



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



Programa
Hidrológico
Intergubernamental

Aqua-LAC

Miembro del Programa Hidrológico Intergubernamental
para América Latina y el Caribe

Prospección Geofísica como herramienta para la caracterización hidrogeológica del acuífero transfronterizo Ocotepique-Citalá (ATOC), Región Trifinio, El Salvador-Honduras

Geophysical prospecting as a tool for the hydrogeological characterization of the Ocotepique-Citalá transboundary aquifer (ATOC), Trifinio Region, El Salvador-Honduras

César Armando Alvarado Batres^{1*}, Luis Adrián Mayén Flamenco²,

Luis Alfonso Castillo Ramos¹

Recibido: 21/11/2019

Aceptado: 07/04/2020

*Autor de correspondencia

Resumen

La exploración geofísica, se dedica a estudiar las propiedades físicas del subsuelo; normalmente, es utilizada en la búsqueda de recursos naturales tales como: petróleo, agua subterránea, minerales metálicos, yacimientos geotérmicos, etc. En otras ocasiones se utiliza para investigaciones arqueológicas; determinación de estructuras de aguas residuales y tuberías de abastecimiento de agua potable (cuando no se tienen planos del diseño). Las aplicaciones son muy diversas y existen varios métodos aplicables, que utilizan diferentes propiedades físicas de la materia tales como: el electromagnetismo, resistividad eléctrica, propagación de ondas (sísmicas), atracción gravitacional (gravimetría). Dichas propiedades, están íntimamente relacionadas con las características del subsuelo y la naturaleza geológica de los materiales en profundidad. Ayudan a localizar y algunas veces determinar las dimensiones del recurso buscado. Esta investigación aborda el caso de los métodos geoelectrónicos aplicados a la exploración hidrogeológica. Para realizar este tipo de exploración, se requiere de una fuente de corriente directa, que se pueda manipular la cantidad de corriente que se inyecta al subsuelo, y un voltímetro, capaz de detectar las diferencias de potencial que se generan al inyectar la corriente. Este, se conoce como el método de las cuatro puntas. A partir de los valores de corriente y diferencia de voltaje que se obtienen, se procede a calcular la resistividad eléctrica del subsuelo.

Palabras clave: Prospección Geofísica, Hidrogeología, Acuífero Transfronterizo.

Abstract

Geophysical exploration is dedicated to studying the physical properties of the subsoil; normally, it is used in the search for natural resources such as: oil, underground water, metallic minerals, geothermal deposits, etc. On other occasions it is used for archaeological investigations; determination of wastewater structures and drinking water supply pipes (when there are no design plans). The applications are very diverse and there are several applicable methods, which use different physical properties of matter such as: electromagnetism, electrical resistivity, wave propagation (seismic), gravitational attraction (gravimetry). These properties are closely related to the characteristics of the subsoil and the geological nature of the materials in depth. They help locate and sometimes determine the dimensions of the resource sought. This research addresses the case of geoelectric methods applied to hydrogeological exploration. To carry out this type of exploration, a direct current source is required, which can manipulate the amount of current injected into the subsoil, and a voltmeter, capable of detecting the potential differences that are generated by injecting the current. This is known as the four-pointed method. From the values of current and voltage difference obtained, the electrical resistivity of the subsoil is calculated.

Keywords: Geophysical Prospecting, Hydrogeology, Transboundary Aquifer.

1 Universidad de El Salvador. El Salvador. cesar.alvarado2@ues.edu.sv, luis.castillo@ues.edu.sv

2 Consejo Nacional de Energía. El Salvador. a.mayen17@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2013, la Agencia Suiza de Desarrollo y Cooperación (COSUDE, por sus siglas en inglés) ha otorgado al Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (UNESCO-PHI), en cooperación con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la ejecución del programa “Gobernanza de Aguas Subterráneas en Acuíferos Compartidos” (GGRETA por las siglas en inglés de Governance of Groundwater Resources in Transboundary Aquifers) en la región Trifinio. Entre las componentes a desarrollar del programa está la identificación de los límites y propiedades del Acuífero Transfronterizo Ocoatepeque – Citalá (ATOC), el cual es compartido por los países de Honduras y El Salvador.

A iniciativa de UICN, el proyecto GGRETA planteó crear alianzas entre las instituciones académicas de los países conformantes del Trifinio del Triángulo Norte Centroamericano, es entonces que se dan los acercamientos con el Grupo de Investigación en Hidrogeología de la Universidad de El Salvador (GIH

– UES). Los acercamientos y acuerdos llevaron a coordinar y apoyar la investigación para definir el modelo conceptual hidrogeológico para el ATOC como contribución al proyecto GGRETA, el cual conlleva una importante parte de adquisición de datos geofísicos.

De esta manera, los días del 11 al 15 de marzo de 2019, se llevó a cabo la campaña geofísica en el ATOC, el objetivo principal de la campaña fue coleccionar información de resistividad eléctrica en puntos estratégicos que pudiesen aportar información para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual. Así, se realizaron 13 perfiles de Tomografías Eléctricas 2D (TE2D), las cuales utilizan el mismo principio que los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con la variante que estos aportan información en forma de imágenes de secciones transversales del subsuelo que permiten visualizar la distribución de las diferentes unidades rocosas, y por ende unidades acuíferas, por medio de los valores de resistividad que estas poseen.

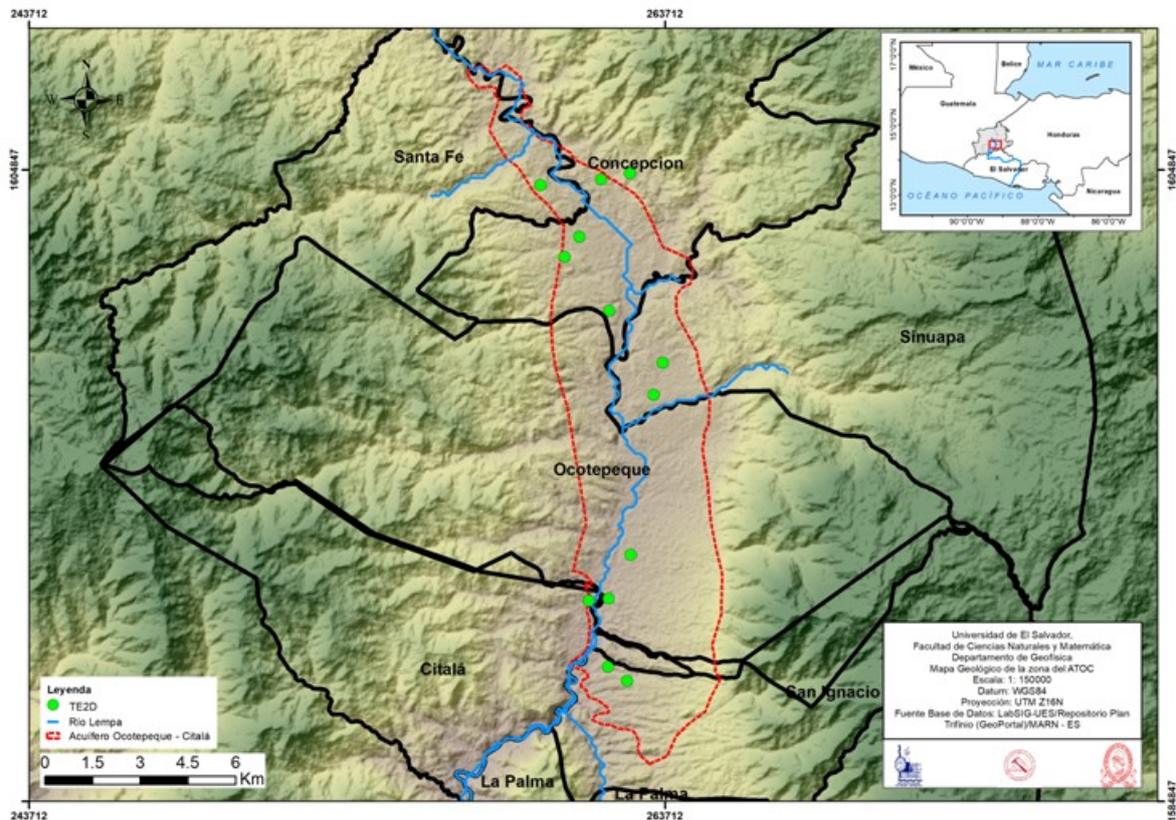


Figura 1. Muestra la delimitación del Acuífero Transfronterizo Ocoatepeque-Citalá y la ubicación de todos los perfiles realizados durante la campaña geofísica 2019

Los resultados obtenidos por las TE2D permitieron delimitar espesores de secciones acuíferas relacionadas al ATOC, regiones donde la saturación es superior e inferior, regiones en las cuales el nivel freático se encuentra a niveles más superficiales y otros a niveles con profundidades altas. Esta información será parte de la información necesaria para la creación del Modelo Hidrogeológico Conceptual en conjunto con variables de permeabilidad, niveles de pozo, climatología, entre otros factores de interés.

En el presente documento se detallan los resultados de cada uno de los perfiles de TE2D realizados en las localidades de Santa Fe, Concepción, Sinuapa, Ocotepeque, en Honduras y, Citalá y San Ignacio, El Salvador. La interpretación de los resultados debe de considerarse preliminar, dado que los datos no poseen aún la incorporación de topografía y correlación con litológica con pozos y testigos rocosos cercanos.

2. ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN

El Acuífero Transfronterizo Ocotepeque – Citalá (ATOC) ha venido siendo de interés público desde

hace algunos años atrás, las investigaciones científicas – técnicas realizadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA & Plan Trifinio, 2009), UICN (UNESCO-PHI/UICN, 2016) y otros autores relatados en el marco teórico han permitido obtener información base para la identificación de diferentes características del acuífero, así como la consolidación de repositorios de datos que enriquecen la información de la zona. La metodología del trabajo de prospección geofísica se apega a los objetivos que se plantearon, y de esta manera los resultados obtenidos cuentan con información documentada que permite un respaldo de las conclusiones emitidas en el documento. En este caso se enfoca la metodología de trabajo de prospección geofísica que se detalla a continuación:

Durante el periodo de tiempo de colecta de datos se realizaron 13 tomografías eléctricas 2D (Figura 1); la selección de los lugares de realización de estas fue basada en la facilidad de acceso, pendiente del terreno, geología, tipo y uso de suelo, distribución espacial e importancia de adquisición de datos en la zona. La Tabla 1 resume los puntos centrales de las TE2D correspondientes a esta investigación.

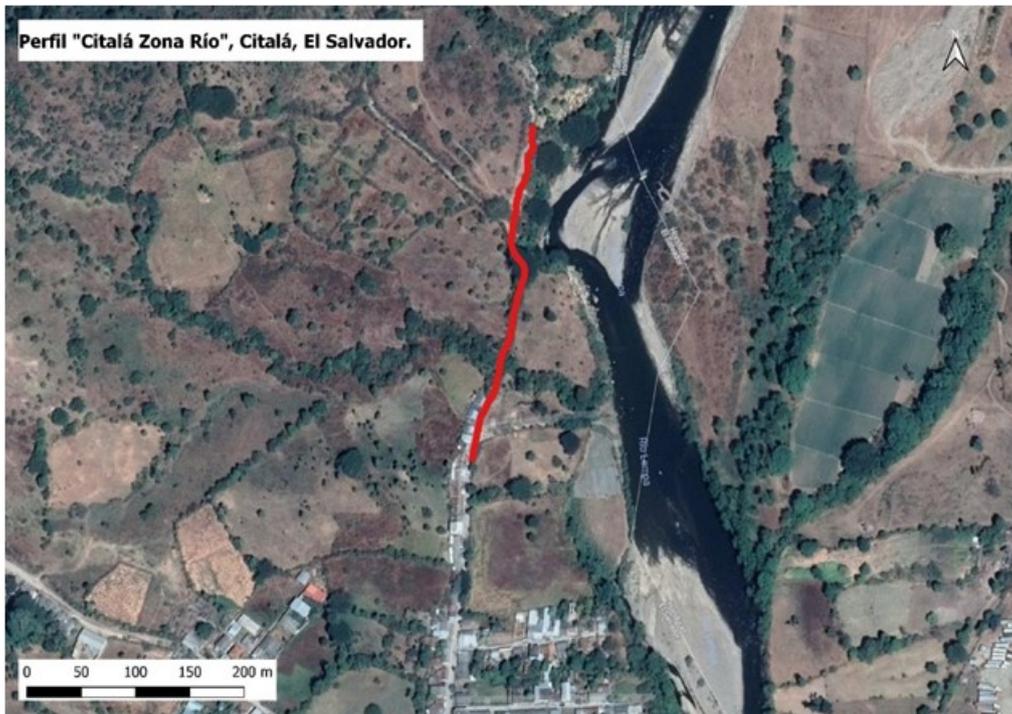


Figura 2. Perfil correspondiente a Citalá Río (Línea Roja), extensión de 300 metros debido a la cercanía del río Lempa. (Fuente: Elaboración Propia)

Las tomografías que cuentan con una longitud de 200 m. corresponden a sitios en donde el cauce del Río Lempa era relativamente cercano (Figura 2), por lo que la existencia de un nivel freático era más probable para detectar con las mediciones de resistividad, o también por las características del terreno, esto puede referirse a sitios con alto tránsito de vehículos, centros urbanos o existencia de pastizales con animales que comprometían la recolección exitosa de datos.

Para cada TE2D se georreferencio cada una de las líneas de toma de datos, con el propósito de incluir, de ser necesario, la topografía en la inversión e interpretación de los datos de cada una de ellas.

Como se detalla en la Tabla 15 los protocolos electródicos utilizados en la campaña de recolección de datos de campo fue el Wenner – L y el Wenner 32 SX, estos protocolos están incluidos dentro de la configuración del Lund Imaging System, y proporcionan una toma de datos ordenada y automática en campo. Cada una de las mediciones

tomó alrededor de 40 – 60 minutos, dependiendo de la extensión y configuración electródica seleccionada.

En algunos casos, el terreno presentaba resequeidad por lo que se realizó la “hidratación” de los electrodos inyectores de corriente y de medición de voltaje a partir del uso de una bomba de agua con solución salobre (Figura 3), dicha solución ayuda a que la inyección de corriente sea más fácil en cada uno de los puntos.

Todas las TE2D se realizaron dentro de los límites del ATOC, a excepción de la ATOC-004 que se realizó en una región próxima dentro de la jurisdicción del municipio de Concepción, Honduras; esta TE2D sirvió para analizar los valores en zonas no acuíferas de la región de la CARL. Además, la tomografía ATOC – 003, se realizó en la región de transición entre la región acuífera y la no acuífera; gracias a la configuración utilizada se pueden realizar interpretaciones y análisis de las condiciones en zonas de transición del ATOC.



Figura 3. Proceso de hidratación de electrodos durante la toma de datos de resistividad eléctrica

Tabla 15. Resumen de las características principales de las Tomografías Eléctricas 2D realizadas en la campaña de campo (Fuente: Elaboración Propia)

ID	Nombre	Municipio	País	X	Y	Z	Arreglo	Longitud [m]	Espaciamiento [m]
ATOC-001	San Ignacio 1	San Ignacio	El Salvador	262664.47	1588491.2	833	Wenner – L	400	10
ATOC-002	La Vuelta	San Ignacio	El Salvador	261999.78	1588878.72	776	Wenner – L	400	10
ATOC-003	Citalá Río	Citalá	El Salvador	261316.93	1591120.28	730	Wenner 32 SX (Roll along)	300	5
ATOC-004	Zacamil	Concepción	Honduras	262582.34	1604622.82	964	Wenner – L	400	10
ATOC-005	Concepción Pozo	Concepción	Honduras	261717.56	1604403.66	836	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-006	Santa Fe Graveyard	Santa Fe	Honduras	259781.84	1604333.3	872	Wenner – L	400	10
ATOC-007	Relleno Sanitario	Concepción	Honduras	262027.97	1600250.32	826	Wenner – L	400	10
ATOC-008	Sinuapa Graveyard	Sinuapa	Honduras	263338.86	1597609.21	808	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-009	Santa Anita Arriba	Concepción	Honduras	260585.89	1601995.11	874	Wenner – L	400	10
ATOC-010	Santa Anita Abajo	Concepción	Honduras	261181.07	1602515.06	819	Wenner – L	400	10
ATOC-011	Sinuapa Cultivos	Sinuapa	Honduras	263612.57	1598661.07	811	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-012	Antigua Ocotepeque	Nueva Ocotepeque	Honduras	262631.36	1592558.76	759	Wenner 32 SX	200	5
ATOC-013	El Poy HN	Nueva Ocotepeque	Honduras	261943.65	1591157.31	726	Wenner 32 SX	200	5

3. MATERIALES Y EQUIPO

Uno de los nuevos métodos desarrollados en años recientes es el uso de la Tomografía Eléctrica 2-D (Electrical Tomography) o también llamada Imágenes Eléctricas (Electrical Imaging), que pueden obtener mejores resultados que otros dispositivos en áreas con geología moderadamente compleja (Griffiths, 1990). Tales prospecciones se efectúan comúnmente usando un número grande de electrodos, 25 o más, conectado a un cable multi-conductor.

El dispositivo de medida empleado fue un resistímetro de corriente alterna de baja frecuencia, fabricado por la compañía ABEM Instruments modelo Terrameter SAS 1000, equipo de alta confiabilidad, y con separación entre electrodos de 5 metros, lo cual permite investigar con gran detalle hasta una profundidad en torno a 50 – 60 metros. En resumen los materiales utilizados para la investigación y la fase de ejecución se explican a continuación:

1. Resistímetro marca Terrameter SAS 1000 y selector (Figura 33).
2. Ochenta electrodos de acero.
3. Cuatro carretes de cables para los electrodos de potencial y de corriente.
4. Conectores.
5. Cintas métricas, calculadora, lápiz y goma.

4. ETAPAS DEL TRABAJO DE CAMPO

1. Se eligió el lugar de prospección de acuerdo a las características topográficas del lugar, ya

que se debe de considerar una abertura de al menos 200 metros planos.

2. Se indicó el punto central de la Tomografía eléctrica y del arreglo.
3. Se orientó el arreglo tratando de asegurar su linealidad.
4. Se midieron hacia ambos lados del arreglo 100 metros, indicando los puntos donde deberían de clavarse los electrodos.
5. Se fueron clavando los electrodos guardando una distancia entre cada uno de ellos de 5 metros.
6. Se instaló el Terrameter SAS 1000 y el selector; posteriormente se comenzó a tomar lecturas, checando que el error fuera menor que 1%.
7. Los datos registrados se guardaron en el equipo Terrameter SAS 1000.

La tomografía eléctrica es un mapa de contornos de datos geoelectrónicos, que se adquieren con el método eléctrico que permite la adquisición de valores de resistividad aparente en dos dimensiones utilizando los dispositivos de electrodos más comunes, conocidos en el área de los métodos de prospección eléctrica del subsuelo, tales como Schlumberger, Wenner y dipolo-dipolo (ABEM Instrument, 2009). La teoría del funcionamiento de los dispositivos electrodo muestra como los sondeos eléctricos verticales obtienen datos de resistividad aparente bajo un punto de la superficie de estudio y como con cada medida se adquieren datos a mayor profundidad. Los datos proporcionados por este método están distribuidos de manera vertical, por lo que se desconoce la información existentes en los laterales al punto sondeado; con las mediciones realizadas con

una tomografía eléctrica, se amplía la cantidad de información obtenida, ya que no solo se toma datos bajo este punto, sino que además permite tener medidas laterales al mismo tiempo.

El programa utilizado para la inversión de datos es RES2DINV, que además de permitir invertir con topografías los datos bidimensionales de resistividad aparente resolviendo el problema directo por el método de elementos finitos, también tiene tres métodos diferentes que pueden ser usados para incorporar la topografía dentro del modelo de inversión (Loke, 2000).

Se organizaron los datos adquiridos en el formato requerido por el software de inversión RES2DINV, independientemente cual sea el arreglo de electrodos utilizado se deben organizar los datos en un archivo “.dat”, o también puede ser un archivo de texto con la misma extensión. Una vez ordenado los datos en formato requerido se procedió a la inversión de los mismos, el cual se resume en los siguientes pasos:

1. Se abre el archivo desde el programa RES2DINV para que el mismo haga la lectura de los datos.
2. Se escogieron los parámetros de inversión con los que se desea trabajar.
3. Se escogió el método para resolver el problema directo. En este caso se escogió el método de los elementos finitos para la inversión de los datos sin topografía.
4. Finalmente se ejecuta la orden al software de realizar el procedimiento de inversión mediante la aproximación por mínimos cuadrados.

Luego de finalizado el proceso de inversión se despliega el resultado del mismo, el cual consiste en tres gráficos, el gráfico de los parámetros medidos, el gráfico de los parámetros calculados y el gráfico del modelo de resistividades reales encontrado, también se puede desplegar el gráfico de la diferencia entre los parámetros medidos y los calculados. Con los resultados de la inversión se puede dar paso a la interpretación y análisis de los mismos. Para un detalle completo de la Inversión de los datos, dirigirse al manual de Res2dInv que es el software que se utiliza para la Inversión de los datos.

5. DESARROLLO

La interpretación de datos geofísicos se refiere a la descripción de los resultados obtenidos por medio de

una técnica de prospección, estas técnicas aprovechan las variables físicas para crear modelos, mapas o simulaciones de las condiciones al interior de la Tierra.

A continuación, se presentan algunos de los resultados de la campaña de prospección geoelectrica realizada en la región del Acuífero Transfronterizo Ocotepaque – Citalá, Región Trifinio, El Salvador – Honduras, la cual se llevó a cabo durante el período del 11 al 15 de marzo de 2019.

5.1 Perfil 1 y 2: San Ignacio 1 y La Recta

El perfil 1, denominado “San Ignacio 1” se ubica sobre la carretera que de San Ignacio conduce a la Frontera “El Poy”, cercano a una zona de talleres automotrices y propiedades de crianza de ganado, La topografía del terreno no es complicada, teniendo inclinaciones suaves que permitieron la realización de la prueba de manera correcta.

La geología de la zona es predominada por depósitos aluviales (miembro Qal, según mapa geológico de la región Trifinio) con espesores desde 3m. Hasta sectores con depósitos superiores a 10 m., se logró apreciar en cortes de carretera cercanos que dichos eventos de depositación aluvial han sido variados a lo largo del tiempo, lo que se ve reflejado en las intercalaciones de cantos rodados y arenas más finas (Figura 4).

La vegetación de la zona consta de árboles caducifolios, arbustos y algunos árboles frutales. Por las condiciones de la época climática la mayoría de la vegetación permanecía seca.

5.2 Interpretación Geofísica 1.

La inversión de los datos de la tomografía eléctrica 2D muestra una serie de secciones de interés en el Perfil San Ignacio 1. En primer lugar, se tienen las capas superficiales, las cuales generan una unidad de resistividades relativamente altas, que rondan entre los 50 – 75 $\Omega \cdot m$, las cuales alcanzan profundidades aproximadas de 15 m., como se muestra en la Figura 3 (sobre la línea punteada negra).

Por debajo del límite de las capas resistivas superficiales se puede apreciar segmentos con resistividades bajas, las cuales rondan los 13.7 – 30 $\Omega \cdot m$ (regiones con color azul claro y verde), y que se encuentran a partir de los 15 m. de profundidad, los valores bajos de resistividades pueden asociarse a rocas con saturación de fluidos.

Es de resaltar que la tomografía reveló regiones con valores de resistividad extremas, es decir valores altos y muy bajos, focalizados en un segmento de aproximadamente 80 m. al Este del centro de la toma de datos, estas anomalías podrían relacionarse a presencia de arcillas sobresaturadas en el caso de la zona de resistividades inferiores a $13.7 \Omega \cdot m$, y a un depósito rocoso bien consolidado y poco permeable

en el caso de la región de resistividades superiores a $50 \Omega \cdot m$ (zona por debajo de la línea punteada roja de la (Figura 5), esto último se basa en la geología característica de la zona, la cual presenta estratos con secciones de rocas bien consolidadas, como cantos rodados, y material con textura fina por encima de estos.



Figura 4. Disposición de los materiales aluviales en las cercanías del perfil 1

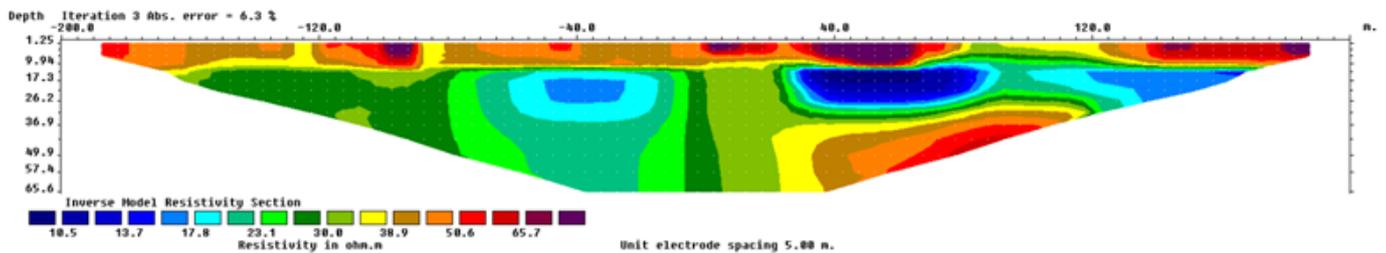


Figura 5. Tomografía Eléctrica 2D, perfil San Ignacio 1.

5.3 Perfil 2, "La Recta", San Ignacio

El perfil 2, denominado "La Recta", se ubicó sobre la antigua calle que llevaba hacia la aduna "El Poy", en la jurisdicción de San Ignacio, el lugar se caracteriza por ser una comunidad en crecimiento gracias al reparto de terrenos por parte de la

municipalidad, la zona no cuenta con conexiones de servicios básicos y el ingreso a la zona de estudio está a un lado de la carretera principal hacia El Poy. La pendiente del terreno daba lugar a un acceso fácil y a la realización de la prueba con bastante facilidad.



Figura 6. Afloramiento de depósitos aluviales cercanos a la zona de estudio del perfil 2 "La Recta", San Ignacio, Chalatenango

En los alrededores de la zona de trabajo se encontró un corte litológico que permitía verificar la geología de la zona, este presentaba depósitos aluviales correspondientes al miembro Qal, según el mapa geológico de la región trifinio; estos depósitos parecían representar varios episodios en el que la dinámica del río permitió la sedimentación de diferentes materiales. Los estratos de cantos rodados y columnas de arenas finas fueron evidentes en la inspección de la zona (Figura 6).

5.4 Interpretación Geofísica 2.

Los resultados del perfil 2 son muy variantes respecto a los resultados del perfil 1. A pesar de encontrarse dentro del mismo miembro geológico (Qal) y estar relativamente cercanos el uno al otro, el perfil 2 (Figura 7) presenta secciones de resistividad más

elevadas (desde 37 $\Omega\cdot m$ hasta 70 $\Omega\cdot m$) y con espesores más grandes – hasta 40 m. de profundidad en segmentos al Oeste del centro del arreglo –. No obstante, se logra apreciar un segmento con resistividades bajas (entre 13 – 25 $\Omega\cdot m$) en la sección Este del arreglo, con profundidades de hasta 17 m, esta zona es la única que podría representar secciones de roca saturada. Para finalizar la interpretación del modelo de inversión se puede apreciar alrededor de los 55 m. de profundidad en la sección central del modelo una región de resistividades intermedias (20 – 33 $\Omega\cdot m$), estos valores están considerados recurrentes en zonas con saturación de agua, sin embargo, al tratarse de los datos más profundos del modelo, es arriesgado dictaminar que esa zona corresponda a niveles freáticos profundos.

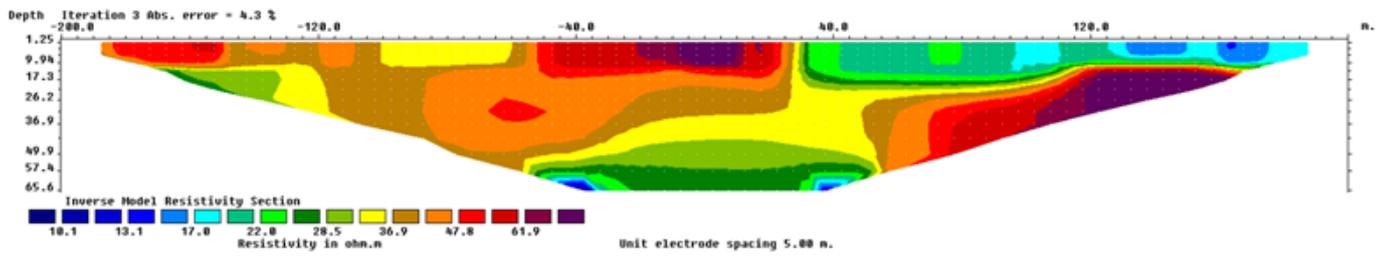


Figura 7. Tomografía Eléctrica 2D correspondiente al perfil "La Recta"

La distribución irregular de los valores de resistividad podría deberse a la geología propia de la zona. O sea, que existe la posibilidad que los materiales observados en los alrededores contemplen espesores mucho más grandes que los que afloran en superficie, sin embargo, esta afirmación necesita de una corroboración por medio de la obtención de testigos litológicos, u otra prueba geofísica que refuerce la hipótesis.

5.5 Perfil 3: Citalá "Río"

En el día uno de la campaña geofísica, se logró trabajar 3 perfiles en territorio salvadoreño, los primeros dos se mostraron anteriormente, el último de ello se realizó en las afueras del casco urbano del municipio de Citalá, Chalatenango. El perfil fue denominado "Citalá Río", por su cercanía al río Lempa. La zona de estudio se caracteriza por ser de

uso agrícola y ganadera. El terreno en este perfil presentó dificultades en algunas regiones debido a la presencia de segmentos rocosos de alta dureza y niveles de resequedad superficial elevados. Además, la pendiente en el terreno era cambiante y generó un poco de inconvenientes al momento de trasladar el equipo. En un segmento cercano al lugar de estudio se documentó un afloramiento de materiales de deposición aluvial (Figura 8), que según el mapa geológico de la región trifinio forman parte del miembro Qal, los cuales sugieren que parte del terreno en el que se realizó la toma de datos está compuesto por los mismos materiales, sin embargo, el mismo mapa geológico advierte que en la parte más al Norte del perfil los materiales geológicos tienen un cambio, siendo así la unidad predominante en la zona las rocas Efusivas básica intermedia (Pm).



Figura 8. Estratos aluviales en las cercanías del perfil Citalá Río

5.6 Interpretación Geofísica 3

Los resultados de la inversión de datos de la tomografía eléctrica para el perfil Citalá Río (Figura 9), permite observar una sección de resistividades altas con valores que rondan los 27.9 – 55.1 $\Omega\cdot m$ en los primeros 8 metros de profundidad (arriba de la línea punteada negra). Posterior a estos niveles se puede apreciar segmentos con resistividades significativamente más bajas, a unos 15 m., según el modelo, desde la parte más al Sur y la parte central del perfil, acá se obtuvieron valores desde 7.15 - 25 $\Omega\cdot m$, lo que permite inferir que esta sección del perfil presenta saturación por fluidos en las rocas

subyacentes (sección por debajo de la línea punteada blanca), los niveles que alcanzan estas unidades de baja resistividad alcanzan los 32 m. de profundidad, con oportunidad de que pudiesen seguir en niveles más profundos. El cambio de resistividades que se da desde los últimos 100 metros más al Norte podría deberse con el cambio de materiales geológicos que se tenían en la zona, sin embargo, para asegurar esto se sugiere la realización de nuevas mediciones de resistividad, perforación de testigos litológicos y prospección geofísica con otro método.

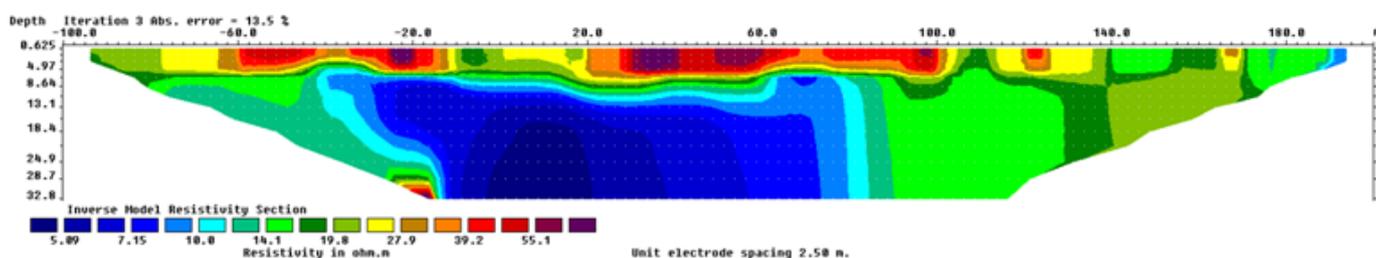


Figura 9. Tomografía Eléctrica 2D resultante para el perfil Citalá Río

6. CONCLUSIONES

La campaña de colecta de datos geofísicos en el Acuífero Ocotepaque – Citalá deja como resultado un set de datos de resistividad los cuales serán incluidos en las bases de datos necesarias para la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del ATOC. El método de resistividad eléctrica en su modalidad de tomografías eléctricas 2D genera buenos resultados para la identificación de niveles freáticos y zonas con alta saturación de fluidos.

De los 13 perfiles realizados en la campaña de campo, 9 presentan características suficientes para identificar y asociar los valores de resistividad a niveles freáticos, estos perfiles son: San Ignacio 1, Citalá Río, Concepción Pozo Monitoreo, Santa Fe Cementerio, Concepción Relleno Sanitario, Sinuapa Cementerio, Santa Anita 2, Antigua Ocotepaque, El Poy Pozo Monitoreo. Todos los anteriores perfiles cuentan con segmentos de resistividad que rondan los 15 – 30 $\Omega\cdot m$, dichos valores pueden ser asociados a rocas con niveles importantes de saturación de agua.

La profundidad del nivel freático de cada perfil varía entre los 7.5 – 20 m., esto puede estar relacionado al

nivel de pendiente del terreno, el uso y tipo de suelo, la existencia de puntos de extracción de agua cercanos, entre otras razones. Estas profundidades nos estarían confirmando que los niveles freáticos alcanzados corresponden a un acuífero superficial ya antes descrito en documentación generada por el proyecto GGRETA (UNESCO-PHI y UICN).

Los resultados interpretativos del estudio efectuado han permitido obtener una reconstrucción atendida y consistente del ordenamiento geológico estructural del área en investigación, la geología en los 9 perfiles que cuentan con niveles freáticos definidos son coincidentes, siendo los materiales sedimentarios del miembro “Qal” asociados a Aluviones Fluviales, según el mapa geológico de la región trifinio, predominantes en los terrenos respectivos. En el caso del perfil Citalá Río, una sección de aproximadamente 100 metros ingresó en otra unidad geológica, lo cual puede evidenciarse en los resultados de la tomografía de ese lugar.

Agradecimientos

Grupo de Investigación de Hidrogeología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de

El Salvador, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN.

REFERENCIAS

- Anderson, M. P., Woessner, W. W., & Hunt, R. J. (2015). Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport. Academic Press.
- Arias, M. 2002: La prospección geoelectrica y electromagnética en dos dimensiones y su aplicación en la Hidrogeología. Revista Geológica de América Central, 27: 21-26. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica. San José.
- ESRI, A. (12 de julio de 2019). Polígonos de Thiessen. Obtenido de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/analysis/create-thiessen-polygons.htm>
- Griffiths D.H., Turnbull J., Olayinka A.I. 1990: Two-dimensional resistivity mapping with a computer- controlled array. First Break 8, 121-129.
- Kirsh, R. (2009). Groundwater Geophysics a Tool for Hydrogeology (Vol. 2da edición). Berlin Heidelberg: Springer.
- Loke, M.H., (1994): The inversion of two-dimensional resistivity data. Unpubl. PhD thesis, Univerity. Of Birmingham.
- OIEA, & Plan Trifinio. (2009). Desarrollo Sostenible de los recursos ambientales e hídricos en la cuenca Alta del Rio Lempa. Esquipulas, Guatemala.
- ONU. (2009). Resolución aprobada por la Asamblea General: 63/124. El Derecho de los Acuíferos Transfronterizos
- Plan Trifinio. (18 de febrero de 2016). Plan Trifinio. Obtenido de <http://www.plantrifinio.int/quienes-somos/plan-trifinio>
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics (Second ed.). Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press.
- UNESCO-PHI/UICN. (2016). Trifinio: estudio de las aguas subterráneas; proyecto GGRETA, Fase 1, 2013-2015. UNESCO

Como citar este artículo:

Alvarado, C., Mayén, L., Castillo, L. (2020). Prospección Geofísica como herramienta para la caracterización hidrogeológica del acuífero transfronterizo Ocatepeque-Citalá (ATOC), Región Trifinio, El Salvador-Honduras. *Aqua-LAC* Volumen 12(1), 70-80. doi: 10.29104/phi-aqualac/



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license