243	0.222	0.126	0.103	0.213
(8): Rio Lagunilla 5	0.491	0.137	0.15	0.102	0.129	0.246	0.136	0.26	0.321	0.138	0.141	0.337
(9): Quebrada Palmas	0.484	0.136	0.163	0.104	0.128	0.232	0.133	0.258	0.323	0.146	0.141	0.34
(10): Rio Lagunilla 6	0.439	0.14	0.139	0.095	0.126	0.185	0.127	0.307	0.249	0.144	0.106	0.224
(11): Quebrada La Joya	0.457	0.142	0.16	0.104	0.124	0.183	0.129	0.291	0.293	0.157	0.126	0.282
(12): Rio Lagunilla 7	0.437	0.144	0.138	0.096	0.127	0.172	0.125	0.34	0.241	0.154	0.099	0.201
(13): Directos Magdalena Lagunilla	0.555	0.147	0.164	0.107	0.145	0.151	0.126	0.357	0.299	0.212	0.153	0.37

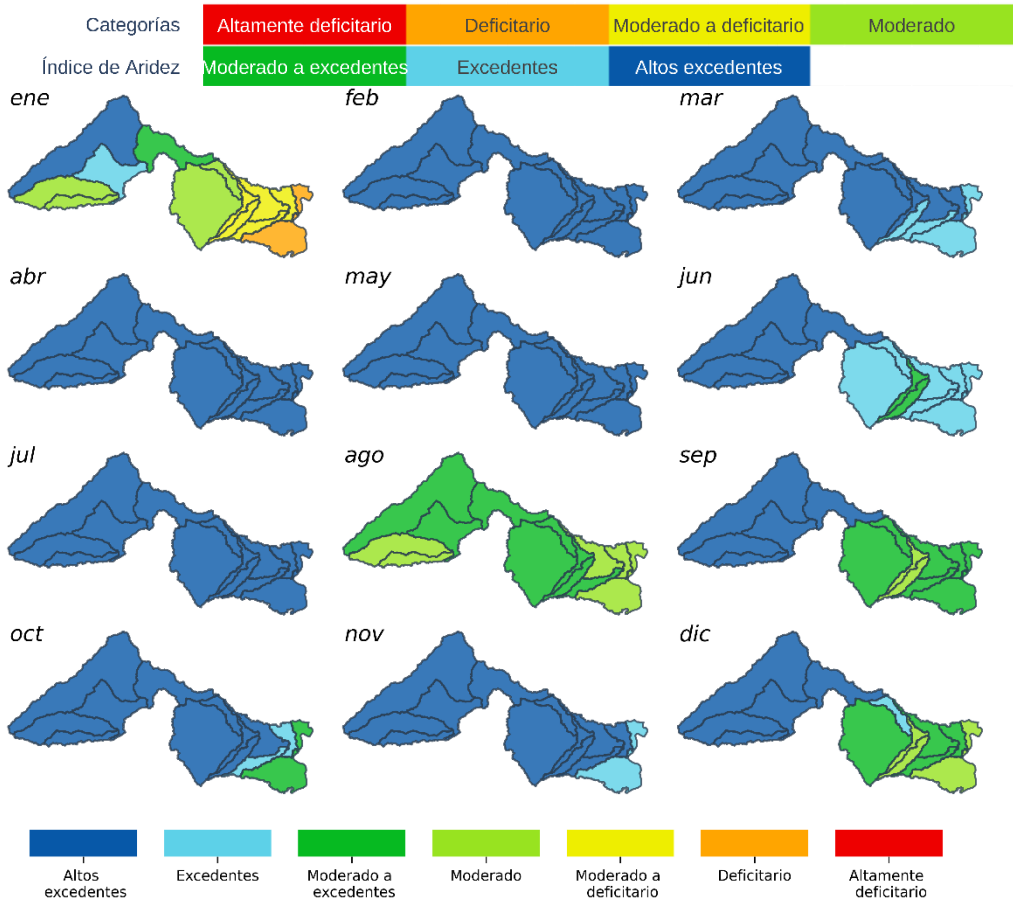


Figura 793. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Lagunilla para año húmedo

38.1.6. IA en la subzona hidrográfica del río Sabandija

Las unidades de análisis de la parte alta de la subzona hidrográfica (río Sabandija 1 y río Cuamo) presentan excedentes y altos excedentes de humedad en la mayoría de los meses para año medio (Figura 794). En el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición deficitaria y altamente deficitaria de humedad en los meses de enero, julio, agosto, y diciembre (Figura 795). En este mismo escenario, dichas unidades de análisis evidencian excedentes de humedad en marzo, abril, octubre y noviembre. En los meses de febrero, junio y septiembre de año seco se identifican condiciones moderadas de humedad.

Las unidades de análisis río Sabandija 2, quebrada seca y drenajes directos al Magdalena evidencian una tendencia a presentar una condición de moderado y moderado a excedentes de humedad en año medio durante los meses de enero, febrero, junio, y agosto; manteniendo excedentes y altos excedentes de humedad en los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre (Figura 794). Para el escenario de año seco, estas unidades hidrológicas alcanzan una categoría altamente deficitaria de humedad en los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre. Se identifica que febrero, mayo y septiembre llegan a ser de moderado a deficitario (Figura 795).

Se observa que la parte baja de la subzona hidrográfica tiene una condición de moderada a deficitaria de humedad durante los meses de enero, febrero, junio, julio, y agosto en año medio. Para año seco, los meses de enero, junio, julio, agosto y diciembre llegan a ser altamente deficitarios, y la condición más crítica en toda la SZH se alcanza en diciembre y agosto de año seco.

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Sabandija 1 y río Cuamo presentan excedentes de humedad durante al menos 10 meses del año; una condición similar se presenta en la parte baja de la SZH (río Sabandija 2, quebrada Seca y drenajes directos al Magdalena), con la diferencia que, se reduce más la humedad disponible en enero y junio (Figura 796).

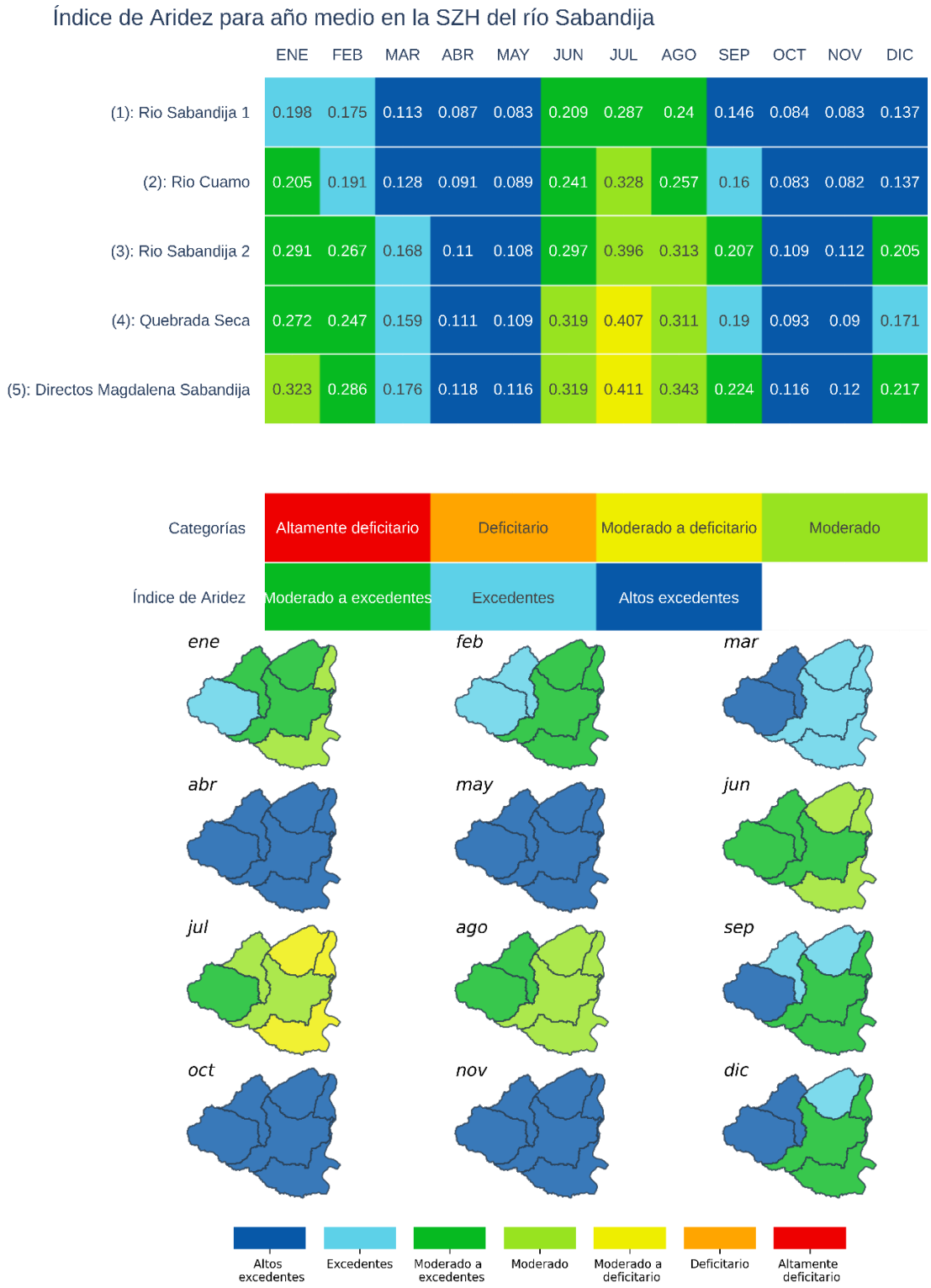


Figura 794. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Sabandija para año medio

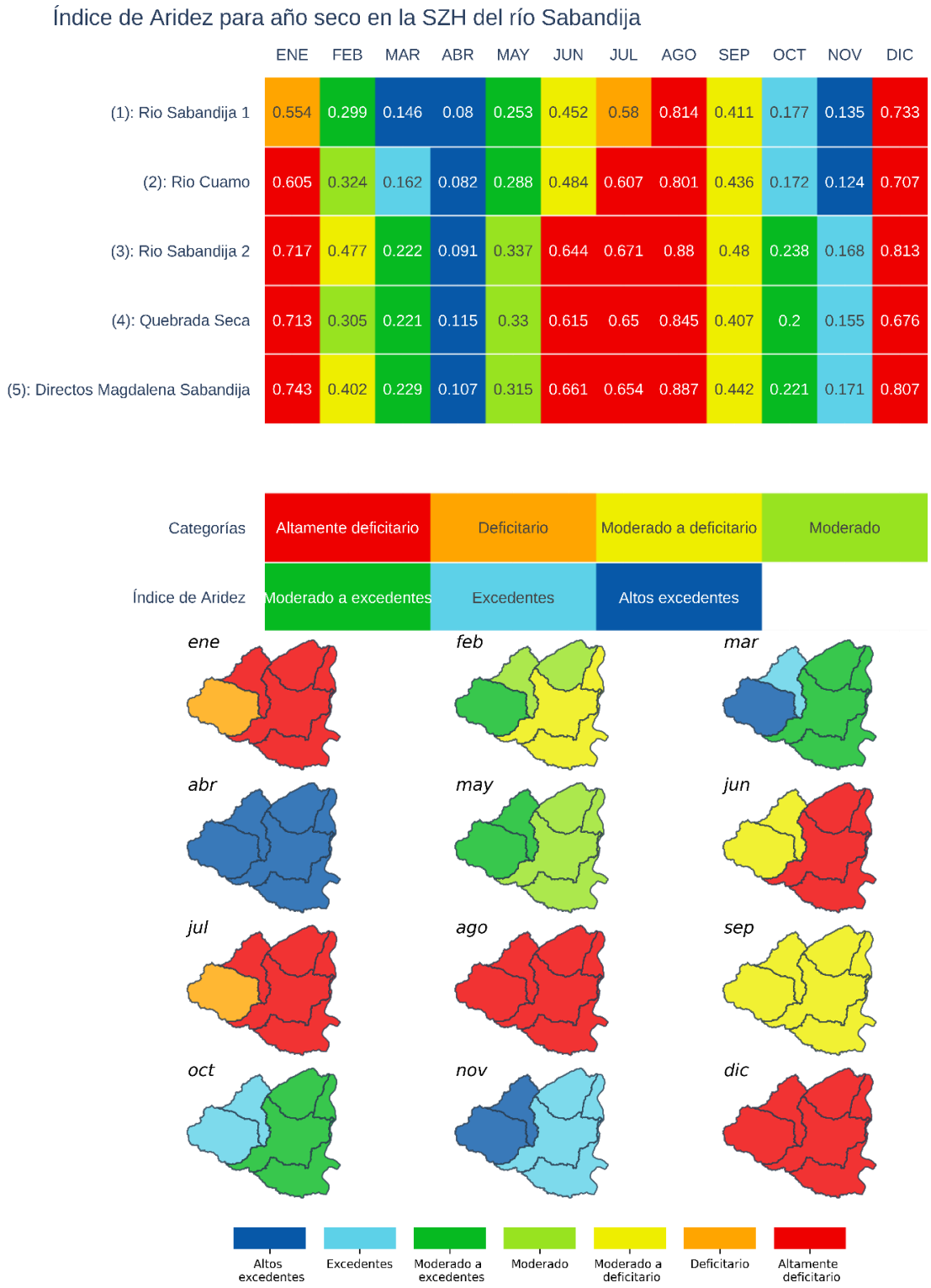


Figura 795. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Sabandija para año seco

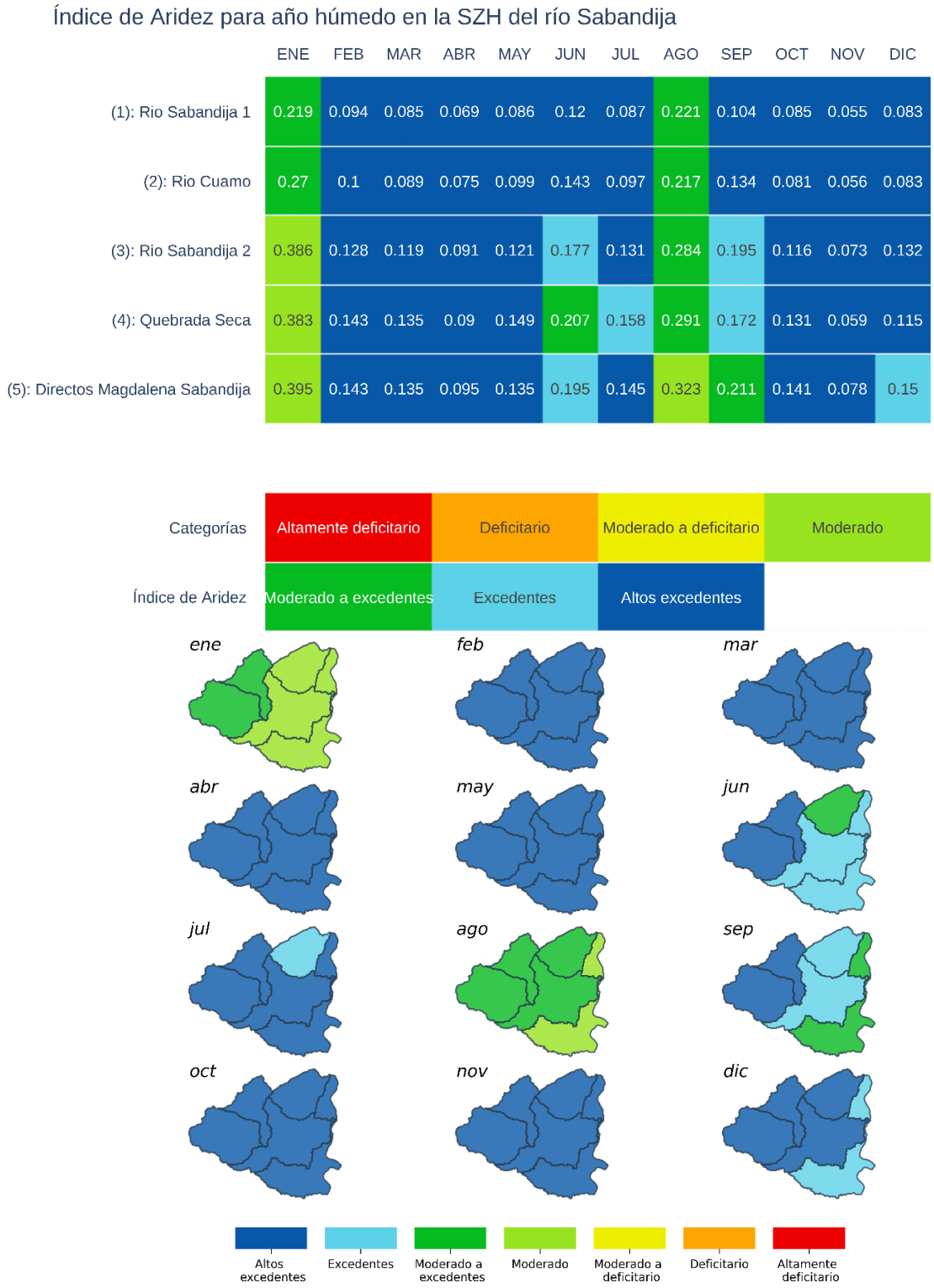


Figura 796. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Sabandija para año húmedo

38.1.7. IA en la subzona hidrográfica del río Gualí

Esta subzona hidrográfica presenta excedentes y altos excedentes de humedad en el escenario de año medio durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre; a excepción de la unidad de análisis drenajes directos al Magdalena, que para los meses de enero y febrero presenta una categoría de índice moderado a excedentes (Figura 797). Para los meses de junio, julio y agosto se reducen los volúmenes de humedad en la subzona alcanzando valores de altos excedentes en la parte alta hasta valores de moderado a deficitario en las partes bajas de la subzona hidrográfica.

Para el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición deficitaria y altamente deficitaria de humedad en el mes de agosto (Figura 798), y valores desde altamente deficitarios a moderado en el mes de diciembre. Se evidencian excedentes de humedad en los meses de febrero, marzo, abril, y noviembre en toda la subzona hidrográfica, a excepción de los drenajes directos al Magdalena que presentan una condición altamente deficitaria y deficitaria durante 5 meses del año seco.

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Gualí 1, río Cajones, río Aguacatal, río Gualí 3, quebrada El Guarumo, quebrada Agua de Dios, río Gualí 4, río Gualí 5, quebrada San José, río Gualí 6, quebrada Nicua, río Gualí 7, río Sucio, río Gualí 8 y río Medina presentan altos excedentes de humedad durante 11 meses del año; y excedentes de humedad el mes restante de año húmedo, las únicas unidades de análisis que presentan al menos un mes con moderado índice de Aridez son río Gualí 2, río Gualí 9 y los drenajes directos al Magdalena (Figura 799).

Índice de Aridez para año medio en la SZH del río GUALI

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Guali 1	0.118	0.1	0.067	0.057	0.053	0.096	0.129	0.136	0.085	0.049	0.053	0.08
(2): Rio Cajones	0.129	0.111	0.074	0.063	0.059	0.11	0.15	0.156	0.096	0.056	0.057	0.086
(3): Rio Guali 2	0.143	0.115	0.081	0.075	0.069	0.149	0.216	0.196	0.112	0.066	0.066	0.097
(4): Rio Aguacatal	0.126	0.11	0.074	0.066	0.061	0.119	0.164	0.161	0.097	0.058	0.058	0.086
(5): Rio Guali 3	0.147	0.122	0.084	0.078	0.072	0.162	0.226	0.202	0.115	0.07	0.067	0.099
(6): Quebrada El Guarumo	0.123	0.106	0.073	0.068	0.064	0.136	0.187	0.167	0.097	0.061	0.058	0.084
(7): Quebrada Agua de Dios	0.136	0.113	0.079	0.073	0.068	0.154	0.216	0.188	0.107	0.066	0.064	0.093
(8): Rio Guali 4	0.135	0.112	0.078	0.074	0.07	0.164	0.214	0.186	0.106	0.069	0.063	0.092
(9): Rio Guali 5	0.148	0.121	0.083	0.079	0.075	0.183	0.23	0.202	0.114	0.074	0.068	0.1
(10): Quebrada San Jose	0.14	0.118	0.081	0.074	0.07	0.163	0.221	0.191	0.11	0.069	0.065	0.095
(11): Rio Guali 6	0.139	0.119	0.081	0.076	0.073	0.179	0.225	0.191	0.109	0.07	0.063	0.093
(12): Quebrada Nicua	0.131	0.115	0.079	0.074	0.071	0.176	0.221	0.185	0.105	0.068	0.06	0.088
(13): Rio Guali 7	0.147	0.14	0.097	0.079	0.077	0.204	0.283	0.21	0.126	0.066	0.061	0.09
(14): Rio Sucio	0.114	0.112	0.078	0.071	0.068	0.167	0.226	0.174	0.104	0.06	0.054	0.077
(15): Rio Guali 8	0.117	0.129	0.088	0.073	0.073	0.195	0.286	0.182	0.118	0.057	0.05	0.075
(16): Rio Medina	0.095	0.097	0.069	0.065	0.063	0.148	0.2	0.152	0.092	0.054	0.048	0.067
(17): Rio Guali 9	0.181	0.179	0.119	0.089	0.089	0.254	0.342	0.24	0.148	0.071	0.065	0.111
(18): Directos Magdalena Gualí	0.3	0.267	0.169	0.115	0.116	0.359	0.444	0.319	0.189	0.089	0.085	0.178

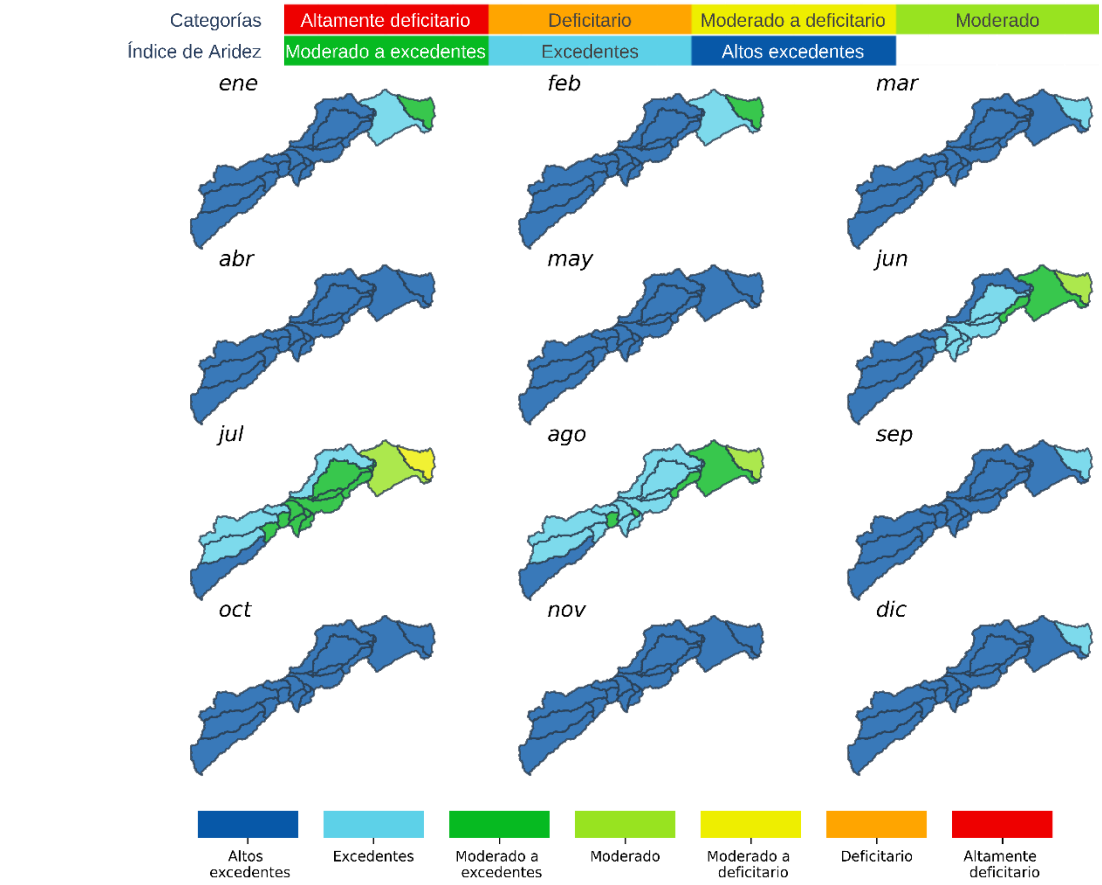


Figura 797. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Gualí para año medio

Índice de Aridez para año seco en la SZH del río GUALI

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Guali 1	0.347	0.141	0.119	0.075	0.141	0.277	0.236	0.543	0.181	0.079	0.076	0.434
(2): Rio Cajones	0.378	0.153	0.111	0.076	0.165	0.319	0.293	0.631	0.206	0.088	0.083	0.515
(3): Rio Guali 2	0.468	0.178	0.095	0.085	0.18	0.31	0.44	0.732	0.295	0.112	0.13	0.615
(4): Rio Aguacatal	0.383	0.15	0.102	0.075	0.166	0.309	0.322	0.655	0.226	0.094	0.087	0.549
(5): Rio Guali 3	0.475	0.182	0.101	0.084	0.214	0.288	0.499	0.736	0.354	0.141	0.123	0.629
(6): Quebrada El Guarumo	0.423	0.156	0.09	0.074	0.184	0.261	0.426	0.679	0.29	0.123	0.094	0.593
(7): Quebrada Agua de Dios	0.457	0.171	0.094	0.079	0.203	0.267	0.506	0.741	0.354	0.14	0.119	0.617
(8): Rio Guali 4	0.464	0.169	0.1	0.079	0.252	0.218	0.593	0.759	0.45	0.21	0.107	0.591
(9): Rio Guali 5	0.488	0.185	0.111	0.084	0.296	0.212	0.694	0.777	0.55	0.283	0.113	0.648
(10): Quebrada San Jose	0.47	0.179	0.103	0.079	0.225	0.249	0.555	0.765	0.405	0.167	0.113	0.643
(11): Rio Guali 6	0.467	0.169	0.108	0.078	0.286	0.215	0.699	0.758	0.552	0.302	0.098	0.613
(12): Quebrada Nicua	0.441	0.146	0.099	0.074	0.282	0.208	0.704	0.741	0.552	0.305	0.089	0.571
(13): Rio Guali 7	0.456	0.144	0.105	0.077	0.216	0.439	0.572	0.682	0.352	0.106	0.086	0.509
(14): Rio Sucio	0.393	0.122	0.088	0.071	0.211	0.316	0.573	0.606	0.393	0.163	0.075	0.472
(15): Rio Guali 8	0.413	0.129	0.089	0.072	0.189	0.588	0.55	0.637	0.309	0.078	0.076	0.211
(16): Rio Medina	0.34	0.109	0.075	0.066	0.183	0.329	0.534	0.571	0.363	0.16	0.068	0.378
(17): Rio Guali 9	0.531	0.175	0.145	0.095	0.255	0.604	0.618	0.731	0.346	0.128	0.105	0.425
(18): Directos Magdalena Gualí	0.719	0.257	0.22	0.128	0.322	0.635	0.669	0.837	0.361	0.18	0.153	0.54

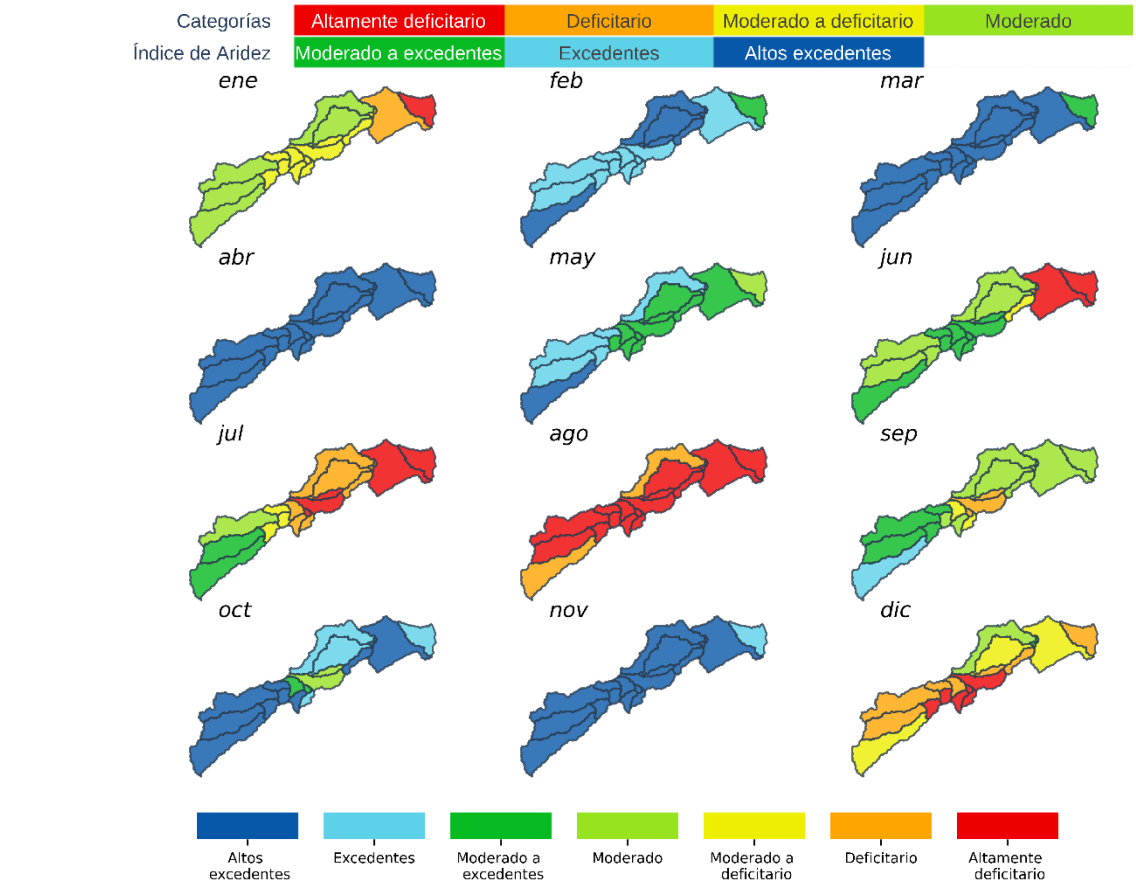


Figura 798. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Gualí para año seco

Índice de Aridez para año húmedo en la SZH del río GUALI

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Guali 1	0.126	0.05	0.046	0.034	0.054	0.064	0.049	0.162	0.052	0.052	0.03	0.049
(2): Rio Cajones	0.143	0.06	0.051	0.04	0.059	0.069	0.054	0.162	0.06	0.057	0.034	0.054
(3): Rio Guali 2	0.129	0.072	0.06	0.053	0.07	0.094	0.069	0.213	0.066	0.071	0.041	0.057
(4): Rio Aguacatal	0.13	0.064	0.053	0.043	0.062	0.073	0.056	0.154	0.061	0.058	0.035	0.052
(5): Rio Guali 3	0.121	0.079	0.066	0.055	0.073	0.096	0.07	0.191	0.069	0.071	0.043	0.057
(6): Quebrada El Guarumo	0.101	0.071	0.059	0.048	0.064	0.081	0.061	0.151	0.061	0.06	0.038	0.049
(7): Quebrada Agua de Dios	0.107	0.074	0.064	0.054	0.068	0.092	0.066	0.181	0.065	0.067	0.042	0.056
(8): Rio Guali 4	0.091	0.08	0.071	0.055	0.069	0.089	0.064	0.164	0.065	0.065	0.045	0.056
(9): Rio Guali 5	0.094	0.087	0.08	0.059	0.074	0.096	0.066	0.177	0.068	0.068	0.051	0.061
(10): Quebrada San Jose	0.102	0.078	0.069	0.056	0.07	0.092	0.067	0.173	0.068	0.067	0.044	0.058
(11): Rio Guali 6	0.095	0.083	0.077	0.058	0.071	0.094	0.066	0.166	0.068	0.063	0.048	0.057
(12): Quebrada Nicua	0.091	0.08	0.074	0.057	0.07	0.092	0.065	0.159	0.066	0.06	0.046	0.054
(13): Rio Guali 7	0.154	0.072	0.064	0.063	0.08	0.12	0.081	0.167	0.086	0.059	0.036	0.048
(14): Rio Sucio	0.109	0.067	0.061	0.056	0.07	0.1	0.069	0.141	0.069	0.052	0.035	0.042
(15): Rio Guali 8	0.165	0.058	0.052	0.063	0.076	0.128	0.085	0.148	0.083	0.046	0.028	0.038
(16): Rio Medina	0.1	0.06	0.054	0.052	0.064	0.094	0.066	0.12	0.062	0.046	0.031	0.036
(17): Rio Guali 9	0.256	0.091	0.087	0.074	0.107	0.164	0.119	0.212	0.115	0.082	0.039	0.071
(18): Directos Magdalena Gualí	0.478	0.136	0.177	0.088	0.162	0.219	0.204	0.311	0.193	0.182	0.054	0.127

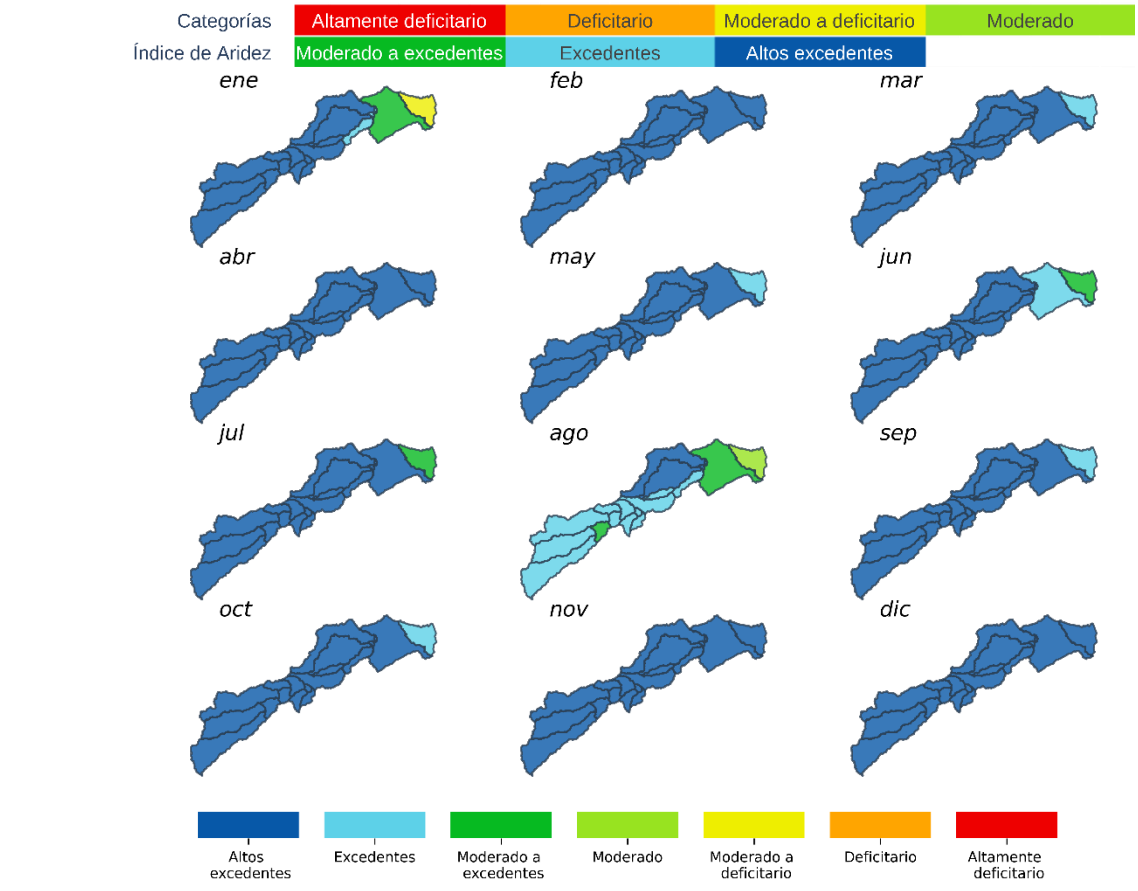


Figura 799. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Gualí para año húmedo

38.1.8. IA en la subzona hidrográfica del río Guarinó

Esta subzona hidrográfica presenta excedentes y altos excedentes de humedad en el escenario de año medio durante todos los meses de año medio (Figura 800); a excepción de las unidades de análisis río Guarinó 6 y drenajes directos al Magdalena, que tienen índices de Aridez categorizado en moderado a excedentes de humedad para el mes de julio, y de junio a agosto respectivamente.

Para el escenario de año seco, estas unidades de análisis evidencian una condición deficitaria y altamente deficitaria de humedad y moderada a deficitaria en el mes de agosto (Figura 801). La parte alta de la SZH presenta mayor disminución en la disponibilidad de humedad durante el mes de diciembre, ya que el índice alcanza clasificaciones de altamente deficitario a deficitario. Se evidencian excedentes de humedad en los meses de febrero, marzo, abril, octubre y noviembre en toda la subzona hidrográfica, y disponibilidad moderada de humedad en el mes de enero.

Para el escenario de año húmedo se evidencia que las unidades río Guarinó 1, río Hondo, río Guarinó 2, río Perrillo, río Guarinó 3, río Santo Domingo, río Guarinó 4, río San Juan, río Guarinó 5, y río Guarinó 6 presentan altos excedentes de humedad durante los 12 meses del año; y la unidad río Guarinó 7 tiene una reducción en la disponibilidad de humedad durante los meses de enero (moderado a excedentes), junio (excedentes) y agosto (excedentes, Figura 802).

Índice de Aridez para año medio en la SZH del río Guarino

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Guarino 1	0.108	0.097	0.065	0.059	0.051	0.082	0.101	0.106	0.069	0.05	0.053	0.077
(2): Rio Hondo	0.107	0.092	0.061	0.057	0.048	0.075	0.092	0.095	0.063	0.049	0.053	0.076
(3): Rio Guarino 2	0.109	0.098	0.066	0.06	0.055	0.096	0.125	0.124	0.077	0.052	0.053	0.076
(4): Rio Perrillo	0.115	0.104	0.07	0.062	0.058	0.107	0.143	0.144	0.088	0.054	0.053	0.079
(5): Rio Guarino 3	0.121	0.105	0.073	0.069	0.066	0.143	0.19	0.169	0.097	0.062	0.058	0.082
(6): Rio Santo Domingo	0.097	0.085	0.06	0.058	0.056	0.111	0.147	0.129	0.078	0.052	0.048	0.066
(7): Rio Guarino 4	0.093	0.084	0.061	0.061	0.059	0.121	0.158	0.138	0.081	0.053	0.049	0.066
(8): Rio San Juan	0.084	0.076	0.058	0.059	0.056	0.11	0.144	0.13	0.076	0.051	0.047	0.062
(9): Rio Guarino 5	0.089	0.087	0.064	0.064	0.061	0.131	0.174	0.147	0.086	0.054	0.048	0.065
(10): Rio Guarino 6	0.076	0.099	0.068	0.06	0.061	0.148	0.225	0.14	0.094	0.044	0.038	0.055
(11): Rio Guarino 7	0.144	0.152	0.101	0.082	0.082	0.227	0.31	0.208	0.131	0.063	0.056	0.091

Categorías				
	Altamente deficitario	Deficitario	Moderado a deficitario	Moderado
Índice de Aridez	Moderado a excedentes	Excedentes	Altos excedentes	

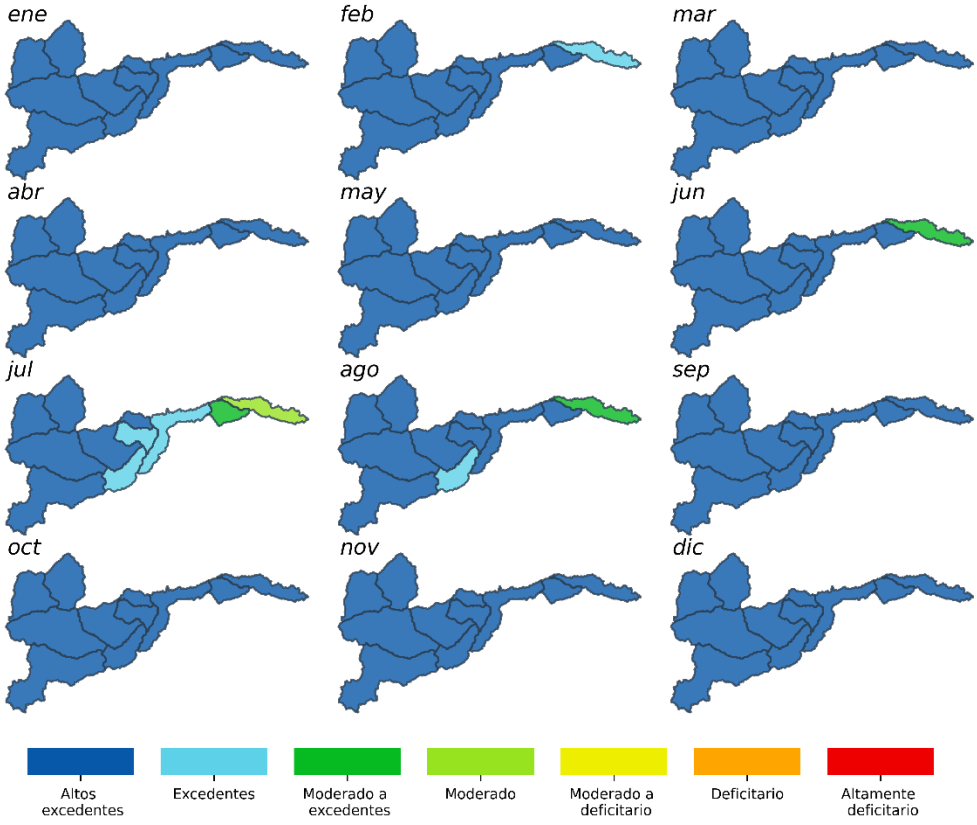


Figura 800. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Guarinó para año medio

Índice de Aridez para año seco en la SZH del río Guarino

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Guarino 1	0.34	0.122	0.085	0.067	0.104	0.214	0.153	0.498	0.173	0.086	0.083	0.643
(2): Rio Hondo	0.38	0.114	0.077	0.065	0.097	0.179	0.132	0.452	0.169	0.087	0.085	0.689
(3): Rio Guarino 2	0.343	0.127	0.086	0.067	0.128	0.256	0.205	0.569	0.181	0.09	0.079	0.595
(4): Rio Perrillo	0.33	0.133	0.098	0.069	0.156	0.309	0.269	0.606	0.188	0.085	0.074	0.505
(5): Rio Guarino 3	0.425	0.141	0.087	0.072	0.203	0.251	0.431	0.681	0.304	0.135	0.087	0.598
(6): Rio Santo Domingo	0.393	0.114	0.069	0.058	0.176	0.281	0.256	0.646	0.164	0.097	0.069	0.583
(7): Rio Guarino 4	0.364	0.108	0.064	0.062	0.168	0.283	0.302	0.594	0.196	0.09	0.068	0.561
(8): Rio San Juan	0.326	0.099	0.057	0.062	0.131	0.259	0.263	0.564	0.174	0.074	0.063	0.541
(9): Rio Guarino 5	0.303	0.102	0.067	0.068	0.137	0.265	0.427	0.521	0.293	0.098	0.064	0.43
(10): Rio Guarino 6	0.321	0.096	0.073	0.061	0.16	0.631	0.554	0.51	0.235	0.065	0.064	0.177
(11): Rio Guarino 7	0.454	0.138	0.114	0.083	0.216	0.596	0.573	0.639	0.307	0.096	0.084	0.341

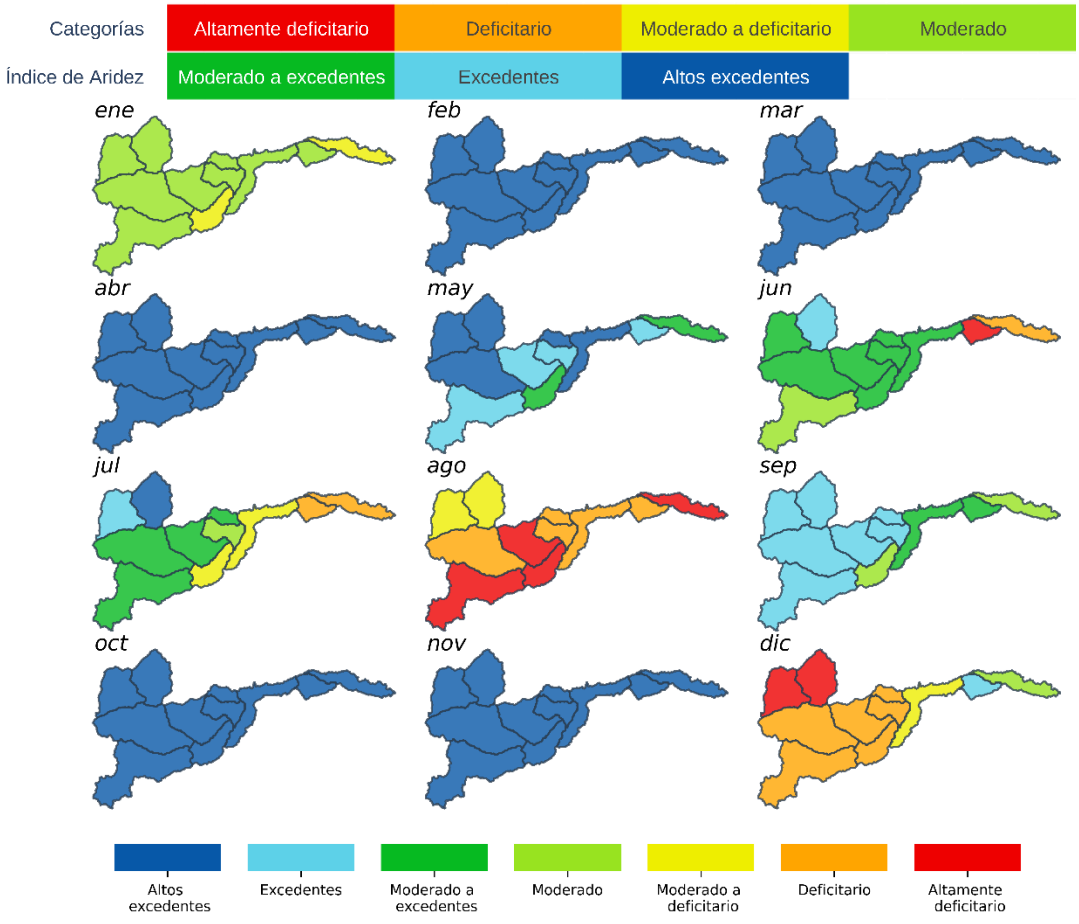


Figura 801. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Guarinó para año seco

Índice de Aridez para año húmedo en la SZH del río Guarino

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
(1): Rio Guarino 1	0.106	0.068	0.047	0.038	0.056	0.052	0.046	0.1	0.045	0.051	0.029	0.044
(2): Rio Hondo	0.094	0.077	0.045	0.035	0.057	0.048	0.044	0.089	0.041	0.05	0.028	0.042
(3): Rio Guarino 2	0.105	0.066	0.048	0.04	0.059	0.06	0.05	0.11	0.05	0.052	0.03	0.044
(4): Rio Perrillo	0.121	0.061	0.049	0.039	0.058	0.064	0.052	0.128	0.058	0.052	0.032	0.048
(5): Rio Guarino 3	0.093	0.076	0.061	0.049	0.068	0.082	0.062	0.138	0.061	0.059	0.037	0.047
(6): Rio Santo Domingo	0.076	0.071	0.047	0.038	0.061	0.068	0.054	0.097	0.05	0.048	0.028	0.038
(7): Rio Guarino 4	0.073	0.072	0.051	0.041	0.064	0.075	0.059	0.093	0.051	0.048	0.029	0.035
(8): Rio San Juan	0.068	0.068	0.05	0.039	0.061	0.071	0.057	0.08	0.049	0.047	0.026	0.031
(9): Rio Guarino 5	0.083	0.061	0.055	0.049	0.063	0.087	0.062	0.1	0.056	0.048	0.029	0.033
(10): Rio Guarino 6	0.128	0.044	0.039	0.056	0.061	0.122	0.073	0.118	0.066	0.035	0.021	0.028
(11): Rio Guarino 7	0.244	0.07	0.075	0.067	0.093	0.153	0.11	0.188	0.101	0.072	0.034	0.051

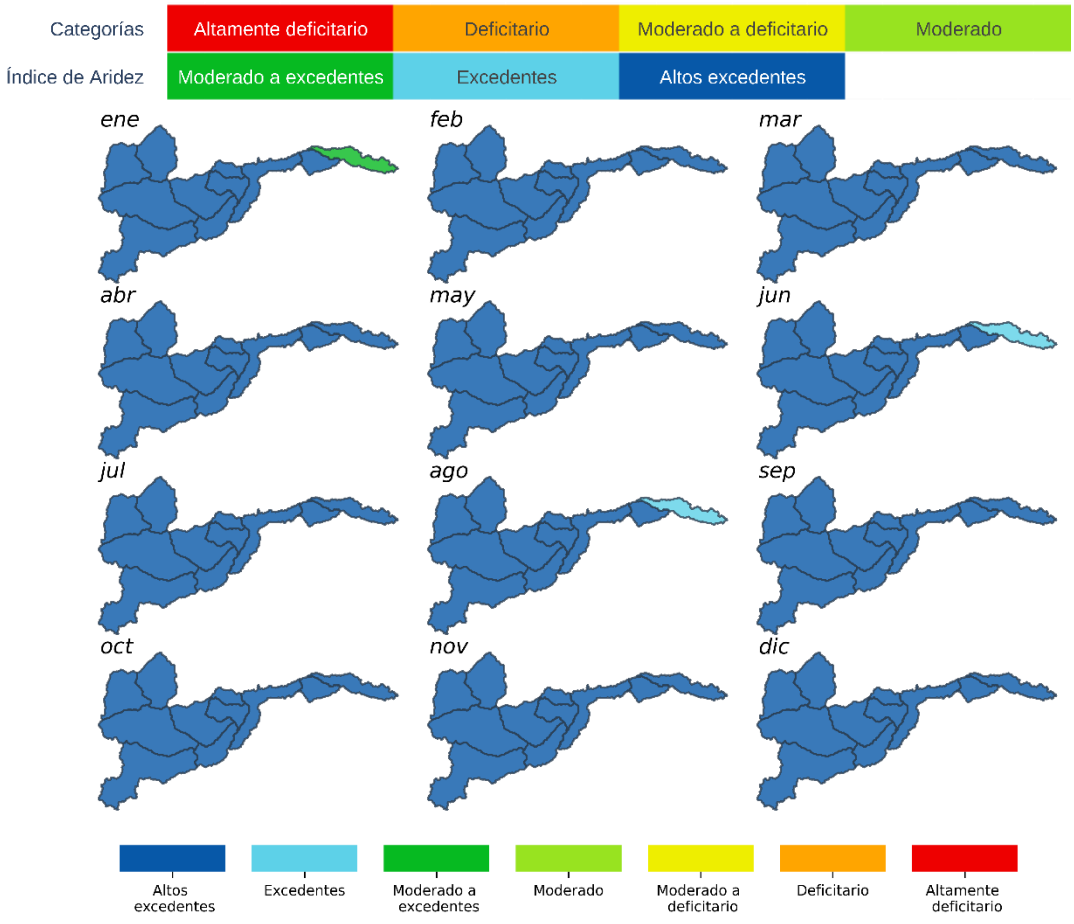


Figura 802. Índice de aridez en la subzona hidrográfica del río Guarinó para año húmedo

38.2. Índice de Regulación y Retención Hídrica (IRH)

El IRH determina la capacidad de la cuenca para retener humedad, expresa la relación entre el área bajo la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales diarios y el área bajo la curva de duración de caudales diarios, por lo que sus valores se encuentran entre cero (0) y uno (1), donde los valores más bajos representan menor capacidad de regulación y se clasifica en cinco categorías desde “muy baja” capacidad de regulación a “muy alta” (Tabla 628).

Tabla 628. Categorías del índice de retención y regulación hídrica (IRH). (Fuente: IDEAM, 2020a)

Límites de categorías	Categoría	Capacidad de retención y regulación
IRH > 0.85		Muy alta
0.75 < IRH ≤ 0.85		Alta
0.65 < IRH ≤ 0.75		Moderada
0.50 < IRH ≤ 0.65		Baja
IRH ≤ 0.50		Muy Baja

La subzona hidrográfica del río Coello presenta una alta capacidad de retención y regulación hídrica en la mayoría de sus unidades de análisis (14 de 17, Figura 803), debido principalmente a unas favorables propiedades de retención de humedad del suelo en las partes alta y media de la subzona, a excepción de la unidad de análisis Bermellón 1 en la cual su capacidad de retención de hídrica es moderada por una disminución en la capacidad de almacenamiento capilar del suelo. En la parte baja de la subzona se observan dos unidades de análisis con muy baja y moderada capacidad de retención hídrica (quebrada Gualanday y quebrada Chagualá respectivamente), en el caso de la primera, su sistema hidrológico asociado al abanico de Ibagué presenta una mayor capacidad de percolación y por ende menor retención de agua.

En la parte alta de la subzona hidrográfica del río Totare se identifica una moderada capacidad de regulación y retención hídrica (Figura 804), especialmente en las unidades río Totare 1, río Totarito, río La China 1, y río San Romulado por presentar una alta conductividad hidráulica horizontal y vertical del suelo. En las unidades de análisis río Chipalo 1 y río Chipalo 2 la capacidad de regulación hídrica es moderada dada la menor capacidad de almacenamiento capilar de agua en el suelo que se genera por la composición granulométrica gruesa de su suelo, la presencia de áreas urbanas y una mayor capacidad de percolación en el abanico de Ibagué. Por otra parte, se evidencia una alta capacidad de retención y regulación hídrica en la parte media de la subzona hidrográfica coincidiendo con áreas de menores valores de capacidad de percolación.

La subzona hidrográfica del río Opia presenta muy baja capacidad de retención y regulación hídrica en todas sus unidades de análisis (Figura 805), lo cual se debe a que la mayor parte de su respuesta hidrológica está representada por la escorrentía directa

(flujo superficial) generado en los periodos húmedos y episodios de tormenta, por lo que el almacenamiento de agua en el suelo de la subzona es reducido en contraste con el volumen de agua que ingresa al sistema.

En la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo se identifica una alta y muy alta capacidad de retención y regulación hídrica en 12 de las 13 unidades de análisis (Figura 806), lo cual se debe a que sus suelos presentan una mayor capacidad de almacenamiento capilar en el suelo en proporción a su área drenante. Por su parte, la quebrada Santa Rosa es la única unidad de análisis en esta subzona con una capacidad de retención hídrica moderada, lo cual se explica porque en su parte alta se presenta una mayor capacidad de percolación en comparación con las otras unidades de análisis de la parte media y alta de la SZH, y además tiene una zona urbana en su área drenante que reduce la capacidad de infiltración de agua en el suelo.

La subzona hidrográfica del río lagunilla cuenta con una alta y muy alta retención y regulación hídrica en 9 unidades de análisis localizadas en su parte alta y media (Figura 807), asociadas a una mayor capacidad de almacenamiento capilar de agua en el suelo. La unidad río Vallecitos presenta una mayor capacidad de percolación en contraste con las demás unidades de análisis ubicadas en la parte alta de la subzona, lo cual le confiere una moderada retención y regulación hídrica. Finalmente, en la parte baja de la subzona se encuentran las unidades quebrada Palmas, quebrada La Joya y drenajes directos al Magdalena sobre sustratos litológicos que les confieren una mayor capacidad de percolación y menor retención de humedad, presentando un muy bajo IRH.

Para la subzona hidrográfica del río Sabandija se evidencia una alta retención y regulación hídrica en las unidades río Sabandija 1, río Sabandija 2, quebrada Seca y drenajes directos al Magdalena, y una muy alta retención y regulación hídrica en la unidad río Cuamo (Figura 808). Esta característica se asocia una alta capacidad de almacenamiento capilar de agua en el suelo en comparación con las áreas de las otras subzonas hidrográficas ubicadas en el valle del río Magdalena.

En la parte alta de la subzona hidrográfica del río Gualí se presenta una moderada retención y regulación hídrica, hacia la parte media y baja de la subzona aumenta a la categoría de alta (en 10 unidades de análisis) y muy alta en la unidad quebrada San José. Finalmente, los drenajes directos al Magdalena tienen una moderada retención y regulación hídrica (Figura 809). La subzona hidrográfica del río Guarinó evidencia una alta retención y regulación hídrica en todas sus unidades de análisis con valores en el rango de 0.76 a 0.83 (Figura 810).

38.2.1. IRH en la subzona hidrográfica del río Coello

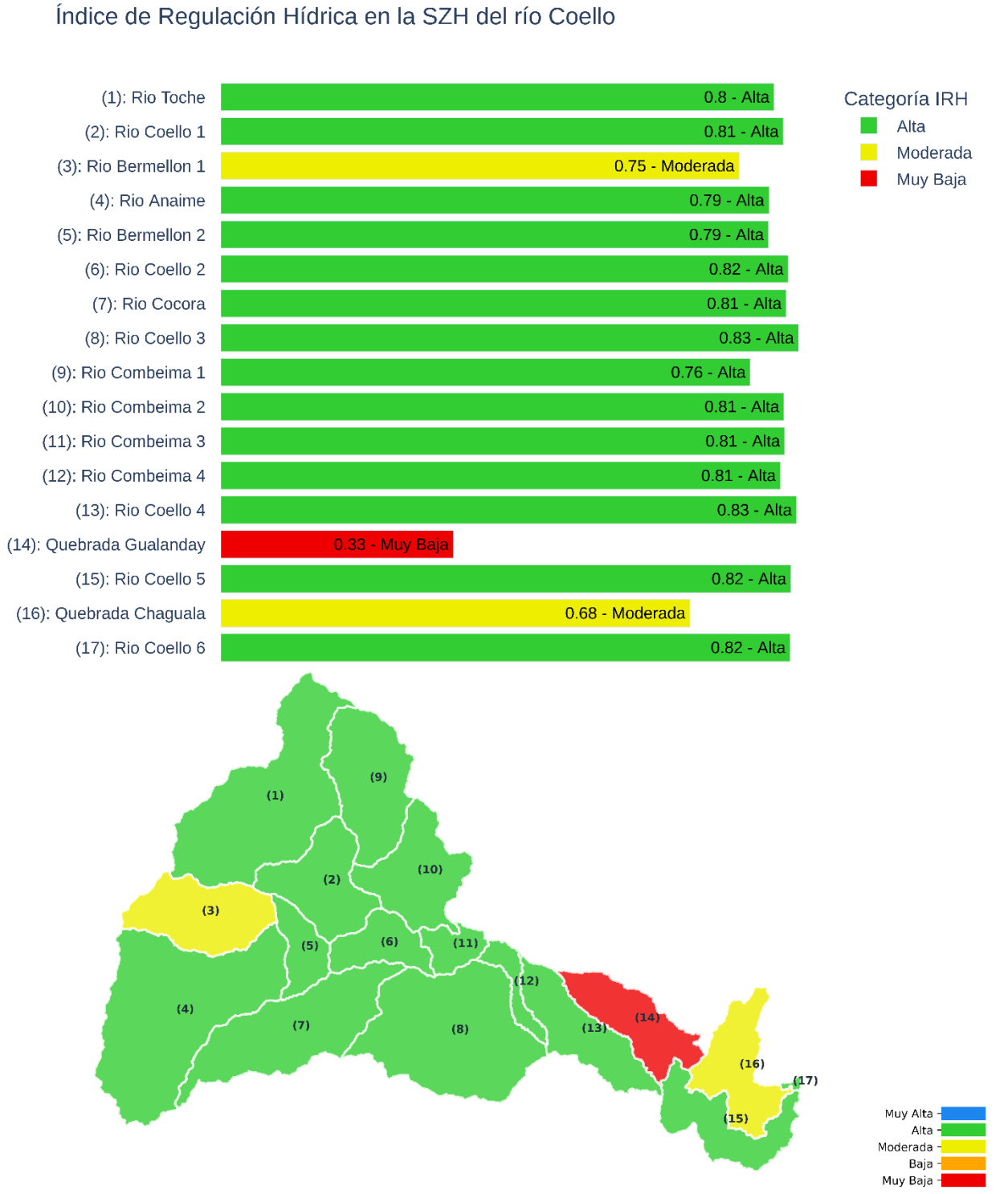


Figura 803. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Coello, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.2. IRH en la subzona hidrográfica del río Totare

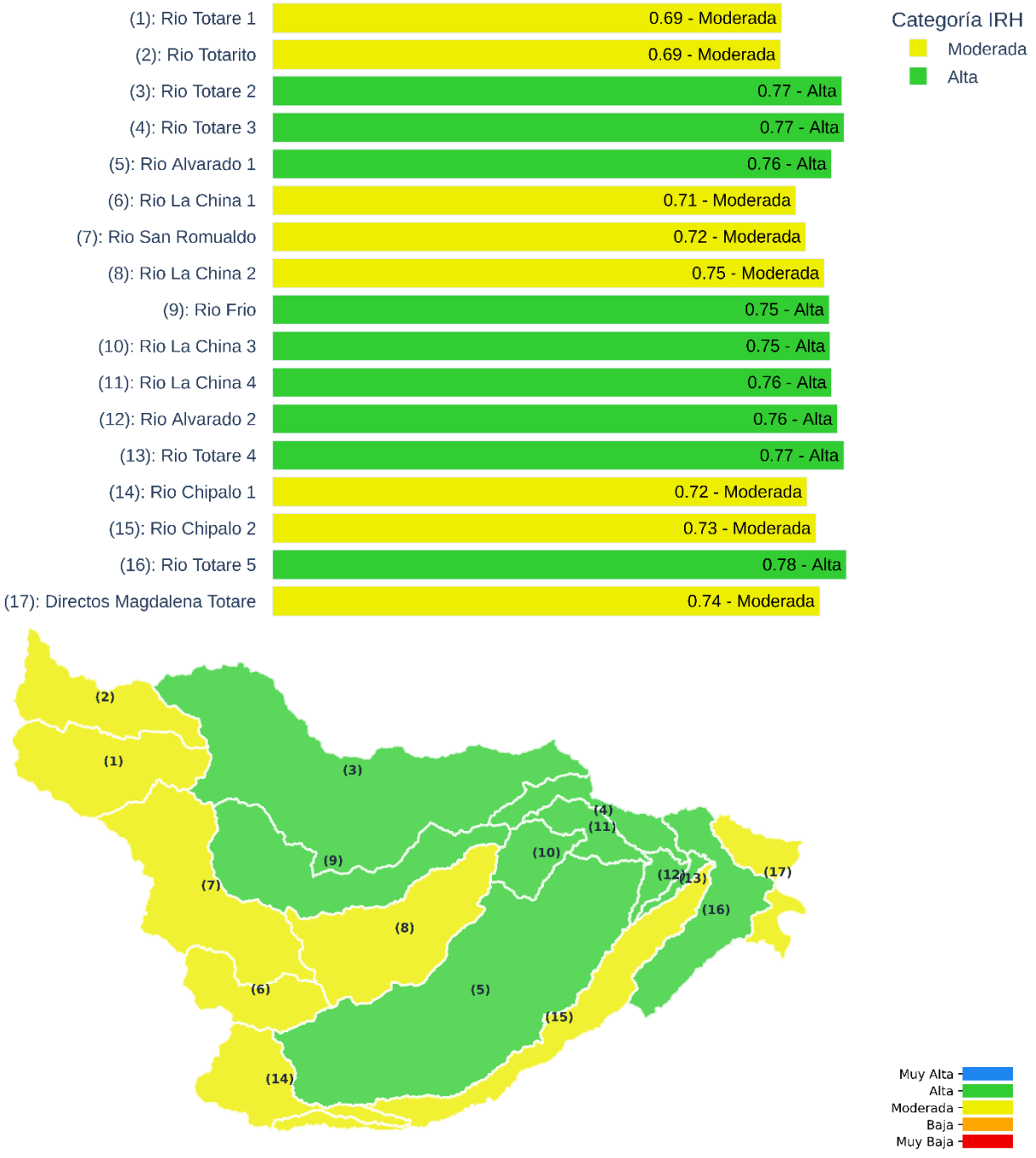


Figura 804. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Totare, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.3. IRH en la subzona hidrográfica del río Opia

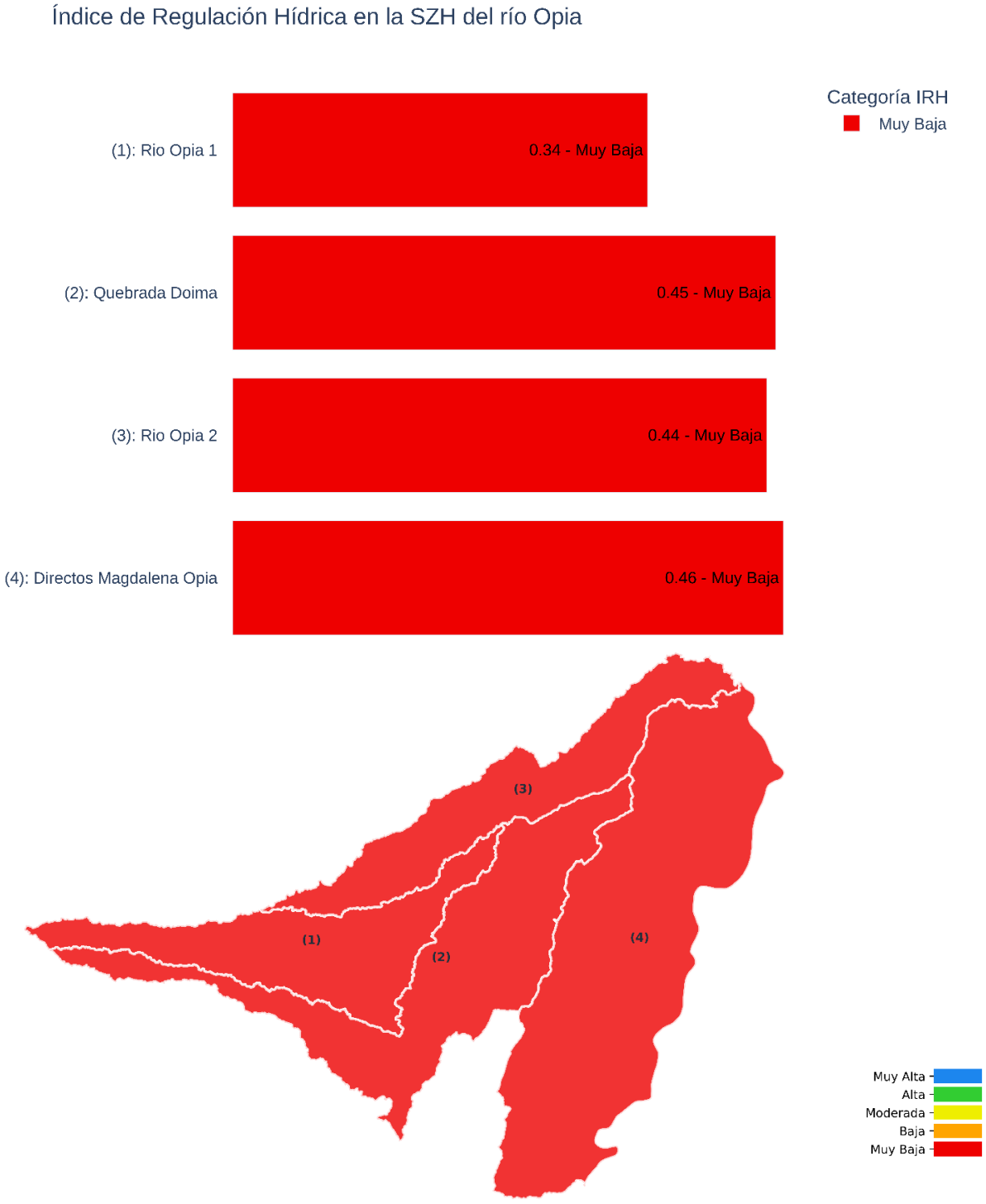


Figura 805. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Opia, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.4. IRH en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

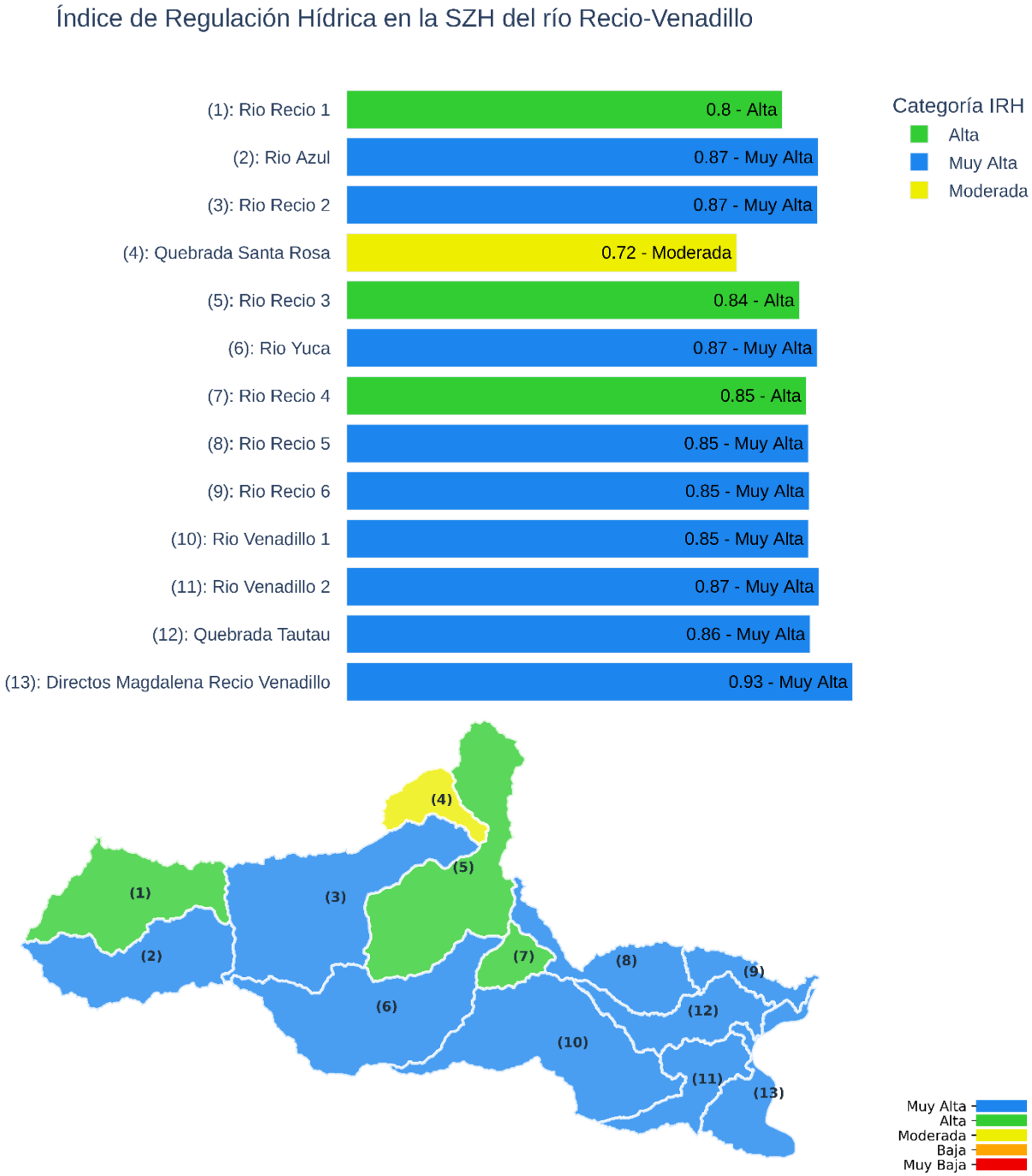


Figura 806. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Recio-Vendaillo, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.5. IRH en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

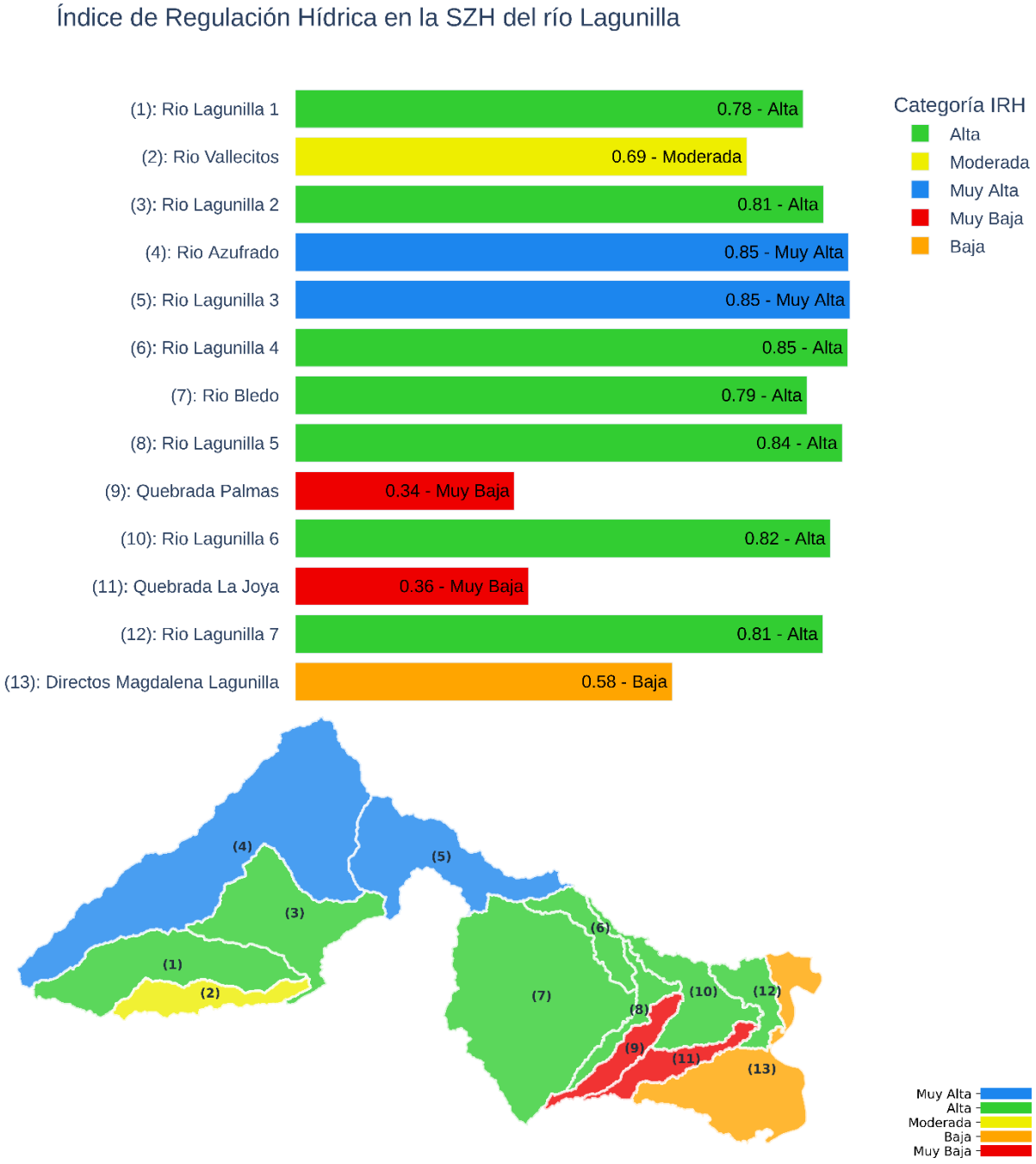


Figura 807. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Lagunilla, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.6. IRH en la subzona hidrográfica del río Sabandija

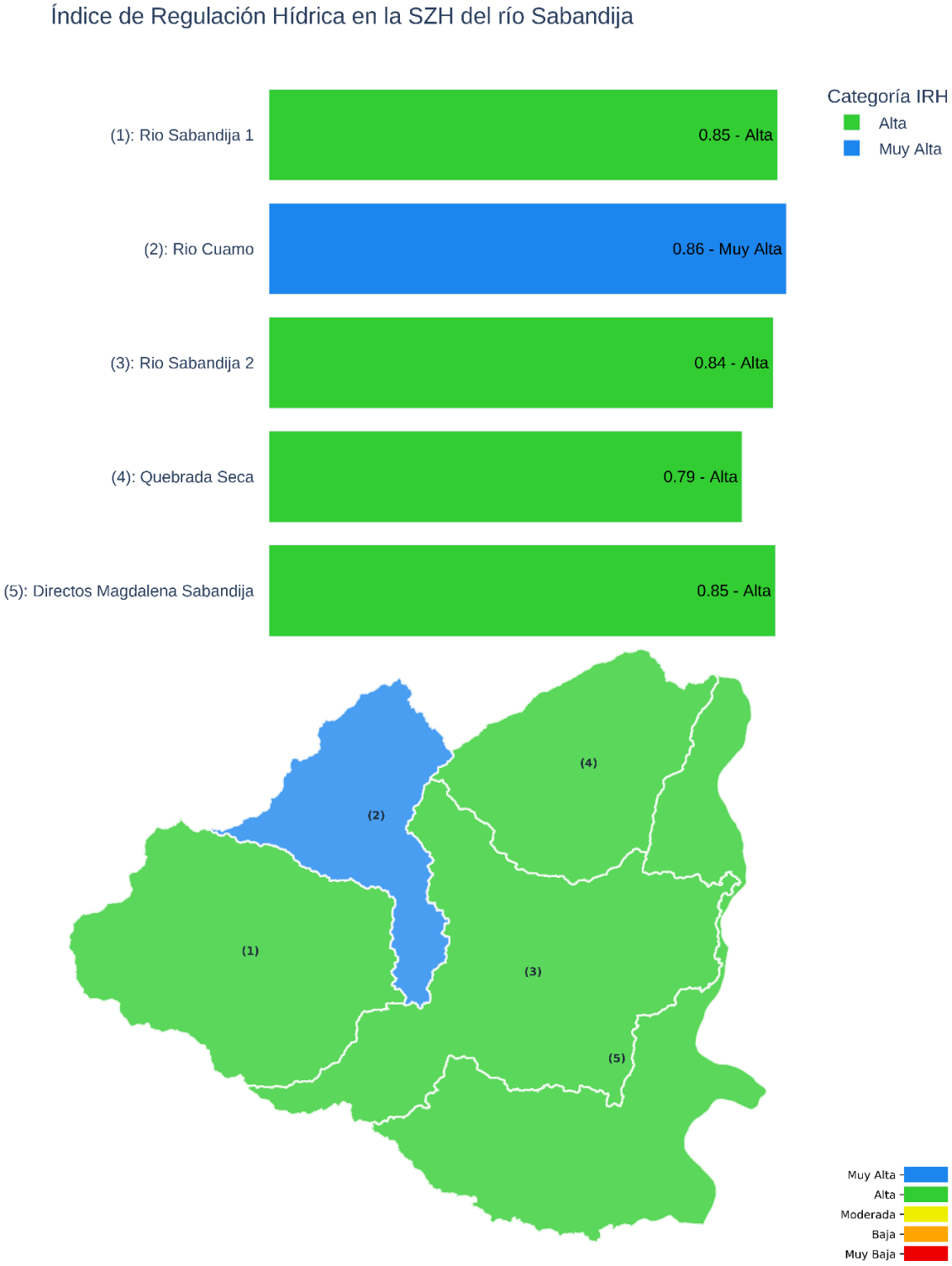


Figura 808. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Sabandija, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.7. IRH en la subzona hidrográfica del río Gualí

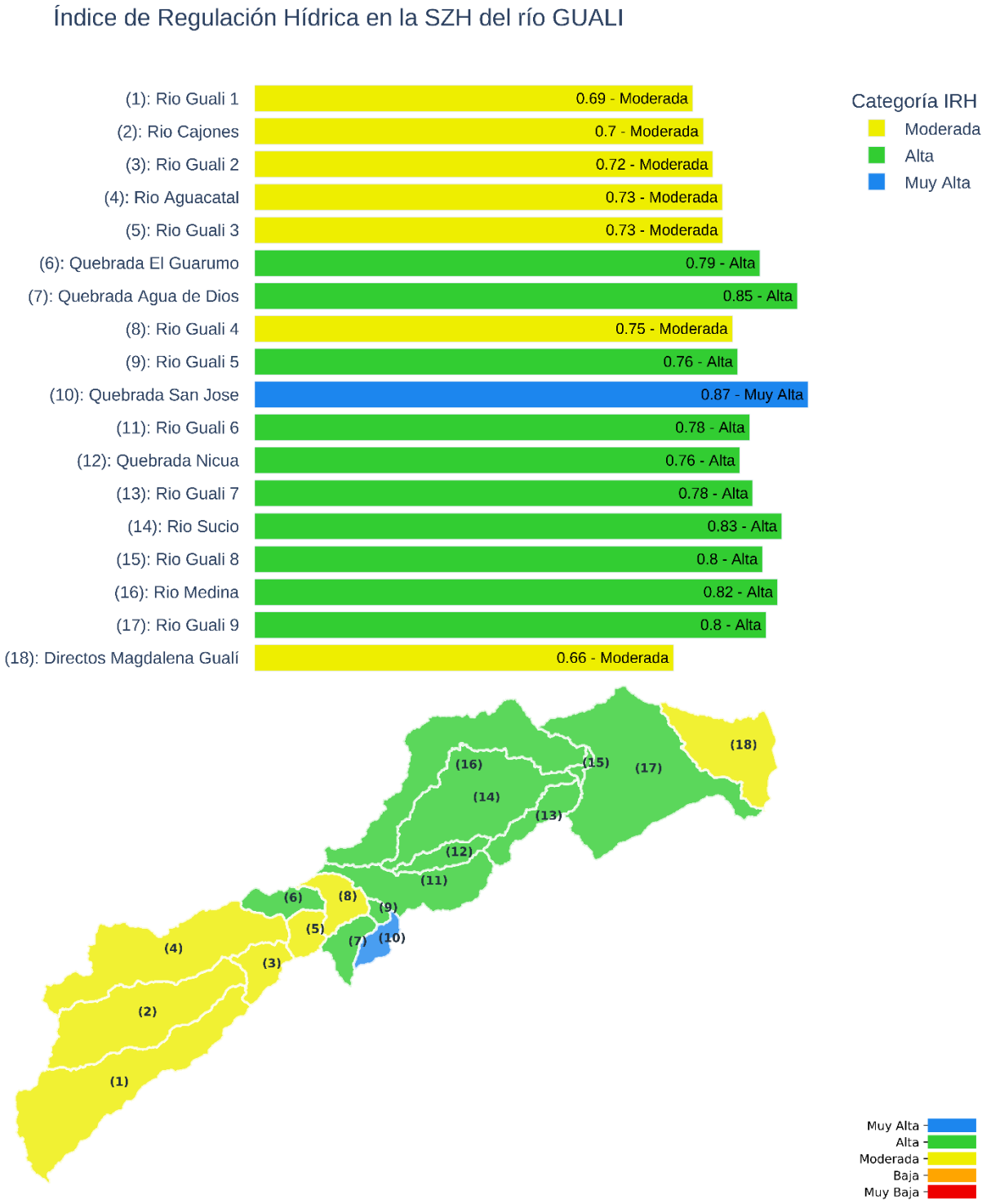


Figura 809. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Gualí, en el periodo (1990 a 2021)

38.2.8. IRH en la subzona hidrográfica del río Guarinó

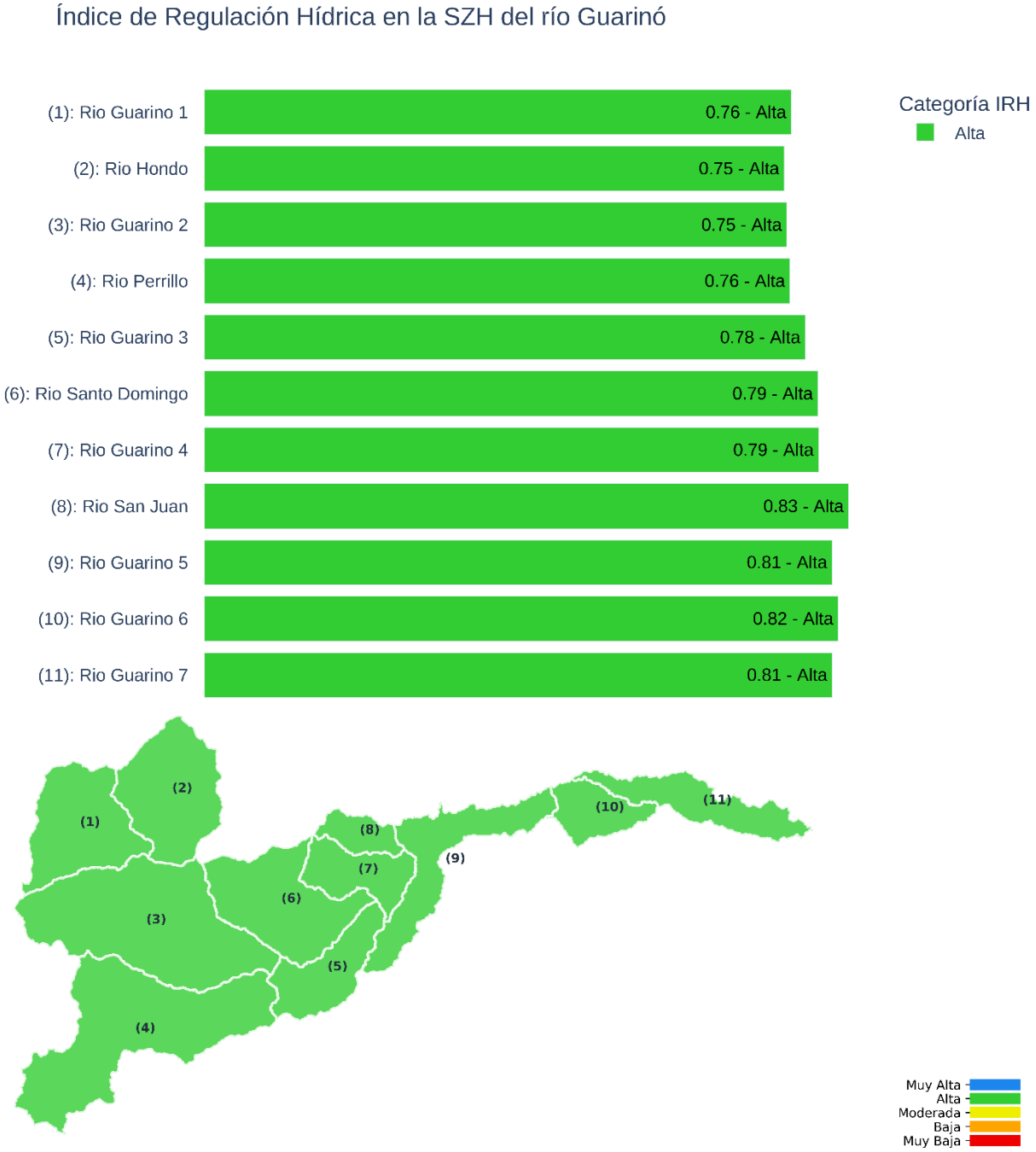


Figura 810. Índice de retención y regulación hídrica en la subzona hidrográfica del río Guarinó, en el periodo (1990 a 2021)

38.3. Índice estandarizado de escorrentía (SRI)

La intensidad de la sequía se definió mediante el SRI mensual y anual. El SRI se calculó ajustando las distribuciones de probabilidad Lognormal, Gamma, Exponencial, Pearson III, y LogPearson III, para cada serie de escorrentías mensuales obtenida a partir de la simulación hidrológica a escala diaria con el modelo hidrológico implementado en cada subzona hidrográfica de estudio. Para generar el SRI se seleccionó la función de distribución de mejor ajuste, sobre ella se calcularon las correspondientes probabilidades acumulativas de escorrentía y fueron transformadas a la distribución normal estándar con media cero y varianza uno para luego ser clasificado según la Tabla 629.

Rango	Categoría
SRI ≥ 2.0	Extremadamente húmedo
1.5 ≤ SRI < 2.0	moderadamente húmedo
1.0 ≤ SRI < 1.5	Ligeramente húmedo
-1.0 < SRI < 1.0	Rango Normal
-1.5 < SRI ≤ -1.0	Ligeramente seco
-2.0 < SRI ≤ -1.5	Moderadamente seco
-2.0 ≤ SRI	Extremadamente seco

Tabla 629. Categorías del Índice Estandarizado de Escorrentía (SRI). (Fuente: Shukla y Wood, 2008)

38.3.1. SRI en la subzona hidrográfica del río Coello

En esta subzona hidrográfica se identifican 4 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual para los últimos 12 años del periodo de análisis (2010 a 2021) y ninguno en los años precedente (1990 a 2009), lo cual evidencia un aumento en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos. En contraste, la ocurrencia de periodos extremadamente secos se identifica en toda la serie analizada (1990 a 2021). Se observa igualmente una mayor frecuencia de eventos húmedos de la escorrentía estandarizada de 12 meses para los últimos años de la serie (2010 a 2021), lo cual es consistente con la tendencia al aumento de caudales máximos diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. Por otra parte, se identifican tres episodios de sequía hidrológica en el periodo de análisis, entre moderada a extrema para la escorrentía acumulada de 12 meses (Figura 811).

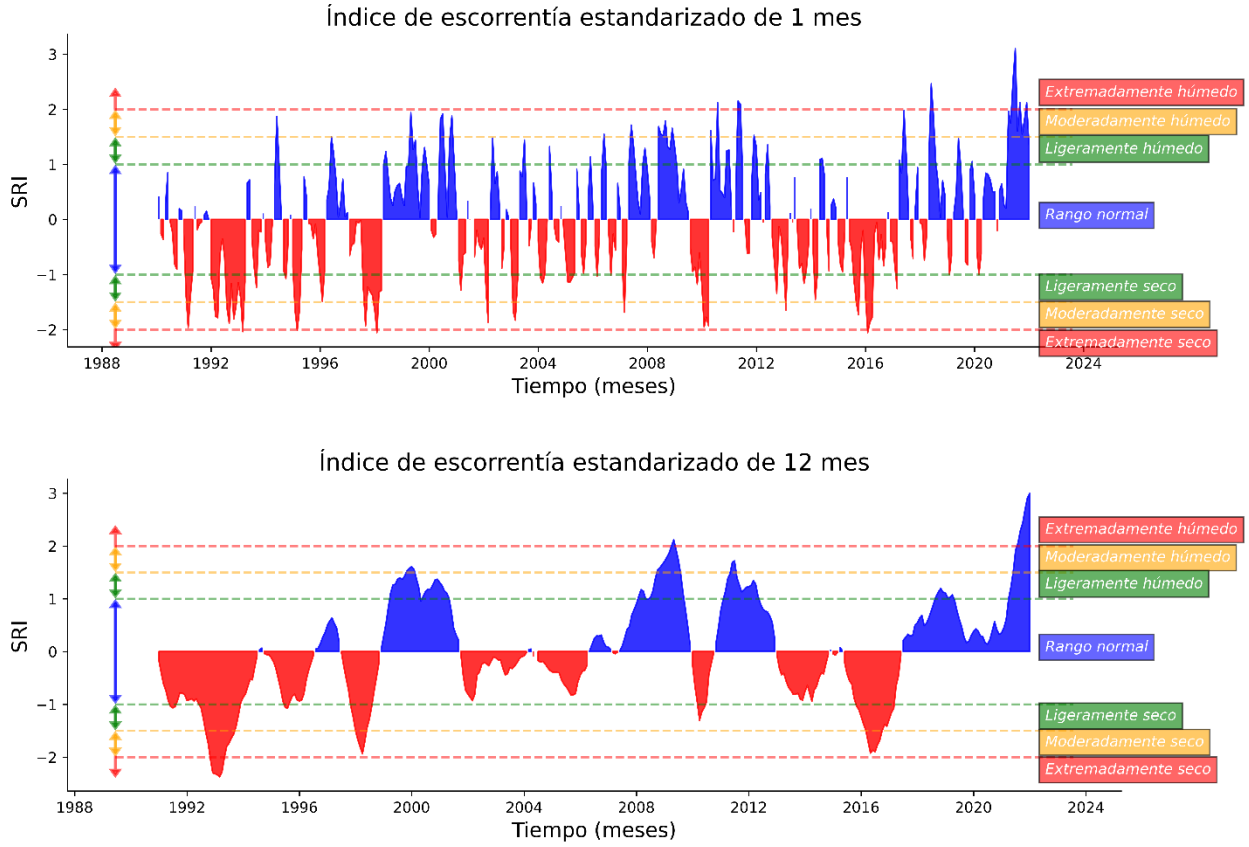


Figura 811. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Coello (punto de cierre)

38.3.2. SRI en la subzona hidrográfica del río Totare

Al igual que ocurre en la subzona hidrográfica del río Coello, en la SZH del río Totare se identifican 4 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual para los

últimos 12 años de análisis (2010 a 2021) y ninguno en el periodo precedente (1990 a 2009), lo cual evidencia un aumento en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos. Por el contrario, la ocurrencia de periodos extremadamente secos se identifica en toda la serie analizada (1990 a 2021), evidenciando un comportamiento estacionario de los episodios de sequía. Se observa igualmente una mayor frecuencia de eventos húmedos para la escorrentía estandarizada de 12 meses durante los últimos años de la serie, lo cual es consistente con la tendencia al aumento de caudales máximos, medios y mínimos diarios identificada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. Además, se presentan cuatro episodios de sequía hidrológica en el periodo de análisis, entre moderada a extrema para la escorrentía acumulada de 12 meses (Figura 812).

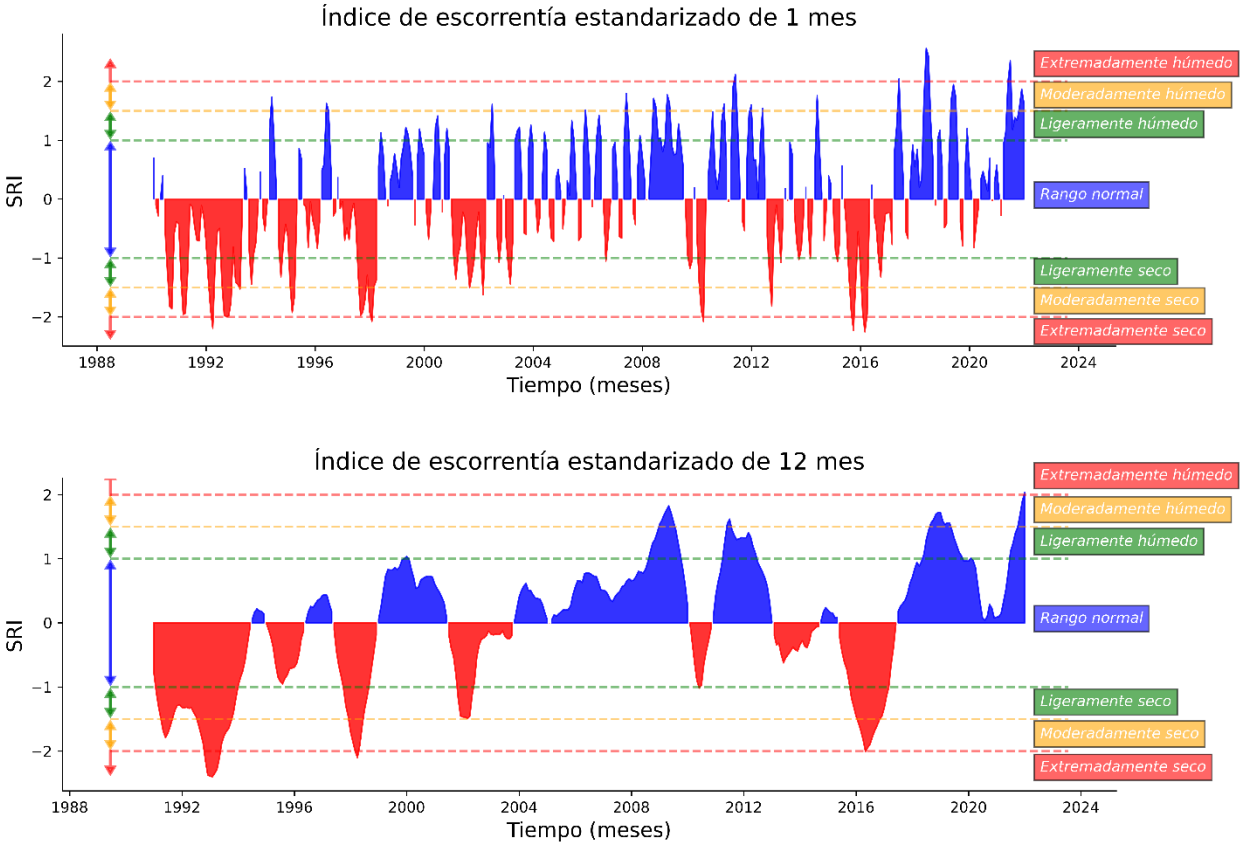


Figura 812. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Totare (punto de cierre)

38.3.3. SRI en la subzona hidrográfica del río Opia

En la subzona hidrográfica del río Opia se identifican 12 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual, distribuidos durante todo el periodo de análisis (1990 a 2021), lo cual permite evidenciar una estabilidad en la magnitud y frecuencia de altos

volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos. Igualmente, la ocurrencia de periodos moderadamente secos se identifica en toda la serie analizada (1990 a 2021). Este patrón de ocurrencia de eventos extremos se mantiene en la serie de escorrentía estandarizada de 12 meses, lo cual es consistente con la ausencia de tendencias de caudales máximos y medios diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. Asimismo, se identifican cuatro episodios de sequía hidrológica en el periodo de análisis, entre moderada a extrema para la escorrentía acumulada de 12 meses, permitiendo constatar que no se presenta una intensificación de los episodios de sequía en la subzona hidrográfica (Figura 813).

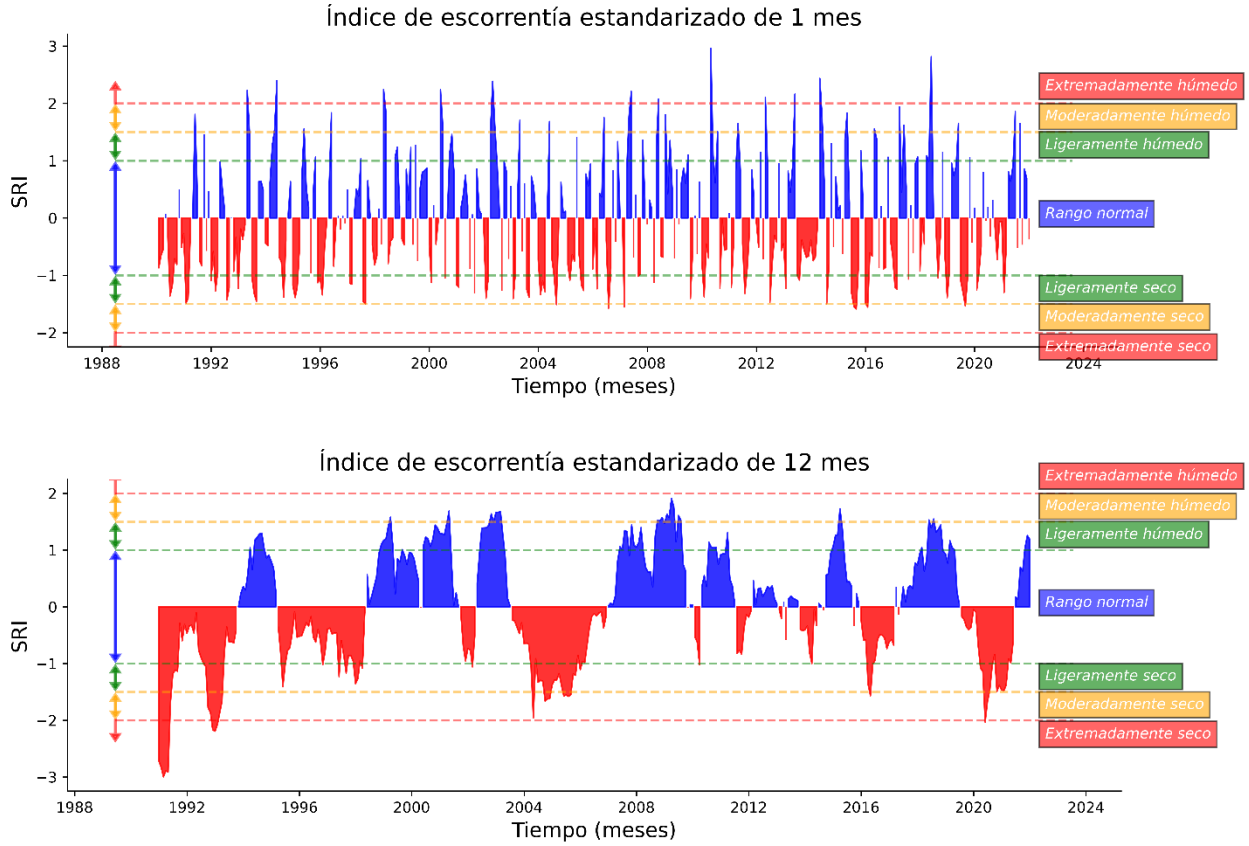


Figura 813. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Opia (punto de cierre)

38.3.4. SRI en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

En la subzona hidrográfica del río Recio se identifican 3 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual, los cuales están distribuidos entre 2008 y 2021, lo que permite demostrar una tendencia al aumento en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos. Por contra, la ocurrencia de periodos extremada y moderadamente secos se identifica en toda la serie analizada

(1990 a 2021). Este patrón de ocurrencia de eventos extremos se conserva en la serie de escorrentía estandarizada de 12 meses, lo cual es consistente con la ausencia de tendencias de caudales máximos y medios diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. Asimismo, se destaca que en la serie histórica se presentan solamente dos episodios de sequía hidrológica, entre moderada a extrema para la escorrentía acumulada de 12 meses (Figura 814).

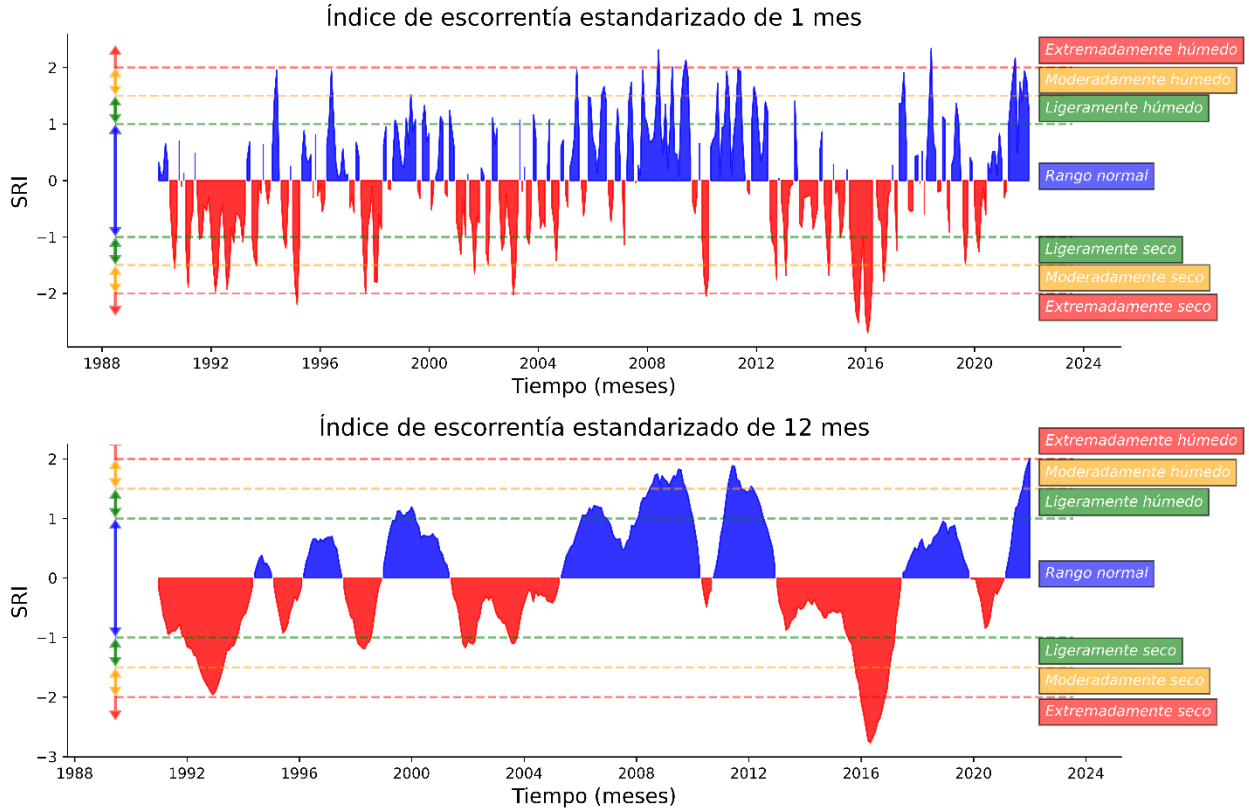


Figura 814. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Recio (punto de cierre)

38.3.5. SRI en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

En esta subzona hidrográfica se identifican 9 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual distribuidos en todo el periodo de análisis (1990 a 2021), lo cual evidencia una estabilidad en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos de toda la serie histórica. De forma similar, la ocurrencia de 4 periodos extremadamente secos se identifica en toda la serie analizada (1990 a 2021), permitiendo inferir que su patrón de ocurrencia es estacionario. Se observan tres eventos húmedos de escorrentía estandarizada de 12 meses distribuidos en el periodo de análisis, lo cual es consistente con la ausencia en tendencia al aumento o disminución

de caudales diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. Por otra parte, se identifican tres episodios de sequía moderada a extrema hidrológica para la escorrentía acumulada de 12 meses durante todo el periodo de análisis (Figura 815).

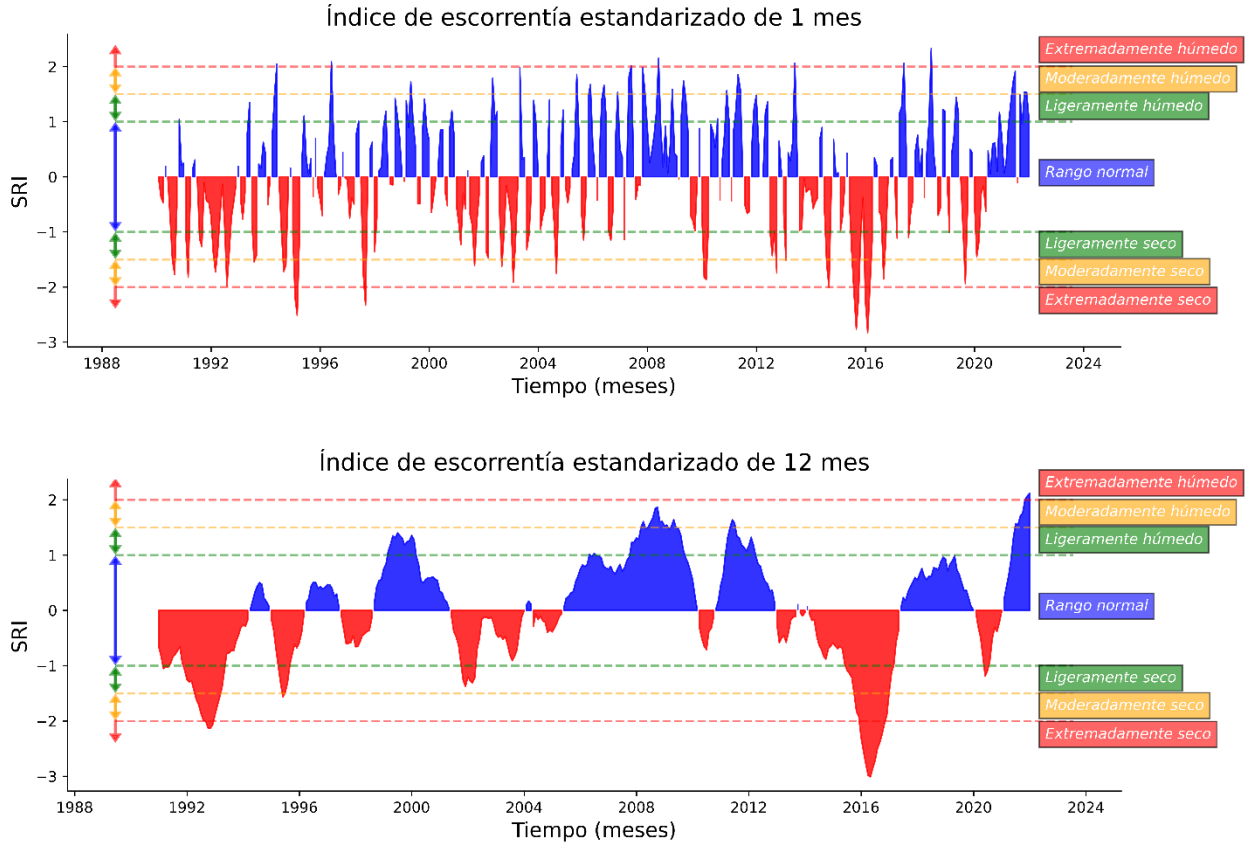


Figura 815. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Lagunilla (punto de cierre)

38.3.6. SRI en la subzona hidrográfica del río Sabandija

En esta subzona hidrográfica se identifican 6 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual distribuidos en todo el periodo de análisis (1990 a 2021), lo cual evidencia una estabilidad en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual durante los años húmedos de toda la serie histórica. De forma semejante, se identifica la ocurrencia de 2 periodos extremadamente secos distribuidos en el periodo hidroclimático de estudio (1990 a 2021). Se observan tres eventos húmedos de escorrentía estandarizada de 12 meses distribuidos en el periodo de análisis, lo cual es consistente con la ausencia en una tendencia al aumento o disminución de caudales diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. Por otra parte, se

identifican dos episodios de sequía hidrológica en el periodo de análisis, entre moderada a extrema para la escorrentía acumulada de 12 meses (Figura 816).

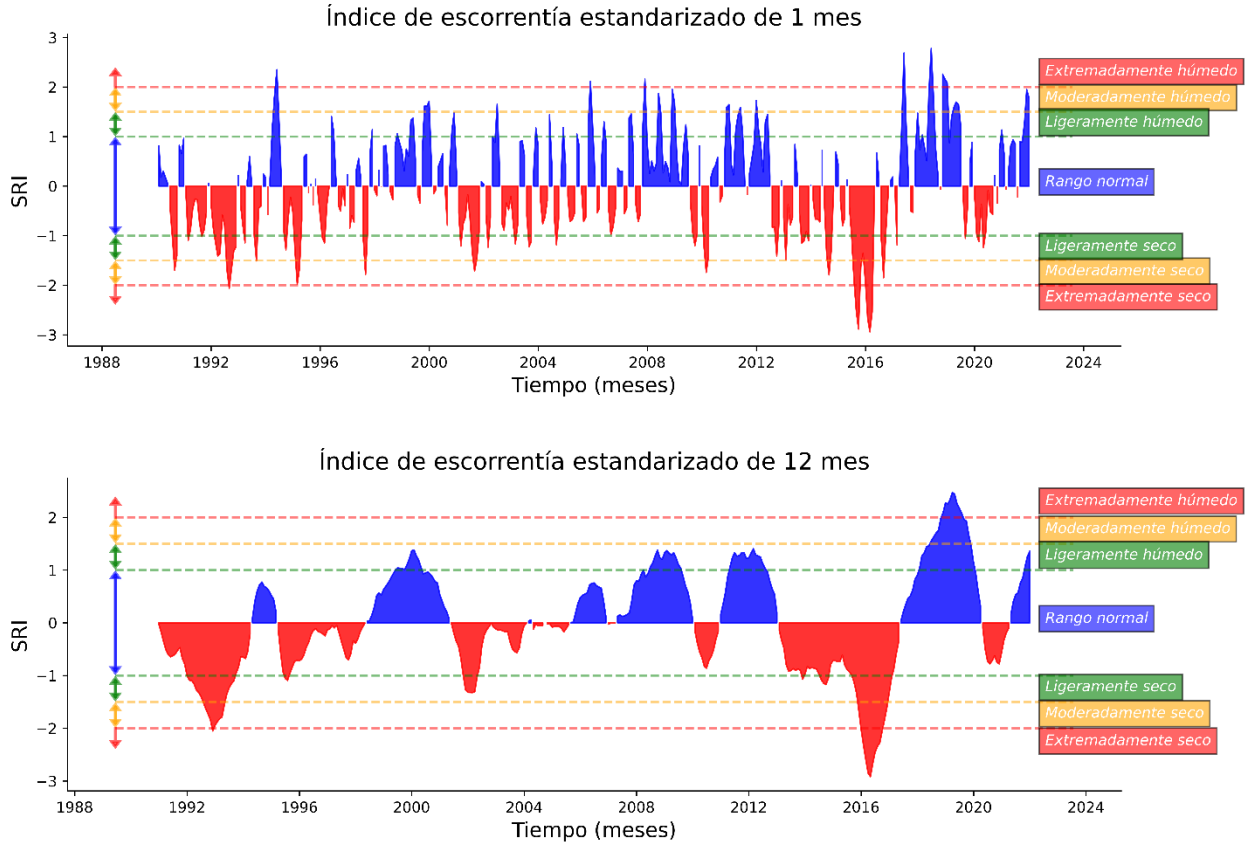


Figura 816. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Sabandija (punto de cierre)

38.3.7. SRI en la subzona hidrográfica del río Gualí

En esta subzona hidrográfica se identifican 5 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual, los cuales se encuentran distribuidos en el periodo comprendido entre 2008 a 2018, lo cual evidencia un aumento en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos más recientes, hallazgo consistente con la presencia de una tendencia al aumento de caudales máximos diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. De forma contraria, se identifica la ocurrencia de 9 episodios extremadamente secos distribuidos en todo el periodo de análisis (1990 a 2021). Se observa solamente un evento húmedo extremo de escorrentía estandarizada de 12 meses. Por otra parte, se identifica un episodio de sequía hidrológica entre moderada a extrema para la escorrentía acumulada de 12 meses

en el periodo de análisis, indicando una menor propensión de este sistema hidrológico a ser afectado por la variabilidad climática en comparación a las otras subzonas hidrográficas estudiadas (Figura 817).

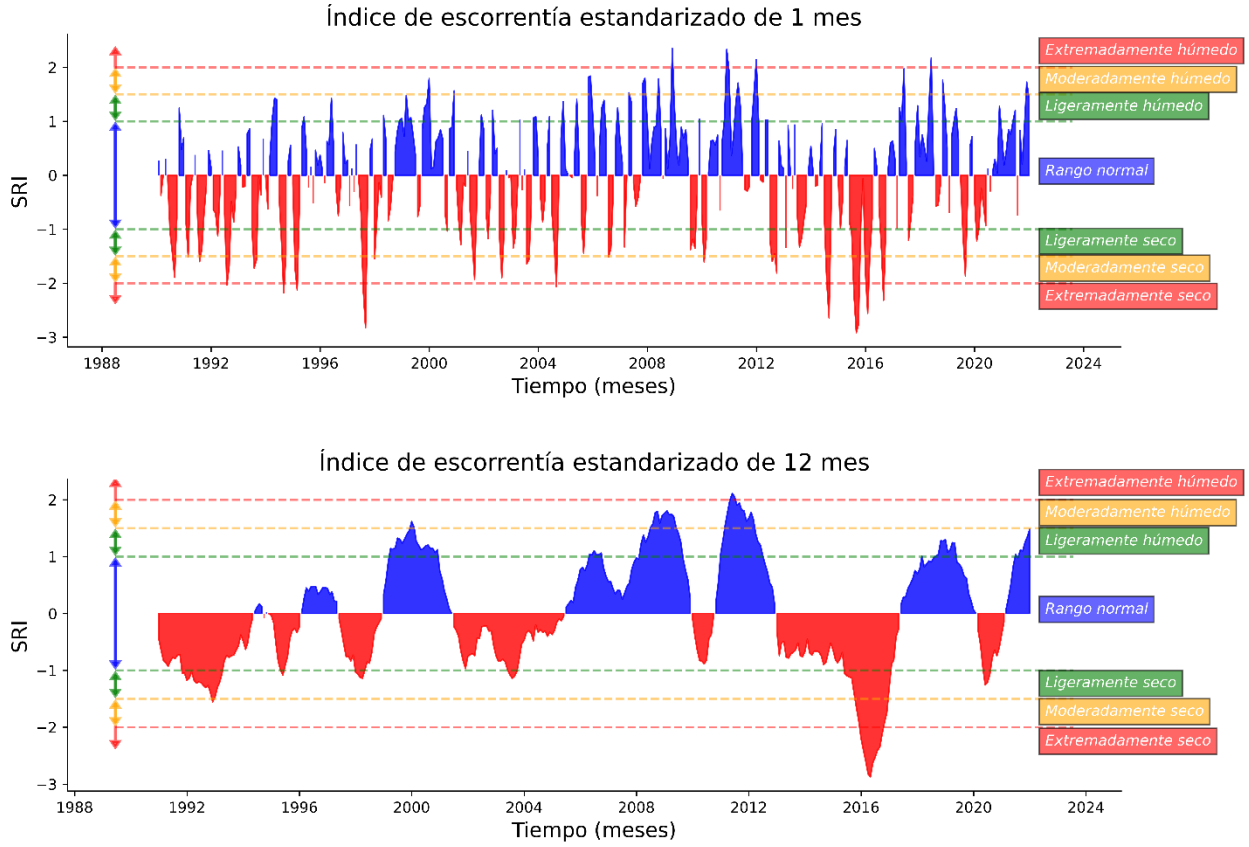


Figura 817. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Gualí (punto de cierre)

38.3.8. SRI en la subzona hidrográfica del río Guarinó

En esta subzona hidrográfica se identifican 5 episodios extremadamente húmedos en la serie mensual distribuidos en el periodo comprendido entre 2008 a 2018, lo cual evidencia un aumento en la magnitud y frecuencia de altos volúmenes de escorrentía mensual en los años húmedos más recientes, lo cual es consistente con la presencia de una tendencia al aumento de caudales máximos y medios diarios encontrada en el componente de Oferta Hídrica del estudio. De forma contraria, se identifica la ocurrencia de 10 episodios de sequía hidrológica extremadamente secos, distribuidos en todo el periodo de análisis (1990 a 2021). Se observan cuatro eventos húmedos de escorrentía estandarizada de 12 meses distribuidos en toda la serie, lo cual implica que, a pesar de la tendencia al aumento de los caudales máximos, no se transfiere un efecto de incremento en los volúmenes de escorrentía en los periodos húmedos. Por otra parte, se

identifican tres episodios de sequía hidrológica para la escorrentía acumulada de 12 meses en el periodo de análisis, clasificadas de moderada a extrema, indicando una menor propensión de este sistema hidrológico a intensificar la ocurrencia de sequías en comparación a las otras subzonas hidrográficas estudiadas (Figura 818).

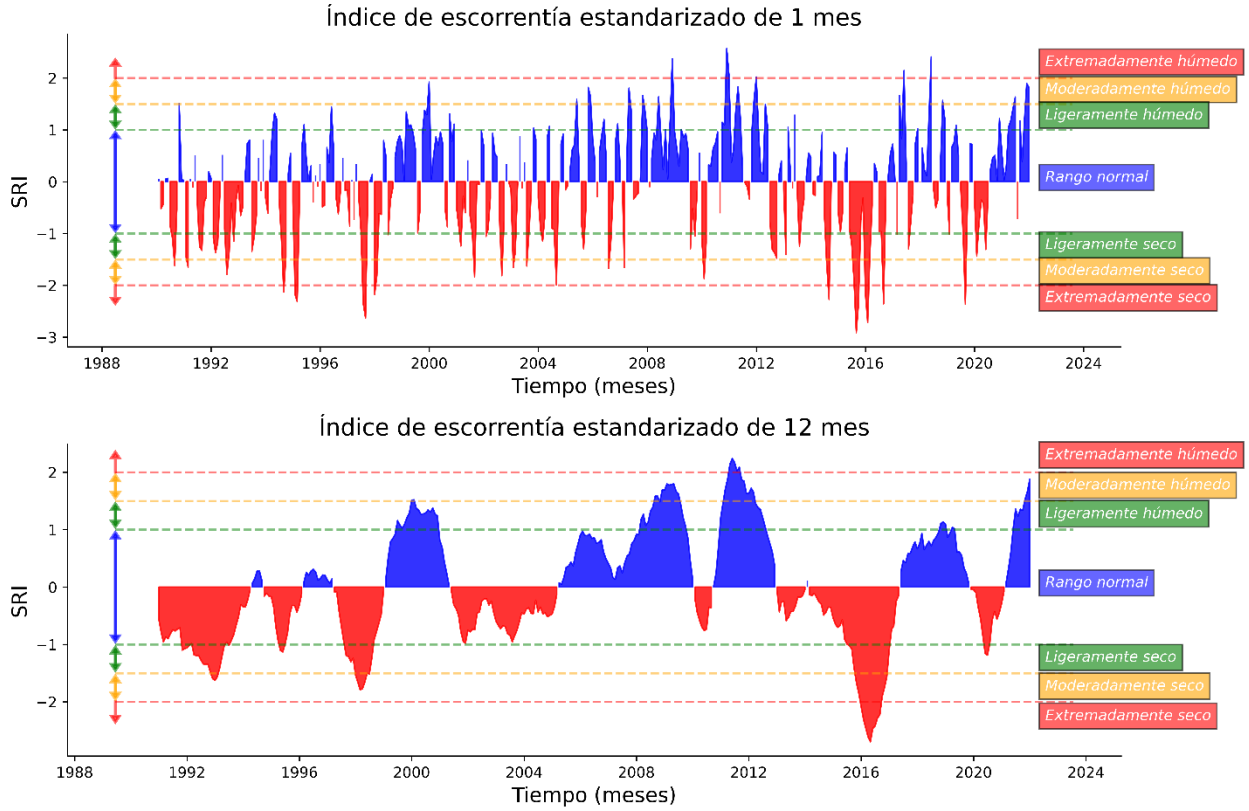


Figura 818. Distribución temporal del índice de escorrentía estandarizado para el periodo 1990 a 2021 en la subzona hidrográfica del río Guarinó (punto de cierre)

38.4. Índice de rendimiento medio de sedimentos (IRS)

El rendimiento medio de sedimentos se refiere a la cantidad de sedimentos que traspasan una sección transversal de control por unidad de tiempo y unidad de área aferente en un sitio de la corriente en estudio, para la ERA fueron determinados en los puntos de cierre de cada unidad de análisis en unidades de masa sobre tiempo por área ($M/T \cdot A$).

Este indicador se calculó para cada unidad de análisis mediante la aplicación de una expresión empírica regional construida a partir de los datos históricos disponibles en la red de IDEAM y los resultados de una campaña de monitoreo de caudales líquidos y caudales sólidos realizada en 38 sitios de medición en el marco de ejecución de la ERA, cuya expresión matemática es:

$$RQ_{s,j} = {Q_{s,j}}/{A_j}$$

Donde,

$RQ_{s,j}$ es el rendimiento medio de sedimentos en unidades de masa sobre tiempo por área, para la unidad de análisis j

$Q_{s,j}$ es el caudal sólido medio en unidades de masa sobre tiempo para la unidad de análisis j

A_j es el área drenante de la unidad de análisis j

Este indicador fue clasificado en cinco categorías desde "muy bajo" rendimiento de sedimentos a "muy alto" como se indica en la Tabla 630.

Límites de categorías (KTon/año/km2)	Categoría	Rendimiento medio de sedimentos
< 0.2		Muy bajo
0.2 – 0.5		Bajo
0.5 – 1.0		Medio
1.0 – 2.0		Alto
> 2.0		Muy Alto

Tabla 630. Categorías del índice de rendimiento medio de sedimentos. (Fuente: IDEAM, 2018)

En la subzona hidrográfica del río Coello se presenta un transporte medio de sedimentos de 586.25 kton/año correspondiente a un rendimiento de 0.32 kton/año/km^2 que se clasifica como bajo, lo cual se asocia a que en su área drenante predomina la erosión hídrica potencial menor a 10 m^3 por año.

La subzona hidrográfica del río Totare evidencia un transporte medio de sedimentos de 182.98 kton/año correspondiente a un rendimiento de 0.128 kton/año/km^2 que se clasifica como muy bajo. Los mayores aportes se presentan en las unidades de análisis río Totare 1, río Totarito, río La China, río Alvarado 1 y los drenajes directos al magdalena, para las tres primeras unidades esta dinámica se asocia a la mayor presencia de áreas de erosión potencial hídrica severa y muy severa; y en el caso de las dos últimas, al lavado de materia orgánica de origen doméstico (río Alvarado 1) y agrícola (drenajes directos al magdalena).

Para la subzona hidrográfica del río Opia se evidencian valores bajos de transporte de sedimentos, rendimiento medio en la parte alta de la subzona y bajos en la parte media y baja, lo cual se asocia a la baja presencia de áreas de erosión hídrica potencial severa y muy severa, y ocurrencia dispersa de las mismas.

En la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo el transporte de sedimentos más alto se presenta en las unidades de la parte media y baja con valores de 133.04 a 268.9

kton/año, lo cual está asociado a la presencia de áreas con erosión hídrica potencial severa y muy severa en esta parte de la cuenca.

Las unidades de análisis Lagunilla 3, 4, 5, 6 y 7 evidencian las tasas más altas de transporte de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Lagunilla, debido a que son las áreas de cuenca con mayor capacidad de arrastre de material y presencia de zonas con erosión hídrica potencial severa y muy severa.

En la subzona hidrográfica del río Sabandija se identifican bajas tasas de transporte de sedimentos y rendimientos medios bajos y muy bajos, lo cual está relacionado con rendimientos hídricos bajos y presencia de pocas zonas con erosión hídrica potencial severa y muy severa.

La parte media de la subzona hidrográfica del río Gualí evidencia los mayores rendimientos medios de sedimentos, clasificados como “muy altos” en las quebradas El Guarumo, Agua de Dios, San José, y Nicúa. Lo cual coincide con la mayor presencia de zonas con erosión hídrica potencial severa y muy severa.

El río Guarinó presenta rendimientos medios de sedimentos altos y muy altos en la parte media y baja debido a su alto rendimiento hídrico asociado a una alta susceptibilidad a la erosión hídrica potencial. Mientras que en la parte alta de la subzona hidrográfica, se evidencian rendimientos de sedimentos bajos por una menor presencia de sitios con erosión hídrica potencial severa y muy severa.

38.4.1. IRS en la Subzona hidrográfica del río Coello

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Toche	236.28	36.65	0.155	Muy Bajo
(2): Rio Coello 1	333.44	35.70	0.107	Muy Bajo
(3): Rio Bermellon 1	105.17	45.87	0.436	Bajo
(4): Rio Anaime	273.00	37.39	0.137	Muy Bajo
(5): Rio Bermellon 2	419.79	36.89	0.088	Muy Bajo
(6): Rio Coello 2	805.01	76.21	0.095	Muy Bajo
(7): Rio Cocora	162.09	39.11	0.241	Bajo
(8): Rio Coello 3	1193.89	204.31	0.171	Muy Bajo
(9): Rio Combeima 1	121.06	41.71	0.345	Bajo
(10): Rio Combeima 2	223.68	35.27	0.158	Muy Bajo
(11): Rio Combeima 3	252.54	35.48	0.140	Muy Bajo
(12): Rio Combeima 4	276.97	36.72	0.133	Muy Bajo
(13): Rio Coello 4	1561.86	423.47	0.271	Bajo
(14): Quebrada Gualanday	83.52	52.14	0.624	Medio
(15): Rio Coello 5	1728.22	526.44	0.305	Bajo
(16): Quebrada Chaguala	88.81	48.34	0.544	Medio
(17): Rio Coello 6	1819.31	586.25	0.322	Bajo

Tabla 631. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Coello para el periodo (1990 a 2021)

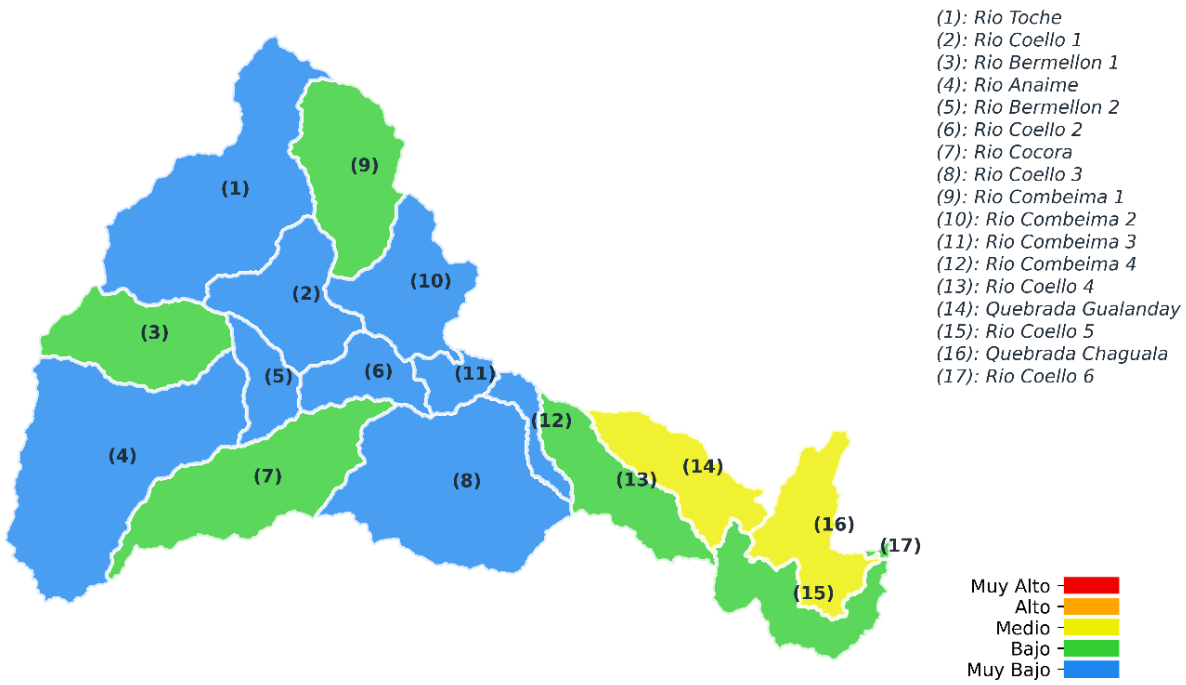


Figura 819. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Coello para el periodo (1990 a 2021)

38.4.2. IRS en la Subzona hidrográfica del río Totare

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Totare 1	86.39	48.90	0.566	Medio
(2): Rio Totarito	64.52	49.42	0.766	Medio
(3): Rio Totare 2	412.45	38.72	0.094	Muy Bajo
(4): Rio Totare 3	445.91	39.24	0.088	Muy Bajo
(5): Rio Alvarado 1	297.61	40.37	0.136	Muy Bajo
(6): Rio La China 1	46.63	48.96	1.050	Alto
(7): Rio San Romualdo	125.76	43.40	0.345	Bajo
(8): Rio La China 2	283.22	37.56	0.133	Muy Bajo
(9): Rio Frio	104.58	43.74	0.418	Bajo
(10): Rio La China 3	416.16	41.66	0.100	Muy Bajo
(11): Rio La China 4	440.96	42.34	0.096	Muy Bajo
(12): Rio Alvarado 2	750.58	59.77	0.080	Muy Bajo
(13): Rio Totare 4	1203.10	150.40	0.125	Muy Bajo
(14): Rio Chipalo 1	57.16	46.24	0.809	Medio
(15): Rio Chipalo 2	148.53	45.88	0.309	Bajo
(16): Rio Totare 5	1425.85	182.98	0.128	Muy Bajo
(17): Directos Magdalena Totare	34.16	53.66	1.571	Alto

Tabla 632. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Totare para el periodo (1990 a 2021)

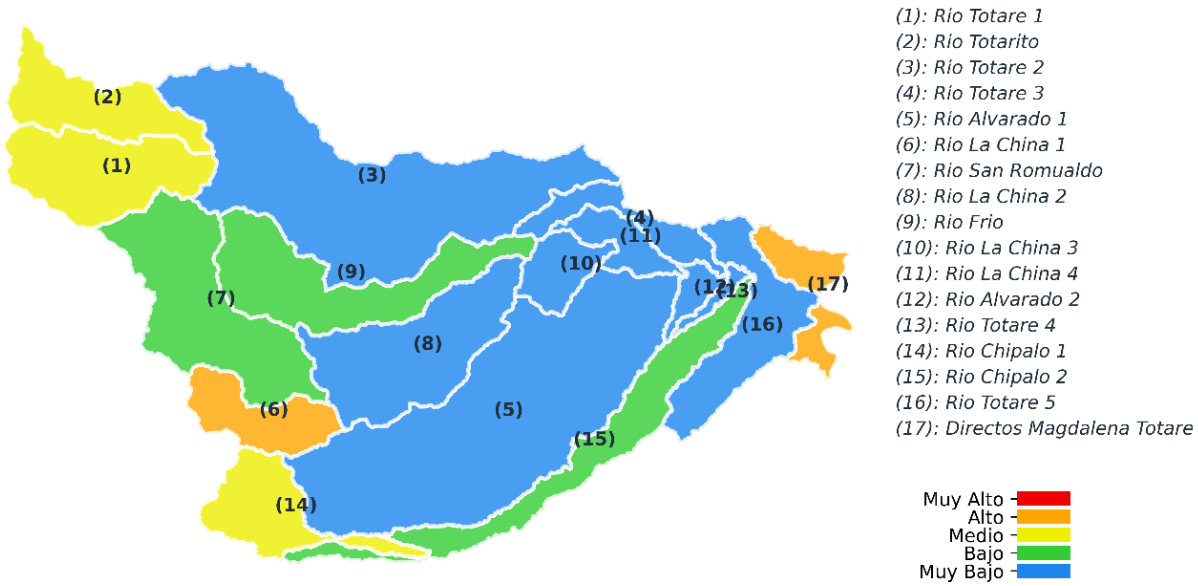


Figura 820. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Totare para el periodo (1990 a 2021)

38.4.3. IRS en la Subzona hidrográfica del río Opia

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Opia 1	94.30	52.37	0.555	Medio
(2): Quebrada Doima	140.27	52.82	0.377	Bajo
(3): Rio Opia 2	322.65	72.38	0.224	Bajo
(4): Directos Magdalena Opia	227.88	80.42	0.353	Bajo

Tabla 633. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Opia para el periodo (1990 a 2021)

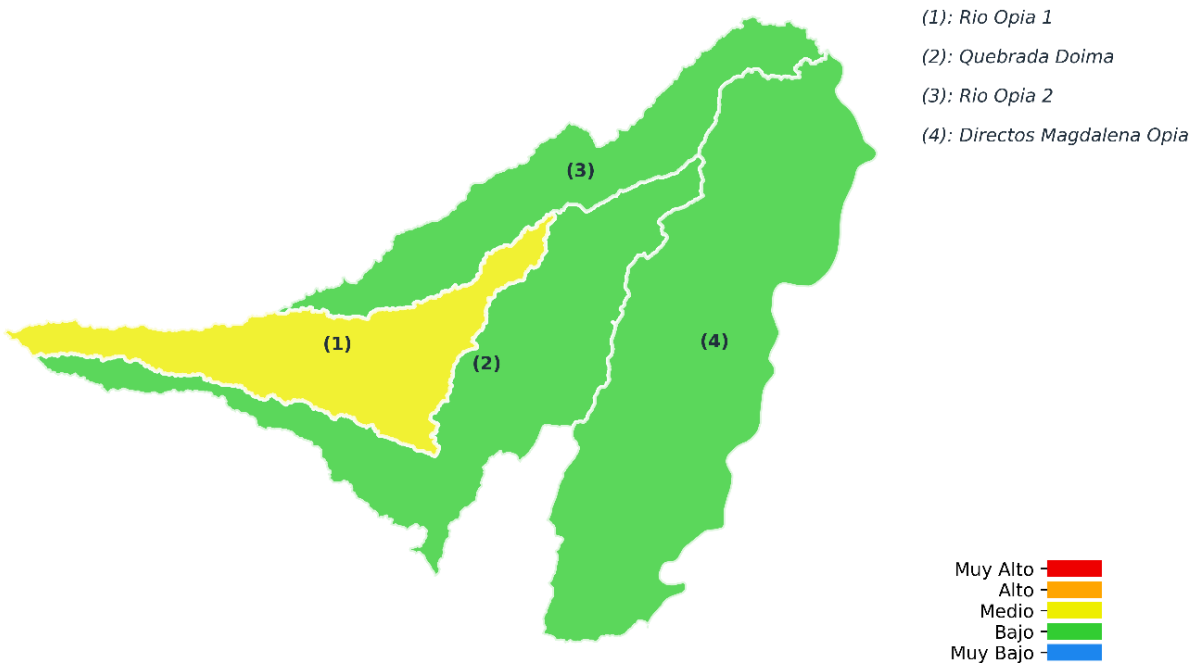


Figura 821. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Opia para el periodo (1990 a 2021)

38.4.4. IRS en la Subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Recio 1	89.55	39.22	0.438	Bajo

(2): Rio Azul	88.13	39.00	0.442	Bajo
(3): Rio Recio 2	331.31	49.50	0.149	Muy Bajo
(4): Quebrada Santa Rosa	26.95	47.89	1.777	Alto
(5): Rio Recio 3	492.17	133.04	0.270	Bajo
(6): Rio Yuca	130.20	34.12	0.262	Bajo
(7): Rio Recio 4	643.26	232.97	0.362	Bajo
(8): Rio Recio 5	699.91	262.60	0.375	Bajo
(9): Rio Recio 6	724.56	268.90	0.371	Bajo
(10): Rio Venadillo 1	136.06	35.87	0.264	Bajo
(11): Rio Venadillo 2	180.43	33.47	0.186	Muy Bajo
(12): Quebrada Tautau	49.48	47.33	0.957	Medio
(13): Directos Magdalena Recio Venadillo	45.65	46.33	1.015	Alto

Tabla 634. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo para el periodo (1990 a 2021

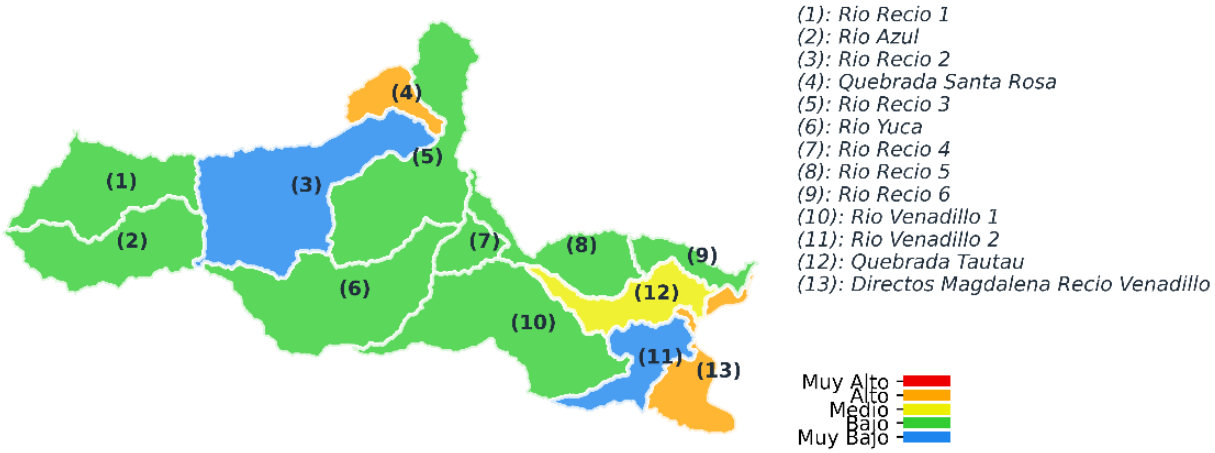


Figura 822. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo para el periodo (1990 a 2021)

38.4.5. IRS en la Subzona hidrográfica del río Lagunilla

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Lagunilla 1	79.16	41.34	0.522	Medio

(2): Rio Vallecitos	29.67	49.58	1.671	Alto
(3): Rio Lagunilla 2	186.00	36.03	0.194	Muy Bajo
(4): Rio Azufrado	207.47	39.52	0.191	Muy Bajo
(5): Rio Lagunilla 3	469.04	137.12	0.292	Bajo
(6): Rio Lagunilla 4	490.54	150.59	0.307	Bajo
(7): Rio Bledo	176.83	39.09	0.221	Bajo
(8): Rio Lagunilla 5	685.59	295.27	0.431	Bajo
(9): Quebrada Palmas	22.02	51.79	2.352	Muy Alto
(10): Rio Lagunilla 6	752.45	374.73	0.498	Bajo
(11): Quebrada La Joya	22.37	51.70	2.312	Muy Alto
(12): Rio Lagunilla 7	796.68	434.79	0.546	Medio
(13): Directos Magdalena Lagunilla	83.14	46.49	0.559	Medio

Tabla 635. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Lagunilla para el periodo (1990 a 2021)

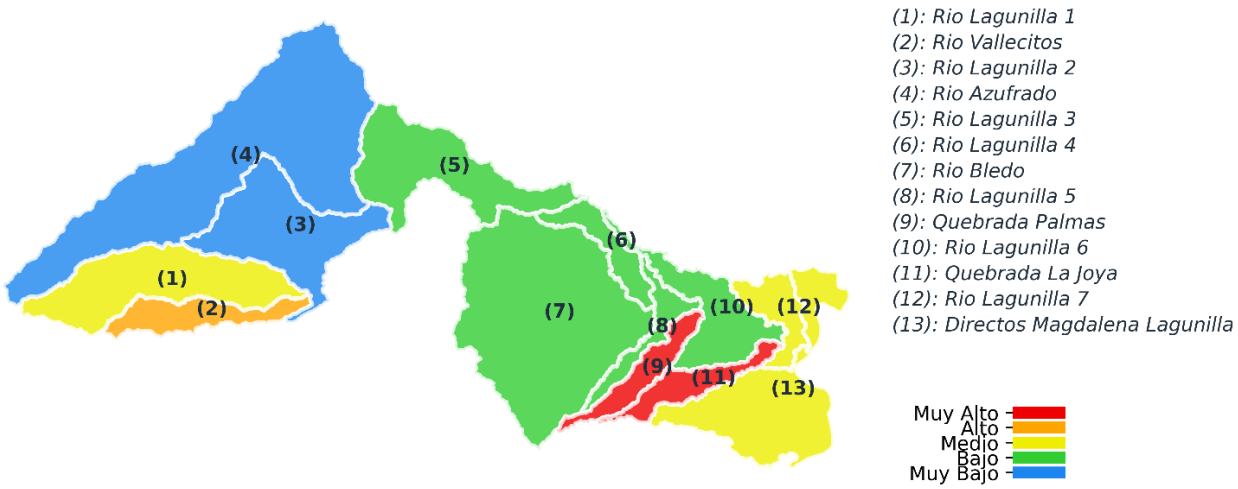


Figura 823. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Lagunilla para el periodo (1990 a 2021)

38.4.6. IRS en la Subzona hidrográfica del río Sabandija

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Sabandija 1	199.03	34.15	0.172	Muy Bajo
(2): Rio Cuamo	105.43	41.09	0.390	Bajo

(3): Rio Sabandija 2	545.00	55.20	0.101	Muy Bajo
(4): Quebrada Seca	131.28	41.23	0.314	Bajo
(5): Directos Magdalena Sabandija	209.99	38.54	0.184	Muy Bajo

Tabla 636. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Sabandija para el periodo (1990 a 2021)

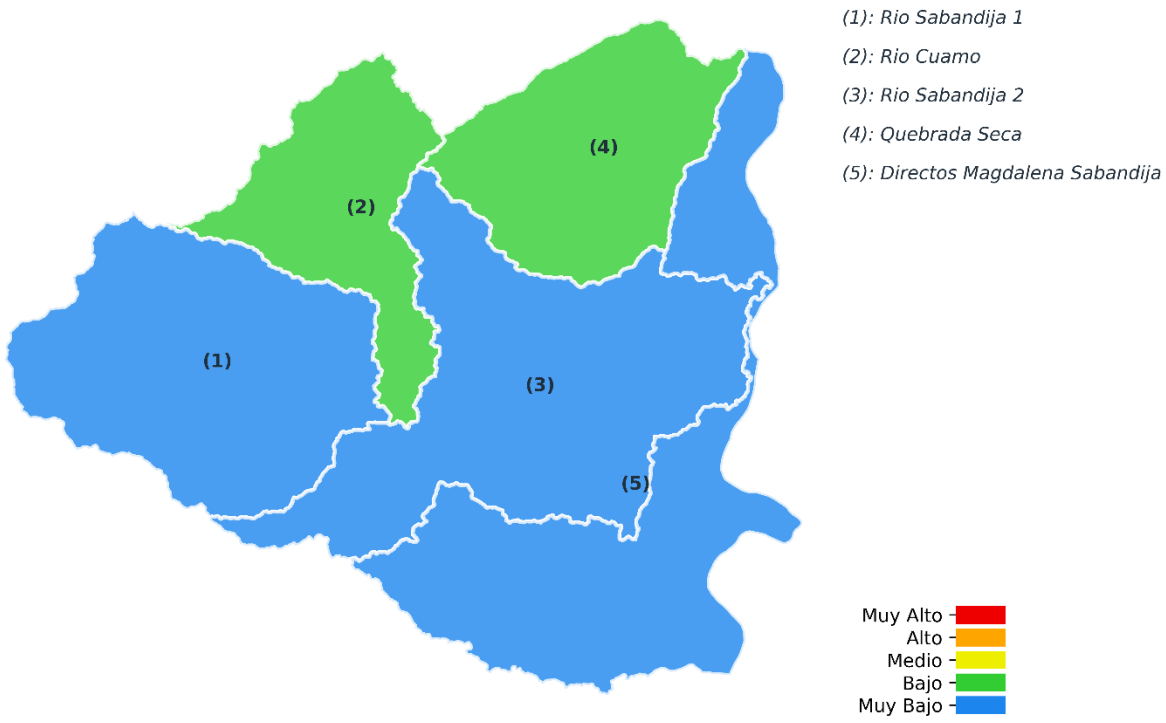


Figura 824. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Sabandija para el periodo (1990 a 2021)

38.4.7. IRS en la Subzona hidrográfica del río Gualí

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Guali 1	110.78	40.51	0.366	Bajo
(2): Rio Cajones	84.74	40.80	0.481	Bajo
(3): Rio Guali 2	213.33	46.80	0.219	Bajo
(4): Rio Aguacatal	97.97	38.59	0.394	Bajo
(5): Rio Guali 3	324.02	81.09	0.250	Bajo
(6): Quebrada El Guarumo	16.04	50.23	3.131	Muy Alto
(7): Quebrada Agua de Dios	15.41	50.44	3.273	Muy Alto
(8): Rio Guali 4	358.47	96.83	0.270	Bajo
(9): Rio Guali 5	377.42	106.19	0.281	Bajo
(10): Quebrada San Jose	10.46	52.18	4.987	Muy Alto

(11): Rio Guali 6	435.25	142.37	0.327	Bajo
(12): Quebrada Nicua	13.59	50.50	3.716	Muy Alto
(13): Rio Guali 7	470.36	166.73	0.354	Bajo
(14): Rio Sucio	89.15	34.65	0.389	Bajo
(15): Rio Guali 8	562.44	273.53	0.486	Bajo
(16): Rio Medina	91.99	34.68	0.377	Bajo
(17): Rio Guali 9	792.51	626.03	0.790	Medio
(18): Directos Magdalena Gualí	54.10	45.79	0.846	Medio

Tabla 637. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Gualí para el periodo (1990 a 2021)

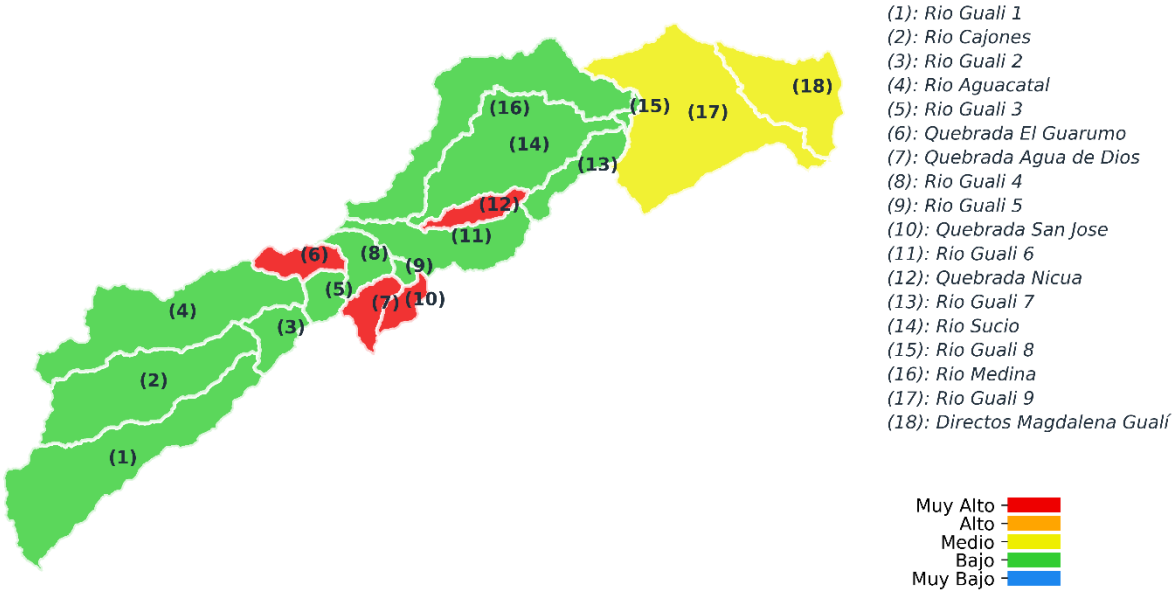


Figura 825. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Gualí para el periodo (1990 a 2021)

38.4.8. IRS en la Subzona hidrográfica del río Guarinó

Unidad de Análisis	Área Drenante (km2)	Transporte de Sedimentos (Kton/año)	Rendimiento medio de sedimentos (Kton/año/km2)	Categoría del rendimiento medio de sedimentos
(1): Rio Guarino 1	79.79	38.83	0.487	Bajo
(2): Rio Hondo	84.94	37.81	0.445	Bajo
(3): Rio Guarino 2	329.24	129.84	0.394	Bajo
(4): Rio Perrillo	160.82	42.13	0.262	Bajo
(5): Rio Guarino 3	539.21	352.28	0.653	Medio
(6): Rio Santo Domingo	88.66	35.67	0.402	Bajo
(7): Rio Guarino 4	668.66	675.64	1.010	Alto
(8): Rio San Juan	20.05	46.30	2.309	Muy Alto
(9): Rio Guarino 5	760.82	881.84	1.159	Alto

(10): Rio Guarino 6	794.04	1002.60	1.263	Alto
(11): Rio Guarino 7	845.85	1197.03	1.415	Alto

Tabla 638. Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Guarinó para el periodo (1990 a 2021)

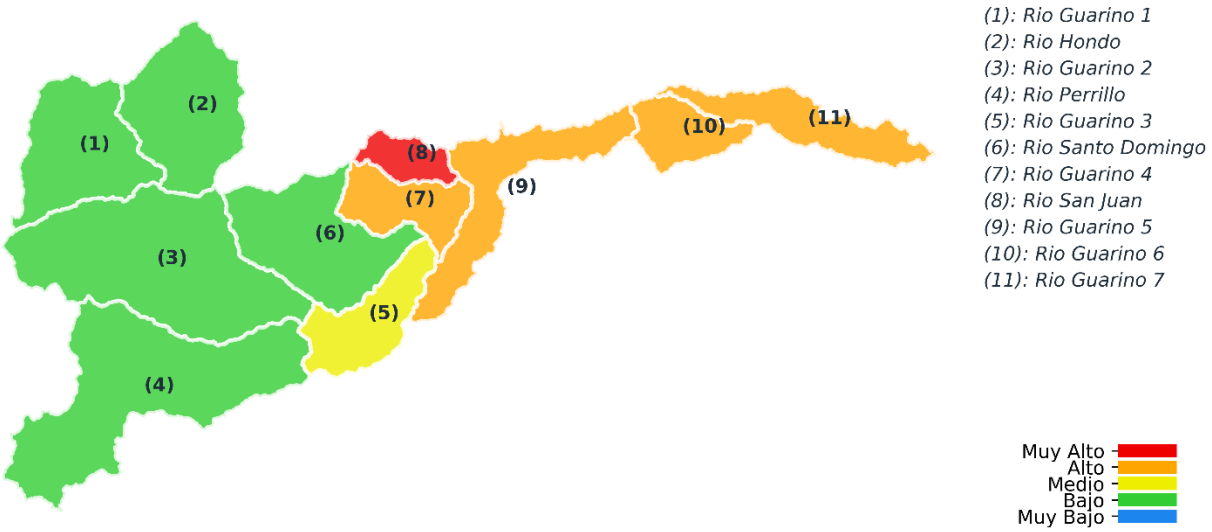


Figura 826. Distribución Espacial del Rendimiento medio de sedimentos en la subzona hidrográfica del río Guarinó para el periodo (1990 a 2021)

39. Indicadores de Presión por Uso del Agua

39.1. Índice de uso del agua (IUA)

Expresa la relación porcentual entre la demanda hídrica y la oferta hídrica regional disponible (OHRD), en la ERA se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{IUA} = \frac{DH}{OHRD} \times 100$$

IUA es el índice de uso del agua
DH es la demanda hídrica total
$OHRD$ es la oferta hídrica regional disponible

La presión por el uso del agua se categoriza de acuerdo con la Tabla 639.

Tabla 639. Categorías del índice de uso del agua. (Fuente: IDEAM, 2020b)

Rango de categorías	Categoría	Clasificación	Presión de la demanda con respecto a la oferta disponible
IUA > 100		Crítico	Crítica
50 < IUA ≤ 100		Muy Alto	Muy alta
20 < IUA ≤ 50		Alto	Alta
10 < IUA ≤ 20		Moderado	Moderada
1 < IUA ≤ 10		Bajo	Baja
IUA ≤1		Muy Bajo	No es significativa

La Oferta Hídrica Regional Disponible (OHRD) se refiere al volumen de agua que resulta de extraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS) el caudal ambiental menos/más las extracciones/retornos de agua en el contorno del tramo o subcuenca. La demanda hídrica total se refiere al volumen de agua extraída para los usos sectoriales.

A continuación, se presentan los índices de uso del agua por subzona hidrográfica para las condiciones hidrológicas de año medio y año seco.

39.1.1. IUA en la subzona hidrográfica del río Coello

Las unidades río Combeima 2, río Combeima 3, río Combeima 4 y río Coello 5 presentan una presión Crítica por el uso del agua en año medio y año seco con valores del IUA entre 806.4% y 1001309%. La unidad río Cocora pasa de tener una presión Muy Alta en año medio a Crítica en año seco, mientras que en la unidad río Anaime se observa una moderada presión por el uso en año medio (Figura 827), y en las unidades restantes se presentan valores bajos y muy bajos. Para año seco, la presión por uso del agua aumenta a Alto (IUA de 35.6%, Figura 828) en la unidad río Anaime, mientras que en las unidades río Bermellón 1 y río Coello 3 su valor es moderado, y en el resto de las unidades de análisis se mantienen presiones bajas y muy bajas aún en año seco.

La demanda hídrica total es de 28058.15 l/s, gran parte de esta demanda se destina para la actividad agrícola (52.98%, 14865.67 l/s) y la producción de energía (30.28%, 8497 l/s). La demanda hídrica restante (16.73%, 4695.48 l/s) está representada en un 14.45% (4054.89 l/s) por el consumo humano y doméstico, 0.92% (258.47 l/s) uso piscícola, 0.85% (239.06 l/s) uso pecuario, 0.49% (136.32 l/s) uso industrial, y 0,02% (6.74 l/s) por el uso recreativo.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Toche	0.0276	2.4693	1.12	0.9190	3.00
Rio Coello 1	0.0538	3.3956	1.58	1.4742	3.65
Rio Bermellón 1	0.0709	1.1376	6.24	0.4549	15.60
Rio Anaime	0.3321	2.2326	14.87	0.7102	46.76
Rio Bermellón 2	0.0175	3.5836	0.49	1.2992	1.34
Rio Coello 2	0.1102	7.0540	1.56	2.9323	3.76
Rio Cocora	1.0189	1.7168	59.35	0.9961	102.29
Rio Coello 3	0.6309	10.3029	6.12	4.0590	15.54
Rio Combeima 1	0.0210	1.7541	1.20	1.1727	1.79
Rio Combeima 2	6.0243	0.7470	806.44	-0.1826	602434.00
Rio Combeima 3	4.9822	-3.6053	498218.00	-2.2866	498218.00
Rio Combeima 4	4.6627	-1.9524	466270.90	-0.7938	466270.90
Rio Coello 4	0.0409	8.0716	0.51	2.8390	1.44
Quebrada Gualanday	0.0367	0.6343	5.79	0.4495	8.17
Rio Coello 5	10.0131	1.5299	654.49	-3.9710	1001309.00
Quebrada Chaguala	0.0152	0.7654	1.99	0.4633	3.29
Rio Coello 6	0.0000	2.2235	0.00	-3.4548	0.00

Tabla 640. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Coello

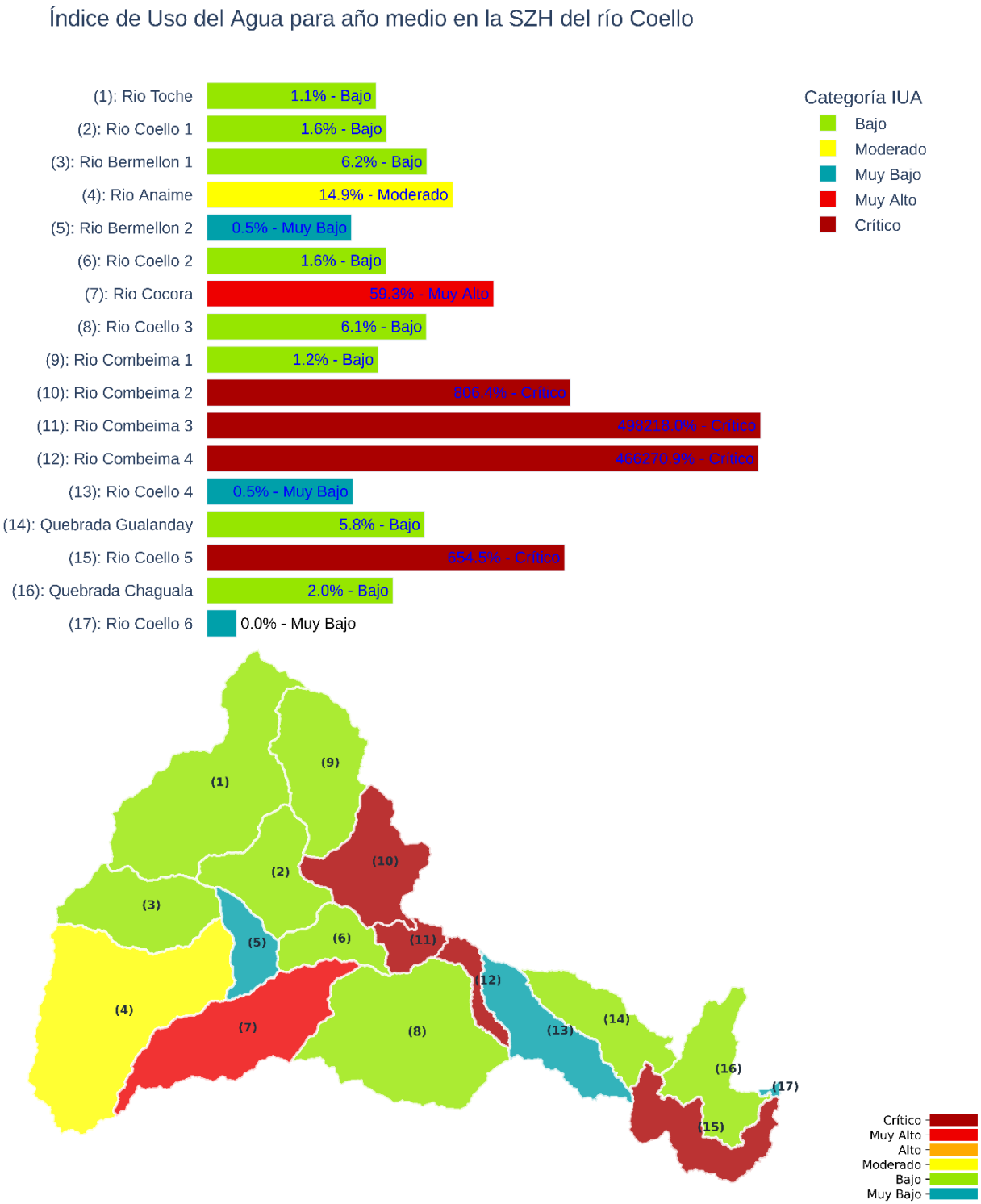


Figura 827. Distribución espacial de categorías del índice de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Coello

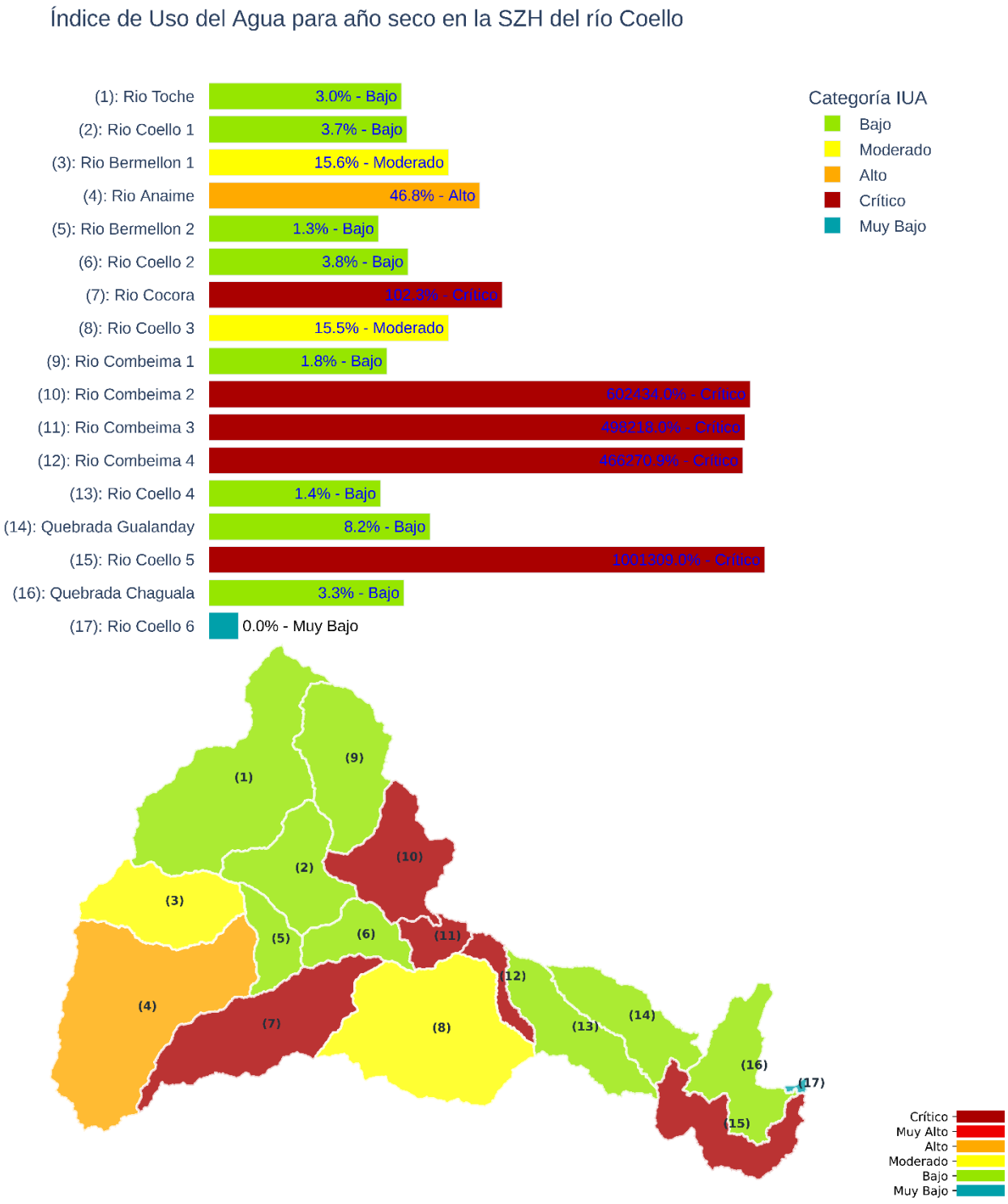


Figura 828. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Coello

39.1.2. IUA en la subzona hidrográfica del río Totare

Las unidades río Totare 3, río Alvarado 1, y río La China 4, presentan una presión Crítica por el uso del agua en año medio, mientras que las unidades río Chipalo 1 y río Chipalo 2 tienen una categoría Muy Alta presión por el uso del agua en año medio y año seco con valores del IUA entre 58.9% y 98.6%. En las unidades río Totare 2 y río Totare 4 se observa una moderada presión por el uso en año medio (Figura 829), y en las unidades restantes se observan valores bajos y muy bajos. Para año seco, la presión por uso del agua aumenta a Alto (IUA de 49.0%) en la unidad río Totare 2 (Figura 830), mientras que en las unidades río Totare 3, río Alvarado 1, río La China 4, río Alvarado 2, río Totare 4, río Totare 5 su valor es Crítico en año seco, y en el resto de las unidades de análisis se mantienen presiones bajas y muy bajas aún en año seco.

La demanda hídrica total de esta subzona hidrográfica es de 15281.16 l/s, de los cuales el 88.32% (13496.03 l/s) es destinado para el sector agrícola. Los sectores consumo humano y doméstico, pecuario, generación de energía, recreativo, piscícola, industrial, minería, participan en la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica en un 4.84% (738.94 l/s), 2.60% (396.84 l/s), 1.47% (225 l/s), 1.16% (177.0), 0.88% (177.0 l/s), 0.71% (108.59 l/s) y 0.03 (5 l/s), respectivamente.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Totare 1	0.0025	0.7206	0.35	0.4170	0.60
Rio Totarito	0.0000	0.6602	0.00	0.3327	0.00
Rio Totare 2	0.7868	3.9561	19.89	1.6042	49.05
Rio Totare 3	4.8786	0.6039	807.79	-1.6302	487862.30
Rio Alvarado 1	2.1427	1.7675	121.23	0.5221	410.40
Rio La China 1	0.0274	0.8416	3.25	0.3664	7.47
Rio San Romualdo	0.0000	1.7610	0.00	0.9268	0.00
Rio La China 2	0.0177	3.8429	0.46	2.0007	0.89
Rio Frio	0.0050	1.4941	0.33	0.7945	0.63
Rio La China 3	0.0172	5.4710	0.31	2.8554	0.60
Rio La China 4	4.9590	0.8547	580.19	-1.2142	495902.50
Rio Alvarado 2	0.0202	2.7867	0.72	-0.3554	2020.00
Rio Totare 4	0.3343	2.9426	11.36	-2.2698	33425.70
Rio Chipalo 1	1.0366	1.7612	58.86	1.2651	81.94
Rio Chipalo 2	0.9431	1.4663	64.32	0.9567	98.57
Rio Totare 5	0.1101	3.3222	3.31	-2.5062	11012.70
Directos Magdalena Totare	0.0000	0.1771	0.00	0.0655	0.00

Tabla 641. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Totare

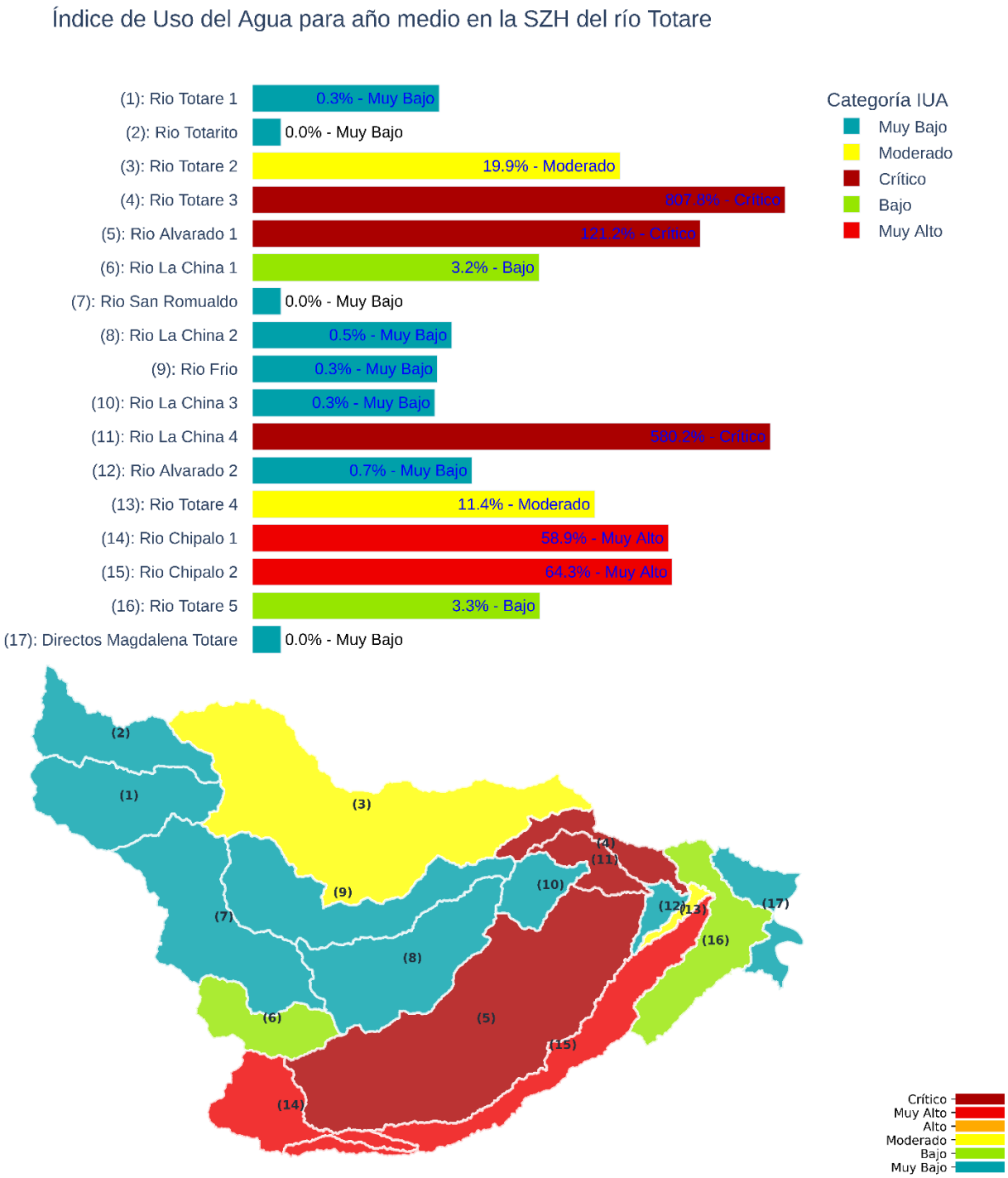


Figura 829. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Totare

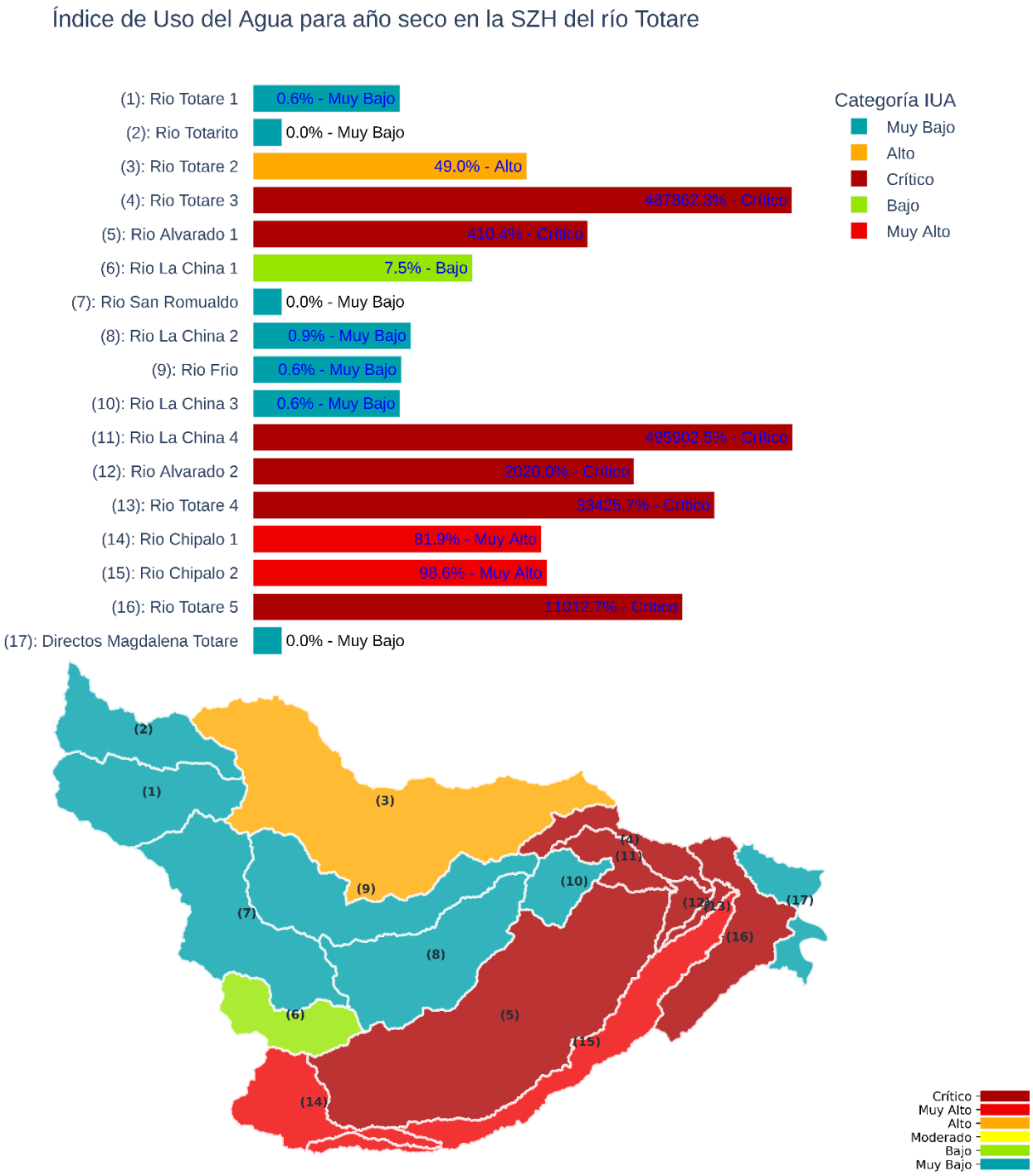


Figura 830. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Totare

39.1.3. IUA en la subzona hidrográfica del río Opia

La subzona hidrográfica del río Opia tiene un índice de uso del agua moderado en su parte alta, específicamente en la unidad río Opia 1 en año medio (con un valor de 19.4%, Figura 831) y pasa a Alto en año seco (21.6%, Figura 832). En las unidades quebrada Doima, río Opia 2 y drenajes directos al Magdalena se observa una baja presión por uso del agua en ambas condiciones hidrológicas analizadas.

Para esta subzona hidrográfica se identifica una demanda hídrica total de 786.84 l/s. La mayor participación sobre este valor demandado corresponde al sector agrícola cuya demanda es de 708.62 l/s que equivalen al 90.06% del total. La demanda hídrica restante (9.94%, 78.22 l/s) está representada en un 7.25% (57.08 l/s) por el consumo humano y doméstico, 1.16% (9.14 l/s) por el sector pecuario, 1.08% (8.50 l/s) por el sector industrial, y un 0.06% (0.50 l/s). Esta subzona es la única que reporta uso del recurso para la conservación de Fauna y Flora, pero este no es muy significativo respecto al total demandado en el área (0.38%, 3 l/s).

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Opia 1	0.5991	3.0862	19.41	2.7798	21.55
Quebrada Doima	0.0503	1.6914	2.97	1.4034	3.58
Rio Opia 2	0.0981	5.8046	1.69	5.0843	1.93
Directos Magdalena Opia	0.0394	2.4115	1.63	1.9796	1.99

Tabla 642. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Opia

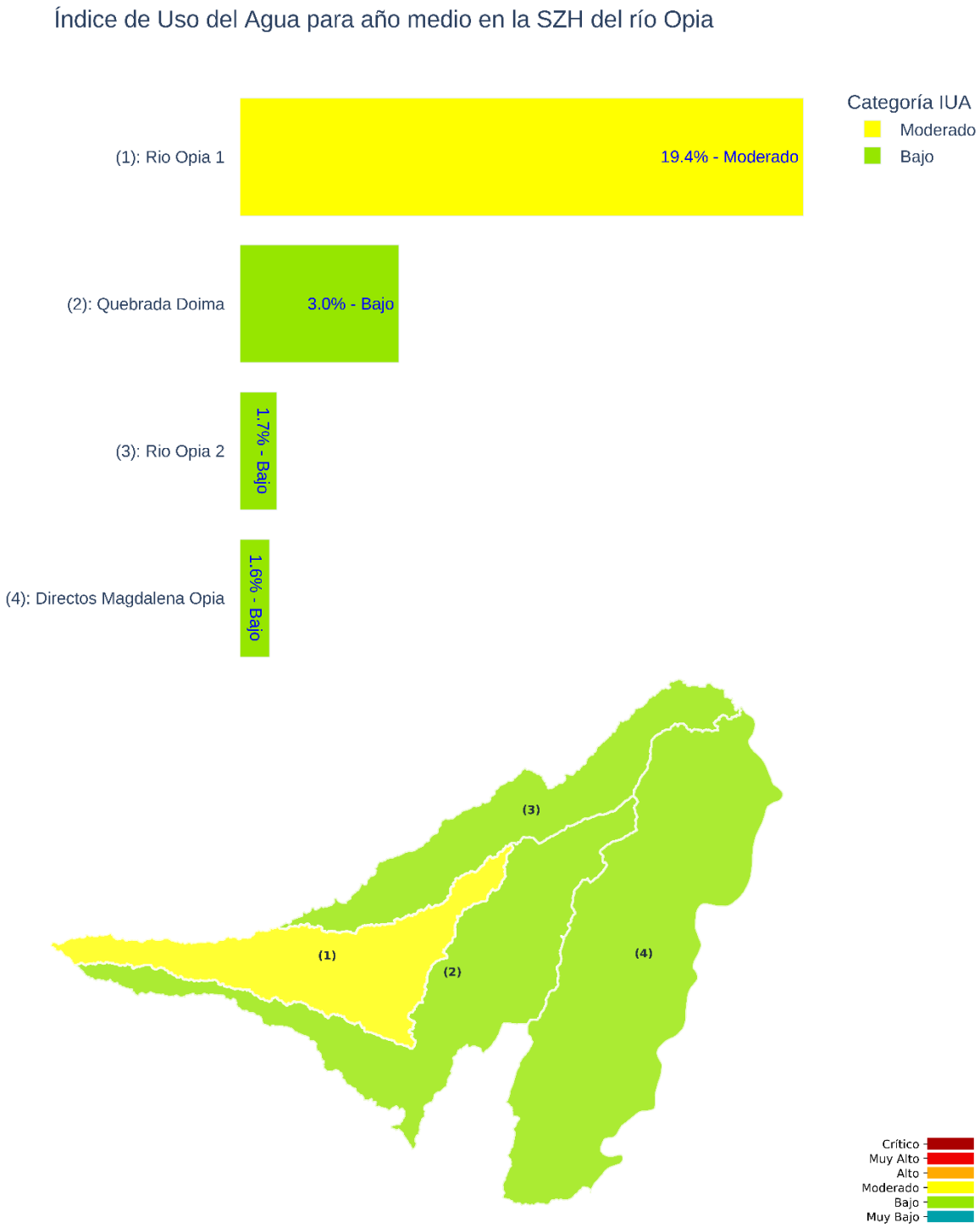


Figura 831. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Opia

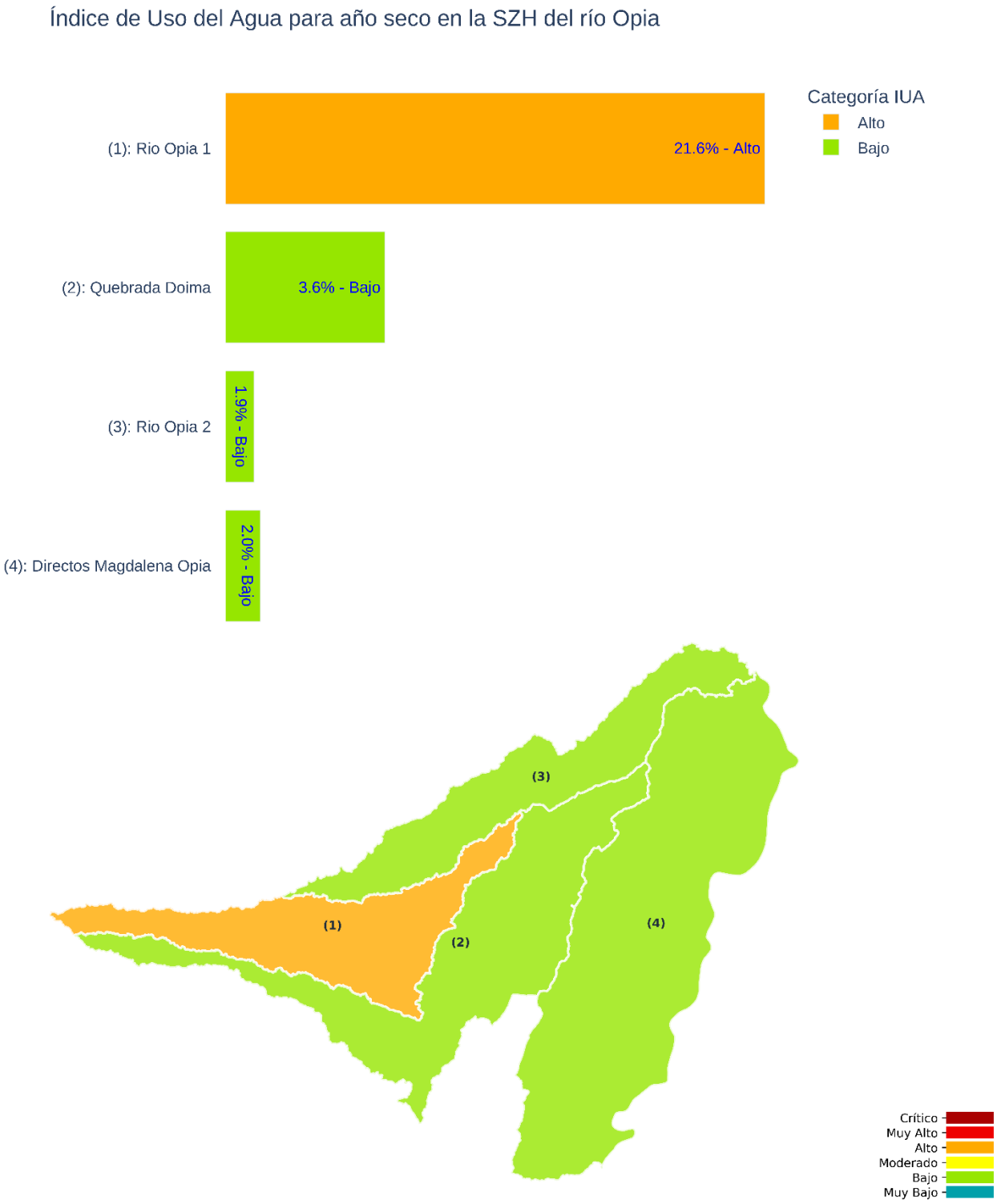


Figura 832. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Opia

39.1.4. IUA en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

Las unidades de análisis ubicadas en la parte alta de la subzona hidrográfica evidencian un índice de uso del agua muy bajo (río Recio 1, río Azul, río Recio 2, quebrada Santa Rosa, río Recio 3, río La Yuca, y río Recio 4) tanto en año medio como en año seco. Igualmente, la unidad drenajes directos al Magdalena presenta una muy baja presión por el uso del agua en ambas condiciones hidrológicas (Figura 833, Figura 834). Para año medio, las unidades río Recio 5, río Recio 6 y río Venadillo 2 tienen una presión por el uso del agua Crítica, y la unidad río Venadillo 1 evidencia una Muy Alta presión por uso (IUA de 60.1%). Durante año seco se identifica un IUA Crítico en las unidades río Recio 5, río Recio 6, río Venadillo 1y río Venadillo 2 (Figura 833).

En la Subzona del río Recio y Venadillo la demanda hídrica total corresponde a 17278.01 l/s. Del valor de caudal demandado en esta unidad, el 44.47% (7682.99 l/s) se destina al sector agrícola y el 27.64% (4775.46 l/s) para consumo humano y doméstico. El uso de agua en el sector pecuario, industrial, piscícola y recreativo representa el 21.01% (3629.94 l/s), 6.66% (1150.18 l/s), 0.23% (39.16 l/s) y 0.002% (0.28 l/s), respectivamente.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Recio 1	0.0041	1.7512	0.23	0.9871	0.41
Rio Azul	0.0000	1.1632	0.00	0.6546	0.00
Rio Recio 2	0.0033	4.5208	0.07	2.4511	0.13
Quebrada Santa Rosa	0.0013	0.7347	0.17	0.4548	0.28
Rio Recio 3	0.0157	8.3905	0.19	4.4258	0.36
Rio Yuca	0.0050	1.7876	0.28	1.0800	0.46
Rio Recio 4	0.0000	10.2649	0.00	5.4655	0.00
Rio Recio 5	11.0160	-0.2040	1101600.00	-4.9794	1101600.00
Rio Recio 6	2.4996	-2.3137	249960.00	-7.1885	249960.00
Rio Venadillo 1	0.8417	1.4010	60.08	0.7204	116.84
Rio Venadillo 2	2.8766	-0.8274	287664.20	-1.6120	287664.20
Quebrada Tautau	0.0147	0.8369	1.76	0.5822	2.53
Directos Magdalena Recio Venadillo	0.0000	0.2830	0.00	0.1450	0.00

Tabla 643. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

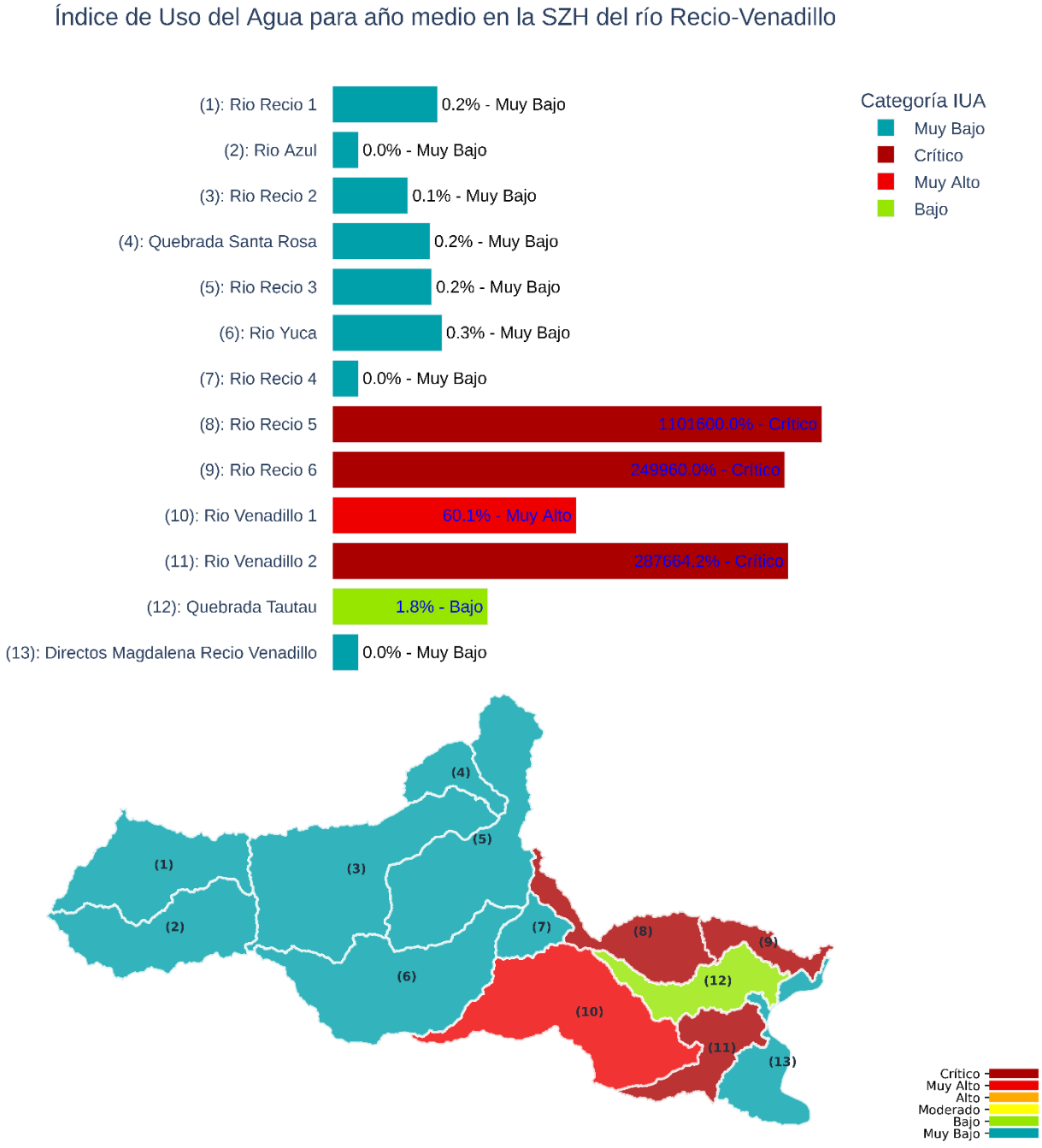


Figura 833. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

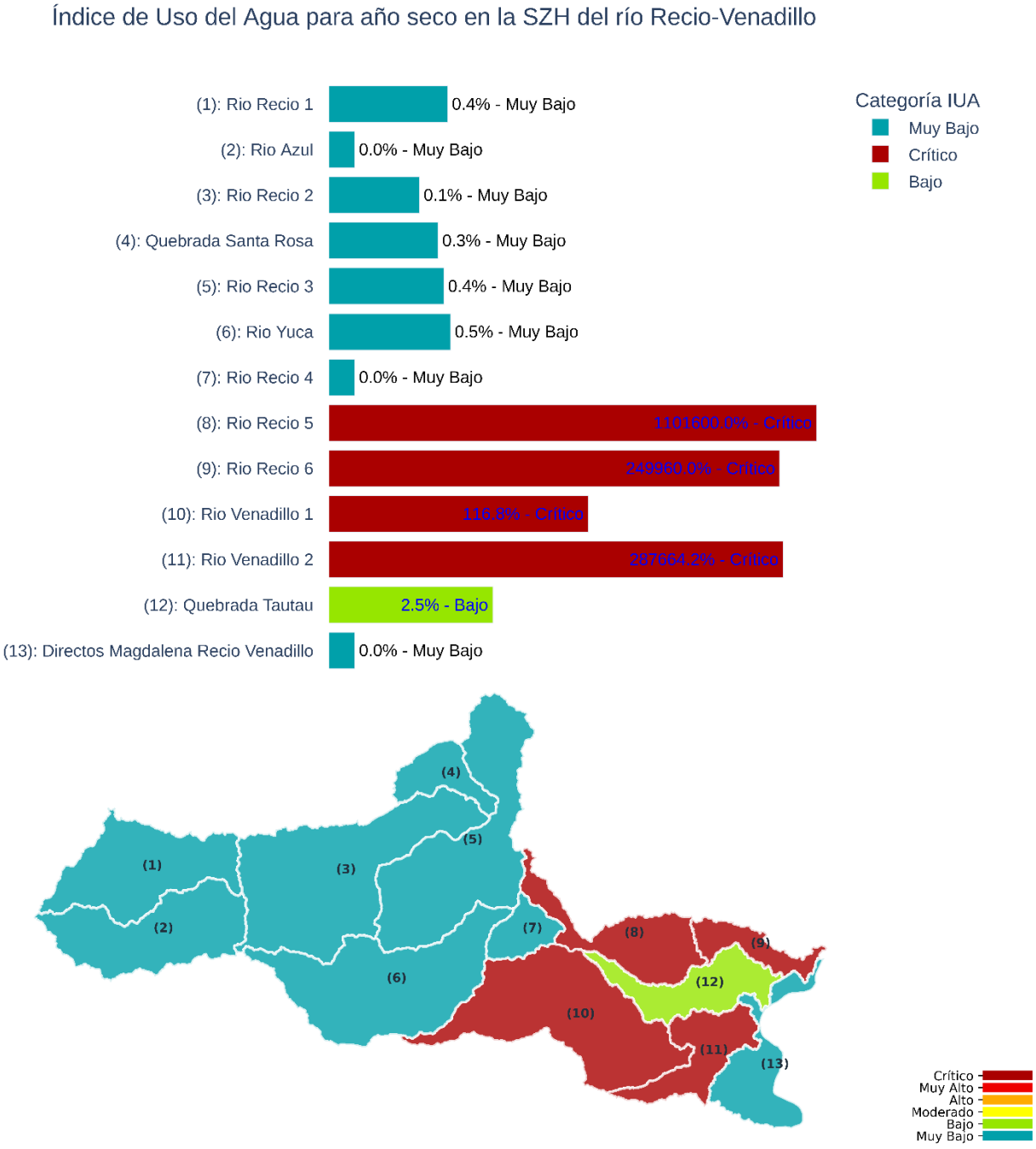


Figura 834. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

39.1.5. IUA en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

La presión por el uso del agua es Crítica para año medio en las unidades río Lagunilla 4 y quebrada Palmas (Figura 835), se reduce a una presión Muy Alta en río Vallecitos y Alta en río Bledo y río Lagunilla 6, mientras que en el resto de las unidades de análisis disminuye a categorías baja y muy baja (río Lagunilla 1, río Lagunilla 2, río Azufrado, río Lagunilla 3, río Lagunilla 5, quebrada La Joya, río Lagunilla 7 y drenajes directos al Magdalena). Para la condición hidrológica de año seco, el índice de uso del agua en el río Vallecitos aumenta a un valor de 158.2% clasificándose como Crítico (Figura 836), y en río Bledo se incrementa a una categoría Alta (32.6%), manteniendo el resto de las unidades de análisis la misma categoría encontrada para año medio.

En la Subzona Hidrográfica del río Lagunilla la demanda hídrica total corresponde a 12832.27 l/s, siendo el consumo de tipo agrícola el que mayor presión ejerce sobre el recurso hídrico en el área con el 91.35% que representan 11721.87 l/s. Los sectores consumo humano y doméstico, pecuario, piscícola, minería e industrial, participan en la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica en un 5.28% (678.01 l/s), 3.15% (404.60 l/s), 0.18% (23.65 l/s), 0.03% (3.60 l/s) y 0.004% (0.53 l/s), respectivamente.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Lagunilla 1	0.0125	1.6188	0.77	0.6887	1.82
Rio Vallecitos	0.4229	0.5904	71.64	0.2674	158.16
Rio Lagunilla 2	0.0107	3.7451	0.29	1.9118	0.56
Rio Azufrado	0.0607	4.1861	1.45	2.7776	2.19
Rio Lagunilla 3	0.0395	8.4316	0.47	5.2081	0.76
Rio Lagunilla 4	10.3395	-1.1777	1033952.30	-4.4579	1033952.30
Rio Bledo	0.6536	2.7905	23.42	2.0043	32.61
Rio Lagunilla 5	0.0000	1.7580	0.00	-2.1329	0.00
Quebrada Palmas	0.7168	0.0901	795.91	-0.0022	71683.90
Rio Lagunilla 6	0.5739	2.8453	20.17	-1.4761	57386.30
Quebrada La Joya	0.0020	0.7854	0.25	0.5036	0.40
Rio Lagunilla 7	0.0000	4.3482	0.00	-0.4176	0.00
Directos Magdalena Lagunilla	0.0000	1.9109	0.00	1.2357	0.00

Tabla 644. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

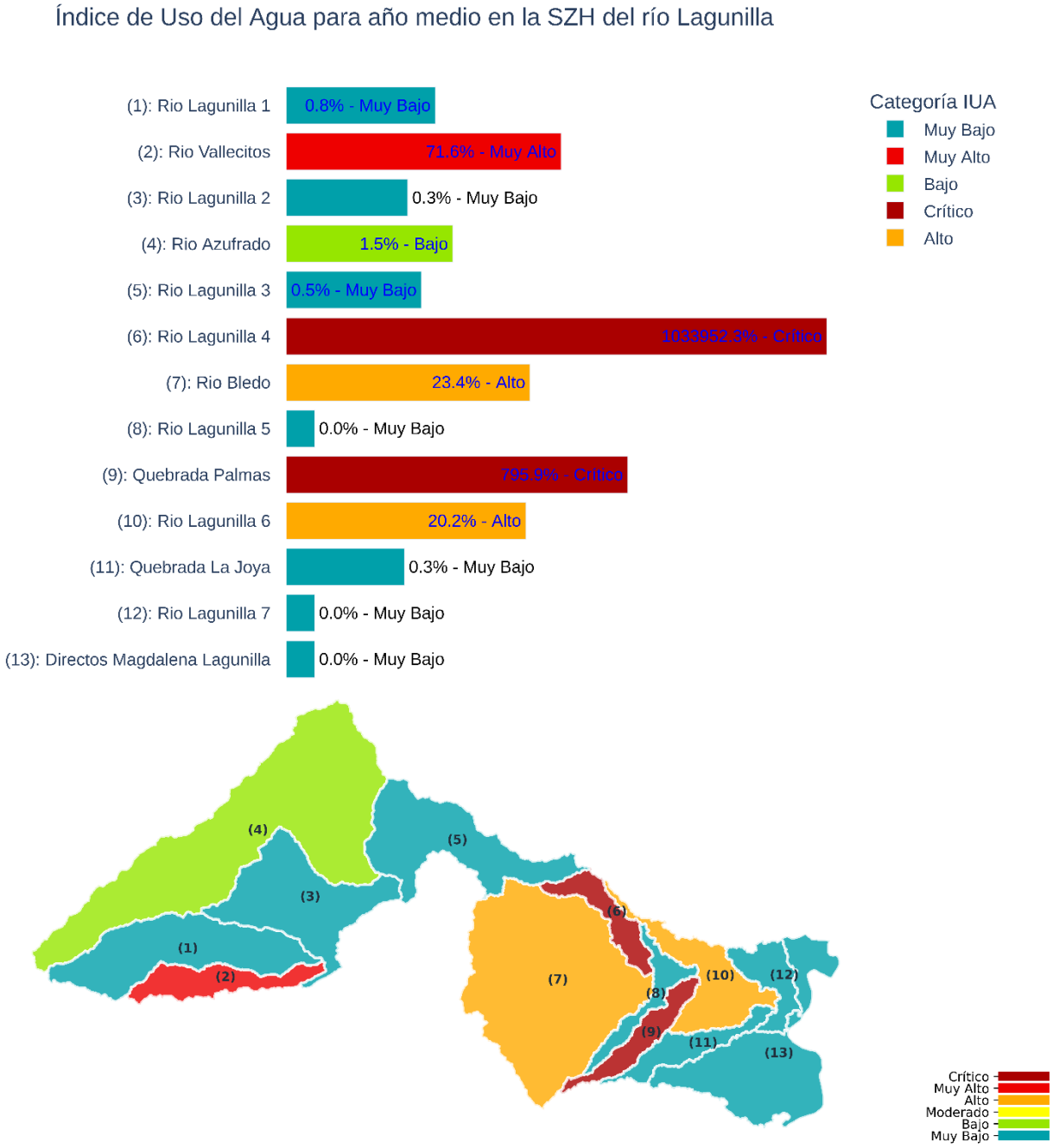


Figura 835. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

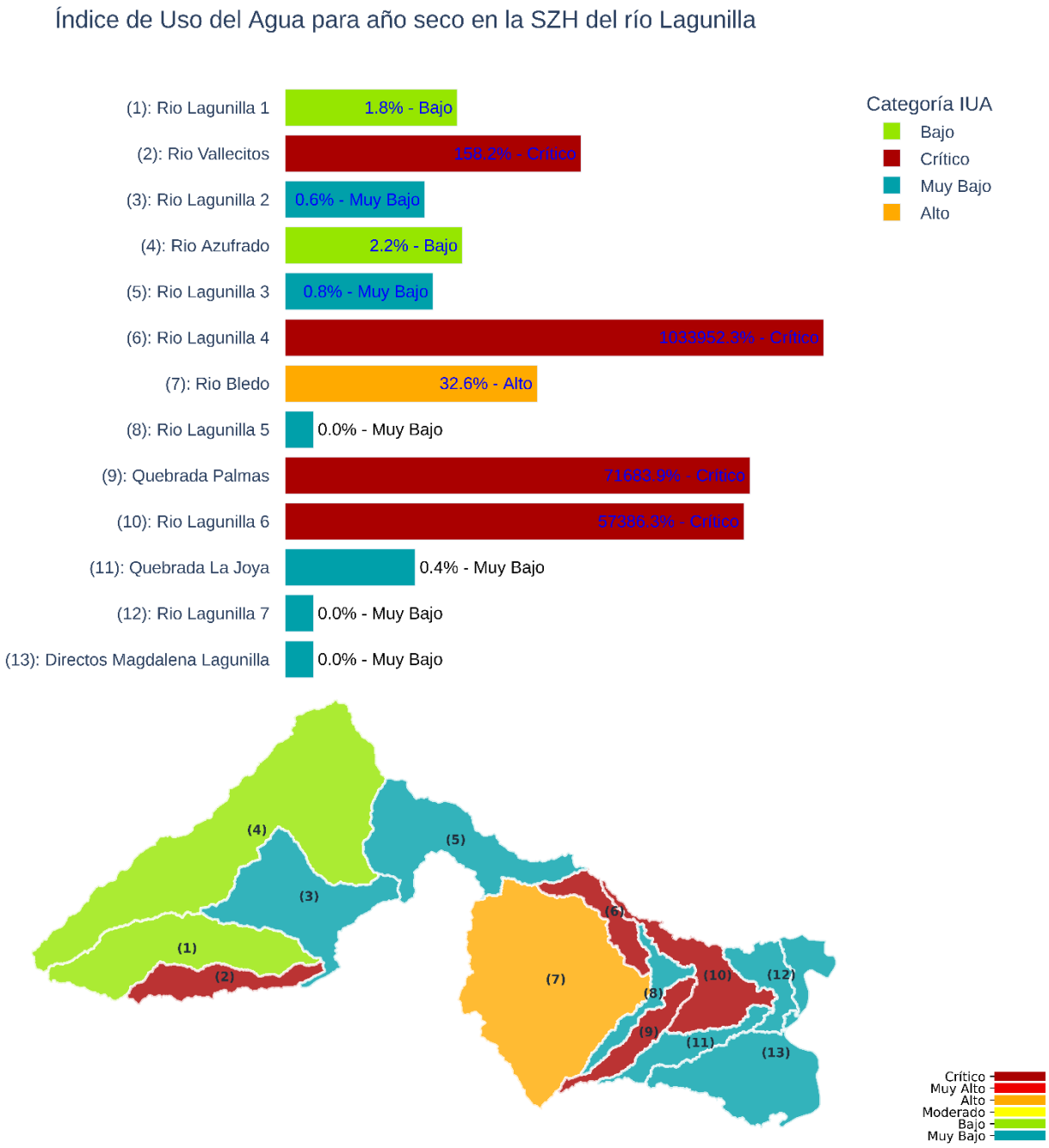


Figura 836. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

39.1.6. IUA en la subzona hidrográfica del río Sabandija

La subzona hidrográfica del río Sabandija tiene un índice de uso del agua alto en su parte alta, específicamente en la unidad río Sabandija 1 y río Cuamo en año medio (con valores de 27.9% y 41.6%, Figura 837); para año seco la unidad río Cuamo incrementa a Muy Alto el índice de uso del agua, mientras que las unidades río Sabandija 1y río Sabandija 2 presentan un IUA alto de 43.9% y 23.5% respectivamente (Figura 838). La unidad quebrada Seca evidencia una presión Muy Baja en ambas condiciones hidrológicas, y la unidad de drenajes directos al Magdalena tiene un índice Bajo (6.4%) en año medio y Moderado (10.4%) en año seco.

En la Subzona Hidrográfica del Río Sabandija se presenta una demanda hídrica total de 1857.30 l/s. El principal uso del recurso es para actividades agrícolas (64.93%, 1205.88 l/s. Los sectores consumo humano y doméstico, pecuario, piscícola, industrial y minería, participan en la demanda hídrica de esta Subzona Hidrográfica en un 20.49% (380.53 l/s), 11.61% (215.59 l/s), 2.38% (44.26 l/s), 0.58% (10.72 l/s), y 0.02% (0.40 l/s), respectivamente.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Sabandija 1	0.6118	2.1931	27.90	1.3925	43.93
Rio Cuamo	0.3683	0.8859	41.57	0.4498	81.88
Rio Sabandija 2	0.7315	4.8033	15.23	3.1128	23.50
Quebrada Seca	0.0019	1.5709	0.12	0.9646	0.20
Directos Magdalena Sabandija	0.1438	2.2451	6.41	1.3809	10.41

Tabla 645. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Sabandija

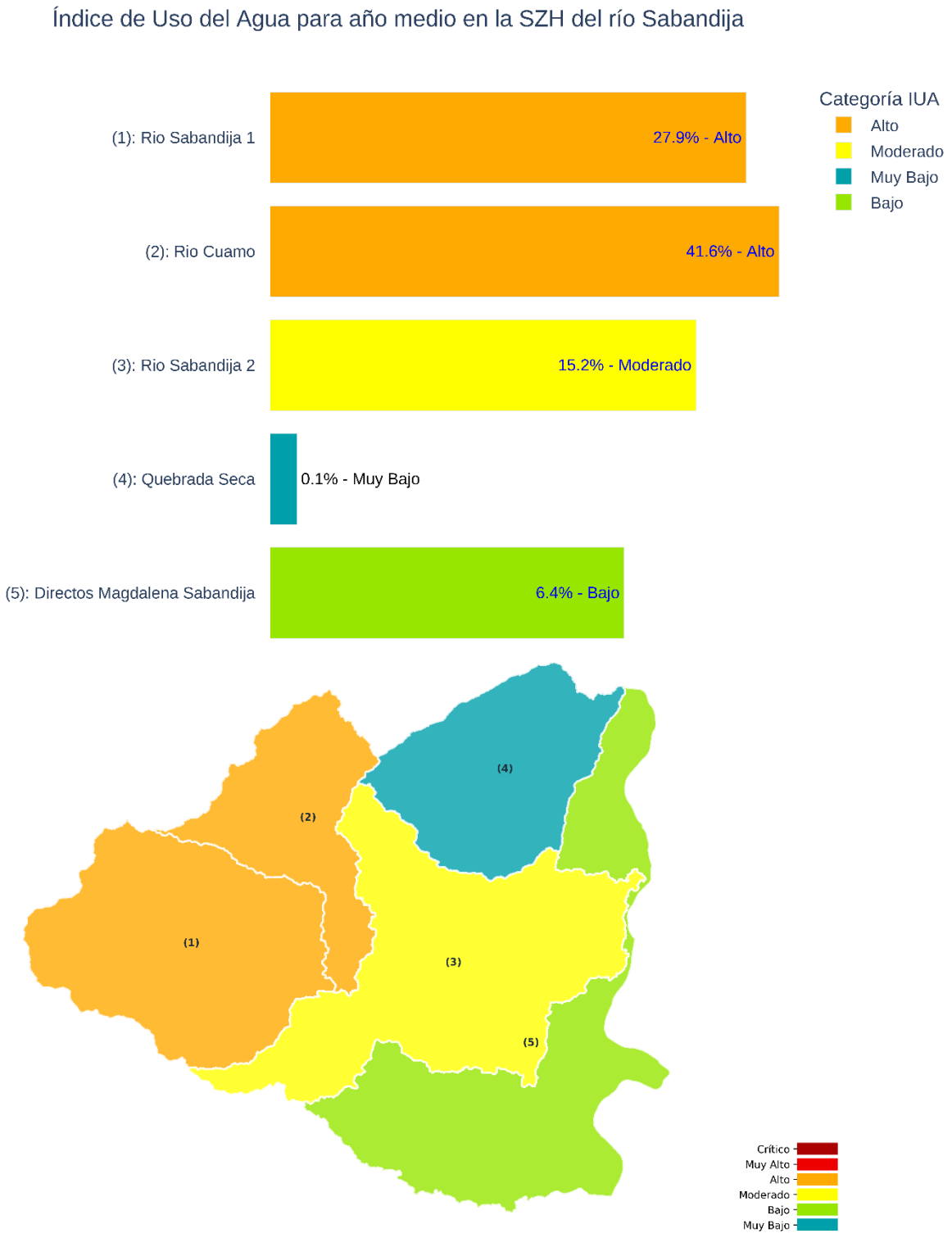


Figura 837. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Sabandija

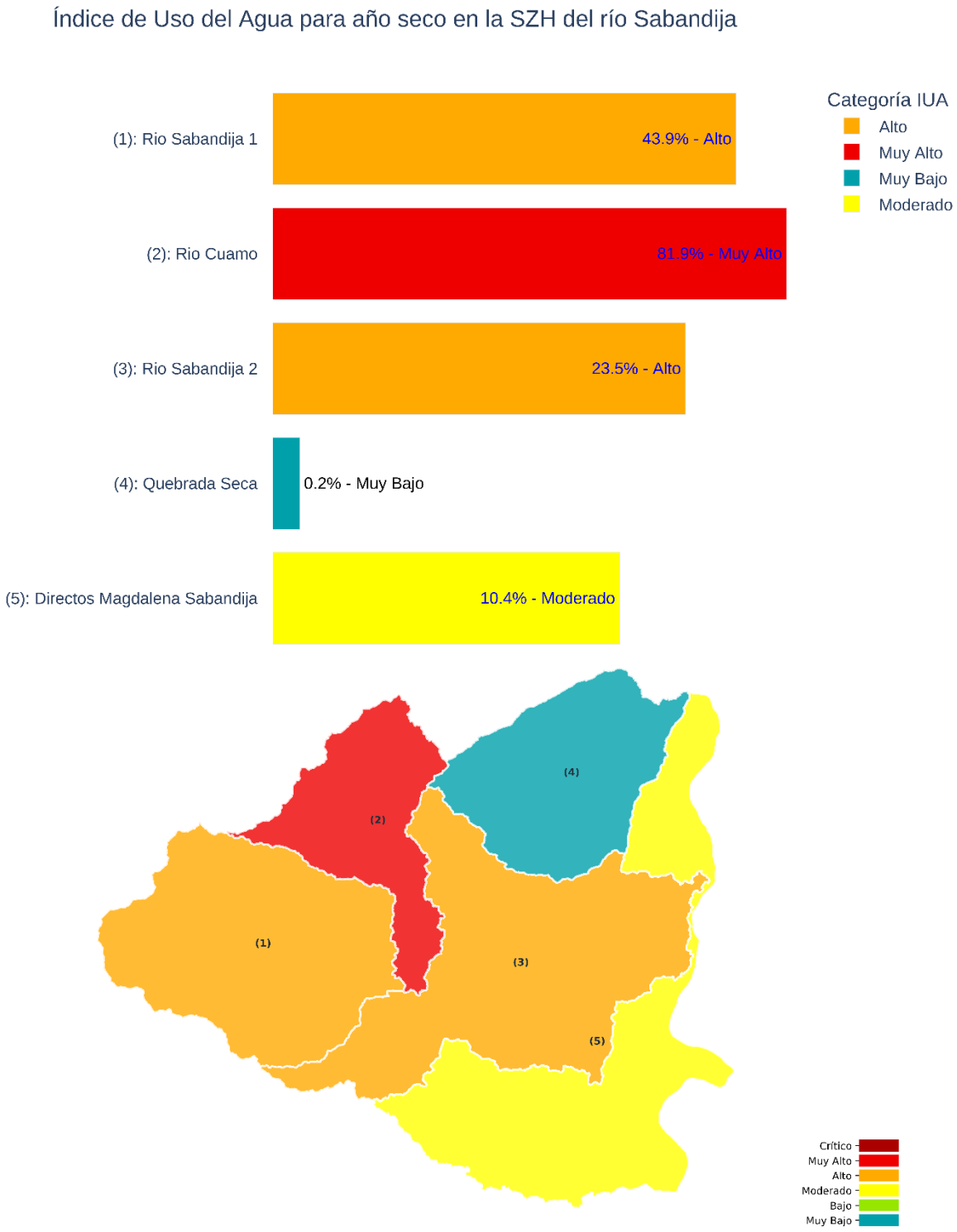


Figura 838. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Sabandija

39.1.7. IUA en la subzona hidrográfica del río Gualí

La presión por el uso del agua es Crítica para año medio y año seco en las unidades río Sucio y drenajes directos al Magdalena con valores de 173.0% a 741.1% (Figura 839, Figura 840). En año medio, las unidades quebrada El Guarumo y quebrada San José tienen una presión por uso moderada y el resto de las unidades (río Gualí 1, río Cajones, río Gualí 2, río Aguacatal, río Gualí 3, río Gualí 4, río Gualí 5, río Gualí 6, quebrada Nicua, río Gualí 7, río Gualí 8, río Medina, y río Gualí 9) presentan presiones bajas a muy bajas. Para la condición hidrológica de año seco, el índice de uso del agua es Alto para la unidad quebrada El Guarumo, y Moderado para las unidades quebrada Agua de Dios, quebrada San José, y río Medina (Figura 840).

En la Subzona Hidrográfica del río Gualí la demanda hídrica total es 5506.67 l/s. El uso agrícola y piscícola son los que mayor representación tienten sobre esta demanda con el 47.28% (2603.82 l/s) y 37.04% (2039.68), respectivamente. El consumo humano y doméstico, por su parte, comprende el 15.23% (838.51 l/s) del total de la demanda, mientras que el 0.37% (20.49 l/s) corresponde al sector pecuario, 0.07% (3.58 l/s) al industrial y 0.01% (0.60 l/s) al minero.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Guali 1	0.0000	2.7451	0.00	1.8191	0.00
Rio Cajones	0.0197	2.7979	0.70	1.7003	1.16
Rio Guali 2	0.0001	6.3980	0.00	3.8937	0.00
Rio Aguacatal	0.0047	3.2342	0.14	2.0327	0.23
Rio Guali 3	0.0000	9.7462	0.00	6.0516	0.00
Quebrada El Guarumo	0.0679	0.4783	14.20	0.3011	22.56
Quebrada Agua de Dios	0.0221	0.3243	6.83	0.2144	10.33
Rio Guali 4	0.0006	10.4355	0.00	6.5307	0.00
Rio Guali 5	0.0000	10.7345	0.00	6.7730	0.00
Quebrada San Jose	0.0220	0.1830	12.04	0.1102	19.99
Rio Guali 6	0.0276	11.8284	0.23	7.6084	0.36
Quebrada Nicua	0.0020	0.5432	0.36	0.3855	0.51
Rio Guali 7	0.0240	11.5499	0.21	7.0702	0.34
Rio Sucio	2.2469	0.9345	240.45	0.3032	741.11
Rio Guali 8	0.0113	12.2597	0.09	7.3611	0.15
Rio Medina	0.2962	3.2318	9.16	2.5384	11.67
Rio Guali 9	0.3874	18.7549	2.07	12.9673	2.99
Directos Magdalena Gualí	2.3742	1.3726	172.97	1.1952	198.65

Tabla 646. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Gualí

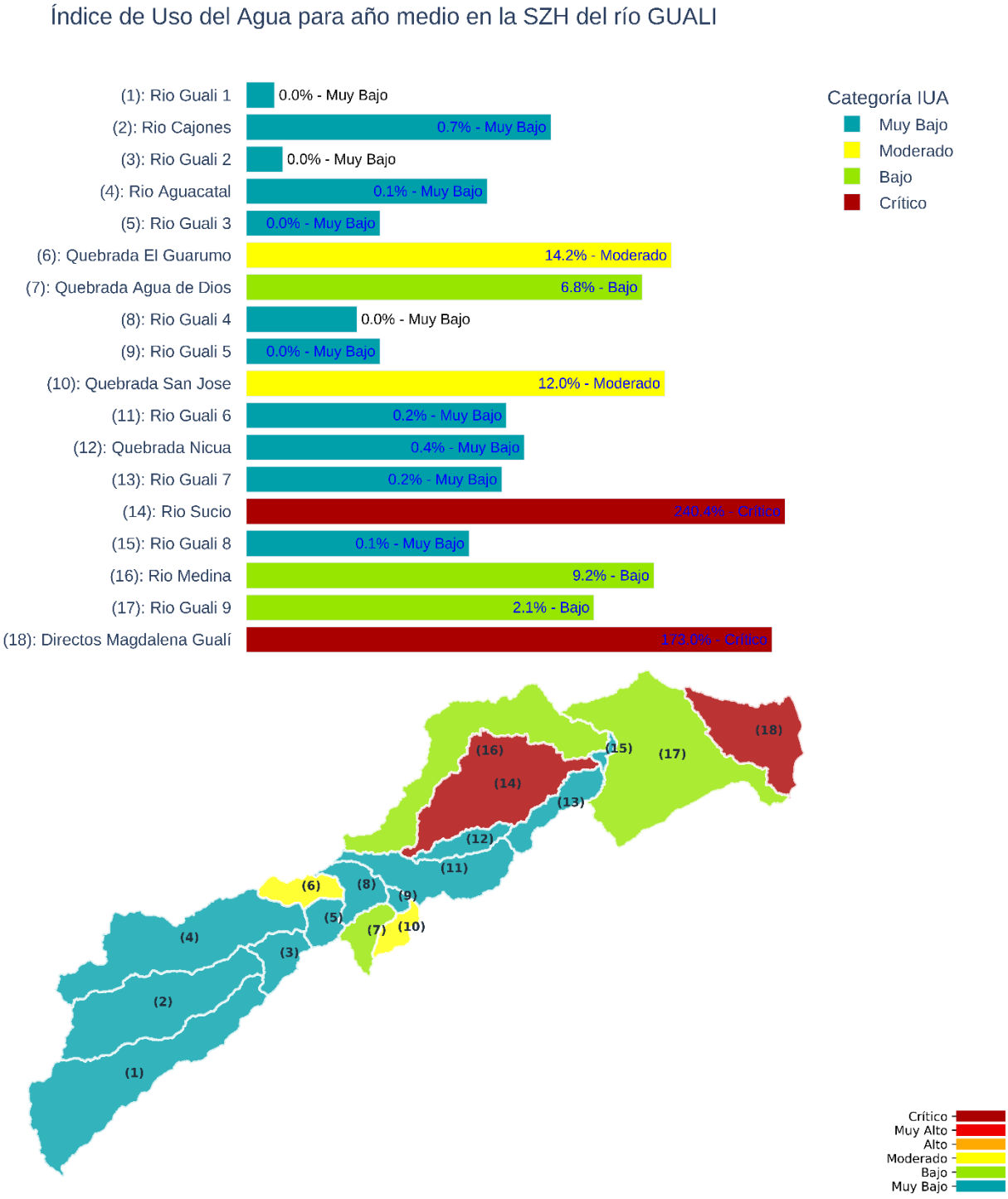


Figura 839. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Gualí

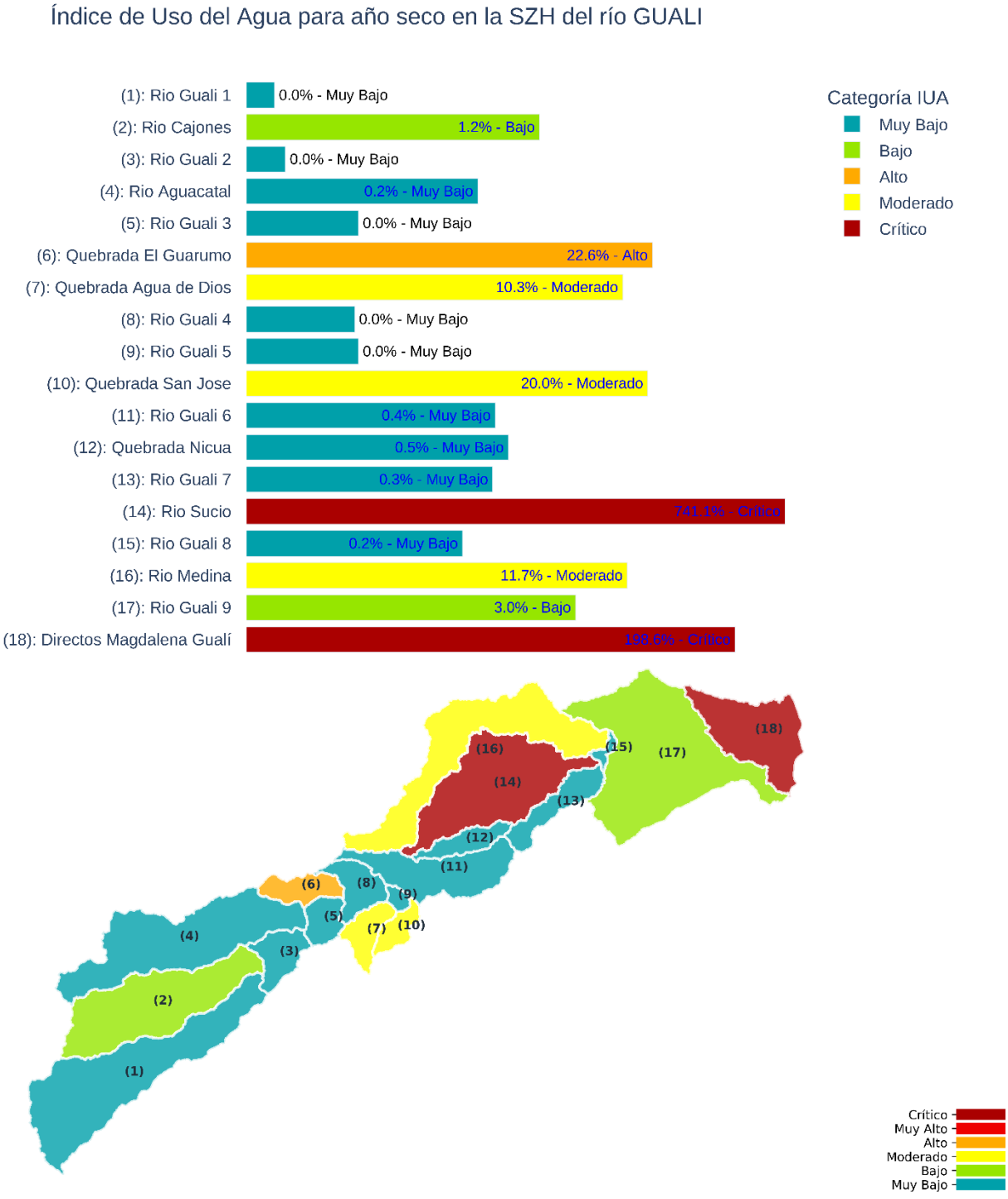


Figura 840. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Gualí

39.1.8. IUA en la subzona hidrográfica del río Guarinó

La presión por el uso del agua es Muy Alta en la unidad río Guarinó 6 con un valor de 70.1% par año medio (Figura 841) y Crítica para año seco (Figura 842). las unidades río Guarinó 1, río Hondo, río Perrillo, río Santo Domingo, río San Juan, río Guarinó 5 y río Guarinó 7 presentan presiones bajas en año medio y en año seco. Mientras que las unidades río Guarinó 2, río Guarinó 3 y río Guarinó 4 tienen presiones por uso muy bajas en ambas condiciones hidrológicas.

La demanda hídrica total de la Subzona Hidrográfica del río Guarinó es de 11562.07 l/s, de los cuales el 86.49% (10000.00 l/s) es destinado para generación de energía. La demanda hídrica restante (13.51%, 1562.07 l/s) está representada en un 5.99% (692.22 l/s) por el sector agrícola, 5.52% (637.93 l/s) por el consumo humano y doméstico, 1.57% (181.85 l/s) por el sector industrial, 0.28% (32.08 l/s) por el sector pecuario y 0.16% (17.99 l/s) por parte de la minería.

Unidad de Análisis	Demanda Hídrica (m^3/s)	Año medio		Año seco	
		OHRD (m3/s)	IUA (%)	OHRD (m3/s)	IUA (%)
Rio Guarino 1	0.0665	2.4113	2.76	1.5423	4.31
Rio Hondo	0.0364	3.2485	1.12	2.2387	1.63
Rio Guarino 2	0.0437	11.7053	0.37	7.8799	0.56
Rio Perrillo	0.1564	5.5573	2.81	3.8293	4.08
Rio Guarino 3	0.0327	17.8036	0.18	12.2326	0.27
Rio Santo Domingo	0.0662	3.5663	1.86	2.6831	2.47
Rio Guarino 4	0.0325	22.7641	0.14	16.1709	0.20
Rio San Juan	0.0370	0.7146	5.18	0.5885	6.29
Rio Guarino 5	0.3707	24.1042	1.54	17.5535	2.11
Rio Guarino 6	10.3130	14.7172	70.07	8.0040	128.85
Rio Guarino 7	0.4068	17.3529	2.34	10.0551	4.05

Tabla 647. Índice de uso del agua para año medio y seco en la subzona hidrográfica del río Guarinó

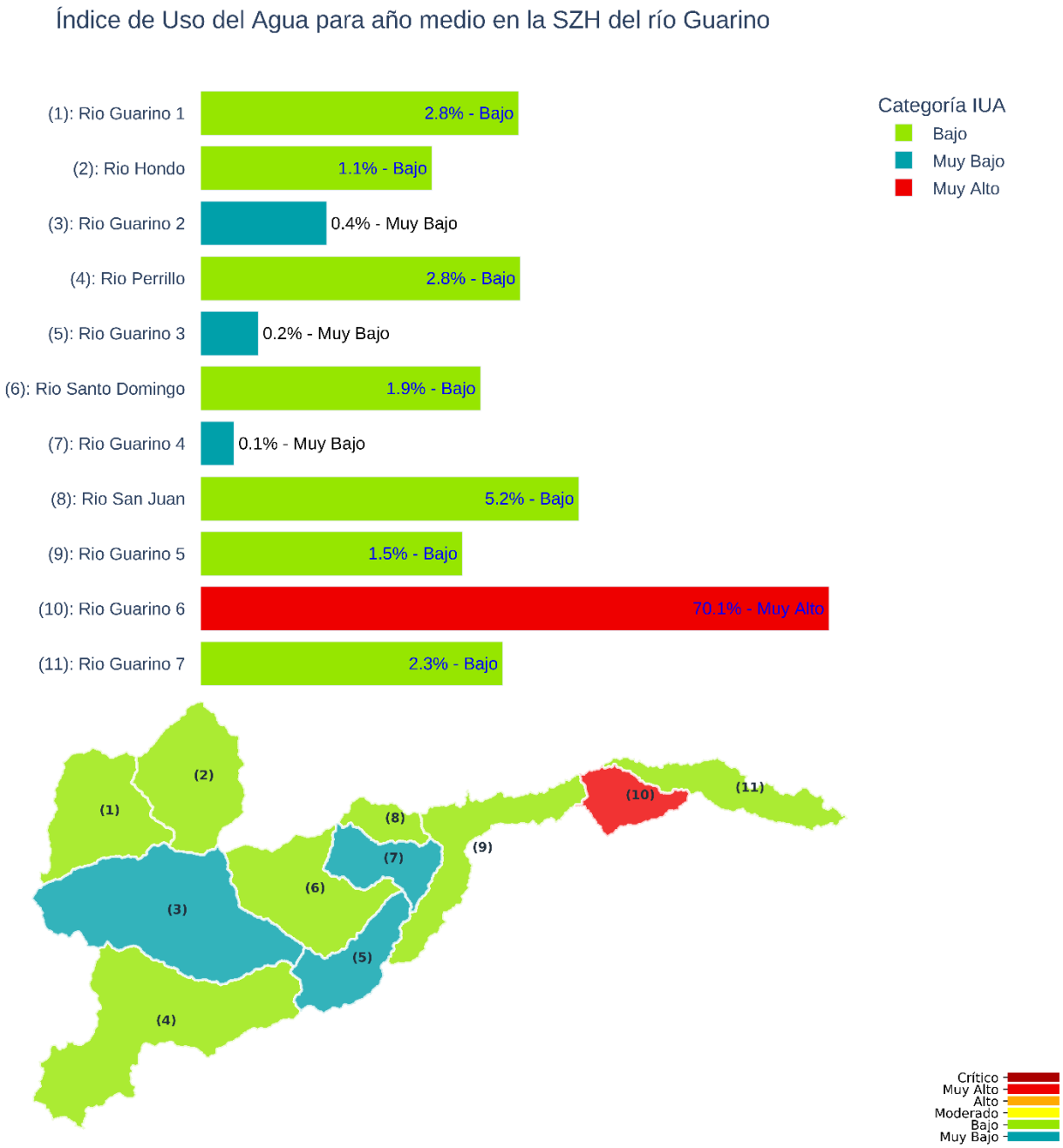


Figura 841. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año medio en la subzona hidrográfica del río Guarinó

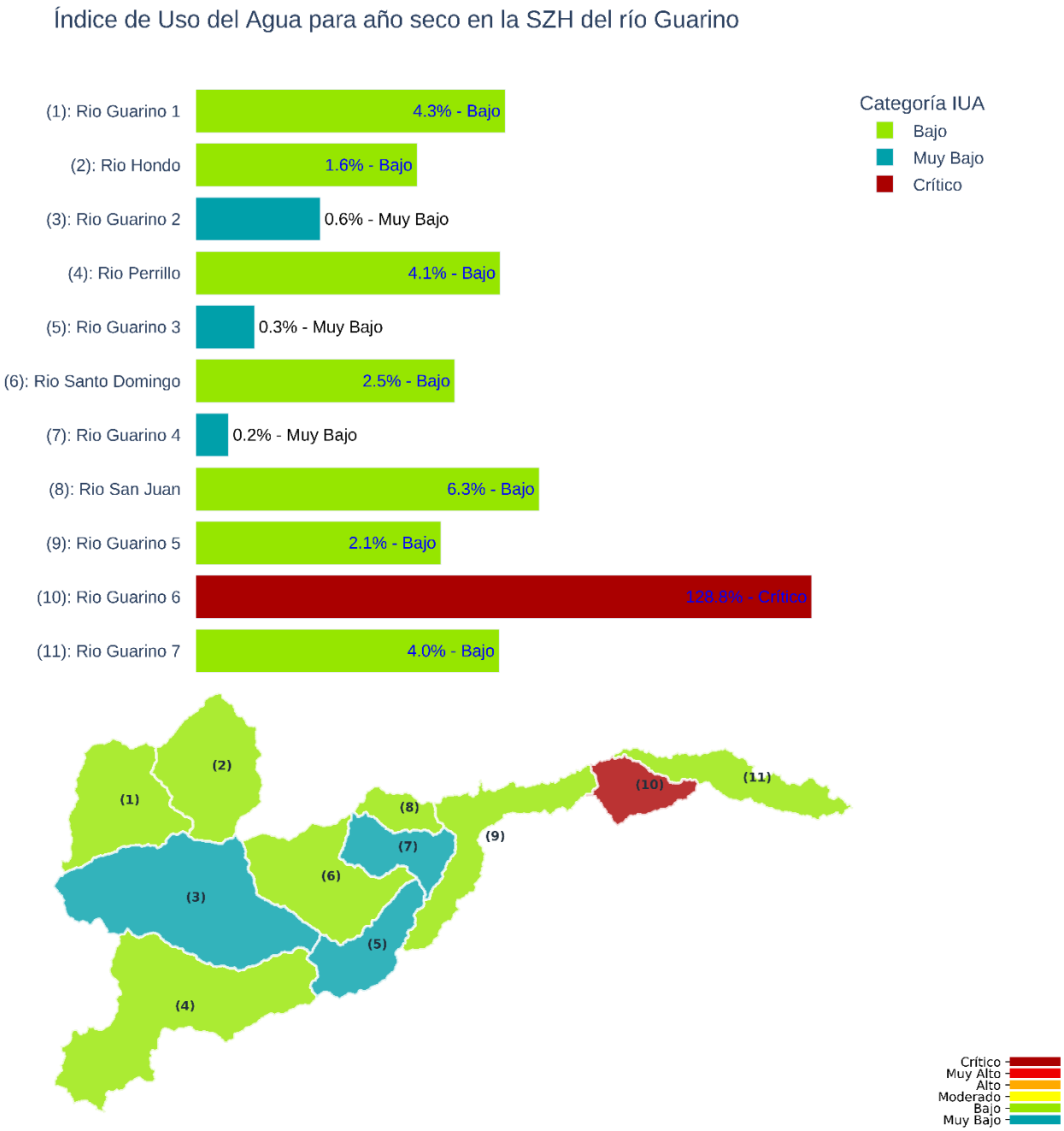


Figura 842. Distribución espacial de categorías del de uso del agua para año seco en la subzona hidrográfica del río Guarinó

39.2. Índice de extracción de aguas subterráneas (IEAS)

El IEAS es un indicador de estado que permite identificar a nivel anual la intensidad de uso de la oferta renovable de agua subterránea también denominada recarga media anual. Su unidad de medida es adimensional y se expresa en términos de porcentaje. Es utilizado para dar cuenta del balance hídrico durante un largo período de tiempo (IDEAM, 2013). Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$IEAS = \frac{Extracción\ total\ de\ aguas\ subterráneas}{Recarga} * 100$$

Su representación se realiza bajo el mismo esquema de colores y rangos porcentuales del Índice de Uso de Agua (IUA) (Tabla 648). Se observa que entre mayor sea el porcentaje de este índice, mayor es la presión ejercida sobre el recurso hídrico subterráneo.

Tabla 648. Rangos y categorías utilizados para analizar el Índice de extracción de agua subterránea (IEAS)

Rango	Categoría	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta respecto a la recarga.
20.01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta respecto a la recarga.
10.01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada respecto a la recarga.
1 - 10	Bajo	La presión de la demanda es baja respecto a la recarga.
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda es muy baja respecto a la recarga.

El indicador parte de la determinación del consumo total de agua subterránea registrado por año. Se estima que para el sistema acuífero del Abanico de Ibagué la demanda hídrica total de 4029.544 l/s que equivale a 127.06 Mm^3/año que son extraídos principalmente de pozos profundos.

De acuerdo con el Plan de Manejo Ambiental (PMA), el sistema acuífero cuenta con tres fuentes principales de recarga. Por un lado, se encuentran las zonas de recarga directa generadas por la infiltración del agua lluvia. También se encuentra la recarga desde fuentes superficiales debido a la fuerte interacción entre los ríos y el acuífero, entre los que se destacan el Río Alvarado, el Río Combeima, el Río Coello y el Río Opia. Por último, están las recargas por flujos regionales que provienen de la cuenca alta del río Coello y los afloramientos del batolito de Ibagué y la formación de Gualanday. A

partir del balance hídrico se estima una recarga de 218.48 mm/año que equivale a 173.91 Mm3/año considerando un área promedio del acuífero de 796 Km^2 que determina el IDEAM (2014).

De acuerdo con lo anterior, se determina que el IEAS para el sistema acuífero del Abanico de Ibagué es del 73.06% el cual representa una presión muy alta de la demanda hídrica sobre el recuro hídrico subterráneo (Figura 843).

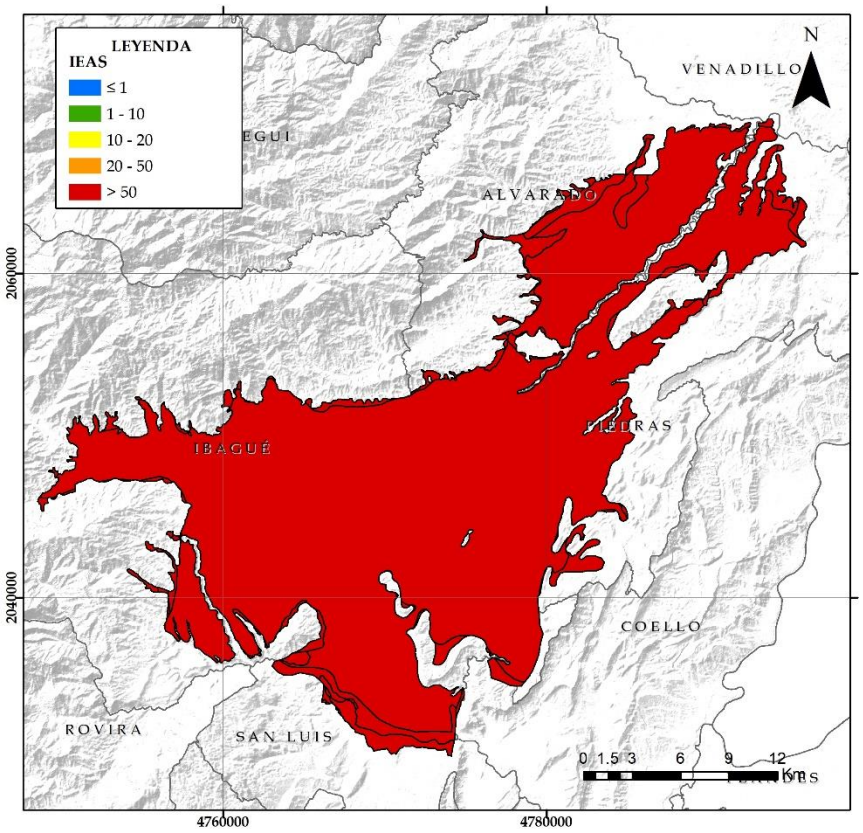


Figura 843. Representación esquemática del Índice de Extracción de Agua Subterránea (IEAS) del sistema acuífero del Abanico de Ibagué

39.3. Índice de agua subterránea para abastecimiento público (IASAP)

Según los lineamientos del IDEAM (2013), este indicador permite determinar la cantidad de agua subterránea utilizada para el abastecimiento público. Se expresa en unidades de volumen por habitante (l/hab.día). Mientras más alto sea el valor de este

indicador mayor será la intensidad de uso del agua. Se calcula con periodicidad anual a partir de la siguiente ecuación:

$$IASAP = \frac{\text{Agua subterránea para abastecimiento público}}{Número\ de\ habitantes}$$

Se considera que en el sistema acuífero del Abanico de Ibagué existe una demanda hídrica de 551.332 l/s destinada para el consumo humano y doméstico la cual se encuentra distribuida en los municipios de Ibagué, Piedras, Alvarado, San Luís y Coello. La participación de estos municipios en dicha demanda hídrica junto con la información del número de habitantes se relaciona en la Tabla 649.

Tabla 649. Porcentaje de participación en la demanda hídrica para consumo humano y doméstico, y número de habitantes por municipio en el acuífero del Abanico de Ibagué

Municipios en el sistema acuífero	% Participación en la demanda hídrica del acuífero para consumo humano y doméstico	Número de habitantes (Proyección poblacional a partir del censo del DANE para los años 1985, 1993, 2005 y 2018)
Alvarado	7.41	7905
Coello	1.23	6979
Ibagué	56.79	567333
Piedras	32.10	5703
San Luís	2.47	13787
Total		**601707**

Con base en los datos anteriores, se establece que el sistema acuífero del Abanico de Ibagué obtiene un IASAP de 79.1666 l/hab.día (Figura 844) lo cual está por debajo de los valores de dotación neta por habitante estipulados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), interpretándose así una baja presión del recurso hídrico subterráneo de este sistema acuífero para fines de abastecimiento público.

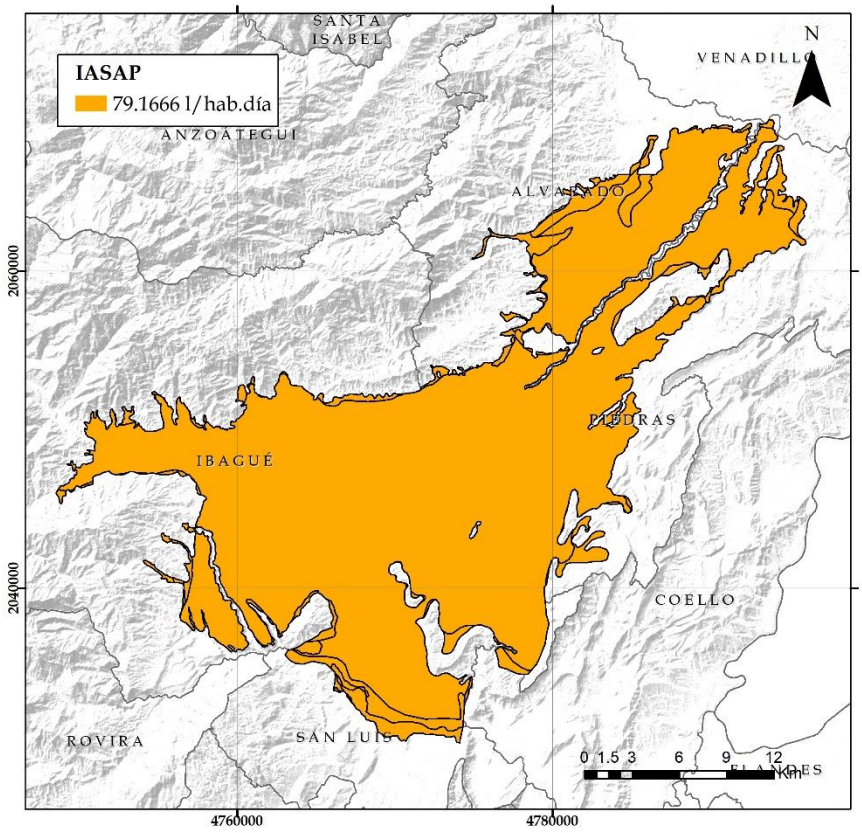


Figura 844. Representación esquemática del Índice de Agua Subterránea para Abastecimiento Público con respecto al número de habitantes (IASAP) del sistema acuífero del Abanico de Ibagué

40. Indicadores de Estado de Calidad y Presión por Contaminación

40.1. Índice de calidad del agua (ICA)

El índice de calidad del agua (ICA) es un indicativo de las condiciones de calidad física, química y biológica de los cuerpos de agua. Este permite identificar problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables representativas (IDEAM, 2010).

El ICA es el valor numérico que califica en una (1) de cinco (5) categorías la calidad del agua de un cuerpo de agua, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco (5) a siete (7) variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (IDEAM, 2013). En tal sentido, el ICA es una expresión agregada y simplificada, sumatoria aritmética equiponderada de varias variables.

En los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para las ERA (IDEAM, 2013), se recomienda que, para el nivel regional, se calcule el ICA con siete (7) variables, adicionando los coliformes fecales como indicadores de contaminación bacteriológica. También se recomienda usar las ecuaciones para el cálculo de los subíndices, presentadas en el ENA 2010. En este último documento se presentan las curvas funcionales para tres (3) (SST, pH y conductividad) de las siete (7) variables requeridas. En las Fichas Metodológicas disponibles en la página Web del IDEAM, se presentan las ecuaciones para seis (6) de las siete (7) variables, las cuales no incluyen el indicador de contaminación bacteriológica. Por lo tanto, en el presente estudio, se tomó como referencia para el cálculo del subíndice de coliformes fecales, el propuesto por Cude (2001).

De acuerdo con IDEAM (2010), la ponderación de las variables físicas, químicas y microbiológicas puede variar en función de la relevancia para análisis específicos de condiciones de calidad de Aguas y el número de variables consideradas. A escala regional se tendrán en cuenta siete (7) variables de acuerdo con IDEAM (2013), siendo los pesos de importancia los que se contemplan en la última columna de la Tabla 493.

Tabla 650. Pesos para las variables del ICA

VARIABLE	UNIDAD	Número de Variables		
		5	6	7
		PESO	PESO	PESO
Oxígeno disuelto - OD	% saturación	0,2	0,17	0,16
Sólidos Suspendidos Totales - SST	mg/L	0,2	0,17	0,14
Demanda Química de Oxígeno - DQO	mg/L	0,2	0,17	0,14
Conductividad eléctrica	µS/cm	0,2	0,17	0,14
pH	Unidades de pH	0,2	0,17	0,14
Relación N total/P total	(mg/L) /(mg/L)		0,15	0,14
Coliformes fecales	UFC/100 mL*			0,14

*Si bien en IDEAM (2013) se asignan como unidades de los coliformes fecales las UFC/100 ml, el subíndice de los coliformes fecales se expresa en NMP/100ml.

Para calcular el ICA se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (I_i) de cada una de las variables. Estas agregaciones se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

Donde,

ICA_{njt} Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

W_i Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

I_{ikjt} Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k, del período de tiempo t.

n Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 7 a nivel regional

La solución de la anterior sumatoria es como sigue:

$$ICA_{njt} = (W_{i\ \%satOD} . I_{\%satOD}) + (W_{i\ SST} . I_{SST}) + (W_{i\ DQO} . I_{DQO}) + (W_{i\ C.E} . I_{C.E}) + (W_{i\ N/P} . I_{N/P}) + (W_{i\ pH} . I_{pH}) + (W_i\ I_{C.F} . I_{C.F})$$

De acuerdo con IDEAM (2010), el ICA define una clasificación descriptiva de la calidad del agua en cinco (5) categorías: buena, aceptable, regular, mala o muy mala (Tabla 494).

Tabla 651. Descriptores de la calidad del agua a partir del ámbito numérico del ICA. (Fuente: IDEAM, 2013)

Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0 – 0,25	**Rojo**
Malo	0,26 – 0,50	**Naranja**
Regular	0,51 – 0,70	**Amarillo**
Aceptable	0,71 – 0,90	**Verde**
Bueno	0,91 – 1,00	**Azul**

A continuación, se presenta la distribución de valores del ICA para cada subzona hidrográfica objeto de análisis

40.1.1. ICA en la Subzona hidrográfica del río Coello

En la Tabla 497 y *Figura 845* se presentan los resultados del cálculo de ICA para los puntos de monitoreo que se ubicaron sobre la cuenca del río Coello con mediciones entre el 2021 y 2022. Teniendo en cuenta la distribución de los puntos, se puede apreciar que el río Coello y el río Bermellón cuentan con agua con una valoración *aceptable* y *regular* en la cuenca alta y sufren una descripción *mala* con los diferentes aportes de agua residual del centro poblado del municipio de Cajamarca. Si bien las condiciones de calidad de agua del río Coello se recuperan previo al centro poblado Coello-Cocora, para contar con una descripción *regular*, aguas abajo y previo al centro poblado de Carmen de Bulira vuelve a contar con una condición *mala*.

Por otra parte, la evaluación del ICA indica una condición de calidad *regular* del río Combeima desde aguas arriba del centro poblado de Ibagué, en su paso por la ciudad y aguas abajo de la misma, incluso previo a su encuentro con el río Coello. De manera que, el río Coello, mantiene una condición de agua *regular,* aguas abajo del río Combeima y se mantiene incluso con el aporte de la quebrada Gualanday. Esta última, muestra una variación de agua con indicador *malo* (cercano al centro poblado de La Miel) a *regular* en cercanía al centro poblado de Gualanday. Después del aporte de la quebrada Gualanday y el aporte de la quebrada Chaguala (con condición Regular), el río Coello entre su flujo al río Magdalena con una condición de agua Muy Malo, lo cual puede estar relacionado con las características de calidad de los vertimientos del casco urbano de municipio de Coello.

Al respecto, se puede concluir que el río Coello cuenta con una afectación en la calidad del agua con influencia importante por parte de los vertimientos de los centros poblados. Sin embargo, en la cuenca alta y media del río, los cambios de pendiente hacen que se destaquen fenómenos que favorecen el mejoramiento de las corrientes aportantes y el cuerpo de agua principal.

Tabla 652. ICA Río Coello

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	Lat	Long	ICA
Coe01	Río Toche	23/11/2021	4.517639	-75.40885	0.569
Coe02	Río Bermellón	24/11/2021	4.444978	-75.52164	0.581
Coe03	Quebrada Chorros	23/11/2021	4.450583	-75.45125	0.772
Coe04	Quebrada el Rincón	23/11/2021	4.447231	-75.44318	0.575
Coe05	Río Bermellón Zona media	24/11/2021	4.445317	-75.42126	0.428
Coe06	Río Anaime	24/11/2021	4.436528	-75.42809	0.452
Coe07	Río Bermellón Zona baja	24/11/2021	4.420194	-75.37552	0.461
Coe08	Río Coello	19/01/2022	4.406786	-75.29125	0.551
Coe09	Río Cocara	19/01/2022	4.397150	-75.30071	0.615

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	Lat	Long	ICA
Coe10	Carmen de Bulira	8/02/2022	4.297944	-75.20464	0.460
Coe11	Río Combeima	25/11/2021	4.485650	-75.28533	0.592
Coe12	Quebrada Cay	25/11/2021	4.467089	-75.25781	0.727
CoeVert01	Caja de inspección vertimiento Laguna	7/02/2022	4.457503	-75.27109	0.307
Coe13	Acua Boquerón	19/01/2022	4.405356	-75.26339	0.764
CoeVert02	Salida PTAR el Tejar	2/07/2022	4.423944	-75.22931	0.516
Coe14	Hidrotolima	20/01/2022	4.424197	-75.20801	0.515
Coe15	Río Combeima	20/01/2022	4.392142	-75.18307	0.567
Coe16	Río Coello	21/01/2022	4.301706	-75.09038	0.694
CoeVert03	Relleno sanitario la miel	8/02/2022	4.359111	-75.07186	0.466
Coe17	Quebrada Gualanday	27/11/2021	4.359144	-75.05289	0.418
Coe18	Quebrada Gualanday	28/01/2022	4.320908	-75.02624	0.604
Coe19	Río Coello	28/01/2022	4.279731	-75.02666	0.625
Coe20	Quebrada Chaguala	28/01/2022	4.275708	-74.90157	0.561
Coe21	Río Coello	8/02/2022	4.283139	-74.89744	0.192
Coe22	Acua Ricaurte	19/01/2022	4.412639	-75.26089	0.606
Coe23	Desembocadura Río Coello	21/01/2022	4.323356	-75.14873	0.690

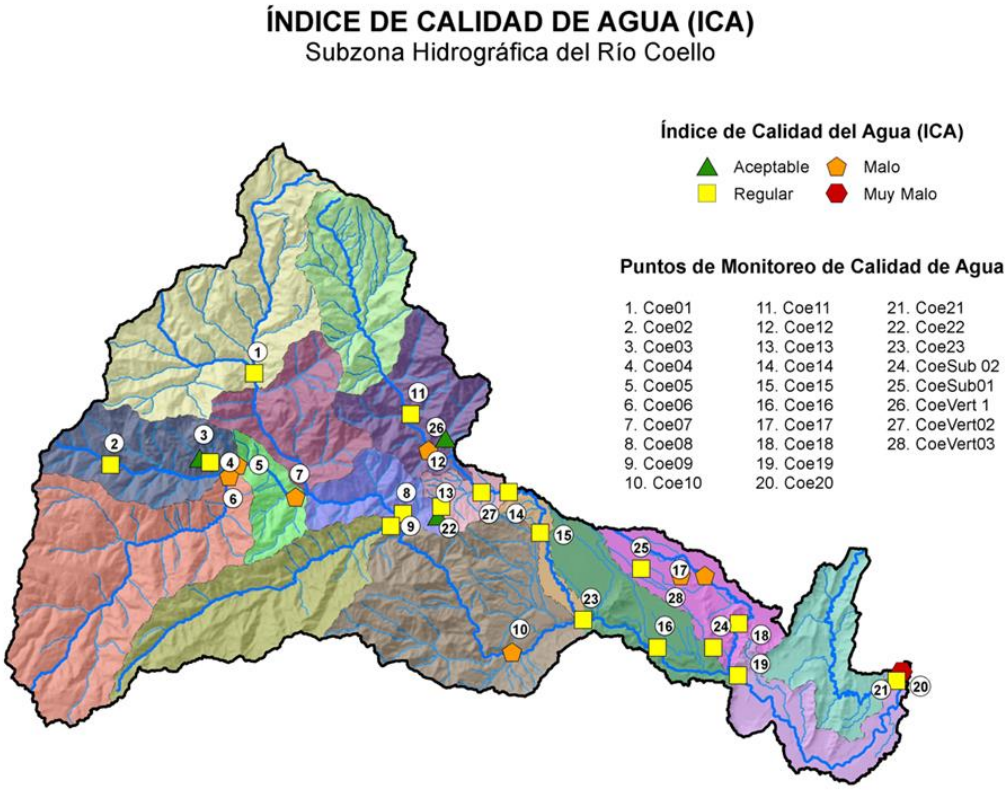


Figura 845. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Coello

40.1.2. ICA en la Subzona hidrográfica del río Totare

Junto con la quebrada La Rica, el río Totare inicia con condiciones de calidad *aceptables*. Sin embargo, desde la cabecera del municipio de Anzoátegui y previo a su confluencia con el río Alvarado, el río Totare muestra una calidad *regular* y *mala*. Por otra parte, el río Frio y el río La China previo a su ingreso a la jurisdicción del municipio de Alvarado, muestran calidad de agua *regular*. Mientras que el río La China, antes de unirse al río Alvarado muestra condiciones de agua en estado *malo*. El río Alvarado que nace en la zona urbana de Ibagué y recibe aportantes como la quebrada Chembé, se ve influenciado en su cuenca alta por aportes puntuales o difusos que condicionan el uso del agua, pues se califica como *regular*. Siguiendo a la cuenca media y previo al centro poblado del municipio de Alvarado, el río del mismo nombre mantiene sus condiciones *regulares* de calidad de agua. Lo cual podría estar influenciado por el desarrollo de actividades de agrícolas, avícolas y ganaderas en la zona. Sin embargo, previo a encontrarse con el río La China, el río Alvarado consigue una condición de agua *aceptable*. Otra corriente que nace en el casco urbano de Ibagué es el río Chipalo, que en la cuenca alta recibe el agua de la quebrada Las Panelas que se encuentran en una condición *aceptable* y recibe el agua de la quebrada La Tuza la cual muestra un índice *regular*. La cuenca media y baja del río Chipalo mantienen la condición de calidad de agua *regular*. Finalmente, la unión del río Totare, el río La China, el río Alvarado y el río Chipalo llegan al río Magdalena con una condición *regular* (Tabla 499 y Figura 846).

Tabla 653. ICA Río Totare

Nombre Estación	Fecha de Muestreo	Lat	Long	ICA
Río Totare	21/01/2022	4.6611	-75.1036	0.709
Bocatoma la Pradera	26/01/2022	4.6220	-75.1279	0.646
Bocatoma Quebrada Agua Bonita	27/01/2022	4.7061	-75.1112	0.741
Bocatoma Canal Municipal	25/01/2022	4.6921	-74.9582	0.602
Río Alvarado	26/11/2021	4.4573	-75.1248	0.503
Quebrada Chembe	24/01/2022	4.4806	-75.1712	0.634
Río Alvarado	29/11/2021	4.5171	-74.9844	0.554
Río Alvarado	22/01/2022	4.6085	-74.9261	0.707
Río La China	26/11/2021	4.5461	-75.1265	0.608
Río Frio	26/11/2021	4.6105	-75.1129	0.647
Río Frio	26/11/2021	4.6243	-75.0738	0.618
Río La China	23/01/2022	4.6325	-74.9346	0.436
Río Chipalo	20/01/2022	4.4391	-75.1369	0.618
Bocatoma Acuambalá	20/01/2022	4.4798	-75.1967	0.705
Bocatoma barrio la Gaviota	21/01/2022	4.4633	-75.1819	0.680
Río Chipalo	22/01/2022	4.5522	-74.9206	0.604

Nombre Estación	Fecha de Muestreo	Lat	Long	ICA
Rio Totare	23/01/2022	4.6500	-74.9349	0.465
Río Totare	6/02/2022	4.6100	-74.8250	0.693

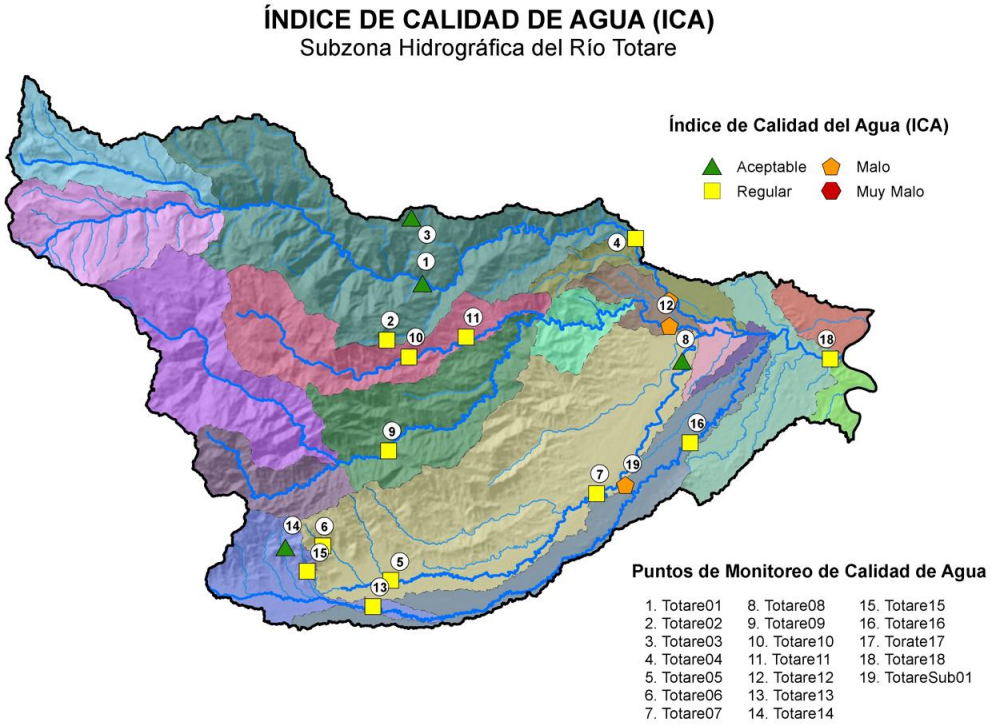


Figura 846. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río T0tare

40.1.3. ICA en la Subzona hidrográfica del río Opia

Debido a que el río Opia inicia en la zona urbana de la capital del departamento del Tolima, desde su nacimiento recibe aporte de agua residual urbana, que indican una calidad de agua *mala* y *regular*. Previo al caserío denominado como Doima, el río Opia mantiene condiciones de agua *regular* y *mala*. Los vertimientos del centro poblado generan que, sobre el cuerpo de agua, se obtenga una calificación *mala,* que previo a la entrada de la quebrada Doima, se transforma en *regular*. (ver Tabla 498 y Figura 847).

De igual forma, la quebrada Doima nace en el centro poblado de Ibagué, donde inicia su condición de calidad *regular* hasta el cierre de la cuenca alta. Previo a su encuentro con la quebrada Camao y antes de desembocar en el río Opia, presenta una condición de agua *aceptable*. Lo cual evidencia la recuperación de la quebrada Doima por la variación de pendientes en la zona media y baja de la cuenca. Por último, luego de transitar en cercanías al centro poblado del municipio de Piedras y previo a su desembocadura al río Magdalena, el río Opia muestra una condición de calidad de agua *regular*. Al respecto, se evidencia que las actividades económicas de la zona generan una importante

influencia en las condiciones de calidad de agua de la cuenca, afectando una posible recuperación natural de los aportes antrópicos.

Tabla 654. ICA Río Opia

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	Lat	Long	ICA
Opia01	Río Opia	19/01/2022	4.41934	-75.17478	0.561
Opia02	Canal Laserna	19/01/2022	4.41900	-75.17378	0.412
Opia03	Río Opia	25/11/2021	4.41344	-75.13187	0.518
Opia04	Opia	22/02/2022	4.39590	-75.03066	0.454
Opia05	Quebrada La Opia	22/01/2022	4.41216	-74.98183	0.612
Opia06	Río Opía	27/11/2021	4.44077	-74.97271	0.428
Opía07	Río Opía	26/11/2021	4.45528	-74.95820	0.682
Opia08	Quebrada Doima	25/11/2021	4.41018	-75.13907	0.519
Opia09	Quebrada Doima	22/01/2022	4.36241	-74.99329	0.651
Opia10	Quebrada Doima	22/01/2022	4.46881	-74.93318	0.764
Opía11	Río Opía	23/01/2022	4.55552	-74.83893	0.670
Opia12	Quebrada la Lucha	28/01/2022	4.34195	-74.92234	0.622

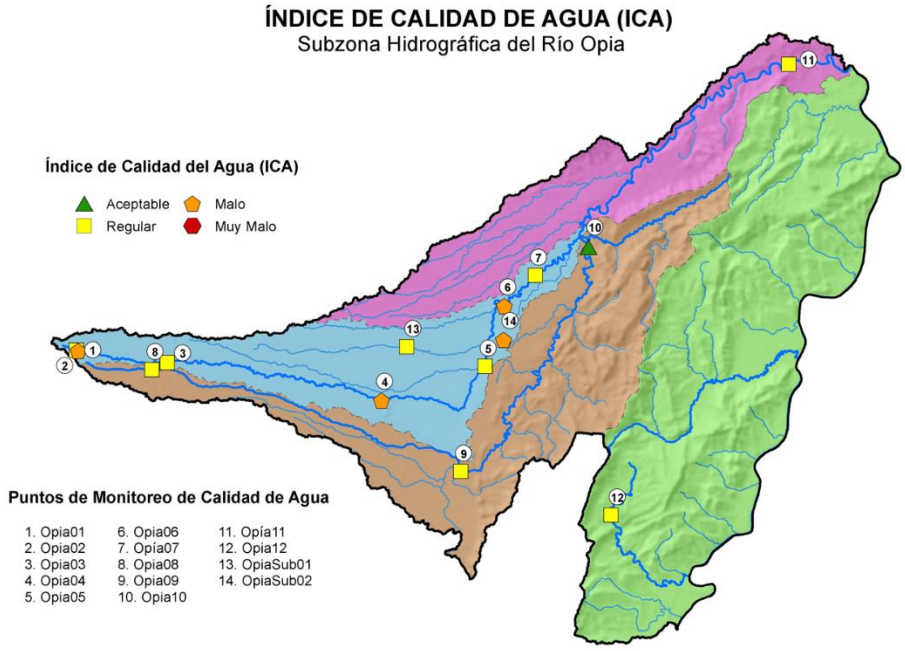


Figura 847. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Opia

40.1.4. ICA en la Subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

Desde la unión del río Recio y el río Azul, en la cuenca alta, se aprecian condiciones de calidad *regular*, que se mantienen incluso previo a recibir las aguas de la corriente hídrica que recorre el casco urbano del municipio del Líbano. Donde, previo al centro

poblado se aprecia que la quebrada Santa Rosa muestra condiciones de calidad aceptables, pero luego de transitar la zona poblada, la quebrada pasa a una condición *regular* antes de unirse al río Recio. De igual forma, esto ocurre con la quebrada La Honda, que muestra una condición regular en el punto de aprovechamiento del agua para consumo.

En otra zona de la cuenca del río Recio, el río Yuca muestra una condición de calidad de agua *regular* previo a la entrada de la quebrada La Animas que antes y después del centro poblado Santa Isabel también muestra condiciones de agua *regular*. Igualmente, el río Yuca cuenta con condiciones *regulares* de agua antes de hacer parte del río Recio. Con lo cual se destaca que las actividades económicas antes y después de los centros poblados generan condiciones que limitan el aprovechamiento del recurso sin un tratamiento previo.

En la cuenca media del río Recio, a la altura de la captación de ASORRECIO, el agua muestra condiciones *regulares*, que empeoran previo a la desembocadura al río Magdalena. Por otra parte, el río Venadillo nace en la cabecera municipal de Santa Isabel y hasta su recorrido al centro poblado del municipio de Venadillo mantiene una condición *regular* del agua. Aguas abajo de la influencia del caserío el río Venadillo muestra condiciones de calidad *malas* que antes de ingresar al río Magdalena se genera un mejoramiento que permite contar con condiciones *aceptables* de calidad de agua.

Como aspectos en común, se puede aprecias que tanto para la cuenca del río Recio como en el río Venadillo, los centros poblados generan aportes que inciden en la calidad del agua de las corrientes hídricas. Sin embargo, la cuenca del río Venadillo cuenta con variaciones de pendiente que permiten el mejoramiento natural de la corriente. Mientras, para la cuenca del río Recio, adicional a los aportes generados en centros poblados, se aprecia la influencia de los aportes de actividades agrícolas, como se muestra en la Tabla 500 y en la Figura 848.

Tabla 655. ICA Río Recio Venadillo

Identificador Estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Recio01	Río Recio	2/02/2022	4.8229	-75.1976	0.683
Recio02	Río Recio	4/02/2022	4.8838	-75.0585	0.653
Recio03	Quebrada Santa Rosa	3/02/2022	4.9170	-75.0794	0.780
Recio05	Quebrada Santa Rosa	4/02/2022	4.8947	-75.0332	0.559
Recio06	Quebrada La Honda	3/02/2022	4.9707	-75.0217	0.593
Recio07	Río La Yuca	27/01/2022	4.7372	-75.1416	0.507
Recio08	Bocatoma las Aguitas Quebrada las Animas	27/01/2022	4.7153	-75.1068	0.694
Recio09	Quebrada las Animas	27/01/2022	4.7361	-75.0759	0.659

Identificador Estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Recio10	Río La Yuca	29/01/2022	4.7998	-75.0313	0.649
Recio11	Río Recio	31/01/2022	4.7954	-74.9718	0.651
Recio12	Rio Recio	12/02/2022	4.7653	-74.7966	0.272
Vena01	Río Venadillo	25/01/2022	4.7227	-75.0365	0.614
Vena02	Río Venadillo	23/01/2022	4.7286	-74.9260	0.559
VenaVert01	Lagunas de Oxidación Venadillo	9/02/2022	4.7234	-74.9199	0.429
Vena03	Río Venadillo después de PTAR	25/01/2022	4.7189	-74.9166	0.492
Vena04	Río Venadillo	23/01/2022	4.7247	-74.8454	0.765
Vena05	Río El Palmar	23/01/2022	4.7364	-74.9369	0.595

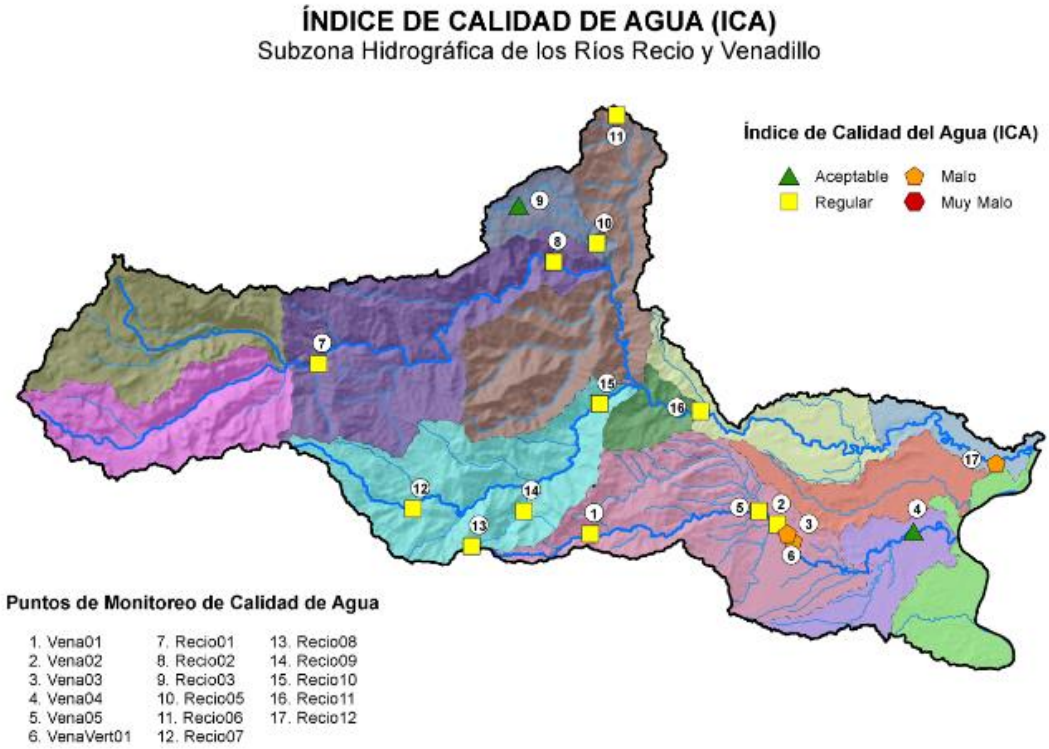


Figura 848. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Recio-Venadillo

40.1.5. ICA en la Subzona hidrográfica del río Lagunilla

Luego de su nacimiento en el nevado el Ruiz, el río Lagunilla muestra un pH acido que incide la calidad de agua y califica el recurso con nivel *malo*. Incluso luego del aporte del río Vallecitos que aguas arriba y aguas abajo de la influencia del centro poblado del municipio de Murillo mantiene condiciones de calidad de agua *aceptables*, el río Lagunilla muestra condiciones de calidad *regulares*.

Dentro de la cuenca alta del río Lagunilla y como una de las corrientes de importancia que nace en el nevado del Ruiz, surge el río Azufrado que luego de recibir la quebrada Guayabal y la quebrada la española, esta última con índice de calidad *regular* para la altura de la bocatoma del acueducto de Casablanca, muestra una calificación de calidad *aceptable*. Posterior al aporte del río Azufrado, el río Lagunilla recibe el caudal de la quebrada El Dorado que transporte el vertimiento de la mina Gran Porvenir (con índice de calidad *malo*). Previo a la entrada del río Bledo, se aprecia una condición de calidad *regular* en el río Lagunilla.

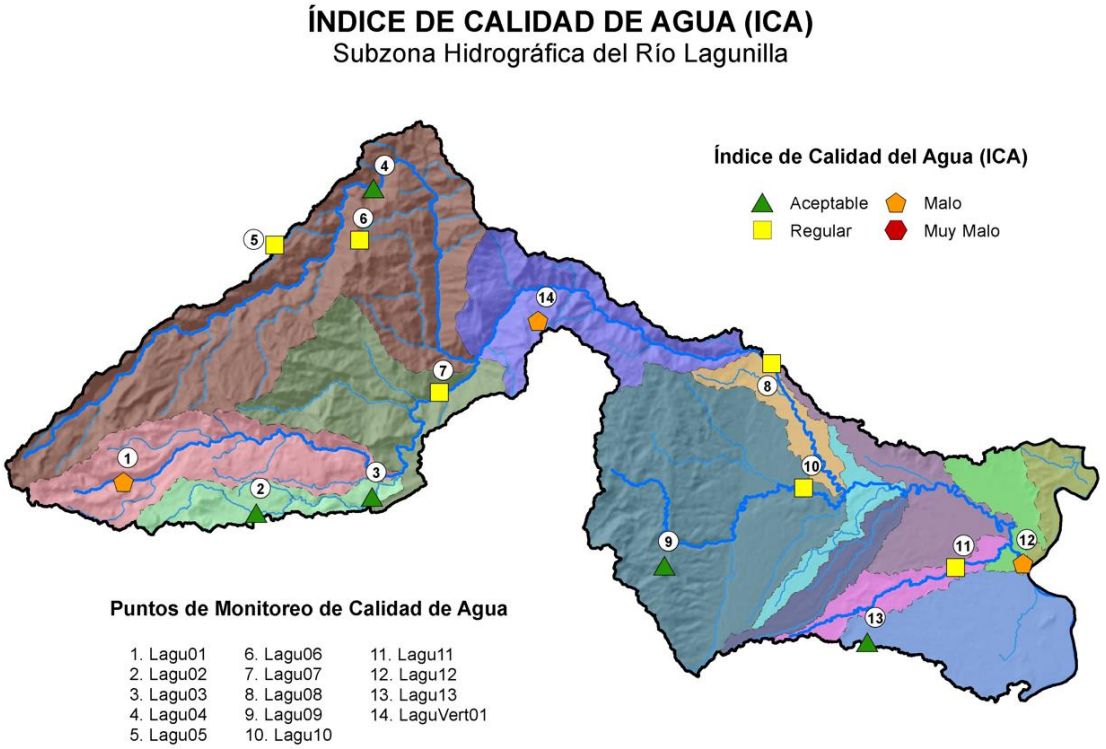
Por su parte, el río Bledo recibe los aportes de la quebrada Carabalí que suministra agua al centro poblado de La Sierra y cuenta con agua con un estado *aceptable*, y el aporte de la quebrada La Sierra. Previo al encuentro del río Bledo con Lagunilla su calidad es *regular*. Finalmente, la quebrada La Joya, con condición *regular,* es el último aportante de importancia previo a la entrega de agua del río Lagunilla, con una condición de calidad *mala,* al río Magdalena.

Como se indica en la Tabla 501 y Figura 849, en el comportamiento de la calidad del agua en la cuenca del río Lagunilla, se aprecia que la topografía en la parte alta y media, permiten que algunos determinantes de calidad de agua procedentes de zonas rurales y agrícolas se atenúen para la cuenca baja. Sin embargo, las actividades económicas que se desarrollan en la zona baja de la cuenca y los centros poblados existentes generan una influencia en la calidad de agua que llega al río Magdalena.

Tabla 656. ICA Río Lagunilla

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Lagu01	Ria lagunilla	2/02/2022	4.8911	-75.2615	0.432
Lagu02	Ria Vallecito	2/02/2022	4.8743	-75.1893	0.706
Lagu03	Río Vallecito	3/02/2022	4.88326	-75.12630	0.757
Lagu04	Río Azufrado	4/02/2022	5.0515	-75.1262	0.726
Lagu05	Quebrada la Española	7/02/2022	5.0203	-75.1799	0.677
Lagu06	Quebrada la Bonita	6/02/2022	5.0232	-75.1337	0.699
Lagu07	Río Lagunilla	3/02/2022	4.9401	-75.0900	0.521
Lagu08	Río Lagunilla	5/02/2022	4.9564	-74.9092	0.616
Lagu09	Quebrada Agua Fría	31/01/2022	4.8461	-74.9672	0.747
Lagu10	Río Bledo	24/01/2022	4.8888	-74.8916	0.577
Lagu11	Quebrada La Joya	31/01/2022	4.8454	-74.8089	0.518
Lagu12	Rio Lagunilla	9/02/2022	4.8480	-74.7720	0.330
Lagu13	Canal Boquerón	24/01/2022	4.8047	-74.8567	0.717
LaguVert01	Vertimiento mina gran Porvenir	11/02/2022	4.9796	-75.0363	0.393

Figura 849. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Lagunilla



40.1.6. ICA en la Subzona hidrográfica del río Sabandija

El río Sabandija nace en el centro poblado de Palocabildo, donde se ve afectado por los aportes de vertimientos que inciden en la calidad de agua pues muestra una condición *regular* y pasada esta zona poblada, cuenta con un flujo con un índice *malo*. Otra corriente que nace en el centro poblado de Palocabildo es la quebrada El Rompe, por lo cual muestra un índice de calidad malo, pero previo a la desembocadura con el río Sabandija muestra una condición de calidad de agua *aceptable*. Como ocurre con el río Jiménez, que previo a unirse con el río Sabandija en la cuenca media de esta, tiene una condición *aceptable* de la calidad del agua.

Otra corriente de importancia, que nace en la jurisdicción del municipio de Mariquita, es el río Cuamo, el cual muestra una condición de calidad aceptable y pese a recibir los aportes de la quebrada Morales y Murillo que transportan el agua residual del centro poblado del municipio de Falan, antes de encontrarse con el río Sabandija muestra una condición de calidad *aceptable*. Posterior al aporte de los ríos Cuamo y Jiménez, el río Sabandija recibe los vertimientos del centro urbano del municipio de Guayabal que cuentan con una condición de calidad mala. Mientras, previo a la desembocadura al río Magdalena, en el centro poblado de Méndez, el río Sabandija cuenta con una condición de calidad regular.

Como parte del análisis de la totalidad del río Sabandija, se puede apreciar que las corrientes que se ubican sobre la cuenca alta y media cuentan con una alta capacidad de asimilación y por ello, previo al centro poblado de Guayabal, rescatan gran parte de las condiciones de calidad que permiten un aprovechamiento adecuado del recurso. Sin embargo, los aportes de los cascos urbanos de Guayabal y Méndez generan una afectación importante a la calidad del recurso como se aprecia en la Tabla 502 y Figura 850. Una corriente que se ubica en la cuenca del río Sabandija es la quebrada Seca que, luego de recibir el aporte de la quebrada Bernal, recibe aportes de agua residual domestica de la zona poblada del municipio de Honda. Por esto último, las condiciones de calidad de la corriente son de agua *Mala*.

Tabla 657. ICA Río Sabandija

Identificador Estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Saban01	Río Sanadija	8/02/2022	5.08506	-75.02502	0.462
SabanVert01	Vertimiento Palocabildo	10/02/2022	5.11858	-75.02285	0.479
Saban02	Quebrada el Rompe	8/02/2022	5.11889	-75.02433	0.629
Saban03	Quebrada el Rompe	8/02/2022	5.07035	-74.99658	0.757
Saban04	Río Sabandija	1/02/2022	5.02877	-74.89823	0.680
Saban05	Quebrada Jiménez	5/02/2022	5.03848	-74.92324	0.744
Saban06	Río Cuamo	30/01/2022	5.18434	-74.92253	0.701
Saban07	Río Cuamo	1/02/2022	5.02832	-74.89723	0.797
Saban08	Bocatoma Falan	9/02/2022	5.11837	-74.97124	0.776
Saban09	Quebrada Morales	5/02/2022	5.12891	-74.91248	0.640
Saban10	Río Sabandija	6/02/2022	5.04828	-74.75183	0.659
Saban11	Quebrada Seca	9/02/2022	5.19930	-74.73603	0.479
SabanVert02	Vertimiento Armero Guayabal	10/02/2022	5.02078	-74.87492	0.356
Saban12	Innominada 1	1/02/2022	4.99878	-74.91917	0.607

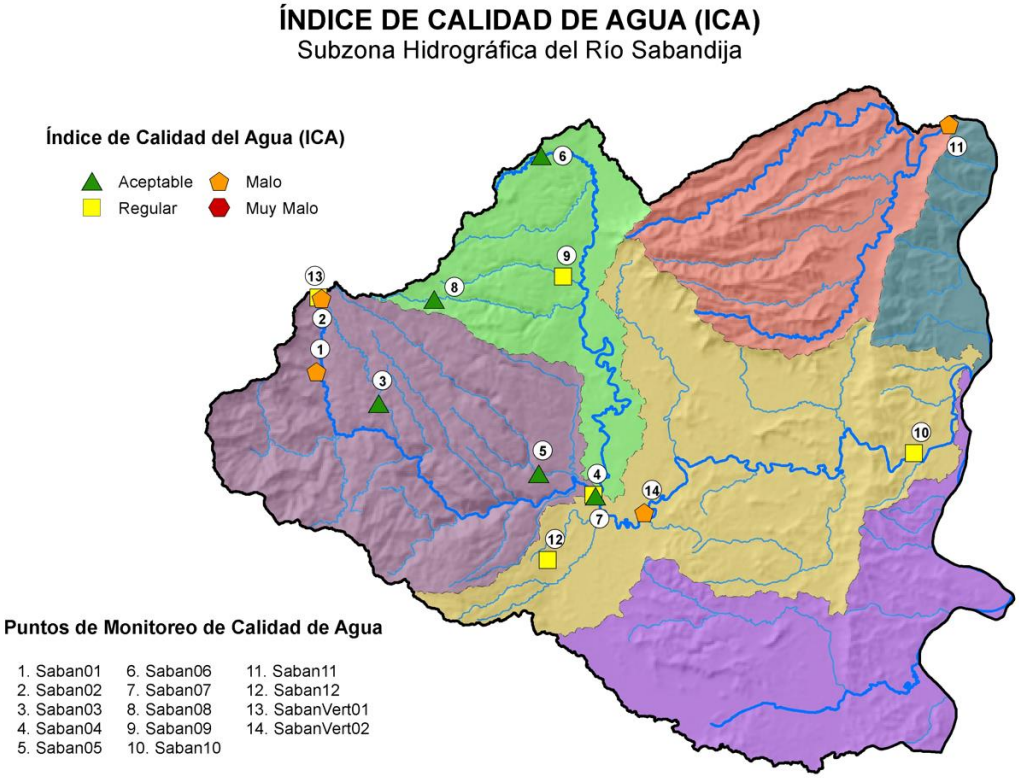


Figura 850. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Sabandija

40.1.7. ICA en la Subzona hidrográfica del río Gualí

El río Gualí nace en el Nevado del Ruiz y, de acuerdo con los niveles bajos de pH, se puede destacar que en la primera medición se reflejan condiciones de calidad regulares. Posteriormente, el río recibe los aportes del río Cajones y la quebrada Peñoles, esta última cuenta con condiciones de calidad aceptables. En seguida, el río recibe los aportes de la quebrada Matadero que conduce el agua residual del casco urbano del municipio de Herveo y por tanto sus condiciones de calidad son regulares. De igual forma, el río Aguacatal aporta al río Gualí agua con una condición de calidad regular.

Para el inicio de la cuenca media del río Gualí, la quebrada El Guarumo aporta el flujo de agua con una calidad regular pues transporta las descargas de agua residual del centro poblado de Padua. De manera que aguas abajo de este aporte, el río mantiene condiciones regulares. Posteriormente, se genera el aporte de la quebrada Agua de Dios y la quebrada San Jose que cuentan con condiciones de calidad aceptables. Previo al tránsito del río Gualí sobre el casco urbano del municipio de Mariquita, el río recibe los aportes de calidad regular de la quebrada Nicua que nace en el centro poblado del municipio de Fresno y por ello, transporta el agua residual de algunos de los vertimientos que se generan en esta zona poblada. En el área poblada de Mariquita, el

río llega con condiciones de calidad de agua regulares y recoge los vertimientos de la zona, como de la Planta de Beneficio Animal del Municipio que tiene una condición mala de calidad. Posteriormente, el río Sucio, que igualmente nace en la zona urbana de Fresno, aporta el agua residual de diferentes vertimientos al río Gualí. Al respecto, se puede apreciar que, si bien el agua del río Sucio cuenta con una alta concentración de coliformes totales antes de su desembocadura, el río muestra una alta recuperación en oxígeno disuelto. Pues pasa de una concentración de 3,63 mg/L a 8,12 mg/L. Por lo cual, aguas abajo de este aporte del río Sucio, el río Gualí muestra una condición de calidad aceptable.

En la cuenca baja del río Gualí se aprecia que el río Medina y la quebrada Chimina aportan agua con condiciones de calidad *aceptables*. Mientras que la Quebrada Padilla muestra la presencia de Coliformes Totales y Fecales por lo que se requiere que el agua sea tratada para su adecuado aprovechamiento en el municipio de Honda. Al inicio del centro poblado de Honda, el río Gualí cuenta con condición de agua regular y luego de recoger los vertimientos de la zona poblada entrega aguas con condición mala al río Magdalena. Como se aprecia en la Tabla 503 y en la Figura 851, la cuenca cuenta con una intervención importante por actividades agrícolas y urbanas que afecta sus características de calidad. Sin embargo, las condiciones topográficas y las corrientes sin intervención favorecen la depuración de contaminantes y oxigenan el cuerpo de agua principal.

Tabla 658. ICA Río Gualí

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Guali01	Herveo	8/02/2022	5.03297	-75.18476	0.621
Guali02	Quebrada Peñoles	10/02/2022	5.05774	-75.24580	0.731
Guali03	Quebrada La Ciega	10/02/2022	5.07786	-75.16817	0.529
Guali04	Río Guali 04	7/02/2022	5.12028	-75.09061	0.650
Guali05	Río Aguacatales	10/02/2022	5.07778	-75.20719	0.657
Guali06	Quebrada Agua de Dios	8/02/2022	5.07194	-75.08078	0.726
Guali07	Quebrada El Guarumo	10/02/2022	5.12122	-75.12414	0.619
Guali08	Quebrada El Brillante	8/02/2022	5.08703	-75.06407	0.618
Guali09	Quebrada San José - Gualí	8/02/2022	5.11257	-75.04324	0.758
Guali10	Quebrada Nicua	1/02/2022	5.16845	-74.98235	0.649
Guali11	Aguas arriba Mariquita	11/02/2022	5.20311	-74.90219	0.629
GualiVert01	Caja de inspección vertimiento final Mariquita	11/02/2022	5.20542	-74.89556	0.457
Guali12	Río Sucio	11/02/2022	4.31984	-75.03871	0.573
Guali13	Río Sucio	10/02/2022	5.17200	-75.02670	0.575
Guali14	Río Sucio	30/01/2022	5.21398	-74.93622	0.677

Identificador Estación	Nombre Estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Guali15	Bocatoma Mariquita	9/02/2022	5.22714	-74.90962	0.632
Guali16	Aguas Abajo Río sucio	11/02/2022	5.23764	-74.88733	0.727
Guali17	Quebrada Alegrías	11/02/2022	5.16241	-75.06878	0.637
Guali18	Río Medina	30/01/2022	5.32853	-74.88542	0.714
Guali19	Río Gualí 19	4/02/2022	5.22039	-74.76083	0.500
Guali20	Quebrada Chimina	30/01/2022	5.28125	-74.87868	0.716
Guali21	Quebrada Padilla	9/02/2022	5.20744	-74.81750	0.559
Guali22	Rio Gualí	9/02/2022	5.20447	-74.73771	0.371
Guali23	Quebrada la Planta	11/02/2022	5.12449	-75.14448	0.642

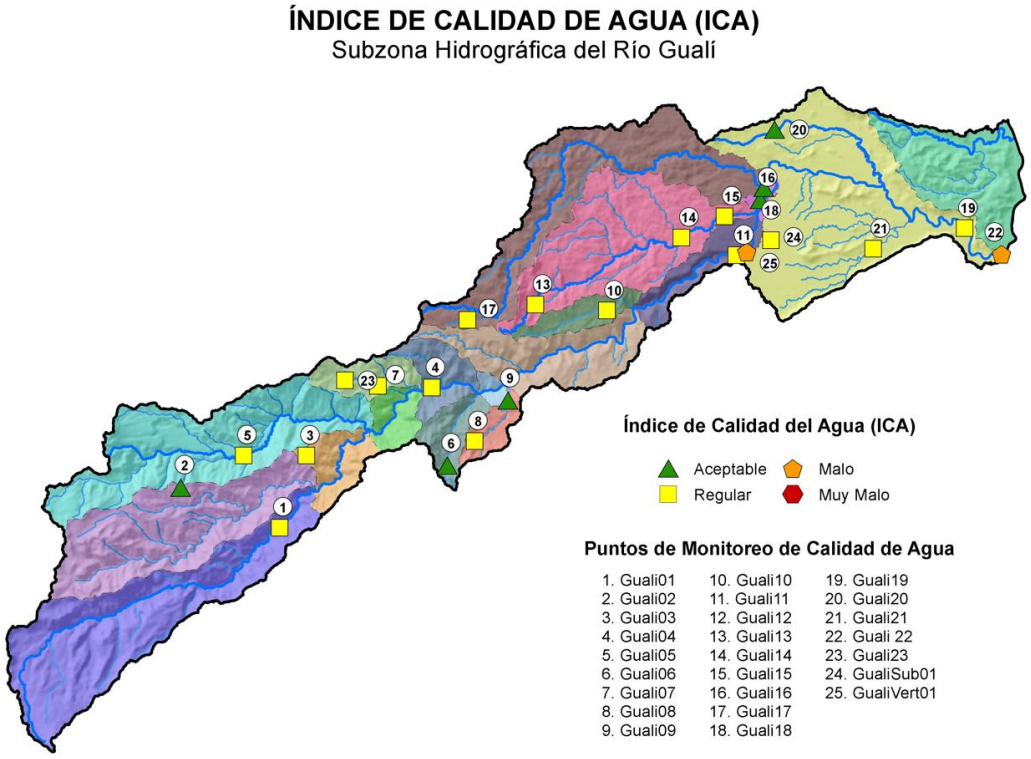


Figura 851. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Gualí

40.1.8. ICA en la Subzona hidrográfica del río Guarinó

Conociendo que una parte de la cuenca del río Guarinó hace parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Caldas - CORPOCALDAS y otra parte se ubica sobre la Corporación Autónoma Regional del Tolima – CORTOLIMA, el índice de calidad de agua se estima sobre los puntos de monitoreo de quebradas y ríos presentes en la jurisdicción de CORTOLIMA.

Al cierre de la cuenca alta del río Guarino, se aprecia que la quebrada Guayacanal cuenta con un índice *regular* de calidad y luego de desembocar en el río Guarino, el propio río muestra un índice *regular* de calidad. Por otra parte, el agua residual del centro poblado El Tablazo que cuenta con una condición de agua regular, aporta a un cuerpo de agua innominado que descarga al río Guarino. Al respeto, se destaca que los aportes domésticos generan una afectación importante en las condiciones del recurso.

Posteriormente, al inicio de la cuenca baja del río, la corriente recupera las condiciones de calidad para contar con un índice *aceptable*, pero unos metros aguas abajo, el agua muestra una condición *regular* de la calidad del agua. Para esta zona de la cuenca, se destaca la recuperación de la fuente hídrica, sin embargo, está expuesta a los aportes de agrícolas de la zona (Tabla 504 y Figura 852).

Finalmente, el aporte de agua del río Guarino al Río Magdalena muestran una condición *mala* del recurso, lo cual puede ser por la influencia de predios y actividades agrícolas al cierre de la cuenca.

Tabla 659. ICA Río Guarinó

Identificador estación	nombre estación	Fecha de muestreo	lat	long	ICA
Guarino01	Quebrada Guayacanal	10/02/2022	5.15383	-75.13233	0.619
Guarino02	Río Guarino	10/02/2022	5.18284	-75.11031	0.653
Guarino03	Centro poblado el Tablazo	11/02/2022	5.20009	-75.08542	0.625
Guarino04	Río Guarinó	9/02/2022	5.29631	-74.87620	0.726
Guarino05	Río Guarino	11/02/2022	5.30739	-74.86025	0.664
Guarino06	Pomca	9/02/2022	5.28961	-74.74552	0.337

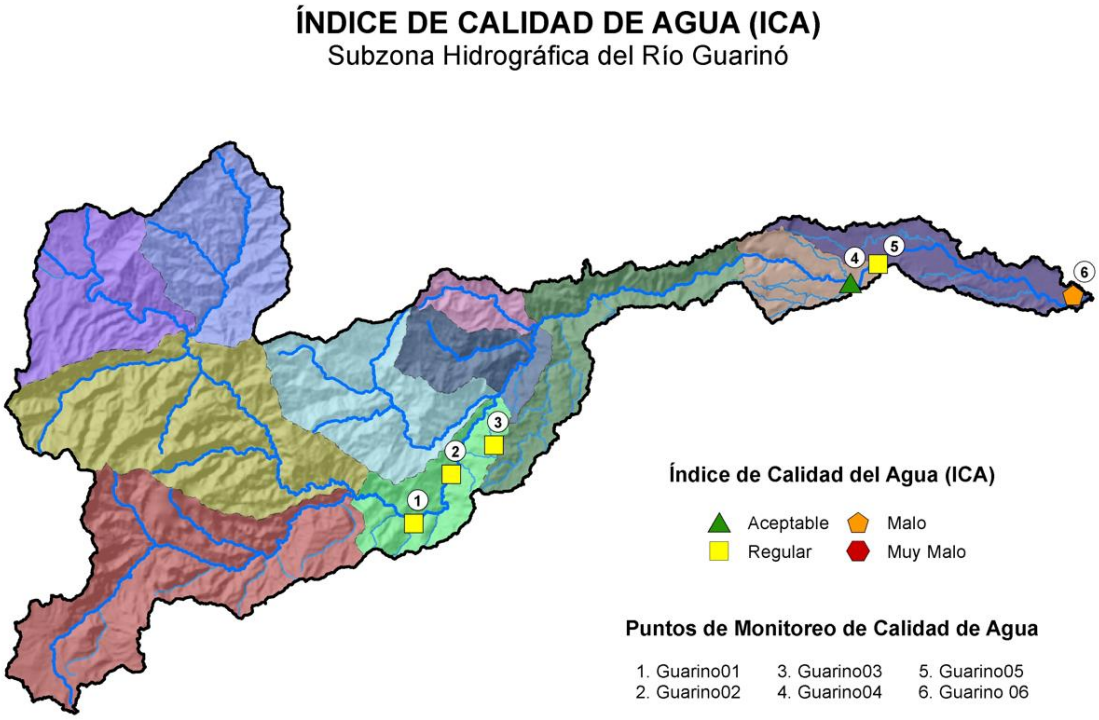


Figura 852. Índice de La Calidad del Agua Superficial – ICA en SZH del río Guarinó

40.2. Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL)

En el Presente estudio se utilizó para la determinación del IACAL, la Oferta Hídrica Total Superficial para año medio y para año seco, con el fin de mantener concordancia con los diferentes Estudios Nacionales del AGUA – ENA emitidos desde el año 2010 por el IDEAM, así lo descrito en los Lineamientos Metodológicos para las Evaluaciones Regionales del Agua (IDEAM 2013) y la hoja metodológica Versión 1,1 (IDEAM, 2020).

El Índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL), corresponde al valor numérico que califica en una (1) de cinco (5) categorías, la razón existente entre la carga contaminante que se estima recibe una unidad hidrográfica anualmente y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma unidad estimada a partir de una serie de tiempo.

La fórmula general de cálculo del indicador es la siguiente:

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^{n} catiacal_{ijt-añomed}}{n}$$

Las categorías de presión con los respectivos rangos que se asignarán a cada variable se muestran en la *Tabla 496*.

Tabla 660 Categorización IACAL. (Fuente: IDEAM, 2013)

Rangos	Categoría de clasificación	Calificación de la presión
1,0 a 1,5	1	Baja
1,6 a 2,5	2	Moderada
2,6 a 3,5	3	Media-Alta
3,6 a 4,4	4	Alta
4,5 a 5,0	5	Muy Alta

40.2.1. IACAL en la subzona hidrográfica del río Coello

En la parte alta de la cuenca, en el sector comprendido entre la divisoria de aguas del río Toche y en el tramo COELLO_1 las cargas identificadas corresponden a posibles aportes debidos al beneficio de café, sin embargo, considerando el efecto de dilución tanto en año medio como en año seco se presenta un valor **BAJO** del IACAL.

El río Bermellón, corriente aportante al río Coello y que a su vez recibe las aguas del río Anaime, presenta un **BAJO** IACAL en su parte Alta, aguas arriba de los vertimientos del municipio de Cajamarca. Luego de estas descargas, incluyendo la PBA municipal, se presenta una categoría **MUY ALTA** en el IACAL. Antes de su entrega al río Coello, el río Bermellón reduce la presión debido al incremento de caudal clasificándose como **ALTA**. De forma similar el río Anaime presenta un valor bajo del índice, aguas arriba de las descargas del centro poblado Anaime (Cajamarca), luego de estas descargas la categoría se define en **MEDIA ALTA** (año seco y medio) para la meta en carga 2020, sin embargo, considerando que la carga medida (2020) es menor a la meta, la categoría cambiaría a **MODERADA**. Aguas abajo del río Bermellón, el río Coello (COELLO_2) presenta una mayor presión estando en la categoría **ALTA** para año seco y **MEDIA ALTA** para año medio.

En el río Cocora solo se identifican posibles aportes del beneficio de café, con una **BAJA** presión. El río Coello abajo del río Cocora (COELLO_3) mantiene la Categoría **ALTA y MEDIA ALTA** presentada antes del aporte de esta corriente.

El río Combeima en su zona alta (COMBEIMA_1) presenta una **BAJA** presión debido a que no se identifican aportes. No obstante, si se considera la meta en carga, la presión aumenta en el tramo COMBEIMA_2 debido al beneficio de café y en especial al aporte de la PBA Carlima del municipio de Ibagué, clasificándose como **MODERADA**, pero se mantiene **BAJA** con las cargas usadas en el cobro de la Tasa retributiva, ya que son menores a la meta. Posteriormente en el tramo COMBEIMA_3 en donde se recibe una parte importante de los vertimientos municipales de Ibagué, la presión se incrementa a **MUY ALTA**, condición que se mantiene hasta su desembocadura en el río Coello (COMBEIMA_4). El río Coello aguas abajo del río Combeima (COELLO_4), incrementa su presión a la Categoría **MUY ALTA** en la condición de Año seco, debido principalmente al aporte del río Combeima y en segunda instancia, por los vertimientos del CP Payandé. En Año medio, y para la carga de la Tasa Retributiva se incrementa a la categoría **ALTA**. Estas condiciones se mantienen aguas abajo de la Quebrada Gualanday (COELLO_5), en donde adicionalmente se reciben las descargas de los centros poblados de Gualanday en el Municipio de Coello y el centro poblado Chicoral del municipio de Espinal.

La quebrada Gualanday, en la cual se realiza el vertimiento del relleno sanitario La Miel, presenta una categoría **MODERADA** para la meta en carga, y una categoría **BAJA** para la carga medida (menor a la meta).

La quebrada Chaguala es el último de los afluentes analizados del río Coello, antes de su desembocadura en el río Magdalena. Esta quebrada no tiene una presión identificada por lo que se encuentra en la categoría **BAJA**. El río Coello en su último tramo (COELLO_6) mantiene las categorías registradas en los Tramos COELLO_4 y COELLO_5, por lo que puede concluirse que el factor que ocasiona el cambio más drástico en el río Coello son los vertimientos municipales de Ibagué, que ingresan en el tramo COELLO_4, a través del río Combeima.

Tabla 661. Determinación del IACAL en el río Coello (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
TOCHE_1 TOTAL	Río Toche (río Coello) Abajo de CP Toche	82,98	BAJA	BAJA	151,15	BAJA	BAJA
COELLO_1 PARCIAL	Río Coello (Arriba de río Bermellón)	125,49	BAJA	BAJA	222,66	BAJA	BAJA
BERMELLON 1A PARCIAL	Río Bermellón arriba vertimientos urbanos Cajamarca	18,71	BAJA	BAJA	42,80	BAJA	BAJA
BERMELLON 1 PARCIAL	Río Bermellón arriba de río Anaime	26,50	MUY ALTA	MUY ALTA	58,00	MUY ALTA	MUY ALTA
ANAIME_1A PARCIAL	Río Anaime arriba de CP Anaime (Cajamarca)	68,89	BAJA	BAJA	140,33	BAJA	BAJA
ANAIME_1 TOTAL	Río Anaime Punto de Cierre	71,39	MEDIA ALTA	MODERADA	144,23	MEDIA ALTA	MODERADA
BERMELLÓN 2 TOTAL	Río Bermellón Punto de Cierre	113,32	ALTA	ALTA	226,32	ALTA	ALTA
COELLO_2 PARCIAL	Río Coello Arriba de río Cocora	264,68	ALTA	ALTA	491,10	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
COCORA 1 TOTAL	Río Cocora Punto de Cierre	71,82	BAJA	BAJA	112,73	BAJA	BAJA
COELLO_3 PARCIAL	Río Coello Arriba de Río Combeima	473,16	ALTA	ALTA	808,87	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
COMBEIMA_1 PARCIAL	Río Combeima Arriba de Captación Hidrotolima Pastales	57,37	BAJA	BAJA	93,62	BAJA	BAJA
COMBEIMA_2A PARCIAL	Arriba Vertimientos Municipio de Ibagué	112,88	MODERADA	BAJA	190,77	MODERADA	BAJA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
COMBEIMA_3 PARCIAL	Aguas arriba de Transvase Canal La Serna	138,33	MUY ALTA	MUY ALTA	231,25	MUY ALTA	MUY ALTA
COMBEIMA_ 4 TOTAL	Río Combeima Punto de Cierre	149,35	MUY ALTA	MUY ALTA	250,10	MUY ALTA	MUY ALTA
COELLO_4 PARCIAL	Río Coello Arriba de Q. Gualanday	661,41	MUY ALTA	MUY ALTA	1.107,97	MUY ALTA	ALTA
GUALANDAY_1A PARCIAL	Q. Gualanday Aguas Abajo Q. Guacarí	7,55	MODERADA	BAJA	9,74	MODERADA	BAJA
GUALANDAY_1 TOTAL	Q. Gualanday Punto de Cierre	36,62	BAJA	BAJA	42,35	BAJA	BAJA
COELLO_5 PARCIAL	Río Coello Arriba de Q. Chaguala	737,62	MUY ALTA	MUY ALTA	1.204,08	MUY ALTA	ALTA
CHAGUALA_1 TOTAL	Q. Chaguala Punto de Cierre	38,82	BAJA	BAJA	49,49	BAJA	BAJA
COELLO_6 TOTAL	Río Coello Punto de Cierre	777,54	MUY ALTA	MUY ALTA	1.255,10	MUY ALTA	ALTA

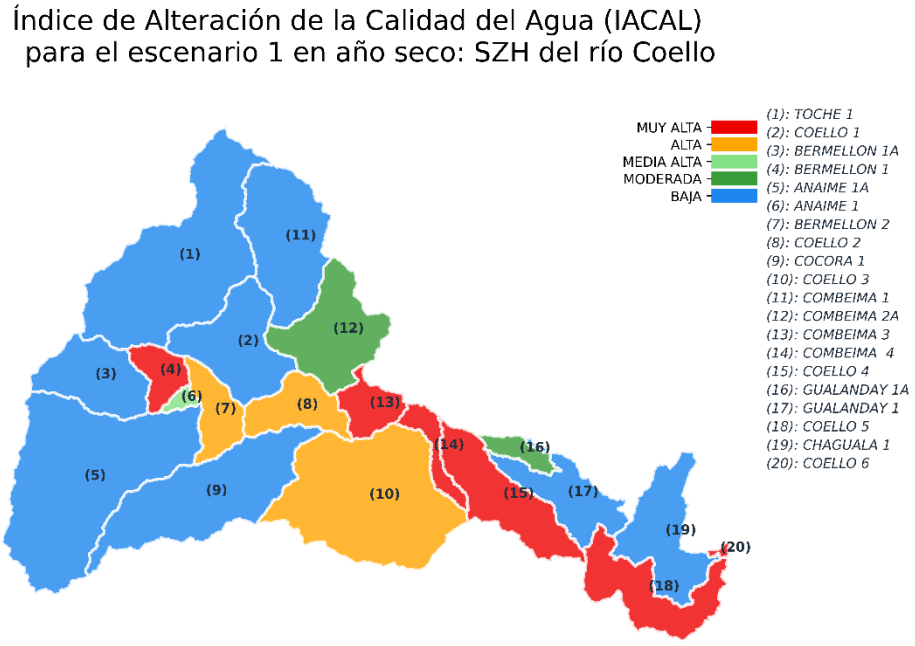


Figura 853. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Coello

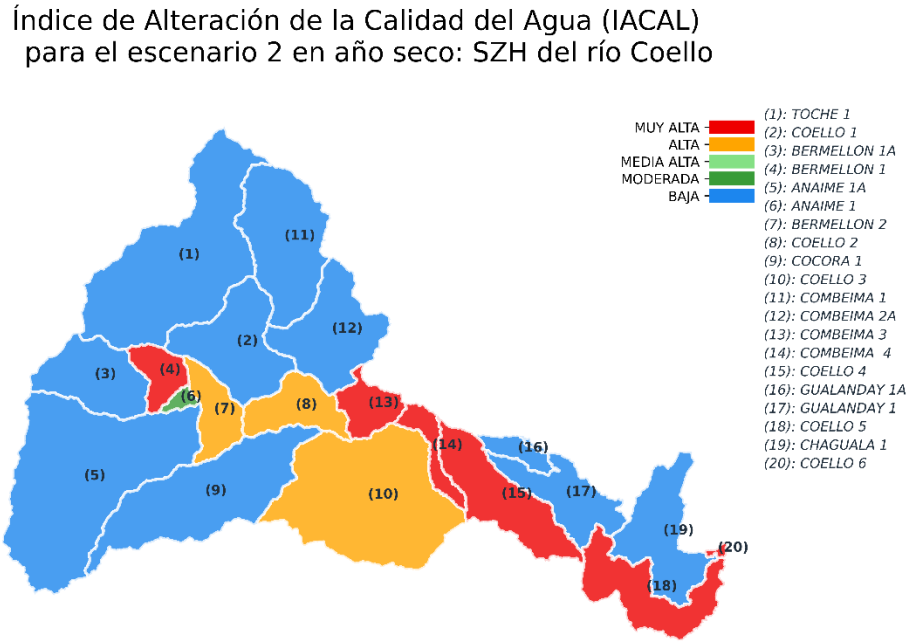


Figura 854. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Coello

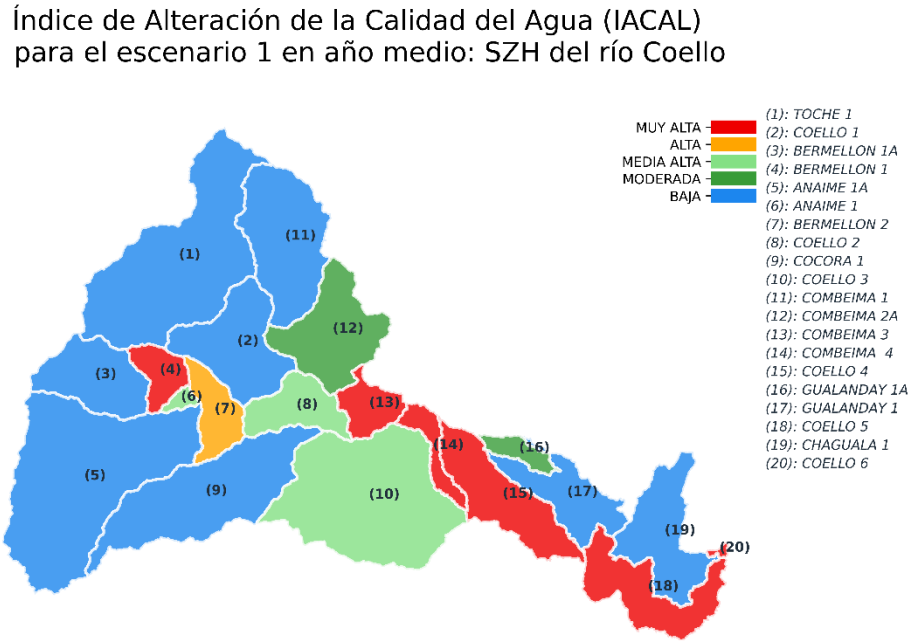


Figura 855. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Coello

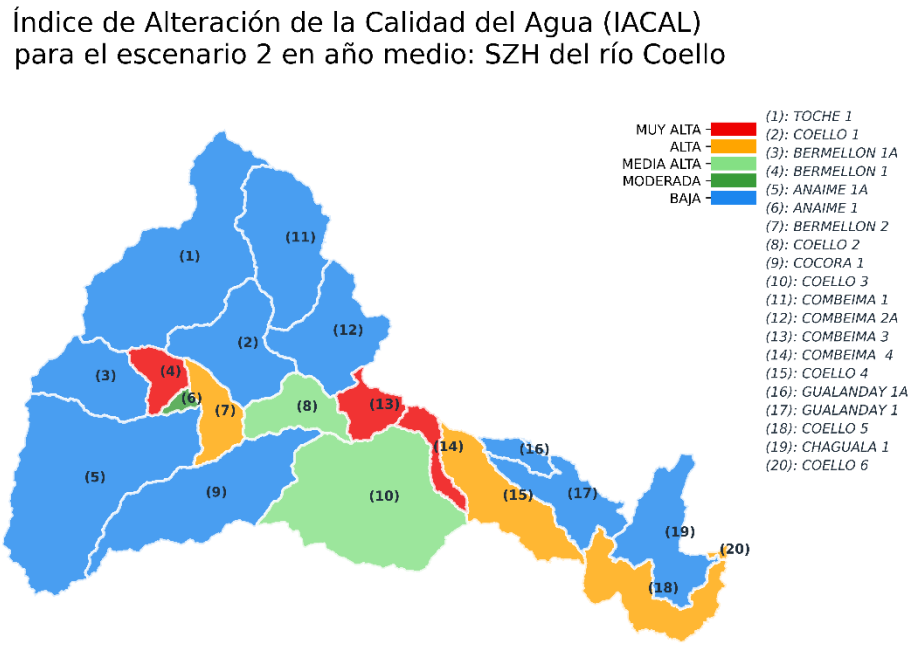


Figura 856. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Coello

40.2.2. IACAL en la subzona hidrográfica del río Totare

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Totare hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden.

En su parte alta, el río Totare (TOTARE 1 y TOTARE 2A), presenta una presión **BAJA**, con ausencia de aportes de carga en el primer tramo y con posibles aportes debido al beneficio de café en el segundo tramo. Aguas abajo de estos tramos ingresa la quebrada el Fierro, la cual recibe parte de las aguas residuales del municipio de Anzoátegui, así como posibles aportes del beneficio de Café, con lo cual se clasifica con una presión **ALTA** para la condición de Año Seco y **MEDIA ALTA** en el Año Medio, condición favorecida por un mayor caudal.

Otro afluente importante, debido a que es un cuerpo de agua receptor de aguas residuales, es la quebrada La Rica, la cual recibe un número importante de descargas del municipio de Santa Isabel, la cual presenta una presión **MUY ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, mientras que para el Año medio se presenta una condición **ALTA** utilizando la meta en carga. Lo anterior indica que esta meta es superada por la carga aportada por el municipio en este tramo. El río Totare (TOTARE_2) aguas abajo de las quebradas El Fierro y La Rica, presenta una presión mayor, clasificada como **MEDIA ALTA** en el año Seco y **MODERADA** en el año medio. Para el tramo TOTARE_3 no se adicionan cargas y aunque el caudal es mayor en este punto, se mantiene la misma clasificación que en TOTARE_2.

Uno de los afluentes más representativos del río Totare es el río Alvarado, el cual recoge directamente aguas residuales y también a través de otros cuerpos de agua como el río Frío – Quebrada La China. En su parte alta el río Alvarado (ALVARADO_1A) presenta una presión **MUY ALTA** debido a la descarga de una parte de los vertimientos municipales de Ibagué principalmente, seguido de posibles aportes del beneficio de café. Posteriormente (ALVARADO_1) esta corriente recibe aportes de vertimientos del Municipio de Alvarado, desde el casco urbano y también desde el centro poblado Caldas Viejo y de beneficio de Café, clasificándose como en presión **MUY ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, mientras que para el Año medio se presenta una condición **ALTA** utilizando la meta en carga. Lo anterior indica que esta meta es superada por la carga aportada por el municipio en este tramo. En el último tramo del río Alvarado, se ha recibido el aporte de la quebrada La China y se observa que, tanto para el Año Medio como para el Año Seco, se mantiene la condición de presión **MUY ALTA** para los valores de carga registrados en el seguimiento, mientras que para los valores meta, la presión

se reduce en este tramo final, clasificándose como **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio.

La quebrada La China es un afluente del río Alvarado, importante por su tamaño, la cual en su parte alta (CHINA_1) no recibe aportes presentando una **BAJA** presión, mientras que en el siguiente tramo (CHINA_2) se evidencian zonas con posibles aportes por el beneficio de Café de los municipios de Ibagué y Anzoátegui, presentando una presión **MODERADA** en Año Seco y se mantiene en **BAJA** para el Año Húmedo. Luego del aporte del río Frío, la presión se mantiene similar en la quebrada La China. Asu vez, el río Frío es un afluente importante de la quebrada La China, el cual recibe a través de sus tributarios, como la quebrada Santa Helena – Las Camelias y una quebrada innominada vertimientos del municipio de Anzoátegui, lo cual ocasiona que esta fuente pase de una **BAJA** presión en su parte alta (FRIO_1A) a una presión **MEDIA ALTA** en su parte baja (FRIO_1) en Año Seco y **MODERADA** en año Húmedo. Estos afluentes del río Frío presentan una presión **MUY ALTA**, debido a que el caudal es bajo en comparación con la carga recibida.

En la parte Baja del río Totare, se encuentran dos afluentes importantes, el río Chipalo y la quebrada Guarapo – Honda. El río Chipalo presenta una presión **MUY ALTA** desde su inicio debido principalmente al aporte de descargas municipales de Ibagué, y en menor medida debido al beneficio de café de este municipio y del relleno Sanitario Combeima. A pesar del incremento de caudal en el punto de cierre del río Chipalo, la presión se mantiene en **MUY ALTA**. Por su parte, la quebrada Guarapo rebe la descarga del municipio de Piedras (PTAR La Manga – La Ceiba), la cual es alta en comparación con el caudal que puede transportar en condiciones naturales, con lo cual se clasifica como presión **MUY ALTA**. El río Totare en su punto de cierre (TOTARE_5) presenta una presión **MUY ALTA**, debido a las condiciones previas (TOTARE_4) y también debido al aporte de carga a través del río Chipalo y de la quebrada Guarapo.

Tabla 662. Determinación del IACAL en el río Totare (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
TOTARE_1 PARCIAL	Arriba de río Totarito	16,03	BAJA	BAJA	37,03	BAJA	BAJA
TOTARE_2A PARCIAL	Arriba de Q. El Fierro	74,84	BAJA	BAJA	182,28	BAJA	BAJA
FIERRO_1 TOTAL	Q. El Fierro Punto de Cierre	10,05	ALTA	ALTA	17,32	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
RICA_1 TOTAL	Q. La Rica Punto de Cierre	7,98	MUY ALTA	MUY ALTA	13,67	ALTA	MUY ALTA
TOTARE_2 PARCIAL	Arriba de Captación Asototare (Boluga Totare)	120,26	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	256,82	MODERADA	MODERADA
TOTARE_3 PARCIAL	Arriba de río Alvarado	124,81	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	267,66	MODERADA	MODERADA
ALVARADO_1A PARCIAL	Inicio Jurisdicción Alvarado (Abajo de CP Chucuní)	8,66	MUY ALTA	MUY ALTA	19,46	MUY ALTA	MUY ALTA
ALVARADO_1B PARCIAL	Inicio Jurisdicción Alvarado (Abajo de CP Chucuní)	30,32	MUY ALTA	MUY ALTA	64,17	ALTA	MUY ALTA
ALVARADO_1 PARCIAL	Arriba de Q. La China	52,32	MUY ALTA	MUY ALTA	110,09	ALTA	MUY ALTA
CHINA_1 PARCIAL	Arriba de Q. San Romualdo	13,33	BAJA	BAJA	35,06	BAJA	BAJA
ROMUALDO_1 PARCIAL	Q.San Romualdo. Punto de Cierre	33,86	BAJA	BAJA	78,91	BAJA	BAJA
CHINA_2 PARCIAL	Arriba de Río Frío	85,79	MODERADA	MODERADA	191,33	BAJA	BAJA
FRIO_1A PARCIAL	Arriba de vertimientos casco urbano Anzoátegui	24,55	BAJA	BAJA	53,56	BAJA	BAJA
INNOMINADA_1 TOTAL	Q. Innominada punto de cierre	0,30	MUY ALTA	MUY ALTA	0,48	MUY ALTA	MUY ALTA
STA_HELENA_ 1 PARCIAL	Q. Santa Helena punto de cierre	1,58	MUY ALTA	MUY ALTA	2,43	MUY ALTA	MUY ALTA
FRIO_1 TOTAL	Río Frío Punto de Cierre	35,45	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	73,75	MODERADA	MODERADA
CHINA_3 PARCIAL	Arriba captación ASOTOTARE (Boluga La China)	126,26	MODERADA	MODERADA	277,72	BAJA	MODERADA
CHINA_4 TOTAL	Río La China Punto de Cierre	129,30	MODERADA	MODERADA	286,11	BAJA	MODERADA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
ALVARADO_2 TOTAL	Río Alvarado Punto de Cierre	181,73	ALTA	MUY ALTA	397,11	MEDIA ALTA	MUY ALTA
TOTARE_4 PARCIAL	Arriba de río Chipalo	306,71	ALTA	MUY ALTA	665,34	MEDIA ALTA	MUY ALTA
CHIPALO_2A PARCIAL	Abajo de Q. Agua Sucia	30,41	MUY ALTA	MUY ALTA	55,75	MUY ALTA	MUY ALTA
CHIPALO_2 TOTAL	Río Chipalo punto de Cierre	31,36	MUY ALTA	MUY ALTA	58,05	MUY ALTA	MUY ALTA
GUARAPO_1 TOTAL	Q. Guarapo Punto de Cierre	0,19	MUY ALTA	MUY ALTA	0,31	MUY ALTA	MUY ALTA
TOTARE_5 TOTAL	Río Totare Punto de Cierre	342,66	MUY ALTA	MUY ALTA	732,89	MUY ALTA	MUY ALTA

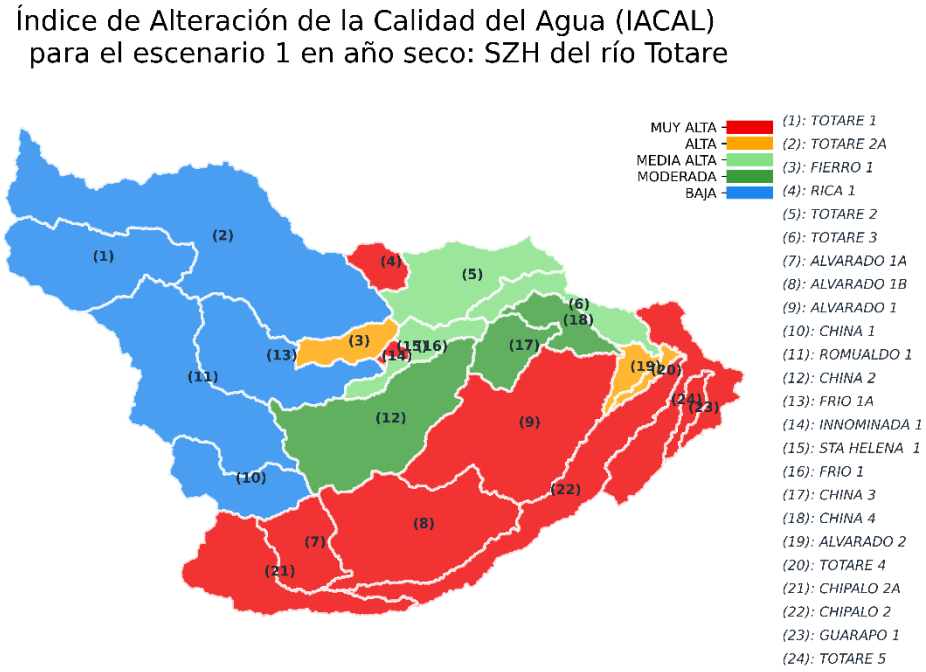


Figura 857. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Totare

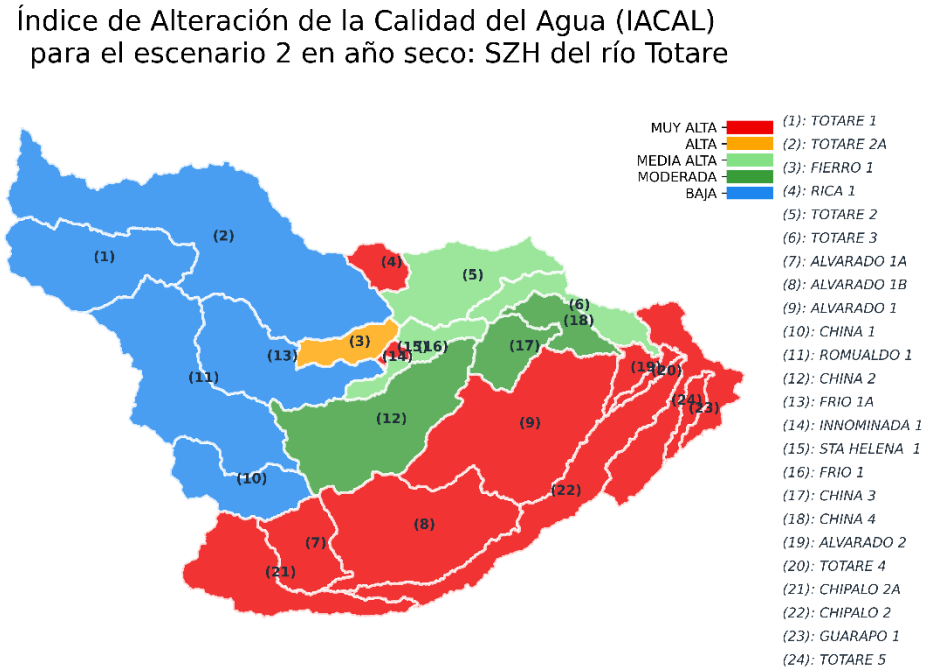


Figura 858. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Totare

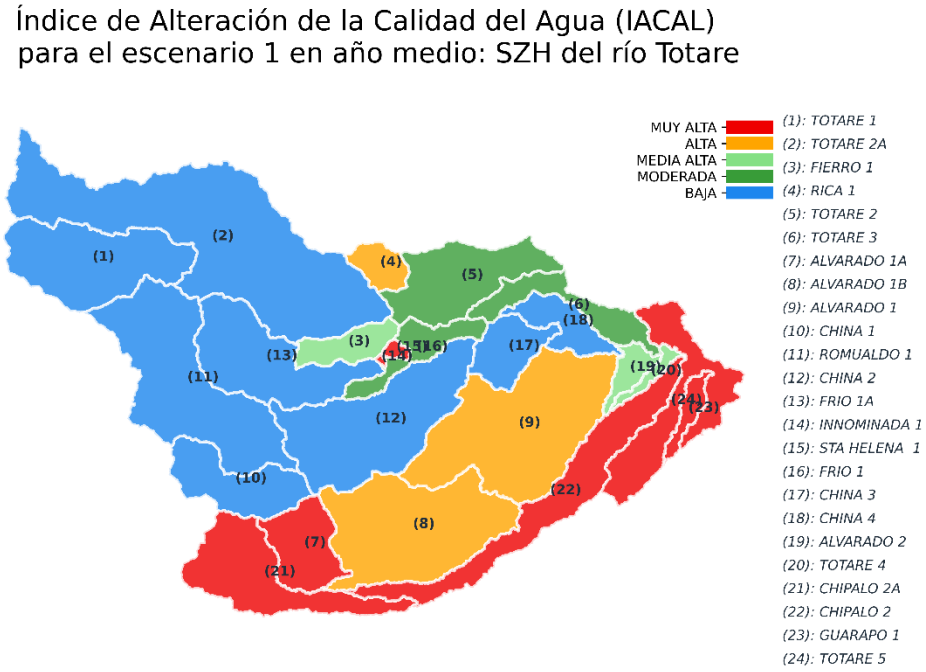


Figura 859. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Totare

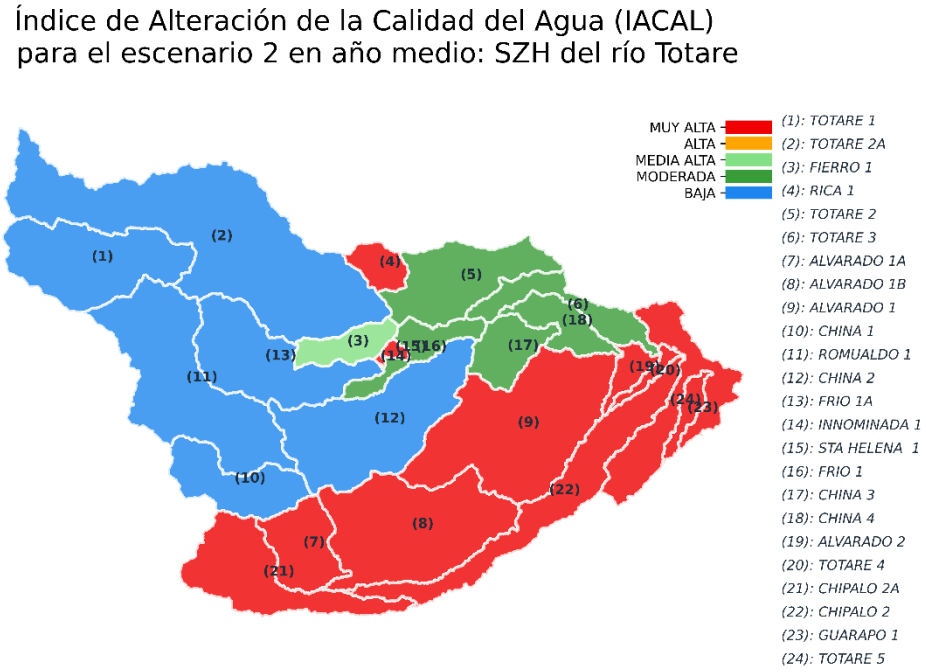


Figura 860. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Totare

40.2.3. IACAL en la subzona hidrográfica del río Opia

El río Opia en su parte alta (OPIA_1A) recibe un número importante de vertimientos del municipio de Ibagué, incrementando la carga en un tramo en el cual se presenta un bajo caudal, por lo tanto, presenta una categoría **MUY ALTA**. Esta condición se mantiene en el siguiente Tramo OPIA_1B para la meta en carga. Sin embargo, considerando que la carga aportada, según el seguimiento realizado, es menor que la meta, se presenta una menor categoría, **MEDIA ALTA.** Posteriormente el río Opia (OPIA_1) recibe las descargas del CP Doima del municipio de Piedras, manteniendo la misma categoría del tramo anterior La quebrada Doima es el principal afluente del río Opia. Esta quebrada desde su parte inicial (DOIMA_1A) presenta una presión importante, con la categoría **MUY ALTA**, debido a una parte de los vertimientos municipales de Ibagué. Estas condiciones se mantienen hasta su desembocadura en el río Opia. Finalmente, el río OPIA, con el incremento de carga, debido al aporte de la quebrada Doima, se mantienen la condición de **MUY ALTA** en los escenarios con la meta en carga, inclusive, se aumenta de **MEDIA ALTA** a **MUY ALTA** para los escenarios con la carga registrada en el seguimiento. De acuerdo con lo anterior, tanto la corriente principal de la cuenca del río Opia, así como el río Doima, presentan una presión **MUY ALTA** debido principalmente a los vertimientos municipales de Ibagué. La quebrada Naguachi desemboca directamente en el río Magdalena, por lo tanto, no está relacionada con la presión que recibe la corriente principal de esta cuenca (río Opia). Esta quebrada debido a su bajo caudal y a la carga aportada por el vertimiento municipal de Coello presenta una presión **ALTA** en todos los escenarios.

Tabla 663. Determinación del IACAL en el río Opia (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
NAGUACHI_1 TOTAL	Q. Naguachi Punto de Cierre	7,35	ALTA	ALTA	7,35	ALTA	ALTA
OPIA_1A PARCIAL	Arriba de Aporte de Canal La Serna	0,81	MUY ALTA	MUY ALTA	0,81	MUY ALTA	MUY ALTA
OPIA_1B PARCIAL	Abajo de derivaciones para riego	25,49	MUY ALTA	MEDIA ALTA	25,49	MUY ALTA	MEDIA ALTA
OPIA _1 PARCIAL	Arriba Q. Doima (abajo de Vertimientos CP Doima)	41,95	MUY ALTA	MEDIA ALTA	41,95	MUY ALTA	MEDIA ALTA
DOIMA_1A PARCIAL	Aguas Abajo Vertimientos de Ibagué	2,81	MUY ALTA	MUY ALTA	2,81	MUY ALTA	MUY ALTA
DOIMA_1 TOTAL	Punto de Cierre	66,38	MUY ALTA	MUY ALTA	66,38	MUY ALTA	MUY ALTA
OPIA_2 Total	Punto de Cierre	143,29	MUY ALTA	MUY ALTA	143,29	MUY ALTA	MUY ALTA

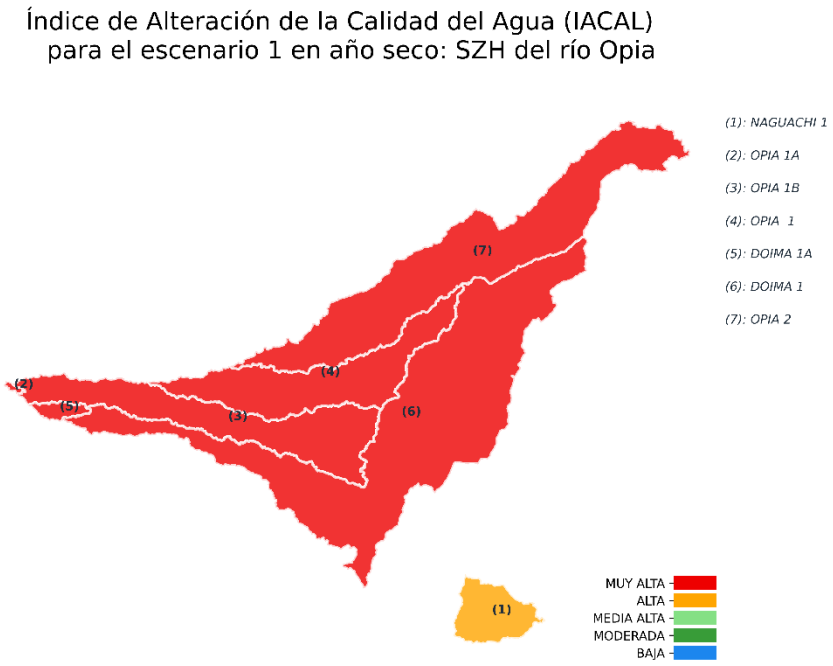


Figura 861. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Opia

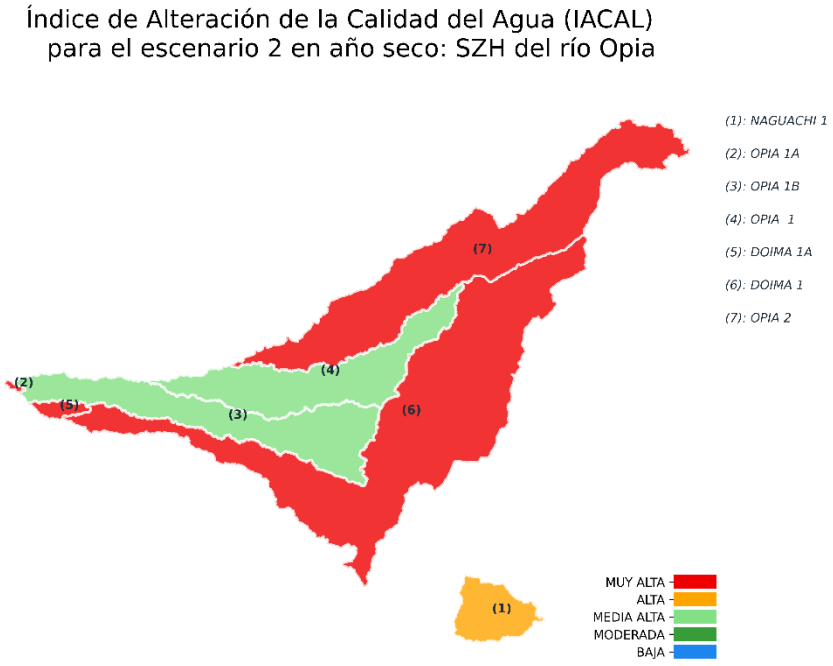


Figura 862. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Opia

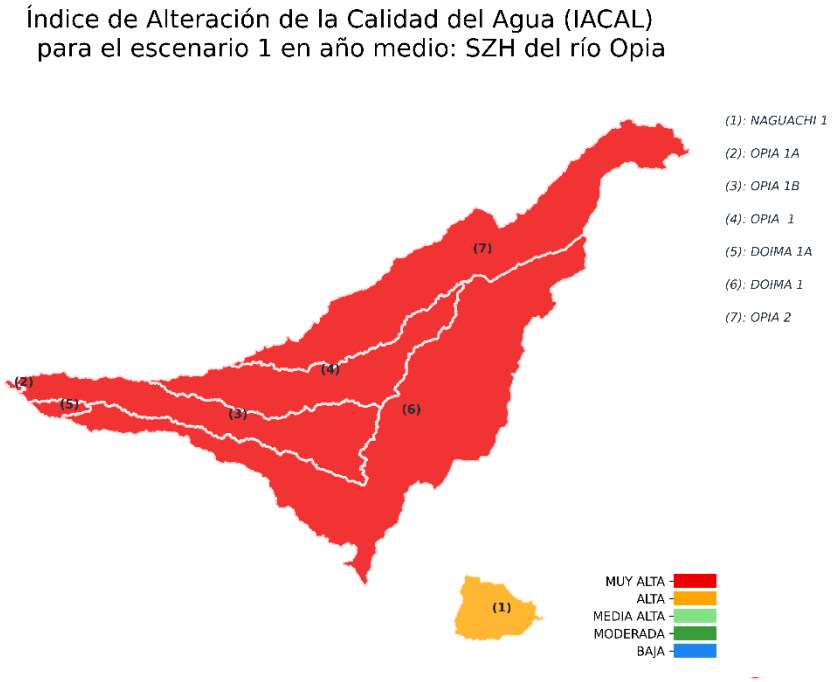


Figura 863. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Opia

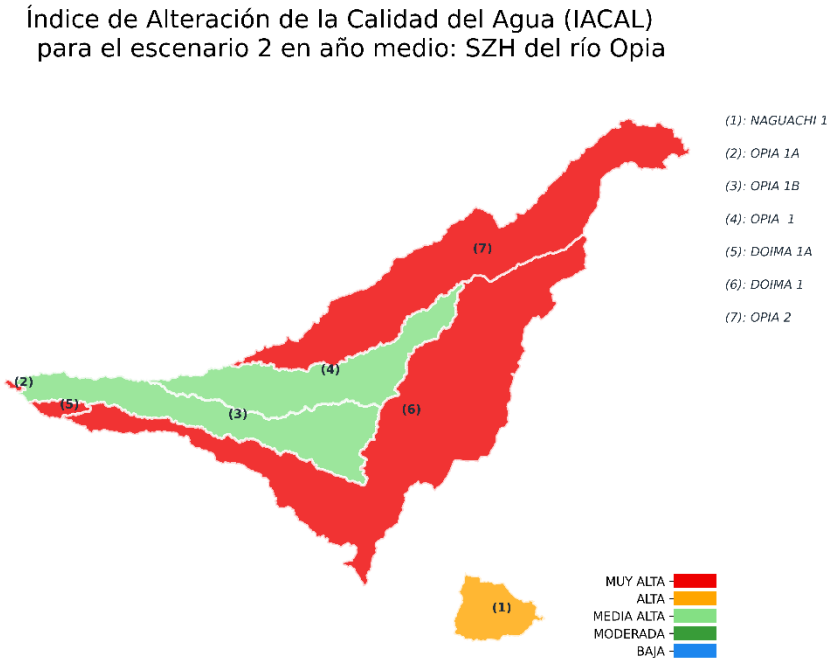


Figura 864. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Opia

40.2.4. IACAL en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

El río Venadillo en su parte alta (VENADILLO_1A) presenta una **BAJA** presión antes de los vertimientos del Municipio de Venadillo, que se realizan a través de la quebrada Galapo – Los Monos. En la quebrada GALAPO se presenta una presión **MUY ALTA** debido a dichas descargas, con una alta carga en comparación con el caudal que puede transportar la corriente.

Aguas Abajo de la quebrada Galapo – Los Monos, el río Venadillo recibe descargas adicionales del Municipio de Venadillo, por lo que a la altura de la captación Pajonales aumenta la presión del tramo anterior (**BAJA**) hasta **ALTA**. En el tramo final (VENADILLO_2), el río Venadillo recibe indirectamente la descarga de la PTAR de Sacrificio de la Organización Pajonales, con cargas que son bajas en comparación con la carga acumulada hasta este punto, representando aproximadamente el 2%. Antes de la desembocadura en el río Magdalena el río Venadillo mantiene la presión **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, sin embargo, con la meta en carga para el año 2020 la presión es **MEDIA ALTA**, lo que indica que, de forma acumulada para este punto, la carga vertida es mayor que la meta.

El río Recio en su parte Alta (RECIO_1) presenta una **BAJA** presión considerando que antes del río Azul, no se presentan aportes de carga identificados. Esta última corriente también presenta una **BAJA** Presión. En el siguiente Tramo (RECIO_2), el río Recio presenta un incremento en la presión, con clasificaciones entre **MODERADA** y **ALTA**, siendo mayor en el Año Seco, condición que refleja principalmente el posible aporte del beneficio de café en el municipio del Líbano, y en segunda medida el aporte que realiza la quebrada Castrillón, la cual recibe vertimientos provenientes del municipio de Murillo. Por tal razón, la quebrada presenta en la mayoría de las situaciones analizadas una presión **MUY ALTA**, menos en el Año medio para la meta en carga en donde se presenta una Presión **ALTA**, lo cual indica que, la carga total vertida en la quebrada por el municipio de Murillo es mayor que la meta.

En el siguiente tramo (RECIO_3) ingresan en el río Recio la quebrada Santa Rosa y la quebrada Las Peñas. La quebrada Santa Rosa recibe directamente y a través de la quebrada San Juan un número importante de descargas provenientes del municipio del Líbano. Debido a que el caudal estimado para la quebrada Santa Rosa es pequeño en comparación con la carga recibida, se presenta una presión **MUY ALTA**. La quebrada Las Peñas qe recibe una menor fracción de los vertimientos del municipio del Líbano y un aporte importante del beneficio de café de este municipio, presenta una presión **MEDIA ALTA** para el Año Seco y **MODERADA** para el Año Medio. La quebrada Honda, afluente del río Recio, podría recibir un aporte importante de carga debido al beneficio de café del municipio del Líbano, por lo cual la presión se define como **ALTA**.

A partir de los aportes de las quebradas Santa Rosa, La Peña y Honda, el río Recio (RECIO_3) incrementa su categoría de presión, siendo **ALTA** para todos los escenarios. Aguas abajo, en el tramo RECIO_4 ingresa un importante tributario denominado río La Yuca, el cual a su vez recibe las aguas de la quebrada Las Ánimas. El río La yuca antes del ingreso de la quebrada Las Ánimas presenta una **BAJA** presión, mientras que abajo de esta quebrada, se incrementa, clasificándose como presión **MODERADA**. La quebrada Las Ánimas, fuente receptora de vertimientos provenientes del municipio de Santa Isabel, presenta una **MEDIA ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados, siendo mayor la presión (**ALTA**) en el Año Seco, para la meta en carga. Lo anterior indica que la carga vertida para el año 2020, fue menor que la meta. El río Recio aguas abajo del río la YUCA (RECIO_4), mantiene su condición de presión **ALTA** identificada antes del río la YUCA (RECIO_3). En los tramos finales se mantiene la presión **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados. Para el escenario de Año Medio y de carga según la meta, la categoría de presión disminuye a **MEDIA ALTA**, lo cual indica que la carga vertida para el año 2020 acumulada en este punto, es mayor que la meta.

La quebrada Tautau se encuentra dentro de los límites definidos para la cuenca, sin embargo, esta descarga directamente en el río Magdalena, por lo que no afecta los resultados del IACAL para las corrientes principales (ríos Recio y Venadillo). En la quebrada Tautau no se identifican vertimientos, con lo cual se clasifica como con una **BAJA** presión. Adicionalmente, el municipio de Ambalema realiza un número importantes de descargas al río Magdalena, las cuales no son objeto del cálculo del IACAL.

Tabla 664. Determinación del IACAL en el río Recio - Venadillo (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
RÍO VENADILLO							
VENADILLO_1A PARCIAL	Arriba de Vertimientos Municipio Venadillo (arriba Q. Galapo)	78,97	**BAJA**	**BAJA**	111,97	**BAJA**	**BAJA**
GALAPO_1 TOTAL	Q. Los Monos - Q. Galapo Punto de Cierre	13,02	**MUY ALTA**	**MUY ALTA**	18,32	**MUY ALTA**	**MUY ALTA**
VENADILLO_1 PARCIAL	Arriba captación Pajonales	108,09	**ALTA**	**ALTA**	155,80	**ALTA**	**ALTA**
VENADILLO_2 TOTAL	Río Venadillo Punto de Cierre	142,22	**ALTA**	**ALTA**	202,37	**MEDIA ALTA**	**ALTA**
RÍO RECIO							
RECIO_1 PARCIAL	Río Recio (Arriba de Río Azul)	63,02	**BAJA**	**BAJA**	115,76	**BAJA**	**BAJA**

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
AZUL_1 TOTAL	Río Azul punto de Cierre	62,02	BAJA	BAJA	109,97	BAJA	BAJA
CASTRILLÓN TOTAL	Q. Castrillón Punto de Cierre	6,07	MUY ALTA	MUY ALTA	11,04	ALTA	MUY ALTA
RECIO_2 PARCIAL	Río Recio Arriba de Q. Santa Rosa (abajo de Q. Castrillón)	243,58	MODERADA	ALTA	422,53	MODERADA	MEDIA ALTA
SANTAROSA_1 TOTAL	Q. Santa Rosa Punto de Cierre	29,11	MUY ALTA	MUY ALTA	40,44	MUY ALTA	MUY ALTA
PEÑAS TOTAL	Q. Peñas Punto de Cierre	60,34	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	102,31	MODERADA	MODERADA
HONDA_RECIO_1 TOTAL	Q. La Honda (Recio) Punto de Cierre	52,57	ALTA	ALTA	78,02	ALTA	ALTA
RECIO_3 PARCIAL	Arriba Q. La Yuca	403,60	ALTA	ALTA	671,96	ALTA	ALTA
YUCA_1A PARCIAL	Río La Yuca Arriba de Q. Las Ánimas (recibe Vertimientos municipio Santa Isabel)	44,59	BAJA	BAJA	79,17	BAJA	BAJA
ANIMAS_1 TOTAL	Q. Las Ánimas Punto de Cierre	16,93	ALTA	MEDIA ALTA	26,09	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
YUCA_1 TOTAL	Río La Yuca Punto de Cierre	107,41	MODERADA	MODERADA	181,07	MODERADA	MODERADA
RECIO_4 PARCIAL	Río Recio Arriba de Captación Asorecio (abajo de río La Yuca)	530,48	ALTA	ALTA	881,21	ALTA	ALTA
RECIO_5 PARCIAL	Río Recio Arriba captación Pajonales - El Vergel	567,80	ALTA	ALTA	936,06	MEDIA ALTA	ALTA
RECIO_6 TOTAL	Río Recio Punto de Cierre	575,42	ALTA	ALTA	949,27	MEDIA ALTA	ALTA
TAUTAU_1 TOTAL	Q. Tautau Punto de Cierre	31,48	BAJA	BAJA	45,72	BAJA	BAJA

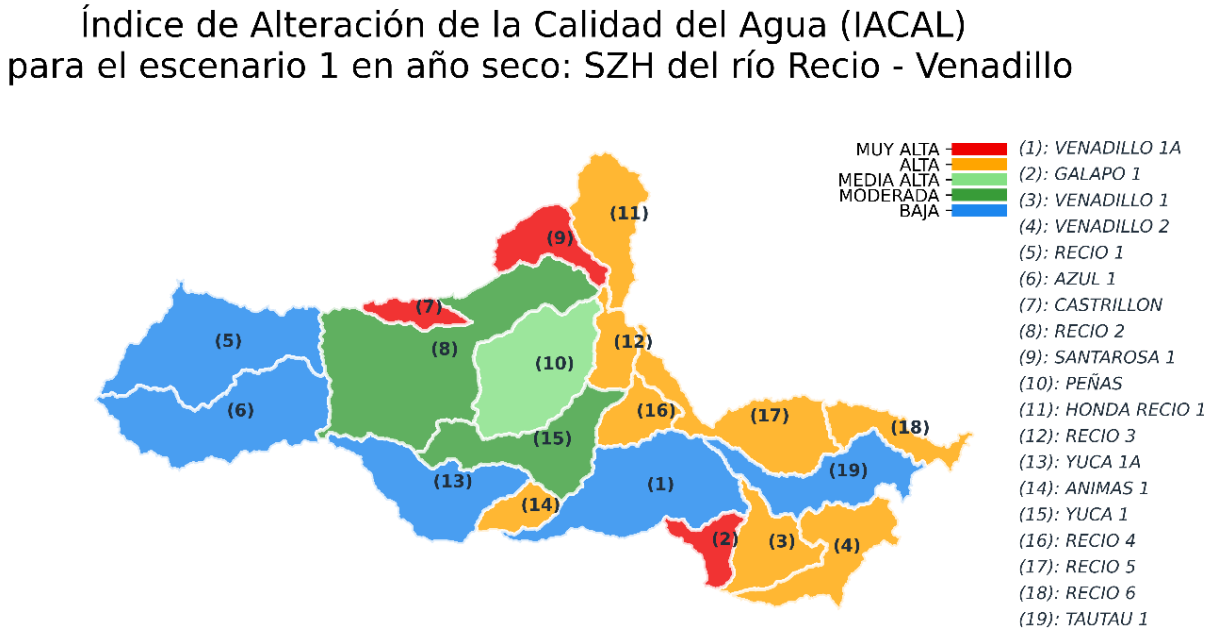


Figura 865. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Recio - Venadillo

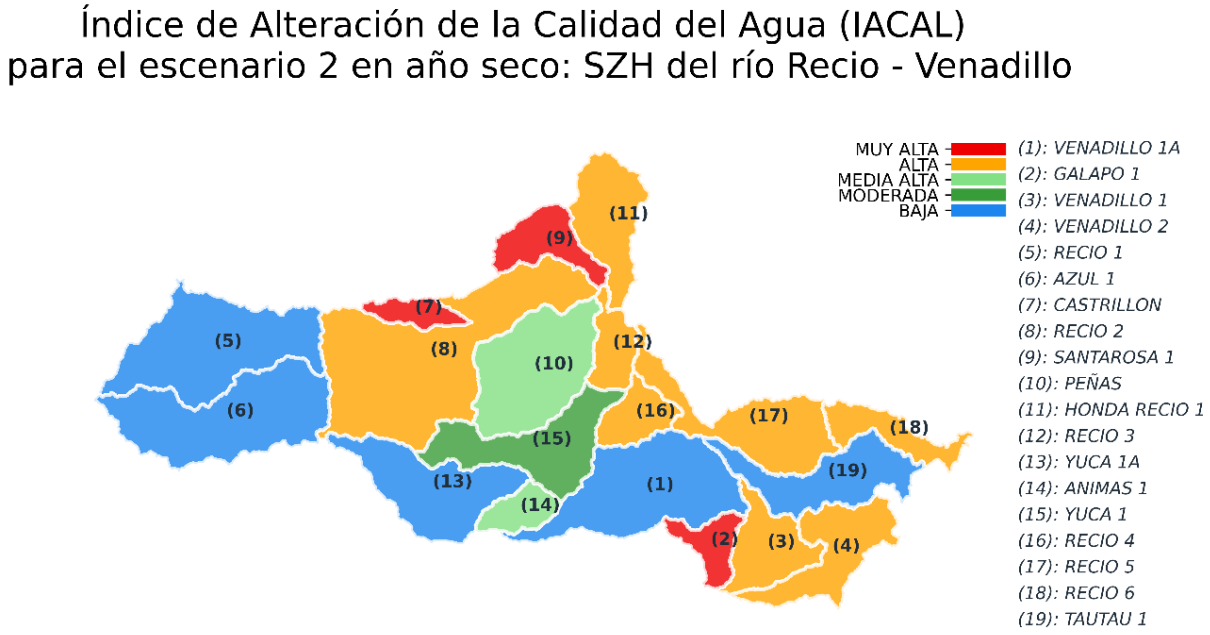


Figura 866. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Recio - Venadillo

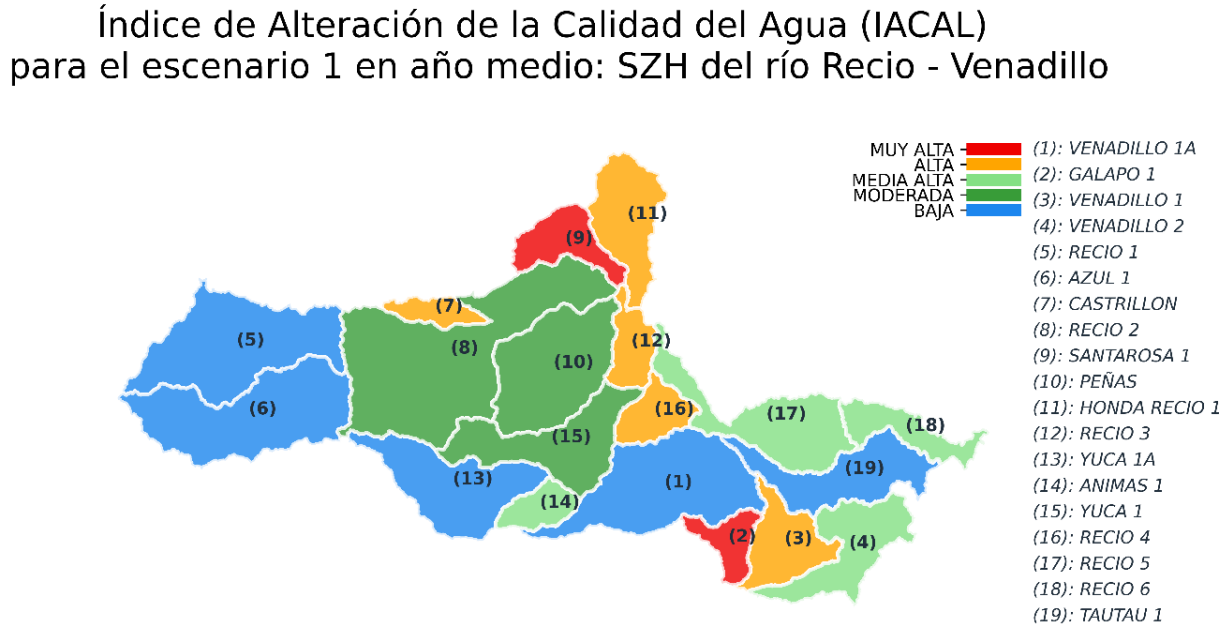


Figura 867. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Recio – Venadillo

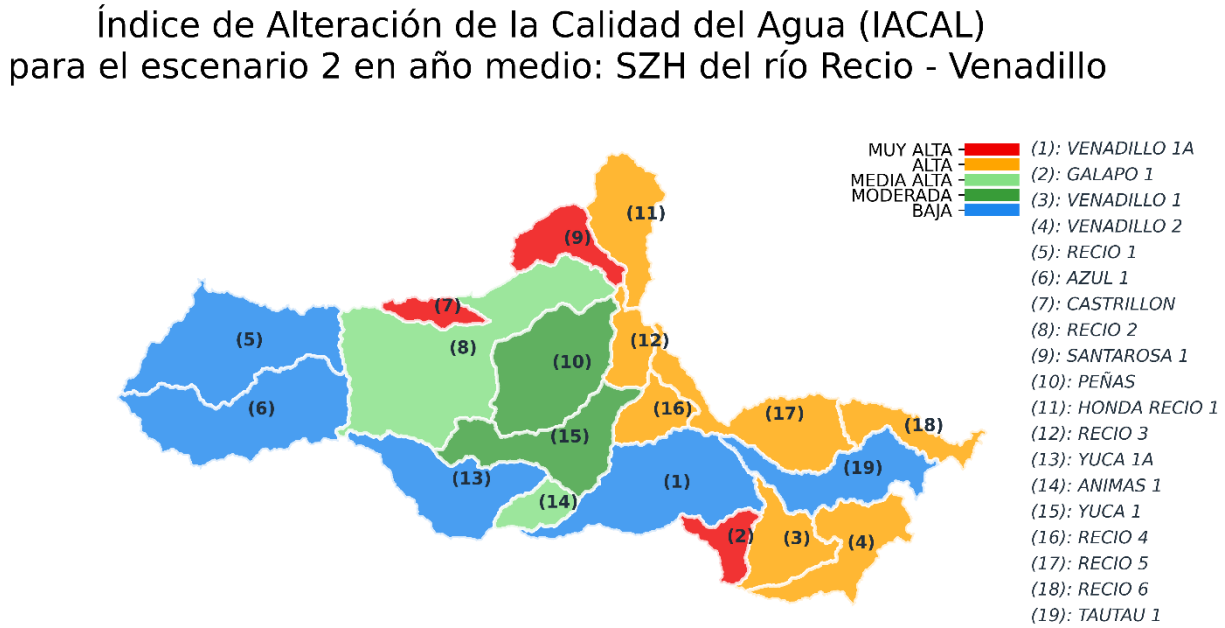


Figura 868. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Recio - Venadillo

40.2.5. IACAL en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

El río Lagunilla en su parte alta (LAGUNILLA_1), aguas arriba del río Vallecitos, presenta una baja presión, debido a la ausencia de cargas. Posteriormente en el tramo LAGUNILLA_2, se presenta un incremento en la presión, definiéndose como **MODERADA** para tres (3) de los cuatro (4) escenarios, y **MEDIA ALTA** para el año Seco con la meta en carga. Este aumento se debe principalmente al posible aporte realizado por el beneficio de café de los municipios de Villahermosa y Líbano y al ingreso de la carga transportada por el río Vallecitos.

El río Vallecitos recibe la carga de la PTAR Vereda el Infierno del municipio de Murillo, presentando una presión **ALTA** en el Año Seco y **MODERADA** a **MEDIA ALTA** en Año Medio. El río Azufrado es uno de los principales tributarios del río Lagunilla, en su parte alta (AZUFRADO_1A) se presenta una **BAJA** presión debido a la ausencia de cargas identificadas. Posteriormente (AZUFRADO_1), se realizan a través de las quebradas Santa Rita, La Bonita y Calzones, descargas municipales de Casabianca y Villahermosa. Así mismo se identifican posibles aportes de aguas residuales del beneficio de café provenientes de estos municipios, realizados directamente sobre el río Azufrado, o través de estas quebradas, de esta forma se incremente la presión en el río Azufrado siento **ALTA** en el punto de cierre (AZUFRADO_1) en tres (3) de los cuatro (4) escenarios y **MEDIA ALTA** en el Año medio para la meta en carga. Lo anterior indica que la carga aportada en el río Azufrado de manera acumulada en el punto de cierre, es mayor que la meta establecida. La quebrada Santa Rita presenta una presión **MUY ALTA**, la quebrada La Bonita presión **ALTA** considerando la meta proyectada y **MUY ALTA** con la carga aportada, indicando que esta última es mayor que la meta. La quebrada Calzones presenta una presión **ALTA**.

En el tramo LAGUNILLA_3, l corriente principal presenta un incremento en la presión, siendo **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio. Lo anterior se debe en parte, a la carga transportada por el río Azufrado y también al posible aporte de carga proveniente del beneficio de café en los municipios de Villahermosa, Líbano y Armero. Se encuentra en este tramo el aporte de la PTAR de La Mina de Oro El Gran Porvenir, actividad que puede considerarse de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua, como una posible fuente aportante de mercurio. Sin embargo, de acuerdo con la caracterización realizada el 11 de febrero de 2022 en el marco de la elaboración de la presente Evaluación Regional del Agua, el mercurio no fue detectado, con un límite de 0,001 mg/L.

En el tramo LAGUNILLA_4 s mantiene la clasificación del tramo anterior, **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio. En el tramo LAGUNILLA_5 ingresa un afluente importante, correspondiente al río Bledo, el cual a su vez tiene como tributarios a la

quebrada la Sierra y a la quebrada El Sitio. La quebrada La Sierra reciba las aguas residuales del centro poblado La Sierra y también se observa una pequeña área de cultivo de café en el municipio de Líbano, de esta forma, la presión es **BAJA** con la meta en carga, pero de acuerdo con las cargas registradas para el vertimiento del centro poblado la Sierra, la presión sería mayor, **MEDIA ALTA** en Año Seco y **MODERADA** en Año Medio. La quebrada El Sitio recibe un número importante de descargas del municipio de Lérida, presentando una presión **ALTA** en todos los escenarios analizados. Para el año seco el río Bledo antes y después de estos aportes, se mantiene en la condición **MEDIA ALTA**.

El río Lagunilla, aguas abajo del río Bledo (LAGUNILLA_5) mantiene la clasificación de los tramos anteriores (LAGUNILLA_3 Y LAGUNILLA_4), **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio. En los siguientes Tramos (LAGUNILLA_6 y LAGUNILLA_7) ingresan los tributarios quebrada El Palmar y quebrada La Joya, en las cuales no se identificó cargas aportantes, por lo tanto, presentan una BAJA presión. En el punto de cierre del río Lagunilla se mantiene la clasificación identificada en los anteriores tramos (LAGUNILLA_3 a LAGUNILLA_6) **ALTA** en Año Seco y **MEDIA ALTA** en Año Medio.

Tabla 665. Determinación del IACAL en el río Lagunilla (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
LAGUNILLA_1 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de río Vallecitos	44,19	BAJA	BAJA	94,88	BAJA	BAJA
VALLECITOS_1 TOTAL	Río Vallecitos Punto de Cierre	14,98	ALTA	MEDIA ALTA	32,90	ALTA	MODERADA
LAGUNILLA_2 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Río Azufrado	130,46	MEDIA ALTA	MODERADA	253,90	MODERADA	MODERADA
AZUFRADO_1A PARCIAL	Río Azufrado Arriba de Vertimientos Municipio de Casabianca	67,02	BAJA	BAJA	139,31	BAJA	BAJA
SANTA RITA_1 TOTAL	Q. Esmeralda Arriba de Vertimientos Municipio de Villahermosa	2,23	MUY ALTA	MUY ALTA	3,59	MUY ALTA	MUY ALTA
BONITA_1 TOTAL	Q. La Bonita Punto de Cierre	7,19	ALTA	MUY ALTA	11,12	ALTA	MUY ALTA
CALZONES_1 TOTAL	Q. Calzones Punto de Cierre	36,29	ALTA	ALTA	58,47	ALTA	ALTA
AZUFRADO_1 TOTAL	Río Azufrado Punto de Cierre	200,99	ALTA	ALTA	342,54	MEDIA ALTA	ALTA

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
LAGUNILLA_3 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de captación ASOPINDAL (Abajo de río Azufrado)	409,20	ALTA	ALTA	712,87	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
LAGUNILLA_4 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Río Bledo	426,30	ALTA	ALTA	740,68	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
BLEDO_1A PARCIAL	Río Bledo Arriba de Q. La Sierra	15,93	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	24,58	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
SIERRA_1 TOTAL	Q. La Sierra Punto de Cierre	33,28	BAJA	MEDIA ALTA	48,30	BAJA	MODERADA
SITIO_1 TOTAL	Q. El Sitio (caño Jordán) Punto de Cierre	20,22	ALTA	ALTA	29,48	ALTA	ALTA
BLEDO_1 TOTAL	Río Bledo Punto de Cierre	141,37	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	219,30	MODERADA	MODERADA
LAGUNILLA_5 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Q. El Palmar	580,49	ALTA	ALTA	979,21	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
PALMAS_1 TOTAL	Q. Palmas Punto de Cierre	17,49	BAJA	BAJA	25,62	BAJA	BAJA
LAGUNILLA_6 PARCIAL	Río Lagunilla Arriba de Q. La Joya	628,98	ALTA	ALTA	1.054,20	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
JOYA_1 TOTAL	Q. La Joya Punto de Cierre	15,89	BAJA	BAJA	24,81	BAJA	BAJA
LAGUNILLA_7 TOTAL	Río Lagunilla Punto de Cierre	659,64	ALTA	ALTA	1.102,64	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA

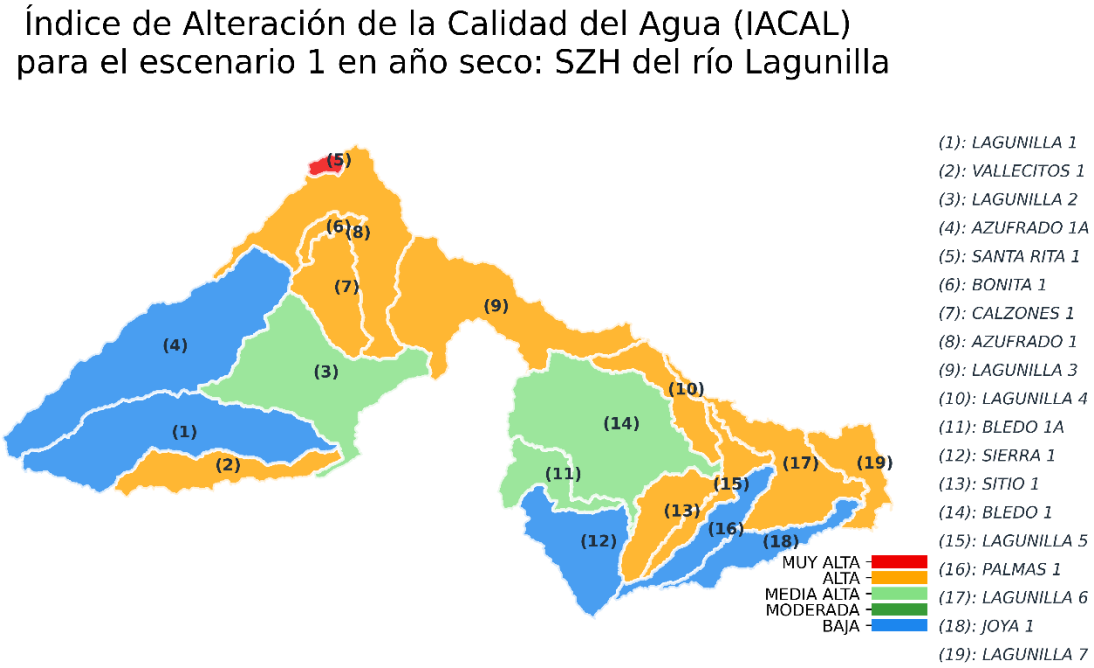


Figura 869. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Lagunilla

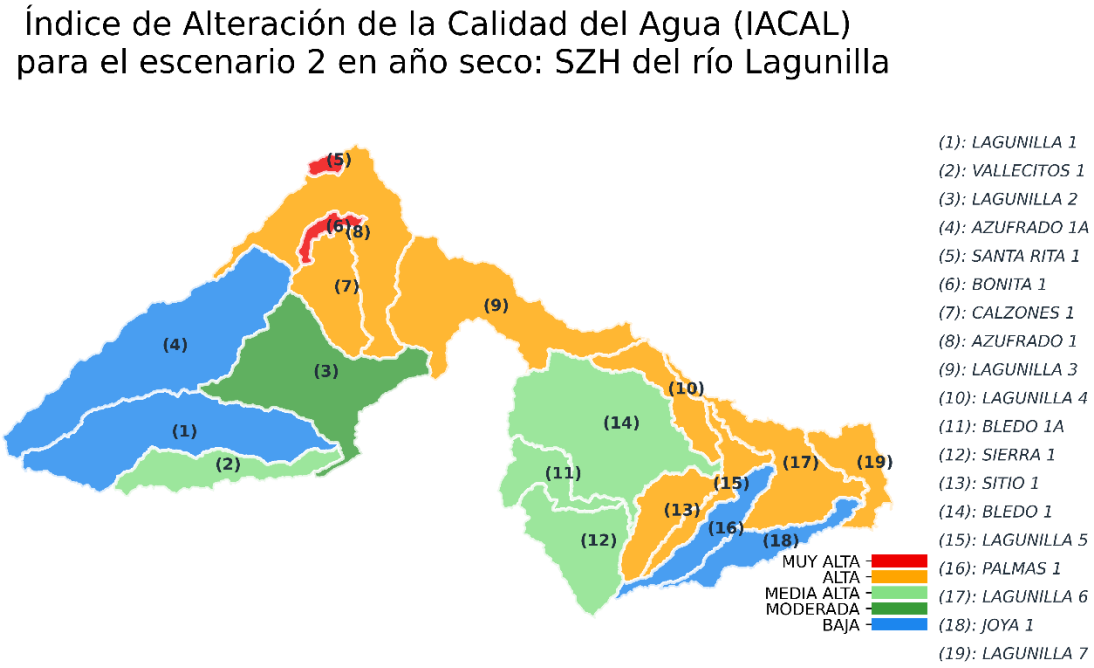


Figura 870. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Lagunilla

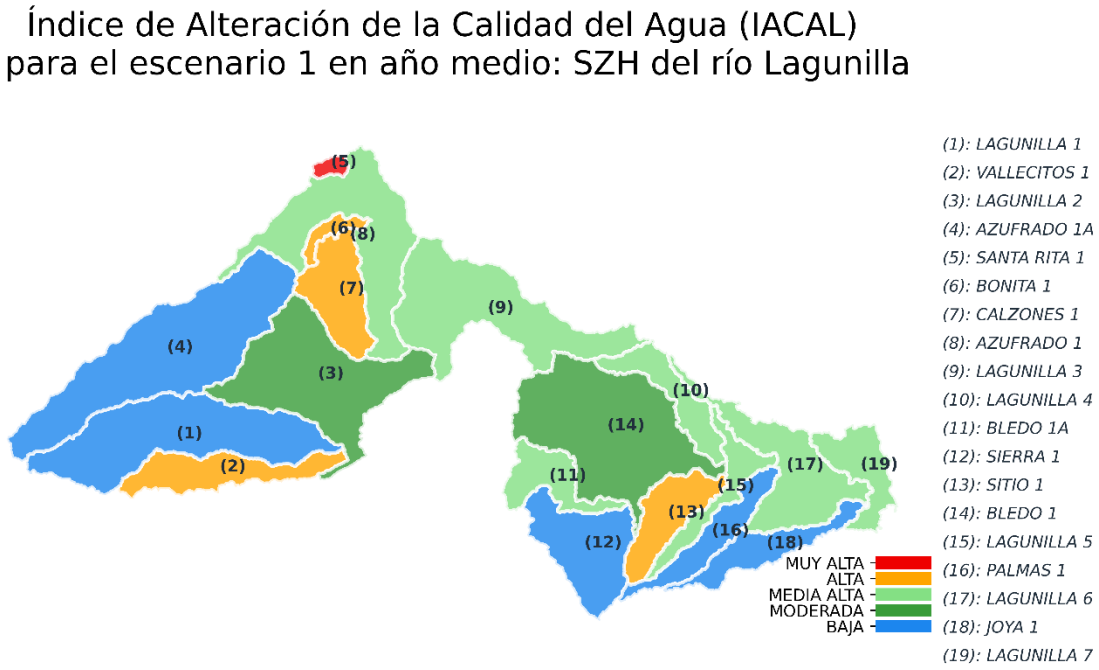


Figura 871. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Lagunilla

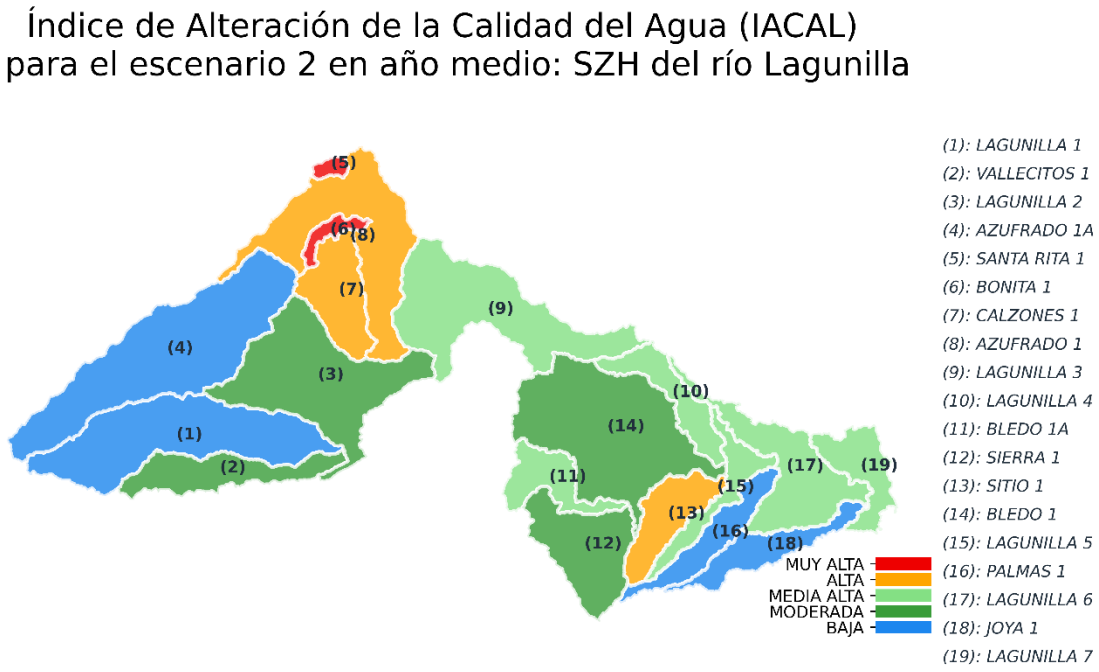


Figura 872. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Lagunilla

40.2.6. IACAL en la subzona hidrográfica del río Sabandija

El primer afluente de importancia del río Sabandija, corresponde a la quebrada El Rompe, la cual presenta una presión **MUY ALTA** debido a su bajo caudal en comparación con la carga de los vertimientos del casco urbano del municipio de Palocabildo y también al posible aporte del beneficio de café en este municipio.

El río Sabandija en su parte alta, aguas arriba del río Cuamo (SABANDIJA_1), presenta una presión **ALTA** que se debe en parte a la contribución que realiza la quebrada El Rompe, pero también debido a las posibles descargas provenientes del beneficio de café de los municipios de Palocabildo, Falán, Casabianca y Guayabal.

En el siguiente tramo (SABANDIJA_2) recibe el aporte del río Cuamo y de la quebrada el Maldito. El río Cuamo presenta una presión **ALTA** en año Seca y **MEDIA ALTA** a **ALTA** en Año Seco, siendo mayor la carga aportada que la meta. La quebrada Murillo, tributaria del río Cuamo, presenta una presión **ALTA** a **MUY ALTA**, debido a los vertimientos del municipio de Falán, con una carga aportada mayor que la meta. La quebrada Morales es otro afluente del río Cuamo, el cual recibe aguas residuales municipales de Falán, con una presión **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios, y **MEDIA ALTA** en Año Medio con la meta en carga, indicando la presión puede verse incrementada con la carga medida, la cual es mayor que la meta.

En este mismo tramo (SABANDIJA_2) ingresa la quebrada el Maldito, en la cual se determinó una presión **MUY ALTA** en todos los escenarios, relacionado con su baja oferta en comparación con la carga recibida por parte del casco urbano de Armero (Guayabal). En el punto de cierre, el río Sabandija tiene una **ALTA** presión en todos los escenarios, relacionados en parte con las cargas trasportadas por el río Cuamo y la quebrada el Maldito, así como con las condiciones previas presentadas en el tramo anterior (SABANDIJA_1).

La quebrada Seca se encuentra dentro de los límites definidos para la cuenca, sin embargo, esta descarga directamente en el río Magdalena, por lo que no afecta los resultados del IACAL para la corriente principal (río Sabandija). En la quebrada Tautau se identifican vertimientos municipales de Honda, con lo cual se clasifica como con una **ALTA** presión con la meta en carga y una presión **MODERADA** y **MEDIA ALTA** con la carga obtenida del seguimiento.

Tabla 666. Determinación del IACAL en el río Sabandija (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
ROMPE TOTAL	Q. El Rompe Punto de Cierre	5,33	MUY ALTA	MUY ALTA	11,72	MUY ALTA	MUY ALTA
SABANDIJA_1 PARCIAL	Río Sabandija Arriba de río Cuamo	95,72	ALTA	ALTA	186,59	ALTA	ALTA
MURILLO_1 TOTAL	Q. Murillo Punto de Cierre	5,62	ALTA	MUY ALTA	11,94	ALTA	ALTA
MORALES_1 TOTAL	Q. Morales Punto de Cierre	10,86	ALTA	ALTA	20,04	MEDIA ALTA	ALTA
CUAMO_1 TOTAL	Río Cuamo Punto de Cierre	48,51	ALTA	ALTA	92,26	MEDIA ALTA	ALTA
MALDITO_1 TOTAL	Q. El Maldito Punto de Cierre	0,06	MUY ALTA	MUY ALTA	0,11	MUY ALTA	MUY ALTA
SABANDIJA_2 TOTAL	Río Sabandija Punto de Cierre	232,20	ALTA	ALTA	434,53	ALTA	ALTA
SECA_1 TOTAL	Q. Seca Punto de Cierre	44,44	ALTA	MEDIA ALTA	94,67	ALTA	MODERADA

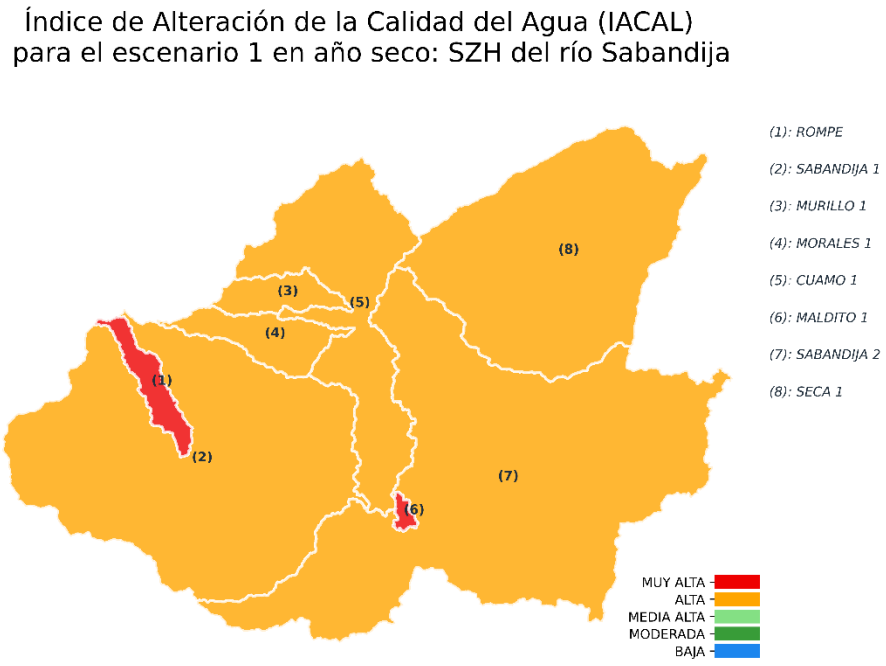


Figura 873. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Sabandija

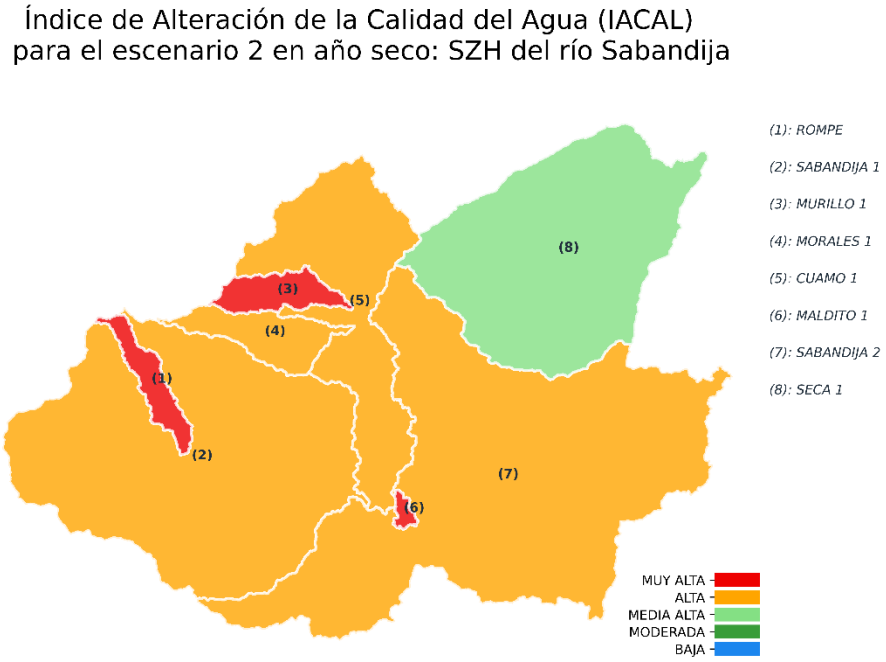


Figura 874. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Sabandija

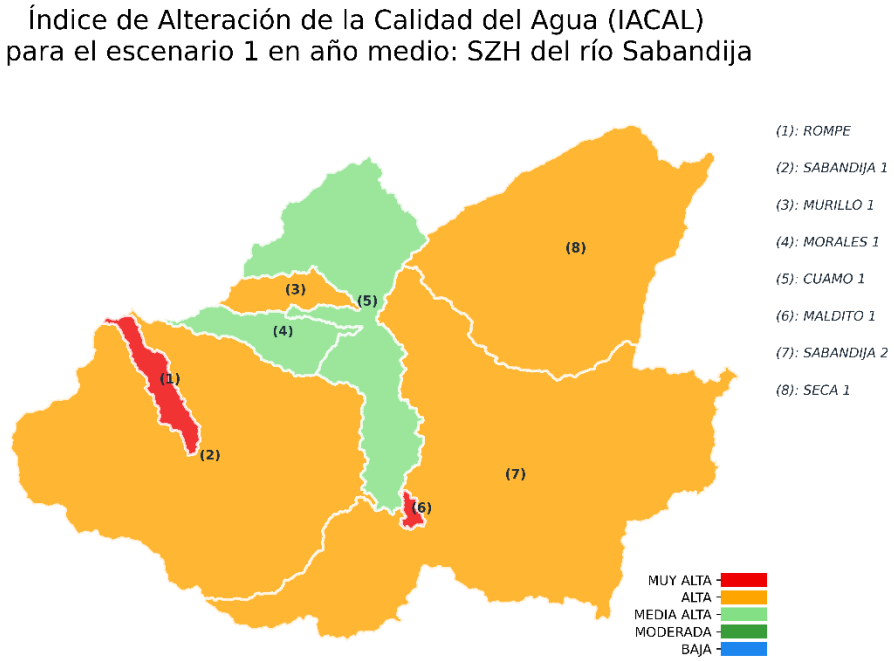


Figura 875. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Sabandija

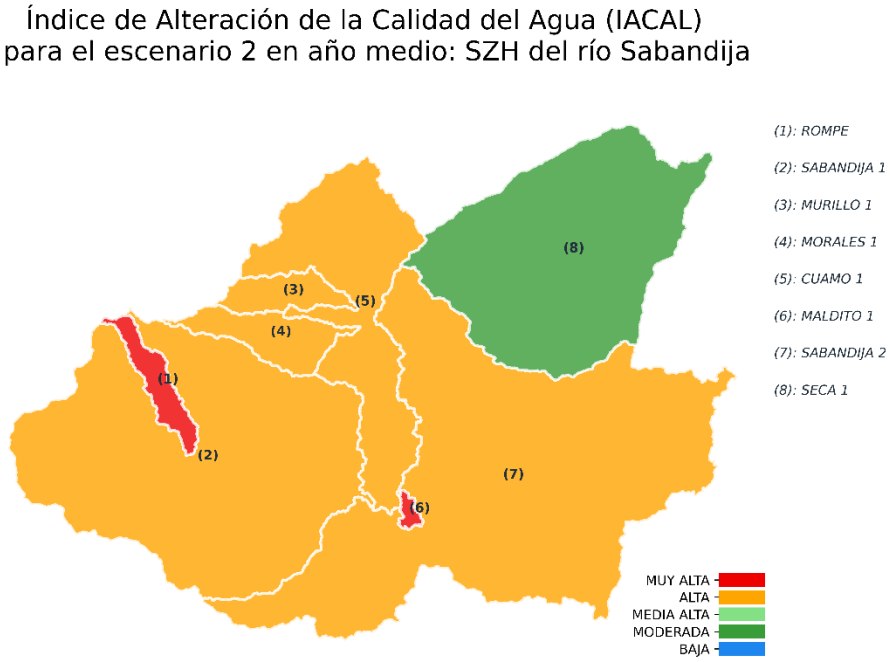


Figura 876. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Sabandija

40.2.7. IACAL en la subzona hidrográfica del río Gualí

En su parte alta (GUALí_1), el río Gualí aguas arriba del río Cajones presenta una presión **BAJA**, relacionada con una oferta importante de calidad comparado con una baja carga, que puede aportar el beneficio de café del municipio de Casabianca. En el siguiente tramo del río Gualí (GUALÍ_2), ingresan los tributarios denominados quebrada Peñoles y río Cajones. La quebrada Peñoles recibe las descargas de ARD y ARnD provenientes de la empresa CENIT, del sector de transporte de hidrocarburos. Las cargas identificadas son bajas, con lo cual la presión identificada también es BAJA. Por otra parte, el río Cajones en su parte una presión Moderada y BAJA. La quebrada el Salado es un afluente del río Cajones que presenta una MUY ALTA Y ALTA, y recibe aguas residuales del municipio de Herveo (a través de la quebrada el Perfume).

En río Gualí, en el tramo GUALí_2 incrementa su presión a **MEDIA ALTA** en Año seco y **MODERADA** en año medio. El río Gualí en su tramo GUALÍ_3 mantiene el nivel de presión del tramo anterior. En este sector ingresa el río Aguacatal, el cual puede recibir aguas residuales provenientes del beneficio de café del municipio de Herveo, presentando una presión **MODERADA** en Año Seco **BAJA** en año Medio. Adicional a este aporte, también se identifican fuentes potenciales en la cuenca del río Gualí, como los cultivos de café del municipio de Fresno y Casabianca.

En el tramo GUALÍ_4 se presenta mantiene la presión de los tramos anteriores (GUALÍ_2 y GUALÍ_3), **MEDIA ALTA** en Año seco y **MODERADA** en año medio. En este tramo se recibe el aporte del beneficio de café de los municipios de Fresno y Casabianca, adicionalmente en este tramo ingresa la quebrada Guarumo. Esta última, presenta una presión equivalente a la identificada en el río Gualí, relacionada con aportes de beneficio de café principalmente, seguido en menor proporción, de la carga entregada por el municipio de Herveo. En el tramo GUALÍ_5 se mantiene estable el nivel de presión identificado en los anteriores tramos (GUALÍ_2 a GUALÍ_4), **MEDIA ALTA** en Año seco y **MODERADA** en año medio. En este tramo ingresa la carga transportada por en la cuenca de la quebrada Agua de Dios con una presión **ALTA** en año Seco, relacionada con el beneficio de Café del Municipio de Casa Bianca.

En el tramo GUALÍ_6 se incrementa la presión a **ALTA** (carga meta) y se mantienen en **MEDIA ALTA** (carga vertida) en Año Seco y se incrementa a **MEDIA ALTA** en año medio. En este tramo ingresan dos quebradas importantes, San José con una presión **ALTA**; relacionado con un bajo caudal frente al posible aporte del beneficio de café de los municipios de Palocabildo y Casabianca. En este tramo también ingresa la quebrada Hospital, la cual presenta una presión **MUY ALTA**, relacionada con el aporte del vertimiento Las Chapoleras del municipio de Herveo. Adicionalmente a estos aportes, el

río Gualí recibe varias descargas municipales de Palocabildo y posibles descargas del beneficio de café del municipio de Fresno y Palocabildo.

En el tramo GUALÍ_7 la presión continúa aumentando, llegando a ser **ALTA** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados, solo con la meta en carga para el Año Medio se presenta una presión **MEDIA ALTA**, lo cual indica que actualmente la carga meta es superada en este punto. Estos niveles elevados de presión se relacionan con las condiciones aguas arriba y con el aporte de los vertimientos de ARD que realiza el municipio de Mariquita, incluyendo en menor proporción, la descarga de ARnD de la Planta de Beneficio Animal. Adicionalmente, la presión se refuerza debido al ingreso de la quebrada la Nicua, la cual recibe un número importante de vertimientos del municipio de Fresno, con presiones **ALTAS** en tres (3) de los cuatro (4) escenarios analizados y **MUY ALTA**, en el Año Seco con la meta en carga, indicando que la carga aportada en este punto es menor que la meta.

En el tramo GUALÍ_8 se mantiene el nivel de presión identificado en GUALÍ_7, **ALTA** y **MEDIA ALTA**, a pesar de que ingresa un afluente denominado río Sucio con una menor presión, siendo esta **MODERADA** en todos los escenarios. El río Sucio recibe uno de los vertimientos del municipio de Fresno (Sector Barrio Caldas), y también, con una mayor carga, el posible aporte del beneficio de café de este municipio. Adicionalmente, a través de la quebrada Grande (presión **BAJA**) se recibe una baja carga de ARnD proveniente de la empresa CENIT, del sector de transporte de hidrocarburos; y a través de la quebrada Cantadera (presión **BAJA** Y **MODERADA**), se realiza la descarga de ARnD proveniente de la actividad piscícola.

En su tramo final el río Gualí mantiene su nivel de presión **ALTO** en los escenarios con la carga aportada (seguimiento de la meta 2020) y en el escenario de meta en carga para año Medio, mientras que para el escenario de meta en carga para el Año Seco se reduce la presión desde **ALTA** hacia **MEDIA ALTA**. En este tramo del río Gualí, se reciben varias descargas municipales de Honda, incluyendo el aporte en menor medida, de las ARnD de la Planta de Beneficio Animal de este municipio. Los resultados indica que, para este punto, la carga acumulada aportada según el seguimiento es mayor que la meta en carga para el año 2020, es decir, que se requiere cumplir con la meta para reducir la presión en el río Gualí. Dentro de esta unidad se encuentran otros vertimientos del municipio de Honda que descargan directamente en el río Magdalena, por lo tanto, aunque se cuantificó la carga aportada para diferentes escenarios, no se determina el IACAL.

Tabla 667. Determinación del IACAL en el río Gualí (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
GUALÍ_1 PARCIAL	Río Gualí Arriba de Río Cajones	75,49	BAJA	BAJA	136,62	BAJA	BAJA
PEÑOLES_1 TOTAL	Q. Peñoles Punto de Cierre	9,93	BAJA	BAJA	18,80	BAJA	BAJA
SALADO_1 TOTAL	Q. El Salado Abajo de Vertimientos Herveo	2,44	MUY ALTA	ALTA	4,54	ALTA	ALTA
CAJONES_1 TOTAL	Río Cajones Punto de Cierre	62,49	MODERADA	MODERADA	113,33	MODERADA	BAJA
CIEGA_1 TOTAL	Q. Ciega Punto de Cierre	1,60	MUY ALTA	MUY ALTA	2,96	MUY ALTA	MUY ALTA
GUALÍ_2 PARCIAL	Río Gualí Arriba de río Aguacatal	156,59	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	284,54	MODERADA	MODERADA
AGUACATAL_1 TOTAL	Río Aguacatal Punto de Cierre	81,30	MODERADA	MODERADA	145,94	BAJA	BAJA
GUALÍ_3 PARCIAL	Río Gualí Arriba de Q. Guarumo	249,01	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	452,49	MODERADA	MODERADA
GUARUMO_1 TOTAL	Q. Guarumo Punto de Cierre	14,53	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	27,97	MODERADA	MODERADA
GUALÍ_4 PARCIAL	Río Gualí Arriba de Q. Agua de Dios	279,88	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	513,97	MODERADA	MODERADA
AG_DIOS_1 TOTAL	Q. Agua de Dios Punto de Cierre	13,03	ALTA	ALTA	26,46	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
GUALÍ_5 PARCIAL	Río Gualí Arriba Q. San José	296,31	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	547,10	MODERADA	MODERADA
SAN_JOSE_1 TOTAL	Q. San José Punto de Cierre	7,97	ALTA	ALTA	16,49	ALTA	ALTA
HOSPITAL_1 TOTAL	Caño El Hospital Punto de Cierre	0,98	MUY ALTA	MUY ALTA	2,23	MUY ALTA	MUY ALTA
GUALÍ_6 PARCIAL	Río Gualí Arriba Q. Nicua	348,05	MEDIA ALTA	ALTA	651,11	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
NICUA_1 TOTAL	Q. La Nicua Punto de Cierre	13,31	MUY ALTA	ALTA	26,42	ALTA	ALTA
GUALÍ_7 PARCIAL	Río Gualí Arriba de río Sucio	378,36	ALTA	ALTA	706,76	MEDIA ALTA	ALTA
GRANDE_1 TOTAL	Q. Grande Punto de Cierre	6,69	BAJA	BAJA	10,37	BAJA	BAJA
CANTADERA_1 TOTAL	Q. Cantadera Punto de Cierre	18,49	MODERADA	BAJA	28,39	BAJA	BAJA
SUCIO_1 TOTAL	Río Sucio Punto de Cierre	116,41	MODERADA	MODERADA	190,75	MODERADA	MODERADA
GUALÍ_8 PARCIAL	Río Gualí Arriba de río Medina	498,96	ALTA	ALTA	904,05	MEDIA ALTA	ALTA
ALEGRIAS_1 TOTAL	Q. de Alegrías Punto de Cierre	2,22	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	5,37	MODERADA	MODERADA
MEDINA_1 TOTAL	Río Medina Punto de Cierre	131,13	MODERADA	MODERADA	212,23	MODERADA	MODERADA
GUALÍ_9 TOTAL	Río Gualí Punto de Cierre	753,43	MEDIA ALTA	ALTA	1.317,01	MEDIA ALTA	ALTA

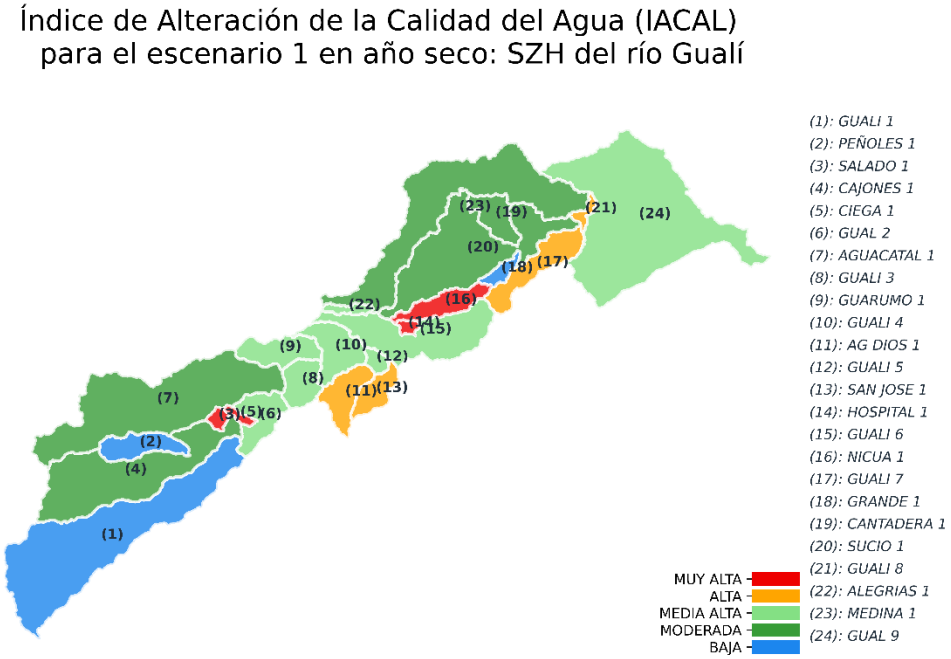


Figura 877. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Gualí

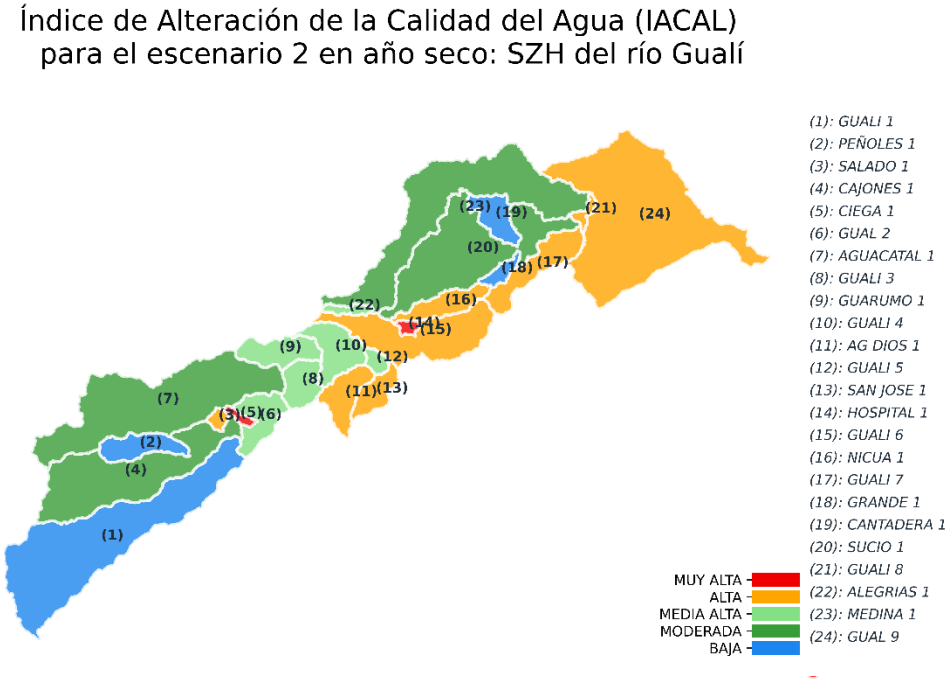


Figura 878. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Gualí

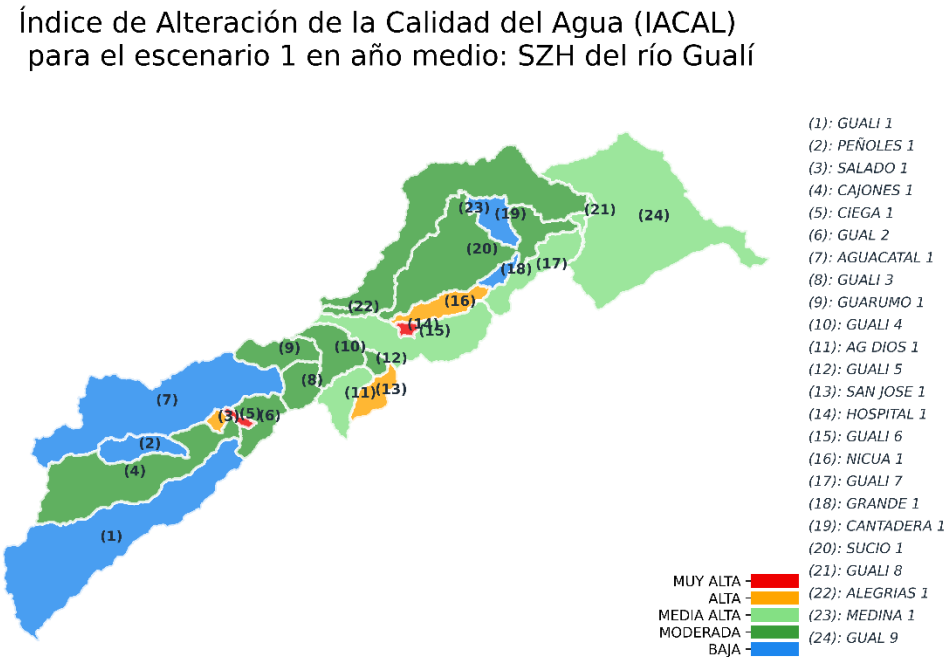


Figura 879. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Gualí

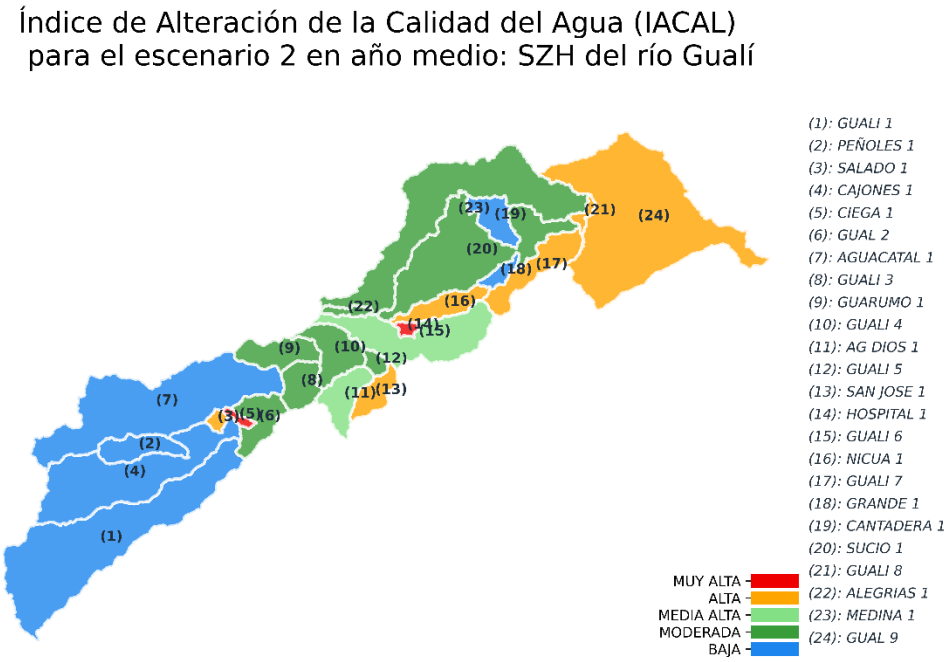


Figura 880. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Gualí

40.2.8. IACAL en la subzona hidrográfica del río Guarinó

A continuación, se presenta un análisis de la presión potencial de la calidad del agua, expresada a partir del índice IACAL, en el orden descendente desde la divisoria de aguas de la corriente principal de la cuenca del río Guarinó hasta su desembocadura en el río Magdalena, considerando también sus afluentes en dicho orden. Esta corriente presenta una condición particular en comparación con las otras cuencas analizadas, debido a que parte de las cargas aportadas provienen del departamento de Caldas.

En su parte alta (GUARINÓ_1) el río Guarinó presenta una **BAJA** presión, aguas arriba del río Hondo, debido a la ausencia de cargas identificadas. En el siguiente tramo (GUARINÓ_2) ingresa el primer afluente de importancia, el río Hondo, corriente que recibe aguas residuales provenientes del alcantarillado del municipio de Marulanda (EMPOCALDAS S.A. E.S.P), y en menor medida, de la población no cubierta por el alcantarillado, con lo cual se presenta una presión **MODERADA**. No se identifican otros aportes en este tramo, y el río Guarinó mantiene el nivel de presión **BAJO** identificado en el tramo anterior.

En el siguiente tramo (GUARINÓ_3) el río Guarinó incrementa su presión a **MODERADA** en todos los escenarios, debido principalmente al posible aporte del beneficio de café de los municipios de Fresno, Herveo y Manzanares, y en menor proporción, debido al aporte de una parte de los vertimientos municipales de Herveo.

En el tramo GUARINÓ_4 la presión se incrementa hasta **MEDIA ALTA**, condición que se debe principalmente a la carga transportada desde el tributario río Santo Domingo y en segundo lugar a los posibles aportes de carga del beneficio de café de los municipios de Fresno y Manzanares. El río Santo Domingo presenta una presión **ALTA** en todos los escenarios, debido principalmente al posible aporte del beneficio de Café del municipio de Manzanares, seguido de los vertimientos del municipio de Manzanares, a través del alcantarillado público (EMPOCALDAS S.A. E.S.P.) y la población no cubierta por el alcantarillado y en menor proporción, por la Planta de Beneficio Animal.

En el tramo GUARINÓ_5 se mantiene la presión identificada en el tramo anterior (**MEDIA ALTA**), En este tramo se presume que puede recibirse un aporte importante debido al beneficio de café del municipio de Fresno y de Marquetalia. A través de la quebrada La Minita, ingresan cargas municipales de Marquetalia provenientes del alcantarillado público (EMPOCALDAS S.A. E.S.P.) y de la población no cubierta por el alcantarillado. En este tramo ingresa la quebrada San Juan, la cual presenta condiciones de presión **MEDIA ALTA** en Año Seco y **MODERADA** en Año Medio.

En el tramo GUARINÓ_6 se mantiene la presión **MEDIA ALTA** identificada en los tramos anteriores (GUARINÓ_4 Y GUARINÓ_5). Los aportes de carga identificados se

realizan en la quebrada El Jardín, provenientes de la PTAR del municipio de Victoria (EMPOCALDAS S.A. E.S.P), seguido de la población no cubierta por la red de alcantarillado público y en menor medida, por la Planta de Beneficio Animal.

En su tramo final (GUARINÓ 7), el río Guarinó mantiene el nivel de presión **MEDIA ALTA** identificado en los tramos anteriores (GUARINÓ_4 a GUARINÓ_6) para el Año Seco, pero logra reducirse en el Año Medio a **MODERADA**, condición que se ve favorecida por el aumento en la OHT.

Tabla 668. Determinación del IACAL en el río Guarinó (OHT)

Tramo o Unidad de Análisis	Descripción (Zona Inicial - Final)	OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO SECO (MMC/Año)	IACAL AÑO SECO		OFERTA HÍDRICA TOTAL AÑO MEDIO (MMC/Año)	IACAL AÑO MEDIO	
			E1SECO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2SECO - Seguimiento de Meta 2020		E1MEDIO - Meta en Carga Proyectada para 2020	E2MEDIO - Seguimiento de Meta 2020
GUARINÓ_1 PARCIAL	Río Guarinó Arriba del río Hondo	74,51	BAJA	BAJA	133,71	BAJA	BAJA
HONDO_1 TOTAL	Río Hondo Desembocadura en el río Guarinó	93,87	MODERADA	MODERADA	160,50	MODERADA	MODERADA
GUARINÓ_2 PARCIAL	Río Guarinó abajo del río Hondo - Arriba del río Perrillo	343,37	BAJA	BAJA	596,74	BAJA	BAJA
PERRILLO_1 TOTAL	Río Perrillo divisoria de aguas -Desembocadura en el río Guarinó	165,78	BAJA	BAJA	282,65	BAJA	BAJA
GUARINÓ_3 PARCIAL	Río Guarinó Arriba del río Santo Domingo	568,77	MODERADA	MODERADA	984,78	MODERADA	MODERADA
DOMINGO_1 TOTAL	Río Santo Domingo divisoria de aguas - Desembocadura en el río Guarinó	126,33	ALTA	ALTA	208,21	ALTA	ALTA
GUARINÓ_4 PARCIAL	Río Guarinó abajo de río Santo Domingo - Arriba de río San Juan	798,34	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.349,49	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
JUAN_1 TOTAL	Río San Juan divisoria de aguas - Desembocadura en el río Guarinó	35,66	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	52,49	MODERADA	MODERADA
GUARINÓ_5 PARCIAL	Río Guarinó abajo de río San Juan - Arriba de Trasvase La Miel	933,22	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.548,89	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
GUARINÓ_6 PARCIAL	Río Guarinó Arriba de Trasvase La Dorada	1.005,91	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.660,49	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA
GUARINÓ_7 TOTAL	Río Guarinó Punto de Cierre	1.089,24	MEDIA ALTA	MEDIA ALTA	1.783,69	MODERADA	MODERADA

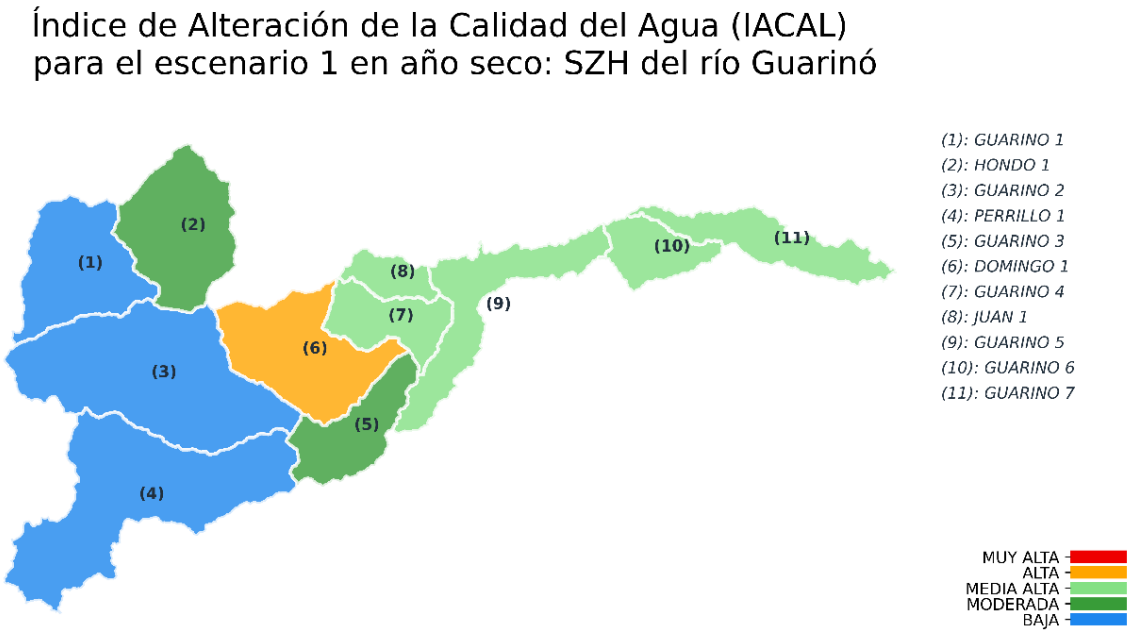


Figura 881. IACAL OHT Año Seco y meta en carga (E1SECO) para el río Guarinó

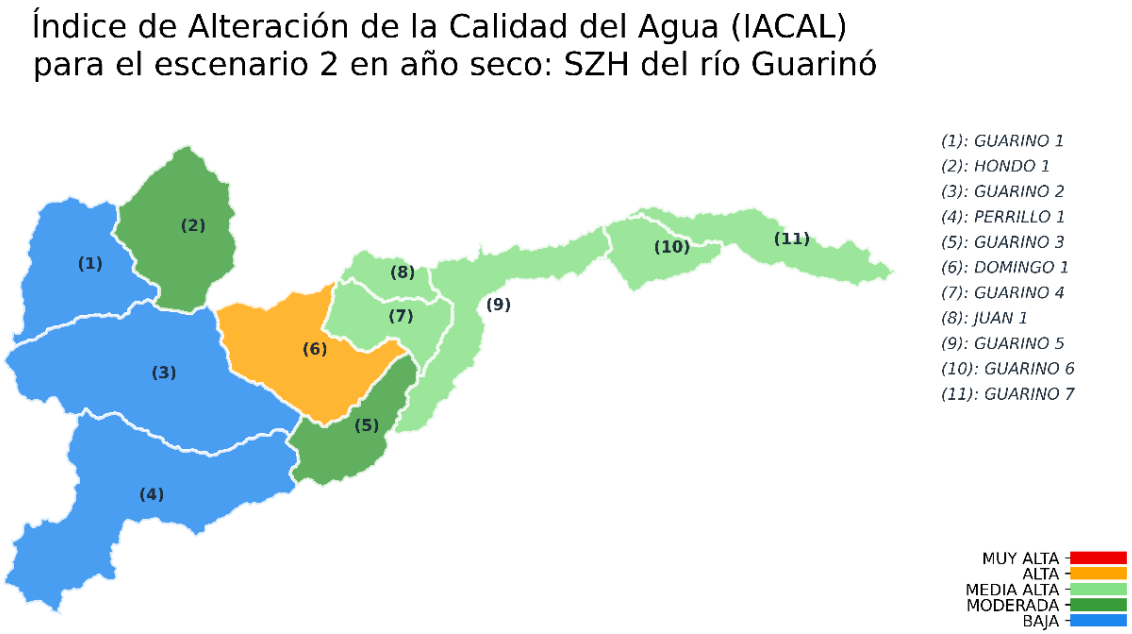


Figura 882. IACAL OHT Año Seco y carga aportada (E2SECO) para el río Guarinó

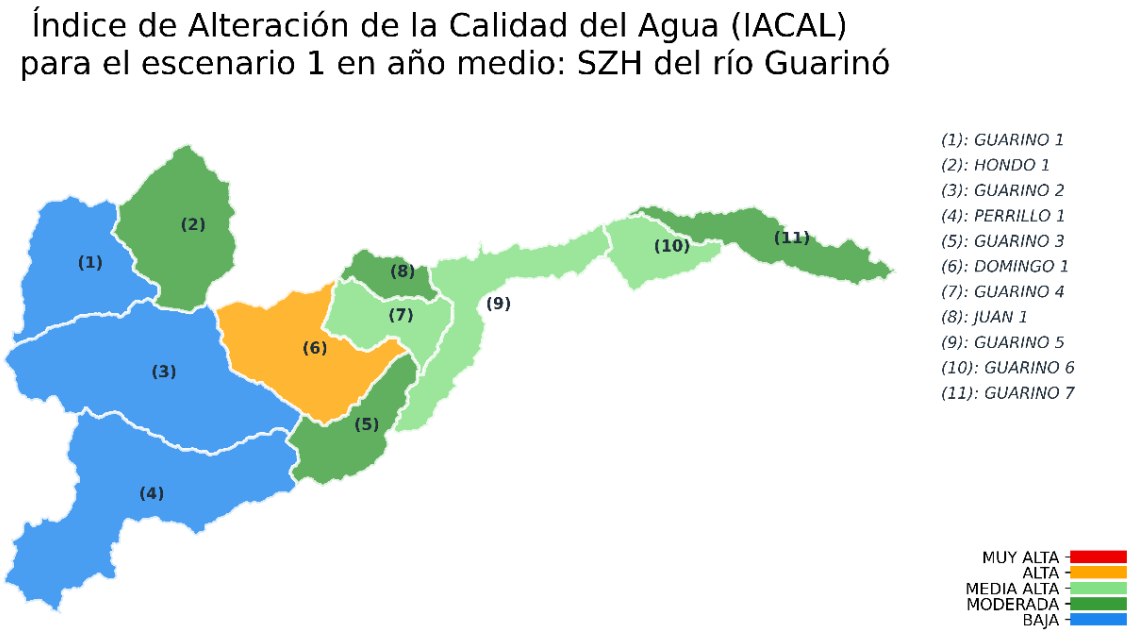


Figura 883. IACAL OHT Año Medio y meta en carga (E1MEDIO) para el río Guarinó

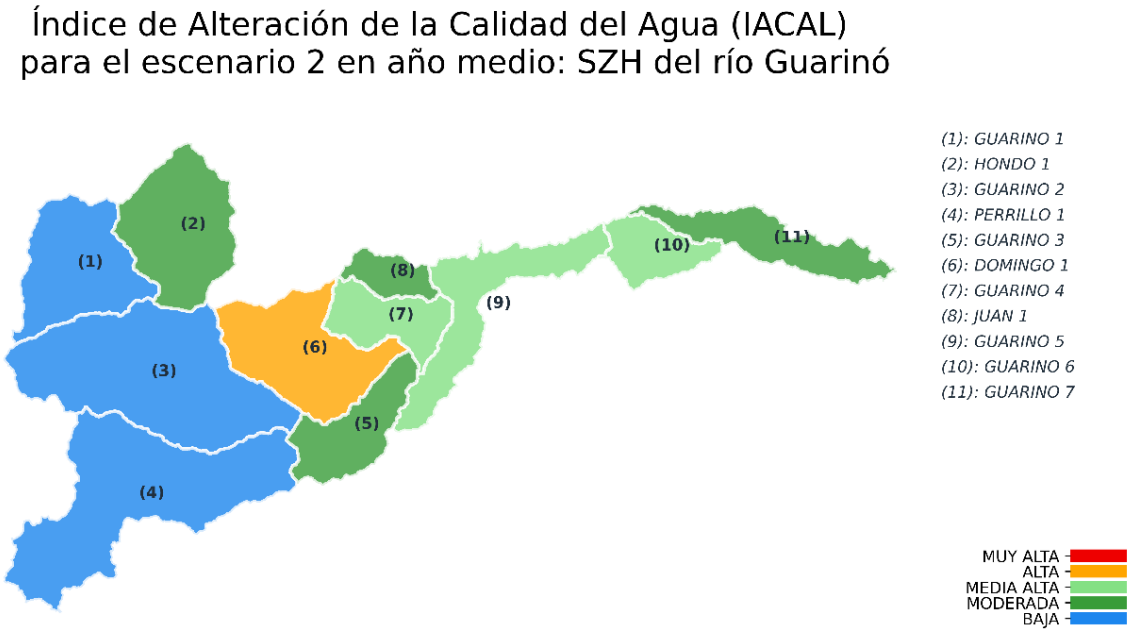


Figura 884. IACAL OHT Año Medio y carga aportada (E2MEDIO) para el río Guarinó

40.3. Índice de macroinvertebrados acuáticos (IMA-BMWP-Col)

Con el fin de determinar la calidad del agua de los ecosistemas evaluados se aplicó el índice de bioindicación BMWP/Col (Roldan & Ramírez, 2008), cuyas categorías de clasificación se presentan en la Tabla 669.

*Tabla 669. Interpretación del BMWP/Col. (*Fuente: IDEAM, 2013)

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>100	Aguas muy limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Critica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	

Según IDEAM (2013), El cálculo del BMWP-Col solo requiere la identificación taxonómica de los organismos hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje oscila entre 1 y 10, de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación, donde 10 representa familias sensibles que no toleran la contaminación, y 1 representa familias que viven en aguas muy contaminadas. La suma de los puntajes de todas las familias presentes en el sitio de determinación del indicador proporciona el puntaje total BMWP/Col. Por lo anterior, cuanto más alto sea la puntuación final, menor es el grado de contaminación ambiental del sitio de observación.

A continuación, se presentan los valores obtenidos para el indicador por subzona hidrográfica para los diferentes sitios de monitoreo del muestreo realizado en dos épocas en el marco de la evaluación regional del agua:

40.3.1. IMA en la subzona hidrográfica del río Coello

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Coello, exhiben un carácter heterogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas. En el muestreo 1 y 2 se observa que la mayoría de las estaciones evaluadas se encuentran con calidad desde dudosa hasta muy crítica.

En general los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra datos desfavorables en muchas de las estaciones de la subzona Coello, esto es consecuente con los tipos de alteraciones que se observaron durante las campañas de monitoreo, los factores que más afectan la comunidad son el pulso de inundación y las presiones de origen antrópico como extracción de arena e ingreso de aguas negras (domesticas e industriales), esto supone fuertes presiones para los organismos a nivel fisiológico y comportamental, ante estos sucesos solo la fauna más tolerante persiste en el espacio-tiempo y es lo que se evidencia en los resultados obtenidos.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Muestreo 1	BMWP/Col	Muestreo 2	Clase
Rio Toche	47	Dudosa	III	68	II	Aceptable
Rio Anaime	63	Aceptable	II	31	IV	Critica
Rio Bermellón	12	Muy Critica	V	28	IV	Critica
Rio Bermellón	*	*	*	*	*	*
Rio Cócora	79	Aceptable	II	104	I	Buena
Rio Coello	59	Aceptable	II	26	IV	Critica
Rio Combeima	28	Critica	IV	70	II	Aceptable
Rio Combeima	20	Critica	IV	44	III	Dudosa
Rio Coello	11	Muy Critica	V	40	III	Dudosa
Rio Coello	*	*	*	*	*	*

Tabla 670. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Coello

40.3.2. IMA en la subzona hidrográfica del río Totare

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Totare, exhiben un carácter heterogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas En el muestreo 1 se denota que la calidad aceptable es la que predomina, esto sumado a la estación de clase buena, indica que el estado ecológico de la subzona durante este periodo es óptimo, en contraste la calidad de agua en el muestreo 2 varia significativamente y denota que la mitad de las estaciones cuenta con calidad de agua dudosa. Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada con el pulso de inundación, que genera cambios en la presencia de taxones.

Aun cuando las presiones antrópicas son evidentes, se establece que la calidad de agua en estos ríos que componen la subzona es aceptable, lo que se traduce en que mantienen una salud apropiada para el mantenimiento de esta biota acuática, además se constata la presencia de las familias Perlidae, Lymnessiidae, Psephenidae, Blephariceridae, Oligoneuriidae, Gomphidae, Lampyridae y Ptilodactylidae que son sensibles, de alta especificidad y bioindicadores de buena calidad de agua

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Muestreo 1	BMWP/Col	Calidad	Muestreo 2
Rio Totare	49	Dudosa	III	59	Dudosa	III
Rio Totare	74	Aceptable	II	33	Critica	IV
Rio La China	76	Aceptable	II	120	Buena	I
Rio Frio	97	Aceptable	II	95	Aceptable	II
Rio La China	77	Aceptable	II	109	Buena	I
Rio Alvarado	63	Aceptable	II	40	Dudosa	III
Rio Alvarado	100	Buena	I	88	Aceptable	II
Rio Chípalo	*	*	*	*	*	*
Rio Chípalo	64	Aceptable	II	60	Dudosa	III
Rio Totare	30	Critica	IV	37	Dudosa	III

Tabla 671. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Totare

40.3.3. IMA en la subzona hidrográfica del río Opia

En ambos muestreos se observa una mala calidad de agua en las estaciones H_Opia_01 y H_Opia_03, que corresponden a las partes de los cuerpos de agua ubicados en las cabeceras en el municipio de Ibagué, donde se evidencia el mal estado de estas corrientes, ya que reciben aportes significativos de aguas de origen domésticos cargadas con gran cantidad de residuos que inciden directamente en el desarrollo de los organismos, lo que conlleva a la homogenización y uniformidad de la comunidad de macroinvertebrados en estos puntos de monitoreo. En la zona media y baja se observa una mejoría en el índice de calidad de agua, esto a nivel espacial y a nivel temporal se observa un mayor cambio en la calidad para estas zonas, ya que según el valor del índice estas partes de los cuerpos de agua se encuentran en un estado ideal para el mantenimiento de una comunidad estable y diversa.

Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada con las presiones antrópicas que son bastante evidentes, se establece que la calidad de agua en los ecosistemas que componen la subzona es aceptables, que permiten el desarrollo de organismos bioindicadores como Perlidae y Psephenidae.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Opia	41	Dudosa	III	48	Dudosa	III

Rio Opia	93	Aceptable	II	121	Buena	I
Q. Doima	2	Muy Critica	V	6	Muy Critica	V
Q. Doima	110	Buena	I	115	Buena	I
Rio Opia	79	Aceptable	II	124	Buena	I

Tabla 672. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Opia

40.3.4. IMA en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

Las estaciones de la subzona hidrográfica del rio Recio y Venadillo, exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas. En ambos muestreos se observa una calidad de agua en su mayoría aceptable en la mayoría de las estaciones de muestreo, esto puede ser producto de que las estaciones se encuentran en puntos alejados de centro urbanos importantes por lo que sus afectaciones antrópicas son reducidas. para el segundo muestreo se presentó un evento en la zona alta, aparentemente producto de actividad volcánica e ingreso de material con altas cargas de azufre o fosforo, lo cual se evidencio en una coloración blanquecina del agua con un fuerte olor a cerillo, lo cual implica un tensor importante para la comunidad en ese periodo. Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada con las presiones naturales y antrópicas que son bastante disimiles en cada una de las estaciones, se establece que la calidad de agua en los ecosistemas que componen la subzona es aceptable, que permite el desarrollo de organismos bioindicadores.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Recio	80	Aceptable	II	45	Dudosa	III
Rio La Yuca	89	Aceptable	II	123	Buena	I
Rio Recio	95	Aceptable	II	60	Dudosa	III
Q. Las Animas	89	Aceptable	II	82	Aceptable	II
Q El Cairo	86	Aceptable	II	74	Aceptable	II
Rio Venadillo	104	Buena	I	92	Aceptable	II
Rio Venadillo	83	Aceptable	II	63	Aceptable	II

Tabla 673. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

40.3.5. IMA en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Lagunilla exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo. En ambos muestreos se observa una calidad de agua en su

mayoría aceptable, esto se puede relacionar a las condiciones geográficas que permiten cierta independencia de los asentamientos humanos. La estación que presenta una calidad baja en sus aguas es el rio Azufrado (H_Lagu_02), en el cual como su nombre lo indica, se presentan altos niveles de azufre lo que limita fuertemente la colonización de cualquier forma de vida animal, sin embargo, se observó la presencia de algunos pocos taxones muy tolerantes a los cambios fisicoquímicos del agua.

Los datos obtenidos según el índice de bioindicación muestra que la calidad de agua está relacionada sobre todo a presiones naturales, producidas por la actividad volcánica del nevado del Ruiz.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Lagunillas	97	Aceptable	II	79	Aceptable	II
Rio Azufrado	59	Dudosa	III	17	Critica	IV
Rio Bledo	70	Aceptable	II	92	Aceptable	II
Rio Lagunillas	64	Aceptable	II	46	Dudosa	III

Tabla 674. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

40.3.6. IMA en la subzona hidrográfica del río Sabandija

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Sabandija exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo. En ambos muestreos se observa una calidad de agua en su mayoría buena y aceptable, esto se puede relacionar a las condiciones estructurales de los ambientes evaluados. En el primer muestreo todas las estaciones tienen una calidad de agua optima, con leves trazas de contaminación, aun cuando está afectada por el poblado de Armero Guayabal. Para el segundo monitoreo se presentaron fuertes lluvias que alteraron el caudal lo que redujo la presencia de animales y por ende su calidad.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Sabandija	106	Buena	I	53	Dudosa	III
Rio Sabandija	99	Aceptable	II	62	Aceptable	II
Rio Cuamo	105	Buena	I	92	Aceptable	II
Rio Sabandija	98	Aceptable	II	68	Aceptable	III

Tabla 675. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Sabandija

40.3.7. IMA en la subzona hidrográfica del río Gualí

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Gualí exhiben un comportamiento homogéneo en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo, apuntando hacia calidades de agua dudosas y poco conservadas. La calidad de agua registrada para las estaciones de esta subzona vario en los dos muestreos, esto puede darse en función de las características morfológicas, físicas y químicas de los ríos, de este modo al ser ríos de gran porte es difícil colectar los organismos, ya que los ambientes propicios para su desarrollo son limitados. La calidad de agua se reduce considerablemente para el segundo muestreo, en el cual se presentaron lluvias que reconfiguran las densidades poblaciones por efecto de la deriva en el pulso de inundación.

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Aguacatal	62	Aceptable	II	85	Aceptable	II
Rio Guali	37	Dudosa	III	*	*	*
Rio Guali	43	Dudosa	III	45	Dudosa	III
Rio Medina	95	Aceptable	II	34	Critica	IV
Rio Guali	90	Aceptable	II	42	Dudosa	III

Tabla 676. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Gualí

40.3.8. IMA en la subzona hidrográfica del río Guarinó

Se determinó la calidad de agua basado en la cantidad de familias y el puntaje BMWP/Col, las estaciones de la subzona hidrográfica del Guarinó exhiben un comportamiento variable en cuanto al estado ecológico de sus aguas en los dos periodos de muestreo, apuntando hacia calidades de agua dudosas y poco conservadas. La calidad de agua registrada para las estaciones de esta subzona vario en los dos muestreos, una posible respuesta a esto radica en la fuerza del caudal y la amplitud del rio, que limitan el desarrollo de los organismos, esto sumado a otros factores derivados de actividades humanas deriva en una baja calidad ecológica del agua por la baja proporción de macroinvertebrados acuáticos hallados en las estaciones del rio

Cuerpo de agua	BMWP/Col	Calidad	Clase	BMWP/Col	Clase	Calidad
Rio Guarinó	23	Critica	IV	69	Aceptable	II
Rio Guarinó	63	Aceptable	II	45	Dudosa	III
Rio Guarinó	48	Dudosa	III	43	Dudosa	III

Tabla 677. Índice de macroinvertebrados acuáticos BMWP-Col en la subzona hidrográfica del río Guarinó

40.4. Índice Ecológico de Calidad del Agua (IDG)

Con el objetivo de utilizar el perifiton como bioindicador de la calidad del agua, se utilizó el IDG (Tabla 678) Este índice propuesto por Rumeau & Coste (1988) y modificado por Benkhedda et al. (2017), permite utilizar las diatomeas como una herramienta para determinar la calidad de los cuerpos de agua. El IDG tiene en cuenta la sensibilidad de cada taxón a la contaminación (S), la amplitud ecológica del género (V) y la densidad de estos (A). Para calcular el índice se utilizó la siguiente formula:

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^{n} A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^{n} A_j V_j}$$

Dónde: Aj: Densidad relativa del taxón

Sj: Valor de sensibilidad global del genero

Vj: Valor de amplitud ecológica del genero

Tabla 678. Categorías e interpretación del índice Diatómico Genérico. (Fuente: Rumeau & Coste, 1988)

Rango	Nivel	Significado	Color
IDG > 4.5	Cero	Calidad biológica óptima	
4 < IDG < 4.5	Baja	Calidad normal, contaminación débil	
3.5 < IDG < 4	Moderada	Contaminación moderada, eutrofización	
3 < IDG < 3.5	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
2 < IDG < 3	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
1 < IDG < 2	Muy alta	Contaminación muy fuerte	
IDG = 0	Total	La población es considerada como inexistente, Contaminación toxica	

40.4.1. IDG en la subzona hidrográfica del río Coello

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio Tabla 679. Siendo el río Coello Gualanday (H_Coe_09) el que registro los valores más bajos de contaminación. La mayoría de las estaciones registraron nivel de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica. Los niveles de contaminación registrados por el IDG, se deben a que este índice tiene en cuenta la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación como Amphora, Gomphonema, Melosira, Navicula, Synedra y Oscillatoria, registrados en todas las estaciones evaluadas de la presente subzona hidrográfica. Lo cual podría estar relacionado con cambios en las condiciones físicas y químicas de los cuerpos de agua, así como a la intervención antrópica observada en la mayoría de las localidades evaluadas.

Tabla 679. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Coello.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
Rio Toche	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Anaime	2.7	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Bermellón	2.7	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Cocora	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Coello	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Combeima	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Combeima	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Coello	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

40.4.2. IDG en la subzona hidrográfica del río Totare

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto, intermedio y moderado (Tabla 680). La estación río Chipalo-Piedras (H_Totare_09) registro valores de contaminación moderada, con eutrofización. Las estaciones río Frio (H_Totare_04) y río Alvarado-Alvarado (H_Totare_07) registraron valores de contaminación alto por desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte. las estaciones restantes registraron nivel de contaminación intermedio, contaminación media, eutrofización acentuada por materia orgánica.

Tabla 680. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Totare.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.Totare_1	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Totare_2	3.2	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.La_China_3	3.3	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R. Frío	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.La_China_5	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Alvarado_5	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.Alvarado_6	3.3	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Chipalo	3.5	Moderada	Contaminación moderada, eutrofización	
R.Totare_10	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

40.4.3. IDG en la subzona hidrográfica del río Opia

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (Tabla 681). Las estaciones de la Quebrada Doima en Picaleña y Doima (H_Opia_03, H_Opia_04) registraron niveles de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica. Las estaciones restantes registraron nivel de contaminación intermedio, contaminación media, eutrofización acentuada por materia orgánica.

Tabla 681. Índice Diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Opia.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.Opia_1	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Opia_2	3.2	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Q.Doima_3	2.7	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Q.Doima_4	2.9	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.Opia_5	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	

40.4.4. IDG en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación muy alto, alto, e intermedio (Tabla 682). La estación río Venadillo-malabar (H_Vena_01) presento valores de contaminación muy altos. Las estaciones río Venadillo-Venadillo (H_Vena_02), río La yuca (H_Recio_02) y río Recio-Lerida (H_Recio_03) valores de contaminación alto por desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte. las estaciones restantes registraron nivel de contaminación intermedio, contaminación media, eutrofización acentuada por materia orgánica.

Tabla 682. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Recio y Venadillo.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.Recio_1	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.La_Yuca	2.6	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
R.Recio_3	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Q.Las_Animas	3.3	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Q.El_Cairo	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Venadillo_01	1.8	Muy alta	Contaminación muy fuerte	
R.Venadillo_02	2.2	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

40.4.5. IDG en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (Tabla 683). El río Azufrado (H_Lagu_02) registro los valores de contaminación intermedia, con eutrofización acentuada (Tabla 683). Las estaciones restantes registraron nivel de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifitica.

Tabla 683. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Lagunilla.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
Rio Lagunillas	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Azufrado	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Rio Bledo	2.9	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

Rio Lagunillas	2.2	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

40.4.6. IDG en la subzona hidrográfica del río Sabandija

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (Tabla 684). Siendo el río Sabandija Armero Guayabal (Mendez) (H_Saban_04) el que registro los valores más altos de contaminación y desaparición de especies sensibles. Las estaciones restantes, presentaron niveles de contaminación intermedia con eutrofización acentuada.

Tabla 684. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Sabandija.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
R.sabandija_1	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.sabandija_2	3.2	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.Cuamo	3.0	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
R.sabandija_4	2.9	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

40.4.7. IDG en la subzona hidrográfica del río Gualí

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto e intermedio (Tabla 685). Las estaciones río Guali-Mariquita (H_Guali_03) y río Guali-Casabianca (H_Guali_05), registraron niveles de contaminación intermedio, indicativos de contaminación media y eutrofización acentuada. Las estaciones restantes registraron niveles de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica.

Tabla 685. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Gualí.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica

Rio Aguacatal	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Gualí_2	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Rio Gualí_3	3.1	Intermedia	Contaminación media, eutrofización acentuada	
Rio Medina	2.8	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
Rio Gualí_5	3.0	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

40.4.8. IDG en la subzona hidrográfica del río Guarinó

Según los resultados del índice Diatómico Genérico (IDG), las estaciones evaluadas presentaron un nivel de contaminación alto por materia orgánica, debido a la desaparición de especies sensibles en la comunidad perifítica (Tabla 686). Los niveles de contaminación registrados por el IDG se deben a que este índice tiene en cuenta la alta densidad de géneros resistentes a la contaminación como Amphora, Gomphonema, Melosira, Navicula, Synedra y Oscillatoria, registrados en todas las estaciones evaluadas de la presente subzona hidrográfica. Lo cual podría estar relacionado con cambios en las condiciones físicas y químicas de los cuerpos de agua, así como a la intervención antrópica observada en la mayoría de las localidades evaluadas.

Tabla 686. Índice diatómico genérico de las estaciones de la subzona hidrográfica del río Guarino.

Cuerpo de agua	IDG	Nivel de contaminación orgánica	Significado	Catalogación colorimétrica
H_Guarino_01	2.6	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	
H_Guarino_03	2.5	Alta	Desaparición de especies sensibles, contaminación fuerte	

41. Indicadores de Riesgo en la Evaluación Regional del Agua

41.1. Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)

Determina la susceptibilidad del sistema hídrico en mantener una oferta para el abastecimiento de agua. Se calcula a través de una matriz de relación (Tabla 687) entre el índice de retención y regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IUA).

Tabla 687. Matriz de clasificación del índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico. Fuente: (IDEAM, 2020c)

MATRIZ DE ASOCIACIÓN IVH					
Índice de Uso del Agua - IUA	**Índice de Retención y Regulación Hídrica - IRH**				
Categoría	**Muy Alta**	**Alta**	**Moderada**	**Baja**	**Muy Baja**
Muy Bajo	Muy Baja	Muy Baja	Baja	Media	Media
Bajo	Baja	Baja	Baja	Media	Media
Moderado	Media	Media	Media	Alta	Alta
Alto	Media	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Muy Alto	Media	Media	Alta	Alta	Muy Alta
Crítico	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta

En la subzona hidrográfica del río Coello se presenta una vulnerabilidad media al desabastecimiento hídrico para año medio en las unidades río Anaime, río Cocora, y quebrada Gualanday, en las dos primeras debido a la presión Moderada y Muy Alta por el uso del agua, y en la quebrada Gualanday por su muy bajo índice de regulación hídrica (Tabla 688, Figura 885). En las unidades río Combeima 2, río Combeima 3, río Combeima 4, y río Coello 5 la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico es Muy Alta debido a que la presión por uso es Crítica. Para año seco se identifica una Muy Alta vulnerabilidad al desabastecimiento en las unidades río Cocora, río Combeima 2, río Combeima 3, río Combeima 4, y río Coello 5, y vulnerabilidad media para las unidades río Bermellón 1, río Anaime, río Coello 3, y quebrada Gualanday, lo cual ocurre por el aumento en el índice de uso del agua.

En la subzona hidrográfica del río Totare las unidades de análisis con Muy Alta vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en año medio son río Totare 3, río Alvarado, río La China 4, seguidas por río Chipalo 1 y río Chipalo 2 con vulnerabilidad Alta. Las unidades río Totare 2 y río Totare 4 presentan una vulnerabilidad media para año medio. En la condición hidrológica de año seco se intensifica la vulnerabilidad hídrica evidenciando una categoría Muy Alta en las unidades río Totare 3, río Alvarado 1, río La China 4, río Alvarado 2, río Totare 4, y río Totare 5, manteniedose una vulnerabilidad Alta en las unidades río Chipalo 1 y río Chipalo 2 (Figura 887 y Figura 888).

La subzona hidrográfica del río Opia tiene una Alta vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en la unidad río Opia 1 en año medio, mientras que en año seco se incrementa a la categoría Muy Alta debido a que el índice de uso del agua pasa a Alto aunado a la Muy Baja regulación hídrica que presenta esta unidad (Figura 889, Figura 890). Por su parte, las unidades de análisis quebrada Doima, río Opia 2, y drenajes directos al Magdalena presentan una vulnerabilidad media por la muy baja capacidad de regulación hídrica a pesar de tener un índice de uso del agua bajo.

La subzona hidrográfica río Recio-Venadillo tiene una vulnerabilidad Muy Alta en las unidades río Recio 5, río Recio 6 y río Venadillo 2 tanto en año medio como seco. La unidad río Venadillo 1 presenta una vulnerabilidad Media en año medio y pasa a Muy Alta en año seco. El resto de las unidades de análisis en esta subzona tienen vulnerabilidades baja y muy baja en ambas condiciones hidrológicas (Figura 891 y Figura 892).

En la subzona hidrográfica del río Lagunilla se observa una muy alta vulnerabilidad al desabastecimiento en las unidades río Lagunilla 4 y quebrada Palmas en año medio; la unidad río Vallecitos presenta una vulnerabilidad Alta y las unidades río Bledo, río Lagunilla 6, quebrada La Joya y drenajes Directos al Magdalena una vulnerabilidad Media en esta misma condición hidrológica. El resto de las unidades de análisis tienen vulnerabilidades bajas y muy bajas en año medio. Para la condición hidrológica de año seco, las unidades río Vallecitos, río Lagunilla 4, quebrada Palmas y río Lagunilla 6 tienen una vulnerabilidad Muy Alta al desabastecimiento hídrico debido al aumento en el valor del IUA, así mismo las unidades río Bledo, quebrada La Joya y drenajes Directos al Magdalena mantienen una vulnerabilidad Media en año seco (Figura 893 y Figura 894).

La subzona hidrográfica del río Sabandija tiene vulnerabilidad media en las unidades río Sabandija 1, río Cuamo, y río Sabandija 2 durante año medio; para año seco, la unidad drenajes directos al Magdalena aumenta su categoría de vulnerabilidad a media por el incremento en el valor de presión por uso del agua (Figura 895 y Figura 896).

Las unidades río Sucio y drenajes directos al Magdalena de la subzona hidrográfica del río Gualí tiene una Muy Alta vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en ambas condiciones hidrológicas. Para año medio, las unidades quebrada El Guarumo y quebrada San José tienen una vulnerabilidad media que se mantiene para año seco. Las unidades quebrada Agua de Dios y río Medina aumentan a media su vulnerabilidad en año seco debido al aumento en la presión por uso. El resto de las unidades de análisis tienen categorías de vulnerabilidad baja y muy baja en ambas condiciones hidrológicas (Figura 897 y Figura 898).

En cuanto a la subzona hidrográfica del río Guarinó, se observa que la unidad río Guarinó 6 tiene una vulnerabilidad media en año hidrológico medio, pero debido al aumento en la presión por el uso del agua en año seco a una condición Crítica, la vulnerabilidad se incrementa a Muy Alta. Las demás unidades de análisis en esta subzona presentan vulnerabilidades bajas y muy bajas en año medio y en año seco (Figura 899 y Figura 900).

41.1.1. IVH en la subzona hidrográfica del río Coello

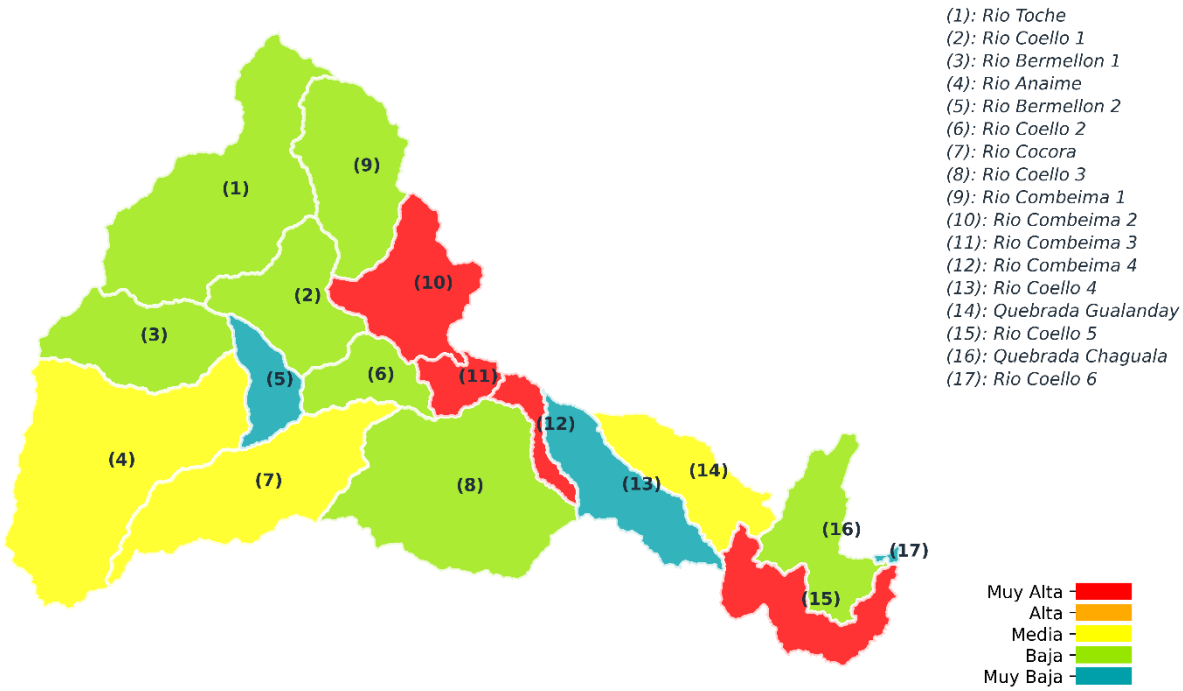


Figura 885. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Coello

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Toche	Alta	Bajo	Baja
Rio Coello 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Bermellon 1	Moderada	Bajo	Baja
Rio Anaime	Alta	Moderado	Media
Rio Bermellon 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Coello 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Cocora	Alta	Muy Alto	Media
Rio Coello 3	Alta	Bajo	Baja
Rio Combeima 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Combeima 2	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Combeima 3	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Combeima 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Coello 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Gualanday	Muy Baja	Bajo	Media
Rio Coello 5	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Chaguala	Moderada	Bajo	Baja
Rio Coello 6	Alta	Muy Bajo	Muy Baja

Tabla 688. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Coello

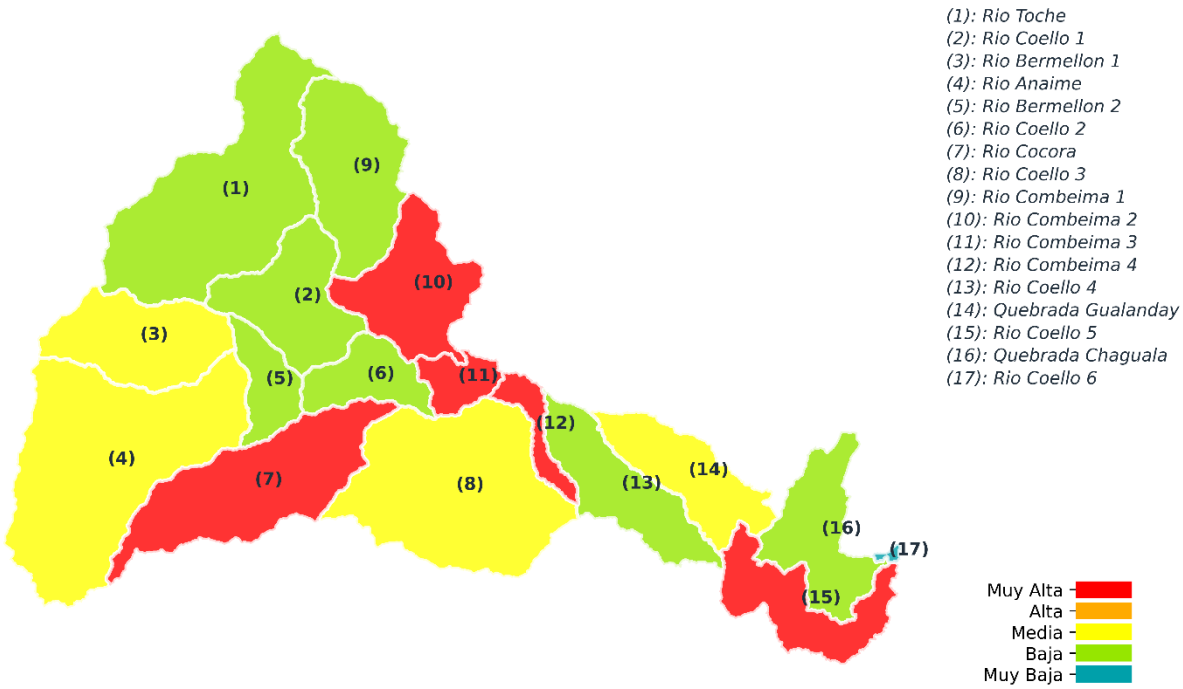


Figura 886. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Coello

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Toche	Alta	Bajo	Baja
Rio Coello 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Bermellon 1	Moderada	Moderado	Media
Rio Anaime	Alta	Alto	Media
Rio Bermellon 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Coello 2	Alta	Bajo	Baja
Rio Cocora	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Coello 3	Alta	Moderado	Media
Rio Combeima 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Combeima 2	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Combeima 3	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Combeima 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Coello 4	Alta	Bajo	Baja
Quebrada Gualanday	Muy Baja	Bajo	Media
Rio Coello 5	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Chaguala	Moderada	Bajo	Baja
Rio Coello 6	Alta	Muy Bajo	Muy Baja

Tabla 689. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Coello

41.1.2. IVH en la subzona hidrográfica del río Totare

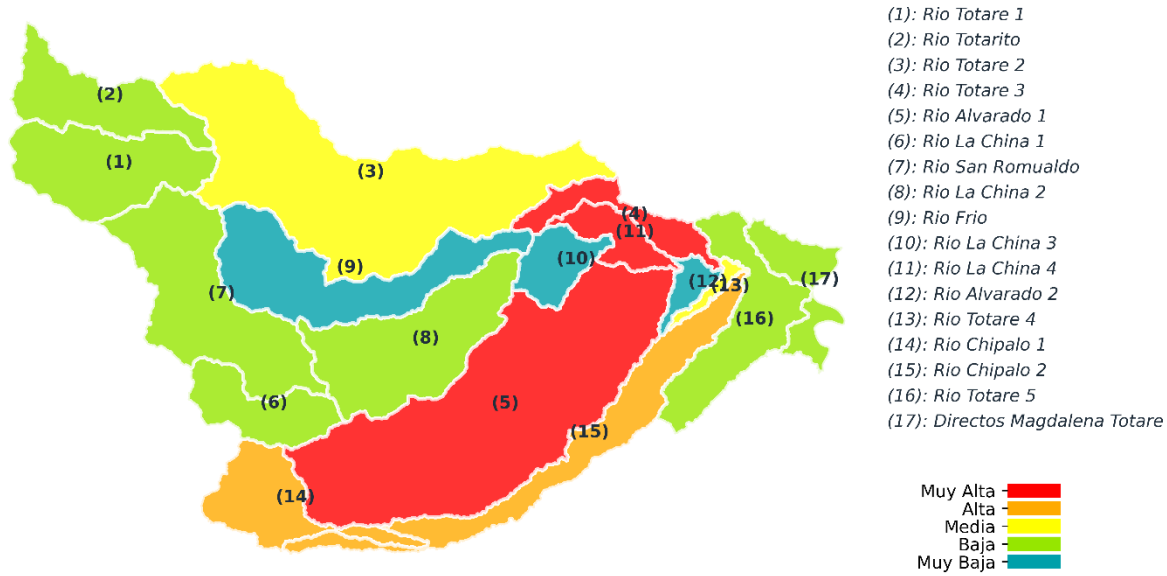


Figura 887. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Totare

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Totare 1	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Totarito	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Totare 2	Alta	Moderado	Media
Rio Totare 3	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Alvarado 1	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio La China 1	Moderada	Bajo	Baja
Rio San Romualdo	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio La China 2	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Frio	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio La China 3	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio La China 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Alvarado 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Totare 4	Alta	Moderado	Media
Rio Chipalo 1	Moderada	Muy Alto	Alta
Rio Chipalo 2	Moderada	Muy Alto	Alta
Rio Totare 5	Alta	Bajo	Baja
Directos Magdalena Totare	Moderada	Muy Bajo	Baja

Tabla 690. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Totare

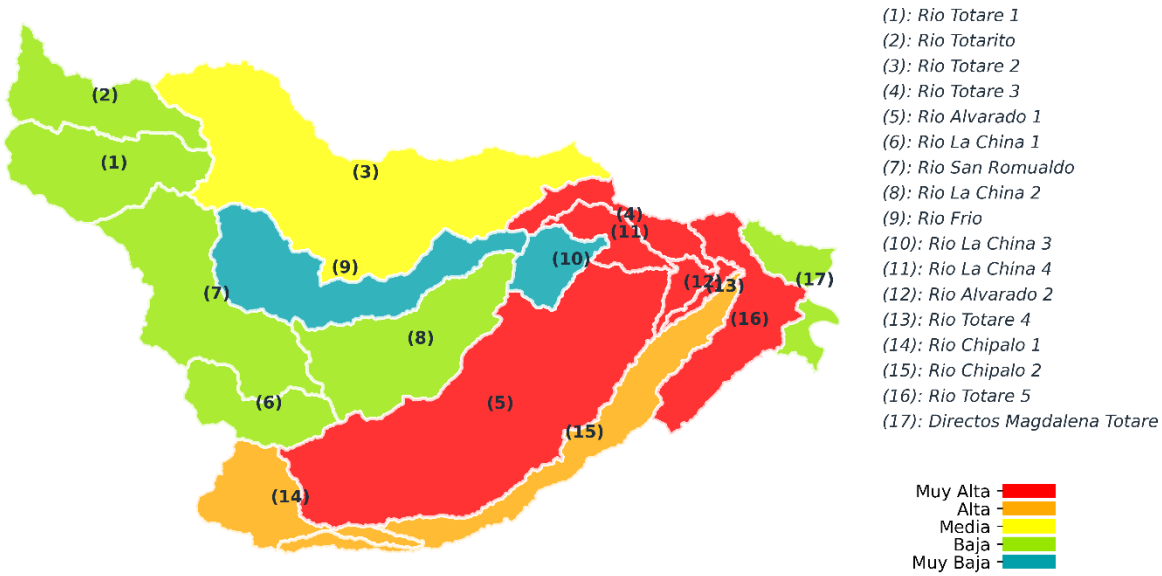


Figura 888. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Totare

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Totare 1	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Totarito	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Totare 2	Alta	Alto	Media
Rio Totare 3	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Alvarado 1	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio La China 1	Moderada	Bajo	Baja
Rio San Romualdo	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio La China 2	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Frio	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio La China 3	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio La China 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Alvarado 2	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Totare 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Chipalo 1	Moderada	Muy Alto	Alta
Rio Chipalo 2	Moderada	Muy Alto	Alta
Rio Totare 5	Alta	Crítico	Muy Alta
Directos Magdalena Totare	Moderada	Muy Bajo	Baja

Tabla 691. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Totare

41.1.3. IVH en la subzona hidrográfica del río Opia

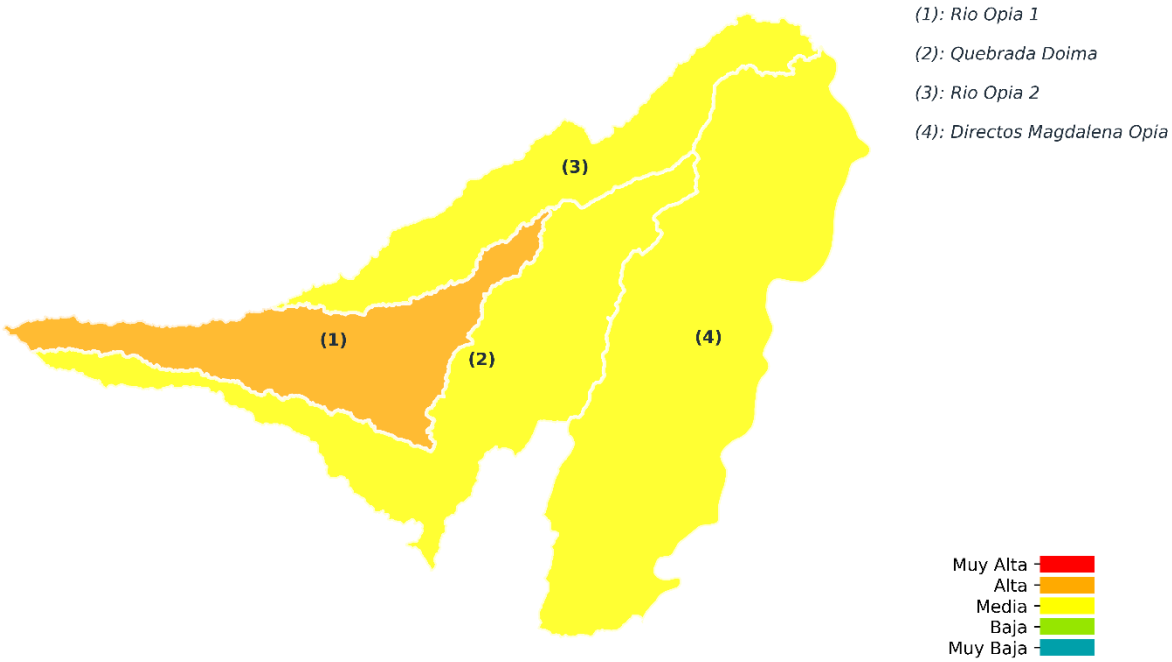


Figura 889. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Opia

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Opia 1	Muy Baja	Moderado	Alta
Quebrada Doima	Muy Baja	Bajo	Media
Rio Opia 2	Muy Baja	Bajo	Media
Directos Magdalena Opia	Muy Baja	Bajo	Media

Tabla 692. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Opia

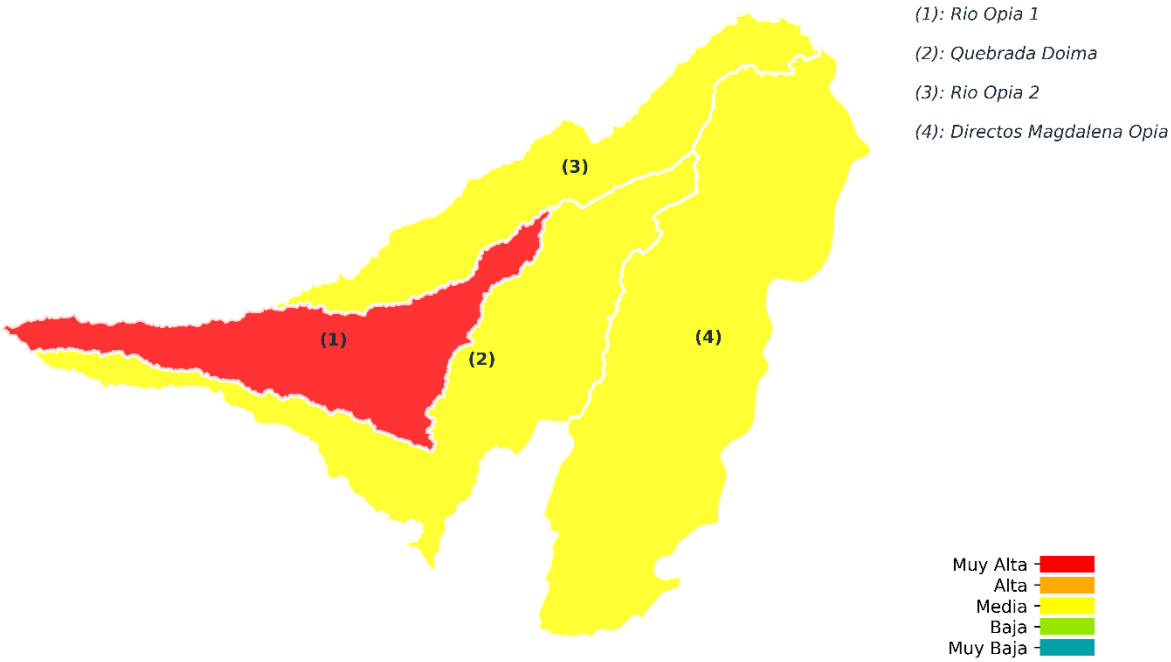


Figura 890. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Opia

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Opia 1	Muy Baja	Alto	Muy Alta
Quebrada Doima	Muy Baja	Bajo	Media
Rio Opia 2	Muy Baja	Bajo	Media
Directos Magdalena Opia	Muy Baja	Bajo	Media

Tabla 693. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Opia

41.1.4. IVH en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

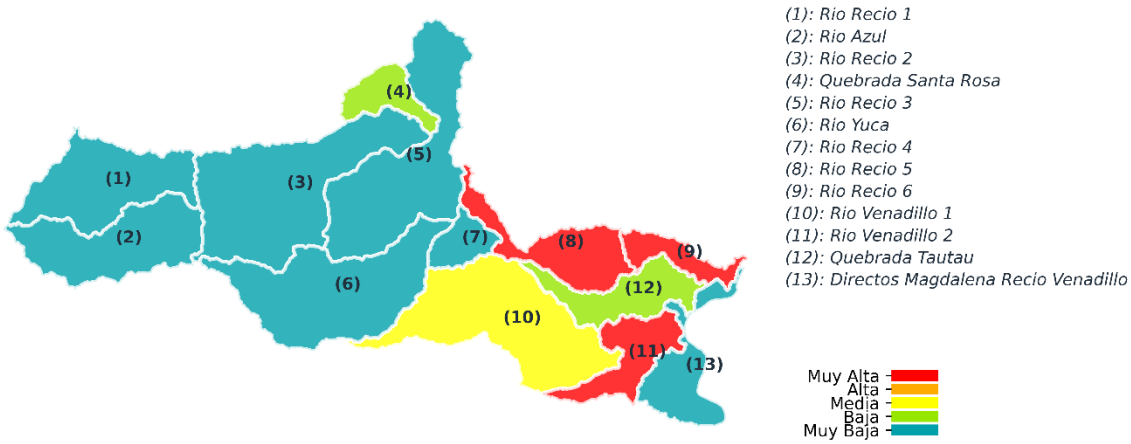


Figura 891. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Recio-Venadillo

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Recio 1	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Azul	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Recio 2	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Santa Rosa	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Recio 3	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Yuca	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Recio 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Recio 5	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Recio 6	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Venadillo 1	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Venadillo 2	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Tautau	Muy Alta	Bajo	Baja
Directos Magdalena Recio Venadillo	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja

Tabla 694. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Recio-Venadillo

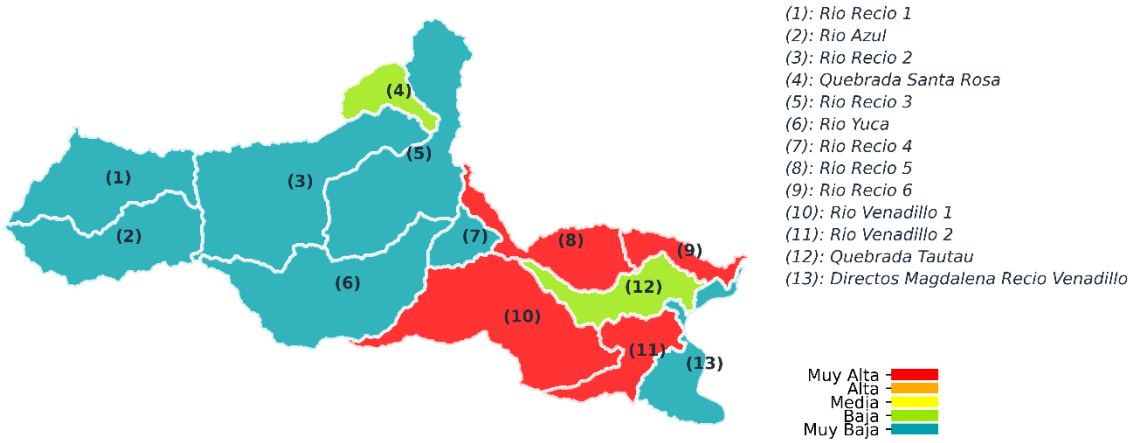


Figura 892. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Recio-Venadillo

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Recio 1	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Azul	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Recio 2	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Santa Rosa	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Recio 3	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Yuca	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Recio 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Recio 5	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Recio 6	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Venadillo 1	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Venadillo 2	Muy Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada Tautau	Muy Alta	Bajo	Baja
Directos Magdalena Recio Venadillo	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja

Tabla 695. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Recio-Venadillo

41.1.5. IVH en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

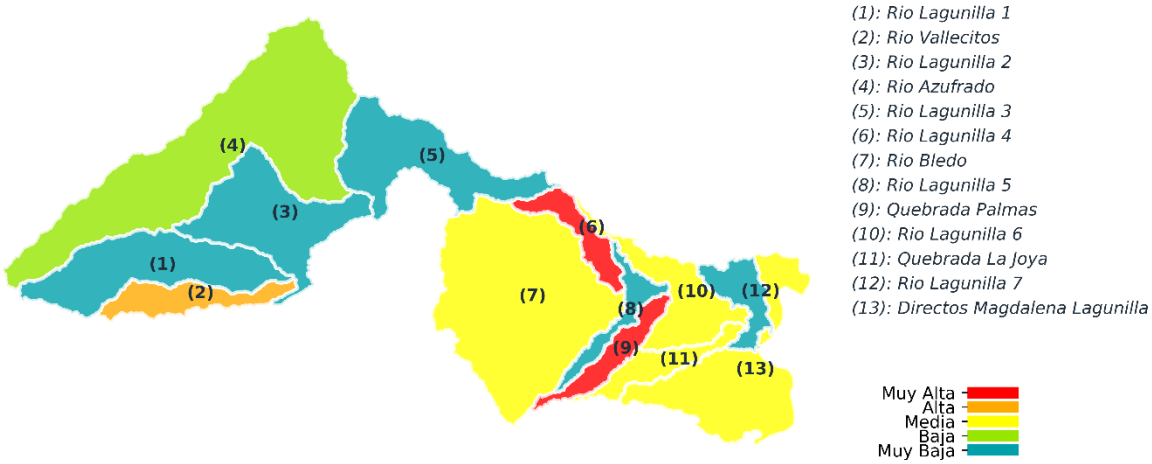


Figura 893. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Lagunilla

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Lagunilla 1	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Vallecitos	Moderada	Muy Alto	Alta
Rio Lagunilla 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Azufrado	Muy Alta	Bajo	Baja
Rio Lagunilla 3	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Lagunilla 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Bledo	Alta	Alto	Media
Rio Lagunilla 5	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Palmas	Muy Baja	Crítico	Muy Alta
Rio Lagunilla 6	Alta	Alto	Media
Quebrada La Joya	Muy Baja	Muy Bajo	Media
Rio Lagunilla 7	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Directos Magdalena Lagunilla	Baja	Muy Bajo	Media

Tabla 696. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Lagunilla

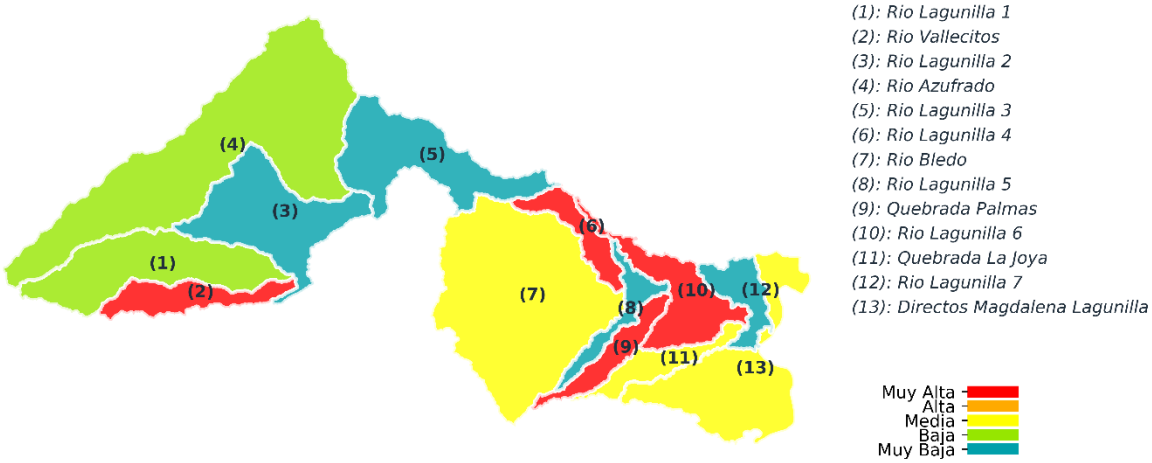


Figura 894. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Lagunilla

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Lagunilla 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Vallecitos	Moderada	Crítico	Muy Alta
Rio Lagunilla 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Azufrado	Muy Alta	Bajo	Baja
Rio Lagunilla 3	Muy Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Lagunilla 4	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Bledo	Alta	Alto	Media
Rio Lagunilla 5	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Palmas	Muy Baja	Crítico	Muy Alta
Rio Lagunilla 6	Alta	Crítico	Muy Alta
Quebrada La Joya	Muy Baja	Muy Bajo	Media
Rio Lagunilla 7	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Directos Magdalena Lagunilla	Baja	Muy Bajo	Media

Tabla 697. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Lagunilla

41.1.6. IVH en la subzona hidrográfica del río Sabandija

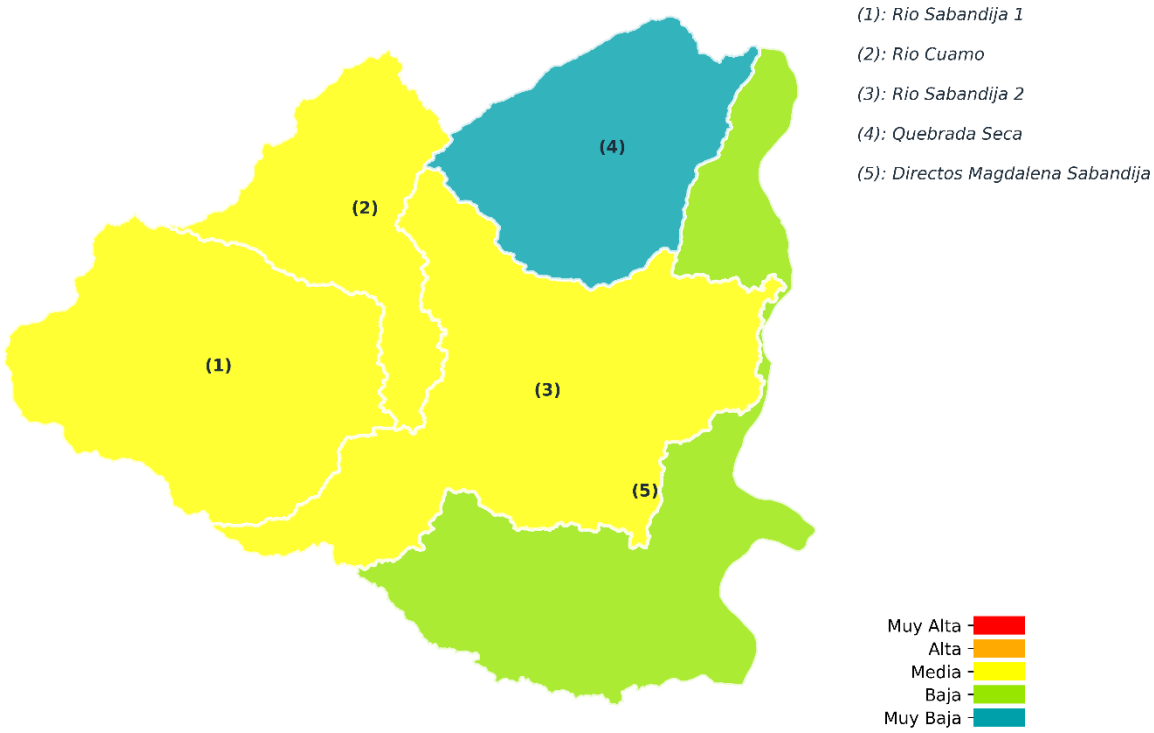


Figura 895. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Sabandija

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Sabandija 1	Alta	Alto	Media
Rio Cuamo	Muy Alta	Alto	Media
Rio Sabandija 2	Alta	Moderado	Media
Quebrada Seca	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Directos Magdalena Sabandija	Alta	Bajo	Baja

Tabla 698. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Sabandija

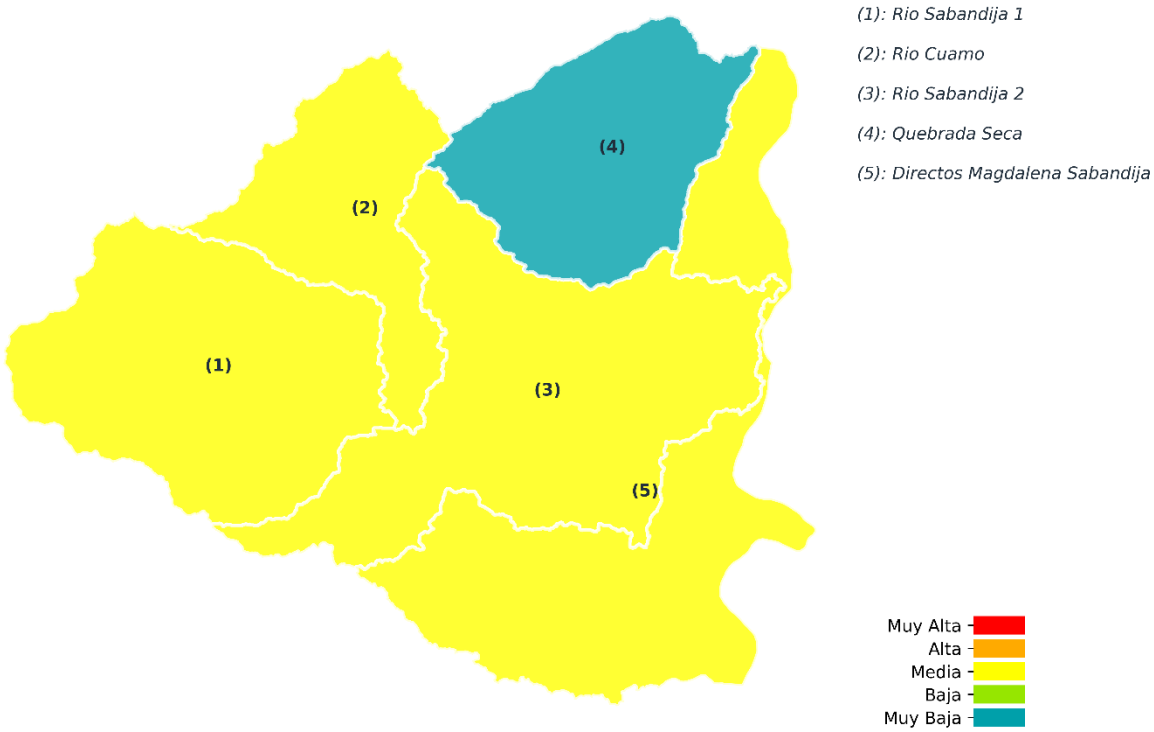


Figura 896. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Sabandija

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Sabandija 1	Alta	Alto	Media
Rio Cuamo	Muy Alta	Muy Alto	Media
Rio Sabandija 2	Alta	Alto	Media
Quebrada Seca	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Directos Magdalena Sabandija	Alta	Moderado	Media

Tabla 699. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Sabandija

41.1.7. IVH en la subzona hidrográfica del río Gualí

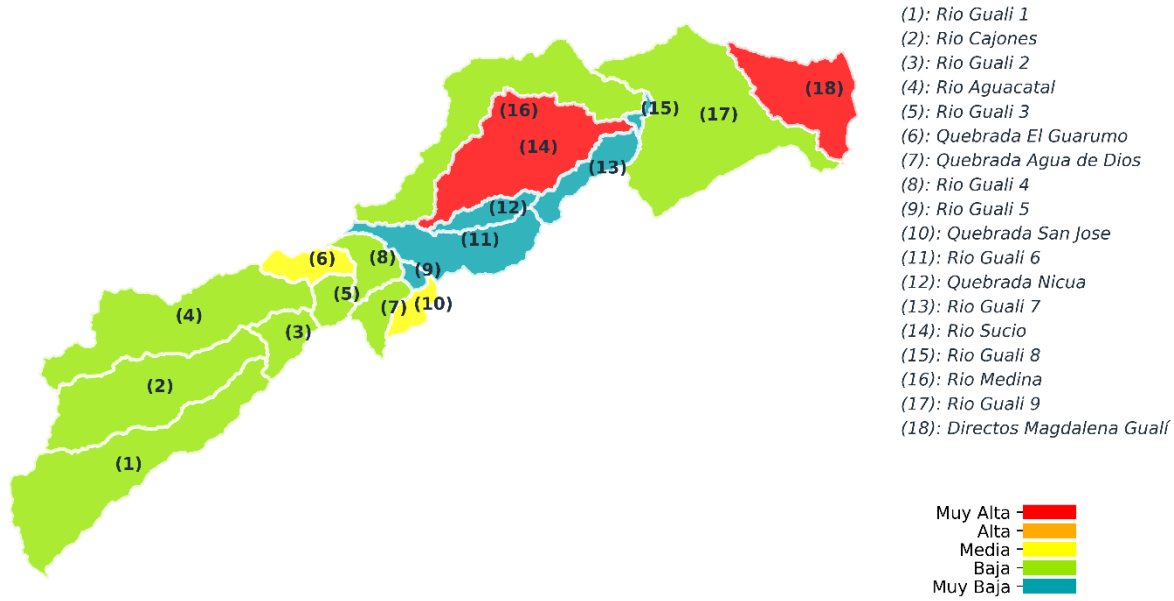


Figura 897. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Gualí

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Guali 1	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Cajones	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Guali 2	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Aguacatal	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Guali 3	Moderada	Muy Bajo	Baja
Quebrada El Guarumo	Alta	Moderado	Media
Quebrada Agua de Dios	Alta	Bajo	Baja
Rio Guali 4	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Guali 5	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada San Jose	Muy Alta	Moderado	Media
Rio Guali 6	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Nicua	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Guali 7	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Sucio	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Guali 8	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Medina	Alta	Bajo	Baja
Rio Guali 9	Alta	Bajo	Baja
Directos Magdalena Gualí	Moderada	Crítico	Muy Alta

Tabla 700. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Gualí

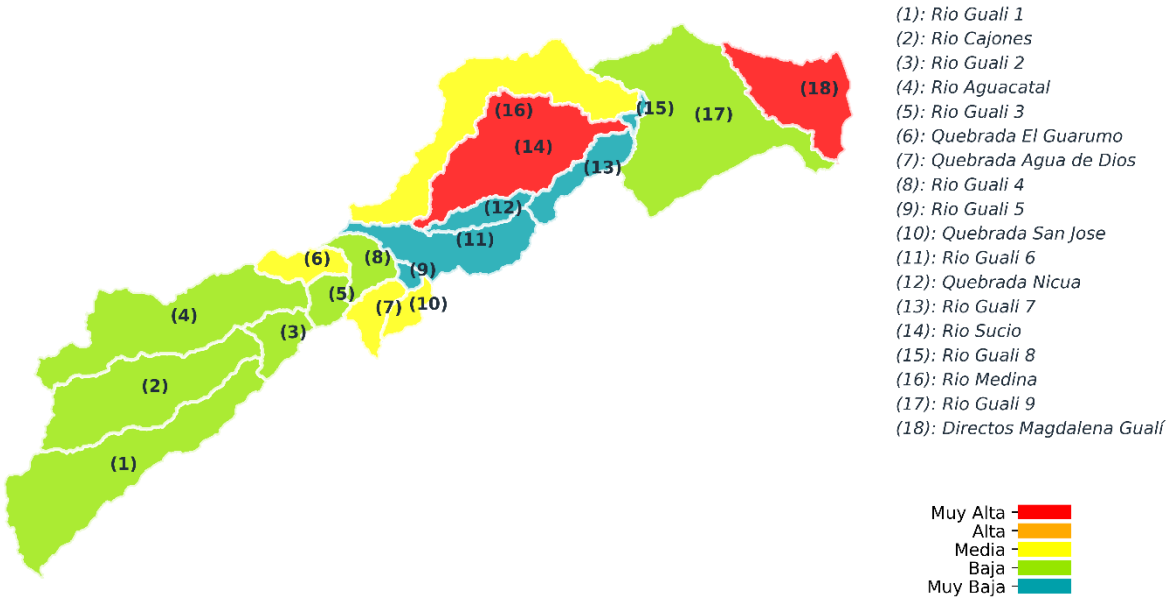


Figura 898. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Gualí

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Guali 1	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Cajones	Moderada	Bajo	Baja
Rio Guali 2	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Aguacatal	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Guali 3	Moderada	Muy Bajo	Baja
Quebrada El Guarumo	Alta	Alto	Media
Quebrada Agua de Dios	Alta	Moderado	Media
Rio Guali 4	Moderada	Muy Bajo	Baja
Rio Guali 5	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada San Jose	Muy Alta	Moderado	Media
Rio Guali 6	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Quebrada Nicua	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Guali 7	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Sucio	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Guali 8	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Medina	Alta	Moderado	Media
Rio Guali 9	Alta	Bajo	Baja
Directos Magdalena Gualí	Moderada	Crítico	Muy Alta

Tabla 701. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Gualí

41.1.8. IVH en la subzona hidrográfica del río Guarinó

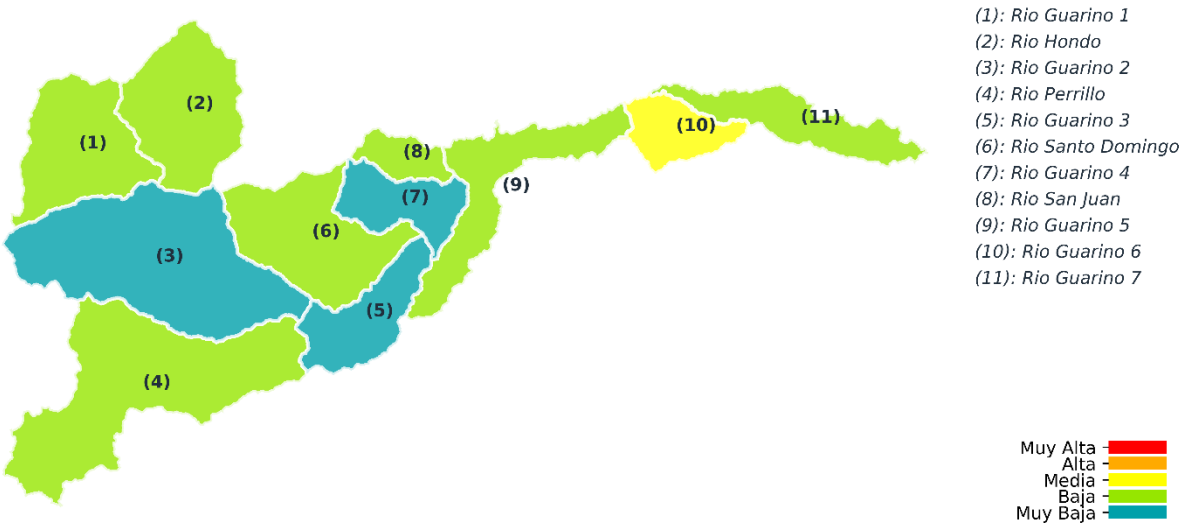


Figura 899. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Guarinó

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año medio)	IVH (año medio)
Rio Guarino 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Hondo	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Perrillo	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 3	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Santo Domingo	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio San Juan	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 5	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 6	Alta	Muy Alto	Media
Rio Guarino 7	Alta	Bajo	Baja

Tabla 702. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Guarinó

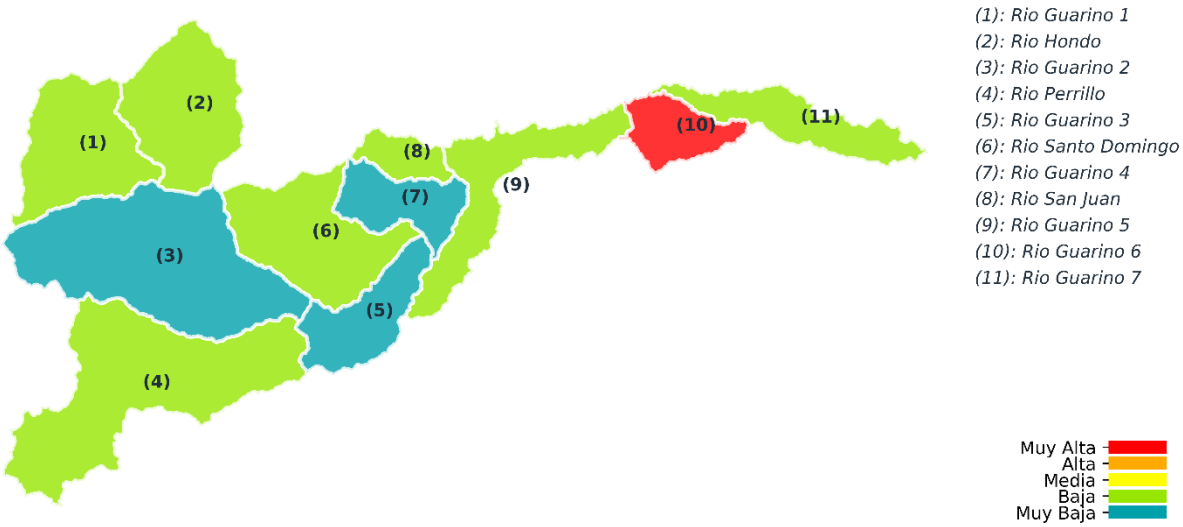


Figura 900. Índice de Vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico para año seco en la SZH del río Guarinó

Unidad de Análisis	Categoría IRH	Categoría IUA (año seco)	IVH (año seco)
Rio Guarino 1	Alta	Bajo	Baja
Rio Hondo	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 2	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Perrillo	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 3	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio Santo Domingo	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 4	Alta	Muy Bajo	Muy Baja
Rio San Juan	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 5	Alta	Bajo	Baja
Rio Guarino 6	Alta	Crítico	Muy Alta
Rio Guarino 7	Alta	Bajo	Baja

Tabla 703. Clasificación del índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico para año medio en la SZH del río Guarinó

41.2. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET)

El índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET) se calculó a través de la relación entre el índice morfométrico de torrencialidad y el índice de variabilidad de los caudales, cuya clasificación se presenta en la Tabla 704.

Tabla 704. Categorías del índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales. (Fuente: IDEAM, 2013)

Categoría índice de variabilidad de caudales	Categoría del índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

El índice de variabilidad se definió a partir de la curva de duración de caudales (CDC), en el caso de la ERA se emplearon las series de caudales medios diarios. El valor del índice se obtiene como la pendiente de la CDC entre dos caudales característicos representativos de caudales extremos (mínimos y máximos) a través de la siguiente expresión:

$$IV = \frac{log(Q_i) - log(Q_f)}{log(t_i) - log(t_f)}$$

En la Evaluación Regional del Agua Q_i y Q_f se definen como los caudales característicos Q5 y Q95, ya que estos valores son indicativos de la frecuencia de valores extremos de caudal, t_i y t_f son el respectivo porcentaje del tiempo en el que es excedido el respectivo caudal característico. La Tabla 705 presenta la clasificación del índice de variabilidad de los caudales.

Tabla 705. Clasificación del índice de vulnerabilidad torrencial por variabilidad de caudales

Índice de Variabilidad (Grados)	Categoría	Vulnerabilidad
<10		Muy baja
10.1 - 37		Baja
37.1 - 47		Media
47.1 - 55		Alta
>55		Muy Alta

El índice morfométrico de torrencialidad se calculó a partir del coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje de acuerdo con la metodología presentada a continuación: inicialmente se establecieron las categorías para cada parámetro morfométrico a través de la aplicación de los criterios presentados en la Tabla 706. Y posteriormente, se calculó el índice morfométrico mediante la aplicación de la Tabla 707.

Tabla 706. Criterios para categorizar el índice morfométrico

Parámetro morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km2)	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km2)	1:10.000	<15	<1.5	1.51-2.00	2.01-2.50	2.51-3.00	>3
	1:25:000	16 a 50	<1.20	1.21-1.80	1.81-2.00	2.01-2.50	>2.5
	1:100.000	>50	>1.00	1.01-1.50	1.51-2.00	2.01-2.50	>2.5
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21-35	36-50	51-75	>75
	1:100.000	>15	<15	16-30	30-45	46-65	>65
Coeficiente de compacidad			>1.5	1.375-1.500	1.251-1.375	1.126-1.250	1.00-1.125

Tabla 707. Matriz de clasificación del índice morfométrico (fuente: IDEAM, 2013)

Densidad de drenaje	Pendiente media de la cuenca 1	2	3	4	5	Coeficiente de forma
1	111	121	131	141	151	1
	112	122	132	142	152	2
	113	123	133	143	153	3
	114	124	134	144	154	4
	115	125	135	145	155	5
2	211	221	231	241	251	1
	212	222	232	242	252	2
	213	223	233	243	253	3
	214	224	234	244	254	4
	215	225	235	245	255	5
3	311	321	331	341	351	1
	312	322	332	342	352	2
	313	323	333	343	353	3
	314	324	334	344	354	4
	315	325	335	345	355	5
4	411	421	431	441	451	1
	412	422	432	442	452	2
	413	423	433	443	453	3
	414	424	434	444	454	4
	415	425	435	445	455	5
5	511	521	531	541	551	1
	512	522	532	542	552	2
	513	523	533	543	553	3
	514	524	534	544	554	4
	515	525	535	545	555	5

Muy alta Alta Baja Moderada Muy baja

Las unidades río Coello 1, río Coello 2, río Combeima 1, río Combeima 2, río Bermellón 1 y quebrada Gualanday presentan una alta vulnerabilidad a eventos torrenciales (Figura 901), en el caso de las cuatro primeras debido a su alta susceptibilidad morfométrica a la generación de respuestas hidrológicas rápidas frente a eventos hidrometeorológicos de corta duración, mientras que, en las dos últimas unidades, su grado de vulnerabilidad se debe a la media y muy alta variabilidad de caudales (Tabla 708). En el resto de las unidades de análisis de la subzona hidrográfica del río Coello se evidencia una vulnerabilidad media (Figura 901).

Aunque en la subzona hidrográfica del río Totare se tienen condiciones morfométricas de moderada incidencia en la susceptibilidad (Tabla 709), se evidencia una alta vulnerabilidad a eventos torrenciales en 11 unidades de análisis debido a su alta y media variabilidad de caudales (río Totare 1, río Totarito, río La China 1, río San Romualdo, río La China 2, río Frio, río La China 3, río La China 4, río Alvarado 2, río Chipalo 1, y río Chipalo 2, Figura 902, Tabla 709). En las unidades restantes el grado de vulnerabilidad es medio.

La subzona hidrográfica del río Opia presenta un índice morfométrico moderado, a pesar de ello, su grado de vulnerabilidad a eventos torrenciales es alto (Figura 903) debido a que sus unidades de análisis tienen muy alta (río Opia 1), alta (río Opia 2) y media (quebrada Doima y drenajes directos al Magdalena) variabilidad de caudales (Tabla 710).

En la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo se observa un grado de vulnerabilidad a eventos torrenciales medio en todas sus unidades de análisis (Figura 904), por contar con un índice morfométrico torrencial moderado y bajo grado de variabilidad de caudales (Tabla 711).

Para la subzona hidrográfica del río Lagunilla se evidencia que las unidades río Vallecitos, quebrada Palmas, quebrada La Joya y drenajes directos al Magdalena presentan un alto grado de vulnerabilidad a eventos torrenciales (Figura 905) debido a su muy alto, alto y medio grado de variabilidad de caudales (Tabla 712). El cual es bajo para las demás unidades de análisis confiriéndoles una categoría de vulnerabilidad media a las unidades río Lagunilla 1, río Lagunilla 2, río Azufrado, río Lagunilla 3, río Lagunilla 4, río Bledo, río Lagunilla 5, río Lagunilla 6, río Lagunilla 7 (Tabla 712).

La subzona hidrográfica del río Sabandija presenta un grado medio de vulnerabilidad a eventos torrenciales dada su bajo índice de variabilidad de caudales (Figura 906, Tabla 713).

En la subzona hidrográfica del río Gualí se observa una alta vulnerabilidad a eventos torrenciales en las unidades Gualí 1, río Cajones, río Gualí 2, río Aguacatal, río Gualí 3,

río Gualí 4, y drenajes directos al Magdalena (Figura 907), dado su medio grado de variabilidad de caudales (Tabla 714). Para el caso de las demás unidades de análisis se tiene un IVET medio ya que su índice de variabilidad de caudales es bajo (Tabla 714).

La subzona hidrográfica del río Guarinó tiene una alta vulnerabilidad a eventos torrenciales en las unidades río Hondo, río Guarinó 2 y río Guarinó 3 localizadas en su parte alta (Figura 908). Para el caso de las dos primeras unidades su clasificación se debe a una variabilidad de caudales media, mientras que la unidad río Guarinó 3 presenta un índice morfométrico torrencial alto (Tabla 715). En las unidades río Guarinó 1, río Perrillo, río Santo Domingo, río Guarinó 4, río San Juan, río Guarinó 5, río Guarinó 6, y río Guarinó 7 se observa una vulnerabilidad media a eventos torrenciales dada su baja variabilidad de caudales (Tabla 715).

41.2.1. IVET en la subzona hidrográfica del río Coello

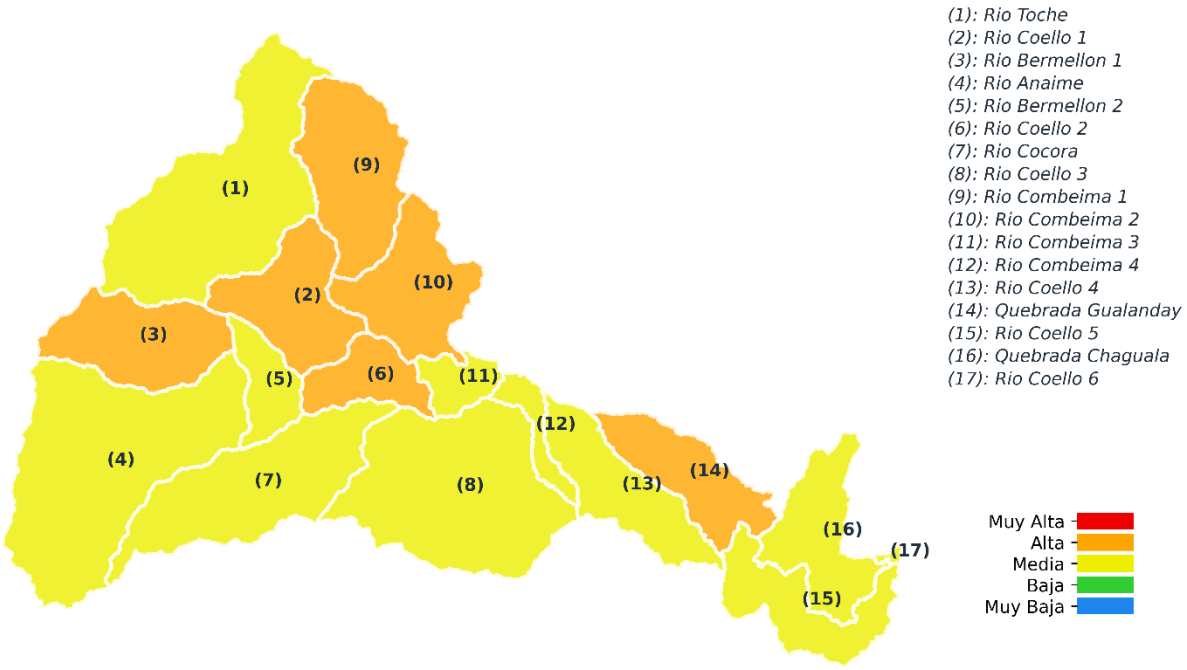


Figura 901. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Coello

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Toche	Moderada	Baja	Media
Rio Coello 1	Alta	Baja	Alta
Rio Bermellon 1	Moderada	Media	Alta
Rio Anaime	Moderada	Baja	Media
Rio Bermellon 2	Moderada	Baja	Media
Rio Coello 2	Alta	Baja	Alta
Rio Cocora	Moderada	Baja	Media
Rio Coello 3	Moderada	Baja	Media
Rio Combeima 1	Alta	Baja	Alta
Rio Combeima 2	Alta	Baja	Alta
Rio Combeima 3	Moderada	Baja	Media
Rio Combeima 4	Moderada	Baja	Media
Rio Coello 4	Moderada	Baja	Media
Quebrada Gualanday	Moderada	Muy Alta	Alta
Rio Coello 5	Moderada	Baja	Media
Quebrada Chaguala	Moderada	Baja	Media
Rio Coello 6	Moderada	Baja	Media

Tabla 708. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Coello

41.2.2. IVET en la subzona hidrográfica del río Totare

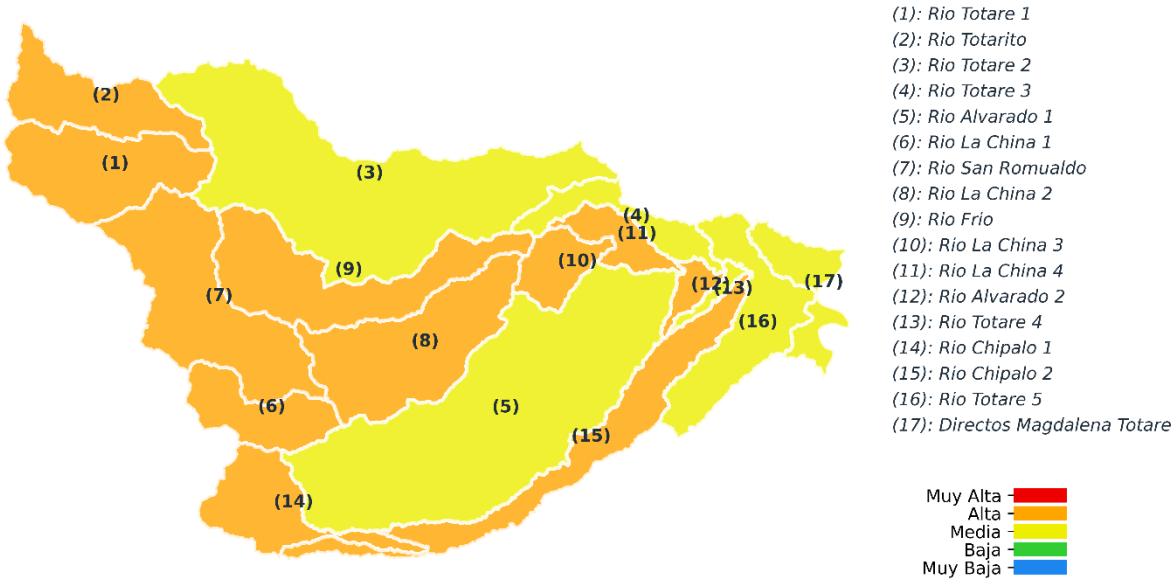


Figura 902. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Totare

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Totare 1	Moderada	Alta	Alta
Rio Totarito	Moderada	Alta	Alta
Rio Totare 2	Moderada	Baja	Media
Rio Totare 3	Moderada	Baja	Media
Rio Alvarado 1	Moderada	Baja	Media
Rio La China 1	Moderada	Media	Alta
Rio San Romualdo	Moderada	Media	Alta
Rio La China 2	Moderada	Media	Alta
Rio Frio	Moderada	Media	Alta
Rio La China 3	Moderada	Media	Alta
Rio La China 4	Moderada	Media	Alta
Rio Alvarado 2	Moderada	Media	Alta
Rio Totare 4	Baja	Baja	Media
Rio Chipalo 1	Moderada	Media	Alta
Rio Chipalo 2	Moderada	Media	Alta
Rio Totare 5	Moderada	Baja	Media
Directos Magdalena Totare	Baja	Media	Media

Tabla 709. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Totare

41.2.3. IVET en la subzona hidrográfica del río Opia

Figura 903. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Opia

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Opia 1	Moderada	Muy Alta	Alta
Quebrada Doima	Moderada	Media	Alta
Rio Opia 2	Moderada	Alta	Alta
Directos Magdalena Opia	Moderada	Media	Alta

Tabla 710. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Opia

41.2.4. IVET en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

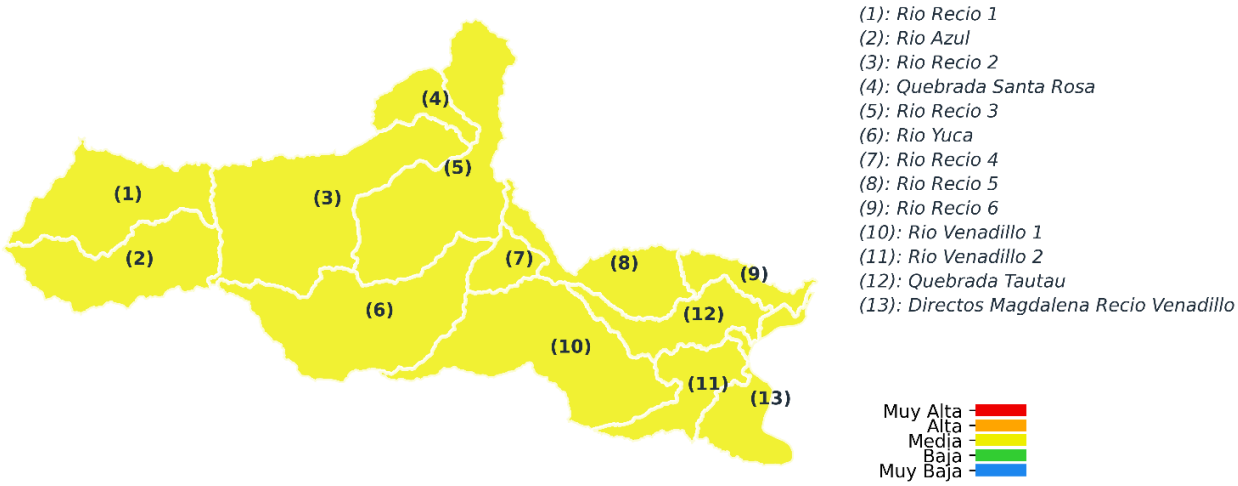


Figura 904. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Recio-Venadillo

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Recio 1	Moderada	Baja	Media
Rio Azul	Moderada	Baja	Media
Rio Recio 2	Moderada	Baja	Media
Quebrada Santa Rosa	Moderada	Baja	Media
Rio Recio 3	Moderada	Baja	Media
Rio Yuca	Moderada	Baja	Media
Rio Recio 4	Moderada	Baja	Media
Rio Recio 5	Moderada	Baja	Media
Rio Recio 6	Moderada	Baja	Media
Rio Venadillo 1	Moderada	Baja	Media
Rio Venadillo 2	Moderada	Baja	Media
Quebrada Tautau	Moderada	Baja	Media
Directos Magdalena Recio Venadillo	Moderada	Baja	Media

Tabla 711. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Recio-Venadillo

41.2.5. IVET en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

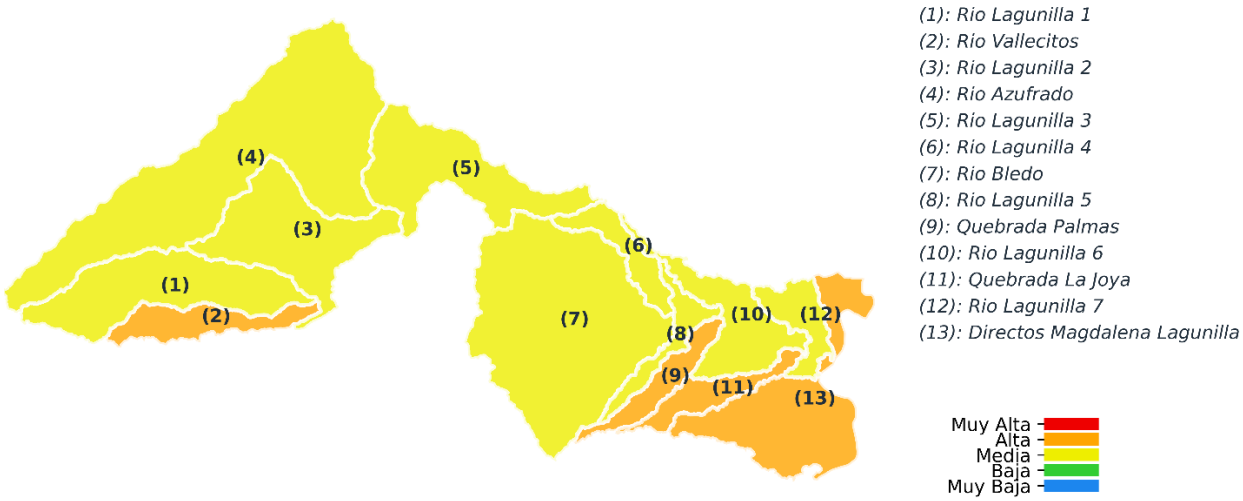


Figura 905. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Lagunilla

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Lagunilla 1	Moderada	Baja	Media
Rio Vallecitos	Moderada	Media	Alta
Rio Lagunilla 2	Moderada	Baja	Media
Rio Azufrado	Moderada	Baja	Media
Rio Lagunilla 3	Moderada	Baja	Media
Rio Lagunilla 4	Moderada	Baja	Media
Rio Bledo	Moderada	Baja	Media
Rio Lagunilla 5	Moderada	Baja	Media
Quebrada Palmas	Moderada	Muy Alta	Alta
Rio Lagunilla 6	Moderada	Baja	Media
Quebrada La Joya	Moderada	Muy Alta	Alta
Rio Lagunilla 7	Moderada	Baja	Media
Directos Magdalena Lagunilla	Moderada	Alta	Alta

Tabla 712. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Lagunilla

41.2.6. IVET en la subzona hidrográfica del río Sabandija

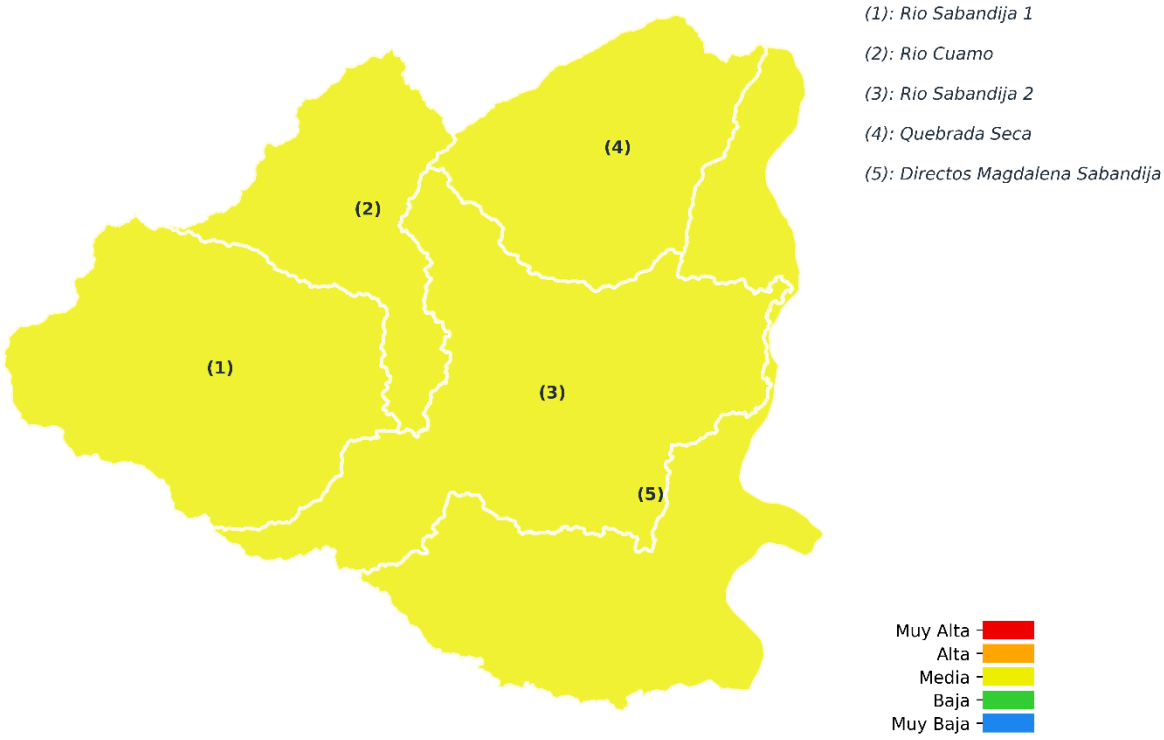


Figura 906. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Sabandija

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Sabandija 1	Moderada	Baja	Media
Rio Cuamo	Moderada	Baja	Media
Rio Sabandija 2	Moderada	Baja	Media
Quebrada Seca	Baja	Baja	Media
Directos Magdalena Sabandija	Moderada	Baja	Media

Tabla 713. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Sabandija

41.2.7. IVET en la subzona hidrográfica del río Gualí

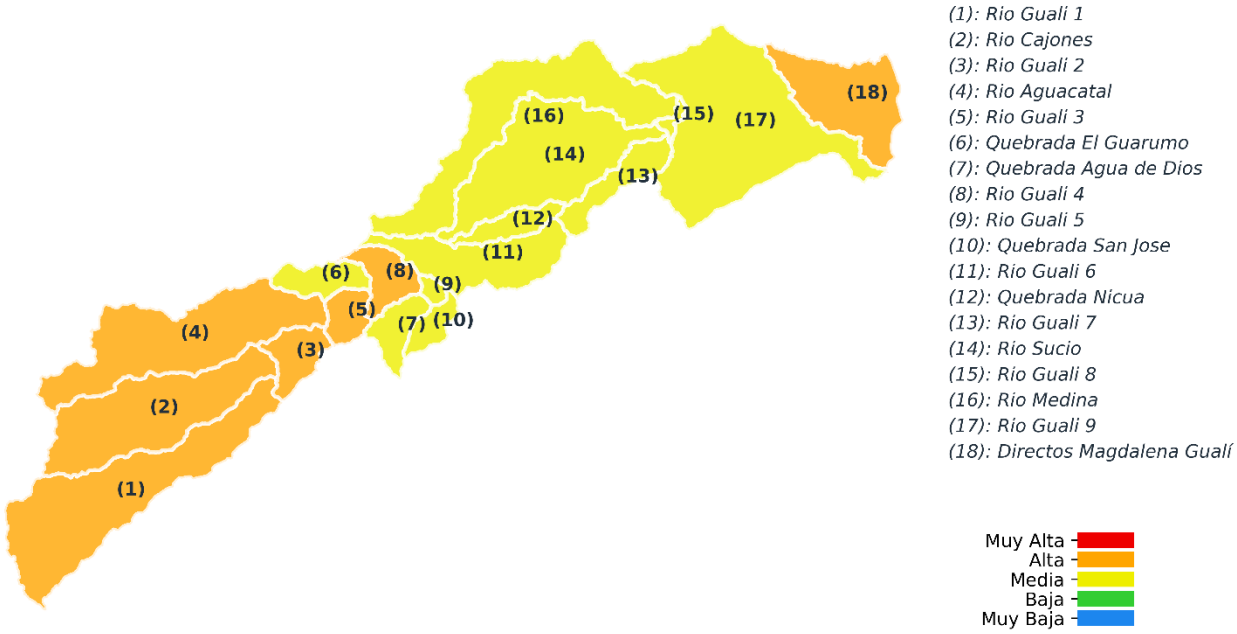


Figura 907. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Gualí

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Guali 1	Moderada	Media	Alta
Rio Cajones	Moderada	Media	Alta
Rio Guali 2	Alta	Media	Alta
Rio Aguacatal	Moderada	Media	Alta
Rio Guali 3	Moderada	Media	Alta
Quebrada El Guarumo	Moderada	Baja	Media
Quebrada Agua de Dios	Moderada	Baja	Media
Rio Guali 4	Moderada	Media	Alta
Rio Guali 5	Moderada	Baja	Media
Quebrada San Jose	Baja	Baja	Media
Rio Guali 6	Moderada	Baja	Media
Quebrada Nicua	Baja	Media	Media
Rio Guali 7	Moderada	Baja	Media
Rio Sucio	Moderada	Baja	Media
Rio Guali 8	Baja	Baja	Media
Rio Medina	Baja	Baja	Media
Rio Guali 9	Moderada	Baja	Media
Directos Magdalena Gualí	Baja	Muy Alta	Alta

Tabla 714. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Gualí

41.2.8. IVET en la subzona hidrográfica del río Guarinó

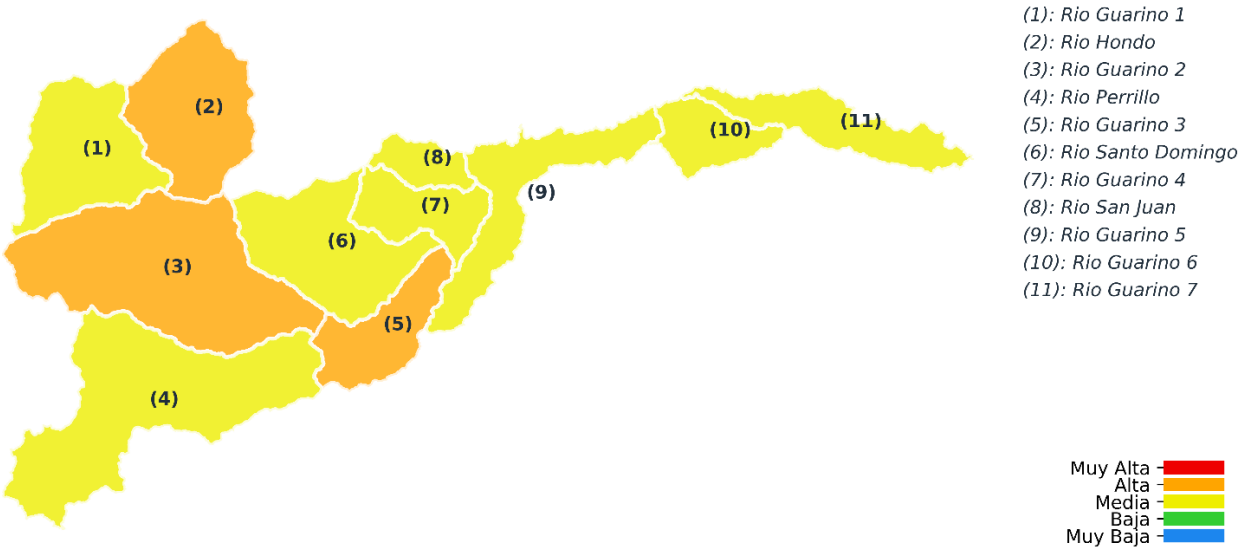


Figura 908. Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en la subzona hidrográfica del río Guarinó

UNIDAD DE ANÁLISIS	CATEGORÍA DE ÍNDICE MORFOMÉTRICO	CATEGORÍA DE VARIABILIDAD	IVET
Rio Guarino 1	Moderada	Baja	Media
Rio Hondo	Moderada	Media	Alta
Rio Guarino 2	Moderada	Media	Alta
Rio Perrillo	Moderada	Baja	Media
Rio Guarino 3	Alta	Baja	Alta
Rio Santo Domingo	Moderada	Baja	Media
Rio Guarino 4	Moderada	Baja	Media
Rio San Juan	Moderada	Baja	Media
Rio Guarino 5	Moderada	Baja	Media
Rio Guarino 6	Moderada	Baja	Media
Rio Guarino 7	Moderada	Baja	Media

Tabla 715. Clasificación de los índices morfométrico de torrencialidad, variabilidad y vulnerabilidad a eventos torrenciales en la SZH del río Guarinó

42. Referencias

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2013) Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2018) Estudio Nacional del Agua 2018. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2020a). Hoja metodológica del Índice de Retención y Regulación Hídrica (Versión 1,2). 19 p.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2020b). Hoja metodológica del Índice de Uso del Agua (Versión 1,2). 19 p

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2020c). Hoja metodológica del Índice de Vulnerabilidad Hídrica por desabastecimiento (Versión 1,2). 16 p

Montoya J.J. (2008). Desarrollo de un modelo conceptual de producción, transporte y depósito de sedimentos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Rumeau, A., & Coste, M. (1988). Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture, (309), 1-69.

Shukla, S., and Wood, A. W. (2008), Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, Geophys. Res. Lett., 35, L02405, doi:10.1029/2007GL032487.