

REPUBLICA DE PANAMA

CORPORACIÓN URBANIZADORA DEL CARIBE, S.A.

**INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA
CON FINES DE VALORACIÓN DE MANIFESTACIÓN
DE NACIMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL
EN EL PROYECTO P.H. FRENO**



HIDROGEO SERVICIOS CONSULTORES, S. A.

**PREPARADO POR: MSc. GEOL. RONELDO ARJONA
(LICENCIA PROF. No. 2011-185-001)**

RONELDO A. ARJONA ESTRADA LICENCIADO EN GEOLOGIA LICENCIA N°. 2011-185-001.	<i>Ronaldo Arjona</i> FIRMA	Yo, Lcdo. Souhail M. Halwany C., Notario Público Noveno del Circuito de Panamá, Primer Suplente, con Cédula de identidad N°. 8-722-2125,
Ley 15 del 25 de Enero de 1969 Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura		CERTIFICO: Que este documento ha sido cotejado y encontrado en todo conforme con su original.



ABRIL, 2021

Panamá, 28 SEP 2021
Souhail
Lcdo. Souhail M. Halwany C.
Notario Público Noveno del Circuito de Panamá,
Primer Suplente

INDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. LOCALIZACIÓN	2
3. OBJETIVOS	2
3.1 OBJETIVO GENERAL	2
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	2
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. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA	13
5.3.1. Respuesta geeléctrica del medio investigado	13
5.3.2. Descripción de las capas litológicas detectadas con geofísica	15
5.3.3. Detalle de interpretación de los SEV realizados	16
5.3.4. Breves antecedentes de la geología histórica del área	17
6. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS-FLUJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	17
7. ANÁLISIS DEL BLOQUE MODELO GENERADO POR REFERENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN EL ÁREA DEL PROYECTO	19
8. CONCLUSIONES	21
ANEXO	23

INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

CON FINES DE VALORACIÓN DE MANIFESTACIÓN DE NACIMIENTO DE AGUA SUPERFICIAL EN EL PROYECTO P.H. FRESNO

1. INTRODUCCIÓN

La Empresa Promotora Sociedad Urbanizadora del Caribe (SUCASA) ha solicitado la preparación de la presente Investigación Geofísica con fines de valoración y debida clasificación de manifestación de agua superficial para juzgar su papel en la protección mediante áreas verdes donde está ubicado el proyecto P.H. Fresno.

Con respecto al nacimiento de una fuente superficial se dan diferentes casos que pueden confundir al observador. Es posible que sea un curso intermitente producto del drenaje en época lluviosa, que luego en el verano se seca; también en zonas urbanas se pueden dar roturas de la red de tuberías o alcantarillados que aparenten ser tal nacimiento o bien, efectivamente un punto, donde el nivel del agua subterránea se desborda de manera natural y mantiene un flujo relativamente constante, dando origen a un curso de agua superficial. Estas incógnitas deben despejarse debido a que existen leyes ambientales que regulan una zona de protección específica para este fenómeno, de allí la necesidad de certificarlas con un especialista del ramo.

Como la certeza de un nacimiento de fuente superficial depende de factores externos e internos de la corteza terrestre, se hace necesaria la implementación de métodos exploratorios con la capacidad de realizar catesos confiables del subsuelo, tales como los métodos geofísicos de investigación por resistividad eléctrica en su versión Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). El mismo está basado en que los distintos materiales dan una respuesta diferente al paso de corriente y su resistividad puede ser medida e interpretada litológicamente. Por otra parte, al tratarse de métodos no invasivos que prácticamente no tienen impacto permanente en el medio ambiente, resultan óptimos para tales fines.

2. LOCALIZACIÓN

El Proyecto se localiza en el Corregimiento 24 de Diciembre, Provincia de Panamá, a unos 6 Km al este del centro la Barriada 24 de Diciembre, por la Carretera Nacional vieja a mano derecha (Figura 1).



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

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente investigación fue confirmar la condición de la transición estable no intermitente de fuente subterránea a fuente superficial, conocida como *nacimiento o una quebrada* para dar un perfil general de su entorno en superficie y en el subsuelo con sus componentes litológicos.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

El objetivo específico de darse la condición de nacimiento de fuente superficial es proporcionar datos orientadores a los gestores del proyecto sobre los flujos de aguas subterráneas en forma de curvas de nivel de la mesa freática.

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).

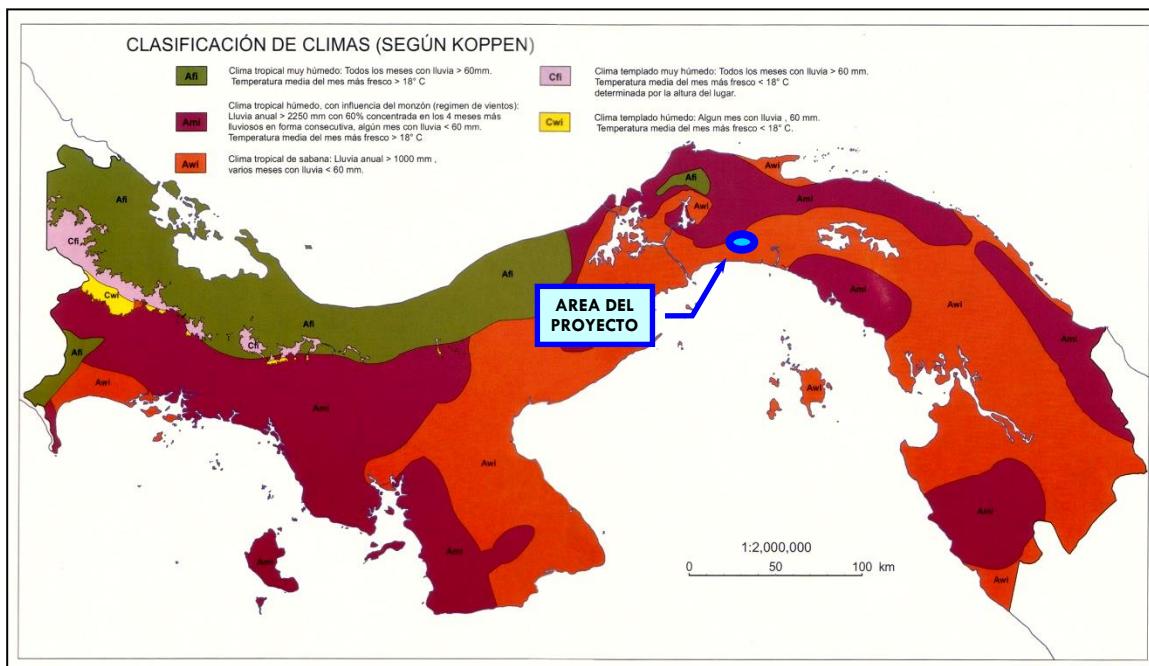


Figura 2. Clasificación de Climas (según Köppen).
Fuente: Mapa 11.3, Atlas Nacional de la República de Panamá, 2007.

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).

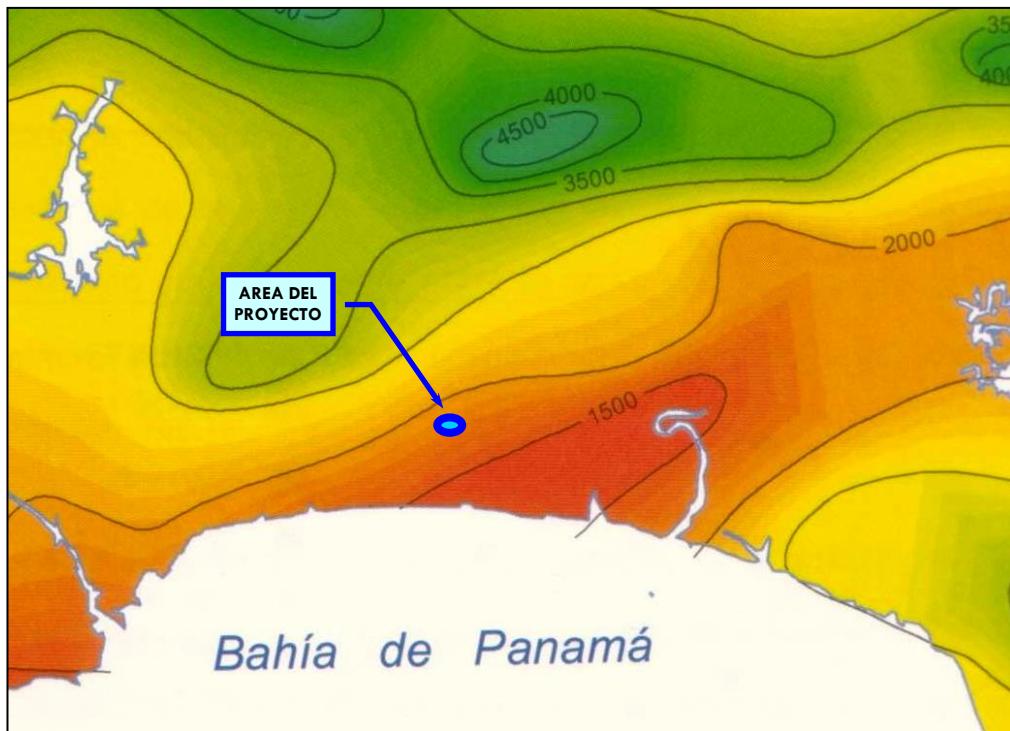


Figura 3. Precipitación Media Anual en milímetros del área del Proyecto.
Fuente: Mapa 9.1, Atlas Nacional de la República de Panamá, 2007.

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 1,800 mm por año.

4.3. GEOMORFOLOGÍA Y EROSIÓN

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

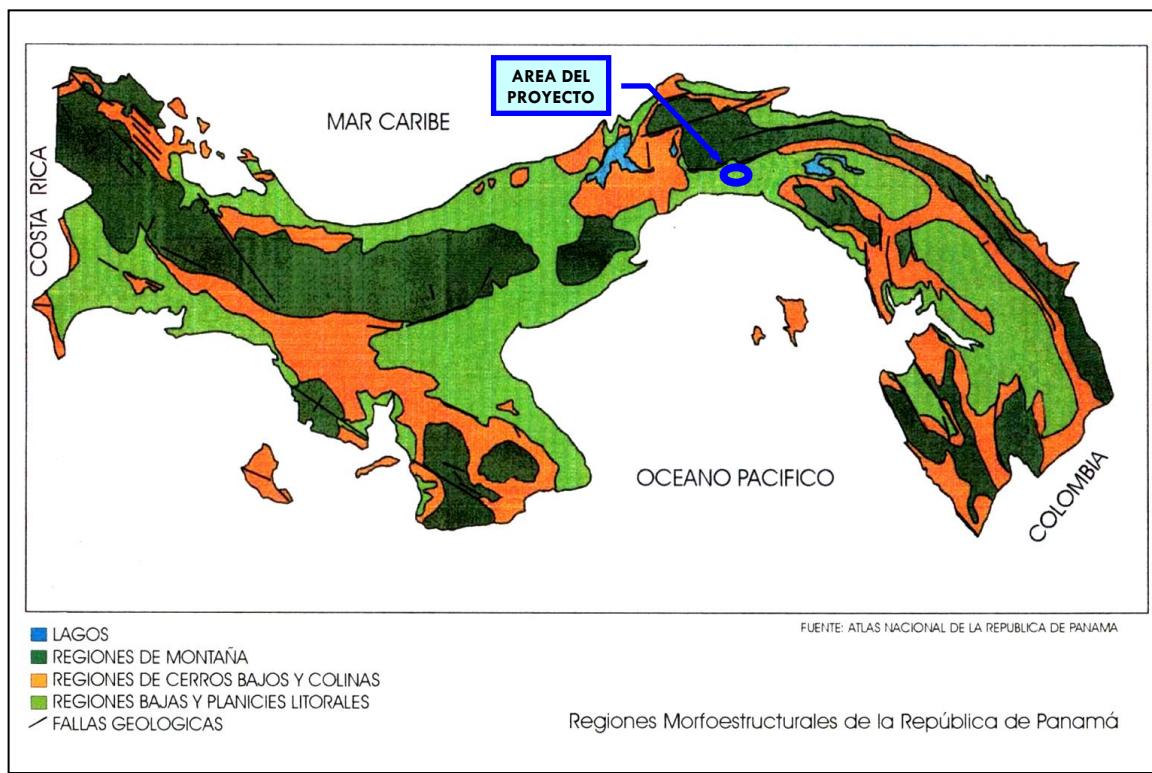


Figura 4. Región Morfoestructural del área del Proyecto.
Fuente: Mapa 4.1, Atlas Nacional de la República de Panamá, 2007.

La erosión pudiera ser en este caso de tipo eólica o de precipitación en época de lluvias. Esta última es la de mayor incidencia en forma de red drenajes de trayectoria angular en el marco de procesos normales para tierras bajas con bajo gradiente hidráulico, actualmente dedicadas a potreros.

4.4. MARCO GEOLÓGICO

En el área de influencia del proyecto P.H. Fresno afloran rocas sedimentarias de la formación Panamá (*TO-PA*) fase marina. En general, está constituida por arenisca tobácea, lutita tobácea, caliza albacea y foraminífera.

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).

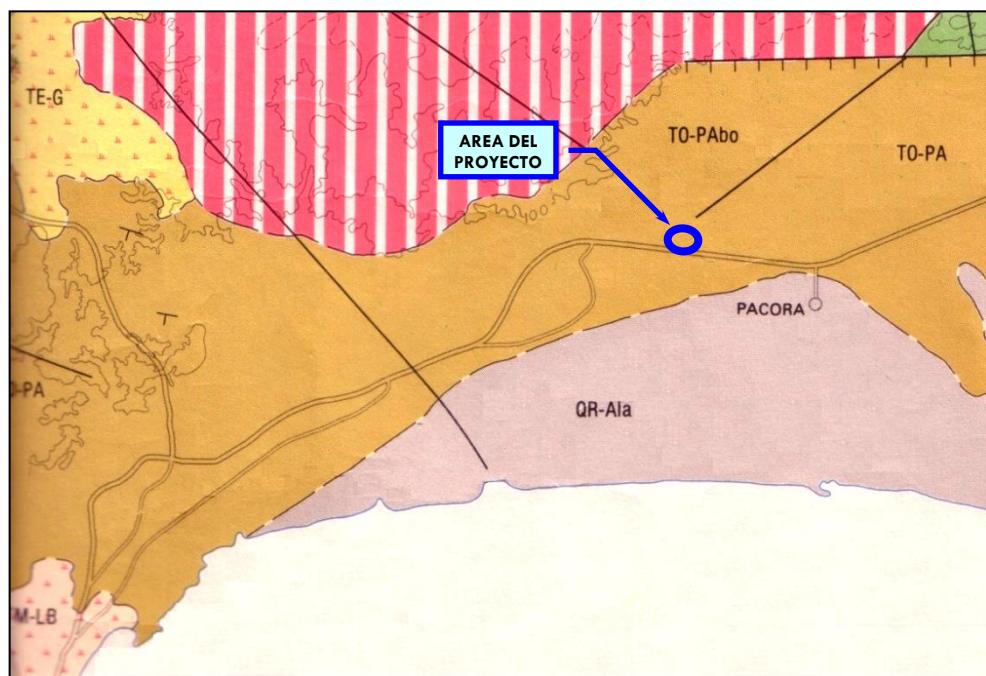


Figura 5. Mapa Geológico del Área del Proyecto
Fuente: Mapa Geológico de la República de Panamá, DGRM, 1991.

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. Fresno y experiencia personal en otros proyectos similares, cercanos a la zona evaluada.

4.5. RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES

4.5.1. Fuentes superficiales

La cuenca hidrográfica donde está localizada el 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).

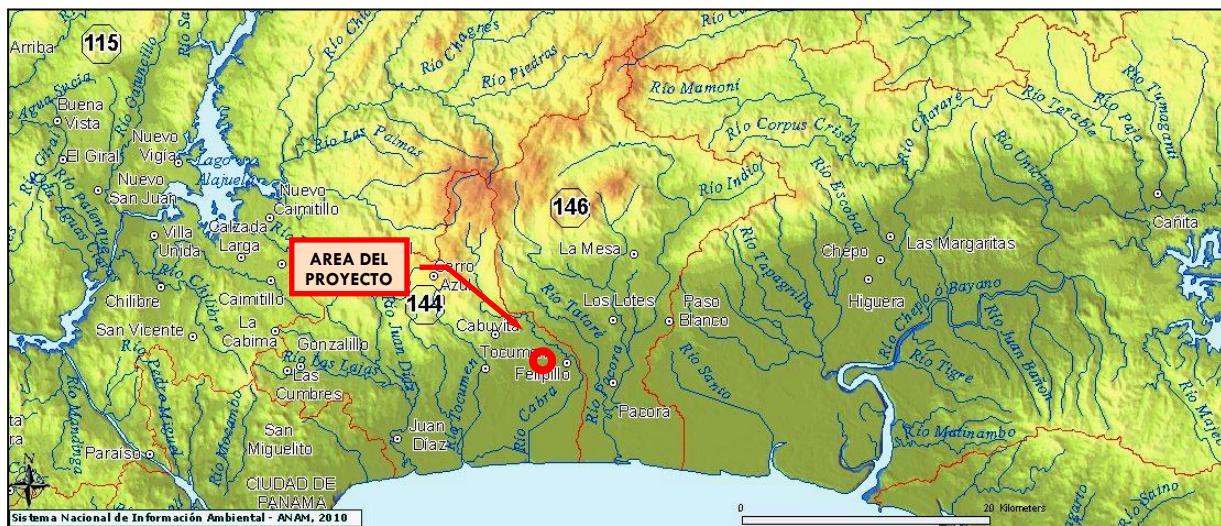


Figura 6. Mapa de Cuenca Hidrográfica No. 144 donde está localizado el Proyecto
Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental – ANAM, 2015.

La zona de investigación está enmarcada entre los ríos Cabra y Tocumen. En ambos casos no se tienen a las mismas como fuentes superficiales perspectivas o bien alternativas como nuevas fuentes para suministro de agua de este proyecto de desarrollo urbanístico debido a la gran demanda del área y la amenaza de contaminación a la que están sometidas dichas fuentes. Cabe destacar que existen Planes gubernamentales de desarrollo futuro de nuevas fuentes de suministro público en importantes cursos de agua como el río Bayano y Mamoní. En el caso concreto de este proyecto, el punto focal lo representa el nacimiento de una quebrada sin nombre, adyacente al antiguo sector de Chumical según el Mapa topográfico escala 1:50,000. Esta quebrada a su vez, luego de un recorrido de 4.2 km, se une al río Cabuya para finalmente integrarse al río Cabra que

desemboca en la Bahía de Panamá, luego de haber sido canalizado con fines de mejoramiento del drenaje natural del área.

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 m³/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. Se puede obtener cierta producción buena en pozos individuales. La calidad química de las aguas es variable. Las investigaciones de campo en este proyecto confirman plenamente estas afirmaciones generales del área.

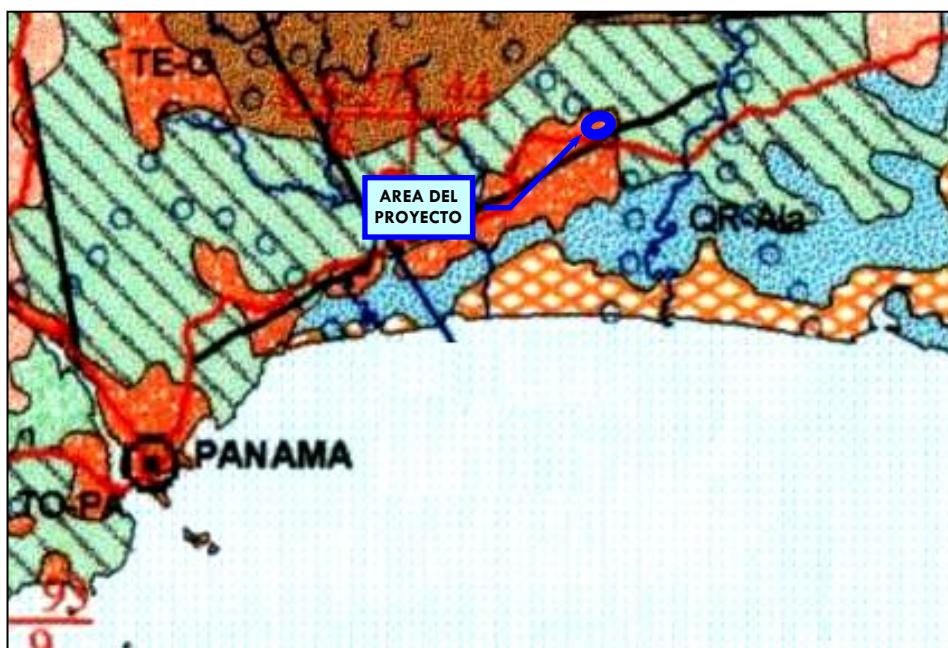


Figura 7. Mapa Hidrogeológico del área del Proyecto.
Fuente: Mapa Hidrogeológico de Panamá, ETESA, 1999.

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 de Desarrollo Urbanístico P.H. Fresno en los cinco puntos 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 investigada para la interpretación litológica respectiva, así como también observaciones de campo en el sitio de investigación. 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.

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.

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 otro negativo (Figura 8).

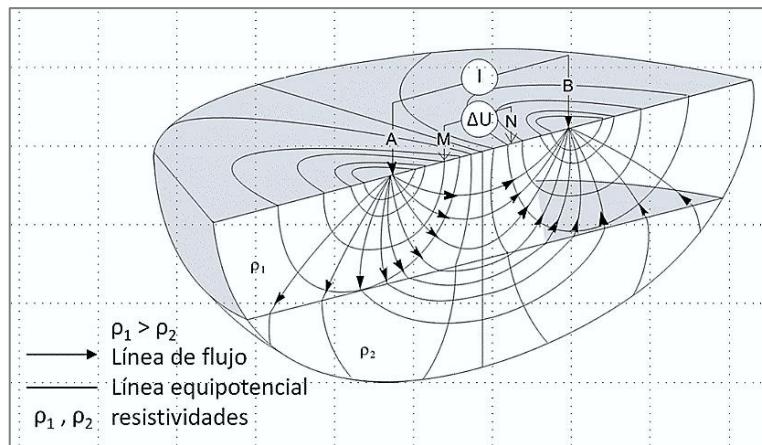


Figura 8. Arreglo de electrodos tipo Schlumberger.

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 de P.H. Fresno se utilizó un arreglo especial para objetivos de capas superficiales con alta densidad inicial de lecturas cada 0.50 m para cotejo estimado de 30 m de profundidad y el llamado arreglo de tres electrodos aplicable en zonas de poco espacio.

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. La numeración de los cinco Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) y su posición no responde a un orden de importancia, sino al orden en que fue acometida la tarea de ejecutarlos (Figura 9 y Tablas 1 y 2)



Figura 9. Imagen satelital con la localización de los SEV además del punto de nacimiento de la quebrada s/n. Fuente: Google Earth, 2021.

Tabla 1. Localización de los SEV en el predio y el punto de nacimiento de la quebrada.
Fuente: Equipo Consultor, 2021.

No. SEV	Coordenadas		Elevación, m
	Este (m)	Norte (m)	
SEV-1	681733.113	1007666.081	51.31
SEV-2	681527.985	1007691.501	52.95
SEV-3	681632.654	1007639.077	48.25
SEV-4	681478.923	1007562.058	65.54
SEV-5	681419.016	1007722.714	56.94
Punto de Nacimiento	681622.743	1007667.651	46.94

En cuanto a la captura de datos de campo, las respuestas del terreno a la inyección de corriente fueron claras y precisas. Al investigarse un medio donde la resistividad es inferior por tratarse de sedimentos de origen marino arcillosos, se dieron valores bajos acordes con la naturaleza de los estratos. No obstante, si se encontró contacto con una colada de lava basáltica que se distingue claramente por sus valores altos de resistividad. El despliegue máximo de las alas del arreglo de tres electrodos tipo Schlumberger fue de $AB/2=30$ metros por uno de los lados y el otro se colocó en posición de “infinito”, es decir, varias veces más grande que 30 m, previéndose lecturas de empalme de los cambios de electrodos de potencial MN (Figura 10).



Figura 10. Captura de datos en el SEV-3. Fuente: Equipo Consultor, 2021.

Se utilizaron electrodos de acero inoxidable para prevenir la polarización de la corriente en el punto de inyección y facilitar la lectura en general de los datos, la precisión del aparato de medición es de décimas de milivoltios y miliamperios para obtener información sobre potencial e intensidad de corriente respectivamente.

5.3. RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA

5.3.1. Respuesta geoeléctrica del medio investigado

Durante de los labores de procesamiento de datos de los SEV, ejecutados con el programa WinSev 6.2, en los mismos no se experimentó ninguna dificultad, obteniéndose los resultados esperados y cónsonos con el entorno natural del Proyecto. Los principales aportes de este trabajo investigativo ha sido la definición de los complejos procesos de alteración de la capa de suelo y las deposiciones marinas que se dan en la zona evaluada, con una visual más amplia en el plano vertical y horizontal que se obtendrían con una sola observación de superficie, ya que para definir espacialmente en tres dimensiones y cubrir el polígono, fue necesario llevar a cabo no menos de cinco SEV.

También se realizaron tareas complementarias de barrenación con herramienta manual para verificar la influencia de factores externos que pueden afectar la interpretación de las lecturas geoeléctricas, como, por ejemplo, la interpretación de las lecturas geoeléctricas, como, por ejemplo, una fosa encontrada que contenía agua de lluvias (Figuras 11 y 12).

El programa para materializar los datos geofísicos en un bloque modelo utilizado, es de uso profesional que considera aspectos de coherencia de las capas reales, en este caso sedimentario-marinas con la interacción de una colada de basalto confrontados con equivalentes en curvas patrón de capas geoeléctricas. La alta calidad de la presentación del material gráfico que refleja los datos de campo procesados por el profesional a cargo en el plano vertical y sus capas de resistividad se logró con el complemento de los datos cartográficos del plano topográfico proporcionado por la empresa promotora, al cual le adaptamos sus respectivas coordenadas UTM para poder navegar sobre la propiedad con GPS manual y cumplir los objetivos de generar un polígono básico en tres dimensiones con un mínimo de correcciones o ajustes.

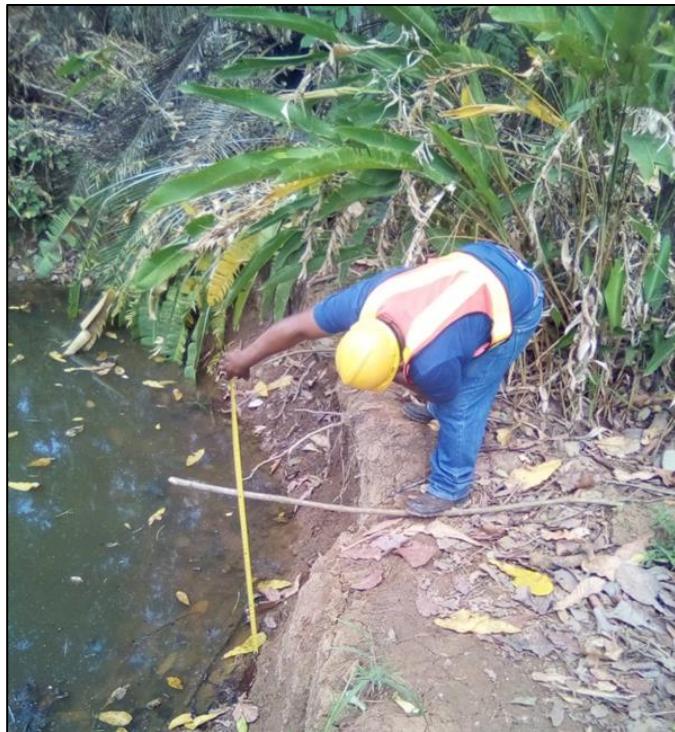


Figura 11. Medición de nivel de agua en fosa para verificar su influencia en el entorno.



Figura 12. Trabajos con barrenos manual para verificar influencia de fosa con agua.
Fuente: Equipo Consultor, 2021.

5.3.2. Descripción de las capas litológicas detectadas con geofísica

En P.H. Fresno fueron observados cuatro tipos de materiales o capas litológicas, la descripción de estas capas en su orden secuencial de la más superficial a la más profunda es la siguiente:

- *Cubierta de suelo.* Material producto de la descomposición 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 rojizo. Esta cubierta de suelo es de espesor variable 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.
- *Limolita calcárea.* Roca de origen marino compuesta de limos cementados por acción de restos de fósiles marinos calcáreos muy finos compactados, dureza media, coloración crema en la roca fresca. Los fracturamientos de la corteza terrestre y la perdida de humedad pueden afectarle, produciendo permeabilidad de tipo secundario del material (grietas y fisuras) que constituye horizontes acuíferos.
- *Arenisca de origen marino.* Es de dureza media, color gris verdoso, granulación de fina a media en cementante de lama. 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. No obstante, en zonas de fracturamientos tectónicos o fallas geológicas puede brindar pozos productivos. En el área de P.H. Fresno no aparece expuesta en superficie y sólo puede ser juzgada por sus propiedades de resistencia al paso de la corriente.
- *Basalto.* Esta capa litológica revela diferentes valores de resistividad en los extremos de las curvas de interpretación, es un material que a juzgar por sus diferentes datos tiene zonas fracturadas y otras más densa y compactas. Es característico que su deposición en ambiente marino debajo del nivel del mar sea con “*pilow lavas*” o rodados redondeados amontonados en la periferia de sus capas de flujo de lavas.

5.3.3. Detalle de interpretación de los SEV realizados

Las respectivas fichas técnicas de los cinco sondeos geoeléctricos realizados se encuentran en el Anexo de este Informe. 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 es según cada sondeo realizado. En este trabajo interpretativo de los valores de resistividad encontrados, se está incluyendo el contacto con los niveles de saturación que hacen contraste con las capas secas superiores. Es decir, se indica el nivel freático (NF) estimado.

SEV-1

- De 0.00 a 3.40 m Cubierta de suelo. Nivel freático 3.40 m.
- De 3.40 a 10.00 m Limolita calcárea.
- De 10.00 a 52.00 m Arenisca marina.
- De 52.00 m en adelante Basalto.

SEV-2

- De 0.00 a 7.40 m Cubierta de suelo. Nivel freático 2.16 m.
- De 7.40 a 19.00 m Limolita calcárea.
- De 19.00 a 31.00 m Arenisca marina.
- De 31.00 m en adelante Basalto.

SEV-3

- De 0.00 a 2.50 m Cubierta de suelo. Nivel freático 2.50 m.
- De 2.50 a 14.00 m Limolita calcárea.
- De 14.00 a 31.00 m Arenisca marina.
- De 31.00 m en adelante Basalto.

SEV-4

- De 0.00 a 4.80 m Cubierta de suelo.
- De 4.80 a 7.40 m Limolita calcárea. Nivel freático 7.40 m.
- De 10.00 a 52.00 m Arenisca marina.
- De 52.00 en adelante Basalto.

SEV-5

- De 0.00 a 4.30 m Cubierta de suelo. Nivel freático 4.30 m.
- De 4.30 a 13.00 m Limolita calcárea.
- De 13.00 a 20.00 m Arenisca marina.
- De 20.00 m en adelante Basalto.

5.3.4. Breves antecedentes de la geología histórica del área

Para poder comprender las condiciones geológicas imperantes en un área investigada también es importante conocer los procesos que dieron origen a las diferentes rocas en la zona. En este caso particular de P.H. Fresno se debe señalar lo siguiente: Hace unos 28.1 millones de años existía un pequeño mar interior con aguas cálidas que generó vida como pequeños crustáceos, algas y foraminíferas. También existieron períodos donde el agua se empezó a encerrar en caletas y creó capas de lama y arena. Estos procesos genéticos dieron origen a dos tipos de rocas sedimentarias básicas en el polígono investigado: una relacionada con la actividad bioquímica de organismos con caparazones calcáreos que generaron limolita con cementante de tipo calcáreo y por otra parte, las deposiciones en ambientes de pobre circulación de agua generaron roca arenisca con cementante arcilloso marino conocido como lama. Luego se dieron eventos volcánicos con vertido de material del interior de la corteza terrestre como coladas de basalto con sus procesos de levantamientos y asentamientos de la corteza terrestre es probable también la influencia del cuerpo intrusivo de Cerro Azul, a su vez se producen respectivas regresiones y transgresiones del mar hasta nuestros días.

6. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS - FLUJO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

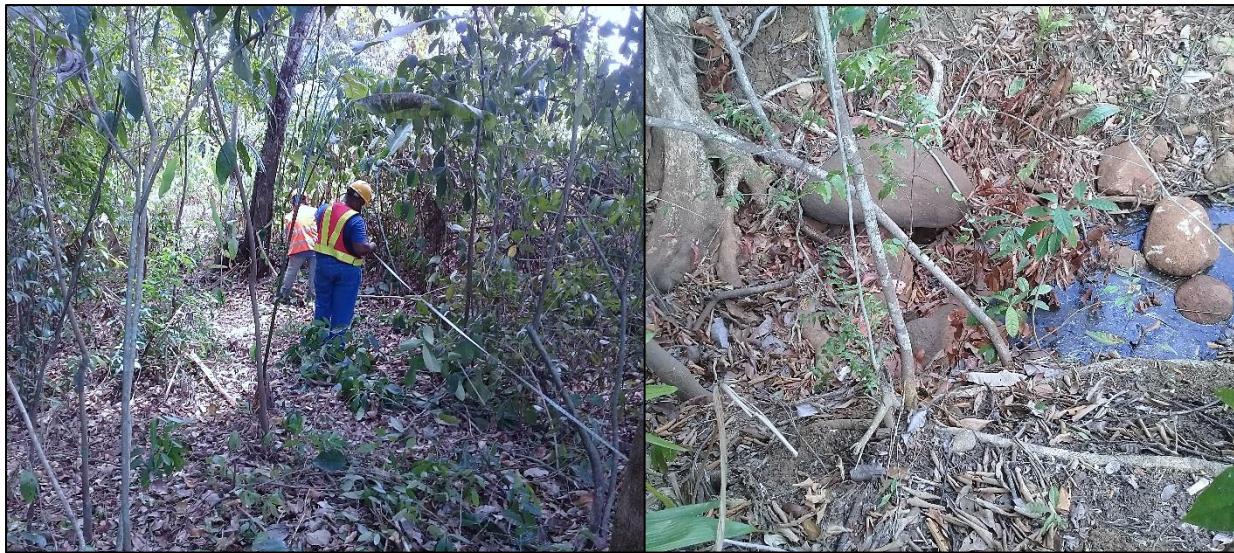
A partir de la interpretación de los datos obtenidos en el inventario de los cinco puntos de agua evaluados y apoyados en la geología y relieve del área estudiada, se puede indicar que el flujo de aguas subterráneas describe vectores paralelos al curso del agua superficial, respondiendo a la nervadura central de este pequeño valle con tendencia de rumbo sureste. 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 flujo superficial, que son la arenisca limolítica calcárea diaclasada, poco potente y la arenisca marina que es la principal capa litológica. La colada de basalto también hace sus aportes de agua por permeabilidad secundaria (grietas y fisuras) al embalse subterránea (acuífero) como tal.

Todo este conjunto de medios y condiciones se ve saturado por infiltración de lluvias y es entregado lentamente por las capas más superficiales, que son el suelo un material limo arcilloso de baja permeabilidad, primero en pequeñas posas y luego, generando gradualmente un flujo que depende más bien de la inclinación del terreno.

A diferencia de los manantiales que representan un punto fijo de descarga concentrada de agua, los nacimientos del flujo superficial dependen no solo de la intensidad de las lluvias en su época, sino también de otros dos factores primordiales: la permeabilidad del suelo adyacente y el grado de evapotranspiración que tiende a secarle los niveles freáticos. De esta manera, con la tendencia del agua a buscar la horizontal, cuando se tiene un gradiente hidráulico o inclinación del cauce, el punto focal de inicio del curso de agua superficial se desplaza generalmente de 10 a unos 30 m como un fenómeno natural. Todo depende del grado de abatimiento del nivel freático que se produzca en la época de ausencia de lluvias. Este punto de inicio es producto de un número indeterminado de variables físicas del medio acuífero y climáticas. Por lo tanto, debe tenerse la flexibilidad con respecto a la determinación de sus coordenadas y elevación en el plano vertical como una magnitud aproximada.

En las Figuras 13 y 14 puede apreciarse el punto de nacimiento de la quebrada evaluada y su entorno. Es notorio que se trata solo de una zona de saturación donde no puede percibirse flujo de agua, solo algunos empozamientos someros. Inicialmente se tomaron preliminarmente las coordenadas con GPS manual y luego en acción posterior este punto fue verificado con la precisión de un aparato de topógrafo.



Figuras 13 y 14. A la izquierda vista general del entorno de la quebrada; a la derecha detalle del punto de nacimiento al momento de lectura de coordenadas con GPS manual.
Fuente: Equipo Consultor.

7. ANÁLISIS DEL BLOQUE MODELO GENERADO POR REFERENCIAS DE LA INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA EN EL ÁREA DEL PROYECTO

Como ya se mencionó, este nacimiento o inicio de flujo superficial de agua observado en el área del proyecto responde principalmente a las condiciones del manto de alteración o meteorización saturado, es decir, la cubierta de suelo interactuando como medio filtrante que por gravedad hace sus aportes de agua. Según lo registrado en el Mapa Topográfico Nacional de referencia escala 1:50,000, Hoja Pedregal 4343 en su cuarta edición, este nacimiento de quebrada ha sido consistente a través de los años y confirmado en las observaciones técnicas de campo, ya que la ubicación del nacimiento de la quebrada en este mapa coincide con la de la presente investigación. Esto es importante porque este mapa ha sido avalado por la Agencia Cartográfica de Defensa del Servicio Geodésico Interamericano, donde se pone especial atención en las fuentes de agua, segregando los flujos continuos y los intermitentes.

Producto de los datos recabados se confeccionó un mapa con los niveles freáticos aproximados de agua (Figura 15), así como su aspecto exterior en bloque modelo a

escala, habiendo otro donde puede apreciarse el interior con las capas litológicas o perfiles (Figura 16 y 17).

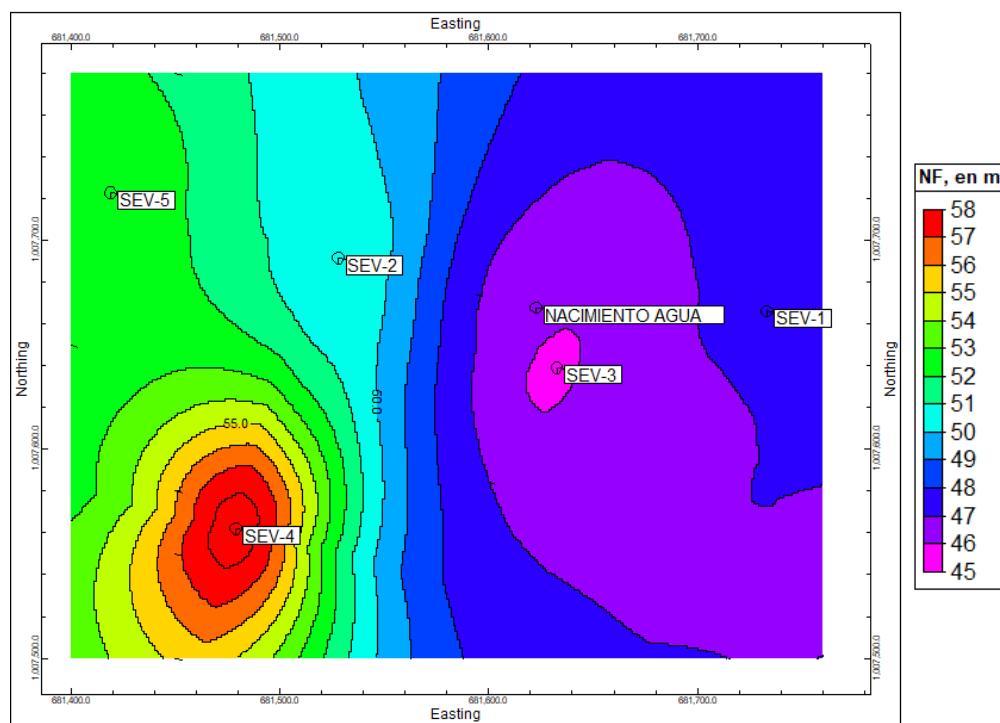


Figura 15. Mapa de las aguas subterráneas o de niveles isofreáticos del predio investigado P.H. Fresno. Fuente: Equipo Consultor, 2021.

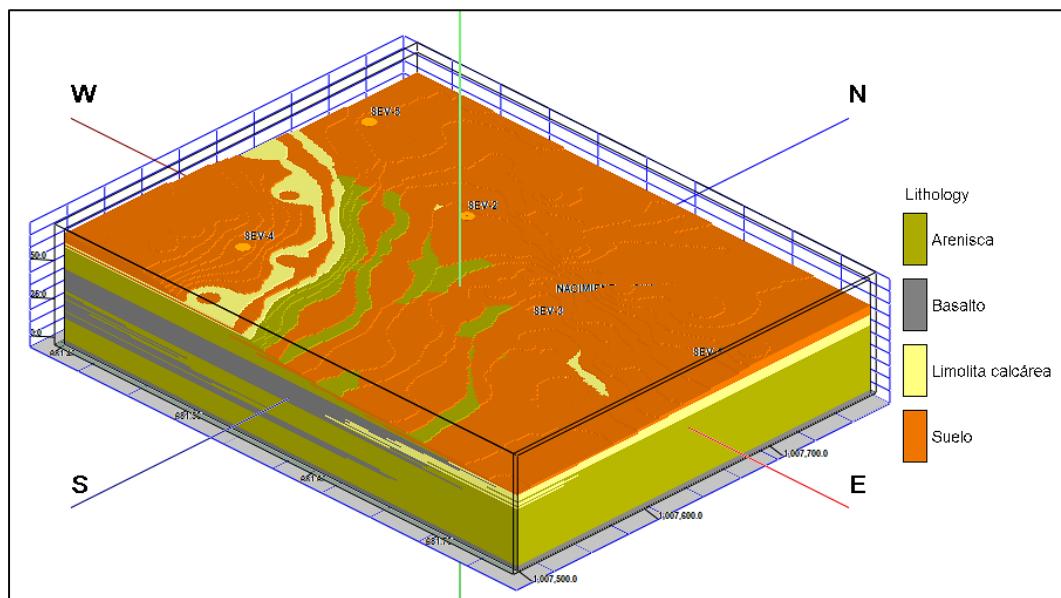


Figura 16. Bloque modelo en tres dimensiones utilizado para analizar la secuencia de capas litológicas que dan origen a las manifestaciones de agua.
Fuente: Equipo Consultor, 2021.

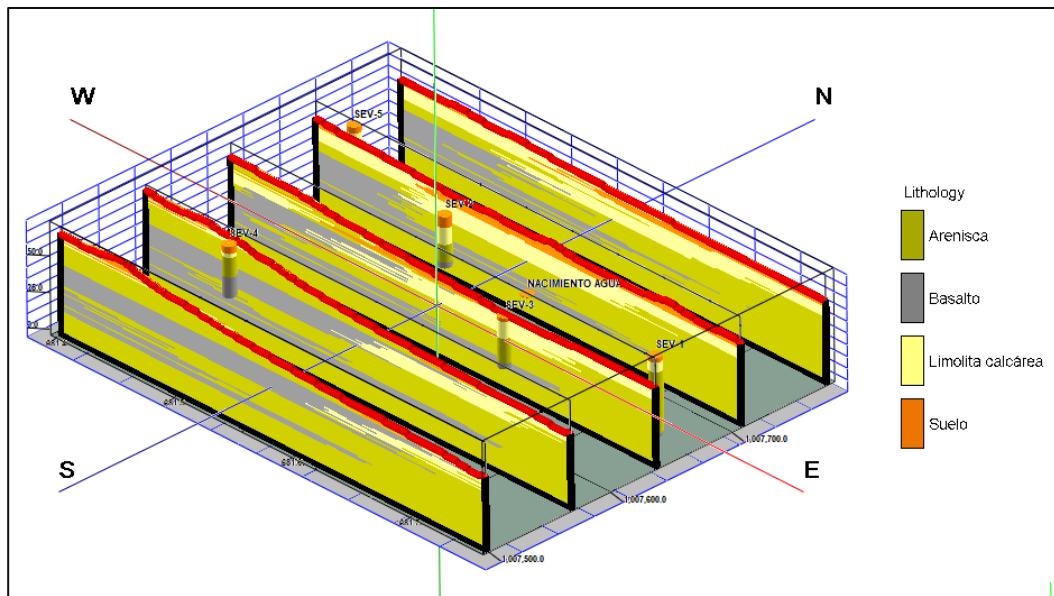


Figura 17. Secuencia de capas litológicas que dan origen a las manifestaciones de agua.
Fuente: Equipo Consultor, 2021.

La comodidad de poder disponer de un bloque modelo virtual a escala es que el mismo puede ser seccionado y orientado para observar al detalle cómo están dispuestas las capas litológicas en el subsuelo, para el caso de la Figura 17 los diagramas de corte en cercha, orientados de oeste a este permiten ver el papel de cada capa en los planos vertical y horizontal. Se marca de manera muy clara la colada de basalto en el sector oeste en tanto que la arenisca marina es la capa dominante en el este. Esto explica los mayores gradientes hidráulicos en el sector oeste en el mapa de las aguas subterráneas del predio evaluado Figura 15.

8. CONCLUSIONES

Luego de realizar la prospección geofísica con fines de valoración de un punto de nacimiento de fuente superficial de una quebrada S/N en los predios del Proyecto P.H. Fresno, se puede concluir lo siguiente:

- El resultado final de la investigación geofísica realizada permite visualizar el medio acuífero tanto en el plano vertical como en el horizontal. Esto se refleja a través de elaboración de un bloque modelo integral en tres dimensiones con la capacidad de corte en los planos vertical y horizontal, tipificando al detalle la parte media y

el piso del acuífero respectivamente, lo que ha permitido analizar y clasificar sus detalles técnicos. Con esta información se tiene la certeza de que se trata de un nacimiento de fuente superficial.

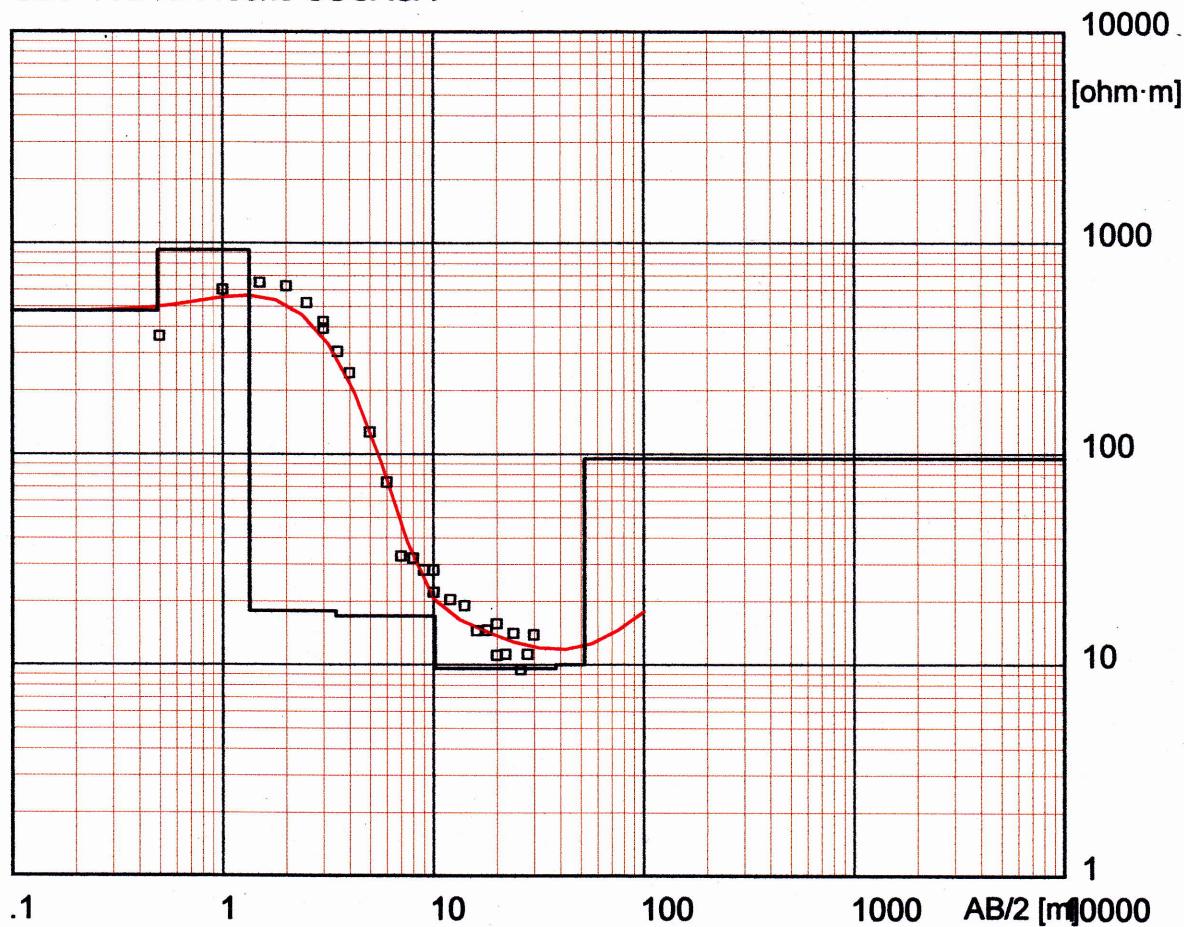
- Durante la ejecución de los trabajos de la exploración geofísica no se experimentaron dificultades con fenómenos naturales eléctricos del terreno evaluado, obteniéndose lecturas claras de los parámetros respectivos. De esta manera, se detectaron cuatro capas litológicas principales tales como la cubierta de suelo, limolita calcárea, arenisca limolítica de origen marino y una colada de basalto.
- Se confeccionó un mapa de la superficie freática del predio investigado, que sirvió para fijar con coordenadas UTM el punto de nacimiento de la quebrada S/N. Cabe destacar que como fenómeno natural, este punto puede desplazarse algunos metros aguas abajo dependiendo del impacto de cada sequía.
- El bloque modelo a escala permite verlo en su aspecto exterior en visión de sobrevuelo, además puede analizarse su interior a través de secciones de corte en diagrama de cerchas orientadas de oeste a este.



A N E X O

Electrical sounding Schlumberger - SEV-1.WS3

SEV-1 R. H. Fresno SUCASA



Location X = 681733 Y = 1007666 Z = 51.31

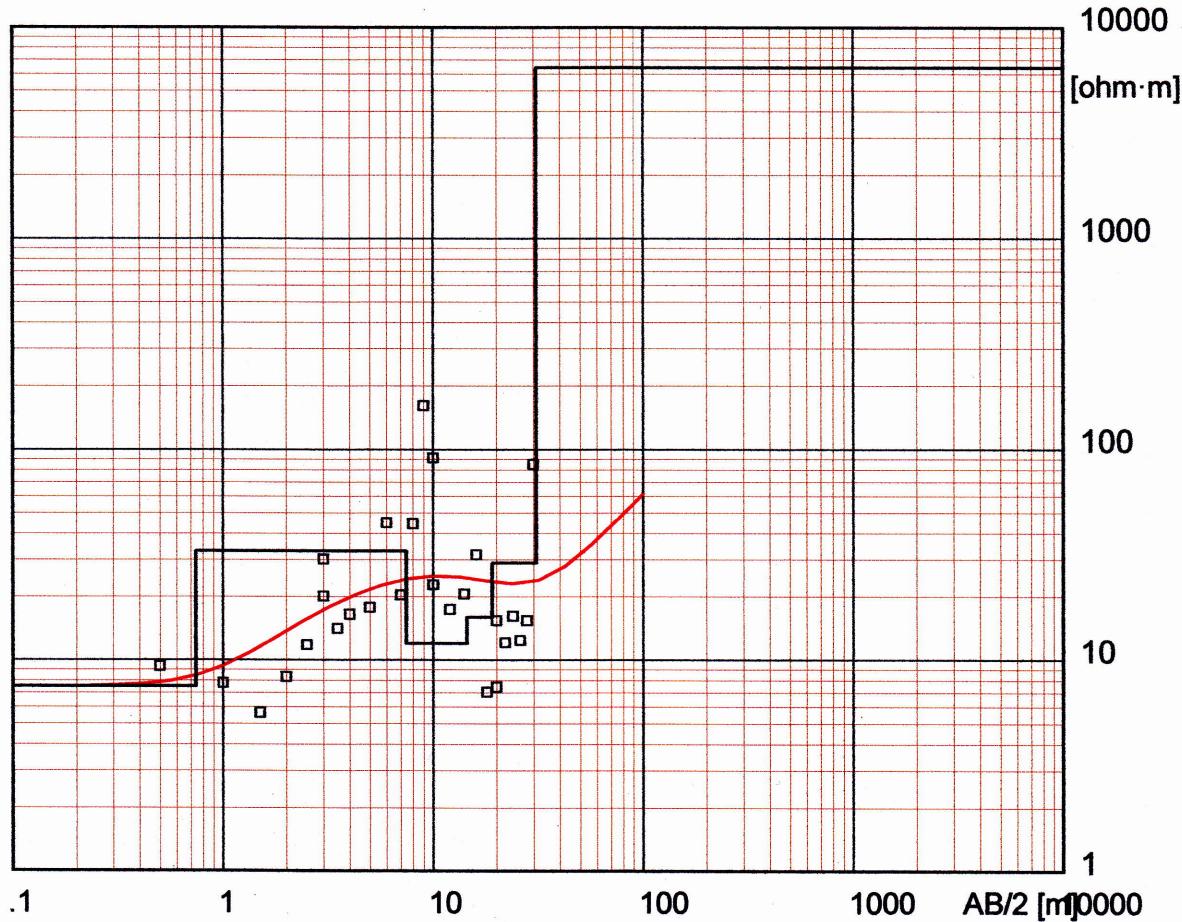
Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
476	.49		51.3
925	.85	.49	50.8
18	2.1	1.3	50
17	6.7	3.4	47.9
9.6	28	10	41.3
10	14	38	13.3
95		52	-.7

Frente a la parte media de la galería colindante al Proyecto.

Electrical sounding Schlumberger - SEV-2.WS3

SEV-2 R. H. Fresno SUCASA



Location X = 681528 Y = 1007692 Z = 52.95

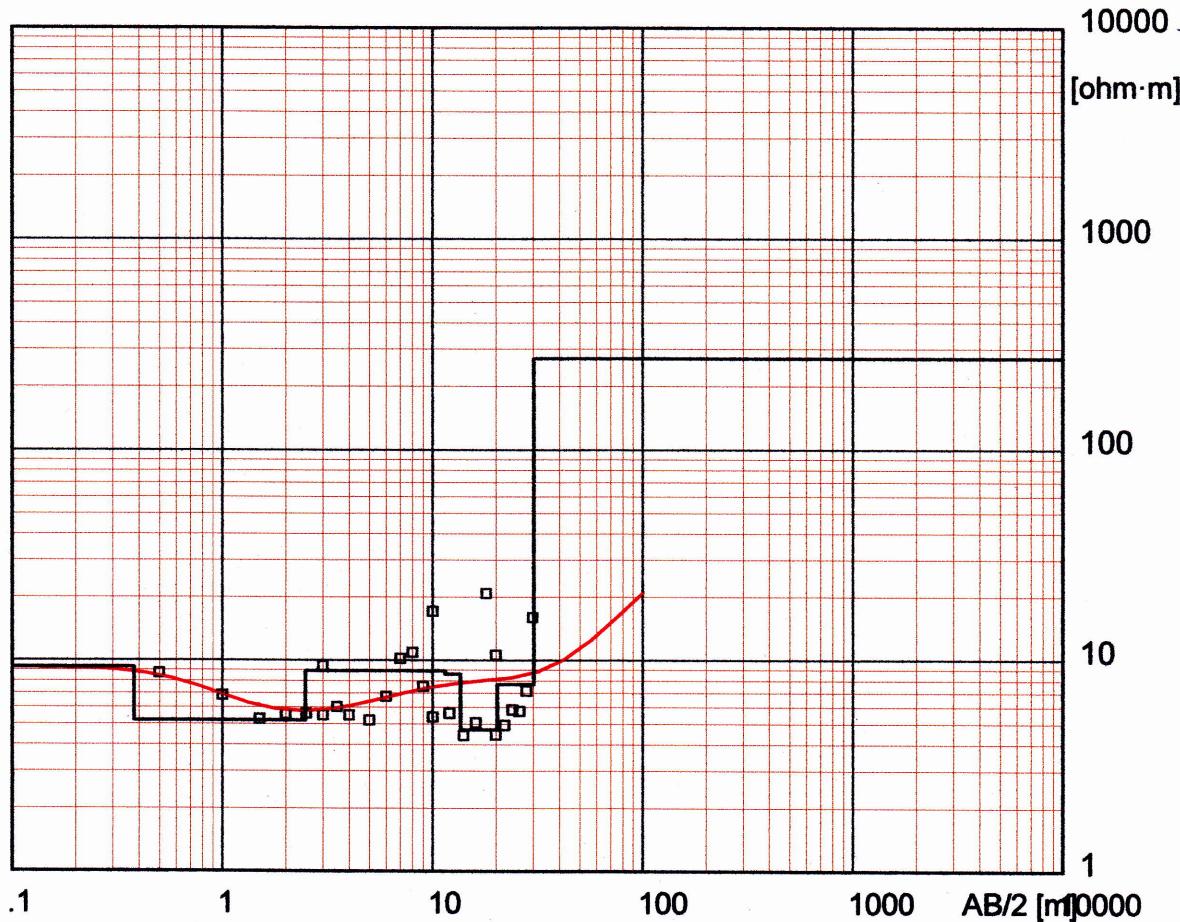
Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
7.5	.74		53
33	6.7	.74	52.2
12	7	7.4	45.6
16	4.6	14	39
29	12	19	34
6451		31	22

Cauce de quebrada cerca de alcantarilla PVC.

Electrical sounding Schlumberger - SEV-3.WS3

SEV-3 R. H. Fresno SUCASA



Location X = 681633 Y = 1007639 Z = 48.25

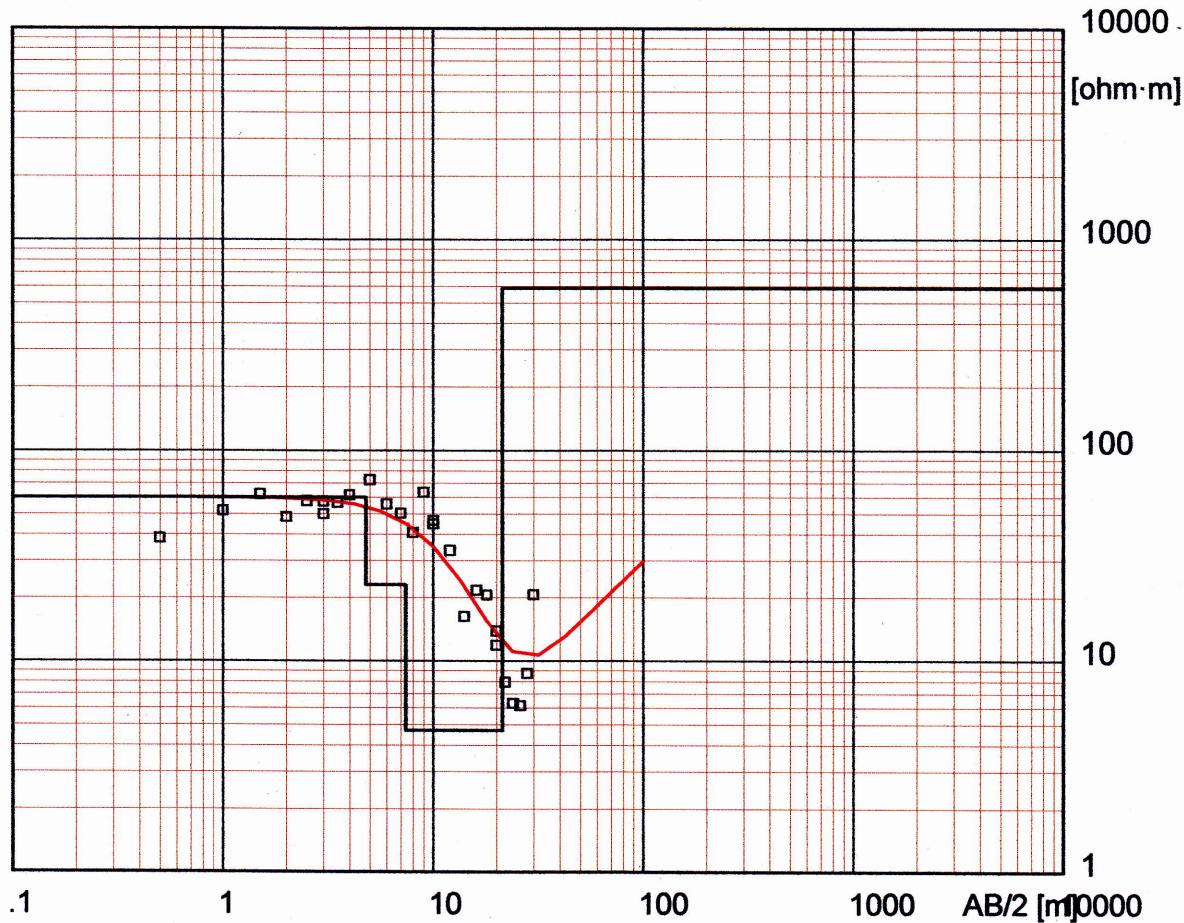
Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
9.3	.38		48.2
5.2	2.1	.38	47.9
8.9	9	2.5	45.8
8.6	2.1	12	36.2
4.7	6.8	14	34.2
7.7	10	21	27.2
270		31	17.2

Cauce de quebrada cerca de muro en construcción.

Electrical sounding Schlumberger - SEV-4.WS3

SEV-4 R. H. Fresno SUCASA



Location X = 681479 Y = 1007562 Z = 65.54

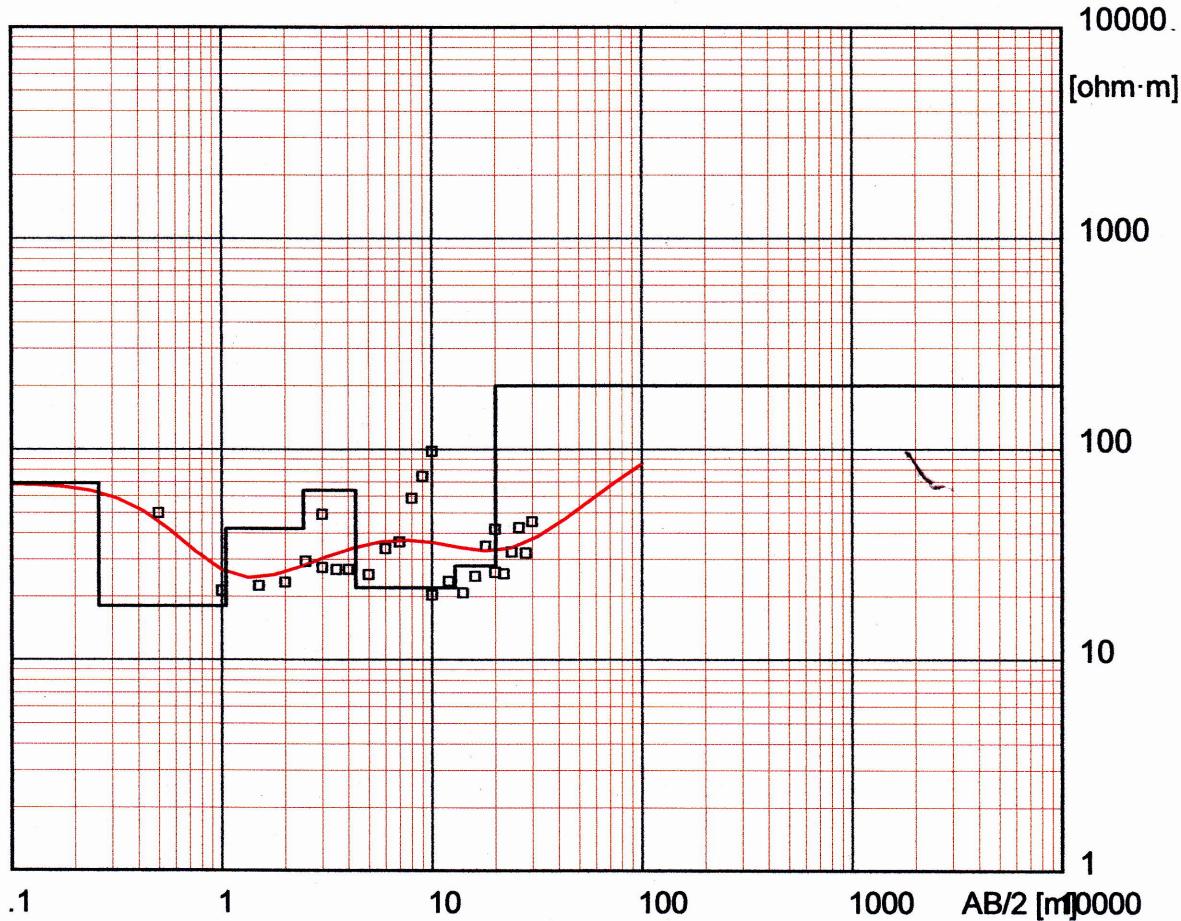
Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
60	4.8		65.5
23	2.6	4.8	60.7
4.7	14	7.4	58.1
587		21	44.5

Frente a barriada en construcción.

Electrical sounding Schlumberger - SEV-5.WS3

SEV-5 R. H. Fresno SUCASA



Location X = 6811419 Y = 1007723 Z = 56.94

Model

Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]	Altitude [m]
69	.26		56.9
18	.79	.26	56.7
42	1.4	1	55.9
64	1.9	2.4	54.5
22	8.5	4.3	52.6
28	7.3	13	43.9
200		20	36.9

En la entrada a la barriada desde 24 Dic.