

9.1.2.1.1 Estratigrafía. Las columnas estratigráficas se presentan en las Figuras 8 - 14. Para Butler (1942: 823) (in Julivert, 1968) el espesor de esta formación es de 350 metros. La edad asignada a la Formación Mesa ha sido muy variada según los diferentes autores. Ellas oscilan desde el Mioceno al Plioceno, aunque basados en datos paleontológicos y paleobotánicas la mayoría de los autores se inclinan por una edad del Plioceno. La presencia de arenitas en bancos gruesos con estructuras sedimentarias como estratificación cruzada en artesa y planares, representan un ambiente de canales y barras de ríos, junto con espesos depósitos arcillosos de llanura de inundación fluvial.

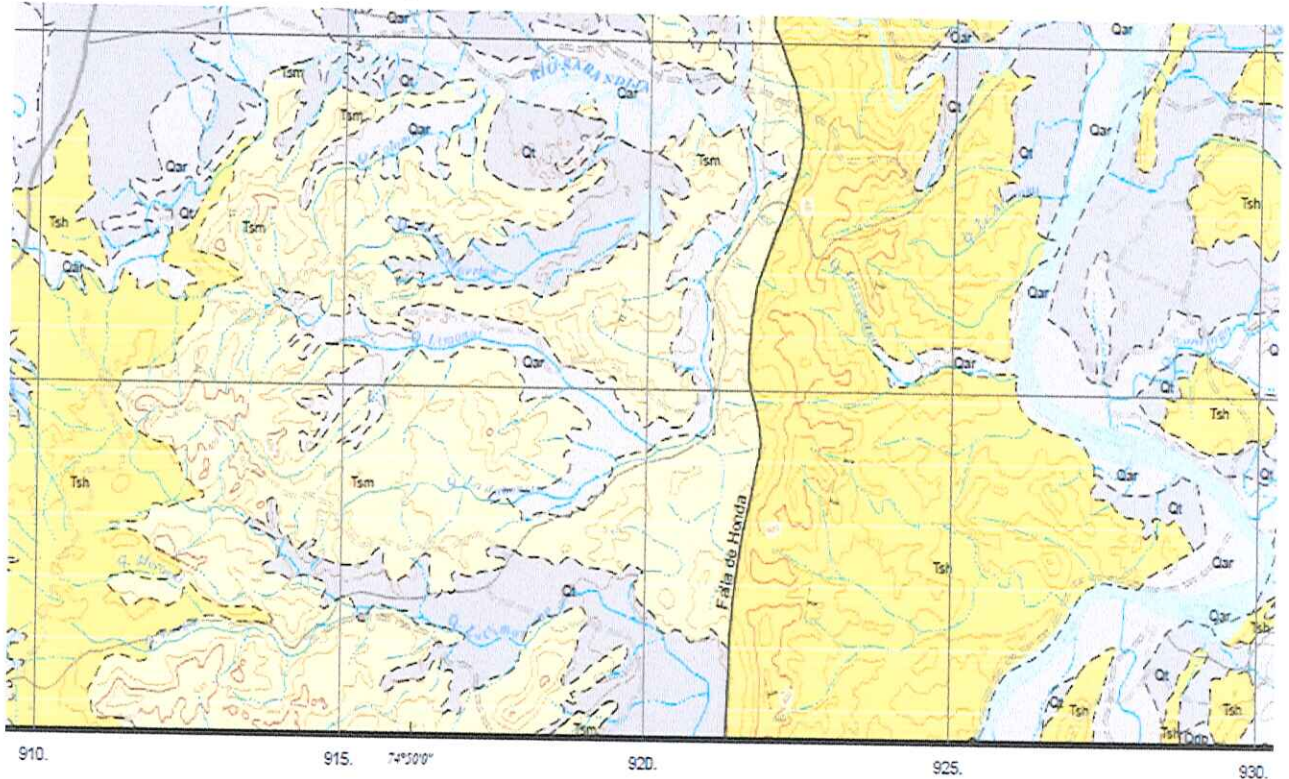
✓ **Depósitos cuaternarios:**

_Depósitos de Terrazas Altas, (Q2t). Se observan terrazas antiguas y recientes en las márgenes de los ríos principales. Son de extensión limitada, con alturas entre 10 y 15 metros respecto al nivel de aguas medias de dichos cauces. La mayoría reposa sobre rocas del Grupo Honda, y forman pequeñas mesetas sobre las partes altas de las rocas mencionadas; protegen de la erosión a los afloramientos que las subyacen. Son depósitos no consolidados constituidos por gravas y cantos, de tamaño heterométrico, subangulares a redondeados, en una matriz areno arcillosa de baja compactación. En las márgenes del río Magdalena, la composición es principalmente de arenitas y limolitas silíceas, en una matriz arcillosa roja, con un espesor variable que puede alcanzar 10 metros.

_Depósitos Coluviales, (Q2c). Son depósitos no consolidados de corta extensión, ubicados en los piedemontes, presentan una topografía de colinas redondeadas y están conformados por material heterométrico con cantos angulares a subangulares que pueden alcanzar hasta 0.30 metros de diámetro. Está constituido de fragmentos desprendidos de las rocas provenientes de las

formaciones adyacentes, principalmente de limolitas, arenitas y lodolitas. Se presentan algunos coluviones que pueden alcanzar espesores hasta de 15 metros.

Figura 4. Mapa Geológico Regional.



Fuente: GALC, SGC (2000).

Depósitos Aluviales, (Q2a1). Corresponden a niveles de poco espesor (hasta 12 metros) y extensión, ubicados en las llanuras de inundación de los principales ríos de la región, producto de las crecientes invernales. De igual forma, se incluyen algunas áreas extensas de sedimentos activos, barras y playas en los principales ríos.

Están conformados por limos, arenas y gravas de variada composición. Forman valles y vegas de corta extensión, las cuales son aprovechadas para cultivos y pastos para ganadería. Sobresalen los depósitos ubicados a lo largo del río Magdalena;

en épocas de crecidas se acumula mucho material en ambas márgenes y se incrementa al represar sus tributarios por diferencia de caudal. Véase Figura 4.

9.1.2.1.2 Geología estructural. Para relacionar las estructuras es fundamental relacionar tectónicamente el territorio del Departamento del Tolima, (ubicado en el llamado Bloque Andino, región sometida a interacción de las Placas de Nazca y Suramericana); los mayores rasgos morfotectónicos, en esta zona colombiana, son las cordilleras Central y Oriental y el Valle del Río Magdalena, accidentes relacionados con posibles fenómenos distensivos en el Jurásico y compresivos en el Cenozoico (Oligoceno - Mioceno), a los que se asocia el levantamiento de las cordilleras y la formación de la depresión del Magdalena.

Los esfuerzos de compresión principal, orientados en sentido general este-oeste, ocasionaron deformaciones de la corteza terrestre, en su mayoría pliegues y fallas geológicas; algunas de estas últimas de mucha importancia en evaluación de la amenaza sísmica, por ser fuentes sismogénicas activas.

_Fallas: Las fallas geológicas cartografiadas en el Municipio de Armero-Guayabal son todas de dirección predominantemente norte-sur, sistema más conocido debido a que sigue la orientación de las principales estructuras geológicas y geomorfológicas del país y el departamento; en el flanco oriental de la Cordillera Central se presenta la Falla San Pedro (nombre informal) y en el Valle del Río Magdalena las Fallas denominadas Honda y Mulatos.

- **Falla San Pedro.** Es una falla relativamente corta localizada en las estribaciones de la Cordillera Central, que se extiende desde la localidad de Tierra dentro del Municipio del Líbano, hasta cerca de la Cabecera Municipal de Mariquita donde se une a la Falla de Mulatos; está marcando el contacto entre el

Complejo Cajamarca y Neises y Anfibolitas de Tierra dentro, es una falla de tipo inverso y no se tienen estudios más detallados que puedan indicar si se trata de una falla activa.

- **Fallas de Honda y Mulatos:** Limitan la depresión del Valle Medio-Alto del Magdalena por el oriente y occidente, respectivamente. La Falla Mulatos limita el borde occidental del Valle del Magdalena con la Cordillera Central. Atraviesa toda el área de estudio (cubierta por sedimentos recientes) y su traza se extiende desde el Río Totare en el Departamento del Tolima, hasta la parte sur del departamento de Antioquia; en este último Feininger et al. (1972), reconoció desplazamiento dextralateral de más de 15 km; en el Tolima su presencia pudo haber controlado la depositación de abanicos aluviales en la zona norte del departamento.

La Falla de Honda pone en contacto la Formación Mesa con el Grupo Honda en la parte este del área municipal, su traza se extiende desde la localidad de Cambao (Cundinamarca), hasta los alrededores de La Dorada (Caldas); través de esta estructura hasta el Río Magdalena se presentan los estratos del Grupo Honda levantados e inclinados al este. Aunque han ocurrido sismos fuertes cerca de la traza de falla, como el ocurrido en 1805, que destruyó gran parte de los Municipios de Honda y Mariquita, no se tienen registros sísmicos de su efecto en la zona, solo por evidencias de neotectónica registradas principalmente entre Honda y Guarinocito, se tiene como potencialmente activa.

_Otras Estructuras: En la fase de campo, de la formulación del E.O.T del Municipio de Armero Guayabal, se reportaron formaciones en forma puntual en la Formación Mesa como la observada en la Vereda Maracaibo, en donde se observó la manifestación de una falla de tipo inverso, con un salto de 40 cm, que amerita un estudio detallado para determinar nuevas estructuras en el área

municipal y posibles fuentes sismo génicas.

9.1.2.2 Geología local. Este tema se describió, en detalle, en el Capítulo 7, ítem 7.4 y está indicada en el Anexo IV-I,

9.1.2.3 Caracterización de los Suelos. Para la caracterización de suelos fueron ubicados tres (3) sectores para toma de muestras y análisis, (según el resultado de la geología estructural), en un sector representativo de la formación La Mesa; otro representativo del Abanico de Armero y el último del área de fincas en las estructuras de los coluviones, de la siguiente manera:

_TERRAZAS ALTAS EN LOMERÍO DE LA FORMACIÓN LA MESA. Los suelos se han desarrollado a partir de areniscas, tobas y arcillas. El relieve varía de ondulado a escarpado y las pendientes desde 7% hasta 75%. Es una zona poco apta para la actividad agrícola ya que está muy limitada por las bajas precipitaciones, alta evapotranspiración, poca profundidad efectiva de los suelos, fuertes pendientes y erosión moderada y severa; gran parte del área se utiliza para ganadería extensiva. La tala de los bosques, las quemadas y el uso inadecuado de los suelos, han ocasionado un avance progresivo de la erosión y el afloramiento de la roca en muchos sectores. Esta unidad es una asociación integrada por los suelos Lithic Ustorthents en un 40%; Typic Ustorthents en un 35% y afloramientos rocosos en un 25%.

El material parental de estos suelos está constituido por areniscas duras. En general son bien a excesivamente drenados, poco evolucionados, muy superficiales, limitados en su profundidad efectiva por la roca. El color del horizonte A es gris oscuro, la textura franco arenosa con gravilla y la estructura en bloque poco desarrollada. Químicamente son suelos casi neutros, pobres en materia orgánica, de capacidad catiónica de cambio media, saturación total de bases muy alta, saturaciones de calcio y magnesio muy altas, de potasio muy

baja; la disponibilidad de fósforo para las plantas es muy baja y la fertilidad moderada. Los resultados del Análisis Químico se indican en el Cuadro 18:

_SUELOS DE ABANICO TERRAZA ACTUAL EN FLUJOS DE LODO Y AGLOMERADOS, (PWIA y PWLB). Esta unidad corresponde al tipo de relieve de abanico - terraza subactual que se localiza en los valles de los ríos Sabandija, Quebrada Seca y otros; en la vereda Maracaibo. Los suelos se han desarrollado a partir de flujos de lodo y aglomerados. El relieve es plano y ligeramente inclinado con pendientes inferiores a 7%. En algunos sectores se presentan disecciones profundas. La vegetación natural ha sido destruida para dedicar tierras a la ganadería semi-intensiva y a cultivos de sorgo, maíz y algodón. Esta unidad cartográfica es una asociación integrada por los subgrupos Typic Ustropepts en un 60% y Vertic Ustropepts en 30%. Suelos Typic Ustropepts.

El análisis físico indica: El material parental de estos suelos está constituido por materiales tobáceos y andesíticos, que originan suelos bien drenados y moderadamente profundos, limitados por capas de cascajo, gravilla y piedra. El horizonte A es de color pardo grisáceo oscuro, textura poco desarrollada; el horizonte B es de color pardo grisáceo, textura franca, estructura en bloques, (angulares a subangulares débiles). Se presentan acumulaciones de carbonatos en forma de manchas blancas. De acuerdo con los análisis químicos, son suelos de reacción neutra a alcalina, de capacidad catiónica de cambio media, saturaciones de bases, de calcio y de magnesio muy altas, saturación de potasio alta, disponibilidad de fósforo para las plantas muy alta y fertilidad alta. Suelos Vertic Ustropepts.

_SUELOS DE VEGAS DE INUNDACIÓN. Estos suelos se encuentran en las zonas depresionales y de coluviones, son moderadamente bien drenados y moderadamente profundos. El horizonte A es de color gris muy oscuro a pardo

122

muy oscuro, de textura franco arcilloso y estructura poco desarrollada. El horizonte B es de color gris muy oscuro, de textura franco limosa y estructura en bloque angular, débilmente desarrollada. Generalmente se presentan horizontes humiteros enterrados a diferentes profundidades. Según los análisis químicos, son suelos ligeramente ácidos, de capacidad catiónica de cambio y saturaciones de calcio y magnesio muy altas, de saturación potasio media, disponibilidad de fósforo para las plantas muy alta y fertilidad alta. Según el Análisis Físico, La asociación está integrada por Litthic Ustorthents en un 50% y Tepic Ustorthensen un 50%. Se encuentran dos subpaisajes: MWFe2, con pendientes del 25 -50% y erosión moderada. Característico en las veredas Méndez y Maracaibo, (MWf2) con pendientes del 0 – 5 % y una erosión moderada. El resultado de los análisis químicos, efectuados por perfiles, a cada uno de estos horizontes se indica en el Cuadro 17:

CUADRO 17. Resultados análisis químicos al suelo.

PERFIL SUELO	Muestra	COORDENADAS		P.H.	C(%)	P(p.p.m.)	Complejo de cambio (meg/100ar)					Bases Tot.		Na PSI
		N	E				AL	C.I.C.	Ca	Ma	K	Na	Suma	
PT-20	1	1.044.958,00	920.820,00	6.2	0,69	20,3	17,6	5,4	0,8	0,26	0,2	6,66	38	
PT-21	2	1.047.747,00	919.753,00	6.5	0,52	4,2	14,7	5,2	1,7	0,38	0,5	7,78	53	
PT-22	3	1.044.311,00	920.061,00	7.4	0,46	9	29,4	11,3	2,3	0,38	0,6	14,58	50	

9.1.2.4 Sismología. Considerando este aspecto se analizó el Documento “BOLETIN DE SISMOS – JUNIO 2010”, del primer semestre de dicho año. Se trata de todos los registros de sismos a nivel nacional y que periódicamente publica la Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental de la Red Sismológica Nacional de Colombia. De acuerdo con el Mapa de Riesgo estudiado hasta la fecha este se califica como de amenaza baja para dicha zona.

El resumen de los ismos registrados en dicho lapso se indican en el Cuadro 18 A; se puede verificar que en el mes de febrero de 2010 se registraron cinco (5) sismos con intensidades de 0.9 a 2.2; en marzo se registró un solo sismo con intensidad de 0.9; en abril se registraron tres (3) sismos con intensidades de 0.1 a

120

123

2.1 y en junio se registró un solo sismo con intensidad de 2.7 tal como se presenta en el Cuadro 18.

CUADRO 18. Relación de sismos registrados en la zona de influencia de Armero Guayabal durante el primer semestre de 2017.

EVENTO	FECHA	HMS (UT)	LAT (Grados)	LONG (Grados)	Z (Km)	ML (Richter)
724	1-Feb-10	20:24;47.4	4.55	-75.21	35.00	1.40
768	3-Feb-10	17:31;34.2	4.41	-75.21	Sup	1.50
781	4-Feb-10	20:57;58.4	4.39	-75.20	7.00	1.60
890	10-Feb-10	04:20;25.8	4.45	-75.31	Sup	0.90
1219	25-Feb-10	21:26;49.1	4.36	-75.15	Sup	0.90
1482	9-Mar-10	09:35;10.3	4.40	-75.20	15.00	0.90
2249	10-Apr-10	15:33;34.0	4.36	-75.13	Sup	2.1
2274	12-Apr-10	03:10;39.9	4.47	-75.17	11.00	0.6
2653	27-Apr-10	19:43;26.4	4.43	-75.16	19.00	0.90
4311	27-Jun-10	15:40;45.4	4.42	-75.13	6.00	2.70

9.1.3 GEOMORFOLOGÍA. Esta zona del proyecto corresponde a un relieve de lomeríos y mesetas en contacto con un valle irregular de inundación, como resultado de los eventos tectónicos de las fallas estructurales, tales como la falla La Honda, paralela a la Falla de la Quebrada La Jabonera y los eventos de los flujos de lavas y lahares de los eventos del Volcán Nevado del Ruiz. (Ver Plano 11).

9.1.3.1 Variables Morfométricas. En el origen del relieve de esta zona también se tiene en cuenta la forma general del paisaje "unidad genética del relieve". De igual forma se identifican los procesos que la originaron y/o que están actuando sobre ella, (tales como erosión, sedimentación, tectonismo y la combinación de estos).

121

124

9.1.3.2 Morfogénesis. Se pueden diferenciar, en esta zona, unas geoformas o formas del paisaje específicas, las cuales se detallan y se clasifican por la posición relativa que ocupan, véase Cuadro 19. La diferenciación de estas geoformas es de vital importancia en los análisis de amenaza volcánica, inundación y remoción en masa.

CUADRO 19. Clasificación de las unidades genéticas del relieve y correlación con los procesos geodinámicos y unidades geológicas del Municipio de Armero-Guayabal sector Contrato de Concesión No. IL5 – 14011.

PROCESO MORFODINÁMICO	UNIDADES GENÉTICAS DEL RELIEVE	UNIDADES GEOLÓGICAS RELACIONADAS	SÍMBOLO
DEGRADACIÓN	Relieve de piedemonte colinados	Grupo Honda en zona de piedemonte y algunos cerros de la Formación Mesa	RPC
	Relieve de altillanuras degradadas	Formación La Mesa	RAD
	Relieve estructural inclinado	Grupo Honda entre la Falla de Honda y el Río Magdalena	REI
AGRADACIÓN	Relieve de piedemonte diluvio-aluvial	Formación Gualí y Abanico de Armero	RPDA
	Valle aluvial	Depósitos aluviales y terrazas del río Magdalena	VA

9.1.3.3 Morfodinámica. La degradación comprende la totalidad de procesos que contribuyen al modelado y reducción de los relieves iniciales, tales como: meteorización, erosión y remoción en masa. La mayoría de los paisajes geomorfológicos en proceso de degradación, hacen parte de las cadenas montañosas, colinas onduladas y lomeríos en general. Unidad genética de relieve de extensión regional que comprende antiguas llanuras de origen fluvio-volcánico de la Formación Mesa, localizadas a diferente altitud y constituidas por capas o estratos horizontales, los cuales están sometidos, actualmente, a un ataque fuerte de los agentes erosivos, que han transformado su morfología original.

9.1.3.4. Análisis Multitemporal. Para este análisis se integraron las fotografías aéreas, el plano topográfico, plano geológico, plano hidrogeológico; información

122

que permitió hacer un comparativo con las secciones; según el plano Fisiográfico (Plano 15). Permitiendo identificar una transformación del entorno por efecto de fenómenos geológicos catastróficos, (avalanchas de flujos laminares), represamientos y formación de valles extensos por denudación y últimamente transformación del suelo por la actividad antrópica, (principalmente de ganadería extensiva),

9.1.3.5 Modelo Geomorfológico. Para la construcción del modelo se integraron los siguientes elementos:

_Relieve de altillanuras degradadas (RAD). Las geoformas resultantes son cerros en forma de mesas, entre 50 y 300 m de altura, con escarpes, cañones y algunos pequeños conos o talud de derrubios. A menudo las colinas y lomas aparecen separadas por algunos valles estrechos producto de la Depositación de material que ha sido removido de estos mismos cerros., dentro del área de influencia directa ocupa una superficie de 1.127,54 hectáreas equivalentes al 56,60% del total del área.

_Relieve estructural inclinado (REI). Hace referencia a un paisaje escalonado de lajas triangulares y crestas alargadas con una tendencia norte-sur producto del levantamiento e inclinación de rocas sedimentarias del Grupo Honda, en la parte oriental del área municipal, esta situación se debe al movimiento de la Falla de Honda (véase Plano 11).

_Relieve de piedemonte colinado (RPC). Esta unidad la constituyen algunos cerros, conformados principalmente por rocas del Grupo Honda en la zona de piedemonte occidental del área municipal; su altura es variable, (10 m - 50 m) y el relieve predominantemente ondulado, Fotografía 2. La erosión es el proceso

dominante que esculpe permanentemente estas rocas, generando este tipo de estructuras.



FOTOGRAFÍA 2: Terrazas erosionales del Relieve de Atillanura, vía Maracaibo

La agradación comprende el conjunto de procesos geodinámicos constructivos, determinados por los agentes móviles (agua de escorrentía, cauces, glaciares, corrientes superficiales, etc.), los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie mediante la Depositación de los materiales resultantes de la denudación de relieves más elevados:

_Relieve de Piedemonte diluvio-aluvial (RPDA). Paisaje de gran dimensión, formado al pie de las estribaciones de la Cordillera Central, donde sucesivos flujos de lodo y escombros de tipo volcánico, (lahares), emergieron violentamente desde la parte alta de la cordillera, explayándose sobre los terrenos bajos en un patrón caótico sin sorteamiento alguno. Según el origen de estos flujos se pudieron determinar dos fuentes diferentes. Unos flujos provenientes de la parte norte, transportados al parecer por el río Gualí y probablemente derivados de la actividad del volcán Cerro Bravo, conocidos como Formación Gualí. Los de la parte sur son flujos transportados por el río Lagunillas y son producto de la actividad del volcán Nevado del Ruiz, estos últimos conforman el Abanico de Armero. Ver Cuadro 20.

129

_Valle aluvial (VA). Corresponde las llanuras aluviales y terrazas antiguas que forman El Río Sabandija, como también, las quebradas que confluyen a estos cauces en sus diferentes eventos de inundación.

CUADRO 20. Resultados para modelamiento geomorfológico del terreno, (a nivel regional).

SÍMBOLO	UNIDAD GEOLÓGICA RELACIONADA	UNIDADES GENÉTICAS DEL RELIEVE	PROCESO MORFODINÁMICO	ÁREA	%
RAD	Fomación Mesa	Relieve de altillanuras degradadas	Degradación	1127,54	56,60
REI	Grupo Honda entre la falla de Honda y el Río Magdalena	Relieve estructural inclinado		44,34	2,23
RPC	Grupo Honda en zona de piedemonte y algunos cerros de la Fomación Mesa	Relieve de piedemonte colinado		9,03	0,45
RPDA	Fomación Gualí y abanico de Armero	Relieve de piedemonte diluvio-aluvial	Agradación	55,03	2,76
VA	Depósitos aluviales y terrazas del Río Magdalena	Valle aluvial		756,07	37,96
Total				1992,01	100

9.1.4 GEOTECNIA. Con el propósito de establecer el comportamiento de las estructuras rocosas, (en la relación suelo alterado Vs roca inalterada), para efecto del cálculo para el diseño de los taludes finales y taludes de trabajo; se tomaron muestras y se sometieron a ensayos, con los resultados se efectuaron los cálculos que se presentan en los Cuadros 21 y 22.

9.1.4.1 Muestreo. Se realizaron muestreos en tres puntos del sector Sur, (en la zona del Frente que inicia demarcando el talud final del frente de explotación). Los resultados se indican en el Cuadro 22.

CARSA GOLDS S.A.S.**"Compañía Minera Colombiana"**Capítulo 9. Descripción y Caracterización Ambiental
Del Área de Estudio.


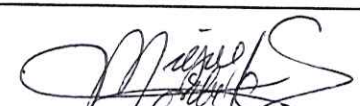
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Contrato de Concesión IL5-14011

CUADRO 21. Memoria de cálculo para determinar altura crítica de taludes en roca.

Adoptando la fórmula generalizada de Hoek y Brown:		
$G1 = G3 + Gc \times (Mb \times G3/Gc + S)a$, en donde:	710,46	Tn/m ²
G1 = Esfuerzo principal mayor.	1230,75	Tn/m ²
G3 = Esfuerzo principal menor.	450,36	Tn/m ²
Gc = Esfuerzo a la compresión	800,00	Kg/cm ²
Mb = Constante del material para el macizo rocoso (1.2).	1,20	
S = Constante, Macizo Rocosos Fam Diaclasas	0,0018	
a = Constante, Macizo Rocosos, Fracturación	0,48	
Aplicando la envolvente de Mohr, para determinar el Esfuerzo Cortante Principal (T)		
$T = C + G3 * \tan(\gamma)$	1810,79	Tn/m ²
C = cohesión	130,00	Tn/m ²
γ = Angulo de Plano de fricción.	75,00	°
$\tan(\gamma) =$	3,73	
Estimación de la Altura Crítica, (H), de los taludes, Jambu (1968):		
$H = Ne * (C/W * Fs)$	10,77	m
Ne = Numero de estabilidad (tomado de Tabla 4)	5,50	
C = cohesión	130,00	
W = peso unitario del bloque que conforma el talud	29.800,00	Kgf
Fs = Factor de Seguridad	2,23	

CUADRO 22. Resultados del análisis Geotécnico del terreno.

ENTORNO AMBIENTAL		ANÁLISIS: Geotecnia Superficial, Contrato de Concesion N° IL5-14011.			
Nit 952571-7		CLIENTE: CARSA GOLD COMPAÑÍA MINERA			
Control registro- Terreno - FM-03		Fecha Análisis: 16/02/2018 Lugar: VEREDA MARACAIBO			
CUADRO 22. Resultados del Análisis Geotécnico de Suelo Superficial, IL5-14011 Armero Guayabal.					
PERFIL	PROFUNDIDAD	GRADO DE INTEMPERISMO		RESISTENCIA A COMPRESIÓN NO CONFINADA (Mpa)	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA
		TÉRMINO	GRADO		
PT-20: N = 1'044,968 E = 920,820 Z = 361,26	El espesor promedio del suelo y cobertura vegetal es de 0.12 m. Profundización 0.60 m hasta la roca inalterada.	Intemperismo Alto	IV	0.6 - 5.0	Roca de RESISTENCIA MEDIA A ALTA. Constituida por una masa alterada con gránulos de tamaño superior a 2 mm, representados por arenisca (que ofrece poca resistencia al intemperismo), en una arena arcillosa de color parduzco (café - amarillo). Se observan núcleos de cuarzo, la muestra se desintegra fácilmente en contacto con el agua.
PT-21: N = 1'047,747 E = 919,763 Z = 319,89	El espesor promedio del suelo y cobertura vegetal es de 0.10 m. Profundización 0.40 m hasta la roca inalterada	Intemperismo Alto	IV	1.25 - 2.0	Roca de RESISTENCIA MEDIA. Conformada por una masa similar a la anterior en una matriz de arena y grava de color café parduzca. El material se desmenuza con golpes de martillo (de 2½ Libras).
PT-22: N = 1'044,311 E = 920,061 Z = 301,16	El espesor promedio del suelo y cobertura vegetal es de 0.20 m. Profundización 0.50 m hasta la roca inalterada.	Intemperismo Completo	IV	1.25 - 12.5	RESISTENCIA MEDIA A MODERADAMENTE ALTA. La masa de material presenta intemperismo completo, formado por arena - limo, con minerales (óxidos de Fe) de colores rojos y amarillos.
LABORATORIO ENSAYOS DE GEOTECNIA - ENTORNO AMBIENTAL					
ANALISTA:			REVISOR:		
 José Sierra Laboratorista			 Ingeniero MIGUEL OSWALDO MONTEALEGRE G Jefe Laboratorio		

9.1.4.2 Descripción macroscópica de los materiales. Esta descripción se tiene en el Cuadro 22, (DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA). Básicamente son gravas y arenas, provenientes de terrazas aluviales.

9.1.5 HIDROLOGÍA. Debido a la localización geográfica de la zona de estudio, ubicada en una zona de bajas latitudes, entre los 4° 15' y 5° 45' al norte del Ecuador, sobre la vertiente occidental de la cordillera Oriental en la zona Andina Colombiana, el clima de la región es de carácter tropical, determinado principalmente por las variaciones altimétricas, la topografía del relieve y la influencia que ejerce el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ITC), la cual genera a su paso dos períodos húmedos y dos secos que se presentan intercalados a lo largo del año. Ver Plano 12.

Otros elementos que ejercen influencia en las características climáticas de esta zona son las cuencas, (medias y bajas), de los ríos Sabandija y Lagunilla, hasta su confluencia en el Río Magdalena; además de la precipitación y la temperatura, son la humedad relativa, el brillo solar y especialmente los vientos.

Los vientos son de gran influencia en el clima de la zona, debido al accidentado relieve de los Andes se producen infinidad de corrientes de circulación local que generan microclimas en cada cuenca. Este fenómeno proviene de la circulación de las masas de aire originada por diferencias térmicas locales, luego de la calma matutina, los vientos comienzan a subir desde el fondo del valle hacia las vertientes, en las zonas de ascenso el enfriamiento provoca la condensación de agua, la aparición de nubosidad local en la parte alta de la cordillera y la generación de lluvias, por el contrario, en el centro del valle predomina el tiempo seco. En las horas de la noche la circulación se invierte.

9.1.5.1 Morfometría. La caracterización de cada una de las variables que permiten caracterizar el comportamiento de la Cuenca del Río sabandija se indican en el Cuadro 23.

CUADRO 23. Relación de parámetros de las cuencas de los Ríos Sabandija y Lagunilla.

No.	CUENCA	DESCRIPCION	AREA TOTAL (Has)	LONGITUD DEL CAUCE (Km)	CAUDAL (m3/seg)	NACIMIENTO (m. s. n. m)	DESEMBO CADURA (m. s. n. m)	MUNICIPIOS QUE LAS CONFORMAN	%
1	Río Guarinó	Río de gran importancia para el departamento porque sirve de límite departamental con Caldas, además que conforma la cuenca Mayor de su mismo nombre siendo una de las cuatro compartidas.	83.568.60	106.8	3.57837	3.679 msnm	186 msnm en el río Magdalena	Honda, Mariquita, Fresno, Herveo. Caldas	24.9% 75.10%
2	Río Gualí		80.568.60	104.5	18.22964	4.800 msnm	196 msnm en el río Magdalena	Herveo, Casabianca, Mariquita, Honda, Fresno, Palocabildo y Fálán.	100%
3	Río Sabandija	Dentro de esta cuenca se encuentran los cascos urbanos de los municipio de Armero - Guayabal y Fálán	52.558.60	59.6	4.08186	1.45 msnm	199 msnm en el río Magdalena	Armero- Guayabal, Fálán, Mariquita, Palocabildo y Casabianca.	100%
4	Río Lagunilla		83.335.50	88.5	15.74697	4.800 msnm en Cordillera Central en el Nevado del Ruiz	205 msnm en el río Magdalena	Ambalema, Lérída, Armero-Guayabal, Libano, Casabianca y Villahermosa.	100%
5	Río Recio	El río abastece el acueducto municipal de los Municipios de Ambalema y Lérída	75.288.70	100	19.01286	5.200 msnm en la parte alta de la cordillera Central en el volcán Nevado del Ruiz	240 msnm en el río Magdalena	Ambalema, Venadillo, Lérída, Libano, Santa Isabel y Munilo.	100%
6	Río Venadillo	Dentro de esta cuenca se encuentra el casco urbano del municipio de Venadillo	17.534.00	45	0.84781	2.250 msnm en el alto de la Palma	210 msnm en el río Magdalena	Venadillo, Ambalema y Santa Isabel.	100%

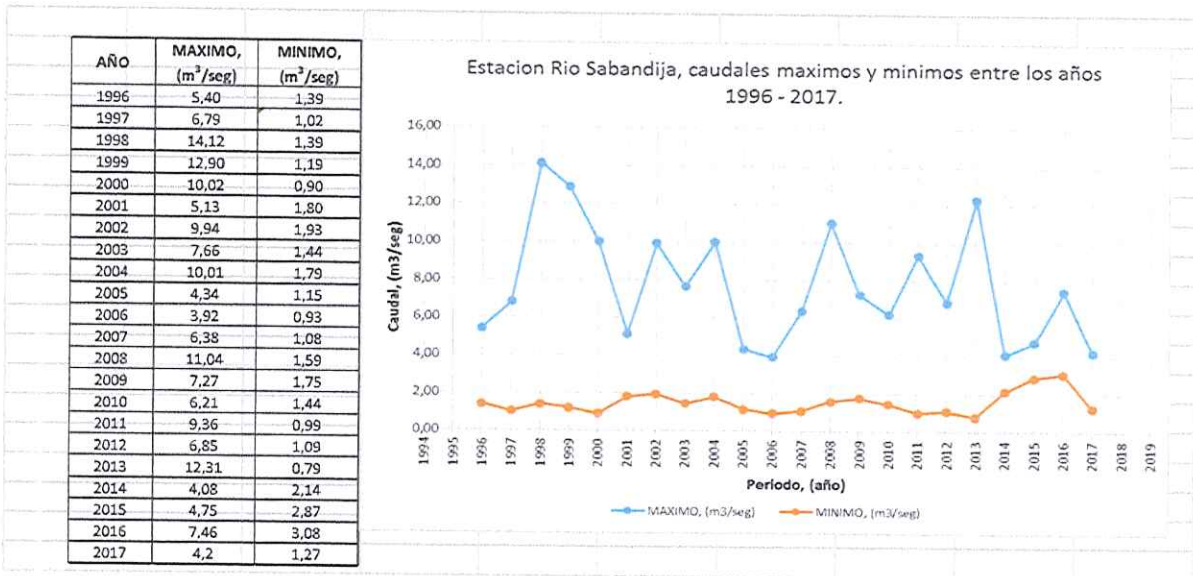
Fuente CORTOLIMA.

_MANEJO DE LA INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL RÍO SABANDIJA.

Los caudales del área de estudio, representados por la Estación Hacienda Armero en el punto, (N = 1'046.859 E = 909.830 Z = 295 msnm), encontrando para el período de los años 1996 – 2017, una tendencia aparentemente aleatoria en el

registro analizado. En el año 1998 la diferencia entre el caudal máximo y el mínimo es la más significativa del período, (junto con las de los años 1999 y 2013), según se puede establecer en el Cuadro 24. Los caudales mínimos presentan valores relativamente homogéneos, con preocupación principalmente con lo ocurrido en el mes de septiembre de 2015, (con un máximo de 14.12 m³/seg y un mínimo de 0.79 m³/seg), pues este mínimo descendió a los valores más bajos sin comprometer el caudal ecológico del cauce.

Cuadro 24. Caudales máximos mínimos Río Sabandija.



Fuente: Elaboración propia del equipo consultor en base información IDEAM – 2017.

Relación de Confluencia (Rb). Es la proporción existente entre el número de corrientes de una categoría y el de la siguiente, este se calcula dividiendo el número de corrientes de la categoría inferior por el número de corrientes de la superior; suele ser constante en la mayoría de las redes y oscila entre 3 y 5. De modo que la relación de confluencia se define con la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$R_b = (r_{l1} + r_{l2} + r_{l3} + r_{ln}) / n$$

Donde:

$$r_l = l_{n-1} / l_n$$

En el caso de la cuenca del Río Sabandija la relación de bifurcación fue de aproximadamente 4.07, valor que indica la propensión a la torrencialidad y el riesgo de crecientes súbitas ya que la cuenca tiene un tiempo de retención bajo, y alta concentración del agua en los canales de los drenajes de todos los tributarios que hacen parte de la misma.

_ **Relación de Elongación (Relong).** Es la relación que permite identificar la capacidad de evacuación del recurso hídrico de la cuenca a partir de la relación de las longitudes de los drenajes diferenciados de acuerdo al orden de magnitud de sus caudales medios; se estima según la ecuación siguiente:

$$R_{elong} = \sum l_n / l_{n-1}$$

La relación de elongación calculada para la cuenca del Río Sabandija presentó un valor de 6,13 este indica una alta capacidad de arrastre de materiales, tanto grava como arena con una elevada fuerza de empuje.

_ **Factor de Forma (Ff).** Este parámetro permite identificar la forma de la cuenca el Ff, (varía entre 0 y 1), desde geometrías de cuencas redondas a largas, respectivamente, por medio de la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del cauce principal:

$$F_f = A_p / LA$$

Donde:

A_p = Ancho promedio de la cuenca,

LA = Longitud Axial del drenaje principal,

El factor de forma calculado para la cuenca del Río Sabandija fue de 0,12 lo cual representa su forma trezada, lo que le hace una cuenca con tendencia a inundaciones, principalmente cuando se presentan crecientes en los cauces.

_ Frecuencia de Cursos de Primer Orden (F_i). Permite estimar la capacidad de expansión de la red de drenaje y permite realizar inferencias acerca del estado de equilibrio de la red. Se establece a partir de la relación existente entre la cantidad de drenajes de primer orden y el área total de la cuenca:

F_i = # Drenajes Orden 1 / Área de la cuenca. Para el Río Sabandija, se estableció un (F_i) de 0,12 el cual ratifica que más de un 60% del recurso hídrico de esta cuenca es aportado por la gran cantidad de drenajes de primer orden existentes. Este aspecto también tiene una relación con el aporte de materiales de arrastre desde los principales escarpes asociados.

_ Densidad de Drenaje (D_d). La densidad de drenaje representa la concentración de los drenajes en la cuenca. Se define a partir de la relación existente entre la superficie de la cuenca con respecto a los drenajes asociados a la misma.

$$D_d = (\sum LTD) / A$$

Donde:

LTD= Longitud total de los drenajes de cada orden,

A = Área de la cuenca.

Para el actual estado de la cuenca del Río Sabandija la densidad de drenaje tiene un valor de 0,84 km/km². Estas condiciones permiten verificar que hay una concentración media de drenajes por cada unidad de superficie de la cuenca, es decir son suficientes tributarios y drenajes que confluyen en el área.

_ **Índice Asimétrico (IA).** El Índice Asimétrico indica la proporción entre las diferentes vertientes del Río Sabandija; un índice de 5.66 refleja que la mayor parte de la vertiente se forma por tributarios cortos, concentrados en un sector específico de la cuenca que provocan cauces fuertes y de pronunciada velocidad que elevan el potencial erosivo en las zonas de confluencia.

_ **Coefficiente de Compacidad (Kc).** El coeficiente de compacidad (Kc) calculado para la cuenca del Río Sabandija fue de 1.22, que indica y confirma que la cuenca tiene una forma ovalada; pues el valor de este parámetro varía valores ≥ 1 y ≥ 1.5 , para cuencas redondas y alargadas, respectivamente. El coeficiente de compacidad se calcula aplicando la siguiente fórmula matemática:

$$Kc = IA / 2 (\pi A)^{1/2}$$

Donde:

IA = Índice asimétrico de la cuenca,

A = Área de la cuenca.

_ **Comportamiento Hidrológico en el área de interés.** En el sector, se puede apreciar que hay un déficit pequeño del recurso hídrico entre los meses de diciembre y marzo, siendo enero el mes con la mayor deficiencia del recurso, (relacionado con el período más intenso de verano en la zona). Ya en abril cuando comienza el período de lluvias, empieza a generarse un almacenamiento de

humedad en el suelo, con tal rapidez, que, entre abril y noviembre, se presenta un excedente progresivo de humedad en el suelo. Entre los meses de octubre a diciembre la humedad almacenada en el suelo empieza a ser consumida, o drenada hacia los cauces, de tal forma que, en el mes de enero, la humedad en el suelo decrece y en los meses de febrero y marzo, con el aumento leve en el agua precipitada el déficit deja de crecer y se empieza a aminorar, hasta prácticamente desaparecer por completo en el mes de marzo.

_ Información hidrogeológica. Los depósitos aluviales presentes en el área de la cuenca, así como lo es la porosidad y textura de la capa superficial del terreno, sumado a una elevada permeabilidad, más los conocimientos que se tienen en el ámbito regional se puede llegar a tener una evaluación de la importancia hidrogeológica de esta fuente de materiales y del recurso hídrico para la región y el departamento, permitiendo identificar las principales zonas así:

_ Zonas de Percolación e Infiltración en Acuíferos Libres (Zper). Se localizan en los valles aluviales de los ríos y quebradas y los caños menores, que discurren en toda el área al igual que en las rocas de origen aluvial de tipo dendrítico; por sus características de permeabilidad y alta porosidad constituyen los acuíferos libres y/o semiconfinados que pertenecen a esta unidad como son los depósitos aluviales recientes.

_ Zonas de Infiltración más Escorrentía (Zi + Zetb). Corresponde a las áreas o zonas de moderada permeabilidad y baja pendiente donde la lluvia y aguas de escorrentía se infiltran o discurren superficialmente. Estas superficies están constituidas por rocas areno arcillosas, esto ha generado flujos sub superficiales que regulan el ciclo hidrológico y de esta forma mantienen un aporte continuo de agua durante las épocas de sequía, (escasas lluvias), a los caños y quebradas.

Estas zonas son de gran importancia porque constituyen áreas amortiguadoras del balance hídrico entre la época de lluvias y sequía, constituyéndose en áreas reguladoras del ciclo hidrológico, al igual que hacen parte de los Acuíferos Libres, en la zona de influencia del proyecto, estas zonas hacen parte de las vegas de inundación aledañas a ambos márgenes del río, aunque con preocupación por la contaminación

9.1.5.2 Descripción de la Cuenca. El valor calculado de caudal para un período de recurrencia de 20 años es de aproximadamente 310 m³/seg; con los máximos de máximos. Con los medios de máximos mínimos el valor es de 125 m³/seg.

El caudal mínimo registrado, como muestra la curva de duración de crecientes mínimas de mínimas es de 25.87 m³/seg. Que es el rendimiento seguro de esta corriente del río Sabandija. El coeficiente de Manning indicado para este tipo de corriente es de 0.040. Para rangos de caudales extraordinariamente altos de flujo puede llegar a alcanzar a condición de crítico.

_ CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE:

Ocurrencia de Torrencialidad Alta, con abundante acarreo de sólidos, (cantos rodados desde 1" hasta más de 25" que incluye arenas de grano fino, medio y grueso); también con capacidad para arrastre de sedimentos tipo limos.

- El cauce es aluvial trenzado, por su caudal y pendiente el acarreo de sólidos y el tamaño de los sedimentos, caracterizado por la propensión a desarrollar islas y depósitos de sedimentos sobre el propio cauce; con una capacidad de arrastre del orden de 119.6 m³/hora de gravas y arenas, (sin incluir la carga del material limoso de carga de fondo).

_CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA DE LA CORRIENTE EN EL RÍO SABANDIJA EN LA ZONA DE ESTUDIO.

El cálculo se establece considerando los siguientes criterios:

_Al aumentar la velocidad de la corriente, aumenta su capacidad de transporte por lo que erosiona el fondo, al erosionar aumenta el área de las secciones y disminuye la velocidad hasta que ya no es posible erosionar más el fondo ni los taludes de las márgenes. La teoría principal que debe ser admitida es que el gasto unitario en cada franja es el mínimo mientras dura el proceso erosivo. En este ambiente se puede determinar el valor de la velocidad media que tiene la corriente considerando una franja B por la que pasa un gasto Q, en un punto de la playa que se registraron los datos para efectuar el modelamiento.

Aplicando la teoría Manning:

$$AQ = V \times AA$$

$$AQ = 1/n S V_i H_o^{5/3} AB \quad (i) \quad S = \text{Pendiente} = 0.1 \quad H_o = \text{Profundidad inicial} \quad a = 1/n S V_z$$

A medida que la erosión se produce aumenta el corte hasta alcanzar un valor HS, en este caso el gasto Q se puede expresar como:

$$AQ = V_r \cdot AA = V_r H_s AB(2)$$

De igualar 1 y 2 se obtiene: $V_r = a H_o^{5/3} / H_s$

Para determinar el caudal se toma en cuenta toda la sección por la que va a pasar el gasto del diseño.

$$Q_d = 1/n S \% H_m^{5/3} M / i$$

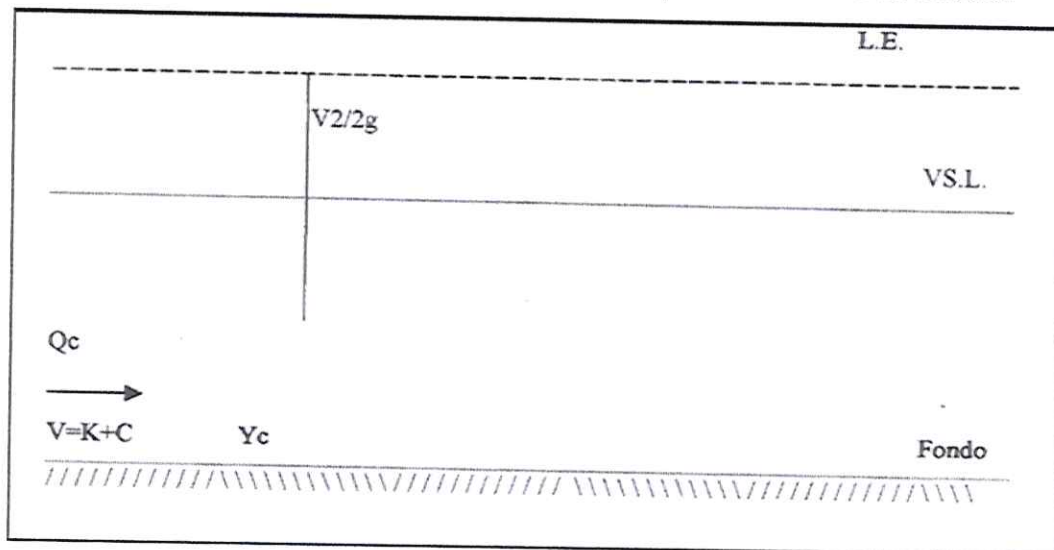
$$Q_d = a H_m^{5/3} M B$$

B = Ancho efectivo de la superficie libre = 80 m

M = Coeficiente de contracción

A medida que aumenta la profundidad (H_o) por la erosión, V_r disminuye y el equilibrio se obtendrá cuando esa velocidad sea igual a la que debe tener la corriente. El rango de valores y el coeficiente respectivo se indican en la Figura 5:

FIGURA 5. Cálculo del coeficiente de Contracción para estimativo de caudal.



Para no degradar el material del fondo (V_e)

$$V_r = V_e$$

V_e = para suelos no cohesivos = $0.68 B d^{0.28} H_s x$

v_e = para suelos cohesivos = $0.60 S^{1.18} B H_s x$

B = coeficiente según frecuencia de la avenida = 0.82 (50% de probabilidad).

D = diámetro del material de fondo = 0.3 mts

H = Tirante que se ha alcanzado con la erosión en mt.

_ Socavación del torrente a la salida de las curvas. Se trata del efecto de la profundización en un canal cercano a la margen exterior de las mismas, debido a la presencia de una corriente secundaria originada por la sobre elevación del agua en el lado exterior (Fuerza Centrífuga); esto ocurre en la margen exterior de una curva, la máxima profundidad varia a lo largo de la curva generalmente se presenta del centro hacia aguas debajo de la misma. Para calcular se puede aplicar el criterio de Altumin.

Donde

H máx. = es la máxima profundidad que puede ocurrir en algún punto a lo largo de la curva

H máx. = $\epsilon \cdot H_{red}$ ϵ = coeficiente que depende de R/B
R = ancho de la curva
B = ancho de la superficie libre

Cuanto mayor es R/B menor es H rec = tirante medio en el tramo recto.

_ Socavación del fondo y lados de las márgenes del Río Sabandija en el área del proyecto. En la zona del proyecto se evidencia el descenso del fondo del Río, cuando se presenta una avenida, debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión, partículas que toma del fondo del cauce y de la socavación de los taludes de las márgenes.

La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho del cauce durante el paso de la avenida, en ocurrencias torrenciales.

Según Lischtuan – Levidiev las expresiones para evaluarla son las siguientes:

Hs = $\frac{H_o^{5/3}}{0.68 \cdot D_m \cdot 0.28\beta}$ Donde:

Hs = Desnivel entre la superficie del agua (al pasar la avenida) y el fondo erosionado.

Hs y **Ho** = se miden en cada vertical donde se desee hacer el cálculo.

Be = Ancho libre de la superficie al presentarse la avenida.

Dm = Diámetro medio si el material del fondo es altamente friccionante.

X = Exponente en función de **Dm** o según el tipo de material del fondo.

B = Coeficiente del período del retorno de gasto de diseño.

Ho = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida, y el nivel del fondo original (medio antes de la avenida).

Hm = Tirante medio-medio entre la superficie del agua al pasar por la avenida y el fondo original, se obtiene de

Dividir el área hidráulica entre el ancho de la superficie libre **Be**.

Dd = Gasto de diseño.

s = Peso volumétrico seco, si el material es cohesivo.

a = Coeficiente, depende de la concentración del material transportando en suspensión.

u = Coeficiente depende de la concentración del cauce.

Los resultados se pueden comparar en el Cuadro 25:

CARSA GOLDS S.A.S.**"Compañía Minera Colombiana"**Capítulo 9. Descripción y Caracterización Ambiental
Del Área de Estudio.

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Contrato de Concesión IL5-14011

CUADRO 25. Resultado del modelamiento de transporte de fondo.

PARAMETRO	VALOR	Unidad
Distancia Medida a lo largo del eje del Canal, (X)	3.750,000	m
Tiempo transcurrido, (t)	120,000	seg
Caudal, (Q)	125,400	m3/seg
Area Hidraulica	75,300	m2
Flujo Lateral, (q)		m3/seg
Altura Nivel del agua, (DATUM), (h)	1,750	m
Coefficiente de Rugosidad de Chezy, ©	0,250	m ^{1/2} /seg
Radio Hidraulico, ° R	20,000	m
Aceleracion de La Gravedad, (g)	9,800	m2/seg
Factor de Correccion, Fa		
Transporte en Suspension, (St) = 0,037Q ^{2,327}	2.824,490	Tn/dia
Transporte de Fondo, (Sb) = 0,015Q ^{2,125}	431,493	Tn/dia

9.1.5.3 Evaluación climatológica de la zona de estudio. Teniendo en cuenta el comportamiento climático de la zona y la falta de información para cada una de las dos (2) subcuencas, (ríos Lagunilla y Sabandija), esto como consecuencia de una escasa cobertura de las redes climatológicas, el análisis se realizó de manera regional a nivel de estación climatológica y extrapolada a nivel de cuenca de tercer orden, (puesto que no se contó con suficiente información). Las estaciones climatológicas y pluviográficas utilizadas en el presente análisis se relacionan en el Cuadro 26:

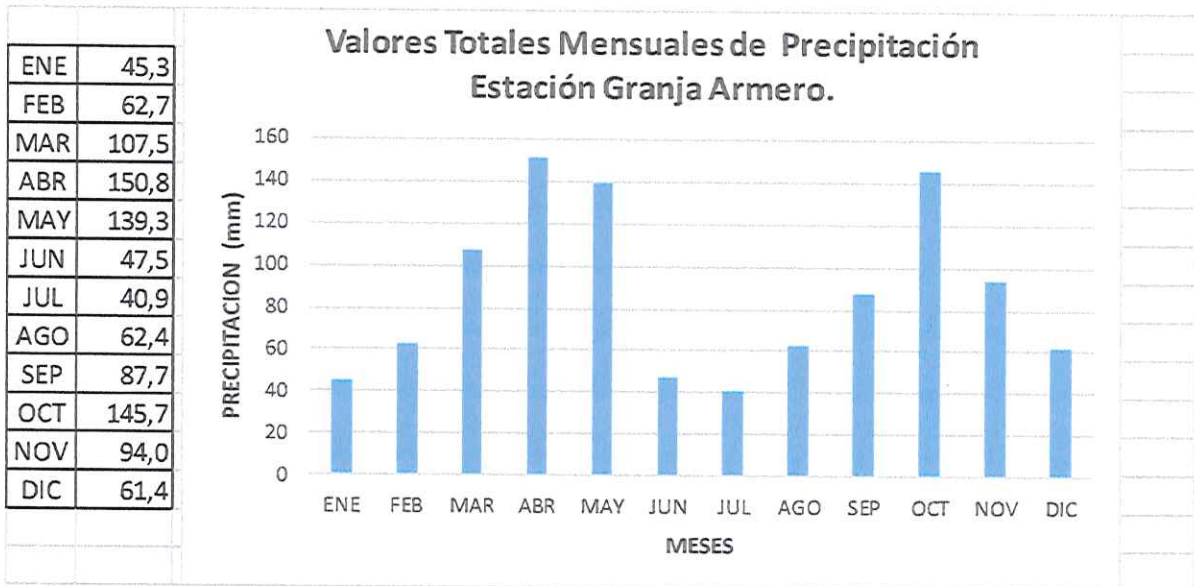
CUADRO 26. Estaciones Climatológicas Cuenca Vertiente Suroriental Río Sabandija.

CÓDIGO	NOMBRE	ESTE	NORTE	ALTITUD, (msnm)	TIPO	AÑOS DE REGISTRO
21255090	GRANJA ARMERO	907.312	1'046.241	300	CP	44
21250450	HACIENDA POTOSÍ	911.015	1'051.765	341	PM	14
2120566	SANTUARIO	947.944	1'044.320	320	CP	33

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar PM: Pluviométrica PG: Pluviografica AM: Agrometeorologica
CP: Climatológica principal CO: Climatológica ordinaria

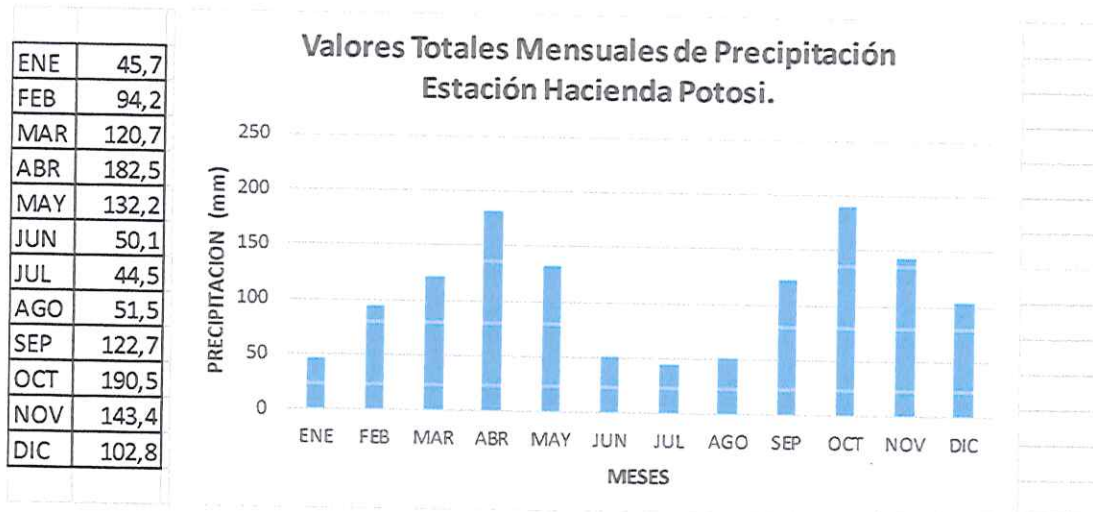
La estación climatológica de la Granja Armero, localizada en la cuenca del río Sabandija, presenta dos períodos húmedos con condiciones similares de valores de precipitación, registrándose valores máximos sobre los 150,8 mm en los meses de abril y octubre; tres meses de duración y dos períodos secos con valores mínimos en la segunda temporada del año, durante los meses de junio y julio con precipitaciones sobre los 40,9 mm y un primer período seco con mínimos de 61,4 mm en diciembre. (Ver Cuadro 27).

CUADRO 27. Valores totales de precipitación, totales mensuales, estación Armero.



La cuenca del río Sabandija y la Quebrada La Jabonera, presentan un comportamiento similar con dos períodos de invierno con precipitaciones máximas en abril octubre, registrando valores cercanos a los 190 mm y dos períodos secos, uno muy corto en el mes de enero y el segundo con una duración de tres meses y valores mínimos de 44,5 mm en julio. (Ver Cuadro 28).

CUADRO 28. Valores totales de precipitación, totales mensuales, estación Potosí.



El análisis de los valores de precipitación y de su distribución tanto temporal como espacial se realizó a partir de los valores medios mensuales y totales anuales de las estaciones localizadas dentro de la cuenca de la vertiente suroriental del río Sabandija y su área de influencia, posterior a un análisis de consistencia de la información.

9.1.5.4 Usos y Conflictos de las Corrientes de agua.

En el área de influencia del proyecto se tiene que, aunque la Quebrada La Cimarrona, (tributaria del Río Lagunilla), mantiene caudales mínimos del orden de 3,5 Lt/seg y máximos de 42,4 Lt/seg, es un cuerpo de agua importante el cual tiene concesionado su 70%, (aunque en la práctica se consume más de lo concesionado). En cuanto a la Quebrada La Jabonera, preocupa que solamente se registran caudales en épocas de lluvia, pues a causa de las prácticas de captaciones para riego y la pérdida de sus coberturas en las zonas protectoras, se convirtió paulatinamente en un cuerpo intermitente, (igual ocurre con los demás tributarios de este cuerpo y de las demás Quebradas que tributan a la Quebrada

la Jabonera). Los ríos Sabandija y Lagunilla mantienen uniformidad en sus caudales, pero están siendo objeto de usos para consumo humano, riego y vertimientos. Esto amerita un plan de ordenamiento para efecto de optimizar el recurso en la región.

9.1.5.5 Análisis geomorfológico y multitemporal del área a intervenir. La distribución de la precipitación a lo largo del año está marcada por el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), franja de bajas presiones a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los grandes cinturones de alta presión, ubicados en la zona subtropical de los hemisferios Sur y Norte, dando origen a la formación de grandes masas nubosas y abundantes precipitaciones. La ZCIT tiende a seguir el desplazamiento aparente del sol con un retraso aproximado de dos meses.

La ocurrencia de dos estaciones lluviosas a lo largo del año, la primera de comienzos de abril a finales de junio y la segunda de septiembre a finales de noviembre, se originan por el paso de la ZCIT sobre la región, con el movimiento de sur a norte de la ZCIT para el primer período húmedo y el desplazamiento descendente de norte a sur para el segundo período; entre los dos períodos húmedos se intercalan dos períodos secos. En la zona sur de la cuenca el primer período de lluvias del año es más intenso que el segundo, condición que se invierte en la medida que se desciende por el río hasta la desembocadura del río Sabandija en el Magdalena, por otra parte, los dos períodos secos presentan un comportamiento similar a lo largo del año.

Además del paso de la ZCIT, el segundo proceso climatológico que determina el comportamiento de la precipitación en la cuenca tiene su origen en los sistemas convectivos de que se forman en el valle del Magdalena Medio, generando lluvia de carácter orográfico sobre la vertiente occidental de la cordillera Oriental, con

mayor predominancia en la parte sur de la cuenca debido a las condiciones topográficas.

El análisis del comportamiento temporal y espacial de las temperaturas medias y máximas se realizó a partir de la información registrada en las estaciones climatológicas de La Argelia, localizada en la parte más baja de la cuenca, Jerusalén situada en la parte media de la cuenca del río Seco, El Salto ubicada en el departamento del Tolima a la altura del municipio de Beltrán y la estación del Aeropuerto Palanquero, localizada en los alrededores de Puerto Salgar.

Temporalmente, el comportamiento de la temperatura media no presenta mayores variaciones a lo largo del año entre los meses más cálidos, julio y agosto y los de menores temperaturas, correspondientes a los meses de mayo y noviembre, registrándose temperaturas medias anuales sobre los 28 °C y ajustándose dicha variación a la ocurrencia de los períodos de invierno y los dos de verano. De igual forma, los valores máximos y mínimos de temperatura, no presentan grandes diferencias en el año con respecto al promedio, observándose diferencias no mayores a los 3 °C en los valores extremos entre el mes más frío y el más caluroso.

Las variaciones diarias de la temperatura son más drásticas, especialmente en las partes de mayor altura de la cuenca y durante los meses más cálidos, correspondientes a los meses de agosto y septiembre.

9.1.5.6 Calidad del agua. Los análisis se efectuaron sobre los cuerpos de agua de los cauces que mantienen caudales para su registro como son los Ríos Sabandija, Lagunilla y La Quebrada Cimarrona, (en época de lluvia). La quebrada La jabonera tiene un curso W – E, (en la zona Occidental, luego cambia a la dirección N-S hasta su confluencia en el Río Sabandija, en la actualidad,

permanece sin lámina de agua durante dos terceras partes del año, (solamente en épocas de lluvias presenta caudal).

La quebrada Cimarrona tiene un curso Norte – Sur, en el transcurso del año dos terceras partes del mismo permanecen sin lámina de agua, pero drena una amplia zona del sector de la vereda Maracaibo y la parte plana del municipio Armero hasta su confluencia en Río Lagunilla.

El río Lagunilla tiene aprovechamiento de sus aguas mediante dos (2) distritos de riego uno denominado ASUCORAS y el otro PINDAL – MARACAIBO, el cual no ha sido terminado en sus obras.

El río Sabandija es bastante aprovechado y al final de su curso sirve para abastecer de agua a la comunidad de Méndez, mediante un deficiente sistema de bombeo, su agua es utilizada para el uso doméstico, riego y sustento de la ganadería; En gran parte de la zona que recorre los tributarios más importante que recibe éste río son : Quebrada Caparrapí, Quebrada Santa Lucía, Quebrada Seca, Quebrada Santa Cecilia y el río Cuamo, a la altura de Méndez vierte sus aguas al Magdalena y es rico Ictiológicamente principalmente en Bocachicos y Nicuros, aunque ésta riqueza es sobre explotada por las gentes de Armero Guayabal y Méndez.

Los resultados de los análisis físico-químicos se observan en los reportes oficiales contratados por la empresa y efectuados por CORCUENCAS y SGS; de los muestreos realizados en los cuatro muestreos del año de 2017, (véase Anexo V), se determinó lo siguiente para cada uno de aguas superficiales analizadas, así: El Río Sabandija nace en las estribaciones del Nevado del Ruiz, en jurisdicción de la vereda La Cabaña y desemboca al Río Magdalena pasando por los municipios de Villahermosa y Armero-Guayabal y recorriendo las veredas El Hato y Méndez.

Se observa que las aguas del Río Sabandija son de mineralización baja, pH neutros, con contenido bajo de sales inorgánicas, de alcalinidades y dureza bajas, con buen nivel de oxígeno disuelto (< 83,8 % de Saturación), sin presencia de grasas, con contenido bajo de materia orgánica (DBO5 < 10,0 mg O2/L) e inorgánica (D.Q.O < 20,0, mg O2/l), sin presencia de elementos tóxicos, con valores moderados de Sólidos en Suspensión y Turbiedad. Al observar los parámetros analizados, aguas debajo de la cuenca, se observa el incremento bajo en los parámetros PH, Temperatura, Alcalinidad Total, Dureza Total, Conductividad Eléctrica, Cobre, Cloruros, D.Q.O y Sólidos Totales, incrementos significativos de Hierro, Turbiedad, Sólidos Suspendidos, D.B.O.5 y disminución del oxígeno disuelto de 0,6 mg O2/L, algo poco significativo. El aumento algo significativo presentado en algunos parámetros y disminución del O.D, confirma que a lo largo de su cuenca está influenciado por el vertimiento de las aguas residuales domésticas tratadas en la PTARD. Mas sin embargo estos cambios, no provocan que los valores de los parámetros analizados, sobrepasen los niveles permisibles de las Normas Colombianas, excepción de la Turbiedad, la cual presenta siempre valores por encima de la Norma, desde el punto físico-químico.

El Río Lagunilla tiene los siguientes parámetros: Mineralización baja, pH ácido, contenido bajo de sales inorgánicas, de alcalinidades y dureza muy baja, con bajo nivel de oxígeno disuelto, (64,9 % Saturación), sin presencia de grasas y aceites, sin presencia de elementos tóxicos y moderado contenido de Hierro, con contenido bajo de materia orgánica e inorgánica, aguas tipo C1-S1 (Sodización y salinidad baja), de valores bajos de Sólidos en Suspensión y moderada Turbiedad. Agua de buena calidad físico-química desde el punto de vista fisicoquímica para uso agrícola pero no para consumo humano, la cual deberá ser tratada especialmente para Turbiedad, pH y Sólidos Suspendidos.

9.1.6 HIDRÁULICA. Este tema NO aplica puesto que los materiales de arrastre no son objeto de explotación en este proyecto, la explotación se va a realizar para materiales de construcción de cantera (arenas y gravas); para efectos de conocer los parámetros hidráulicos del Río Sabandija (en el tramo que pasa por la zona del título Minero, se tomaron datos de campo para un transecto de 3,5 Km y se calculó la recarga y la carga de fondo, tal como se presentó en el ítem 9.1.5.2.

9.1.6.1 Relaciones de aporte. Estimadas en el Cuadro 25.

9.1.6.2 Precipitaciones. Indicadas en el ítem 9.1.5.3.

9.1.6.3 Caudales. Calculados y presentados en el Cuadro 25.

9.1.6.4 Calculo de sedimentaciones máximas, medias y mínimas. Indicados en el Cuadro 25.

9.1.6.5 Calculo de parámetros hidráulicos. El resultados en el Cuadro 25.

9.1.6.6 Modelamiento hidráulico. NA

9.1.6.7 Transporte y sedimentación. Resultados en el Cuadro 25.

9.1.6.8 Recarga. Según Cuadro 25.

9.1.6.9 Factores de retorno. NA

9.1.7 HIDROGEOLOGÍA. En el área de influencia directa la cuenca principal está relacionada con el Río Sabandija, (el cual confluye en la Cuenca Mayor del Río Magdalena en el extremo nororiental); en menor proporción la Cuenca del Río Lagunilla, que también confluye en el Río Magdalena (al cual confluye la Quebrada La Cimarrona), en el extremo suroccidental del área del Título Minero. Para la ubicación de cada uno de los recursos hídricos, (superficiales y subterráneos), se utilizó la base cartográfica en escala 1:10.000; luego se efectuó un recorrido llevando GPS, (GARMIN Oregon 650); Dron con cámara procurando tener los registros de todos y cada uno de los mismos. El Plano 13 corresponde al

detalle de las cuencas hidrológicas, en el cual se encuentran las zonas de las estructuras de los principales drenajes de los Ríos Sabandija y Lagunilla, (un sistema dendrítico y sub-paralelo), Forman valles y vegas de corta extensión, las cuales son aprovechadas para cultivos de arroz, secanos y pastos para ganadería. Finalmente integrando los resultados se generaron los perfiles hidrogeológicos presentados en los Planos 14 y 15 respectivamente.

9.1.7.1 Recurso hídrico subterráneo. Con el propósito de identificar las estructuras que contienen los acuíferos se tomó la base geológica regional, en una cartografía escala 1:10.000; la información geológica de apiques y trincheras, superponiéndola sobre el sistema de ríos, quebradas, drenajes, pozos y aljibes inventariados y se propuso realizar siete (7) líneas geoelectrica SEV con una longitud cada una de 300 m lineales, para tener una cobertura de datos en profundidad de unos 100 m; que permitan diferenciar litologías y zonas de acuíferos.

Según los informes geológicos del presente EIA, para el registro litológico, (referenciada de la Plancha IGAC - 207 – Honda), se identificaron y analizaron las unidades de suelo y roca aflorantes en el área de estudio, así como las principales estructuras identificadas en campo; se adelantó el control de campo a través de recorridos al área de influencia del proyecto, principalmente en los sitios de evidencia de presencia de fallas estructurales. Ver Plano 13.

_ METODOLOGÍA PARA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.

Para la caracterización hidrogeológica del área de estudio, (en jurisdicción de Armero Guayabal - Tolima), se realizó la consulta de fuentes de información secundaria y labores de campo. Posteriormente se efectuó una zonificación de

unidades hidrogeológicas de acuerdo a lo contemplado por el Servicio Geológico Colombiano y la Unesco en la Guía Internacional para la presentación de la Leyenda de Mapas Hidrogeológicos y la realización de la prospección Geoeléctrica SEV para obtener el modelo hidrogeológico.

_ CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Los análisis y resultados de este elemento del estudio son apoyados en la cartografía desarrollada de manera específica y en contexto de este proyecto, a través del Mapa de Hidrogeología y de la correlación estructural de las unidades hidrogeológicas identificadas en la zona del proyecto. (Ver planos 14 y 15).

El principal objetivo de la caracterización hidrogeológica es estimar la capacidad de las unidades de roca y depósitos recientes para almacenar y transmitir el agua subterránea; de acuerdo a la clasificación de las unidades de roca y depósitos recientes, frente al comportamiento hidrogeológico, se consideran los siguientes tipos:

- Acuíferos. Estrato o formación geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua por sus poros y/o grietas. Dentro de estas formaciones se encontró en el lugar la presencia de materiales muy variados como gravas, areniscas porosas, arenas, formaciones volcánicas, depósitos lahares, las cuales además de ser económicamente explotables permiten establecer un patrón de intercalaciones de estratos impermeables alternados con otros permeables. El más interesante es el contacto entre el miembro inferior de la Formación La Mesa, (Tsm) con el miembro superior del Grupo Honda, dando origen a un sistema de acuífero del tipo semiconfinado.

- **Acuicludos.** Formación geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. Se pueden citar como ejemplos los depósitos arcillosos de cualquier origen. No se evidenciaron este tipo de estructuras en la zona del Título Minero.
- **Acuitados.** Formación geológica que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas; sin embargo, bajo condiciones especiales permiten una recarga vertical de otros acuíferos, que puede llegar a ser muy importante en ciertos casos. Tampoco hay indicios de su existencia en esta zona.
- **Acuífugos.** Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua, ni la pueden transmitir, como por ejemplo un macizo granítico que no esté fisurado o unas rocas metamórficas sin meteorización, ni fracturación, estas se consideran impermeables. No existe este tipo de acuífero en el área.

La recarga por efecto del agua lluvia y/o de escorrentía, que una vez satisface las necesidades de humedad del suelo, entra al sistema hidrogeológico o más precisamente percola y alcanza la zona freática y renueva las reservas del acuífero, es importante en esta zona, (pero es limitada a unas pocas épocas del año); la zona de recarga o alimentación en esta área, en la superficie del terreno donde se dan los procesos de infiltración del agua se presenta en todas las unidades de roca y limitada las unidades acuíferas, (de la Formación La Mesa y Grupo Honda).

En el trabajo de campo no se evidenció descarga, (flujo de alguna una corriente, manantial o sistema de agua subterránea) donde el agua salga o brote del acuífero. El área de estudio se encuentra ubicada en la denominada Provincia

Hidrogeológica del Magdalena Medio. La zona de influencia se ubica en la región geológica del Valle Medio del Magdalena, donde se presentan rocas y sedimentos, con diferentes propiedades litológicas, que pueden conformar acuíferos por porosidad primaria y secundaria y algunas con limitados recursos hídricos, cuyas edades varían del Precámbrico al Holoceno.

La mayoría de las investigaciones las ha realizado el Servicio Geológico Colombiano, que involucran el inventario de puntos de agua, cartografía geológica, geoeléctrica, perforación de pozos, hidráulica e Hidrogeoguímica, pero también han sido objeto de evaluación y control por las Corporaciones Autónomas Regionales, que han realizado entre otros, las actualizaciones de inventarios de puntos de agua subterránea y estudios hidrogeológicos de algunos de sus principales acuíferos, los municipios han realizado investigaciones puntuales encaminadas a la exploración del recurso hídrico subterráneo para abastecimiento público. El Atlas de agua subterránea de Colombia, en escala 1:500.000, elaborado por Servicio Geológico Colombiano³, en la memoria técnica de la plancha 5-14, compila gran parte de la información hidrogeológica analizada en la zona, hasta la fecha de elaboración de este documento y cuya información es utilizada en el presente informe para la descripción de las unidades y sistemas hidrogeológicos.

9.1.7.2. Unidades hidrogeológicas. Las principales características de los sistemas acuíferos aflorantes en el área de estudio y su área de influencia, con la valoración de las unidades desde el punto de vista de su capacidad para almacenar agua subterránea, siguiendo la metodología desarrollada por AIH, (Asociación Internacional de Hidrogeólogos), y propuesta en Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, se describen en el Cuadro 29:

³ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Óp. Cit. 2004.

CUADRO 29. *Sistemas acuíferos presentes en la zona de estudio, municipio de Armero.*

SISTEMA DE ACUÍFERO	CARACTERÍSTICAS DE LOS ACUÍFEROS	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO INTERGRANULAR		
Acuíferos de mediana productividad, capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m	Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial. Acuíferos generalmente confinados con agua recomendable para cualquier uso.	Tsm – Formación Mesa. Tsh - Grupo Honda.
Acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m	Sistemas acuíferos discontinuos de extensión regional a local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de baja consolidación de ambiente coluvial y fluvial que desarrollan acuíferos libres y localmente confinados y por rocas terciarias de ambiente volcánico y fluvial con acuíferos de tipo confinados. Almacenan agua recomendable para cualquier uso.	Qar – Depósitos Coluviales. Qal – depósitos aluviales. Qt – Depósitos de terrazas altas.

Fuente: GALC, 2017, con información del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2004.

CUADRO 30. Leyenda unidades hidrogeología.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
A-1	Sistema acuíferos de mediana productividad
A-2	Sistema acuíferos de baja productividad

Fuente: GALC, 2017, con información del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2004.

A-1: Sedimentos y rocas con flujo intergranular

A-2: Sistemas acuíferos de mediana productividad, capacidad específica entre 1.0 y 2.0 l/s/m

Sistemas acuíferos continuos de extensión regional, conformados por rocas sedimentarias terciarias poco consolidados, de ambiente fluvial, que conforman acuíferos de tipo confinados con aguas recomendables para cualquier uso. Dentro de este sistema hidrogeológico se encuentran los acuíferos del Grupo Honda (N_{1gh}) y la Formación La Mesa (T_{sm}). Sus zonas de recarga se consideran de baja capacidad de infiltración, la cual proviene en primera instancia de la precipitación que cae directamente sobre sus afloramientos; otra recarga se efectúa a través de las corrientes superficiales en especial durante las épocas de lluvia, por cuanto la mayoría de ellas son intermitentes.

➤ **A-2. Sistemas acuíferos de baja productividad, capacidad específica entre 0.05 y 1.0 l/s/m.**

Corresponde a sistemas acuíferos discontinuos de extensión regional a local, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados, de ambiente coluvial y fluvial, que generalmente conforman acuíferos de tipo libre y localmente confinado. Almacena aguas recomendables para cualquier uso. Dentro de este sistema

hidrogeológico se encuentran los acuíferos de los depósitos cuaternarios coluviales, aluviales y terrazas aluviales. El acuífero es continuo, de extensión regional limitada, multicapas y de tipo confinado. Presenta valores de transmisividad entre 50 y 200 m²/día, coeficientes de almacenamiento del orden de 1,0 a 0,5 metros; conductividades hidráulicas menores de 1,0 m/día y bajas capacidades específicas, entre 0,05 y 1,0 l/s/m.

Los acuíferos de los depósitos aluviales (Qar), conforman acuíferos locales a regionales, la mayoría libres de baja productividad, en capas individuales, discontinuas y con espesores que generalmente no superan los 30 metros. Sus zonas de recarga se consideran de baja capacidad de infiltración, la cual proviene en primera instancia de la precipitación que cae directamente sobre sus afloramientos, otra posible recarga se efectúa a través de las corrientes superficiales únicamente durante las épocas de lluvia, por cuanto la mayoría de ellas son intermitentes.

9.1.7.3 Inventario de puntos de agua. Se inició con la ubicación de los principales cuerpos de aguas tanto superficiales como subterráneas, (aljibes y pozos), así:

_INVENTARIO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL. Mediante un recorrido por ambas veredas, (Maracaibo y Méndez), con acompañamiento de líderes de dichas comunidades, se visitaron las fincas y predios, registrando con GPS la ubicación de cada uno y midiendo las profundidades. El análisis se presenta en el Cuadro 31:

CUADRO 31. Descripción y ubicación de los principales cuerpos de agua superficiales Quebradas y drenajes, (área de influencia del Contrato de Concesión IL5-14011).

	CUERPO DE AGUA	COORDENADAS INICIO		COORDENADAS CONFLUENCIA		COTAS, (msnm)		ÁREA, (m ²)	LONGITUD, (m)	DESCRIPCIÓN
		NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	INICIAL	CONFLUYE			
1	LAGUNA BOTELLO	1.047.862,00	919.700,00	1.047.862,00	920.136,00	238,62		195.077,50		Laguna artificial; capta aguas de las Quebradas Los Muertos y Limonar.
2	RESERVORIO - O1	1.043.186,00	920.585,00	1.043.140,00	920.674,00	268,24		3.336,48		Lago artificial, recibe solamente aguas lluvias, ubicado en predios del sector La Mina, utilizado para riego y ganadería.
3	RESERVORIO - O2	1.042.816,00	920.571,00	1.042.876,00	920.647,00	267,958		2.748,70		Lago artificial, recibe solamente aguas lluvias, ubicado en predios del sector La Mina, utilizado para riego y ganadería.
4	RESERVORIO - O3	1.042.600,00	920.548,00	1.042.662,00	920.584,00	272,55		1.543,23		Lago artificial, recibe solamente aguas lluvias, ubicado en predios del sector La Mina, utilizado para riego y ganadería.
5	RESERVORIO - O4	1.042.855,00	921.157,00	1.042.803,00	921.197,00	268,10		1.710,94		Lago artificial, recibe solamente aguas lluvias, ubicado en predios del sector Hacienda La Mina, utilizado para riego y ganadería.
6	QUEBRADA LOS MUERTOS	1.046.978,00	918.318,00	1.047.352,00	919.577,00	265,48	242,75	45.573,90	1.519,13	Recoge únicamente aguas lluvias, confluye en la Quebrada Limonar.
7	QUEBRADA LIMONAR	1.046.581,00	918.702,00	1.047.394,00	919.745,00	267,27	241,55	42.039,00	1.401,30	Actualmente su caudal es intermitente, confluye en la LAGUNA BOTELLO.
8	QUEBRADA BATAN	10.481.847,00	920.669,00	1.048.185,00	920.664,00	278,5	228,44	23.467,20	782,24	Actualmente su caudal es intermitente, confluye en la margen derecha del Río Sabandija.
9	ZANJÓN CAUCAYA	1.047.773,00	920.713,00	1.047.119,00	921.197,00	277,22	237,1	19.834,20	991,71	Drenaje natural, su caudal es intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada La Jabonera.
10	QUEBRADA ZAMBA	1.046.391,00	921.579,00	1.046.391,00	921.579,00	258,65	236,9	25.421,10	847,37	Drenaje natural, su caudal es intermitente, confluye en la margen derecha de la Quebrada La Jabonera.
11	ZANJÓN MARACAIBO	1.046.298,00	919.598,00	1.047.574,00	920.857,00	287,38	228,48	28.393,80	1.419,69	Drenaje natural, su caudal es intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada La Jabonera.
12	QUEBRADA EL TRINCHO	1.044.937,00	922.228,00	1.044.920,00	921.110,00	297,05	247,87	35.439,60	1.181,32	Drenaje natural, su caudal es intermitente, confluye en la margen derecha de la Quebrada La Jabonera.
13	ZANJÓN CHAPAIMA	1.043.737,00	921.334,00	1.044.340,00	920.816,00	258,82	249,25	21.334,00	1.066,70	Drenaje natural, su caudal es intermitente, confluye en la margen derecha de la Quebrada La Jabonera.
14	ZANJÓN ROBLEDO	1.045.141,00	918.634,00	1.044.067,00	919.512,00	302,34	261,32	21.374,00	1.068,70	Drenaje natural, su caudal es intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada La Jabonera.
15	QUEBRADA LA JABONERA	1.043.591,00	917.306,00	1.049.024,00	921.555,00	287,72	225,48	213.200,40	10.660,02	Es el principal sistema de aguas superficiales de la zona, confluye en la margen derecha del Río Sabandija.

Continuación CUADRO 31. Descripción y ubicación de los principales cuerpos de agua superficiales, (área de influencia del Contrato de Concesión IL5-14011).

	CUERPO DE AGUA	COORDENADAS INICIO		COORDENADAS CONFLUENCIA		COTAS, (msnm)		ÁREA, (m ²)	LONGITUD, (m)	DESCRIPCIÓN
		NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	INICIAL	CONFLUYE			
16	DRENAJE - 01	1.044.588,00	919.977,00	1.044.215,00	920.314,00	267,85	255,38	11.257,80	562,89	Drenaje natural, intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada La Jabonera.
17	DRENAJE - 02	1.046.256,00	919.105,00	1.045.898,00	919.075,00	336,9	278,5	7.757,40	387,87	Drenaje natural, intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada Cimarrón.
18	DRENAJE - 03	1.046.067,00	919.286,00	1.045.752,00	919.310,00	318,24	278,75	7.174,20	358,71	Drenaje natural, intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada Cimarrón.
19	DRENAJE - 04	1.046.008,00	919.819,00	1.045.557,00	919.731,00	298,52	268,84	9.887,00	494,35	Drenaje natural, intermitente, confluye en la margen izquierda de la Quebrada Cimarrón.
20	DRENAJE - 05	1.045.253,00	919.699,00	1.045.479,00	919.848,00	286,2	265,7	6.044,80	302,24	Drenaje natural, intermitente, confluye en la margen derecha de la Quebrada Cimarrón.
21	QUEBRADA CIMARRONA	1.041.777,00	918.485,00	1.039.481,00	920.843,00	312,64	260,7	99.427,00	4.971,35	Esta quebrada confluye en la margen izquierda del Río Lagunilla

- **LAGUNA.** Existe la LAGUNA BOTELLO, un cuerpo de agua artificial con profundidad inferior a 7,0 m; en el que habitan diversidad de especies de organismos acuáticos, (flora y fauna), los cuales cumplen una función importante en la dinámica del ecosistema, constituyendo en el momento un ecosistema frágil, utilizado para actividades económicas de riego. Es alimentada por el curso de las quebradas Los Muertos y Limonar, (actualmente intermitentes, es decir conducen agua en épocas de lluvia solamente), ocasionalmente la Quebrada Limonar recibe sobrantes del distrito de riego del Río Lagunilla. El rebose eventualmente descarga a un antiguo drenaje que presenta huellas de confluencia a la Quebrada Batan.

- **RESERVORÍOS.** A la fecha se registraron cuatro (4) en la zona directa del proyecto, los referenciados como 01 y 02 son el resultado de antiguos trabajos de explotación minera que se destinaron para almacenar aguas lluvias, (para posterior bombeo); mientras que los relacionados 03 y 04 fueron construidos para almacenar aguas lluvias con destino a las labores agrícolas. Ver cuadro 31. En las épocas de lluvia almacenan aguas lluvias para ser utilizada en los períodos de verano; la construcción de estos cuerpos coincide con estar en un fondo de rocas del tipo limo – arcilloso, lo que hace que estos cuerpos de agua tengan conexión con la infiltración del terreno adyacente, (gravas y arenas), y quede limitado por el fondo impermeable sin conexión hidráulica con el acuífero colgado existente en el área.
- **ZANJONES.** Corresponde a drenajes naturales que han sido objeto de intervención antrópica, (transformación en canales para conducción de aguas de riego), con modificación de sus cauces originales para utilización de aguas de riego en actividades agropecuarias, estos son: Caucaya, Maracaibo, Chapaima y Robledo; conducen aguas lluvias y eventualmente aguas para riego.
- **DRENAJES NATURALES.** Constituyen actualmente el sistema de drenajes naturales, que conservan la principal conexión de escorrentía de los terrenos con las principales quebradas; se identificaron cinco (5) principales: uno (1) conectado con la Quebrada La Jabonera y cuatro (4) confluyendo en la Quebrada Cimarrón. Ver cuadro 31.
- **QUEBRADAS:**
 - _La **Albania.** Ubicada en el extremo sur del área del proyecto, confluye en la margen izquierda del Río Lagunilla, en el momento solo recibe algunos sobrantes de aguas de riego del mismo Río Lagunilla y tiene caudales intermitentes.
 - _Los **Muertos y Limonar.** Confluyen formando un solo cuerpo el cual descarga a la Laguna Botello, solamente tienen caudal con la fluctuación invernal, (según el

Sondeo Geoeléctrico SEV-05 efectuado en la zona la conexión hidráulica está a profundidad de unos 25.7 m por debajo de la actual Laguna Botello), relacionado con el nivel freático de la Quebrada Batan que confluye en el Río Sabandija.

_Batan. Parece ser la continuidad de la Quebrada Limonar, solo tiene caudales en épocas de lluvia comportándose como un drenaje natural.

_El Trincho y Zamba. Confluyen en la margen derecha de la Quebrada La Jabonera, (conforme a los Sondeos Geoeléctrico SEV 02 y SEV 03 los niveles freáticos de estos sistemas están a unos 35.7 m de profundidad con respecto al nivel superficial de la Quebrada la Jabonera), a la fecha sus caudales son intermitentes y fluyen con la infiltración del agua del terreno y con la conexión hidráulica del nivel freático en la zona.

_Quebrada Seca. Es un sistema de acuífero semi-confinado con una conexión hidráulica con el nivel freático a profundidades variables entre 8,0 m – 10,0 m, (según resultados del Sondeo Geoeléctrico SEV-02); también con el inventario de aljibes en la zona se pudo constatar la conexión hidráulica tanto de las aguas de escorrentía como de dicho nivel freático. En el momento, en dicha Quebrada, sólo se aprecian caudales en épocas de invierno.

_La Jabonera. Es el principal sistema de drenaje, (después de la Quebrada La Cimarrona), encontrado en la zona de influencia directa del proyecto; en esta confluyen la mayoría y conforme a los resultados de los sondeos Geoeléctricos el curso de la misma, está marcando la existencia de una de las fallas estructurales regionales que desplazan bloques de litologías y definen el comportamiento de los actuales acuíferos. Confluye en la margen derecha del Río Sabandija y de manera preocupante se observa que el cuerpo de agua es intermitente y de la mayor parte de su recorrido se ha perdido la zona protectora en ambas márgenes, (al parecer por ampliación de las fronteras ganadera y agrícola).

_Clasificación de los cuerpos de agua superficial. Esta se realizó conforme a la conexión hidráulica con los acuíferos entre aquellos cuerpos que aportan a la

161

recarga de los acuíferos y de los que son alimentados por el mismo; así como de la fluctuación estacional que puede darse en relación con el tipo conexión. Se indican aquellos cuerpos de agua superficial que serán potencialmente afectados por el proyecto; así como el grado de intervención o afectación esperada (pérdida de caudal, agotamiento, entre los principales). Véase Cuadro 32:

CUADRO 32. Descripción y ubicación de los principales cuerpos de agua superficiales ríos, (área de influencia directa del Contrato de Concesión IL5-14011).

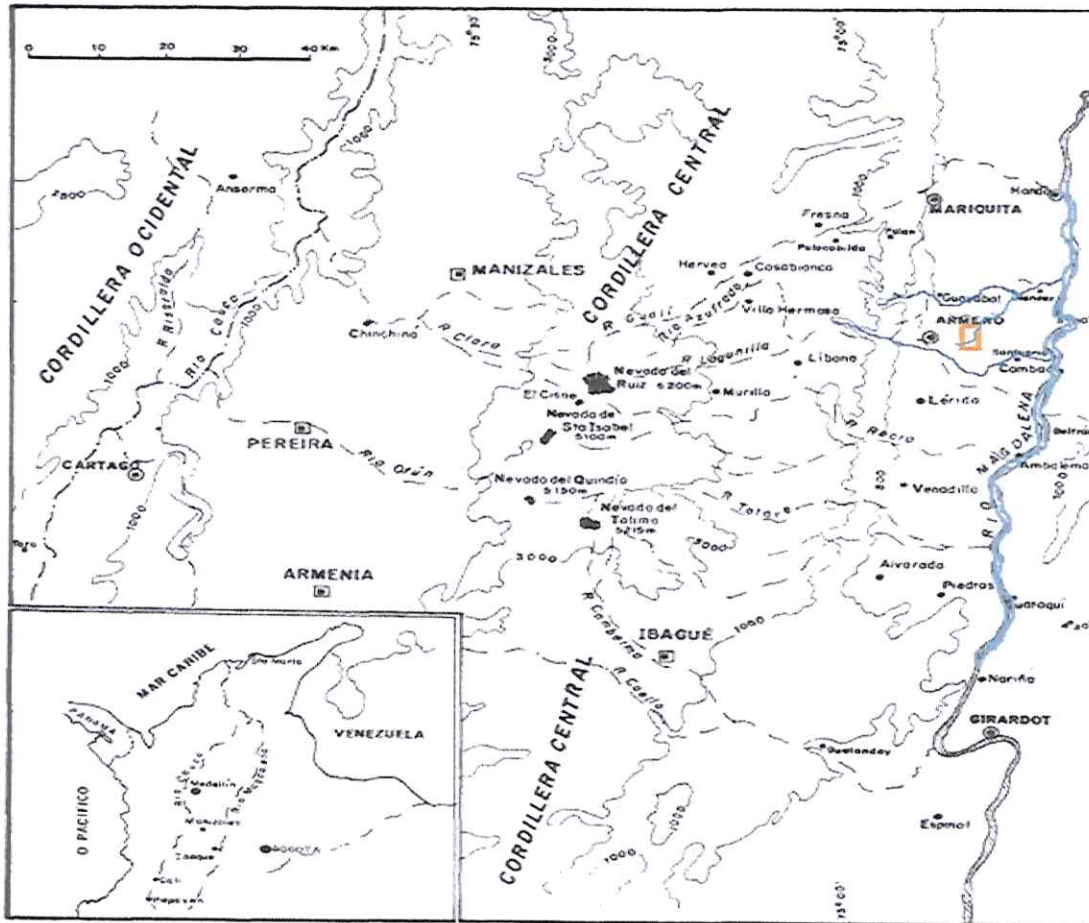
CUENCA			SUB CUENCA			MICROCUENCA		
NOMBRE	CODIGO	AREA, (Ha)	NOMBRE	CODIGO	AREA, (Ha)	NOMBRE	CODIGO	AREA, (Ha)
RIO SABANDIJA	8.6	52.586,60	Q LA JABONERA	8.6.0.1	3.730,40	LAGUNA BOTELLO	8.6.0.1.0	19,508
						Q LOS MUERTOS	8.6.0.1.1	4,557
						Q LIMONAR	8.6.0.1.2	4,204
						Z MARACAIBO	8.6.0.1.3	2,839
						DRENAJE - 01	8.6.0.1.3.1	0,056
						Z CAUCAYA	8.6.0.1.4	1,983
						Q ZAMBA	8.6.0.1.5	2,542
						Q EL TRINCHO	8.6.0.1.6	2,347
						Q SECA	8.6.0.1.7	1,983
						DRENAJE - 02	8.6.0.1.7.1	0,039
						DRENAJE - 03	8.6.0.1.7.2	0,036
						DRENAJE - 04	8.6.0.1.7.3	0,049
						DRENAJE - 05	8.6.0.1.7.4	0,030
						Z ROBLED0	8.6.0.1.8	2,137
DRENAJE - 06	8.6.0.1.9	0,024						
Z CHAPAIMA	8.6.0.1.10	2,133						
RIO LAGUNILLA	8.5	8.750,540	Q LA SIERRA	8.5.0.3	2.825,42	Q LA CIMARRONA	8.5.0.3.2	4,578

9.1.7.4 Modelo hidrogeológico conceptual. El área de influencia directa del proyecto minero del Contrato de Concesión N° IL5-14011, (indicados en los Cuadros 33 y 34, Figura 6 y Plano 14), tiene una extensión aproximada de 1.922,27 Hectáreas; mientras que las zonas de influencia indirecta se relacionan con diversos sectores perimetrales en los cuales se ubicaron pozos, aljibes y cuerpos de agua relacionados con drenajes que eventualmente pueden influir con los cuerpos de agua superficiales y subterráneos de la zona de influencia directa.

159

(Tal como se describe en el inventario de pozos de agua subterránea, (Anexo IV-I).

FIGURA 6. Detalle general del área de estudio, (rectángulo anaranjado), entre las subcuencas de los ríos Sabandija, (al Norte), y Lagunilla, (al Sur).



9.1.7.5 POZOS DE MONITOREO Y CONTROL El Valle de Armero Guayabal históricamente venía presentado buenas condiciones de calidad y cantidad de agua, el primer nivel freático existente, es un acuífero semi confinado entre los ríos Sabandija y Lagunilla, el cual a la fecha ha sido intensamente explotado, sin embargo, su disponibilidad se ha visto afectada en los últimos años debido a la intensa explotación agropecuaria y de consumo, (principalmente riego y ganadería extensiva). Su principal fuente de recarga, en la zona de influencia directa del

163

proyecto, proviene de la infiltración de las precipitaciones y la escorrentía superficial generada por ésta, luego se encuentra la filtración en sistemas de regadío, pérdidas en el sistema de distribución de agua potable y el flujo subterráneo proveniente de la parte alta de la cuenca. Las salidas del sistema acuífero consisten en el afloramiento de vertientes, bombeo, confluencia en el Río Sabandija y flujo subterráneo que pasa hacia el sur en la cuenca del Río Magdalena. La explotación del agua en la zona presenta un estado de déficit de equilibrio hidráulico, si bien se observa un descenso importante en los niveles de los pozos, estos se vuelven a recuperar después de las grandes crecidas en todos los sectores desde la estribación de la cordillera hasta el valle. No obstante, lo anterior, el estudio realizado en este lugar particular del proyecto, indica que el nivel de explotación se ha incrementado en los últimos años a 740 [l/s] en el año 2008, de un promedio histórico de 567 [l/s]. Considerando este nuevo nivel de explotación, y sumándole los nuevos derechos de agua solicitados, el acuífero colapsaría en un término de 5 años. Los Piezómetros Figura de control se instalaran en los Pozos 7 y 10, (indicados en el Cuadro 34).

_ **Área de influencia Indirecta.** Se identificaron ocho (8) pozos y ocho (8) aljibes, se relacionaron en el Cuadro 33, de estos se tiene certeza que no habrá afectación por potenciales impactos originados por el proyecto minero, no obstante, para efecto de incorporar a la red de monitoreo uno de estos pozos o aljibes, (se tendrá en cuenta el relacionado en el # 15 del Cuadro 33), para ser usado como piezómetro.

_ **Área de influencia directa.** De acuerdo con el inventario, descrito en el Cuadro 34, se pudo establecer que existen dos (2) pozos que serán utilizados como piezómetros, (el # 7 y 10), los aljibes 1 y 2, se nota que van siguiendo el curso del nivel freático de la Quebrada El Trincho; mientras que los aljibes 3, 4, 5 y 6 (Ver cuadro 34), están conectados al nivel freático de la Quebrada Seca. Como

161

complemento del Inventario de puntos de agua subterránea, en la zona de influencia directa, se diligenciaron los respectivos formatos del Formulario Único Nacional para Inventario de Puntos de Agua Subterránea, Funias y piezómetros.

En los Cuadros 33 y 34 se indican los aspectos relevantes de cada uno de los puntos de agua subterránea, indicando los que potencialmente pueden ser afectados por el proyecto; también se indica el grado de intervención o afectación esperado (descenso del nivel piezométrico, agotamiento, entre los considerados). En el Plan de Manejo Ambiental, (conforme al inventario efectuado), se sugiere hacer una integración de red de monitoreo de aguas subterráneas que permita medir los niveles piezométricos durante mínimo un año hidrológico, puesto que no existen, a la fecha, suficientes puntos de agua subterránea representativos para el área de influencia se propone hacer la instalación de piezómetros que garanticen la representatividad de la red de dicho monitoreo. (Ver Anexo XVII)

CUADRO 33. Inventario de pozos y aljibes en la zona de influencia indirecta del proyecto minero, Título IL5-14011.

#	DESCRIPCIÓN				COORDENADAS		COTA, (msnm)	NIVEL ESTÁTICO, (m)	DETALLE
	VEREDA	PIEZOM	POZO	ALJIBE	NORTE	ESTE			
1	ESPERANZA		Si		1.054.200,00	911.450,00	315,60	24,45	Plancha IGAC 207
2	EL HATO		Si		1.053.892,00	915.058,00	312,74	22,40	Plancha IGAC 207
3	EL HATO		Si		1.053.377,00	919.155,00	310,42	20,05	Plancha IGAC 207
4	EL HATO		Si		1.052.080,00	915.243,00	310,35	20,05	Plancha IGAC 207
5	EL HATO		Si		1.052.232,00	917.430,00	310,40	20,05	Plancha IGAC 207
6	BRUJAS		Si		1.050.545,00	910.695,00	309,87	20,05	Plancha IGAC 207
7	LA PALMERA			Si	1.050.050,00	915.450,00	308,85	14,00	Plancha IGAC 207
8	H SANTUARIO			Si	1.037.400,00	919.600,00	305,40	10,90	Plancha IGAC 207-IV-C
9	H SANTUARIO		Si		1.037.300,00	919.515,00	306,25	11,10	Plancha IGAC 207-IV-C
10	ALDEA S.O.S.		Si		1.048.290,00	911.670,00	308,54	13,35	Plancha IGAC 207-IV-C
11	CBR MUNICIPAL			Si	1.047.325,00	910.375,00	307,25	13,30	Plancha IGAC 207-IV-C
12	CBR MUNICIPAL			Si	1.048.125,00	910.550,00	307,58	13,30	Plancha IGAC 207-IV-C
13	CBR MUNICIPAL			Si	1.048.750,00	910.500,00	307,78	13,30	Plancha IGAC 207-IV-C
14	MARACAIBO			Si	1.041.925,00	916.225,00	302,48	8,20	Plancha IGAC 207-IV-C
15	MARACAIBO			Si	1.042.750,00	917.725,00	302,50	8,20	Plancha IGAC 207-IV-C
16	MÉNDEZ			Si	1.049.611,00	925.850,00	284,78	8,50	Plancha IGAC 207-IV-D

165

CUADRO 34. Inventario de pozos y aljibes en la zona de influencia directa del proyecto minero. Contrato de Concesión IL5-14011

#	DESCRIPCIÓN				COORDENADAS		COTA, (msnm)	NIVEL ESTÁTICO, (m)	DETALLE
	PROPIETARIO	PIEZOM	POZO	ALJIBE	NORTE	ESTE			
1	AQUIMIN SANTOS			Si	1.044.903,00	921.236,00	254,87	5,75	Plancha IGAC 207
2	DOLLY			Si	1.045.336,00	921.336,00	260,20	5,80	Plancha IGAC 207
3	RICARDO			Si	1.045.264,00	920.642,00	248,72	6,25	Plancha IGAC 207
4	ERNESTO			Si	1.045.458,00	919.989,00	257,24	7,50	Plancha IGAC 207
5	RICAURTE			Si	1.045.646,00	919.390,00	262,78	6,40	Plancha IGAC 207
6	FINCA			Si	1.045.356,00	920.303,00	257,35	6,30	Plancha IGAC 207
7	EDWIN	SI			1.043.859,00	921.421,00	258,20	16,70	Plancha IGAC 207
8	CARLOS SALAZAR		SI		1.043.964,00	921.351,00	256,85	5,82	Plancha IGAC 207
9	CARLOS SALAZAR		SI		1.044.553,00	920.809,00	257,15	7,20	TAPADO
10	CARLOS SALAZAR	SI			1.044.465,00	920.852,00	254,30	12,50	40 m Profundidad
11	CARLOS SALAZAR			Si	1.045.150,00	920.911,00	253,12	6,70	Plancha IGAC 207

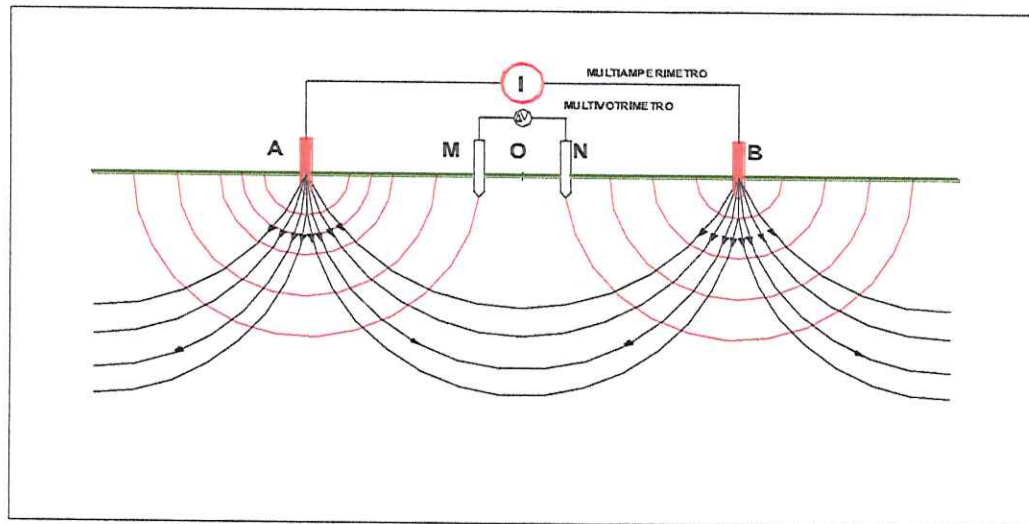
_ PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

Se utilizó un equipo McOHM Mark-2, Modelo 2115^a, el cual consta de un amperímetro, un voltímetro digital y una unidad generadora de fuerza electromotriz que introduce corriente en el subsuelo. Del McOHM se obtienen datos de intensidad de corriente (I) en miliamperios y la diferencia de potencial (V) en milivóltios.

Las relaciones (V/I), se multiplican por factores geométricos exclusivos de cada arreglo para obtener las resistividades aparentes, las cuales son graficadas en papel logarítmico en función de la distancia eléctrica de corriente (AB/2). Para la realización de estos (S.E.V.) se utilizó el dispositivo de Schlumberger, con variaciones de distancia eléctrica de potencial MN/2 de 0.5, 5 y 10 metros hasta una distancia AB/2 de trescientos (300) metros (Ver Figura 7).

163

FIGURA 7. Disposición Schlumberger



Fuente: GALC, 2017

El cálculo para determinar las resistividades y la profundidad aproximada de prospección de los niveles litológicos, se realizó a partir de gráficos de la compañía general de geofísica de Francia, mediante el método de puntos auxiliares y con ayuda de un programa de computador, se ajustan las curvas de campo con las curvas matemáticas.

_ Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y su interpretación

Se realizaron siete (7) líneas de sondeos eléctricos verticales en el área de influencia del Título Minero IL5-14011, (véase Cuadro 35), en jurisdicción del municipio de Armero Guayabal - Tolima, donde se aprecia el depósito cuaternario de origen aluvial y rocas sedimentarias de la Formación La mesa y del Grupo Honda. (Véase Foto 3).

CUADRO 35. Detalle de la dirección y ubicación de los sondeos Geoeléctricos.

REGISTRO	COORDENADA, (inicial)		COORDENADA, (final)		COTA, (msnm)	AZIMUT, (°)	DETALLE
	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE			
SEV-01	1.042.672,00	920.586,00	1.042.902,00	920.779,00	269,75	220	Ubicado en el sector próximo a la Finca La Mina, en la parte semiplana del valle, pasando por un costado de uno de los reservorios de agua.
SEV-02	1.045.397,00	920.830,00	1.045.122,00	920.951,00	249,25	156	En una Vega, paralela a la margen izquierda de la Quebrada La Jabonera, dentro de la Finca El Trincho.
SEV-03	1.046.791,00	921.164,00	1.046.912,00	921.439,00	238,80	66	En predios de la Finca Caucaya, pasando perpendicularmente al eje de la Quebrada La Zamba.
SEV-04	1.048.732,00	920.672,00	1.048.457,00	920.793,00	239,15	156	Extremo norte del área del Título Minero, en una antigua vega de inundación del Río Sabandija.
SEV-05	1.047.685,00	919.418,00	1.047.562,00	919.691,00	237,50	66	En la vega del valle entre La Quebrada Los Muertos y el Lago artificial "LAGUNA BOTELLO".
SEV-06	1.045.053,00	919.172,00	1.044.906,00	919.433,00	299,95	119	Sobre una terraza alta, en la parte central, (extremo oeste), del área del Título Minero.
SEV-07	1.043.671,00	919.086,00	1.043.524,00	919.347,00	255,20	119	Antiguo cono aluvial, entre las Fincas Santa María y El Diamante.



FOTOGRAFÍA 3. Equipos y Realización de SEV en el área del Sector La Mina, municipio de Armero Guayabal -Tolima.

- **Análisis de resultados**

Realizados los sondeos eléctricos verticales en la zona de interés se obtuvieron registros de resistividades, los cuales fueron interpretados obteniendo los siguientes resultados:

En el S.E.V -01 se observa en la parte superior un perfil de suelo conformado por arcillas y limos, de color grisáceo, con un espesor de 0.90 metros y valores de resistividad de 30.91 Ohm-m; luego se aprecia un nivel de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, con un espesor de 5.90 metros y valores de resistividades que varían de 35.9 a 49.6 Ohm-m; a partir de los 6.80 metros y hasta una profundidad de 99.50 metros, se aprecian niveles de areniscas conglomeráticas, cuarzo feldespáticas, grises, saturadas, con lodolitas y Arcillolitas, saturadas del Grupo Honda, con valores de resistividad de 6.5 a 15.1 Ohm-m.

En el S.E.V. 2 se observa en la parte superior un perfil de suelo conformado por arcillas y limos, de color grisáceo, con un espesor de 0.85 metros y valores de resistividad de 38.3 Ohm-m; luego se aprecia niveles de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, con un espesor de 8.05 metros y valores de resistividades que varían de 12.2 a 25.9 Ohm-m; este nivel suprayace una secuencia de areniscas conglomeráticas cuarzo feldespáticas, grises, saturadas, con lodolitas y arcillolitas del Grupo Honda, con espesor que supera los 85 metros y valores de resistividad de 17.4 a 29.9 Ohm-m .

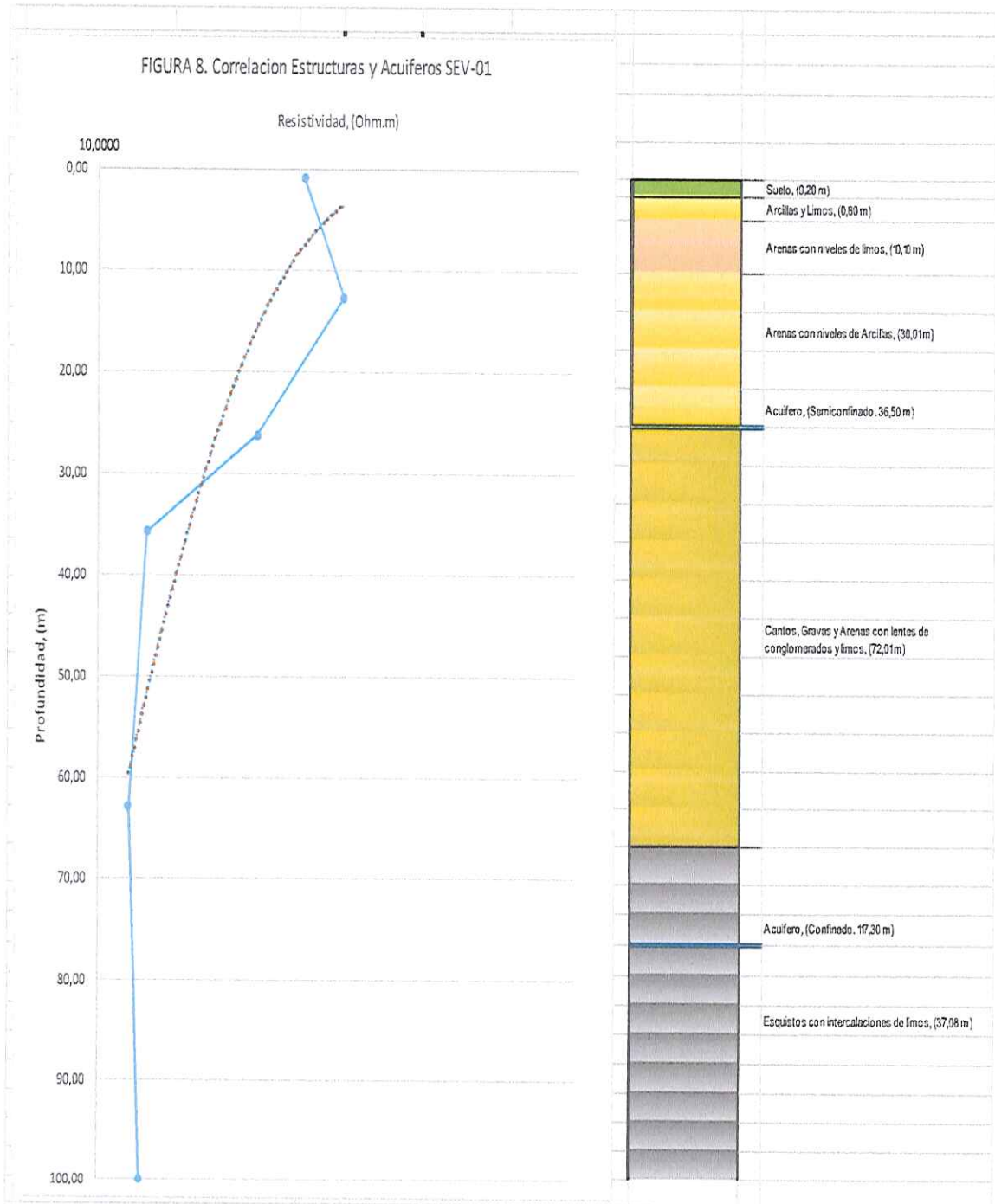
En el S.E.V. 3 se observa en la parte superior un perfil de suelo conformado por arcillas y limos, de color grisáceo, con un espesor de 0.80 metros y valores de resistividad de 38.8 Ohm-m; luego se aprecian niveles de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, con un espesor de 5.30 metros y valores de resistividades que varían de 13.5 a 47.4 Ohm-m; a partir de los 6.10 metros y hasta una profundidad

de 97.80 metros, se aprecian niveles de areniscas conglomeráticas, cuarzo feldespáticas, grises, saturadas, fracturadas, lodolitas y arcillolitas, del Grupo Honda, con valores de resistividad de 16.1 a 29.8 Ohm-m.

De acuerdo con la interpretación obtenida de los SEV, se puede establecer que el área de prospección geoelectrica donde se realizaron los SEV 1 al 3, corresponde a niveles de arenas, limos y arcillas del depósito aluvial con espesor que alcanza 7 metros que cubren las rocas del Grupo Honda, conformado por una sucesión de areniscas conglomeráticas, cuarzo feldespáticas, grises, que afloran en el área de estudio, tiene un espesor considerable que supera los 80 metros, se caracterizan por presentar buenas condiciones de estabilidad. También la interpretación obtenida de los SEV, se puede establecer que el área de prospección geoelectrica donde se realizaron los SEV 4 a 7, corresponde a niveles de arenas, limos y arcillas del depósito aluvial con espesor que alcanza 10 metros que cubren las rocas del Grupo Honda, conformado por una sucesión de areniscas conglomeráticas, cuarzo feldespáticas, grises, que afloran en el área de estudio, tiene un espesor considerable que supera los 80 metros, se caracterizan por presentar buenas condiciones de estabilidad.

Las areniscas cuarzosas del Grupo Honda que afloran en la parte alta del área de interés donde se realizaron los SEV 1 a 3, tienen un espesor considerable que supera los 150 metros, se caracterizan por presentar valores de permeabilidad moderada, se presenta la factibilidad de perforar pozos profundos para la exploración y explotación de agua subterránea, en este sector, ya que la capacidad de estos niveles de aportar el recurso hídrico subterráneo es de mediana productividad. Ver Figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14. Interpretación litológica integrada del SEV 1-7.

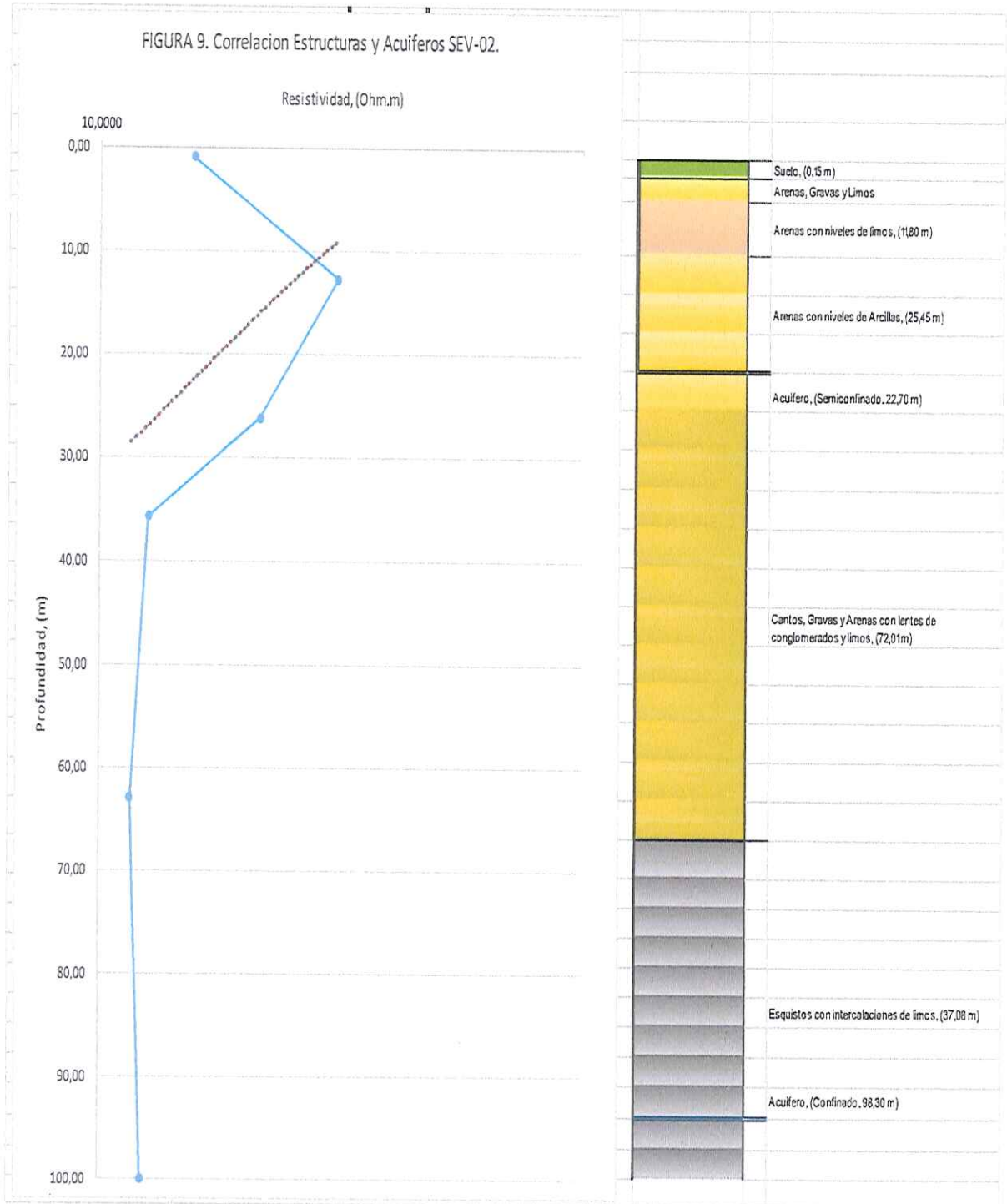
Figura 8. Interpretación litológica integrada del SEV-1.



Fuente: GALC, 2017

171

Figura 9. Interpretación litológica integrada del SEV-2.

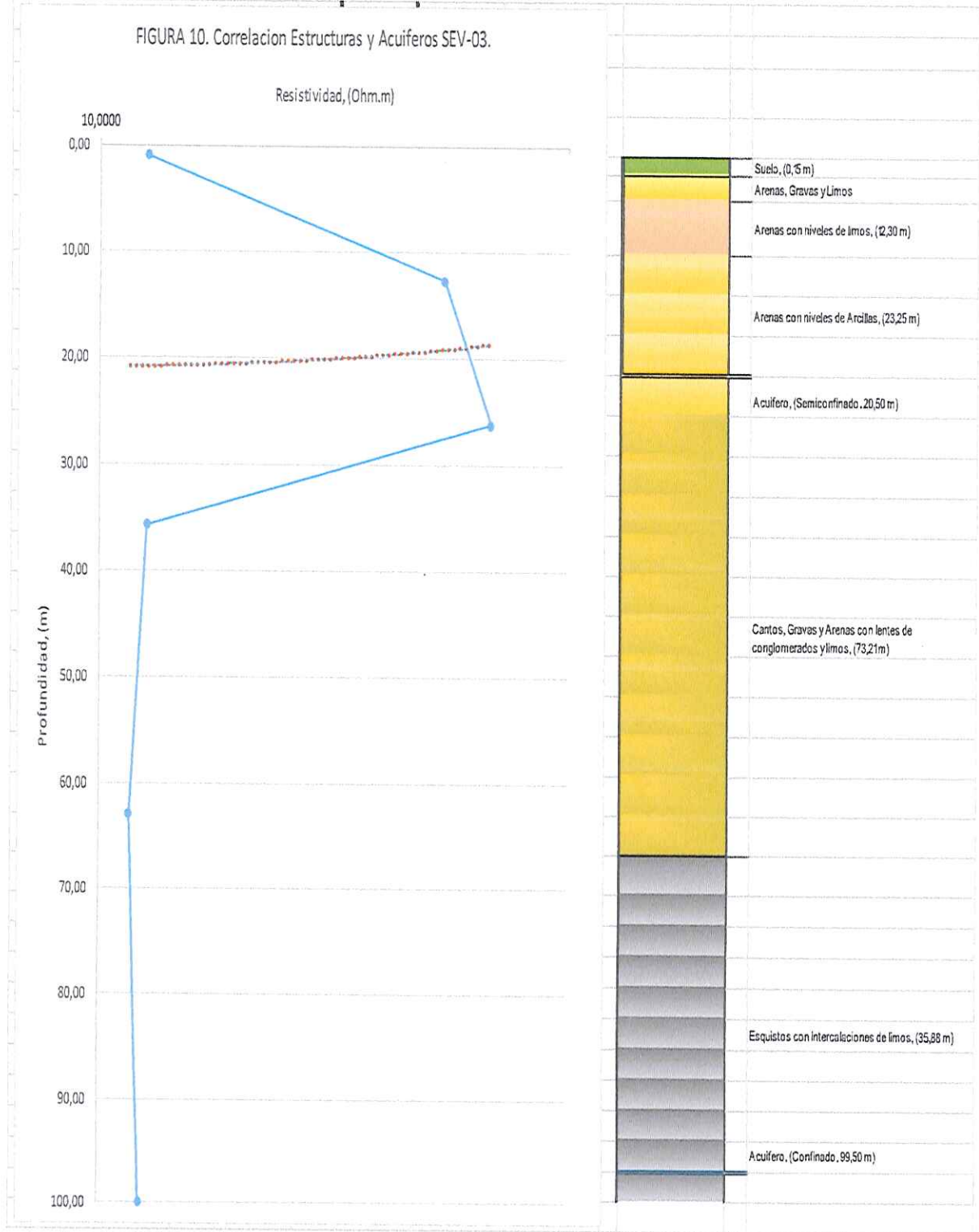


Fuente: GALC, 2017.

169

172

Figura 10. Interpretación litológica integrada del SEV-3.

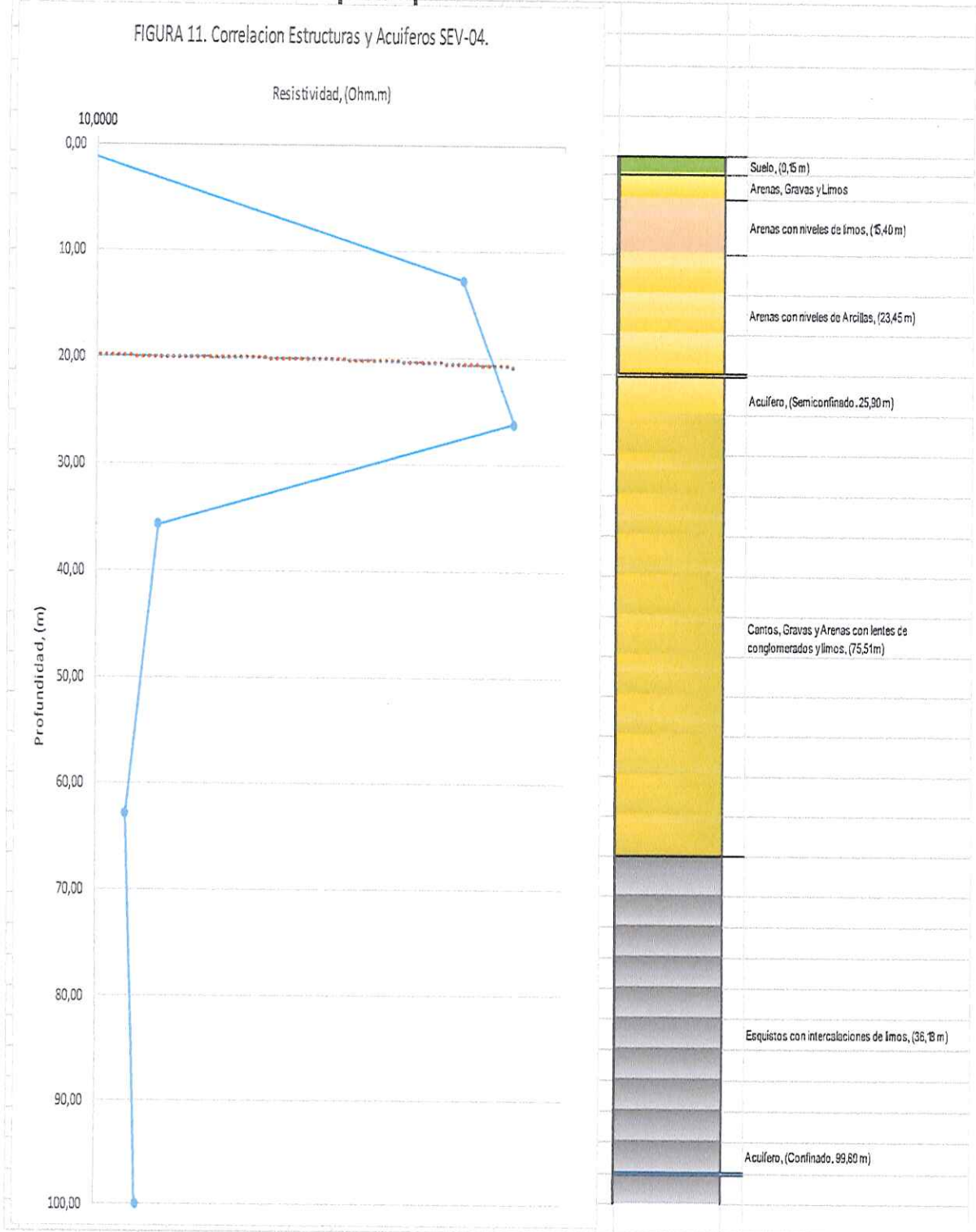


Fuente: GALC, 2017.

170

173

Figura 11. Interpretación litológica integrada del SEV-4.

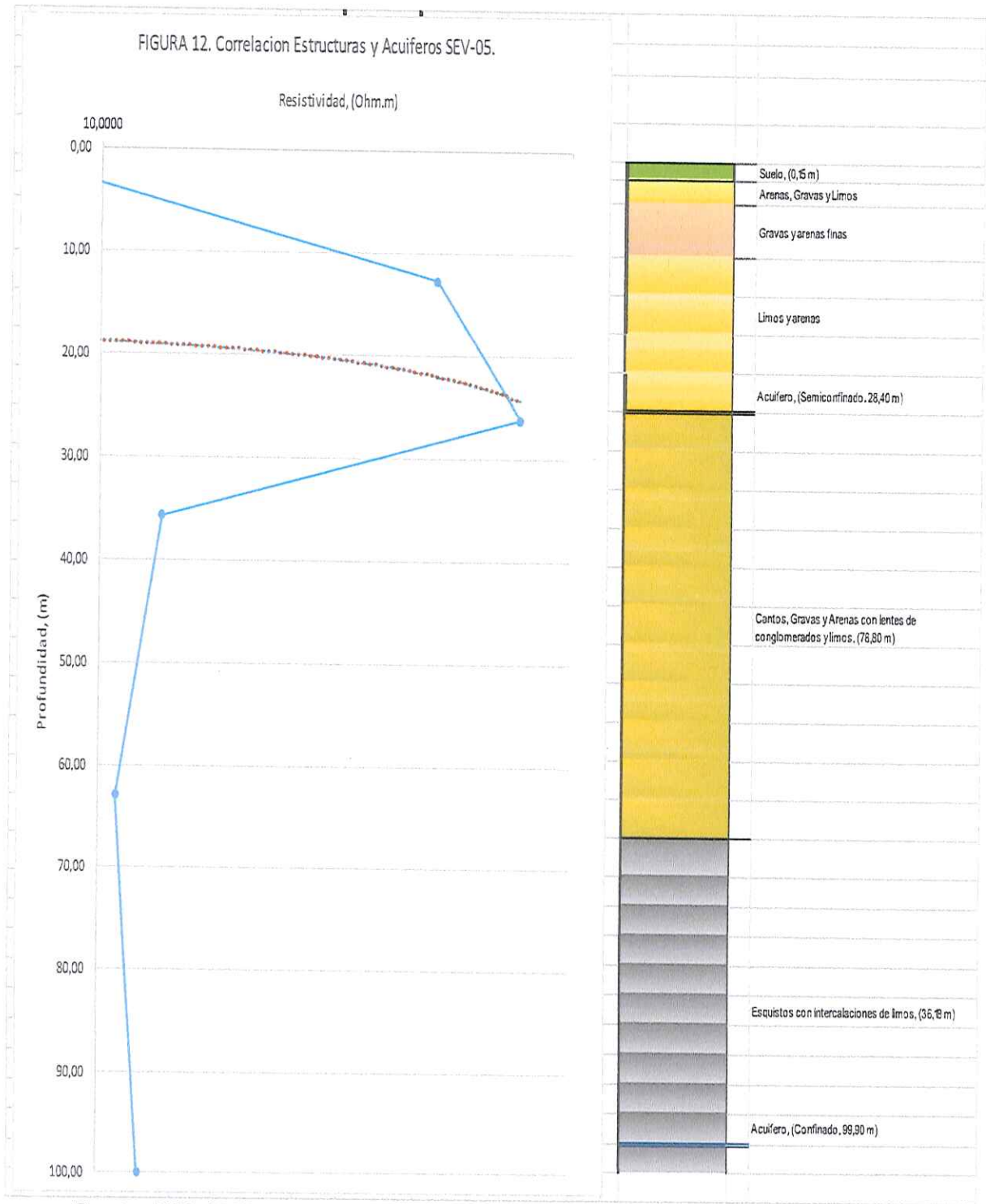


Fuente: GALC, 2017.

171

174

Figura 12. Interpretación litológica integrada del SEV-5.

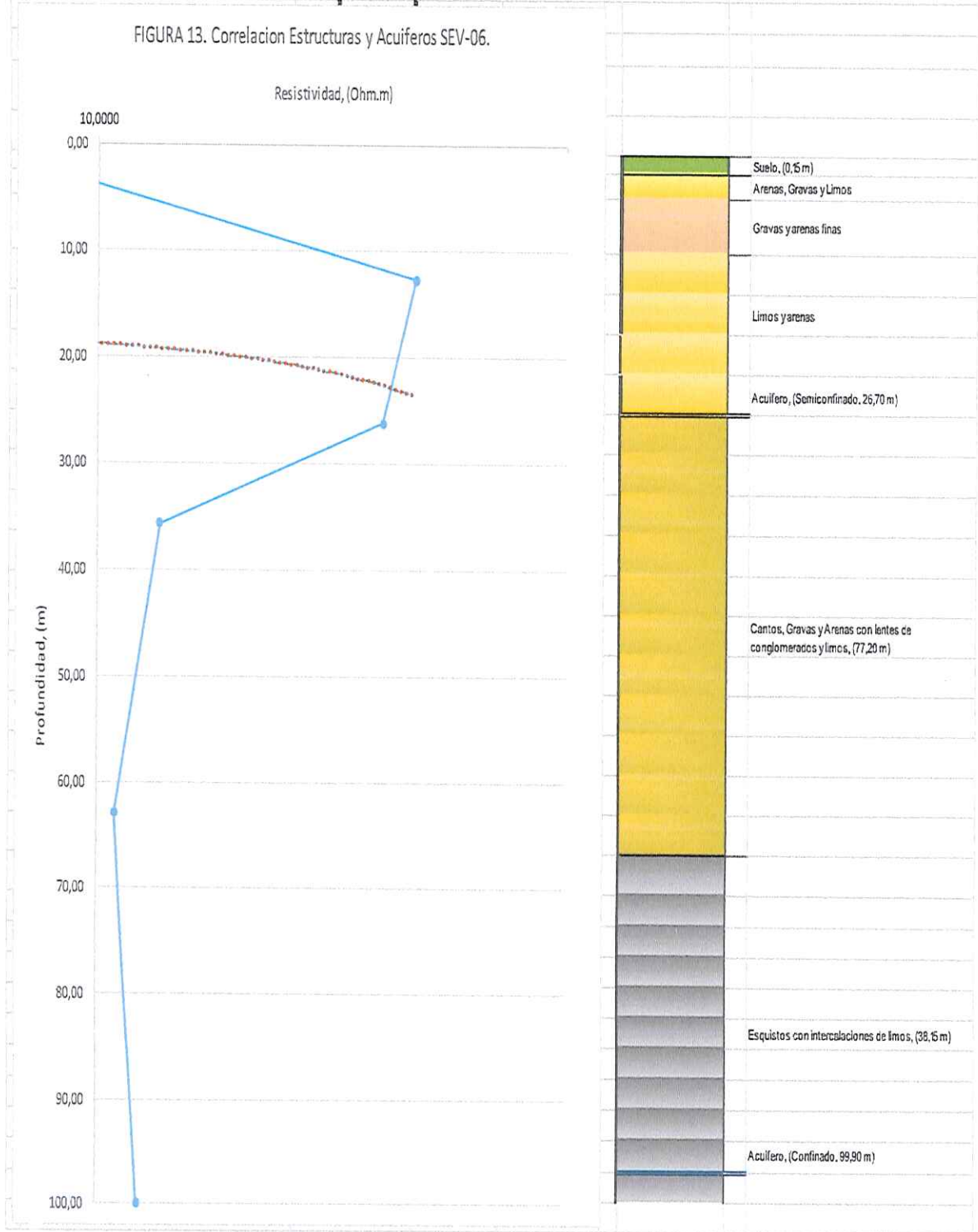


Fuente: GALC, 2017.

172

175

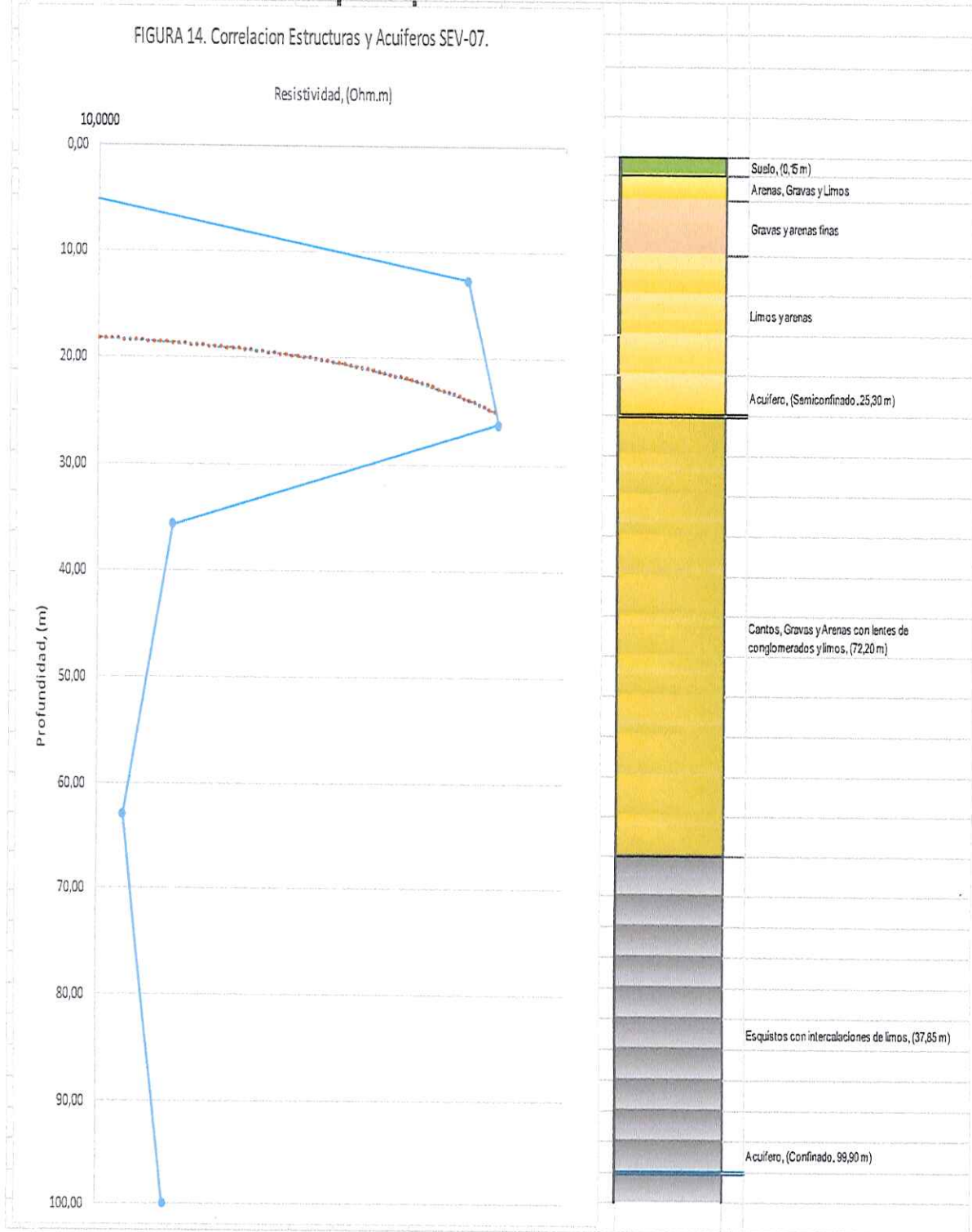
Figura 13. Interpretación litológica integrada del SEV-6.



Fuente: GALC, 2017.

173

Figura 14. Interpretación litológica integrada del SEV-7.



Fuente: GALC, 2017.

El uso de los Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.), aplicados en la búsqueda de contrastes litológicos, suministra información importante para determinar la profundidad de exploración y obtener los espesores aproximados de los diferentes niveles litológicos de suelo y roca. En las Figuras 8 a la 14, se representa la interpretación litológica integrada de los datos registrados en los Sondeos Eléctricos Verticales.

Comentarios para la elaboración del modelo hidrogeológico.

- El uso de Sondeos Eléctricos Verticales (**S.E.V.**), aplicados en la búsqueda de contrastes de la litología, suministró en este caso información importante para determinar la profundidad de exploración y obtener los espesores aproximados de los diferentes materiales que conforman el acuífero.
- De acuerdo a la correlación estratigráfica obtenida a partir de la interpretación de los registros de los Sondeos Eléctricos Verticales en el área de interés, se evidencia gran interés donde se realizaron los **SEV 1 y SEV 2**, a una profundidad aproximada de 80 metros, la existencia de un acuífero confinado, (el cual es ideal para la perforación de pozo para captación de agua subterránea). Esta profundidad dependerá de los cambios litológicos obtenidos en los muestreos y registros eléctricos de pozo.
- De acuerdo a la correlación estratigráfica obtenida a partir de la interpretación de los registros de los Sondeos Eléctricos Verticales en el área de interés, se evidencia en el área de interés donde se realizaron los **SEV 3 y SEV 4**, a una profundidad aproximada de 20 metros, la existencia de un acuífero semiconfinado, (siguiendo el nivel freático del curso de Quebrada seca). Corresponde a la línea principal en la cual están construidos la mayoría de aljibes y pozos de la zona. Por lo que se sugiere un manejo apropiado del

178

recurso para no llevarlo a un grado de sobre explotación del recurso.

9.1.8 ACTITUD FISICA DEL TERRENO (OFERTA AMBIENTAL).

9.1.8.1 Atmósfera. Para establecer la línea base del estado de este factor, se ubicaron tres (3) estaciones de monitoreo, (según se describen en el Cuadro 36, la ubicación en el colegio Jiménez de Quezada), para verificar la condición inicial de generación de polvos y ruido.

9.1.8.2 Clima. Según la Clasificación de Caldas Lang es Cálido Semihúmedo, (Csh), El clima cálido se determina a partir de los 240 msnm hasta los 320 msnm para el caso de esta región, con índice de humedad en un rango de 70 a 100 y temperaturas sobre los 25° C, se encuentran entre su fisiografía un paisaje entre lomeríos, valles y algunas depresiones menores.

9.1.8.3 Calidad del aire. Para este estudio se contrató a Geo ambiental Consultores para realizar el monitoreo de material particulado, menor de 10 micras (PM10) con un equipo de alto volumen denominado HiVol, implementando método de monitoreo y análisis aprobado por la EPA y los lineamientos contemplados en el protocolo de calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT. Los resultados obtenidos en el monitoreo de calidad del aire realizado entre el 31 de enero y el 5 de febrero de 2018, para una estación de muestreo localizadas en la Institución Educativa Jiménez de Quesada, en la vereda Maracaibo del municipio de Armero, considerada zona de influencia indirecta, del proyecto de explotación minera del contrato de concesión IL5-14011.

El muestreo permite determinar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente según lo establecido en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y permite conocer los índices de calidad del aire

176

(ICA).

El sitio de muestreo para el presente proyecto fue determinado por el cliente y reconocido por el equipo de profesionales de Geoambiental Consultores S.A.S., teniendo en cuenta los criterios de representatividad para la localización de los sitios de muestreo de los contaminantes atmosféricos establecidos en los métodos de referencia y el protocolo de monitoreo establecido por el MAVDT.

En el cuadro 39, se relacionan los puntos donde fueron tomados los registros, con los equipos utilizados en cada estación y sus especificaciones.

CUADRO 36. Descripción de ubicación y equipos estación Colegio Jiménez de Quesada.

Ubicada en la entrada de la Institución Educativa Jiménez de Quesada a 15 metros lineales de la carretera que conduce al título IL05-14011 y al suroriente del proyecto.	
COORDENADAS PLANAS	
NORTE	ESTE
1042645	917754
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
NORTE	OESTE
4°58'52.74338"	74°49'7.93478"
ALTITUD	
300 msnm	
PRESIÓN BAROMÉTRICA	
733.36 mmHg	
DESCRIPCIÓN EQUIPOS MUESTREADORES	
Código Interno: MAVPM10-1	
Marca: Tisch Environmental	
Serial Muestreador: 2289	
Serial Controlador: P8279	
Modelo: TE-6070	



Fotografía 1 Estación Escuela

El monitoreo se llevó a cabo durante 5 días, iniciando la toma de muestras el día 31 de enero de 2018, previa inspección del sitio de monitoreo. El día 05 de febrero se dio por finalizado el muestreo y se procedió a la desinstalación de equipos y remisión de muestras para análisis e interpretación de resultados (Ver cuadro 37).