

**REPUBLICA DE PANAMA**

**SOCIEDAD URBANIZADORA DEL CARIBE, S.A. (SUCASA)**

**INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA E HIDROLÓGICA**

**CON FINES DE VALORACIÓN DE AFLORAMIENTOS  
SUPERFICIALES DE AGUAS**

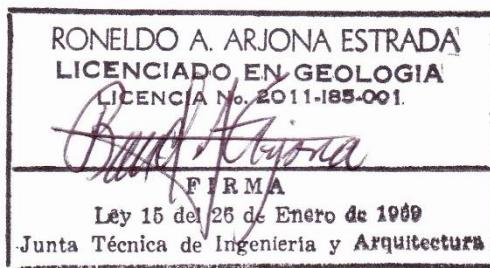
**PROYECTO P.H. RIBERAS DEL LAGO**



**HIDROGEO SERVICIOS CONSULTORES, S. A.**

**PREPARADO POR: MSc. GEOL. RONELDO ARJONA**

**(LICENCIA PROF. No. 2011-185-001)**



**MAYO, 2022**

## INDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. LOCALIZACIÓN	2
3. OBJETIVO	3
4. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS	3
4.1. CLIMA	3
4.2. PRECIPITACIÓN	4
4.3. GEOMORFOLOGÍA Y EROSIÓN	5
4.4. MARCO GEOLÓGICO	6
4.5. RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES	7
4.5.1. Fuentes superficiales	7
4.5.2. Fuentes subterráneas	8
5. INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA	9
5.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	9
5.2. CARACTERÍSTICAS DE EJECUCIÓN	10
5.3. PARTICULARIDADES DEL ENTORNO Y TÉCNICA DE EVALUACIÓN APLICADA	11
5.4. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA	13
5.4.1. Descripción de las capas litológicas detectadas con geofísica	13
5.4.2. Detalle de interpretación de los SEV realizados	15
6. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE INFILTRACIÓN DEL ÁREA	16
7. BLOQUE MODELO LITOLÓGICO	18
8. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	20
8.1. FLUJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	20
8.2. VERIFICACIÓN DE MESA FREÁTICA REGIONAL Y LITOLOGÍA DEL MEDIO ACUÍFERO	22
9. CONCLUSIONES	25
ANEXO	27

# INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA E HIDROLÓGICA

## CON FINES DE VALORACIÓN DE AFLORAMIENTOS SUPERFICIALES DE AGUAS EN EL PROYECTO P.H. RIBERAS DEL LAGO

### 1. INTRODUCCIÓN

En abril del presente año 2022, se llevó a cabo una investigación para verificar dos puntos de afloramientos de agua en los predios del proyecto P.H. Riberas del Lago, ubicado en el Corregimiento Ernesto Córdoba Campos, Distrito Capital, República de Panamá. Se trata de analizar el origen del agua de tales puntos y en qué momento se producen. Esta información fue necesaria para la debida clasificación técnica de estas fuentes, especialmente para comprobar si los mismos tienen categoría de nacimientos de curso de agua superficial.

Los trabajos consistieron en ampliar en el campo la información existente en mapas regionales y otras fuentes sobre puntos de manifestación de agua, localizados en el curso de un drenaje paralelo a un proyecto en planeación llamado P.H. Riberas del Lago en su lado sur, que formará parte del área urbanizada denominada Ciudad del Lago. El curso de dicho drenaje corre con orientación de oeste a este. Con la información de referencia existente, se dio inicio a la tarea de verificar que en las coordenadas UTM, E 662142 m N 1007012 m, con unos 146 msnm de elevación, podía apreciarse un nacimiento de agua superficial. Dado el caso de que el referido punto estaba seco al momento de inspección, se abordó la tarea de análisis desde un enfoque del entorno superficial y estructural del subsuelo a lo largo del cauce, con la aplicación de cateos geofísicos en la modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales( SEV). Por otra parte, en el aspecto climático como se habían dado algunos aguaceros iniciales que no habían saturado plenamente el suelo, se tomó en consideración la información generada como producto del final de la estación seca, concretamente el día 20 de abril de 2022.

Se analizaron algunos detalles aguas abajo del punto de referencia, relacionados con la incidencia de puntos de agua. Colateralmente, como la roca que contiene el principal

medio acuífero es la que define el punto de nacimiento verdadero con su plena saturación de agua, también se verificaron los niveles freáticos regionales que pudieran estar marcados claramente en el área adyacente al pequeño lago, que se encuentra junto al proyecto P.H. Mirador del Lago y la vía Panamá Norte (carretera Gonzalillo-Pedregal). Aunque se trata de un entorno de relieve accidentado de colinas y la información es de carácter bidimensional en forma de perfil, la misma representa una valiosa referencia sobre el comportamiento de la mesa freática en el área del estudio y el tipo de roca que recibe los aportes del reservorio regional.

## 2. LOCALIZACIÓN

El Proyecto se localiza en la Provincia de Panamá, Distrito de Panamá en el Corregimiento Ernesto Córdoba Campos. Concretamente, su vía de acceso es por la Carretera Transístmica sobre la vía Gonzalillo – Pedregal a 1.5 km, a mano izquierda, justo donde se encuentra el Centro Comercial Ciudad del Lago, o bien, por el llamado popularmente “Corredor de los pobres” (Figura 1).



*Figura 1. Localización Regional del Proyecto.  
Fuente: Mapa Físico de la República de Panamá, Atlas Nacional, 2007.*

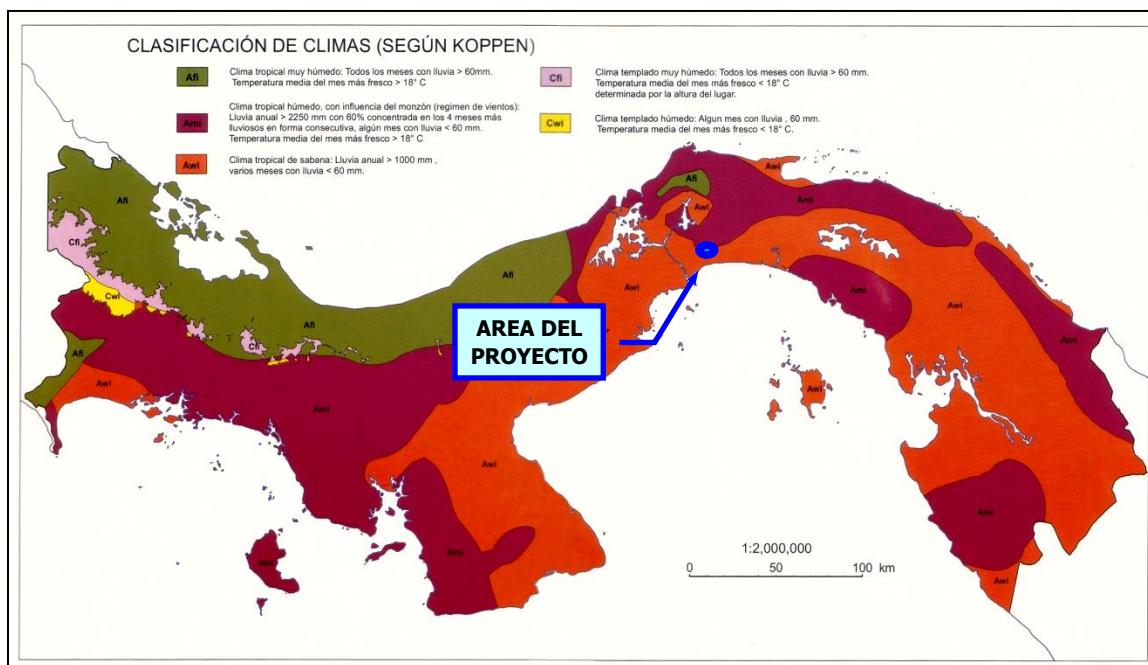
### 3. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es definir el punto de nacimiento de agua superficial que cumple con los parámetros técnicos establecidos para este fenómeno, en el lado sur del proyecto P.H. Riberas del Lago.

### 4. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

#### 4.1. CLIMA

El clima del área de interés, en términos generales, está determinado por la localización geográfica, la altura sobre el nivel del mar, el relieve y la extensión territorial. Para la clasificación climática se utilizó el sistema del climatológico alemán W. Köppen, teniendo en cuenta las características pluviométricas y térmicas del área de influencia (Figura 2).



**Figura 2. Clasificación de Climas (según Köppen).**  
**Fuente: Mapa 11.3, Atlas Nacional de la República de Panamá, 2007.**

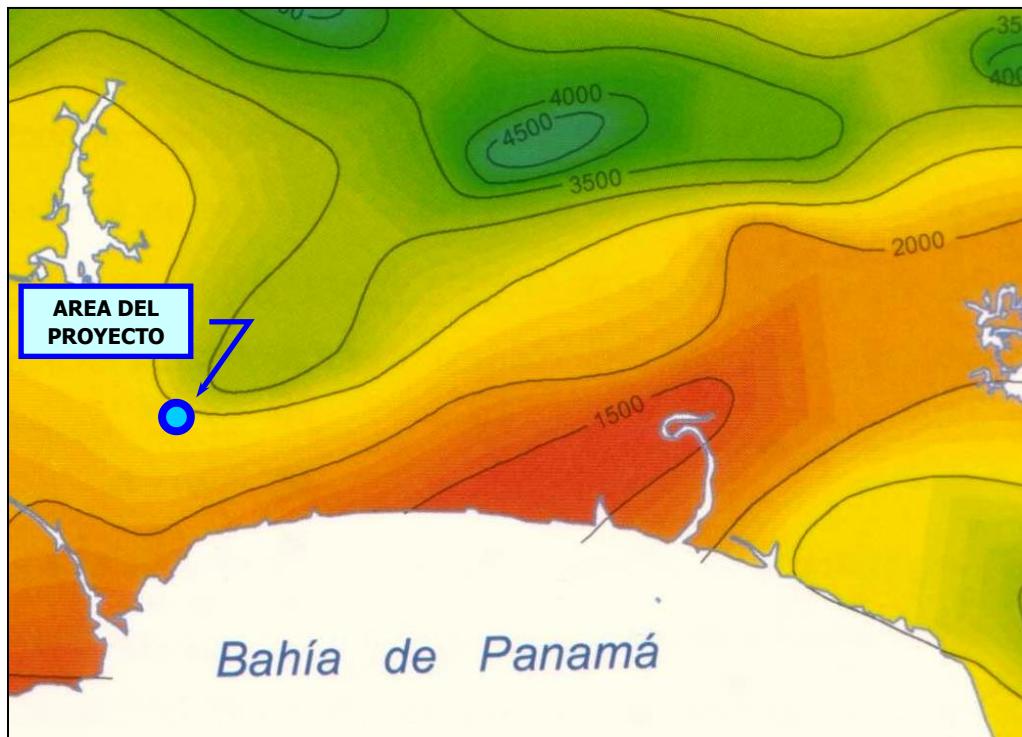
Según esta clasificación, regionalmente tenemos el *clima tropical de sabana (Aw)*, con las siguientes características: *Precipitación anual menor que 2,500 mm, estación seca*

prolongada (meses con lluvia menor de 60 mm) en el invierno del hemisferio norte; temperatura media del mes más fresco mayor que 18°C, diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco menor de 5°C.

Este tipo de clima, como norma general en nuestro país, a nivel general es el propio de tierras bajas afectadas por la deforestación y dedicadas a potreros, áreas pobladas y agricultura de subsistencia.

#### 4.2. PRECIPITACIÓN

El régimen anual de precipitación, característico del área evaluada, es de tipo monomodal, con un período seco de 5 meses de diciembre a abril, acentuado de febrero a marzo y un período lluvioso de 7 meses, de mayo a noviembre, siendo mayores las lluvias en octubre (Figura 3).

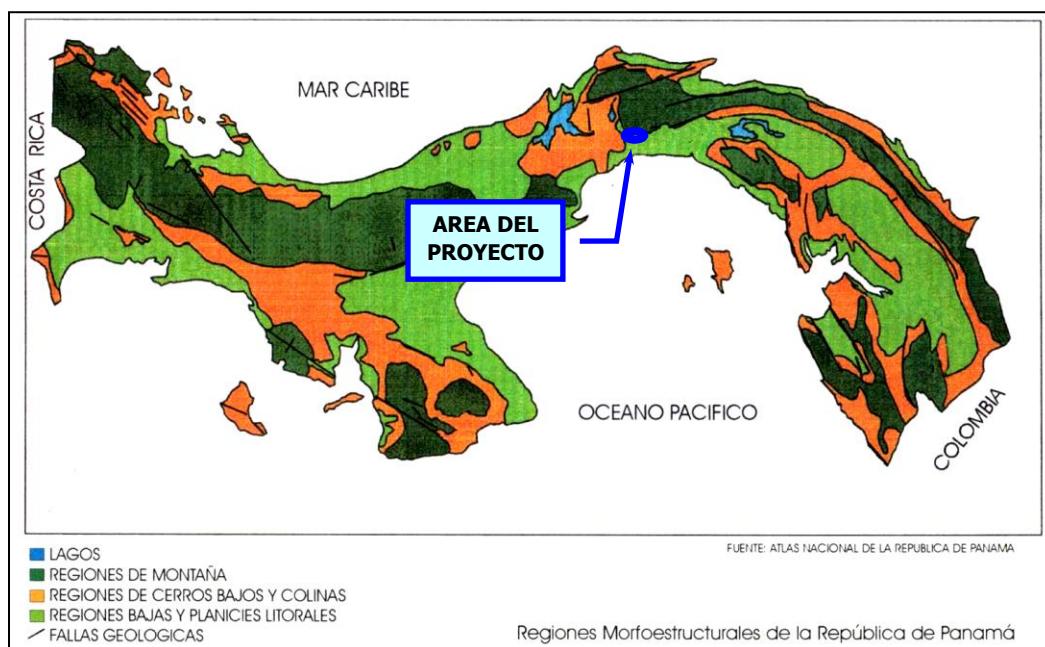


**Figura 3. Precipitación Media Anual en milímetros del área del Proyecto.**  
Fuente: Mapa 9.1, Atlas Nacional de la República de Panamá, 2007.

Este período, en términos generales, se caracteriza por los máximos de precipitaciones coincidentes con el paso de la ITCZ (Zona de Convergencia Intertropical) en dirección al norte (junio) y en sentido meridional (octubre) en su desplazamiento, siguiendo la trayectoria de la declinación anual del sol. Para nuestro caso concreto, la precipitación en la zona de estudio es aproximadamente de 2,500 mm por año.

#### 4.3. GEOMORFOLOGÍA Y EROSIÓN

El área investigada morfoestructuralmente está representada por la unidad geomorfológica denominada como *Regiones de Cerros bajos y Colinas* (Figura 4). En el contexto estructural corresponde a litología de rocas sedimentarias y deposiciones volcánicas ubicadas morfocronológicamente en el Terciario Medio.



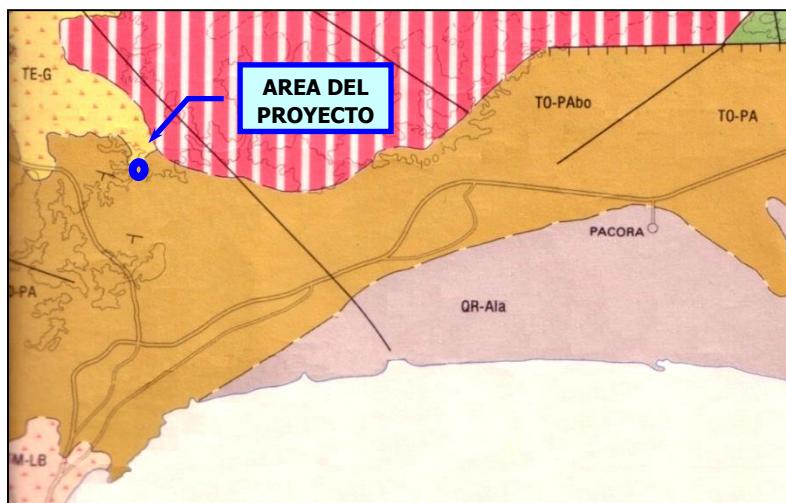
**Figura 4. Región Morfoestructural del área del Proyecto.**  
**Fuente: Mapa 4.1, Atlas Nacional de la República de Panamá, 2007.**

La erosión en menor medida puede ser eólica pero la principal pudiera ser en este caso de orden hídrico es decir precipitación en época de lluvias. Esta última es la de mayor incidencia en forma de red drenajes de trayectoria dendrítica en el marco de procesos normales para tierras de cerros bajos y colinas con gradiente hidráulico intermedio,

actualmente exhiben pastizales de lo que anteriormente fueran potreros. El área investigada cuenta con vegas de ángulos pronunciados debido a esta erosión.

#### 4.4. MARCO GEOLÓGICO

En el área de influencia del proyecto Riberas del Lago afloran rocas sedimentarias de la formación Panamá (TO-PA) fase marina. En general, está constituida por arenisca tobácea, lutita tobácea, caliza albacea y foraminífera e incidencia de capas piroclásticas depositadas en ambiente marino. El material aflorante en el área del proyecto es un aglomerado pobemente consolidado fácilmente erosionable por su matriz de ceniza volcánica no calcinada. La formación geológica Panamá fase marina, que han interceptado los sondeos geofísicos realizados durante la presente evaluación y que muestra afloramientos en la zona investigada es de la Época del Oligoceno Medio del Período Terciario con 28.1 millones de años de antigüedad según la escala de tiempo geológico (Figura 5).



**Figura 5. Mapa Geológico del Área del Proyecto**  
**Fuente: Mapa Geológico de la República de Panamá, DGRM, 1991.**

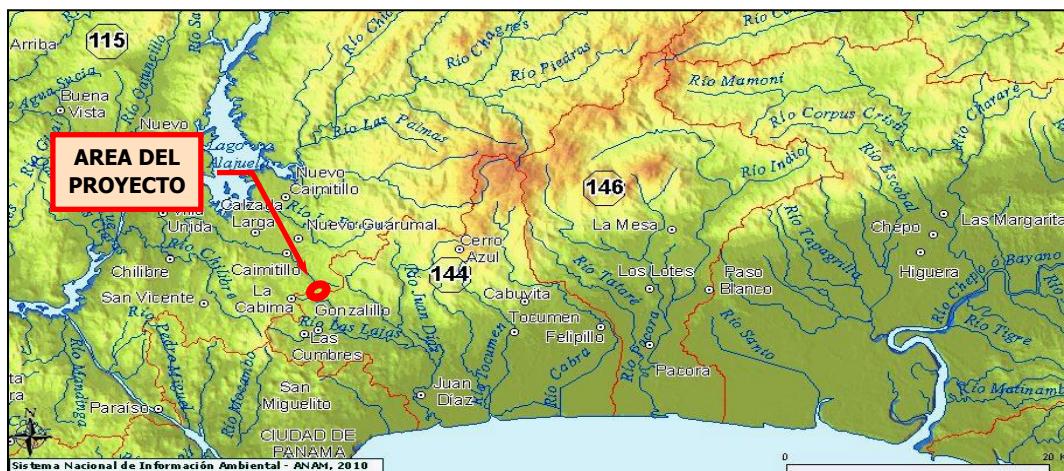
La descripción e interpretación de los materiales que se hace en este trabajo está basada en el Mapa Geológico de la República de Panamá, escala 1:250,000 (1991), el de Geología y Geomorfología del Catastro Rural de Tierras y Aguas de la República de Panamá escala 1:50,000 (1968), así como en las observaciones efectuadas durante las

labores de campo en el proyecto P.H. Ribera del Lago y experiencia personal en otros proyectos similares, cercanos a la zona evaluada. En tal sentido se trata de un predio fronterizo con la formación sedimentaria Gatuncillo TE-G de mayor antigüedad y pudiera ser que la formación aflorante Panamá Marino este superpuesta a esta última en el punto investigado. Cabe destacar, que ambas formaciones tienen materiales finos que pueden emitir el mismo tipo de respuesta eléctrica a la acción de la sonda eléctrica, aunque este detalle no es relevante para la valoración ya que puede ser variación de cualquier sedimento marino o bien limolita calcárea típica del área todas poco permeables desde el punto de vista hidrogeológico.

## 4.5. RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES

### 4.5.1. Fuentes superficiales

La cuenca hidrográfica donde está localizada la Finca o polígono evaluado es la del “*Río Juan Díaz y entre Río Juan Díaz y Pacora*”, identificada como la No. 144, y se encuentra ubicada en la Vertiente Pacífica (Figura 6).



**Figura 6. Mapa de Cuenca Hidrográfica No. 144 donde está localizada el Proyecto**  
**Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental – ANAM, 2015.**

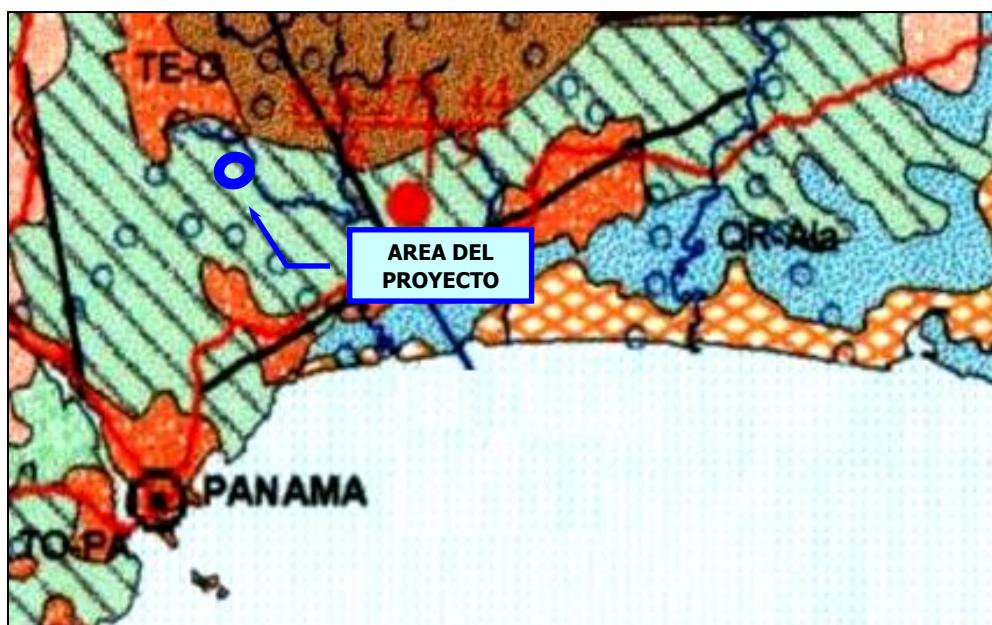
La zona de investigación tiene como más importantes del área los ríos Lajas y Juan Díaz. En ambos casos no se tienen a las mismas como fuentes superficiales perspectivas o bien alternativas como nuevas fuentes para suministro de agua potable de este proyecto

de desarrollo urbanístico debido a la buena distribución del agua de la Planta de Chilibre que satisface la gran demanda del área y la amenaza de contaminación que tienen las fuentes superficiales menores cercanas.

#### 4.5.2. Fuentes subterráneas

La referencia del Mapa Hidrogeológico de Panamá, Escala 1:1, 000,000 atribuye al área de estudio el siguiente tipo de acuíferos (Figura 7):

Áreas con acuíferos locales, continuos o discontinuos de productividad limitada,  $Q = 3 - 5 \text{ m}^3/\text{h}$  (13 - 22 gpm), con permeabilidad baja, pertenecientes al grupo geológico Panamá fase marina (TO-PA). Acuíferos constituidos por depósitos marinos generalmente de naturaleza clástica, con secciones ocasionales de origen bioquímico (calizas). La granulometría predominante de estos materiales es fina teniendo como origen limos y arcillas. En estas formaciones se encuentran aleatoriamente intercalaciones de basaltos y andesitas en forma de diques así como capas poco potentes de aglomerado. Se puede obtener cierta producción buena en pozos individuales. La calidad química de las aguas es variable.



**Figura 7. Mapa Hidrogeológico del Área del Proyecto.**  
Fuente: Mapa Hidrogeológico de Panamá, ETESA, 1999.

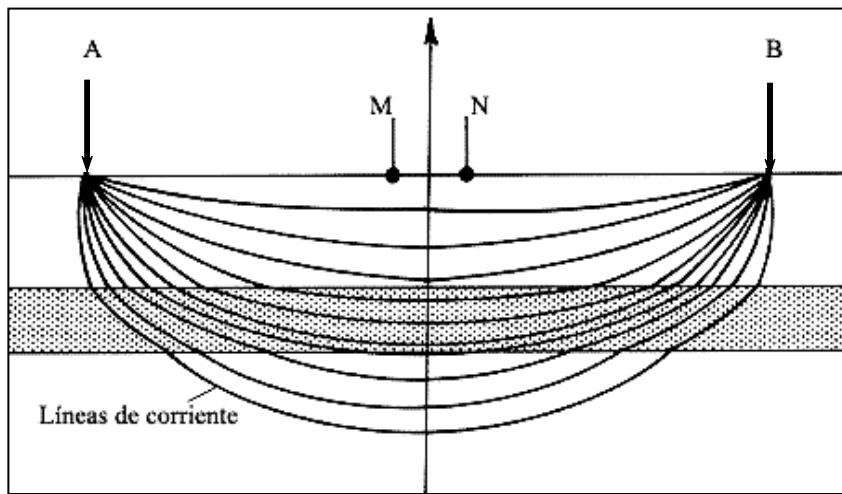
## 5. INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

### 5.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Ante la necesidad de poder formar una imagen tridimensional del bloque geológico que conforma el área del Proyecto P.H. Riberas del Lago en los puntos de afloramientos de agua evaluados, se decidió definir este factor a través de sondeos geofísicos llamados Sondeos Eléctricos Verticales, SEV, teniendo como referencia colateral el análisis de los mapas geológicos e hidrogeológico de la zona evaluada para la interpretación respectiva, así como también observaciones de campo en el sitio de investigación.

Cabe destacar, que los métodos geofísicos de exploración del subsuelo no son nuevos en el ámbito profesional, pero tampoco han sido ajenos a la actual llamada “revolución digital”, con el mejoramiento del instrumental de medición de campo e interpretación por sofisticadas aplicaciones de procesamiento de datos, que ha brindado información más rápida y confiable, pudiendo aplicarse a disciplinas como ingeniería civil, geología y evaluación de impacto ambiental. El objetivo de la presente investigación geofísica ha sido brindar las referencias sobre el papel de los manantiales como signo de reservas de agua subterráneas de cara a la protección de reservas forestales. Esto es importante pues depende de los componentes del subsuelo, así como sus propiedades acuíferas que sea aplicable la protección o no de tales manifestaciones de agua subterránea.

Para detectar las condiciones de disposición espacial de las capas litológicas, se implementó el método geofísico electroresistivo, con el arreglo de electrodos tipo Schlumberger. El reconocimiento mediante resistividad eléctrica constituye una investigación geofísica exploratoria, en la cual las mediciones de la resistividad de la tierra se realizan en la superficie del terreno, aprovechando la particularidad de que la corriente eléctrica inyectada penetra en forma de semicírculo entre un electrodo positivo y el otro negativo (Figura 8).



**Figura 8. Arreglo de electrodos tipo Schlumberger.**

Al aumentar progresivamente la distancia entre electrodos de corriente y hacerse mayor el semicírculo respectivo, se puede tener un registro de las capas geoeléctricas atravesadas, si a su vez se tienen otro par de electrodos midiendo el potencial resultante entre los electrodos de corriente. La resistividad aparente se calcula a través de coeficientes propios de cada arreglo de electrodos, interviniendo además, los principios de cálculo de la conocida Ley de Ohm. En este caso particular del proyecto P.H. Ribera del Lago, se utilizó un arreglo especial para objetivos de capas superficiales con alta densidad de mediciones para cotejo estimado de 35 m de profundidad y el llamado arreglo de tres electrodos.

## 5.2. CARACTERÍSTICAS DE EJECUCIÓN

En el despliegue de los electrodos de corriente y potencial al ser un terreno baldío actualmente, no se experimentaron dificultades con ninguna interferencia natural que eventualmente puede afectar algunas lecturas como potencial espontáneo pulsante, obstáculos físicos o cualquier otra perturbación (Tabla 1 y Figura 9). La numeración de los 4 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) implementados no responde a un orden de importancia sino al orden en que fue acometida la tarea de ejecutarlos.

**Tabla 1. Localización de los SEV y manantiales detectados en el predio evaluado.**  
**Fuente: Equipo Consultor, 2022.**

No. SEV/ Manantial	Coordenadas		Elevación, m
	Este (m)	Norte (m)	
SEV-1	662137	1006964	149
SEV-2	662161	1007022	152
SEV-3	662465	1006956	127
SEV-4	662254	1006548	114
M- REF (Referencia)	662142	1007012	146
M-1(Dato de campo)	662441	1006919	119



**Figura 9. Vista general del polígono investigado, puntos de coteo geofísico, manantial de referencia (seco) y punto de agua detectado y referido en campo.**

### 5.3. PARTICULARIDADES DEL ENTORNO Y TÉCNICA DE EVALUACIÓN APLICADA

La metodología de aplicación del método geofísico de prospección por Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) ya descrita, tiene técnicas especializadas para su ejecución. No obstante, se debe indicar que para obtener información básica del subsuelo en tres dimensiones, se deben tener referencias de por lo menos tres puntos de coordenadas y elevación, así como un estimado de las propiedades de cada capa del subsuelo investigado. Privan también al aplicar a la técnica correspondiente, el menor costo y tiempo posible de ejecución con el mayor grado de conocimiento necesario sobre el medio investigado. De esta manera, en el área del proyecto se proyectaron y ejecutaron

cuatro SEV, de los cuales los tres primeros sirvieron de encuadre del punto de referencia (nacimiento de agua), acorde con el objetivo del proyecto (Figura 10).



**Figura 10. Vista general del punto de referencia del nacimiento de agua (izquierda) y su punto inicial (derecha) con ausencia de manifestación de agua (seco)**

El SEV-1 y SEV-2 fueron ubicados en la parte superior del drenaje evaluado, y el SEV-3 estaba localizado cerca del afloramiento de agua detectado en el campo durante los trabajos de exploración (Figura 11).



**Figura 11. Punto de afloramiento de agua cercano al SEV-3 representando una pequeña poza sin flujo de agua elevación 119 msnm (20 de abril de 2022).**

Además, se realizó un cuarto sondeo, SEV-4, con el fin de colectar información adicional sobre la mesa freática regional. El mismo fue ubicado en las cercanías del lago en el sector sur del proyecto. Este último objetivo, enfocado en confirmar la mesa freática, sería bajo un esquema de perfil (en 2D) con respecto a un punto indiscutible de nivel de aguade saturación, como lo es el nivel del lago que está al sur del Centro Comercial de Ciudad del Lago. Por lo tanto, sólo requeriría un SEV de referencia para correlación de niveles de cara a las aguas subterráneas que bajan del proyecto P.H. Riberas del Lago y verificar la roca que lo conforma. En este caso, en los inicios de la época de lluvia, se puede observar en la Figura 12, que el referido reservorio estaba notablemente seco.



**Figura 12. Vista panorámica del lago. El registro geoeléctrico (SEV-4) y el nivel del lago en proyección coincide con un aglomerado, medida desde el nivel de la carretera. Se observa su bajo nivel de agua al final de la estación seca.**

## 5.4. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

### 5.4.1. Descripción de las capas litológicas detectadas con geofísica

En el proyecto P.H. Riberas del Lago en la etapa de colecta de la información sólo fueron observados cuatro tipos de materiales o capas litológicas. En zonas de influencia volcánica de la formación imperante las deposiciones de diferente tipos y texturas se dan

de manera aleatoria. La descripción de estas capas litológicas en su orden secuencial desde el nivel del terreno es la siguiente:

- *Cubierta de suelo.* Material suelto producto de la descomposición en el sitio de la roca original, es decir, no transportado. Está compuesto por fracciones finas de limo o arcillas de alta plasticidad, color de crema a chocolate claro. Esta cubierta de suelo es de espesor variable de escasos metros en atención a procesos naturales de agentes como la erosión por el viento y la lluvia, además de la respectiva meteorización por descomposición química de sus componentes originales.
- *Aglomerado meteorizado.* Es de dureza baja, color gris chocolatoso, granulación de fina a media en cementante pobemente consolidado que contiene grava y rodados dispersos de andesita y basalto. Al ser un material con cierta plasticidad, tiende a almacenar poca agua al sellar eventuales grietas en su masa rocosa. Por otra parte, las arcillas de su composición le confieren baja permeabilidad, siendo poco perspectiva para explotación de agua subterránea. En época de invierno al hincharse las arcillas y limos producto de ceniza volcánica meteorizada el efecto de rechazo de las aguas de infiltración es presumiblemente mayor retardando su saturación. No obstante pese a un periodo de retardo el agua se acumula en las capas superiores donde domina la ceniza volcánica y es entregada gradualmente durante la época de lluvias.
- *Aglomerado.* Este es el mismo material descrito en la capa superpuesta solo que se presenta más compacto con una matriz algo más consolidada por estar más soldada, no meteorizada. Su dureza es de media adura por lo tanto aparenta tener agua por fisuración producto de su proceso de asentamiento diferencial que genera grietas.
- *Limolita calcárea.* Roca de origen marino compuesta de limos (lama) cementados juntamente con restos de fósiles marinos calcáreos muy finos compactados, dureza media, coloración variable en función del contenido de caliza en la roca fresca, va entre crema a verde oliva (experiencia en afloramientos regionales). En este caso, ya sea que proviene de la Formación Panamá fase marina o la Gatuncillo, pues ambas tienen este tipo de roca en su composición, se presenta compacta y con

pocas grietas, constituyendo un material impermeable de gran espesor, que sirve de base o piso a la secuencia litológica regional.

#### **5.4.2. Detalle de interpretación de los SEV realizados**

Las respectivas fichas técnicas de los cuatro sondeos geoeléctricos (SEV) realizados, se encuentran en el Anexo del Informe, representando los datos geofísicos recabados en el campo. No obstante, como el principal objetivo de estos trabajos es descifrar el orden espacial de las capas litológicas y no sus magnitudes geoeléctricas, se presentan a continuación las interpretaciones de secuencias respectivas de la litología ya descrita, pero en este caso aplicada concretamente a cada sondeo geoeléctrico realizado:

##### **SEV-1**

- De 0.00 a 2.70 m. Cubierta de suelo.
- De 2.70 a 9.00 m. Aglomerado meteorizado.
- De 9.00 a 28.00 m. Aglomerado.
- De 28.00 a 35.00 m. Limolita calcárea.

##### **SEV-2**

- De 0.00 a 2.30 m. Cubierta de suelo.
- De 2.30 a 22.00 m. Aglomerado meteorizado.
- De 22.00 a 35.00 m. Limolita calcárea.

##### **SEV-3**

- De 0.00 a 2.00 m. Cubierta de suelo.
- De 2.00 a 14.00 m. Aglomerado meteorizado.
- De 14.00 a 24.00 m. Aglomerado.
- De 24.00 a 35.000 m. Limolita calcárea.

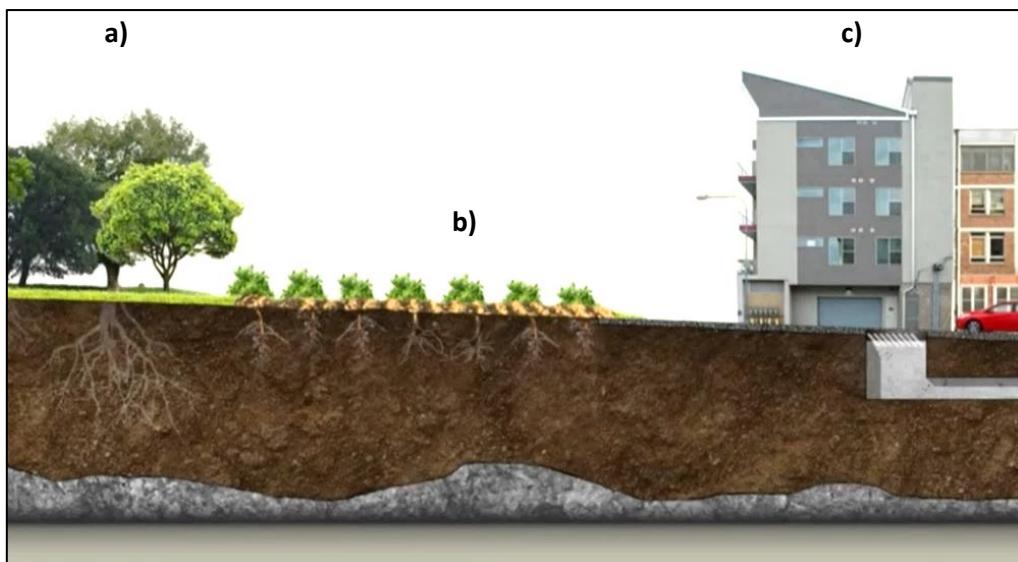
##### **SEV-4**

- De 0.00 a 1.60 m. Cubierta de suelo.
- De 1.60 a 3.10 m. Aglomerado meteorizado.
- De 3.10 a 34.00 m. Aglomerado.
- De 34.00 a 41.00 m. Limolita calcárea.

## 6. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE INFILTRACIÓN DEL ÁREA

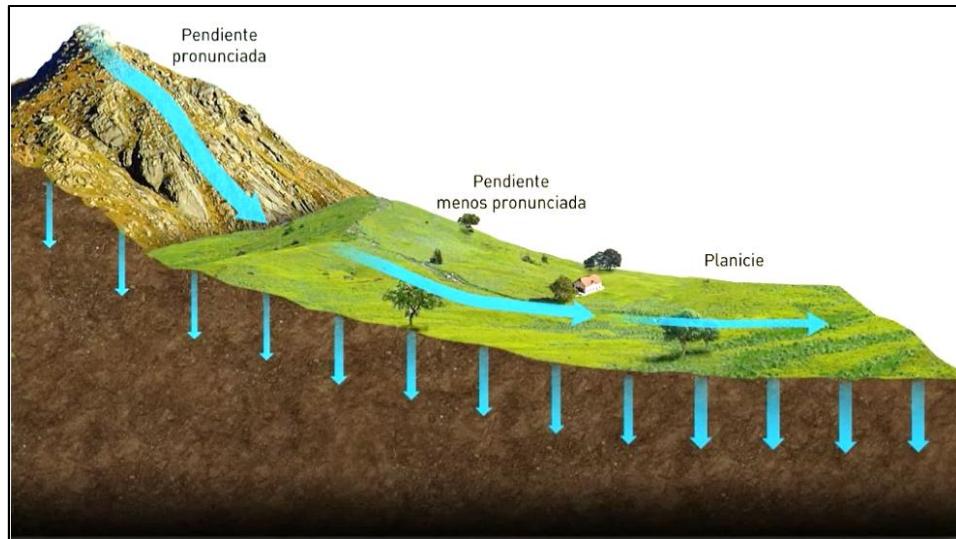
La infiltración es uno de los factores clave del ciclo hidrológico que dan origen a las manifestaciones de agua sobre el perfil del terreno. En tal sentido, se puede ver en términos generales estos factores fundamentales (Figura 13):

- Primeramente puede darse en un ambiente de uso forestal o en medios no intervenidos, la vegetación desarrollada con árboles frondosos y de raíces profundas, así como también la cubierta de hojas secas de los mismos sobre el suelo, facilitan la infiltración profunda de las precipitaciones de lluvia y protegen el suelo de la erosión.
- El segundo escenario puede tener lugar en zonas de cultivos agrícolas, que tienen raíces poco profundas y protegen pobremente al suelo de los impactos de las precipitaciones directas, dejando además el suelo expuesto a el efecto de los vientos y la evaporación directa por los rayos solares.
- El tercer factor puede ser el ambiente urbano que es el que impera en los alrededores del proyecto P.H. Riberas del Lago, pues aguas arriba existen zonas techadas, drenajes y canalizaciones que capturan y disponen del agua, creando una menor infiltración.



**Figura 13. Esquema descriptivo de los escenarios básicos a) forestal, b) agrícola y c) urbano, que influyen en la tasa de infiltración por lluvias.**

Otro factor que igualmente incide en la infiltración y por lo tanto en la manifestación de eventuales nacimientos de agua, es el la pendiente del terreno que de manera expedita ilustra la Figura 14.



**Figura 14. Esquema que explica la relación entre pendiente y tasa de infiltración.**

Continuando con los factores básicos que influyen en la tasa de infiltración, se tiene también la permeabilidad del terreno, que es la estructura que regula el flujo subterráneo Figura 15.



**Figura 15. Puede apreciarse de conformidad con el respectivo esquema del vector de flujo en cada suelo, la importancia de la permeabilidad en la infiltración.**

En medios arenosos se tienen tasas de moderadas a altas de infiltración, en cambio, en las arcillas con su baja permeabilidad se retarda el paso del agua. Por otra parte, en las rocas fracturadas y gravas se registran las mayores tasa de infiltración.

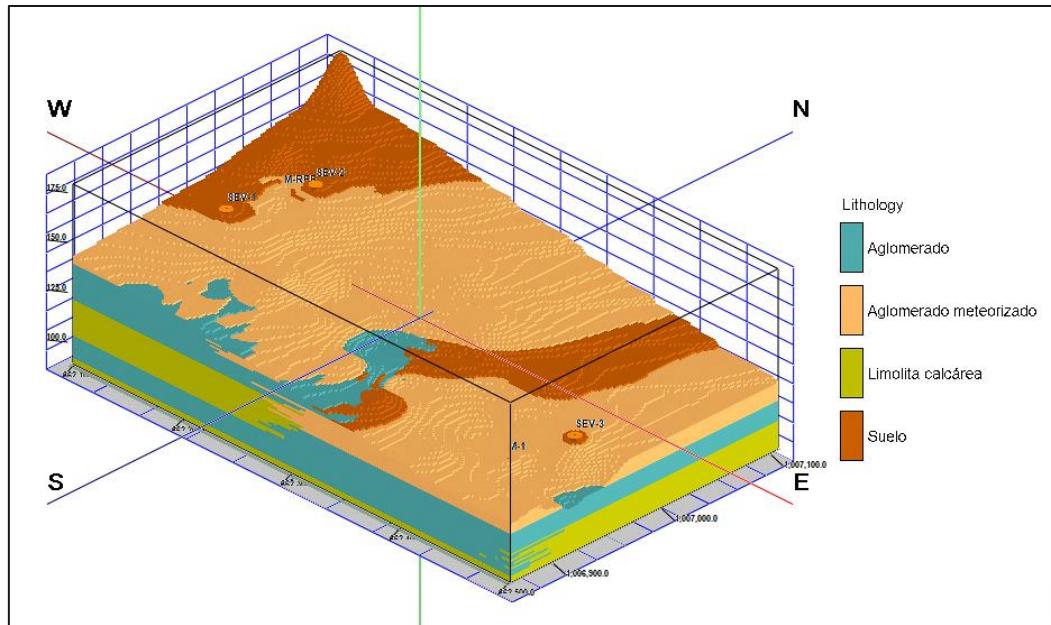
En el proyecto P.H. Riberas del Lago, principalmente aguas arriba de los puntos analizados, se tiene una mezcla de suelo con estos tres componentes arriba descritos, en forma de ceniza volcánica, limo arenoso con arcilla, fragmentos piroclásticos gravosos, incluidos rodados. Por lo tanto, la infiltración es de un rango bajo.

La permeabilidad del terreno también influye en el grado de saturación del suelo a nivel medio local y regional, junto con la intensidad de las lluvias, que sí son de alta intensidad, generan escorrentía superficial, pues no tienen tiempo suficiente de infiltración. Mientras tanto, sí en cambio esa misma cantidad de agua se distribuye en un tiempo mayor, se produce infiltración más significativa e incidencia de manantiales o afloramientos de agua en el área. También es de interés poner de relieve, que a nivel general los niveles de zona saturada que prevalecen al final de la estación seca sobre cotas donde se han presentado los niveles de saturación suficientes como para generar pozas de agua, aunque sea con escaso flujo, son los que llenan los requisitos de un eventual nacimiento de fuente superficial.

## 7. BLOQUE MODELO LITOLÓGICO

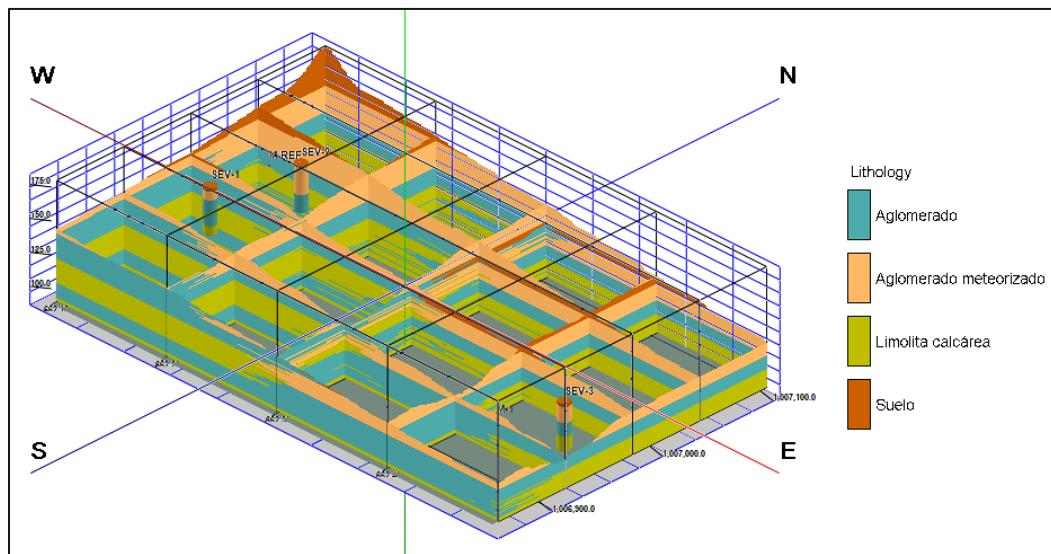
Dado el caso de que han sido explicados en términos generales los factores que inciden sobre una mayor infiltración, que da como resultado manifestaciones de agua sobre la superficie del terreno, lo siguiente es el análisis de la configuración concreta de la zona investigada desde el punto de vista litológico de cara a su capacidad de reservar agua. En esta oportunidad se trata de una zona en los predios del proyecto P.H. Riberas del Lago. La manera más expedita de cumplir esta tarea de análisis es contar con un bloque modelo a escala con visión en tres dimensiones.

En la Figura 16 se presenta el resultado de la consolidación de datos de topografía y de la estructura interna del subsuelo, así como la ubicación de los puntos de agua y trabajos de prospección geofísica (SEV).



**Figura 16. Bloque modelo litológico de la zona investigada en Riberas del Lago**

Para mejorar la perspectiva, se presenta a su vez el mismo bloque modelo con secciones que facilitan la inspección de las capas litológicas internas del mismo (Figura 17).



**Figura 17. Bloque modelo litológico seccionado para poder apreciar la estructura interna.**

Tomando en cuenta los resultados de la información contenida en el bloque modelo, se debe considerar que existe una estructura de las capas litológicas que propicia la existencia de un acuífero colgado, que explicaremos al detalle en que consiste en el siguiente punto donde se abordan los aspectos hidrogeológicos. Al ser limitada la capacidad de almacenamiento de agua en las capas superiores, se produce un drenaje importante en la época de ausencia de lluvias que lo lleva a agotar sus reservas. De esta manera, lo que aparenta ser un “ojo de agua”, válido para considerar como nacimiento de fuente superficial (quebrada), realmente no lo es, pues nace y tiene vigencia solo en la época de lluvias.

Cuando un punto de manifestación de agua en un curso dado se sostiene a pesar de no ser recargado por lluvias, se puede inferir que está apoyado por el flujo base o subterráneo, ya sea a nivel intermedio local o regional. Es decir, la mesa freática es su principal sostén.

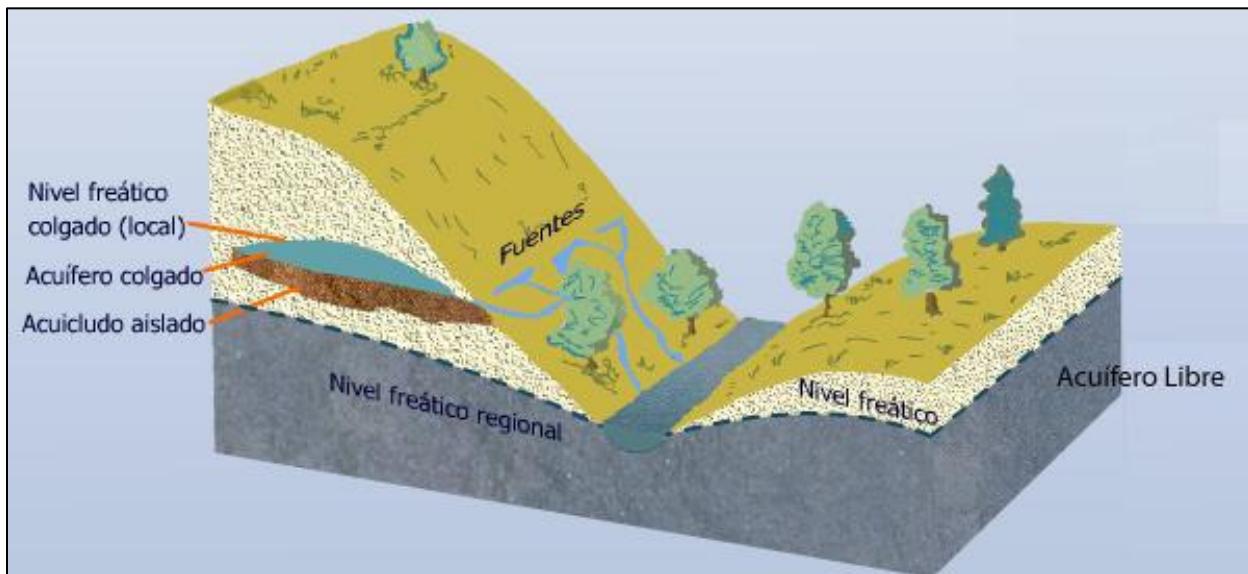
## 8. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

### 8.1. FLUJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

A partir de la interpretación de los datos obtenidos en el inventario de los tres puntos de coteo evaluados y apoyados en la geología resultante además del relieve del área estudiada, podemos indicar que el flujo de aguas subterráneas describe vectores paralelos a la deposición del aglomerado que es el material menos poroso pero con capacidad para recibir, almacenar y transportar el agua. Es decir, desde un enfoque hidrogeológico se ha podido diferenciar en el área del proyecto una sola unidad acuífera con las condiciones y capacidad de dar origen a manantiales permanentes tipo nacimiento que es el aglomerado propiamente dicho. Siendo pertinente hay que aclarar que se presenta en sus dos variantes aglomerado meteorizado con material fino pobremente cementado y el de tipo común que es de matriz soldada más compacto y de menor permeabilidad.

Se trata de una zona topográficamente más elevada y rocosa, con numerosos escarpes debidos a los afloramientos del aglomerado meteorizado que funciona conjuntamente con el aglomerado común como base. En esta zona desde el punto de vista hidrogeológico se puede hablar de la existencia de un acuífero pero de tipo colgado debido a que el material acuífero es de un relativo poco espesor y tiene un piso o parte inferior de material impermeable.

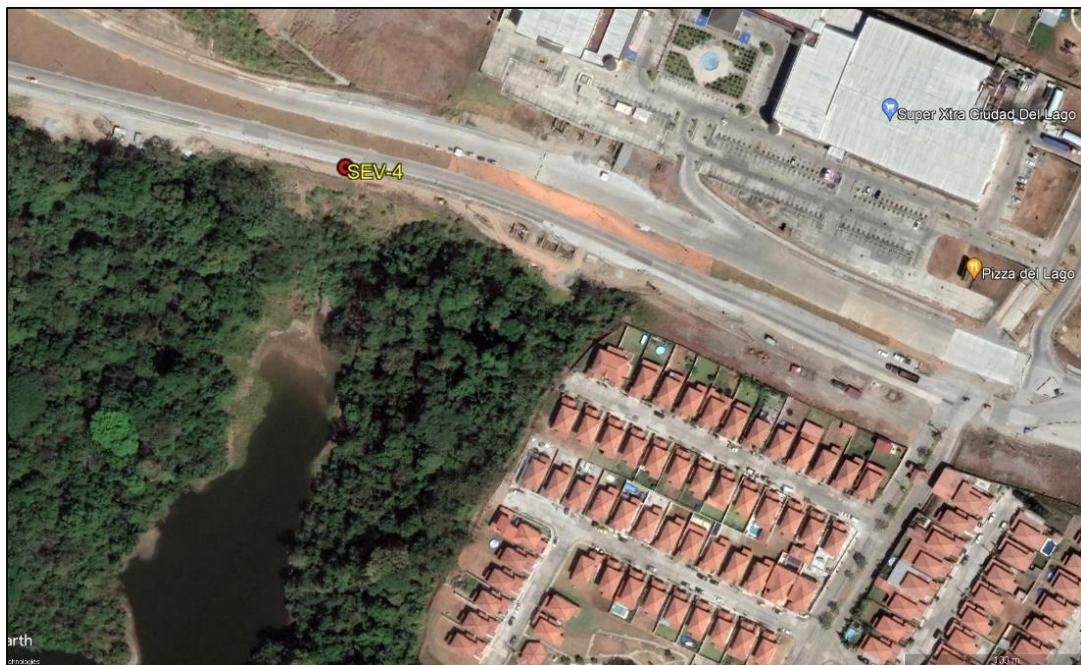
El fenómeno de un acuífero colgado puede tener una mejor comprensión, si se analiza el siguiente bloque diagrama en la Figura 18, en ella puede notarse que se trata de una pequeña cantidad de agua subterránea atrapada fuera del contexto regional del acuífero tratándose de un bolsón de agua aislado. El acuicludo vendría siendo el aglomerado compacto pues se satura solo después de varios metros y que además tiene la limolita calcárea debajo de él reforzando el desfase del acuífero por ser un material relativamente impermeable y es por esta razón que luego del manantial o afloramiento de agua, no se genera una quebrada propiamente dicha en verano como ocurre cuando es un manantial con todas las características que lo distinguen como tal.



**Figura 18. Bloque diagrama ilustrativo de las condiciones encontradas en el predio de Ribera del Lago, donde no se genera el nacimiento de una quebrada formal en verano sino manifestaciones de fuentes de agua dispersas.**

## 8.2. VERIFICACIÓN DE MESA FREÁTICA REGIONAL Y LITOLOGÍA DEL MEDIO ACUÍFERO

Con el interés de tener una imagen completa de la disposición de las aguas subterráneas imperantes a nivel regional y con la litología de su medio acuífero, se aprovechó la cercanía del lago al sur del proyecto P.H. Riberas del Lago junto a la vía Gonzalillo – Pedregal para analizar la interrelación del nivel del lago que revela la mesa freática del área, practicando un cuarto SEV localizado en un perfil entre el lago y la carretera arriba mencionada (Figura 19)



**Figura 19. Localización del perfil de correlación entre el espejo de agua del lago que refleja el nivel freático regional y la litología del área revelada por el SEV-4.**

Se estimó el nivel de secado del lago a partir de datos de la foto panorámica que fue tomada el día 20 de abril de 2022 (Figura 12) y el mismo está por el orden de unos 5 a 6 metros al final de la estación seca o verano. Se trata de la cota 83 msnm aproximadamente, en tanto que la imagen de Google Earth, que es del 2 de diciembre de 2021, tiene el nivel del agua a 88 msnm.

Los datos de correlación del perfil entre el lago y el SEV-4 revelan que el medio acuífero dominante es el del aglomerado en una gruesa capa superpuesta a la limolita calcárea, que le sirve de base, lo cual significa que la permeabilidad de este medio es de una roca compacta fracturada aleatoriamente (Figura 20).

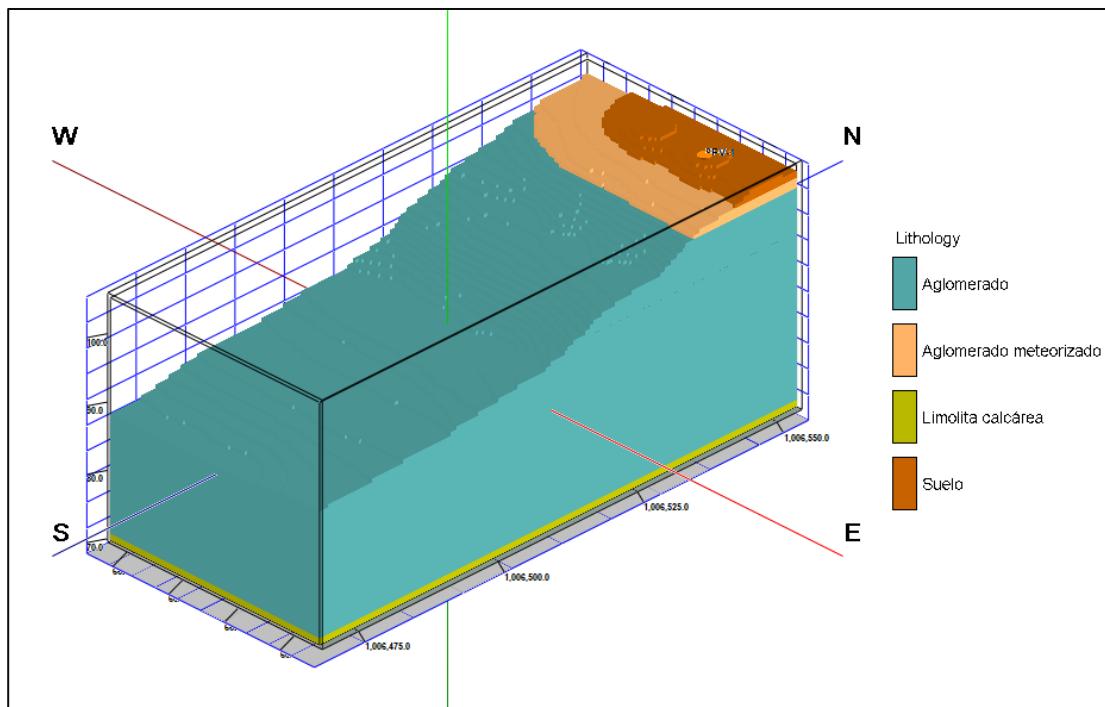


**Figura 20. Labores de captura de datos geoeléctricos del SEV-4 localizado sobre el hombro de la carretera Gonzalillo -Pedregal.**

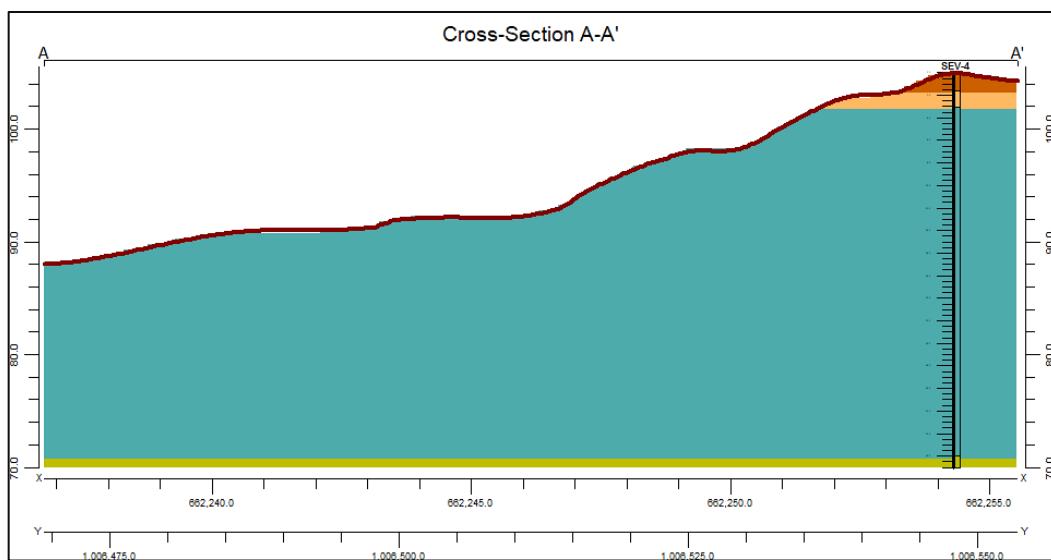
Esta permeabilidad es de tipo secundario, compuesta por una red de grietas y fisuras en la roca sólida. También indica que es en el aglomerado donde se consolida el acuífero regional propiamente dicho, aunque con baja permeabilidad. Otro dato relevante es que el acuífero colgado se forma en el aglomerado meteorizado a partir de la saturación periódica estacional del mismo por infiltración. Este hecho inhabilita este medio acuífero

como eventual generador de punto de nacimiento de agua para curso superficial ya que se produce una zona no saturada (seca) los primeros metros desde la vertical del aglomerado común. Es decir, corresponde a este último la generación de puntos de nacimiento de cursos superficiales a nivel regional.

El material gráfico que ha facilitado este análisis lo constituyen un pequeño bloque modelo de la ladera entre la carretera Gonzalillo – Pedregal y el lago, con su respectivo perfil de corte, que pueden apreciarse en las Figuras 21 y 22 respectivamente.



**Figura 21. Bloque modelo del trazado entre el lago y la carretera.**



**Figura 22. Perfil de corte para análisis de condiciones imperantes en litología y tipo de acuífero entre el lago y la carretera Gonzalillo – Pedregal al sur del proyecto.**

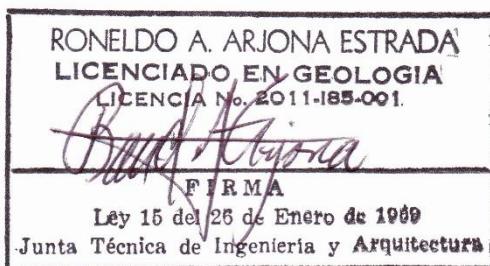
## 9. CONCLUSIONES

Luego de finalizados todos los trabajos de campo y análisis de la información obtenida en el polígono localizado al sur del proyecto P.H. Ribera del Lago dentro de Ciudad del Lago, se elaboró el respectivo Estudio Geofísico e Hidrológico del área evaluada. Los trabajos tuvieron como objetivo la exploración de un drenaje localizado al sur de un proyecto identificado como Ribera del Lago dentro de Ciudad del Lago. Esta etapa de evaluación se realizó al final de la estación seca en abril de 2022, y tuvo los siguientes resultados:

- Se planificó una investigación del área teniendo como punto focal una referencia que fue asignada para verificación, sobre las coordenadas UTM E 662142 m N 1007012 m, y sobre la elevación 146 msnm. Para tal efecto se utilizó el método geofísico de prospección geoeléctrica, en su modalidad Sondeos Eléctricos Verticales, SEV, que incluyeron tres de estos sondeos en los predios del proyecto y un cuarto SEV para verificación de la mesa freática a nivel regional entre un lago al sur del proyecto y la carretera Gonzalillo – Pedregal.
- Los trabajos de exploración de superficie y de la estructura del subsuelo revelaron que el punto de referencia ya indicado y catalogado como nacimiento de agua, se

encontraba totalmente seco al momento de su valoración (20/04/2022). Por lo tanto, se exploró la pendiente del drenaje y se detectó el primer empozamiento de agua sobre la elevación 119 msnm, en el marco de la incidencia de las primeras lluvias de la época de invierno. Esto representa un distanciamiento de 313 metros al sueste del punto de referencia previamente indicado como de nacimiento de agua.

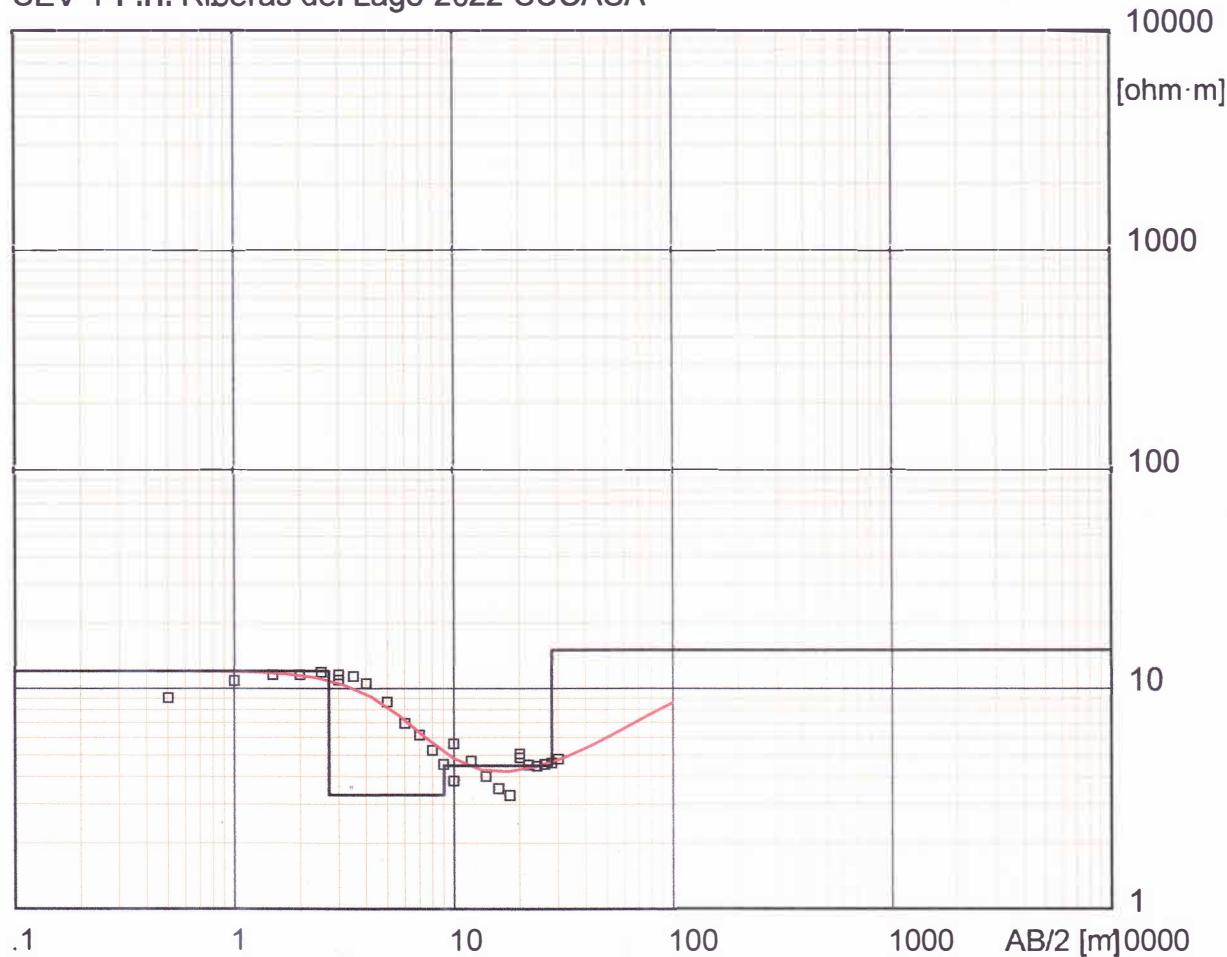
- Según las capas litológicas que componen el área de estudio, desde el nivel del terreno en profundidad se tienen dos capas de material poroso, que son la cubierta de suelo y un aglomerado meteorizado, pobemente consolidado con ceniza volcánica, limos, arcillas y gravas. Debido a que el material poroso tiene discontinuidades por procesos de erosión, el agua aflora como producto de la infiltración en época de lluvias en puntos aislados sobre el nivel regional de las aguas subterráneas, correspondiendo este fenómeno más al concepto de un acuífero colgado que escurre sobre el aglomerado, que es casi impermeable, y hace una pausa en la saturación en sus primeros metros hasta formar el nivel freático regional en profundidad.
- Los resultados del SEV-4 utilizados para verificar el tipo de roca acuífera que prevalece a nivel regional, correlacionándolo con el lago existente como zona saturada dominante, indican que es el aglomerado, que a su vez es parte de la secuencia litológica encontrada en el proyecto P.H. Riberas del Lago.
- Por lo tanto, se puede estimar con las referencias obtenidas que solamente el punto de agua detectado al final de la época de ausencia de lluvias y que fue encontrado en las coordenadas UTM E 662441 m N 1006919 m, sobre la cota 119 msnm, podría corresponder al inicio del curso de agua superficial, con lo cual sería el inicio del curso de agua y estimarse como un nacimiento de agua superficial. Este punto de agua en forma de poza estancada inicialmente, luego decenas metros aguas abajo, da comienzo a un pequeño flujo y está identificado como M-1 en este Estudio.



## **ANEXO**

## Electrical sounding Schlumberger - SEV-1.WS3

SEV-1 P.H. Ríberas del Lago 2022 SUCASA



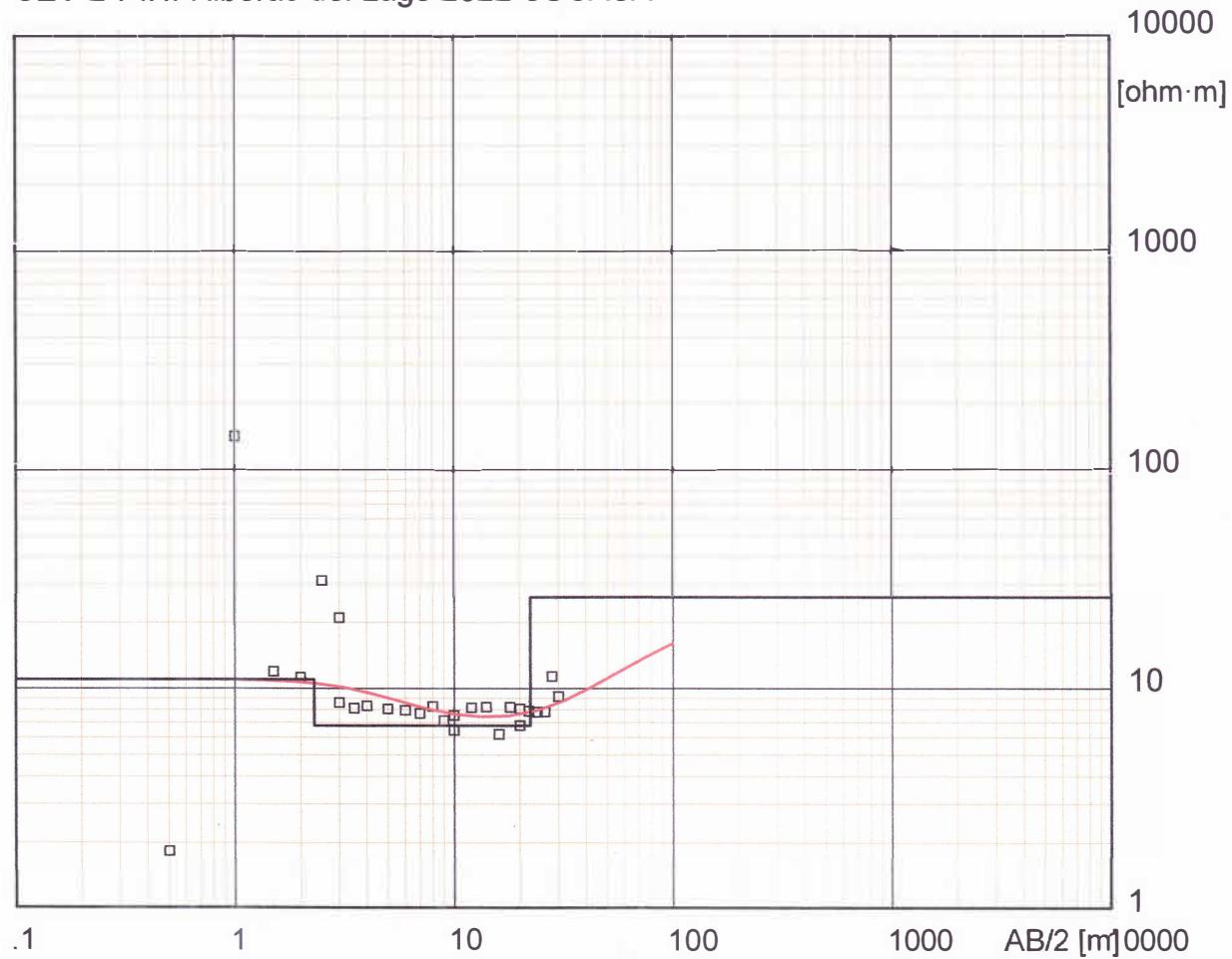
Location X = 662137 Y = 1006964 Z = 149

### Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
12	2.7		149
3.3	6.3	2.7	146.3
4.5	19	9	140
15		28	121

## Electrical sounding Schlumberger - SEV-2.WS3

SEV-2 P.H. Riberas del Lago 2022 SUCASA



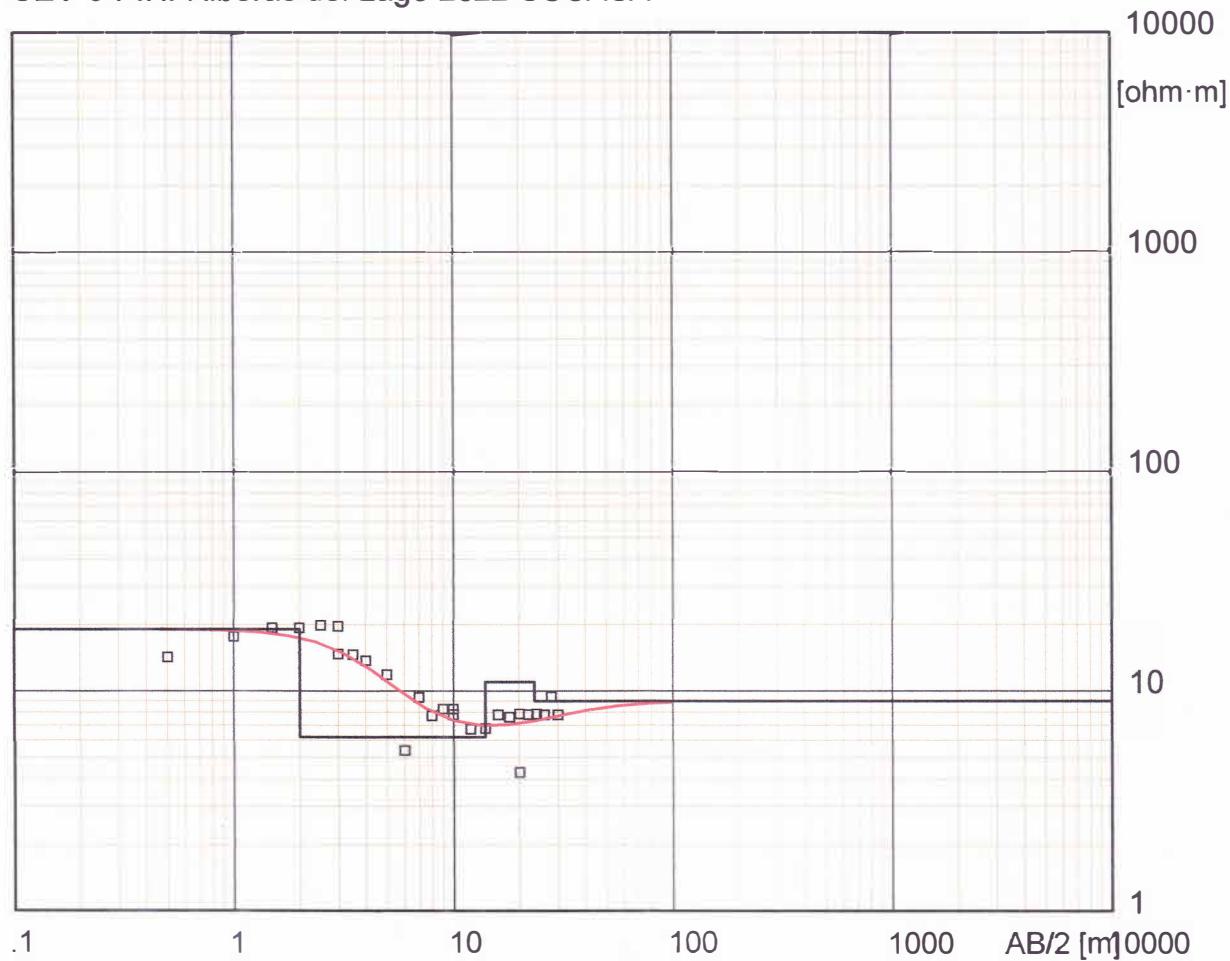
Location X = 662161 Y = 1007022 Z = 152

### Model

Resistivity	Thickness	Depth	Altitude
[ohm·m]	[m]	[m]	[m]
11	2.3		152
6.8	20	2.3	149.7
26		22	130

## Electrical sounding Schlumberger - SEV-3.WS3

SEV-3 P.H. Riberas del Lago 2022 SUCASA



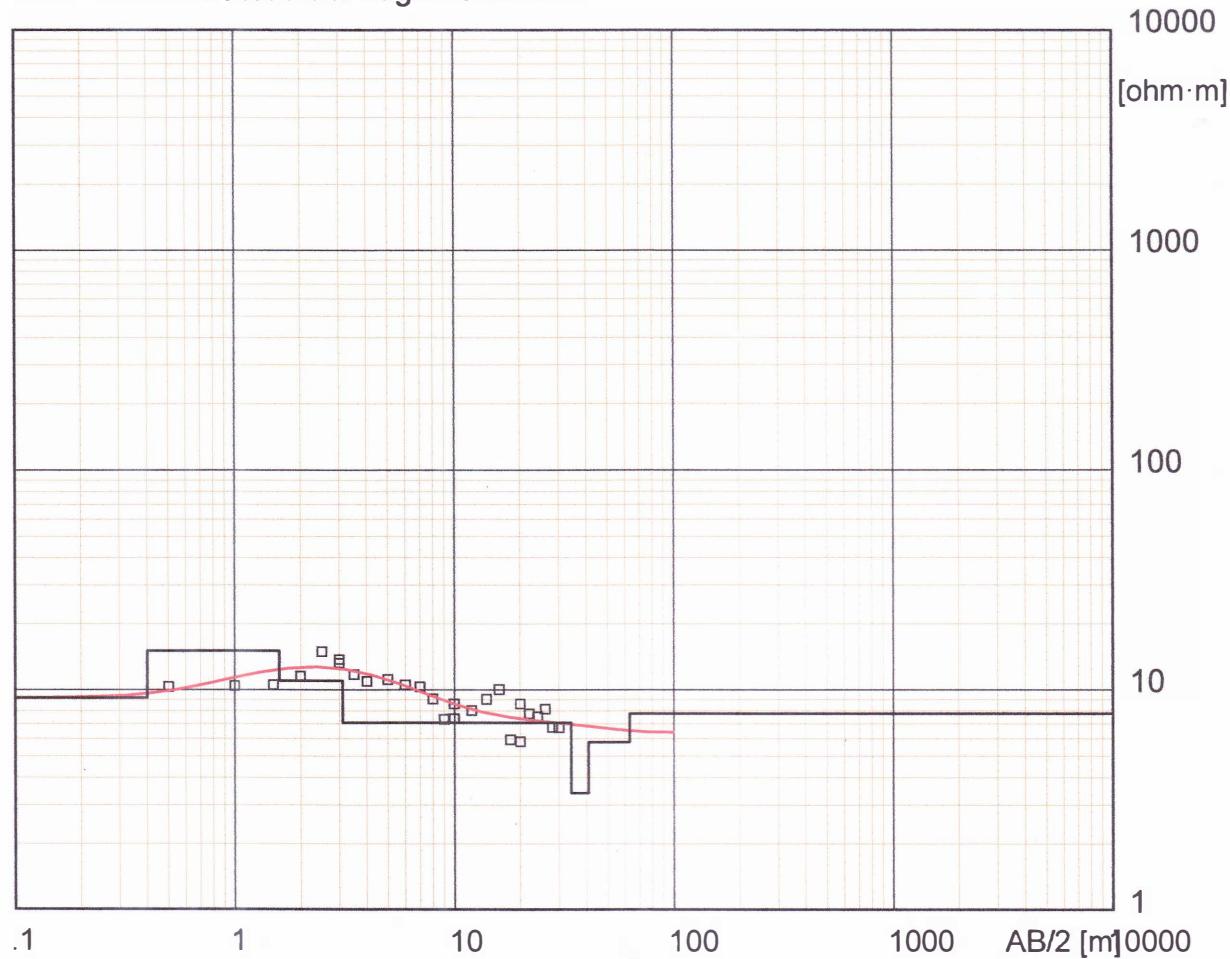
Location X = 662465 Y = 1006956 Z = 127

### Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
19	2		127
6.2	12	2	125
11	9.5	14	113
9		24	103

## Electrical sounding Schlumberger - SEV-4.WS3

SEV-4 P.H. Riberas del Lago 2022 SUCASA



Location X = 662254 Y = 1006548 Z = 114

### Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
9.2	.4	.4	114
15	1.2	.4	113.6
11	1.5	1.6	112.4
7.1	31	3.1	110.9
3.4	6.7	34	80
5.8	22	41	73
7.8		63	51