

APLICACIONES GEOFÍSICAS A LA HIDROGEOLOGÍA EN COSTA RICA

Mario Enrique Arias Salguero

Escuela Centroamericana de Geología, Apdo. 2-14, 2060

Universidad de Costa Rica, San José

E-Mail: marioa@geologia.ucr.ac.cr

ABSTRACT: We pretend to give a global vision of the application of some geophysics methods of frequent use in Costa Rica. The basic principles of the electric method and four examples of application are shown using the geoelectric and geophysic logging in hydrogeology.

RESUMEN: Se pretende dar una visión global de la aplicabilidad de algunos métodos geofísicos de uso frecuente en Costa Rica, por lo que se expone de una manera muy general los principios básicos de los métodos eléctricos y se presentan cuatro ejemplos de aplicación utilizando la geoelectrónica y la testificación geofísica en el campo de la hidrogeología.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el surgimiento de nuevas técnicas geofísicas, tanto en superficie como en sondeos mecánicos, ha ayudado al entendimiento de los problemas que se presentan con frecuencia al hidrogeólogo, como son: la caracterización de la contaminación y su evolución temporal, la determinación de los focos de contaminación que deterioran las aguas subterráneas y los de control de calidad de las obras de captación, tanto en su fase constructiva, como en la de operación.

Los avances alcanzados recientemente por las técnicas de prospección geofísica en la exploración de las aguas subterráneas cubren un amplio espectro de aplicaciones. Sin embargo, trascienden poco entre los hidrogeólogos, que son quienes pueden aprovechar mejor el rendimiento y la fiabilidad de sus estudios.

Hay que hacer hincapié en el hecho de que los métodos geofísicos actúan en la exploración de las aguas subterráneas como métodos indirectos, es decir, ayudan a determinar las zonas más favorables a partir de parámetros físicos del subsuelo. Esto significa en el mejor de los casos, que la prospección geofísica orienta la localización de las zonas donde existen las condiciones necesarias para que una formación geológica sea explotable como acuífero. Solo un método de reciente aplicación en hidrogeología, “la resonancia magnética protónica”, permite la detección directa del agua subterránea.

En todo caso, carece de sentido la aplicación de los métodos geofísicos si no se sigue una ordenada y cuidadosa campaña geofísica que debe programarse adecuadamente; además, es necesario trabajar en conjunto con otros especialistas, en este caso hidrogeólogos, y conocer ciertos parámetros de la zona a estudiar.

Olmo & López (1999) consideran que la secuencia lógica de toda campaña geofísica consta de cinco etapas:

Planeamiento: en él, se debe definir el problema que se quiere investigar. En esta etapa el papel protagonista lo tiene el hidrogeólogo y debe recordarse que la prospección geofísica es una herramienta con una capacidad mayor de corroborar o refutar hipótesis que para establecerlas.

Planificación: traducir en términos geofísicos el problema planteado, lo cual implica elaborar el modelo del subsuelo cuya realidad quiere comprobarse. En esta etapa se realiza la selección de los métodos que tengan mayor resolución, ya que la utilización de más de un método es altamente recomendable por el hecho de reducir los problemas de equivalencia.

Medición: corresponde con la toma de datos en el terreno.

Procesamiento: una vez obtenidos los datos, es necesario una etapa más o menos importante, dependiendo del método utilizado, cuyo fin es convertir los datos en un documento que será utilizado en la interpretación de los resultados.

Interpretación: en esta etapa, el documento geofísico debe ser convertido en un documento con expresión geológica, por lo que es imprescindible la aportación de expertos en el tema contemplado, que conjuntamente con el geofísico podrán realizar la mejor interpretación de los resultados.

Se considera que los problemas que se plantean actualmente en la investigación hidrogeológica y a los que la prospección geofísica puede aportar información útil son:

Delimitación de zonas favorables para la explotación del agua subterránea: es decir, definir la geometría de los acuíferos. Es por tanto un procedimiento indirecto que consiste fundamentalmente en determinar la topografía del techo y de la base de la formación acuífera, así como de su extensión lateral.

Control de la calidad de las aguas subterráneas: Consiste en localizar el límite entre

aguas de diferente composición química, como consecuencia de la contaminación. El agente contaminante puede ser debido a la acción humana (vertidos industriales, hidrocarburos) o inducida por la sobreexplotación (intrusión marina) y se detecta a menudo mediante el aumento de la conductividad eléctrica aparente que provoca el incremento de mineralización del agua subterránea.

Estimación de los parámetros hidráulicos: Consiste en establecer correlaciones entre los parámetros físicos medidos y las características hidrodinámicas de la formación acuífera. Esta aplicación no puede efectuarse en todos los casos, ya que es necesario disponer en el sector estudiado de un cierto número de sondeos en los cuales se conozcan las características hidráulicas para tratar de obtener una correlación estadística.

Protección de acuíferos superficiales: Se basa en la elaboración de mapas de vulnerabilidad que tengan en cuenta el grosor y la conductividad hidráulica vertical de los materiales situados entre la superficie del terreno y el nivel freático, es decir la zona no saturada.

MÉTODOS GEOFÍSICOS

Arias (2000d) ha expuesto detalladamente los principales métodos geofísicos y sus diversas aplicaciones, sin embargo, se retoma la metodología y aplicabilidad de los métodos geoelectrónicos en hidrogeología.

Los métodos geoelectrónicos han sido y son utilizados como práctica habitual en la investigación hidrogeológica para obtener información de las propiedades del subsuelo. Estas técnicas de resistividad del subsuelo se han realizado habitualmente mediante métodos que operan por corriente continua utilizando un dispositivo de diversos electrodos que se sitúan sobre el terreno en contacto eléctrico con el medio rocoso a estudiar. Existe una notable variedad de dispositivos de medida, lo cual confiere a este tipo de medidas una gran flexibilidad para investigar variaciones en la distribución de la resistividad del subsuelo, tanto lateral como a profundidad. Esta particularidad, junto con la abundante documentación y material interpretativo disponible, constituye una de

las características más atractivas de las técnicas geofísicas, a lo que también cabría añadir el costo relativamente bajo de la instrumentación necesaria para llevar a cabo las medidas en el campo.

Estos métodos utilizan las variaciones de las propiedades eléctricas de las rocas, en especial su resistividad o su valor inverso conocido como conductividad. Se emplean como métodos de reconocimiento y de detalle, sobre todo en prospección de aguas subterráneas y en minería. En nuestro país se realiza comúnmente este tipo de prospección con fines geotécnicos, mineros e hidrogeológicos, ya que puede brindar información sobre el acuífero de una zona, determinando las capas permeables e impermeables, así como la profundidad a la cual se encuentra el nivel de agua subterránea.

El cuadro 1 brinda las diferentes categorías en las cuales se dividen estos métodos, así como el principio básico y la aplicabilidad.

Tradicionalmente en nuestro país, la aplicación de la prospección geofísica con fines hi-

drogeológicos se ha enfocado al uso de los métodos eléctricos en una dimensión (1D), principalmente “Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)” con dispositivos del tipo Schlumberger y Wenner. El objetivo de los SEV es investigar los cambios de la resistividad a profundidad, los cuales son asociados a los cambios en las propiedades de las unidades rocosas. Para tal efecto, se requiere de un arreglo eléctrico, con el fin de medir las diferencias de potencial (mV), cuando se ha inyectado corriente (mA) a diferentes distancias. El método consiste en inyectar corriente en dos electrodos hincados en la superficie del suelo denominados como A y B, a la vez son necesarios dos electrodos más (M y N) para medir la diferencia de potencial generada. La interpretación de las mediciones está en la suposición de que la superficie consiste de una secuencia de distintas capas, con espesor variable, homogénea e isotrópica. En la realidad las condiciones geológicas nunca presentan estas características, ya que presentan

Cuadro 1

Caracterización de métodos eléctricos

CATEGORIA	TIPO DE REGISTRO	UTILIZACIÓN
Métodos que utilizan corrientes naturales	Polarización Espontánea: mide las corrientes eléctricas naturales generadas en el subsuelo Telúrico: registra las corrientes variables en el tiempo, generadas por la radiación solar y el campo magnético del planeta	En testificación geofísica y en algunos casos para la búsqueda de acuíferos Determinación de los espesores de las capas conductoras, morfología del basamento
Métodos que utilizan corrientes artificiales	Equipotenciales: si en un suelo homogéneo se introduce corriente continua, esta fluirá radialmente, generando superficies de igual potencial Caída de Potencial: mide la relación en la disminución del potencial entre tres electrodos debida a las corrientes que circulan entre otros dos electrodos Resistividad: se utilizan generalmente cuatro electrodos dispuestos de manera variable, en dos de ellos se inyecta una corriente y en los otros dos se mide el potencial generado, con lo cual se puede obtener el valor de la resistividad del suelo en función del dispositivo a utilizar Polarización Inducida: Se inyecta corriente en el terreno y se evalúa el decaimiento del potencial	Delimitación de cuerpos conductores a partir de mapas de potencial Muy sensible a variaciones laterales de resistividad en el subsuelo, por lo que da buenos resultados en la localización de contactos y fallas geológicas Para fines ingenieriles; para la localización del substrato rocoso. Tienen gran aceptación en las etapas de prospección del agua subterránea, así como en la búsqueda de restos arqueológicos Aplicado con mucho éxito a la prospección de minerales metálicos.

variaciones laterales, que se pueden deber a las condiciones físico-químicas, mecánicas y otras más. Por este motivo, el método mide la resistividad aparente, la cual viene calculada a partir de la medida de la intensidad de corriente que está en el terreno y de la medida de la caída de potencial en los electrodos internos del arreglo geométrico escogido. Para obtener el valor de la resistividad verdadera y el espesor de las capas, los registros del SEV se puede interpretar por diferentes métodos, tanto manuales como computacionales.

En los últimos años se ha comenzado a utilizar en nuestro país una metodología para la interpretación en dos dimensiones (2D) denominada "Pseudosección Eléctrica", que consiste en un perfil de isolíneas de resistividad eléctrica. Para construir una imagen que muestre las variaciones de la resistividad del subsuelo a lo largo de un sector es necesario realizar un perfil de mediciones en las cuales la separación de los electrodos esté definida por una distancia a , el espacio entre los electrodos debe incrementarse en $2a$ para el nuevo perfil. El proceso se repite incrementando la separación de los electrodos cada vez en múltiplos N de la separación a . Conforme la separación de los electrodos es mayor, la profundidad de investigación se incrementa.

La pseudosección es una aproximación de las características eléctricas del subsuelo, ya que cada valor es afectado por la resistividad aparente que incluye una porción de suelo sobre y debajo del punto de medición. Por lo tanto refleja la geología superficial pero debido a la geometría de los electrodos presenta cierto grado de distorsión; tanto es así que investigaciones realizadas con diferentes dispositivos eléctricos sobre el mismo sitio, pueden brindar resultados diferentes. Esta es una limitación importante en este tipo de representaciones que se puede corregir con una inversión apropiada de los datos.

Sin lugar a dudas la aplicabilidad de esta técnica y la implementación futura en Costa Rica de programas específicos para la inversión de los datos nos permitirá obtener secciones de "Tomografía Eléctrica" en las cuales las morfologías observadas corresponderán realmente a las estructuras del subsuelo.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

En la figura 1 se presenta la ubicación de los cuatro extractos de trabajos geofísicos con fines hidrogeológicos, realizados por este autor y que se detallan a continuación.

Acuífero de Jacó

Arias (1996) determinó que el acuífero aluvial de Jacó está constituido por depósitos cuaternarios de origen marino y terrestre. Los primeros son de tipo litoral y se encuentran principalmente en las desembocaduras de los ríos. Por su parte, los depósitos de origen terrígeno se encuentran aflorando en los cauces de los ríos y quebradas de la zona, correspondiendo con materiales coluvio-aluviales, producto de la acción erosiva de los mismos ríos, correspondiendo con arenas finas a medias, acompañadas de intercalaciones de aluviones que indican poco transporte debido a la característica subredondeada de sus clastos.

La dirección del flujo subterráneo es Suroeste con descarga al mar. La recarga del acuífero es directa y está relacionada con el régimen de precipitación de la zona que asciende a 3500 mm/año.

El pH de las aguas subterráneas presentan una tendencia neutra y pocas variaciones en la

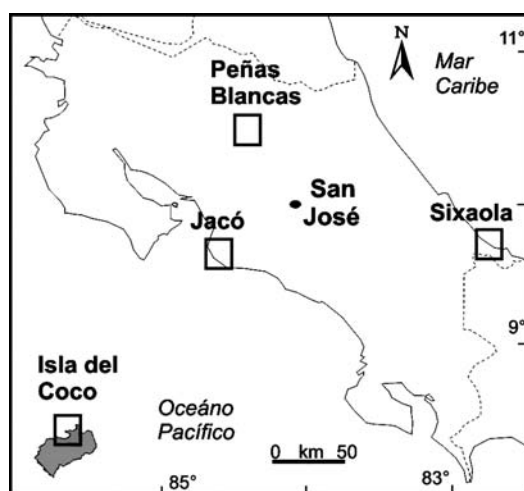


Fig. 1: Ubicación de trabajos geofísicos con fines hidrogeológicos.

temperatura. Desde el punto de vista hidrogeoquímico se caracterizan por ser bicarbonatadas con alguna tendencia cálcico-magnésica, reflejando una relación directa de recarga, producto de las aguas meteóricas.

Debido a la falta de afloramientos, información litológica de los pozos, así como el alto costo de las perforaciones investigativas, se consideró a la prospección geolétrica como el método más apto para la exploración del acuífero. En el área de Jacó se realizaron 7 sondeos eléctricos verticales (SEV) y a partir de su distribución se integraron en un panel de correlación (Fig. 2) en el cual se muestra la interpretación geolétrica para las diferentes capas.

Capa geolétrica 1: Los valores de la resistividad son menores a 30 ohm*m, con espesores variables entre los 1 y 5 m. Se asocia con la capa superficial de suelo y se caracteriza por ser arenas finas saturadas que representan el manto acuífero más superficial, el cual ha sido captado

por la mayoría de los pozos excavados. En el panel de correlación se observan tres anomalías de resistividad menores a 15 ohm*m, que se han asociado con lentes arcillosos dentro de la formación arenosa.

Capa geolétrica 2: Los valores de resistividad se encuentran entre 30 y 50 ohm*m y se han asociado con arenas de granulometría media, con algún contenido variable de saturación y con espesor entre 1 y 12 m.

Capa geolétrica 3: Los valores de resistividad se encuentran entre 50 y 70 ohm*m y corresponden con arenas gruesas con algún porcentaje importante de arcillas, su espesor es muy variable y su potencial acuífero es medio.

Capa geolétrica 4: Los valores de la resistividad se encuentran entre 70 y 100 ohm*m, se interpretan como arenas medias, secas y arcillosas, su potencial acuífero es bajo.

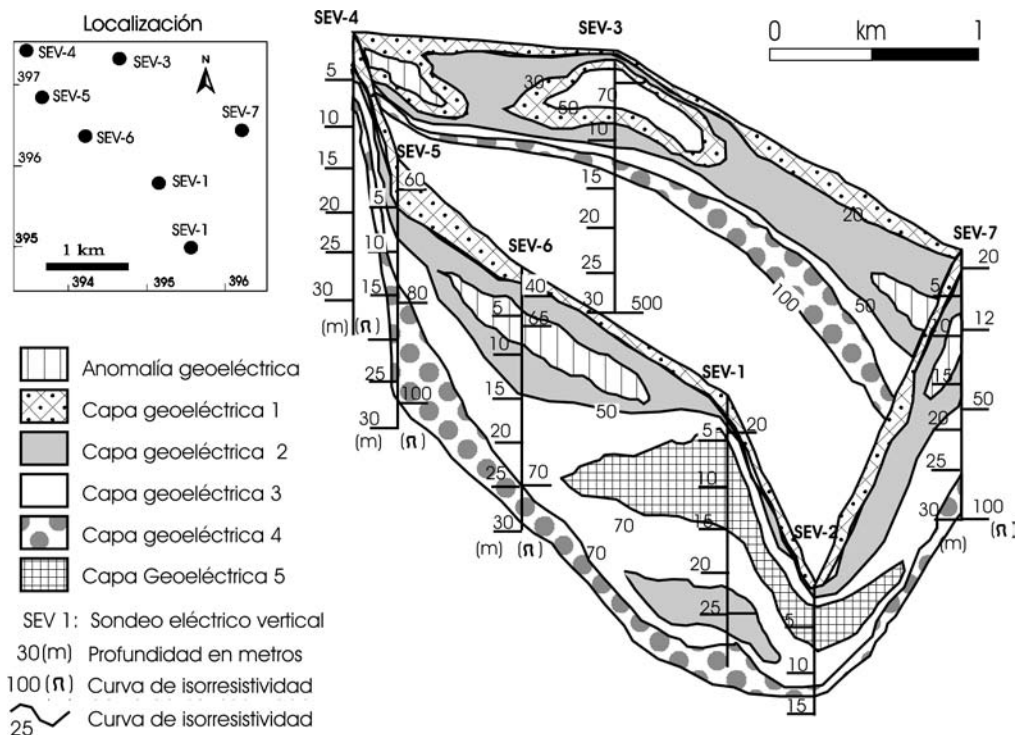


Fig. 2: Panel de correlación geofísica del Acuífero de Jacó, Puntarenas.

Capa geoelectrica 5: Los valores de resistividad son mayores a $100 \text{ ohm}^*\text{m}$ y se han asociado con el basamento resistivo de la zona, correspondiente con los materiales basálticos existentes.

El pánel de correlación permitió integrar la información obtenida en cada SEV y obtener una imagen tridimensional de las variaciones de facies litológicas que condicionan precisamente la distribución del agua subterránea en el sector de Jacó.

Isla del Coco

Arias (2000b) realizó una prospección geofísica en la zona costera de la Bahía de Wafer, debido a que es la que ocupa una extensión mayor y además, es en ella, donde se han ubicado las instalaciones del SINAC (Sistema Nacional de Areas de Conservación). En esta zona se ha desarrollado un acuífero en sedimentos no consolidados originados en los depósitos recientes que favorecen la infiltración; sin embargo, la existencia de algunos lentes arcillosos pueden actuar como capas sello generando tanto acuíferos libres como semiconfinados.

Para la caracterización del acuífero se escogió la realización de 3 SEV y una pseudosección eléctrica. De los valores de resistividad eléctrica (Fig. 3) se desprende la siguiente interpretación:

El SEV 1, realizado al frente de la casa principal de los guardaparques, revela la existencia de al menos tres capas geoelectricas, la primera de ella con un espesor de 1 m y resistividad de

$170 \text{ ohm}^*\text{m}$, correspondiendo con un suelo arenoso y compacto debido a la vegetación y tránsito frecuente. La segunda capa presenta un espesor de 4 m y una resistividad aparente de $350 \text{ ohm}^*\text{m}$ que corresponde con una arena gruesa con variaciones en la granulometría y la tercer capa, con una resistividad de $100 \text{ ohm}^*\text{m}$, se interpreta como el nivel saturado compuesto por arenas.

El SEV 2 fue realizado sobre el camino que une las casas de los guarda parques y de los visitantes. En él se observa la existencia de cuatro capas, la primera de ellas con un espesor de 0,5m y resistividad de $40 \text{ ohm}^*\text{m}$ correlacionándose con un suelo arcilloso. Subyaciéndola se encuentra un estrato arenoso seco y de granulometría variable con un espesor de 7 m y resistividad de $400 \text{ ohm}^*\text{m}$. Como tercer capa se interpreta la existencia de arena saturada de agua dulce caracterizada por un espesor de 3 m y resistividad de $40 \text{ ohm}^*\text{m}$. La última capa representada en el sondeo evidencia una resistividad de $100 \text{ ohm}^*\text{m}$ la cual se asocia con una arena muy fina.

El tercer SEV 3 se realizó en la playa arenosa. Este ha sido modelado con tres capas geoelectricas, la primera de ellas con un espesor de 0,5 m y resistividad baja del orden de $4 \text{ ohm}^*\text{m}$ que corresponde con la capa arenosa saturada del agua salada por el efecto de oleaje. La segunda capa tiene una resistividad de $150 \text{ ohm}^*\text{m}$ y un espesor de 2 m, correlacionándose con una arena saturada de la mezcla de agua dulce y salada. Como última capa detectada, se interpreta una arena muy fina con resistividad de $60 \text{ ohm}^*\text{m}$.

La pseudosección eléctrica con dispositivo polo-polo fue realizada sobre materiales

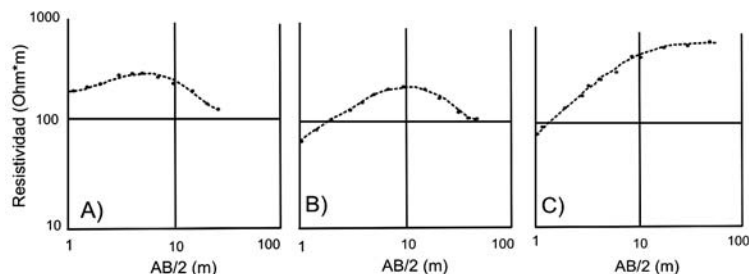


Fig. 3: Sondeos eléctricos verticales en la Isla del Coco. A) realizado al frente de la casa de los guardaparques. B) realizado en el camino que une las casas de los guardaparques y visitantes. C) realizado en la playa arenosa.

aluviales, con el fin de determinar a partir de las variaciones de resistividad del subsuelo la interfase de agua dulce/agua salada, que se presenta en este acuífero (Fig. 4). De la interpretación se desprende, que la parte superior de la planicie está constituida por materiales aluviales con variaciones en la proporción y en el tamaño de los clastos, ya que es posible observar sectores con valores muy altos de resistividad que evidencian predominancia de fragmentos ígneos con respecto a las arenas constituyentes de estos depósitos. Además, es evidente que a partir de los 10 a 15 m de profundidad, comienzan a aparecer capas con valores muy bajos de resistividad (inferior a 50 $\text{ohm}\cdot\text{m}$) que evidenciarían la presencia de capas arcillosas, pero por el contexto geológico del lugar esta posibilidad no es factible; por lo tanto corresponden con el mismo aluvión descrito anteriormente, pero saturado de agua salada, lo cual reduce considerablemente la resistividad de las rocas.

Con esta técnica, se ha podido delimitar la interfase agua dulce/agua salada a lo largo de un perfil continuo de 100 m de longitud, cuya importancia radica en poder diferenciar y prever una planificación del manejo del recurso agua, ya que una sobreexplotación de este acuífero, generaría el proceso de intrusión salina, eliminando

irremediablemente la posibilidad de extracción de agua potable en un futuro.

Acuífero de Sixaola

Arias (2000a) realizó una investigación, conjunta entre la Escuela de Geología y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en la localidad de Home Creek, ubicada en el distrito de Cahuita, provincia de Limón, con el objetivo de caracterizar una parte del Acuífero de Sixaola a partir de SEV. Este sector corresponde con un relleno aluvial que presenta características acuíferas y en el cual ya se ha realizado un pozo para la extracción del agua con un caudal de 26 l/s y un nivel estático ubicado a 6,15 m de profundidad.

Con el fin de brindar una interpretación desde el punto de vista hidrogeológica, los sondeos eléctricos fueron realizados a lo largo de un perfil con el objetivo de determinar las características geoelectricas de la zona (Fig. 5). De él se desprende una interpretación variable entre tres y siete capas, en función de la posición de cada uno de los sondeos realizados.

La primera capa presenta un espesor variable entre 0,4 y 1,5 m con valores de resistividad

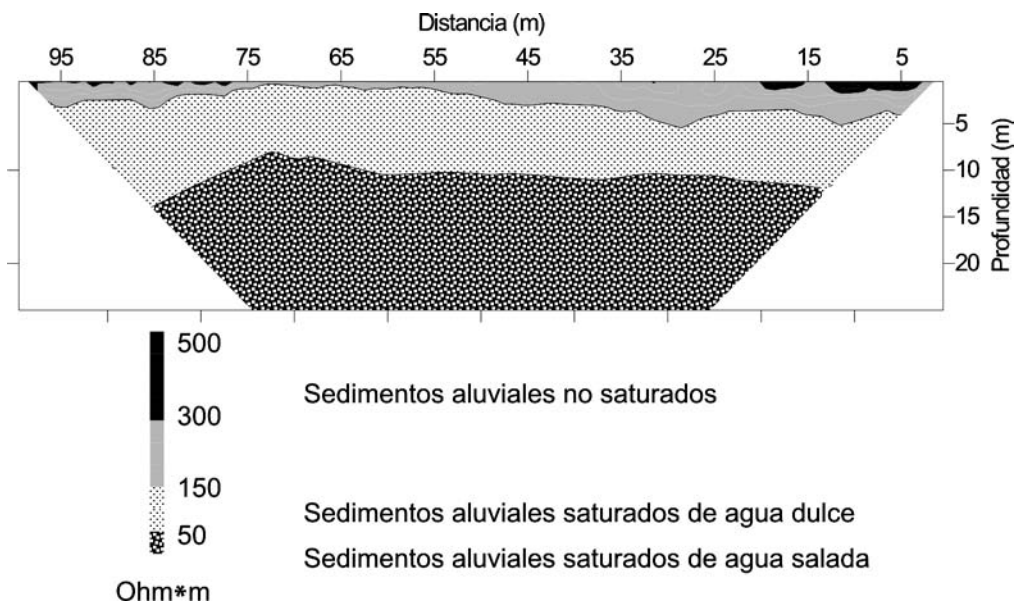


Fig. 4: Pseudosección eléctrica en la isla del Coco.

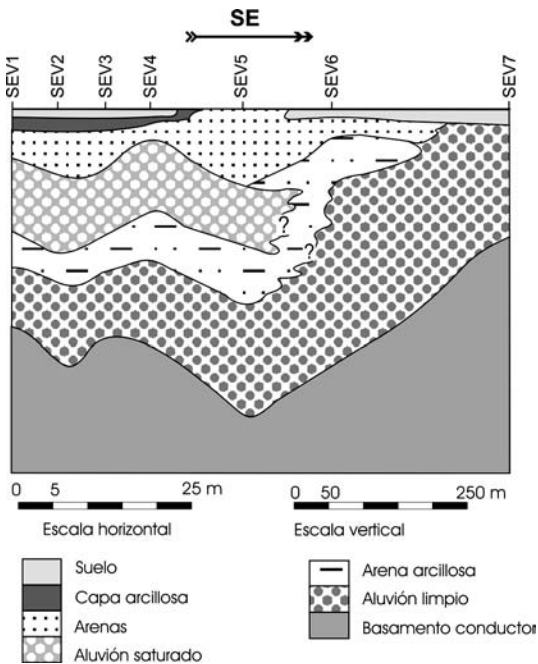


Fig. 5: Prospección geoelectrica en Sixaola, Limón.

aparente comprendida entre 35 y 50 ohm^*m . Esta capa, por su carácter medio conductor y reducido espesor, corresponde a material de relleno que se encuentra cubriendo la calle que sirvió para realizar el perfil geoelectrico.

La capa siguiente es sumamente conductora con valores de resistividad de 9 ohm^*m y espesores entre 0,3 y 0,8 m que corresponde con una capa arcillosa de suelo. Subyaciéndola, se encuentra una capa de arenas con algún contenido de arcilla que se manifiesta por el valor de resistividad de 17 ohm^*m , con espesor variable entre 1 y 5 m y que se puede apreciar en seis de los siete sondeos, desapareciendo precisamente en el último de ellos.

A una profundidad de 5,2 m al aplomo del SEV N° 1 que se realizó paralelo al pozo, pero desplazado 10 m lateralmente, se interpreta una capa de aluvión limpio y saturado con valor de resistividad constante de 200 ohm^*m y un espesor de 8 m. Sin embargo, esta capa no presenta una continuidad lateral, ya que en los dos últimos sondeos no aparece. Subyaciendo esta capa, se encuentra una arena arcillosa caracterizada por

sus valores medios de resistividad del orden de 70 ohm^*m y un espesor de 4 a 5 m.

Por debajo de esta capa, se interpreta un aluvión limpio con variaciones en el tamaño granulométrico de los clastos, lo cual queda reflejado por la variación lateral del valor de resistividad aparente de 200 a 300 ohm^*m . Como última capa interpretada, se encuentra el basamento medianamente conductor en el cual el valor de la resistividad varía prácticamente en cada SEV.

Como conclusión, se observa que el perfil geoelectrico ha puesto en evidencia, las variaciones laterales de las capas que conforman la terraza aluvial en este sector del río Sixaola. El nivel saturado se encuentra en una capa de aluvión limpio que se ubica a una profundidad de 5,2 m y con un espesor de 8 m y que se caracteriza por una resistividad de 200 ohm^*m .

Acuíferos volcánicos

Arias (2000d) realizó una investigación con un grupo de estudiantes en el proyecto hidroelectrico Peñas Blancas, específicamente en el sitio de casa de máquinas en una perforación con una profundidad de 43 m, con ademe metálico hasta los 18,45 m y nivel estático del agua a 7,5 m. Se midieron varios parámetros físicos en el pozo, entre ellos la temperatura del agua, conductividad eléctrica del agua, resistividad de las rocas utilizando las sondas normal corta, normal larga y lateral, así como el registro de potencial espontáneo.

Integrando los criterios que se obtuvieron en los diversos registros (Fig. 6), se concluye que hasta los 20 m se aprecia el efecto del ademe metálico con un incremento del valor de la conductividad y del potencial espontáneo. A una profundidad entre los 21 y 25 m se tiene una zona de baja permeabilidad que se asocia con la capa sello de un acuífero confinado; a partir de esta profundidad y hasta los 45 m, se tiene una secuencia piroclástica que tiene una alternabilidad en lo que a permeabilidad se refiere, definiéndose la mayor de estas a partir de los 42 m.

Las técnicas geofísicas de pozos permiten realizar una interpretación más fácil y veraz

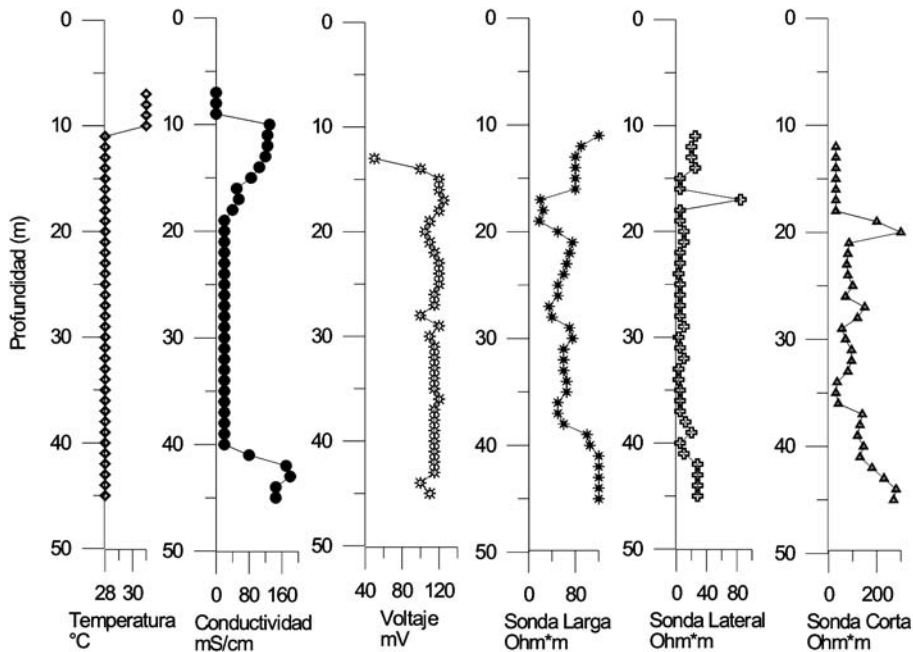


Fig. 6: Correlación de registros geofísicos de pozos en el proyecto Peñas Blancas, Alajuela.

de los datos geofísicos de superficie, constituyendo el nexo de unión entre la información geológica y geofísica. La interpretación conjunta de estos datos proporciona predicciones cada vez más confiables de las características litológicas y geométricas de las formaciones infrayacentes, permitiendo al hidrogeólogo realizar modelos en dos y tres dimensiones de parámetros de flujo y transporte, ya que es posible medir, entre otras cosas, el grado de saturación, porcentaje de arcillas, porosidad, zonas de mayor permeabilidad, localización de la interfase de fluidos utilizando la temperatura, conductividad y salinidad; además, brinda indicaciones de la litología, lo cual permite realizar correlaciones estratigráficas.

Este tipo de prospección permite definir los niveles saturados de agua, lo cual es de suma importancia, no solo para la evaluación de reservas, sino también para el diseño apropiado de los pozos de explotación (Arias, 2000c).

CONCLUSIONES

En términos generales, todos los métodos geofísicos tienen cabida en la investi-

gación hidrogeológica, aunque en nuestro país han sido los métodos geoeléctricos los utilizados tradicionalmente. Si se consideran dos hechos fundamentales como las nuevas tendencias existentes en la enseñanza de la geofísica y el acceso a equipo más sofisticado, sin duda experimentaremos un aumento en el uso de estas técnicas en el campo de la hidrogeología y de otras ramas de las geociencias.

La elección de cuales métodos y como aplicarlos exige un trabajo en equipo entre geofísico e hidrogeólogo, teniendo en cuenta razones económicas, logísticas y sobre todo el poder de resolución del método, el cual empleado de una manera adecuada puede significar un ahorro de tiempo, esfuerzo y dinero en la exploración de las aguas subterráneas.

REFERENCIAS

- ARIAS, M.E., 1996: Evaluación del riesgo de contaminación del acuífero de Jacó, cantón de Garabito, Puntarenas. - 48 págs. SENARA, San José [Informe interno].

- ARIAS, M.E., 2000a: Informe de prospección geoléctrica en Home Creek, Cahuita, Limón. - 10 págs. Sec. Sismol. Vulcanol y Explor. Geofísica Universidad de Costa Rica, San José [Informe interno].
- ARIAS, M.E., 2000b: Informe de prospección geoléctrica en la isla del Coco, Costa Rica. - 12 págs. Sec. Sismol. Vulcanol y Explor. Geofísica Universidad de Costa Rica, San José [Informe interno].
- ARIAS, M.E., 2000c: Métodos geofísicos. - En: Denyer, P. & Kussmaul, S.(comp.): Geología de Costa Rica. - Ed. Tecnológica de Costa Rica, Cartago: 393-409.
- ARIAS, M.E., 2000d: Prospección geofísica para aguas subterráneas. Escuela Centroamericana de Geología, U.C.R. San José [Inf. gira curso SP-1133].
- OLMO, M. & LÓPEZ, J. (eds.) 1999: Actualidad de las técnicas geofísicas. - 375 págs. Inst. Tecnol. Geominero de España, Madrid.