

Aplicación del Método Potencial Natural para la exploración de aguas subterránea en la zona del El Volcán El Pedregal, Tegucigalpa, Honduras.

Application of the Natural Potential Method for the exploration of groundwater in the El Pedregal Volcano area, Tegucigalpa, Honduras.

Ruiz, Maynor¹ ✉; Rodríguez, Manuel¹; Funes Ninoska²

¹Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra. Departamento de Física de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

²Escuela de Física. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Resumen

La demanda de recursos hídricos para el abastecimiento de agua a poblaciones que enfrentan escases ha forzado a la implementación de un sinnúmero de herramientas de exploración basadas en principios científicos, semi-empíricos y empíricos. El uso de cada una de estas herramientas está condicionado principalmente por los costos de los equipos, la ejecución de estos estudios y las dimensiones en superficies de las áreas a explorar.

En la zona de El Volcán El Pedregal, un área de expansión urbana al norte de Tegucigalpa, donde el crecimiento acelerado de asentamientos humanos que no cuentan con servicios de agua potable, ha incentivado a las autoridades gubernamentales y organismos internacionales a realizar estudios que permitan poder identificar sitios con potencial para perforación de pozos.

Se ejecutaron un total de 6 perfiles de potencial natural con una longitud de 30 m y con un alcance en profundidad de 300 m. Los perfiles tenían por objetivo identificar los lineamientos de fallas y fracturas, con la intención de definir si esta aporta agua al subsuelo.

Los resultados mostraron la presencia de valores bajos de resistividad eléctrica, caracterizando un acuífero confinado, ubicado a 30 m por debajo de una capa de basaltos poco alterados y con baja fracturación y que actúa como capa sello por su baja permeabilidad. Esta zona se ubica al sureste de la Laguna El Pedregal y no se detectó relación entre la laguna y la capa de alta conductividad.

La aplicación del método Potencial Natural de bajo costo denominado en el mercado "Water Finder" que se considera un equipo semi-empírico y de fácil uso por el operador generó resultados positivos en las zonas donde se desarrolló esta investigación.

Los resultados obtenidos han permitido ubicar un acuífero semiconfinado que puede ser utilizado como fuente abastecimiento de aguas subterráneas para las colonias que se encuentran alrededor de Laguna de El Pedregal.

Palabras clave: El Pedregal, subsuelo, acuífero.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio aborda el análisis del potencial eléctrico natural existente en la zona de El Pedregal para correlacionarlo con la resistividad eléctrica e integrar estas bases eléctricas a anomalías originadas por el flujo de aguas subterráneas que pueda presentar el área seleccionada poder establecer la presencia de acuíferos que puedan ser explotados para abastecimiento de agua potable a la población cercana a la zona de estudio.

Se tomó en consideración la información ya existente desarrollada en los últimos tres años por (SANAA, 2017), (IHCIT, 2019), donde se presentan las condiciones de potencial hídrico en zonas aledañas y un inventario de pozos, así como la clasificación de estos según su producción. Con dicha información se analizaron los diferentes parámetros hidrogeológicos presentes para estimar sitios de presencia de agua subterránea que puedan abastecer a la población circundante. Previamente GOAL (IHCIT, 2019) analizó siete zonas, tres de las cuales presentaron mayor posibilidad de presencia de agua subterránea y fue en estas zonas donde se determinó aplicar un estudio por potencial natural.

✉ mruiz@unah.edu.hn

Abstract

The demand for water resources to supply water to populations facing scarcity has forced the implementation of a number of exploration tools based on scientific, semi-empirical and empirical principles. The use of each of these tools is mainly conditioned by the costs of the equipment, the execution of these studies and the surface dimensions of the areas to be explored.

In the area of El Pedregal Volcano, an area of urban expansion north of Tegucigalpa, where the accelerated growth of human settlements that do not have drinking water services, has encouraged government authorities and international organizations to conduct studies to identify sites with potential for drilling wells.

A total of 6 profiles of natural potential with a length of 30 m and a depth of 300 m were executed. The objective of the profiles was to identify the fault and fracture lineaments, with the intention of defining if this contributes water to the subsoil.

The results showed the presence of low values of electrical resistivity, characterizing a confined aquifer, located 30 m below a layer of basalts little altered and with low fracturing, which acts as a seal layer due to its low permeability. This zone is located southeast of Laguna El Pedregal and no relationship was detected between the lagoon and the high conductivity layer.

The application of the low-cost Natural Potential method known in the market as "Water Finder", which is considered a semi-empirical equipment and easy to use by the operator, generated positive results in the areas where this research was developed.

The results obtained have made it possible to locate a semi-confined aquifer that can be used as a source of groundwater supply for the neighborhoods around Laguna de El Pedregal.

Keywords: El Pedregal, subsoil, aquifer.

Al determinar las coordenadas más próximas que dictaron valores de potencial eléctrico cercanos a los basados en los rangos patrones de la resistividad eléctrica en diferentes medios y que daban evidencia en los perfiles de agua subterránea se procedió a hacer la inspección de campo evaluando la geología local, climatología, condiciones del suelo y vegetación.

2. UBICACIÓN

La localidad de estudio se ubica al noroeste de Tegucigalpa, en las laderas del Volcán El Pedregal y una meseta muy cercana a su cúspide, cuenta con un área de 20 km² (ver figura 1), e incluye las colonias Altos del Paraíso, Generación 2000, Nueva Danlí, Colonia José Ángel Ulloa (sector 1 y 3), Suyatillo, Nueva Capital. Mary de Flores, Ciudad del Ángel, Fuerzas Unidas y El Pedregal.

Se caracteriza por su clima húmedo de montaña, con temperaturas que varían entre 18° a 30° y fuertes rachas de viento.

En la meseta citada se localiza un cuerpo de agua somero que se ha formado por el represamiento de la escorrentía de aguas de lluvia que proceden del relicto volcánico. Así mismo se forman otras concentraciones

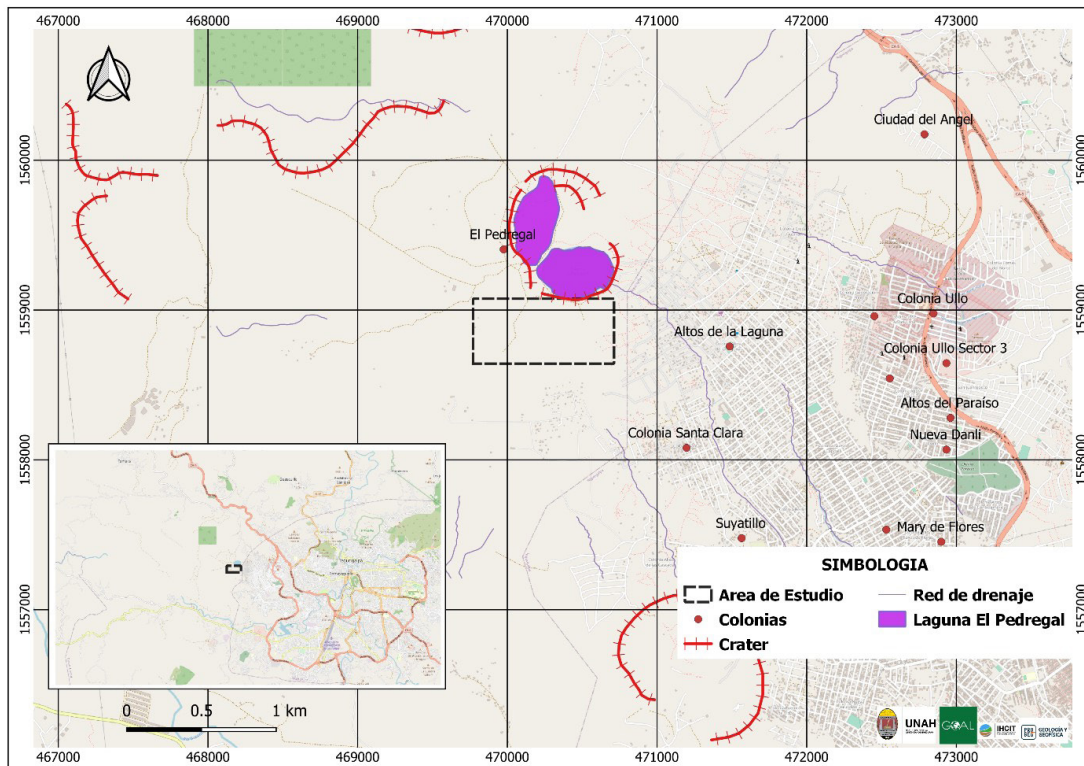


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Basados en datos Google Earth Pro.

nes de agua efímeros al disminuir la precipitación, por el drenaje del vaso de almacenamiento y por la evaporación.

Actualmente la zona de estudio se encuentra sometida a un desarrollo urbano precario y acelerado, por lo que se han generado procesos geológicos gravitacionales, principalmente en las laderas con mayor pendiente.

3. EQUIPOS Y MÉTODOS

El trabajo consistió en aplicar el método de Potencial Natural, que se basa en una serie de mediciones verticales en diferentes puntos a lo largo de un perfil que son expuestas a variaciones de campos eléctricos naturales llamado Potencial Natural, dicho método es útil para la determinación de los espesores de las capas con potencial para la formación de acuíferos tomando como parámetro de referencia las cargas eléctricas netas debidas a la presencia de enlaces químicos insatisfechos entre roca y agua (Fitterman, 1978). Con este método es posible analizar las propiedades del subsuelo que se representan mediante perfiles cuyos contornos representan claramente la elevación de una determinada formación geológica bajo la superficie.

En cada uno de los lugares seleccionados para la prospección geofísica se realizó una comprobación previa de la continuidad lateral de la respuesta eléctrica, ejecutando dos tendidos, uno principal y otro ortogonal a este de acuerdo con las limitaciones del terreno. Así se corroboró la congruencia de los datos adquiridos en cada sondeo, para garantizar que no se presentaran cambios considerables del comportamiento eléctrico. Esta tarea contribuyó a establecer los rangos de valores de resistividad asociados a las unidades litológicas presentes (Guido, 2015).

El paso de una solución de resistividad eléctrica ρ y viscosidad η a través de un medio capilar o poroso, puede generar un gradiente de potencial eléctrico a lo largo de la trayectoria del flujo. Este potencial es lo que se conoce como Potencial electrocinético (Ontiveros, 2009). La génesis de este potencial se debe a la adsorción preferencial de iones de la misma polaridad (en general aniones) en la superficie de los granos, formando una capa fija. Como respuesta a este fenómeno, se produce un enriquecimiento por parte del fluido intersticial de iones de polaridad opuesta formando otra capa (en este caso móvil), genera una carga neta de separación en la dirección del movimiento. Estas dos capas es lo que se

conoce como la doble capa de Helmholtz (Dakhnov, 1962).

Para producir una corriente eléctrica en un circuito se requiere establecer una diferencia de potencial. Fue Georg Simon Ohm (1787-1854) quien estableció en forma experimental que la corriente en un alambre de metal es proporcional a la diferencia de potencial aplicada a sus extremos (Giancoli, 2009).

La magnitud de la corriente no solo depende de la diferencia de potencial, sino también de la resistencia que ofrece el medio al flujo de electrones. Definimos entonces la resistencia eléctrica cuyas unidades son ohmios de forma que la corriente es inversamente proporcional a la resistencia, resultado que se conoce como la Ley de Ohm:

$$V = R I \quad (1)$$

Si la disposición de los electrodos adyacentes está igualmente espaciada a igual distancia entre 4 puntos. Entonces, la resistividad ρ en los términos de las unidades de longitud en las que se miden a y b y la resistencia eléctrica "R= V/I" es:

$$\rho = \frac{4\pi aR}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (2)$$

Debe tenerse en cuenta que esto no se aplica a las varillas de tierra conducidas a la profundidad b ; se aplica sólo a los electrodos pequeños enterrados en la profundidad b , con cables de conexión aislados. Sin embargo, en la práctica, cuatro barras se colocan generalmente en una línea recta a intervalos a , conducido a una profundidad no superior a 0,1m a . Entonces asumimos $b= 0$ y la fórmula se convierte:

$$\rho = 2\pi aR \quad (3)$$

y da aproximadamente la resistividad media del suelo a la profundidad a .

Se realizaron 6 perfiles geofísicos mediante el método de Potencial Natural con el equipo PQWT-TC-300. Se procedió a la instalación del mismo en el punto central de cada perfil y su respectivo tendido lateral en las

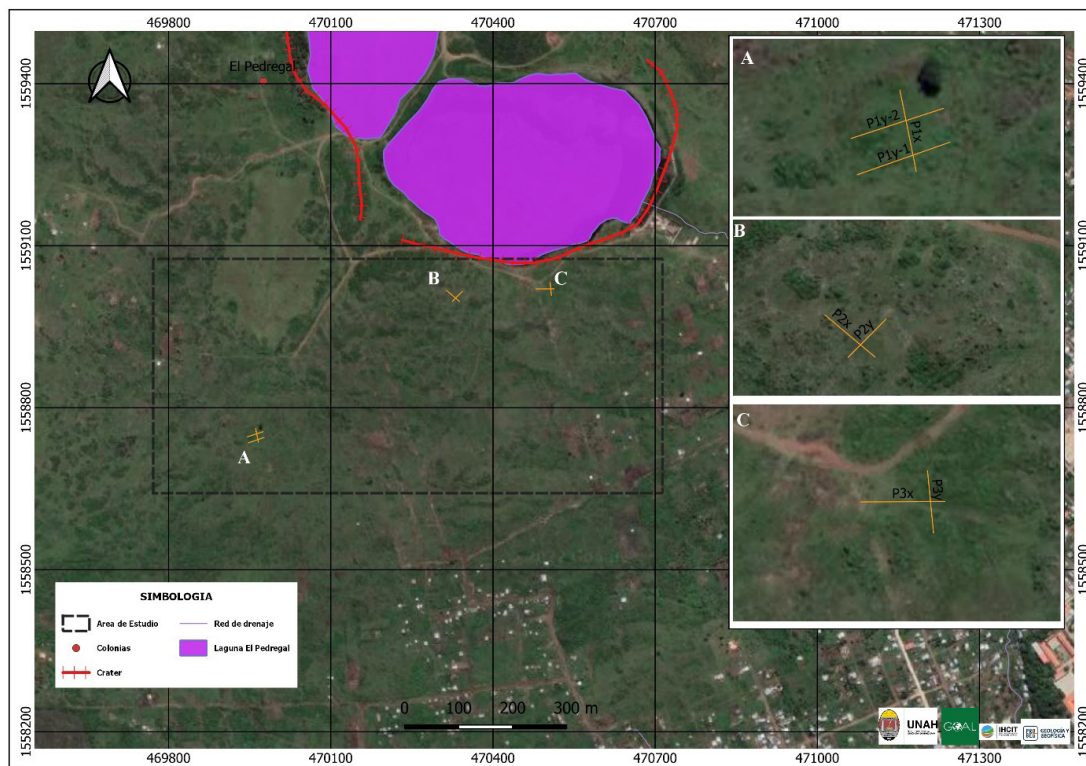


Figura 2. Mapa de ubicación de perfiles geofísicos.

zonas preseleccionadas. Utilizando cintas métricas se colocaron los electrodos a lo largo de la línea del sondeo acorde al dispositivo.

Cada uno de los puntos de adquisición de los sondeos, se geoposicionaron con el uso de un receptor GPS y se anotó la dirección de cada tendido eléctrico. Se ejecutaron en total tres (3) mediciones con al menos 15 puntos verticales. El método aplicado fue de rejilla abierta con líneas ortogonales, ya que el área es relativamente plana y la dirección estructural subterránea es desconocida. Los patrones de cuadrícula se utilizaron para detectar la estructura subterránea, como se muestra en la Figura 2.

3.1 Contexto geológico

Dentro del área de estudio, la composición litológica está constituida principalmente por material volcánico que pertenece a la Formación Basaltos Cuaternarios (Rogers, 1997), tanto efusivo como piroclástico, que se subdividen (2) unidades litoestratigráficas informales descritas a continuación, no se poseen datos radiométricos para poder datar las edades absolutas de estas rocas. Sin embargo, de manera general se definen basadas en la similitud de características petrográficas de las formaciones y miembros propuestos ya formalmente.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de las unidades litológicas de la Figura 3.

Unidad Tobas (Tpmn): esta unidad aflora en la zona central del área de estudio, formando una franja, presentando una pseudolaminación, es de color gris oscuro con tonos rojizos. Está fracturada en la dirección SW-NW. Posee una textura hipocristalina, con presencia de fenocristales de plagioclasas, cristales de cuarzo milimétricos, biotita, líticos de composición variada (andesita, basalto y riolitas).

En algunos afloramientos se puede observar la presencia de fragmentos líticos en contacto puntual dentro de una matriz de ceniza, con ausencia de biotita o cuarzo, por lo que se deduce que dentro de esta unidad existen variaciones texturales, laterales y verticales.

Subyace a las unidades de Basaltos, Aluviones Antiguos y Lahares, se encuentra en contacto concordante con la primera y discordante con la unidad de Lahares, y sobreyace a la unidad de Tobas Ignimbríticas en contacto discordante. No se observó el contacto con la unidad inferior.

Esta unidad se relaciona con el Miembro Cerro Grande (Rogers and

O'Conner, 1997), y su edad es Mioceno Medio Tardío posiblemente Thormiano, debido a la posición en la columna litoestratigráfica.

Unidad Basalto (Qb): es la unidad más extensa del área de estudio, se encuentra en la ladera este del antiguo Volcán El Pedregal, en la parte central del polígono de estudio. Las rocas presentes en la zona central del área de estudio, son masivas, de color negro, con textura afanítica y poco alteradas, con presencia de algunas fracturas. Hacia el Oeste se pueden ver basaltos columnares, compactos con fracturas verticales, típicas de esta litología.

En las laderas, Colonia Las Cuatro Aldeas, se observa una secuencia de basaltos vesiculares que van variando a basaltos amigdaloides. El tamaño de estas microestructuras varía de Este a Oeste, siendo las amígdalas alargadas (2 cm), indican que existió un movimiento y procesos de desgasificación. La dirección de las amígdalas predomina hacia EW-NW. Estas lavas tienen un promedio de 40% de vesículas y presentan una tonalidad rojiza, producto de la alteración del hierro. También se identificaron basaltos amigdaloides con 60% de estos, con abundante carbonato de calcio rellenándolas.

Esta unidad se encuentra sobreyacida por la Unidad Lahares principalmente y la Unidad Coluvial, y subyacida por la Unidad de Tobas. Se correlaciona con el Miembro Basaltos Cuaternarios descritos por Rogers y O'Conner (1997), quienes le asignaron una edad del Pleistoceno. Sin embargo, estas lavas pueden estar asociadas al Mioceno Tardío, según lo discutido por Martínez (2011).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar los resultados de cada uno de los perfiles obtenidos se observa en el del sitio 1 Figura 4, Py1 presenta dos zonas de fracturas verticales. Tomando en consideración que la escala del color azul indica un valor bajo de potencial eléctrico entre 0.12 y 0.37 mV dentro de los valores patrones dados en las especificaciones técnicas del dispositivo con resistividad eléctrica menor. Esto brinda la posibilidad de presencia de agua en un rango de profundidad entre 30 y 90 m y a más de 300m de profundidad, teniendo un potencial para la extracción de agua en los puntos horizontales 3 y 6. En la escala de los valores de potencial eléctrico, el color amarillo claro está asociado a depósitos de roca de

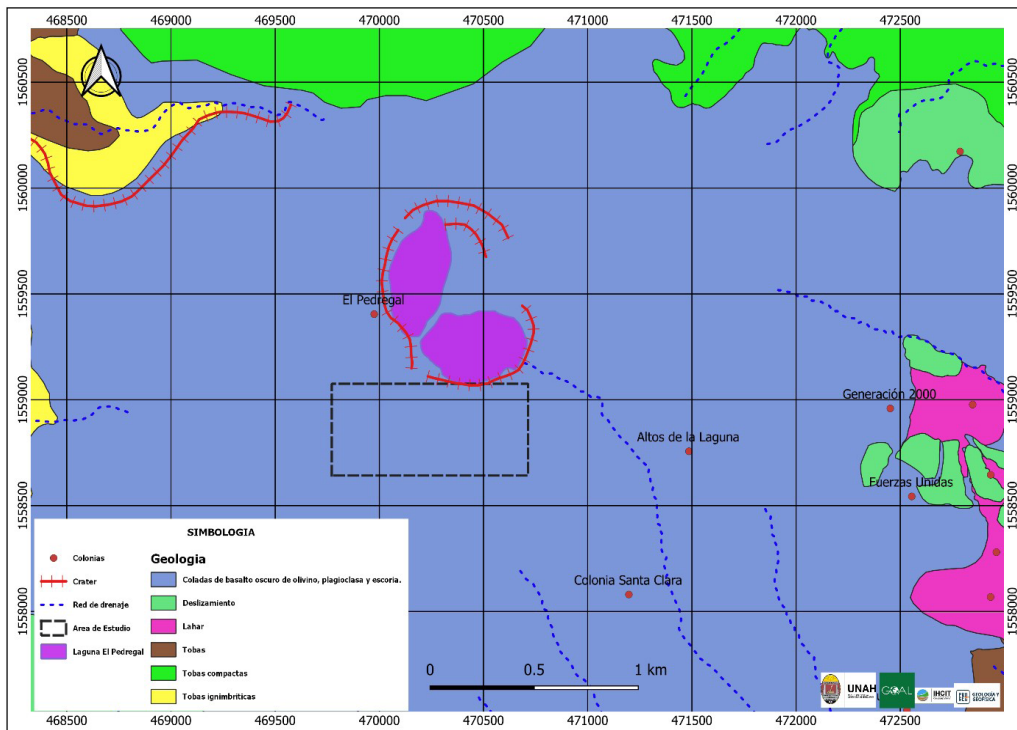


Figura 3. Mapa geológico del área de estudio.

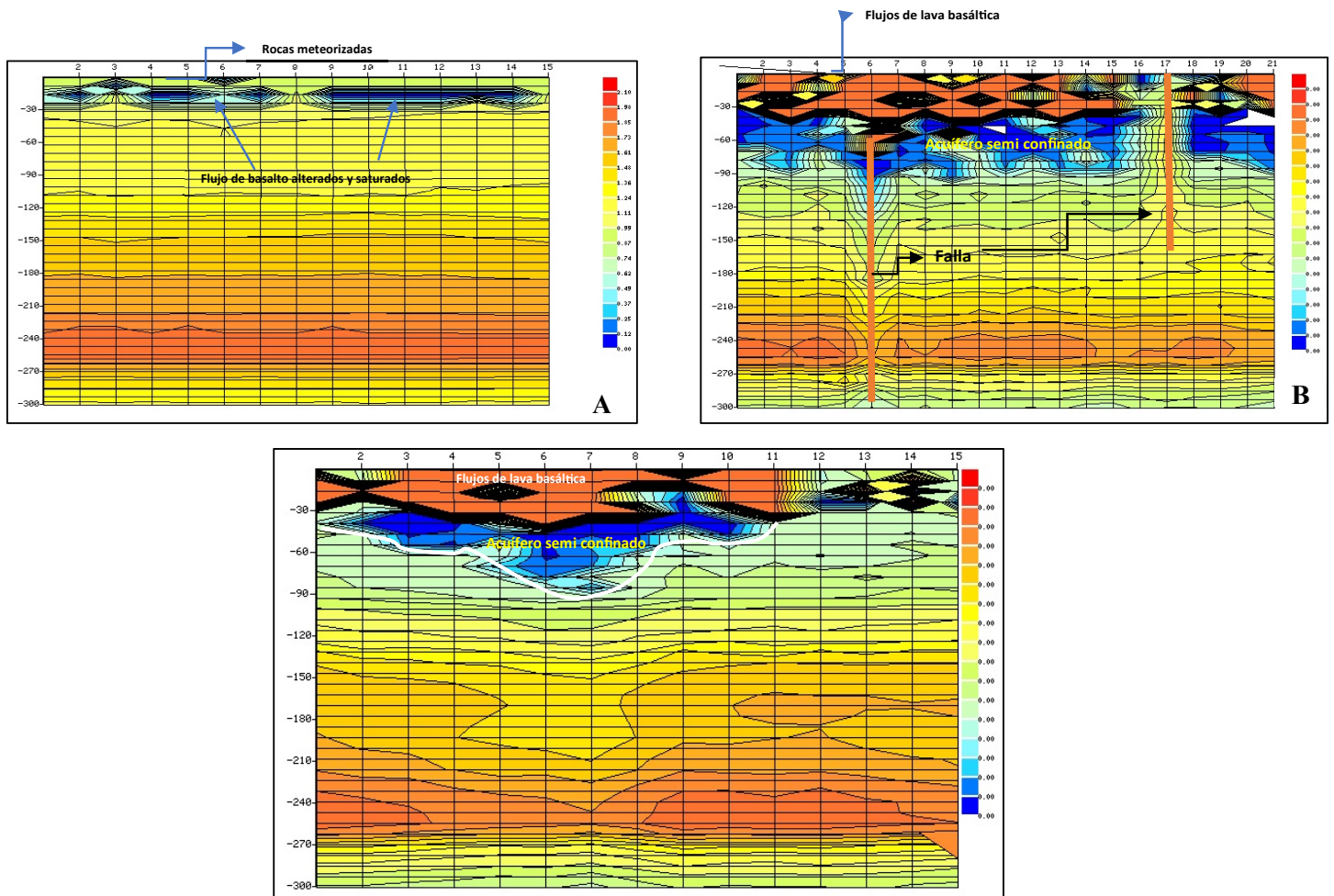


Figura 4. Perfiles geofísicos sitio 1 (Ver figura 2). A. Px1, B. Py1, C. Py2. Los valores presentados corresponden al post procesamiento de datos. Los valores se muestran en mV.

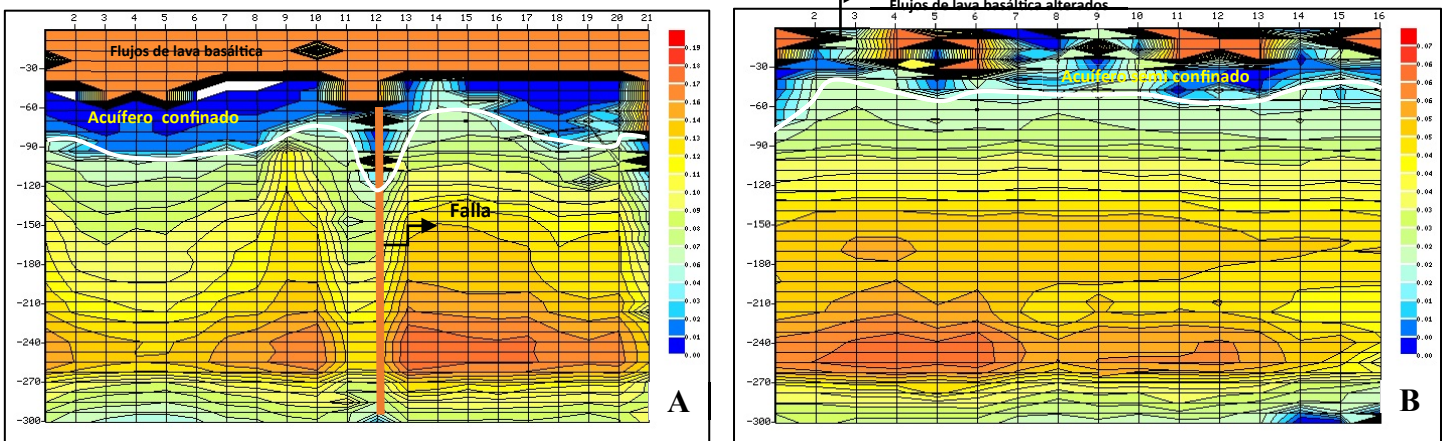


Figura 5. Perfiles geofísicos sitio 2. A. Px1, B. Py1 (Ver figura 2). Los valores presentados corresponden al post procesamiento de datos. Los valores se muestran en mV.

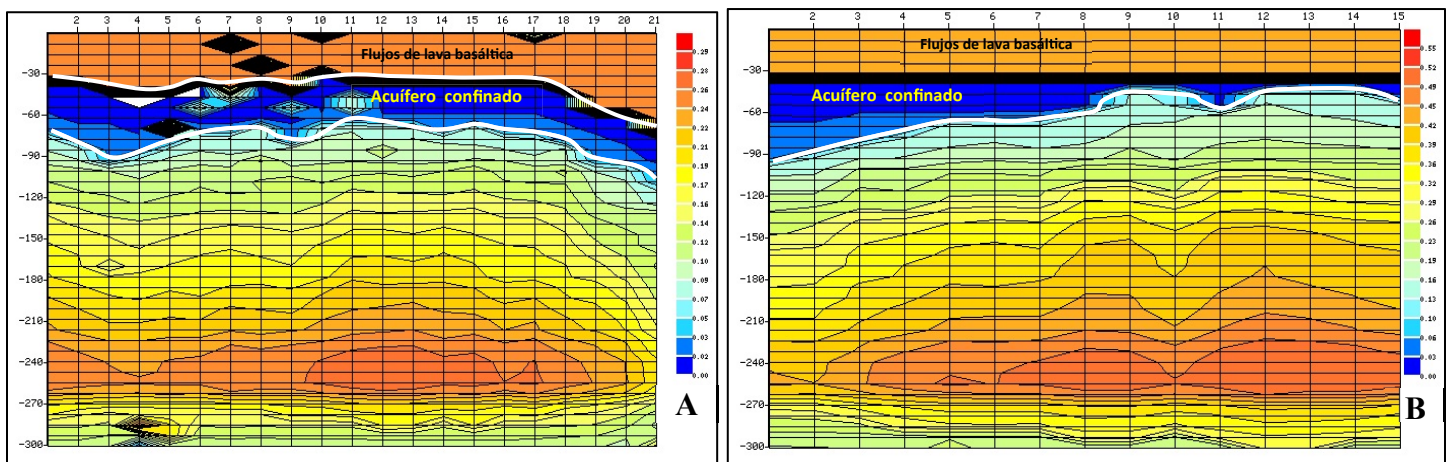


Figura 6. Perfiles geofísicos sitio 3. A. Px1, B. Py1. (Ver figura 2). Los valores presentados corresponden al post procesamiento de datos. Los valores se muestran en mV.

menor densidad, tobas arenosas, en este caso según la geología local haría más compleja la perforación.

El perfil del sitio 2 Figura 5, Px2 presenta un mejor comportamiento basado en la presencia de zonas de baja resistividad eléctrica, lo que ofrece alto potencial de extracción de agua a una profundidad entre 45 y 83m y luego después de los 300m concentrándose en los puntos horizontales 4 y 5. Esto concuerda con el comportamiento mostrado en el perfil Py2 en el punto 8 horizontal a una profundidad aproximada entre 23 y 60 m.

Este tramo en el perfil presenta la mejor estimación para un posible sitio de perforación de agua subterránea, considerando que la densidad de la roca es intermedia y con un buen comportamiento del contorno de las líneas equipotenciales. Para este perfil se observan al mismo tiempo que el potencial eléctrico es mucho menor al primero por lo que la conductividad eléctrica es mayor ofreciendo una probabilidad más alta de contenido de agua, aunque los valores reflejados están debajo del promedio de los valores patrón. En esta zona se encontraron rocas volcánicas meteorizadas con presencia de hierro.

El perfil del sitio 3 Figura 6, Px3 muestra el contenido de agua en el tramo de color azul a una profundidad entre 37 a 75 m, en toda la distancia horizontal medida de los 21m. Al comparar con el comportamiento mostrado en el perfil Py3 se verifica la misma tendencia llegando hasta 90m de profundidad. En este perfil se evidencia que la mejor estimación para un posible sitio de exploración de agua subterránea con mayor facilidad de perforación horizontalmente en el punto 2 más que el punto 10. El potencial eléctrico medido está debajo de los valores patrón entre un rango de 0.03mv para las zonas de color azul. Este es el que nos indica contenido de agua hasta un valor de 0.55 mv en la roca con mayor densidad que corresponde con la toba que está debajo de la cama basáltica que se percibe desde los 37m con un espesor aproximado de 8m. En este tramo se recolectaron muestras de roca con presencia de

carbonatos y cristales.

5. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que existen sitios con alta probabilidad de éxito para explotación de agua subterránea. El método de potencial natural es un método de fácil aplicación y bajo costo, por lo que se puede utilizar en localizaciones del país con difícil acceso y bajo poder adquisitivo para usuarios de los recursos hídricos subterráneos.

Se ha establecido un acuífero semiconfinado por debajo de flujos de basalto con un espesor aproximado de 30 m, la capa acuífera se relaciona con depósitos de tobas arenosas del Miembro Cerro Grande, el espesor de la capa acuífera es de aproximadamente 35 m, se puede identificar entre los 35-70 m.

Los resultados permiten recomendar a las autoridades municipales los sitios con mayor probabilidad de éxito al momento de perforación de pozos, así como la profundidad estimada de perforación.

Esta metodología también ha permitido estimar la profundidad del acuífero a ser explotado, con lo cual se pueden establecer profundidades a la que se debe de perforar, reduciendo el costo económico de perforaciones que no establecen una profundidad aproximada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Programa de Maestría en Recursos Hídricos con énfasis en Hidrogeología del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) de UNAH. A la empresa PROGEO por facilitar el equipo y trabajo de campo. A GOAL-Honduras por el apoyo logístico prestado para la ejecución de trabajos de campo y acompañamiento en campo.

REFERENCIAS

- Arias. (1996). Acuífero.
- Villodas, R. (2008). Hidrología, El ciclo Hidrológico. En Hidrología (pág. 1.7). Cuyo, Argentina: Universidad Nacional del Cuyo.
- Breña Puyol, M. A. (2006). Infiltración. En Principios y Fundamentos de la Hidrología superficial (págs. 154-189). México.
- Taracena H. J. (1999). Determinación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo y propuestas de políticas y estrategias de uso en la cuenca del río Itzapa. Chimaltenango, Guatemala: Facultad de Agronomía de USAC.
- Orellana, E. (1982). Prospección Geoeléctrica en corriente continua. En E. Orellana, Prospección Geoeléctrica en corriente continua (pág. 578). Madrid.
- Banco Central de Honduras, BCH. (2018). Honduras en Cifras 2016-2018. Tegucigalpa-Honduras: Banco Central de Honduras.
- Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra. (2019). Estudio geológico y geofísico El Pedregal. Tegucigalpa.
- Edwards, L. (1977). A modified pseudosection for resistivity and IP Geophysics.
- Hernández, F. A. (30 de noviembre de 2012). Métodos geoeléctricos aplicados a la exploración de aguas subterráneas y termales. Concepción, Chile: Universidad de Concepción.
- C.W. Fetter. (2001). Applied Hydrogeology. New Jersey: Prentice Hall.
- Rivera, J. C. (2000, issue 5). Application of the groundwater-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins. Hydrogeology Journal, 503-520.
- Fosterl, S.; Tuinhof, A.; Kemper, K.; Garduñom, H. & Nanni. (2 de marzo de 2010). Obtenido de Gestión sustentable del agua subterránea, conceptos y herramientas: caracterización de sistemas de subterránea (en línea). México. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWRM/0,,contentMDK:21210588~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:337240,00.html>
- Krasny, J. H. (1998). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de Estudios hidrogeológicos e hidroquímicos de la Región del Pacífico de Nicaragua.: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NI2006002732>.
- Maderey Rascón, L. E. (2005). Serie de Textos Universitarios. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Duarte, J. R. (2012). Estudio Hidrogeológico e Hidrológico Área Protegida Natural Área Natural Protegida El Espino – Bosque Los Pericos. San Salvador: SalvaNatura.
- Sánchez, F. J. (s.f.). Conceptos Fundamentales de Hidrogeología. España: Dpto. Geología--Univ. Salamanca.
- Alcaldía Municipal-Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2018). Tegucigalpa Comayagüela Capital sostenible, segura y abierta al público. Tegucigalpa: Alcaldía Municipal-Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Telford, V., & Geldart, L. (1990). Applied Geophysics (Vol. 2da). Cambridge, Canada: University Press.
- Rogers, R. D. (1997). Geología del Cuadrángulo de Tegucigalpa, Francisco Morazán. Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras.
- Kozuch, M. (1989). Geology of the San Francisco de Becerra quadrangle, Honduras, Central America. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras, 55.
- Gordon, M. (1990). Strike-slip faulting and basin formation at the Guayape fault - Valle de Catacamas intersection, Honduras, Central America. Texas: University of Texas.
- Williams, H. y. (1969). Volcanic history of Honduras. Publ. Geol. Sci., v. 85, Univ. Calif., 101.
- Arias, M. E. (2002). Aplicación de Métodos geofísicos en Hidrogeología. Revista Geológica de América Central, 27, 11-20.
- E.Falgás. (2007). Hydrogeophysics as a Multidisciplinary Tool on Aquifer Appraisal. Focus AMT Capabilities, Universidad de Barcelona, 223.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, FAO. (1969). Los suelos de Honduras. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. (1999). Suelos Locales de Honduras. Cali, California: CIAT.
- D. Cunningham J.H.Scott, D. C. (s.f.). Tomas de Tierra y Protecciones contra Sobre tensiones en estaciones de Base". Telergia, Energía en Telecomunicaciones.
- Klain, P. H. (2003). Puesta a Tierra y EMC. Wroclaw: University of Technology.
- Power System Instrumentation and Measurements Committee of the IEEE Power Engineering Society. (1981). IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System. IEEE Standards Board.
- Giancoli, D. C. (2009). Física para Ciencias e Ingeniería con física moderna. México: Pearson educación de Mexico.
- Human Puqi Geologic Exploration Equipment Institute (2012). Operation Manual for PQWT-TC150/TC300/TC500/TC700.
- Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados, SANAA. (2016). Informe final perforación de un pozo profundo comunidad Altos de la Laguna y Ciudad Guzmán. Tegucigalpa: SANAA.
- Emilio Custodio, M. R. (2001). Hidrología Subterránea Tomo I. Barcelona: Ediciones Omega.