

Prospección geofísica eléctrica en la búsqueda de agua subterránea

Reyes A.¹, Coras P. M.², Arteaga E.³

^{1,2,3} Profesores investigadores del Departamento de Irrigación, Sección de Geohidrología y Aprovechamientos Hidráulicos de la Universidad Autónoma Chapingo. 595 95 216 49. areyes@correo.chapingo.mx; artrem71@gmail.com ; mpcoras@gmail.com

Línea temática | B. Hidrología, usos y gestión del agua

RESUMEN

Esta investigación se centra en buscar metodologías adecuadas para la búsqueda de aguas subterráneas, es este caso se utiliza los Sondeos Eléctricos Verticales utilizando el Equipo Terrameter SAS 300, su reforzador y equipo accesorio, con una capacidad de amplitud de electrodos de corriente AB de 1500 metros, se comparan los resultados con el tomógrafo geoelectrico Terrameter Laund System, con una capacidad de amplitud entre electros AB de 380 metros, se aplica en análisis en un municipio del Estado de Hidalgo, el Arenal, se obtienen resultados y se realiza la discusión, se reconoce que la tomografía emite resultados mucho más detallados de los perfiles geoelectricos porque entrega los datos en forma continua, los SEV los entregan en forma discreta, desafortunadamente la capacidad de exploración está limitada por no contar para más carretes de corriente y su exploración es de 60 metros, mientras que el SEV explora hasta los 450 metros, el agua esta profunda, los niveles estáticos ocurren entre los 35 y 60 metros de profundidad, por lo tanto los SEV sin más adecuados para esta búsqueda, aunque sus datos deban ser mayormente interpretables, sin embargo si se cuenta un reconocimiento de la geología superficial de la zona, ambos métodos son de utilidad.

Palabras clave | agua subterránea, estratos, litología, resistividad aparente, resistividad real.

INTRODUCCIÓN

La prospección geofísica eléctrica, tradicionalmente ha sido usada para la búsqueda de agua subterránea, la historia de su uso y aplicación rebasa los 100 años, los descubrimientos de Robert Fox en la denominada polarización espontanea abrió la puerta para el desarrollo de esta ciencia desde 1847, en su desarrollo han participado una infinidad de investigadores de todo el mundo, destacándose Conrad Schlumberger de la escuela franco-soviética , o Frank Wenner de la escuela americana como algunos de los principales aportadores de la prospección geofísica eléctrica vertical, sus arreglos interelectrónicos son extensamente usado en la actualidad, sin embargo el desarrollo de nuevos dispositivos, las matemática aplicadas, los ordenadores cada vez más potentes han hecho que se desarrollen nuevos métodos de exploración, mucho más detallado y amigables, tal es el caso de la tomografía Geoelectrica, que describe el subsuelo en dos y tres dimensiones, con detalles impresionantes y que la ingeniería general, la ingeniería en irrigación en particular, le puede dar muchas aplicaciones, esta investigación está enfocado a la prospección de agua subterránea, pero sus usos se Pueden extender a aplicaciones geotécnicas, mecánica de suelos, física de suelo, relaciones agua suelo atmosfera, ingeniería de riego, etcétera, las puertas de su uso queda abierto a un sinfin de aplicaciones.

Se utiliza para esta investigación el equipo de prospección geofísica eléctrica marca TERRAMETER SAS 300 B, Reforzador TERRAMETER 2000 y equipo complementarios, para la tomografía Geoelectrica se usa el TERRAMETER LAUND SYSTEM, ambos de manufactura sueca, se desarrolla en el municipio del Arenal, Estado de Hidalgo, México.

Los resultados son poco favorables para el Tomógrafo, no porque sus datos no sean los mejores, sino porque se tienen limitaciones de cable para arreglos interelectrónicos mayores que limitan su capacidad de exploración profunda, en los tramos que se pudo correlacionar es relevante la descripción del subsuelo que se puede hacer con él.

OBJETIVOS

1. Comparar las respuestas de dos métodos de exploración Geoeléctrica, los Sondeos Eléctricos Verticales y el Tomógrafo Geoeléctrico
2. Desarrollar las principales aplicaciones que propone el equipo de alta tecnología TERRAMETER LAUND SYSTEM

METODOLOGÍA

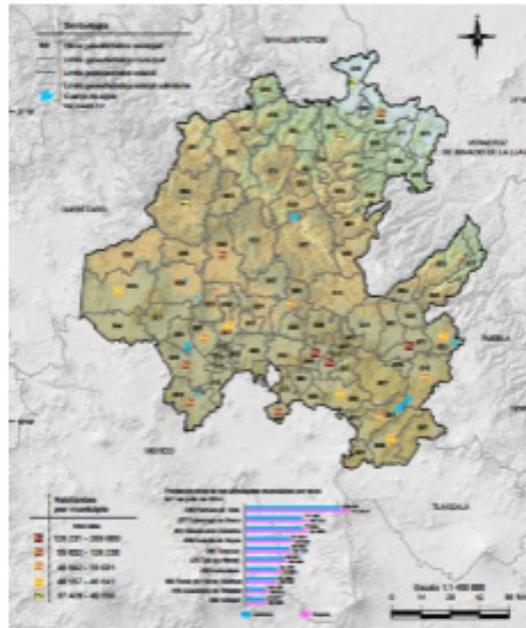
La metodología es teórico experimental, implica reconocer los componentes principales del equipo a utilizar, las formas de operación, descripción de sus principios físico matemáticos, obtención de datos y análisis de resultados a través del software diseñado para esta técnica, utilizando el razonamiento lógico deductivo; hacer propuestas de interpretación de datos, un procedimiento para lograr esto sería:

1. Los SEV es una tecnología de uso continuo, se cuenta con experiencia de 25 años realizando cientos de SEVs, se conoce bien.
2. La tomografía Geoeléctrica, son las primeras experiencia, se requiere conocer bien.
3. Se hace una revisión y exploración de todos los componentes del TERRAMETER LAUD SYSTEM, incluyendo revisión de manual de operación y software para interpretación de resultados.
4. Se realiza un SEV en el sitio elegido del Municipio del Arenal en un arreglo Schlumberger con una distancia AB de 1500 metros, en el mismo sitio se realiza una tomografía Geoeléctrica, la capacidad de máxima de AB es de 380 metros.
5. Se interpretan ambas técnicas, los SEV usando.
6. Análisis de resultados. Correlación de valores de resistividades obtenidas con uno y otro método.
7. Se aportan las conclusiones

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Descripción de la zona de estudio

Ubicación y colindancias El municipio de El Arenal es uno de los ochenta y cuatro municipios que conforman el estado de Hidalgo en la República Mexicana (figura 1.), cuya cabecera municipal es la localidad de El Arenal. El Arenal se localiza al centro del territorio hidalguense entre los paralelos 20° 09' y 20° 18' de latitud norte; los meridianos 98° 48' y 98°57' de longitud oeste; con una altitud entre 1900 y 3000 msnm. Este municipio cuenta con una superficie de 137.6 km², y representa el 0.66% de la superficie del estado de Hidalgo. Colinda al norte con el municipio de Actopan; al este con los municipios de Actopan y Mineral del Chico; al sur con los municipios de Mineral del Chico y San Agustín Tlaxiaca; al oeste con los municipios de San Agustín Tlaxiaca y Actopan (Figura 8) INEGI, 2009.



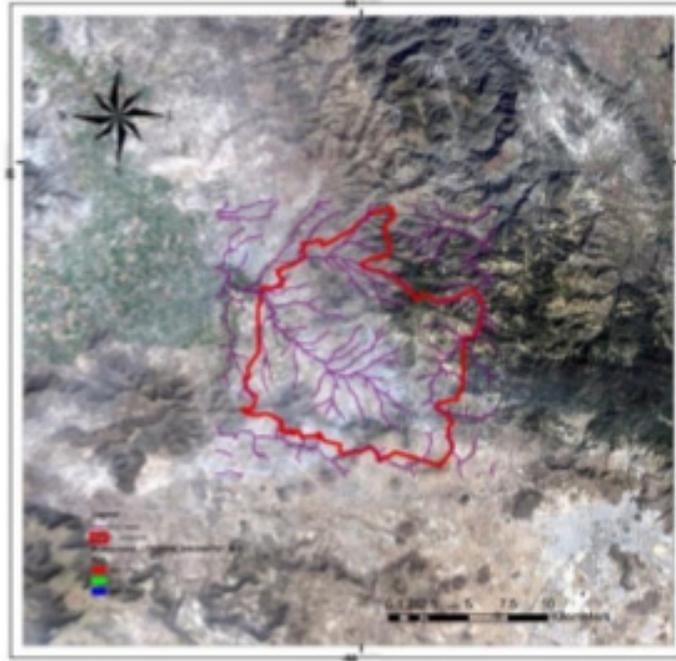
Fuente INEGI. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2014.

Figura 1. Municipios de estado de Hidalgo

Geología

En el estado de Hidalgo se presenta un basamento precámbrico grenviliano (Gneiss Huiznopala) que posiblemente forma parte del microcontinente Oaxaquia (Ortega, et al., 1995, citado en CIMMMYSH, 2009) rocas vulcanoclásticas y volcánicas paleozoicas de una cuenca-arco magmático (Formación Tuzoncoa correlacionable con la formación de la cuenca Las Delicias, formaciones sedimentarias del PermoTriásico, lechos rojos del Triásico, rocas sedimentarias marinas y continentales del Jurásico (formación Huayococotla), una secuencia Vulcano-sedimentaria de arco-cuenca del Jurásico superior (Formación Las Trancas), rocas calcáreas a calcáreo-pelíticas del Cretácico Inferior-superior, sedimentos vulvaniclásticos flaviolacustres del Eoceno-Oligoceno (fanglomerado El Morro) y del Pleistoceno (Formaciones Atotonilco El Grande y Tarango), unidades volcánicas andesíticas - riolíticas del Mioceno del Grupo Pachuca (Geyne, et al., 1963, citado CIMMMYSH, 2009) en y derrames fisurales de basaltos del Pleistoceno (figura 8.). (Hernández, 2008, Zamora M, 2012).

En el Municipio del Arenal afloran rocas del Neógeno (84.0%) y Cuaternario (6.73%), compuestas principalmente de rocas tipo Ígnea extrusiva: vulcanoclásticos (57.0%), brecha volcánica ácida (11.0%), basalto - brecha volcánica básica (8.0%) y andesita-brecha volcánica intermedia (7.0%) y toba ácida (1.0%). En la zona de estudio, se presenta en la parte alta el afloramiento de las rocas extrusivas andesíticas metamorfizadas del Grupo Pachuca y en la parte llana afloran depósitos residuales y tobas arcillosas en el subsuelo, el suelo es tipo: aluvial (6.73%) y en las zonas de montaña existe Minería de Oro y Plata. (INEGI 2009).



Hidrogeología

La hidrogeología se controla ampliamente por el tipo de roca, fallas geológicas, permeabilidad y porosidad de las mismas. Estos factores dieron lugar a una secuencia de acucludos y acuíferos en diferentes zonas.

Unidades hidrogeológicas Unidades permeables

Dentro de estas unidades se agrupan las rocas y rellenos de sedimentos dendríticos que presentan porosidad e intercomunicación entre poro, y que finalmente son capaces de transmitir cualquier fluido a través de ellas.

La mayor parte de las rocas presentes en el área son rocas ígneas extrusivas, las cuales sólo algunas presentan porosidad primaria y secundaria por fracturamiento y plegamiento.

Unidades semipermeables

Se han considerado dentro de este grupo a las rocas y sedimentos que presentan porosidad en bajo grado y baja permeabilidad. Dentro del área de estudio se valoró que las unidades semipermeables están formadas por rocas basálticas y andesíticas pertenecientes al Grupo Pachuca, las cuales se encuentran fracturadas y alteradas, funcionando como áreas de recarga permitiendo la circulación del agua infiltrada hacia la zona de saturación. Los sedimentos no consolidados de tamaño mediano a fino como algunos horizontes de áreas intercalados con arcillas pertenecientes al miembro tobáceo, los arenosos son semi permeables, los arcillosos son impermeables.

Unidades impermeables.

En esta unidad se agruparon las rocas y sedimentos que no poseen porosidad o en caso de tenerla los poros no se encuentran interconectados, siendo nula la permeabilidad. Ejemplo las tobas arcillosas que predominan en la zona llana o de valle con espesores de más 300 metros.

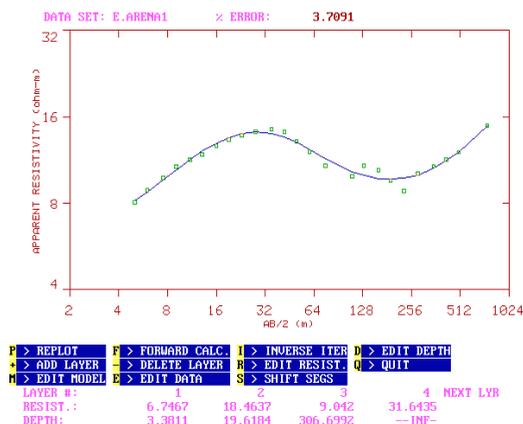
RESULTADOS

Se compara un SEV con una Tomografía.

Para la interpretación de los SEV se utilizó el programa de cómputo RESIXPLUS v. 2.45, el cual resuelve mediante métodos numéricos las ecuaciones que rigen el fenómeno de flujo eléctrico en el subsuelo.

SEV a un lado de pozo en explotación, profundidad del pozo 150 metros, gasto 55 l.p.s, nivel estático 35 metros.

Figura 4 Curva obtenida con el REXIS plus v. 4.5



Modelo de interpretación de SEV 1

SEV	No. DE CAPA	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ω-m)
1.	1	3.38	3.38	6.74
	2	19.61	22.99	18.46
	3	306.69	329.68	9.04
	4	α	α	31.64

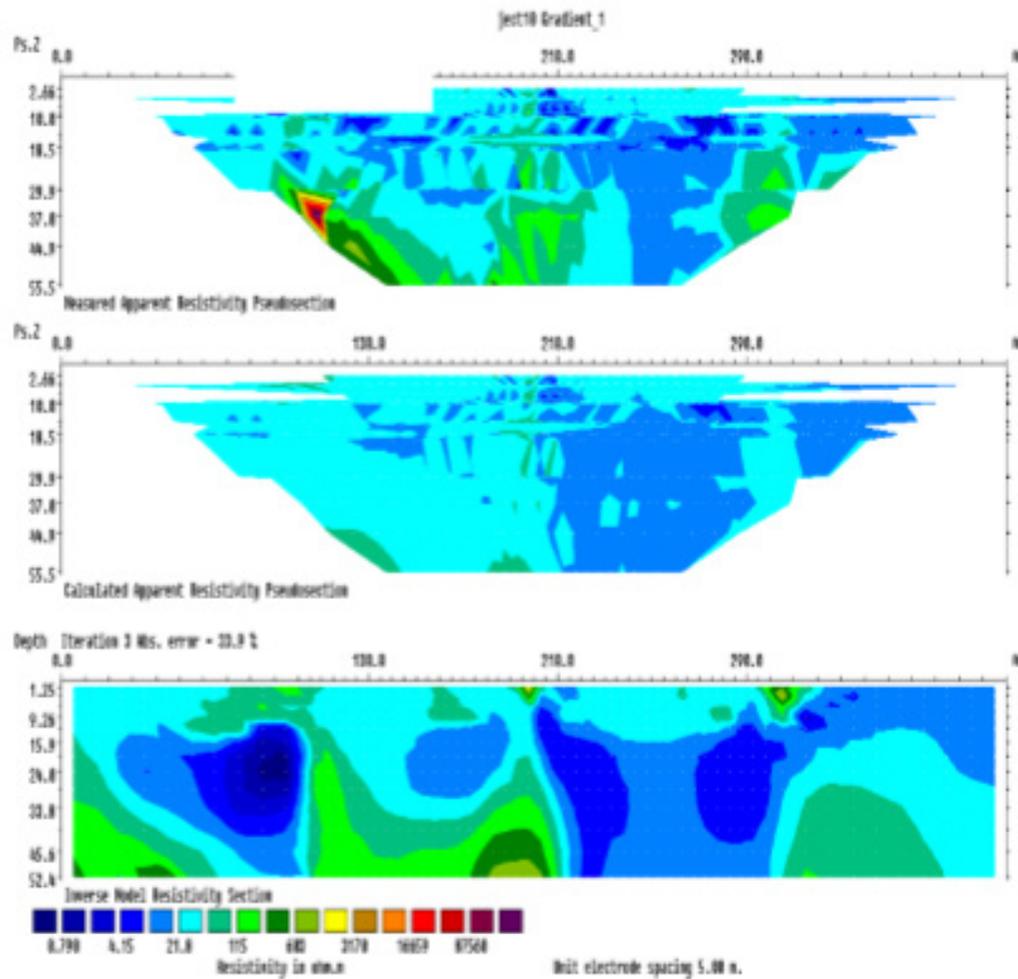
Descripción SEV 1.

Se penetraron 329.68 metros de profundidad, el primer estrato de 3.38 metros de espesor y 6.74 Ω-m, se asocia a suelos agrícolas arcillosos, impermeables, el segundo estrato de 19.61 metros de espesor y 22.99 Ω-m de resistividad, indica valores de depósitos residuales, aluviales, algo arcillosos, permeables, el tercer estrato de espesor 306.69 metros de espesor y resistividad de 9.04 Ω-m, se asocia a tobas arcillosas, impermeables, aunque habría que hacer la consideración que es el estrato que está aportando agua al pozo, ya que está construido a 150 metros de profundidad y el nivel estático está a los 50 metros de profundidad, quizás la presencia de agua este asociada a alguna fractura en esta toba arcillosa y este aportando el agua al pozo que le extraen del orden de 35 lps, el cuarto estrato de espesor indefinido y 31.64 Ω-m, se asocia a una toba arenosa semi compacta y permeable, sin embargo está después de los 330 metros de profundidad .

SEV 1. Tomografía eléctrica en el Arenal del lado este al pozo de extracción, datos completos

Profundidad de exploración 60, se interpreta con el software RES2DINV ver. 3.59, al sistema de modelación de diferencias finitas, se observa que se presenta una gran discrepancia en el error porcentual obtenido al comprar los datos tomados con el modelo que mejor se ajuste a la información experimental, al quitar los electrodos que son considerados como malos o con falsa señal, se logró reducir el error ligeramente, a pesar de la aplicación de filtros para minimizar el error, no se logró de manera adecuada es decir con un porcentaje menor al 10%, debido a que, en la toma de lecturas de campo, se presentaron falsos en la línea 1 de la tomografía

Figura 5. Tomografía eléctrica en el Arenal del lado este al pozo de extracción, con eliminación de datos con falsa conexión

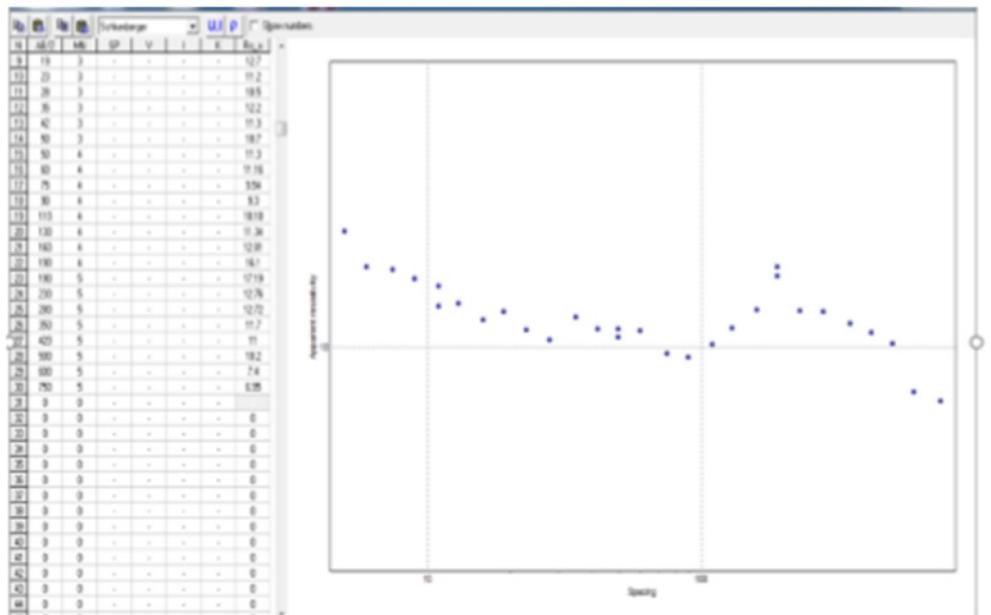


El modelo digital, las resistividades presentan rangos muy amplios, es decir en intervalos de distancias muy reducidas o pequeñas, el rango de variación de resistividades es muy grande. Además, se presenta una capa con resistividades que van del rango de 20 a 100 Ω -m, se puede considerar que existe la probabilidad de encontrar material que tenga propiedades hidráulicas para contener agua, aunque la certeza de afirmar esta instrucción tiene un porcentaje de credibilidad del 66.1%. La capa con probabilidades acuíferas se detectó a una profundidad de 52 m y mayor.

SEV 2. El Arenal en la localidad: El Rincón

En este punto se realizó tanto el SEV como la Tomografía Geoeléctrica, en El Rincón ($20^{\circ} 16' 24.3''$ N, $098^{\circ} 54' 11.2''$); La información obtenida en el trabajo de campo, se procesa en el software IPI2 Win y Res2div64, el cual es software propio del tomógrafo Terrameter LS y los datos recopilados, se procesan con el modelo del método de diferencias finitas. En los diagramas siguientes se muestra el procesamiento de todos los datos obtenidos en campo.

Figura 7. Curva obtenida con el IPlwin



Modelo de interpretación de SEV 2

SEV	No. DE CAPA	ESPESOR (m)	PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ω -m)
2.	1	1.04	1.04	14.8
	2	11.8	12.84	12.8
	3	34.5	47.34	7.52
	4	50.8	98.14	29.9
	5	α	α	4.14

Descripción SEV 2.

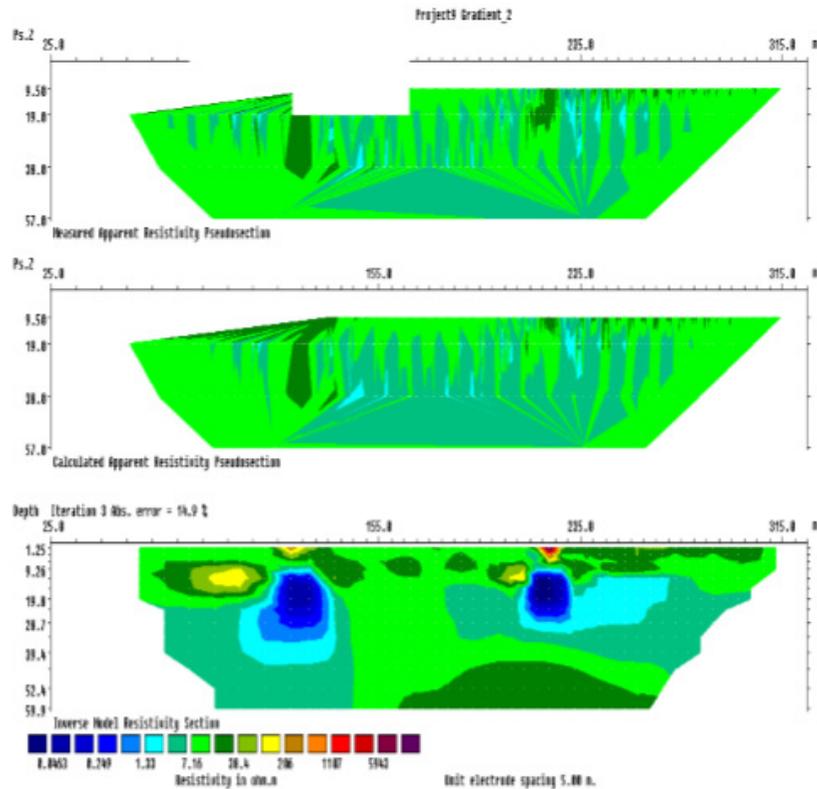
Se identificaron cinco estratos y penetró 98.14 metros de profundidad, el primer estrato de 1.04 metros de espesor y 14.8 Ω -m, se asocia a suelos agrícolas arcillosos, permeables, el segundo estrato de 11.8 metros de espesor y 12.8 Ω -m de resistividad, indica alto contenido de arcilla, posiblemente una toba arcillosa, el tercer estrato de espesor 34.5 metros de espesor y resistividad de 7.52 Ω -m, se asocia a tobas arcillosas, impermeables, el cuarto estrato de 50.8 metros de espesor y 29.9 Ω -m de resistividad se asocia a materiales vulcanoclásticos permeables, es el estrato que está aportando agua al pozo, el nivel estático está a los 50 metros de profundidad, el quinto y último estrato de espesor indefinido y 4.14 Ω -m, se asocia a una toba arenosa arcillosa e impermeable.

Tomografía eléctrica en el Arenal (el Rincón), datos completos

Al igual que el anterior solo se tuvo una capacidad de exploración de 60 metros de profundidad, se observa que se presenta discrepancia en el error porcentual (34.9%), obtenido al comprar los datos tomados en campo con el modelo que mejor se ajusta a la información experimental.

Para minimizar este error se aplica el filtro de cortar y eliminar datos que no llevan la secuencia o que fueron detectados como falsa señal y se vuelve a correr el análisis de información en el software, se aplica el modelo de ajuste de diferencias finitas. De esta manera se logró minimizar el error a un 14.5%. Por lo que este modelo presenta mayor confiabilidad para afirmar la profundidad del agua.

Figura 9. Tomografía eléctrica en el Arenal (El rincón), datos depurados



Se detecta que la zona presenta material arcilloso-limoso en sus primeras capas, mientras que cuando la resistividad se encuentra entre valores entre 30 y 100 ohm/m, aproximadamente, se está infiriendo que existe material permeable. Desafortunadamente su capacidad de exploración solo fue de 60 metros de profundidad, en este lugar existe un pozo que le está extrayendo agua subterránea con un gasto de 22 lps, no se conocen las características constructivas del mismo.

CONCLUSIONES

Las técnicas geofísicas empleadas para identificar formaciones permeables, semi permeables e impermeables son muy adecuadas, permiten localizar puntos clave para la perforación de pozos profundos, todo esto acompañado de un adecuado reconocimiento geológico superficial.

La tomografía eléctrica es una técnica multielectrónica, en donde el proceso de adquisición de datos es automatizado. Esto permite poder realizar un gran número de medidas, tanto en profundidad como lateralmente, en espacio de tiempo cortos (del orden de 500 medidas en una hora y media), obteniendo por tanto modelos 2D de gran resolución. La única desventaja es la profundidad que abarca, por lo que se recomienda el uso de los SEV para complementar la información, esto en caso de no contar con el cableado que permita el estudio a profundidades mayores de 100 m debido a que a esa profundidad se detectó la zona del acuífero.

La información que se obtuvo con los sondeos eléctricos verticales no fue concluyente para determinar la presencia de formaciones permeables, se detectó capas de arcilla de gran espesor (menos de 10 Ω -m) imposibles de contener agua subterránea, sin embargo se tiene una prueba real que existe agua subterránea, ahí están los pozos emplazados en esa formación obteniendo gastos de 55 y 22 lps., antes de hacer la tomografía en los mismos sitios, se interpretó la presencia de agua debido a fracturamiento cizallante de la formación ya que la zona es una zona de distensión donde ocurren fallas normales secuenciadas, se asociaron a fracturamiento en tobas arcillosas, con el tomógrafo, a pesar que no profundizó fue más evidente la identificación de estratos permeables que pudieran contener el agua subterránea, desafortunadamente la profundidad de

exploración no ayuda a realizar una adecuada correlación de datos, se sume que si se tuvieran más carretes y electrodos para duplicar la distancia AB se podría profundizar más, por otro lado la información que proporciona el tomógrafo es continua y la que proporcionan los SEV es discreta, sin embargo con apoyo de los dos equipos se pueden realizar una adecuada investigación y determinación de las condiciones acuíferas que se están explorando.

El uso del tomógrafo, en las condiciones que lo tenemos, es más adecuado para otras aplicaciones ingenieriles, tales como; el tránsito de plumas de contaminación, de la superficie al acuífero, estudios de la zona no saturada, formas de recarga vertical del acuífero, identificación de cimentaciones, o cualquier estudios más superficial.

La aparición de la Tomografía eléctrica ha permitido un desarrollo muy interesante con respecto a los métodos de resistividad convencionales, técnicas que, aunque se han estado utilizando durante varias décadas en estudios de filtración de agua, su limitada resolución 2-D les confería en general un papel secundario frente a otras técnicas. En cambio, el método de Tomografía eléctrica es una técnica multielectrónica, en el que todo el proceso de adquisición de datos está totalmente automatizado.

REFERENCIAS

Carrasco García Pedro. 2013. “Avance en técnicas geofísicas para la caracterización del subsuelo mediante innovación y uso de herramientas de gestión de información especial. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Ávila, Universidad de Salamanca, España.

CONAGUA. (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Ixmiquilpan (1312), Estado de Hidalgo. Mayo 12, 2017, de Comisión Nacional del agua. Subdirección General Técnicas. Gerencia de aguas subterráneas. Sitio web:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103062/DR_1312.pdf

Geyne A. R., Fries C. Jr., Segerstrom K., Black F. R., Wilson F. I. (1963) Geología y yacimientos minerales el Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México, México D. F; Consejo de Recursos Minerales, Publicación 5 E, 220 p

“Manual de instrucciones del Resistivímetro SAS 1000”. ABEM Instrument AB. 92 págs.

Orellana, E (1982): “Prospección Geoeléctrica en corriente continua”. Biblioteca Técnica Philips. 580 págs.

Ortega-Gutiérrez, F., Ruiz, J., Centeno Garcia, E., (1995) Oaxaquia a Proterozoic microcontinent accreted to North America during the late Paleozoic: Geology, p. 1127-1130

Quintana Berlanga Álvaro R (2013). Aplicación de la tomografía eléctrica en la caracterización del deslizamiento de Dona Mencia. Tesis de Master. Universidad de Granada, España