

INFORME DE ESTUDIO GEOFISICO
PROYECTO INMOBILIARIO PANAMÁ ESTE
La Mesa, Corregimiento de San Martín - Distrito de Panamá

Panamá, septiembre 2018

CONTENIDO

1. Introducción.....	1
2. Generalidades.....	1
2.1. Ubicación.....	1
2.2. Geología Regional.....	3
2.3. Geología Local.....	3
3. Fundamentos teóricos.....	3
4. Metodología.....	5
5. Resultados e interpretación.....	9
6. Conclusiones.....	17
Bibliografía.....	18

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio.....	2
Figura 2. Principio de medición de la resistividad del suelo: se inyecta una corriente I entre el par de electrodos AB y se mide el potencial ΔV entre el par de electrodos MN.....	4
Figura 3. Esquema general de adquisición de una tomografía eléctrica 2D.....	5
Figura 4. Mapa de ubicación de perfiles ejecutados y pozos empleados para la interpretación.....	7
Figura 5. Perfil de resistividad 1 interpretado.....	11
Figura 6. Perfil de resistividad 2 interpretado.....	12
Figura 7. Perfil de resistividad 3 interpretado.....	13
Figura 8. Perfil de resistividad 4 interpretado.....	15
Figura 9. Perfil de resistividad 5 interpretado.....	16

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas, longitud y dirección de los perfiles ejecutados.....	6
Tabla 2. Coordenadas y profundidad de los pozos utilizados para la interpretación.....	8
Tabla 3. Valores de resistividad de rocas, minerales, aguas, sedimentos químicos y materiales (tomado de Urbieta, 2009).....	10

1. Introducción.

El agua es un recurso escaso y su valor es esencial para la vida y para el crecimiento económico de las naciones. Su uso racional constituye un factor de especial importancia, ya que sólo el 2.5% del agua del planeta es potable y de esta cantidad, el 30% está constituido por acuíferos subterráneos. Es por ello que la evaluación de acuíferos subterráneos para la obtención de agua potable ha cobrado interés por parte de las empresas en los últimos años, ya que tener la capacidad de abastecerse plenamente de este vital recurso es un privilegio.

Actualmente, la empresa Proyectos Inmobiliarios Panamá Este, S.A. tiene la necesidad de conocer a detalle el potencial acuífero con el que cuenta, en un área destinada para la construcción de un complejo habitacional. Para alcanzar este objetivo es necesario determinar no sólo la ubicación y posible espesor de los principales mantos acuíferos de la zona, sino la sostenibilidad de este recurso a lo largo del tiempo. Por tal motivo, se propone como parte del estudio hidrogeológico y de sostenibilidad del recurso hídrico en el área, la ejecución de una serie de perfiles de resistividad eléctrica 2D, que permitan a través de mediciones indirectas (no invasivas), identificar la ubicación, profundidad y espesor de capas acuíferas en el subsuelo.

2. Generalidades

2.1. Ubicación

El estudio fue realizado en un área propiedad de la empresa Proyectos Inmobiliarios Panamá Este, S.A., ubicada en el corregimiento de San Martín, Distrito de Panamá, Provincia de Panamá, República de Panamá.

En la Figura 1 se pueden observar los polígonos correspondientes a las diferentes fases del proyecto habitacional, así como la red de drenajes presente en la zona, los cuales escurren sus aguas hacia el río Cabobré, quien constituye el cuerpo de agua de mayor jerarquía dentro de la subcuenca hidrográfica.

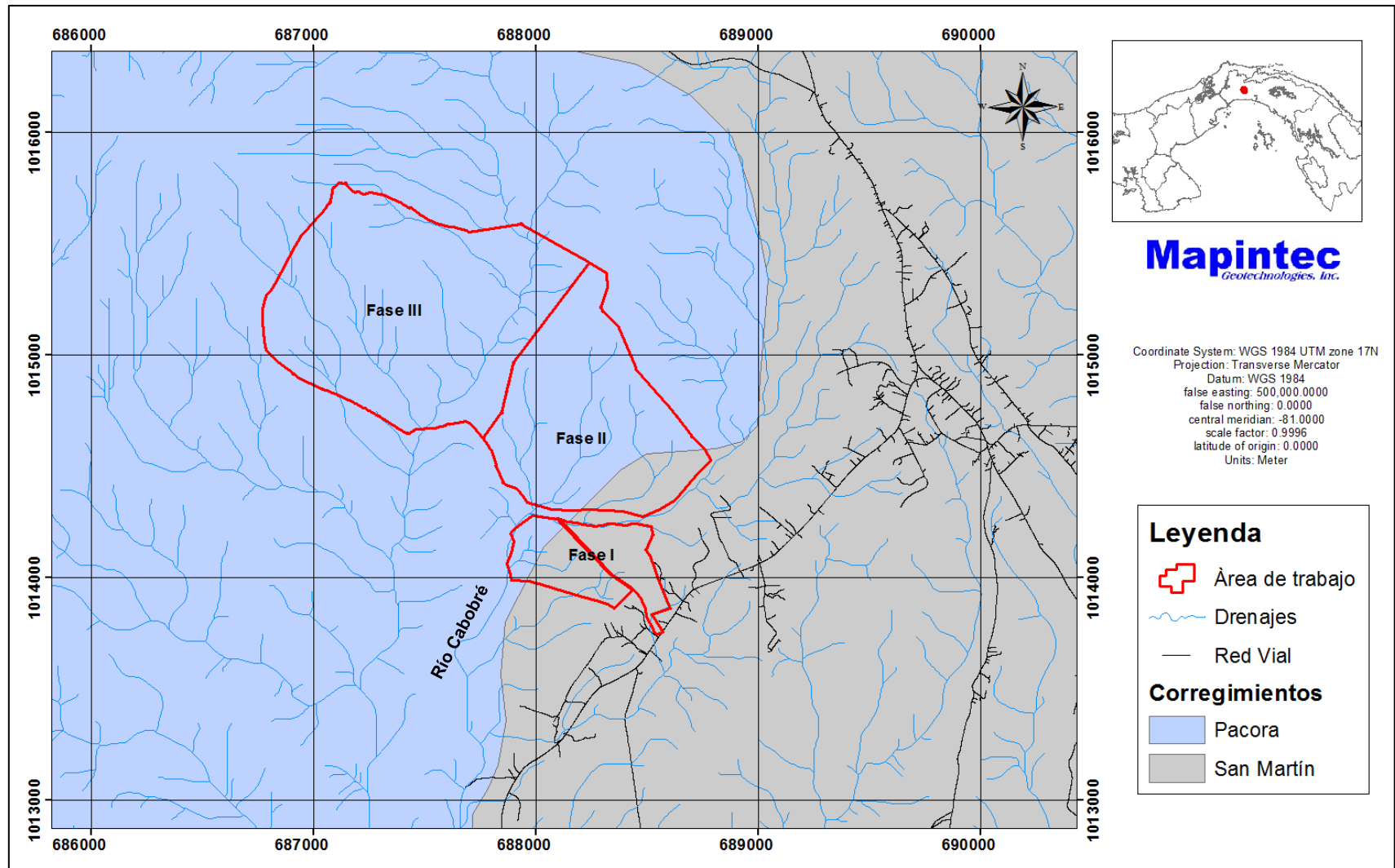


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

2.2. Geología Regional.

“El Istmo de Panamá surgió hace unos 3 ó 4 millones de años atrás, a partir del lento desplazamiento de las placas tectónicas del Pacífico y del Caribe que, producto de la presión y del calor causado por esta colisión tectónica, llevó a la formación de un arco de islas de origen volcánico, que luego de miles de años se cubrió y rellenó de sedimentos, para conformar así la actual configuración geológica y tectónica de Panamá” (Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá, 2010).

La geología de la zona de estudio, según el Mapa Geológico escala 1:250000 realizado por el Ministerio de Industrias y Comercio (1990), está constituida por rocas intrusivas y volcánicas. Las primeras pertenecientes a la Formación Mamoni del Grupo Colón, de edad Cretácico que incluye rocas de tipo diorita, gabros, monzonitas, cuarzodioritas, granodioritas y sienitas. Las rocas de origen volcánico pertenecen al Grupo Panamá, Formación Panamá de edad Terciario, compuesta por andesitas, aglomerados, tobas de grano fino, basaltos, andesitas, piroclastos y bloques.

2.3. Geología Local.

La litología general encontrada en el área se caracteriza por presentar en los primeros 7.5 m, intervalos arenosos con presencia de fragmentos de basalto meteorizado, seguida por una roca intrusiva de tipo diorita, con algunos tramos fracturados y meteorizados, y otros en donde se observa maciza.

3. Fundamentos teóricos

El método de resistividad consiste en introducir una corriente eléctrica continua en el terreno por un par de electrodos y posteriormente medir la diferencia de potencial entre otro par de electrodos. La relación de estas dos magnitudes es lo que se conoce como resistividad aparente. Este método puede aplicarse a la detección de reservas geotérmicas, localización de restos arqueológicos y exploración de agua subterránea.

Su aplicación es menor en la exploración minera y petrolera, destacando el bajo precio de los equipos empleados y su fácil implementación, si bien requiere de un procedimiento laborioso (desplazamiento de los electrodos y cables).

El método de resistividad considera un cuerpo semi-infinito con una resistividad uniforme, en donde se colocan cuatro electrodos, dos de corriente y dos de potencial (como lo muestra la Figura 2). El gradiente de potencial es medido por un voltímetro o potenciómetro.

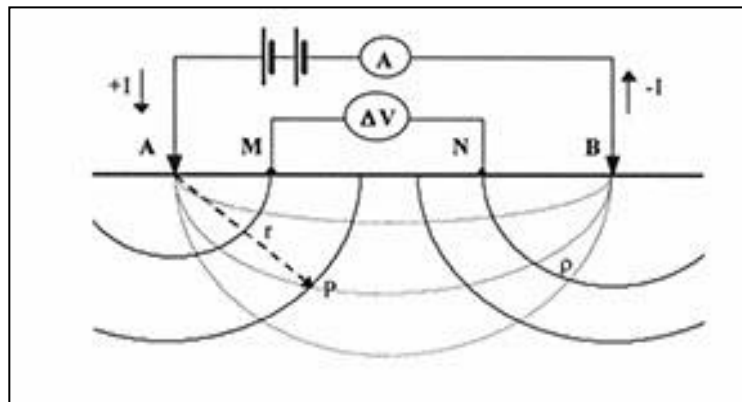


Figura 2. Principio de medición de la resistividad del suelo: se inyecta una corriente I entre el par de electrodos AB y se mide el potencial ΔV entre el par de electrodos MN

Existen infinidad de configuraciones de campo para los métodos eléctricos. La diferencia entre las distintas configuraciones reside en el tipo de transmisor y receptor de corriente utilizados, y en cómo se sitúan en el campo estos transmisores o receptores.

Las técnicas de prospección eléctrica de corriente continua generalmente se dividen en:

- **Calicata Eléctrica**
- **Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).**
 - a. Schlumberger
 - b. Wenner

• Tomografía Eléctrica

- a. Wenner
- b. Wenner-Schlumberger
- c. Dipolo-Dipolo
- d. Polo-Polo
- e. Polo-Dipolo

La **Tomografía de Resistividad Eléctrica 2D** es un método de resistividad multielectrodo (Figura 3), basado en el modelado bidimensional de valores de resistividad del subsuelo mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas).

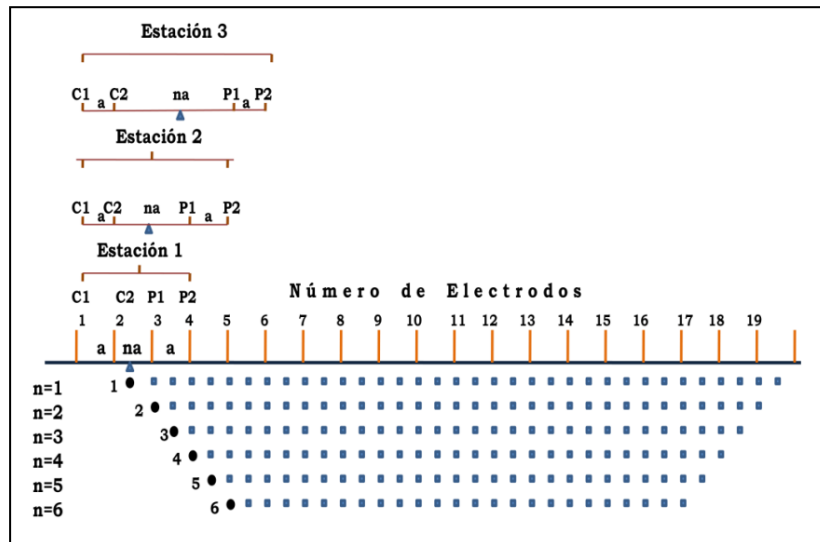


Figura 3. Esquema general de adquisición de una tomografía eléctrica 2D

4. Metodología

Con la finalidad de obtener la mayor cantidad de información posible del subsuelo se planteó la realización de 5 tomografías eléctricas 2D, distribuidas en el área de planicie adyacente al río Cabobré, abarcando el polígono de la etapa I y parte de la etapa II del proyecto habitacional. La orientación de dichos perfiles fue escogida en función de las pendientes del terreno y la alineación del río, para evaluar la disposición

y extensión de los mantos acuíferos. De esta manera, se ubicaron tres (3) perfiles en dirección suroeste-noreste y dos (2) tomografías paralelas al eje del río (oeste-este), que sirvieron para establecer correlación entre perfiles.

La Figura 4 muestra la ubicación y orientación de los perfiles ejecutados, mientras que en la Tabla 1 se presentan las coordenadas, dirección y longitud de cada uno de estos.

Tabla 1. Coordenadas, longitud y dirección de los perfiles ejecutados.

Perfil	Coord. Punto Inicio		Coord. Punto Final		Longitud (m)	Dirección (°)
	Este	Norte	Norte	Este		
Perfil 1	687904.1	1013991.0	688126.2	1014628.4	675 m	19° 28' 52.1"
Perfil 2	688108.6	1013928.0	688330.7	1014565.5	675 m	19° 28' 53.2"
Perfil 3	688295.7	1013877.9	688517.8	1014515.3	675 m	19° 28' 54.1"
Perfil 4	687883.1	1014207.0	688477.6	1014183.4	595 m	92° 32' 32.3"
Perfil 5	687959.9	1014379.8	688554.4	1014355.9	595 m	92° 34' 20.8"

Para este estudio se empleó un resistivímetro computarizado ARES G4 – GF con cables automáticos de 8 electrodos cada uno, y un arreglo de medidas del tipo Polo -Polo, que implica la ubicación de un par de electrodos (de corriente y potencial) llamados “infinitos”, a una distancia superior a cinco veces la distancia total del tendido.

En general, se emplearon 48 electrodos conectados cada 5 metros, y electrodos al infinito situados a 1.4 km de distancia del perfil, lo que permitió obtener profundidades máximas de exploración de 190 metros.

La fase de campo se llevó a cabo entre el 17 y el 29 de enero del 2018, y se inició con la apertura de trochas para la ubicación de cada uno de los perfiles, con ayuda de un navegador GPS. Posteriormente se realizó el tendido de los cables que van conectados a los electrodos en el “infinito”, para finalmente disponer las extensiones multielectrodos y las varillas, junto con la configuración del equipo para obtener los registros de medición.

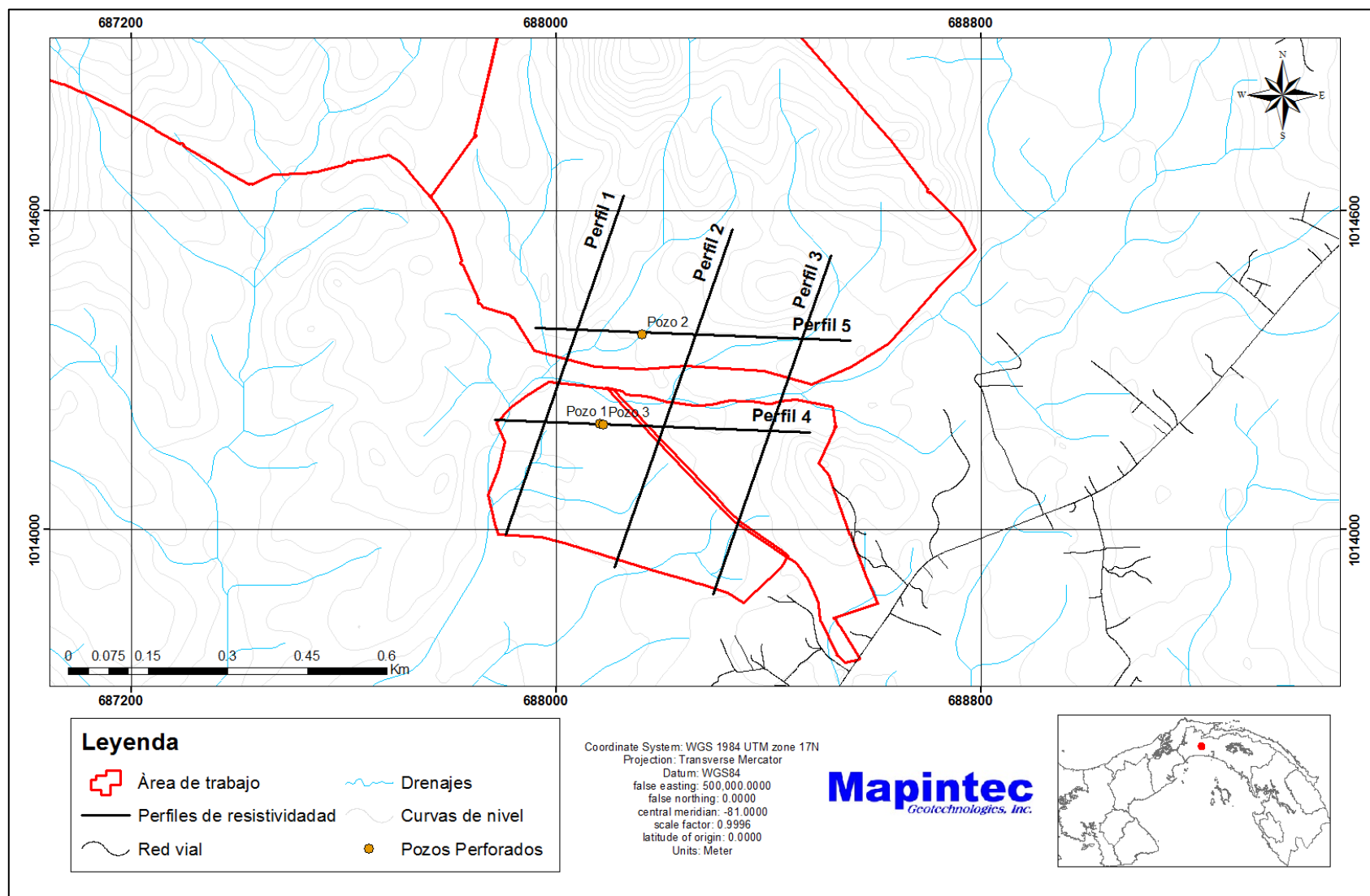


Figura 4. Mapa de ubicación de perfiles ejecutados y pozos empleados para la interpretación

Luego de tomados los datos de campo, se guardaron en medio digital para ser procesados utilizando el software RES2DINV® y MapInfo®. Esto permite:

- Revisión, registro cartográfico y proceso de inversión de datos de cada perfil mediante el algoritmo de mínimos cuadrados, y otras herramientas geofísicas digitales.
- Análisis estadístico para descartar posibles errores durante la medición.
- Generación de perfiles con resultados iniciales en formato de RES2DInv.
- Conversión de datos a formato MapInfo®/Global Mapper®
- Generación de perfiles finales, con escala de valores idéntica para establecer comparaciones.
- Interpretación de tomografías eléctricas con ayuda de datos de pozos existentes (Figura 4), cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas y profundidad de los pozos utilizados para la interpretación

Pozo	Norte	Este	Prof. Total (m)
Pozo 1	1014199	688083	30.0
Pozo 2	1014367	688161	70.5
Pozo 3	1014197	688088	70.1

5. Resultados e interpretación

Una vez unificadas las escalas de colores y los valores de contornos para los perfiles, se realizó el proceso de interpretación con ayuda de toda la información bibliográfica y datos de campo recopilados, que comprende: imágenes satelitales, columna litológica de los pozos exploratorios, y valores de resistividad teóricos de la Tabla 3.

En los **Perfiles 1, 2 y 3 (Figura 5. Perfil de resistividad 1 interpretado.** Figura 5, Figura 6 y Figura 7,) que atraviesan el proyecto en sentido SW-NE se puede distinguir notablemente una diferencia en el rango de resistividades existentes, entre el área norte (Fase II) y el área sur (Fase I) del río Cabobré. De hecho, el fuerte contraste que se presenta en la zona circundante al río permite inferir la presencia de una zona de fallas coincidente con la ubicación del mismo.

Dentro del bloque que constituye la Fase I del proyecto (área sur del río), se puede encontrar una primera capa con valores de resistividad que oscilan entre 500 y 1000 $\Omega.m$, y un espesor aproximado de 10 m, correspondiente a depósitos aluviales proveniente de corrientes aguas arriba, y cuya composición, según datos de pozos, incluye clastos de basalto de la Formación Panamá. Por debajo de esta unidad, se encuentra un estrato de aproximadamente 50 m de espesor promedio, que presenta un rango de resistividades entre 10 y 350 $\Omega.m$, que corresponde a rocas intrusivas (diorita y granodiorita) de la Formación Mamóní, con intervalos de fracturamiento moderado en diferentes niveles de profundidad. La porosidad que presenta este tipo de materiales debido al fracturamiento, permitiría el flujo y almacenamiento de aguas subterráneas en la zona. Las altas resistividades registradas por debajo de este estrato ($>650 \Omega.m$), permiten inferir una disminución en el grado de fracturamiento de la roca, por lo que podría considerarse a esta unidad, como una barrera impermeable.

Hacia la parte norte del río no es posible identificar tope o base de unidades geoeléctricas. Sin embargo, se observan algunas zonas, como las señaladas en los **Perfiles 1, 2 y 3**, que por el rango de resistividades que presentan (10 – 350 $\Omega.m$), podrían constituir zonas acuíferas asociadas a rocas ígneas intrusivas de la Formación Mamóní, con presencia de agua gracias al fracturamiento.

Tabla 3. Valores de resistividad de rocas, minerales, aguas, sedimentos químicos y materiales (tomado de Urbieto, 2009).

Rocas ígneas y metamórficas	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Rocas sedimentarias	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$	Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Granito alterado	1500-10000	Lutita	$20 - 2 \times 10^3$
Granito muy alterado	100-600	Caliza	$100 - 5 \times 10^3$
Basalto	$10 - 1.3 \times 10^7$	Caliza compacta	1000-5000
Ande sita	$4.5 \times 10^4 - 1.7 \times 10^2$	Caliza blanda	100-300
Diorita	10^5	Caliza fracturada	500-1000
Gabro	$10^3 - 10^6$	Limonita	$50 - 10^7$
Sienita	$10^2 - 10^6$	Dolomita	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Peridotita	$3 \times 10^3 - 6.5 \times 10^3$	Margas secas	10^2
Lavas	$10^2 - 5 \times 10^4$	Margas húmedas	10
Pizarra	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$		
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$		
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$		
Aguas, sedimentos y suelos	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	Químicos, minerales y materiales	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Arenas	30-500	Hierro	9.74×10^{-8}
Arena fina	10^3	0.01M cloruro de potasio	0.708
Arena seca	$10^3 - 10^4$	0.01M cloruro de sodio	0.843
Arena silíceas	200-3000	0.01M ácido acético	6.13
Arenas con agua dulce	50-500	Xileno	6.998×10^{16}
Arenas con agua salada	0.5-5	Aluminio	2.65×10^{-8}
Arena Petrolífera	$4 - 2.2 \times 10^2$	Mercurio	95.8×10^{-8}
Arcilla	1-100	Madera	$10^8 - 10^{11}$
Arcilla seca	30	Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
Arcilla húmeda	10	Ámbar	5×10^{14}
Limos	10-200	Plata	1.47×10^{-8}
Aluvión	10-800	Cobre	1.70×10^{-8}
Gravas	$50 - 10^3$	Oro	2.22×10^{-8}
Gravas húmedas	5×10^2	Acero	20.0×10^{-8}
Gravas saturadas	102	Platino	11.0×10^{-8}
Conglomerado	$2 \times 10^3 - 10^4$	Tungsteno	5.25×10^{-8}
Roca salada	$3 \times 10 - 10^{13}$	Níquel	6.40×10^{-8}
Aguas dulces superficiales	$10 - 10^3$	Estaño	1.5×10^{-8}
Aguas salobres superficiales	2-10	Plomo	22.0×10^{-8}
Agua subterránea (no contaminada)	10-100	Cromo	13.2×10^{-8}
Agua marina	0.2	Calcopirita	$1.2 \times 10^{-5} - 0.3$
Agua de lagos salados	0.1-1	Pirita	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$
		Pirrotita	$6.5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-2}$
		Cinabrio	2×10^7
		Galena	$3 \times 10^{-5} - 3 \times 10^2$
		Cobalto	$3.5 \times 10^{-4} - 10^{-1}$
		Bauxita	$2 \times 10^2 - 6 \times 10^3$
		Cuprita	$10^{-3} - 300$
		Cromita	$1 - 10^6$
		Hematita	$3.5 \times 10^{-3} - 10^7$
		Magnetita	$5 \times 10^{-3} - 5.7 \times 10^3$
		Cuarzo	7.5×10^{17}
		Azufre	10^{15}
		Carbón	3.5×10^{-5}
		Anhidrita	10^9
		Calcita	2×10^{12}
		Fluorita	8×10^{13}
		Yeso	1000
		Grafito	60.00×10^{-8}
		Silicio	6.40×10^2

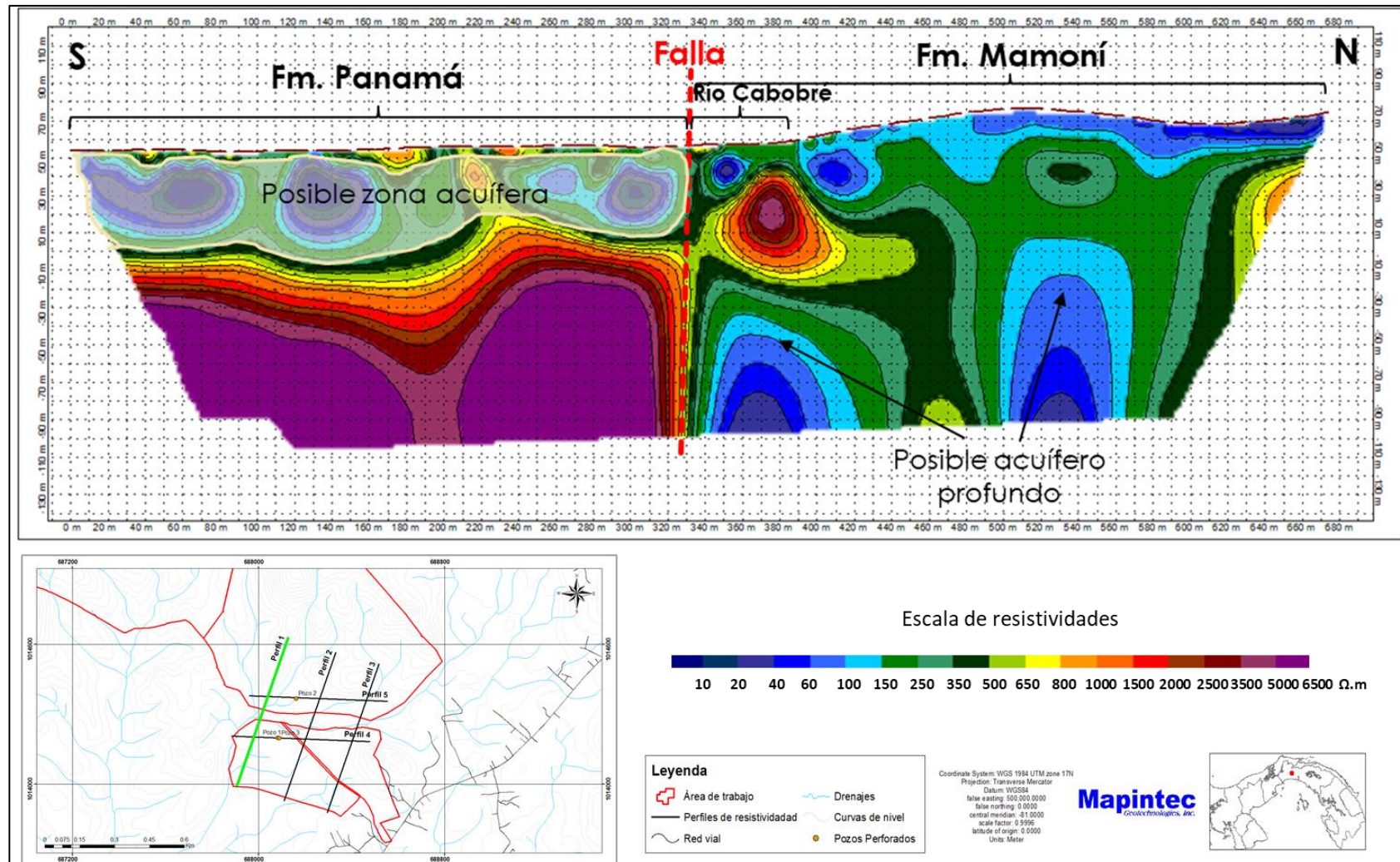


Figura 5. Perfil de resistividad 1 interpretado.

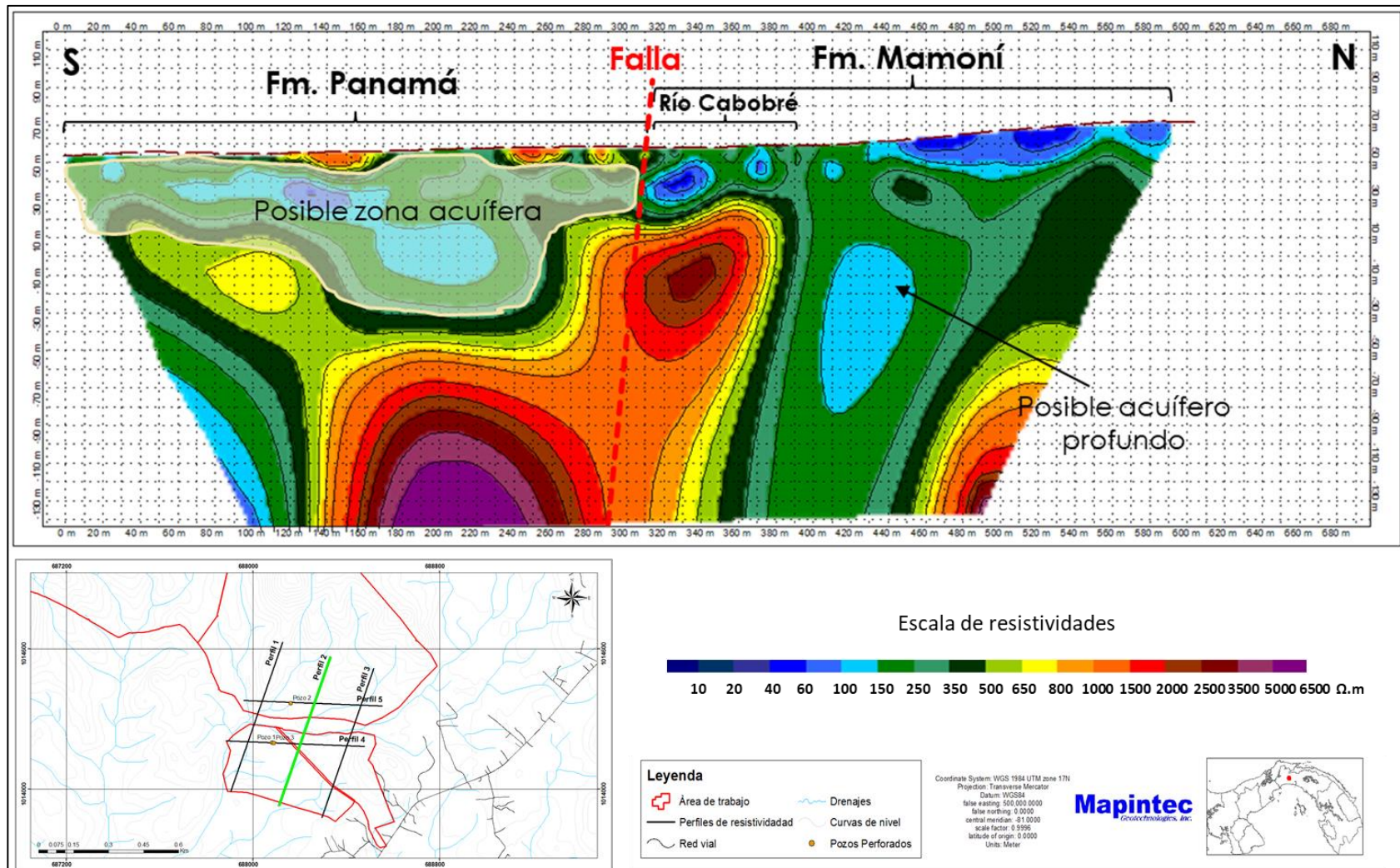


Figura 6. Perfil de resistividad 2 interpretado.

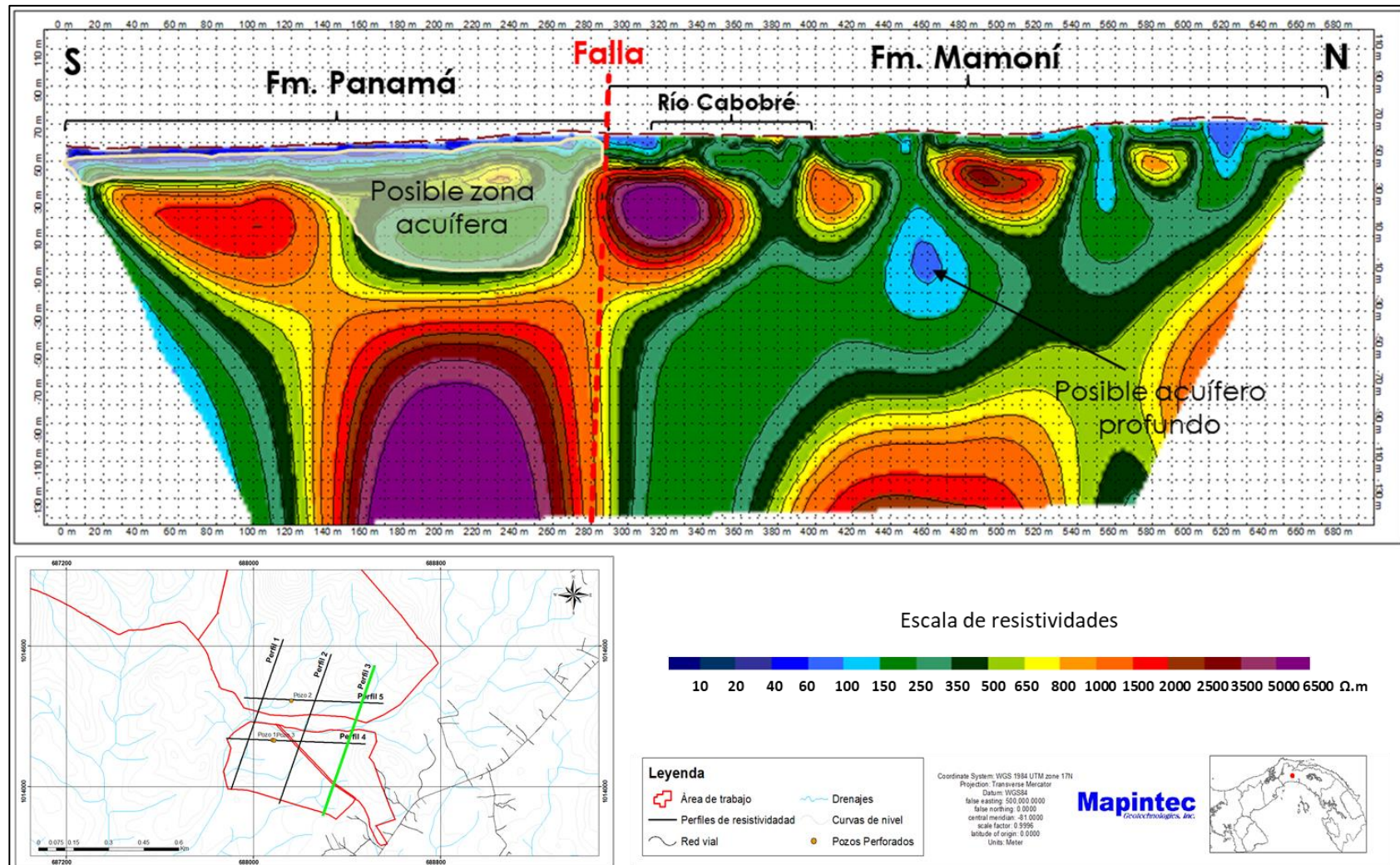


Figura 7. Perfil de resistividad 3 interpretado.

En el **Perfil 4** (Figura 8) , se puede observar la extensión lateral que presenta la unidad geolétrica considerada como zona acuífera, en el lado sur del río. Allí se logra apreciar que el mayor espesor de roca fracturada se encuentra entre los perfiles 1 y 2, alcanzando valores de hasta 80 m. Por tal motivo, en esta zona fue propuesta la realización de un pozo exploratorio (Pozo 3), con el que se constató que a partir de los 9 m y hasta los 70.1 m, la columna litológica corresponde a roca intrusiva (diorita y granodiorita), con intervalos de fraturamiento moderado, que facilita el flujo del agua subterránea. En este mismo pozo fue realizada una prueba de bombeo, con la que se logró determinar que con un caudal de extracción de 18 gpm, el pozo tendría una eficiencia de 76% aproximadamente, lo que supone gastos energéticos moderados.

El **Perfil 5** (Figura 9), adquirido en la parte norte del río permitió identificar una posible zona acuífera ubicada entre los perfiles 1 y 2, por lo que también se propuso una perforación exploratoria (pozo 2) en esta área. La columna litológica encontrada en este pozo es muy similar a la del pozo 3, por lo que se presume que los parámetros del acuíferos deben ser muy parecidos a los determinados con la prueba de bombeo.

Debido a que no se conoce con exactitud la extensión de la zona acuífera identificada en la parte norte del río, y que las condiciones topográficas hacia esta área son adversas (zona montañosa), se recomienda realizar la captación del agua subterránea en puntos ubicados dentro del polígono de la Fase I del proyecto, como es el caso del pozo exploratorio número 3.

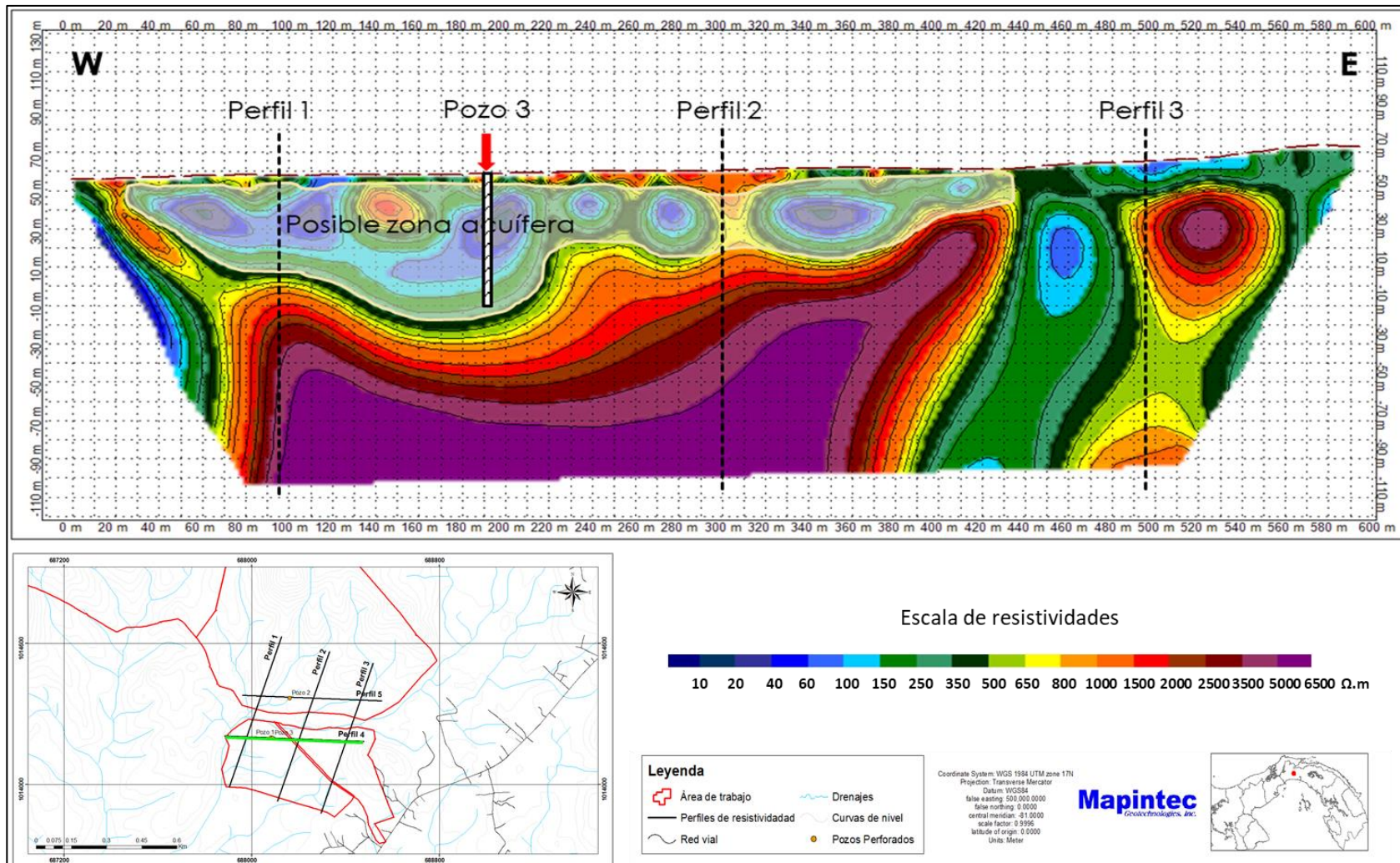


Figura 8. Perfil de resistividad 4 interpretado.

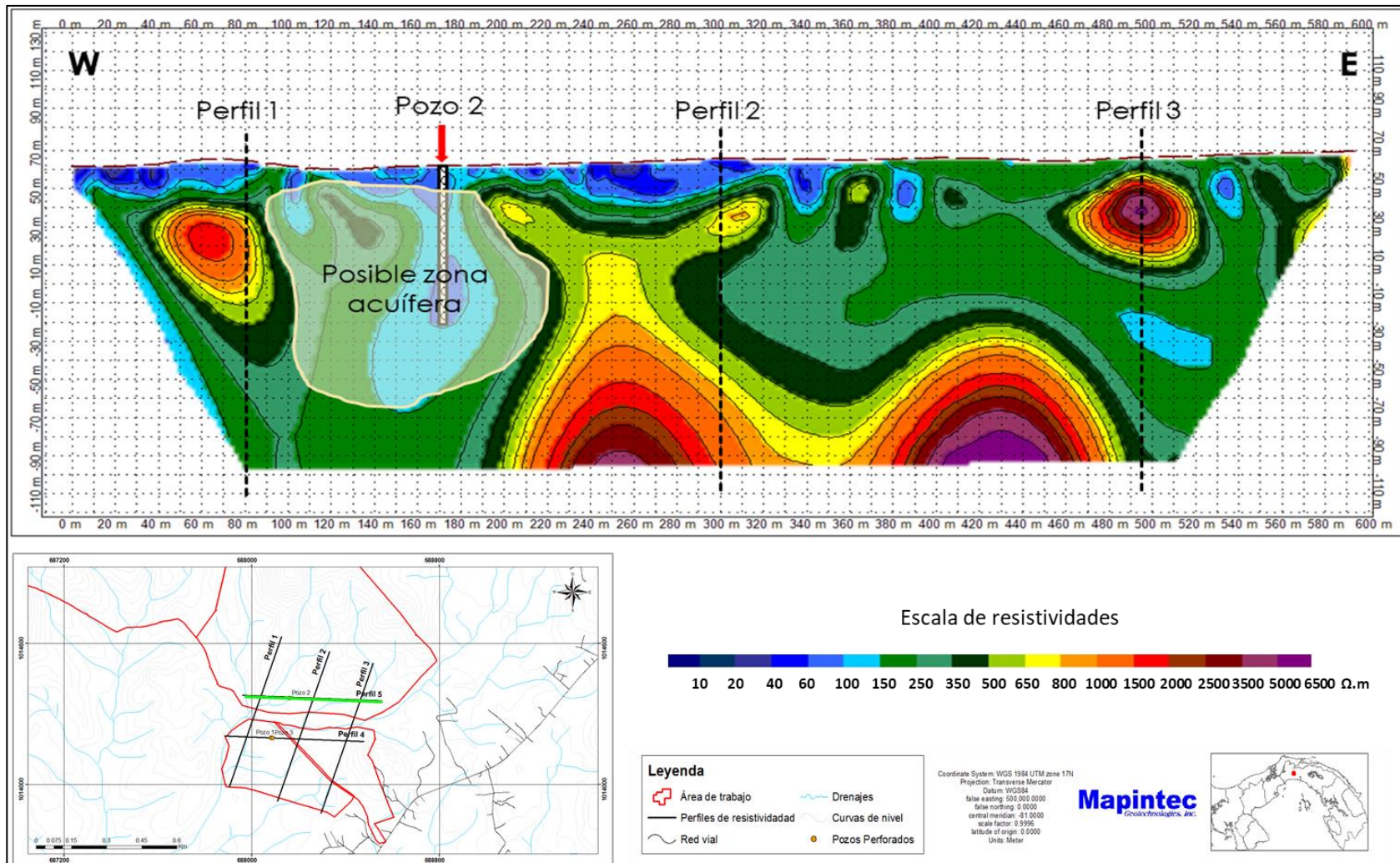


Figura 9. Perfil de resistividad 5 interpretado.

6. Conclusiones

- Existe un fuerte contraste resistivo entre los materiales presentes en la parte norte del río Cabobré, y los materiales del área sur, lo que permitió definir una posible zona de falla coincidente con el curso de agua.
- En la zona de planicie del polígono de la Fase I se logró identificar la presencia de una unidad geoelectrica con valores de resistividad entre 10 y 350 $\Omega \cdot m$., la cual está constituida por roca ígnea fracturada, con un espesor variable entre 50 y 80 m. La perforación exploratoria realizada permitió comprobar que las características hidrogeológicas que presenta, son de interés para la obtención de aguas subterráneas.
- Hacia el área norte del río se logró identificar una zona con alto potencial acuífero, la cual pudiese ser aprovechada durante la etapa de construcción de la Fase II del proyecto habitacional.

Bibliografía

- Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá Atlas ambiental de la República de Panamá [Informe]. - Panamá : Editora Novo Art, S.A., 2010.
- Dobrin, M.B. Introduction to Geophysical Prospecting, Third Edition. McGraw-Hill Book Company, Auckland, New Zealand, 1985.
- Orellana Ernesto, Prospección geoeléctricas en corriente continua. Ediciones Paraninfo. S.A., 2ª ED 1982 ISBN 9788428311533.
- Urbietta, J. Evaluación de las técnicas de adquisición de datos 2D y 3D con tomografía de resistividad eléctrica en pozo, Tesis de maestría, UNAM. 2009.