

Aplicación de tomografías eléctricas en la configuración del acuífero costero en un sector oriental de la Provincia de Buenos Aires

Santiago Perdomo^{1,2}, Leandro Rodríguez Capítulo^{3,4}, Eduardo Kruse^{3,4} y Jerónimo Ainchil¹

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP), Paseo del Bosque s/n. (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

² Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. (CIC)

³ Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP), Cátedra de Hidrología General, Calle 64 n° 3 (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Universidad Nacional de La Plata. (CONICET-UNLP)

Mail de contacto: santiago.perdomo@fcaglp.unlp.edu.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es mostrar la utilidad de las tomografías eléctricas en la identificación y reconocimiento de las variaciones litológicas del sistema acuífero en el partido de Pinamar (Buenos Aires). Mediante el método eléctrico empleado es posible conocer la distribución de resistividades en secciones 2D lo cual se asocia a variaciones granulométricas en los sedimentos y a la salinidad del agua subterránea. Se midieron e interpretaron 5 Imágenes de Resistividad Eléctrica con un arreglo Wenner de 5 metros de separación electródica alcanzando una profundidad máxima de exploración de 15 metros. Los resultados de las tomografías indican que el paquete sedimentario presenta intercalaciones de baja permeabilidad sin continuidad areal y cuyos espesores tienen fuertes variaciones laterales. La configuración detectada permite definir un sistema de aguas subterráneas con niveles acuíferos interconectados desde el punto de vista hidráulico.

Palabras claves: acuífero costero, imágenes de resistividad eléctrica, Pinamar

ABSTRACT

The aim of this work is to show the applicability of Electrical Tomography in the identification and study of lithological variations in the aquifer system of Pinamar (Buenos Aires). The electrical properties of sediments are sensitive to grain size and pore water salinity. For this reason, 5 Electrical Resistivity Images were measured using a Wenner array of electrodes with 5m separation between electrodes and a maximum depth of 15m was explored. The resistivity models showed the presence of low permeability interbeds without lateral continuation and also differences in the thickness of this layers. Therefore, the proposed models could define an aquifer system with different aquifer levels interconnected from an hydraulic perspective.

Keywords: coastal aquifer, electrical resistivity imaging, Pinamar.

Introducción

Los acuíferos de la región costera oriental de la Provincia de Buenos Aires se caracterizan por una sucesión de arenas finas a muy finas con conchilla intercalada con fracciones más finas que van desde limos arenosos hasta arcillas plásticas, y horizontes orgánicos. Todos estos depósitos están relacionados a eventos transgresivo-regresivos y han sido influenciados por las características físicas, hidro-oceanográficas y climáticas imperantes durante el Pleistoceno y Holoceno. (Violante et al 2001).

Estos depósitos se encuentran cubiertos por el cordón costero (Parker y Violante, 1989), en el cual se almacena el único reservorio subterráneo de agua dulce que resulta la única

fuente de agua dulce en la región. (Rodríguez Capítulo et al 2012)

El área de estudio (Figura 1) se ubica geográficamente en el borde oriental de la Pampa Húmeda, abarca una superficie aproximada de 66 km² y corresponde al área denominada por Parker y Violante (1989) como "Cordon Costero".

Esta geoforma se extiende desde Punta Rasa hasta la laguna de Mar Chiquita alcanzando desde 2 hasta 4 km de ancho. Las dos unidades menores que lo conforman han sido denominadas generalmente como Playa y Médanos.

El objetivo de este trabajo es mostrar la utilidad de las tomografías eléctricas en la

identificación y reconocimiento de las variaciones litológicas del sistema acuífero en el partido de Pinamar.



Figura 1 Ubicación del área de estudio y localidades del Municipio Urbano de Pinamar.

Metodología

La resistividad es una propiedad física que refleja la dificultad del medio para establecer un flujo de corriente eléctrica. Se denomina ρ y tiene unidades de Ohm metro [Ωm] en el SI. La resistividad en las rocas presenta un rango de variación muy amplio, incluso para un mismo material, y está controlada entre otros factores por el contenido electrolito del agua de saturación. (Orellana, 1982; Sharma, 1997)

Las observaciones de la resistividad en la superficie de la tierra se realizan a través de electrodos de energización, con los cuales se establece un campo eléctrico y se mide el campo potencial (ΔV) producido entre dos puntos.

En corriente continua se utiliza la siguiente expresión para calcular la resistividad de un medio:

$$\rho = G \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Siendo I la intensidad de la corriente de energización y G un factor geométrico que tiene en cuenta la disposición relativa de los electrodos.

Cuando se efectúan mediciones sobre la superficie, la resistividad estimada mediante la ecuación (1) resulta una magnitud aparente, debido a las posibles heterogeneidades del medio.

El método eléctrico tiene por objetivo conocer la distribución de resistividades “verdaderas” del subsuelo, a partir de estas determinaciones “aparentes”. Por esta razón es necesario invertir los datos para obtener un modelo de resistividades “verdaderas” cuya respuesta se asemeje a las observaciones.

El modelo heterogéneo más simple para el subsuelo, contempla sólo variaciones de la resistividad con la profundidad, y permite resolver muchas situaciones geológicas. Sin embargo, para poder contemplar, además, variaciones laterales es necesario emplear el método de Tomografía Eléctrica.

Esta técnica permite realizar estudios de mayor detalle combinando mediciones en profundidad y en dirección horizontal.

El trabajo de campo consiste en inducir una corriente continua I por el circuito de emisión (C_1 y C_2) y medir la diferencia de potencial V generada entre los electrodos de recepción (P_1 y P_2), haciendo variar la separación y posición de los electrodos. Para el procesamiento e inversión de los datos se utilizó el software Res2DInv de Geotomo. El resultado del procesamiento e inversión de los datos son modelos en forma de perfil o Imágenes de Resistividad Eléctrica (IRE).

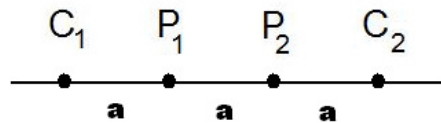


Figura 2. Disposición de los electrodos en el terreno para el arreglo Wenner, en este caso la separación es $a=5\text{m}$.

El modelo propuesto se obtiene de manera iterativa, y por medio de algoritmos matemáticos se calcula su respuesta eléctrica que es comparada con los datos medidos. La diferencia entre la sección calculada y las mediciones viene dada por un error medio cuadrático, que indica la bondad del ajuste. (Loke, 2004)

En el área de estudio se utilizó un arreglo cuadrípolar Wenner de 5m de separación electródica mínima y 40m de separación máxima, permitiendo explorar hasta 20m de profundidad (Figura 2). La sensibilidad de este arreglo a las variaciones verticales de resistividad (Loke, 2004) lo hace apropiado para diferenciar el comportamiento eléctrico de una estratificación subhorizontal, como lo es el límite arena-arcilla en la zona de estudio.

Adicionalmente, se recopiló información antecedente y se analizaron parámetros como la conductividad eléctrica (CE) del agua y el nivel freático (NF) en perforaciones existentes a los efectos de mejorar la interpretación de los modelos propuestos.

Resultados

Las tomografías eléctricas fueron realizadas en las localidades de Pinamar y Cariló (Figura 3). Esta ubicación permitió estudiar las diferencias entre las zonas oriental, central y occidental del cordón medanoso.

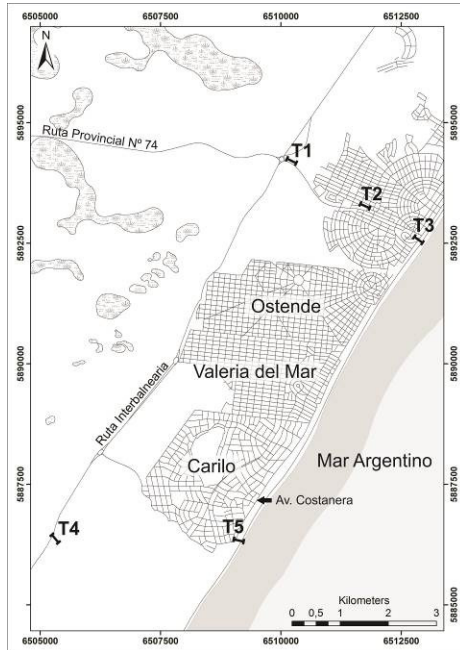


Figura 3. Ubicación de las tomografías eléctricas. T1, T2 y T3 se encuentran en Pinamar y T4 y T5 en Cariló.

La primera IRE (T1) (Figura 5) se realizó en la zona occidental de la localidad de Pinamar, donde se midió el nivel freático (NF) a 3m en una perforación próxima a la progresiva de 25m. En este sector se pudo reconocer que la zona no saturada (ZNS) presenta los valores más resistivos de todo el perfil, por encima de los 200 Ω m. Por debajo del NF los valores de resistividad estuvieron en el rango 20-150 Ω m, caracterizando así la zona saturada.

Se observó una zona de baja resistividad desde el inicio del perfil hasta la progresiva de 60m a partir de los 5m de profundidad, esta

respuesta se corresponde con el nivel arcilloso descrito a los 8m en Gonzalez Arzac et al. (1993) para la perforación C2. Además se destacó una discontinuidad entre las progresivas de 60-80m de características conductivas respecto a las zonas más próximas, que podrían estar indicando la presencia de material arcilloso.

La siguiente IRE (T2) fue realizada en la zona central del cordón medanoso, donde se observaron valores resistivos por encima de los 15m de profundidad. Sobre la progresiva de 25m se constató con un sondeo que en los primeros 6m no se observó agua saturando la arena, por esta razón es posible inferir que los sedimentos no saturados alcanzan al menos los 15m de espesor.

Hacia el este se midió la última tomografía (T3) en Pinamar. El comienzo fue sobre la Av. Costanera y finalizó sobre una pequeña elevación sobre la orilla del mar. (Figura 4)

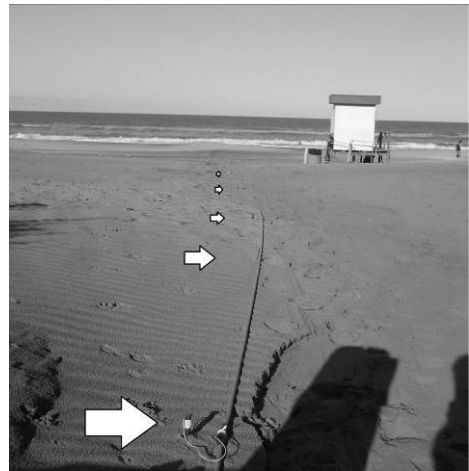


Figura 4. Imagen de la instalación del cable para la medición de T1. Las flechas indican la posición de los electrodos.

Desde el inicio de la línea hasta la progresiva de 80m el modelo presentó características resistivas en los primeros 5m de profundidad, coincidente con valores de la ZNS. La zona de resistividades intermedias (20-150 Ω m), atribuibles a arenas saturadas con agua de bajo contenido salino, alcanzó los 20m de profundidad, en este sector. Hacia el mar se observaron valores más conductivos en toda la sección con valores mínimos en la parte más somera. Se destacó una zona de mayor

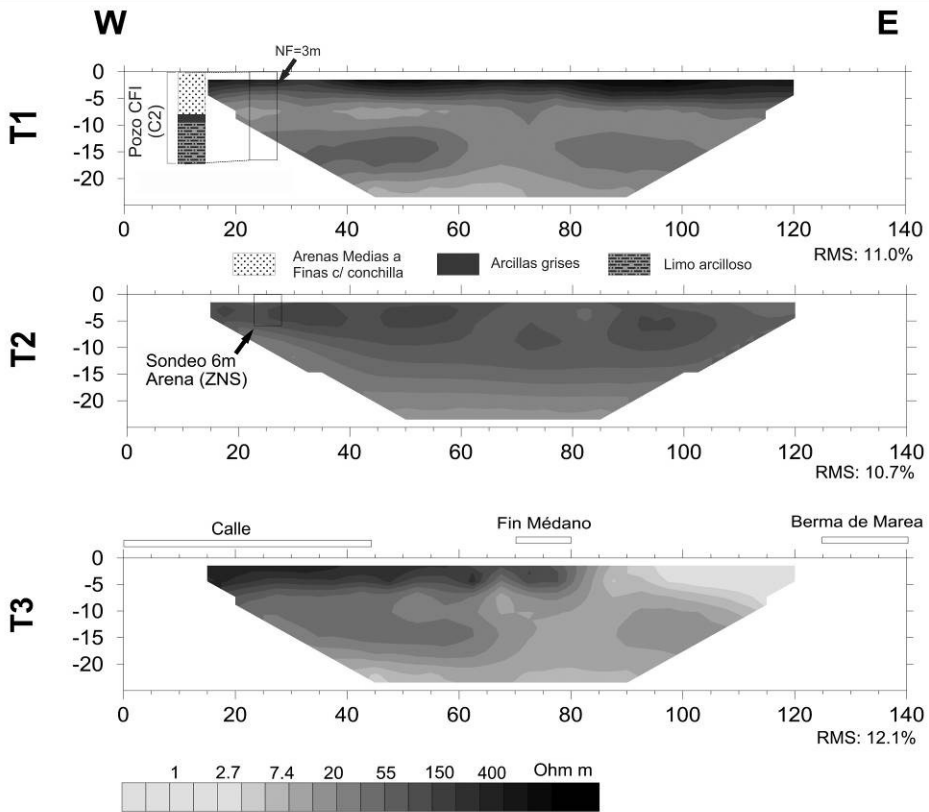


Figura 5. Modelos de Resistividades Propuestos para la zona de Pinamar. Las profundidades y distancias están en metros. Los colores oscuros indican zonas más resistivas mientras que los claros zonas más conductivas

resistividad desde la progresiva de 90m y por debajo de los 10m, que podría estar caracterizando una zona de agua con menor contenido salino que se prolongaría hacia el mar.

El siguiente grupo de tomografías se midió en la zona de Cariló, la primera se realizó en la región occidental (T4) y la otra en la oriental (T5).

La distribución de resistividades propuesta para la zona próxima a la ruta (T4) mostró un comportamiento resistivo para la capa más

superficial de unos 3m de espesor. (Figura 6) Por debajo se observó una disminución de la resistividad a valores del orden de $7 \Omega m$, a los 5m de profundidad, que coincide con la presencia de material arcilloso, observado en una perforación próxima a la progresiva de 35m (C3).

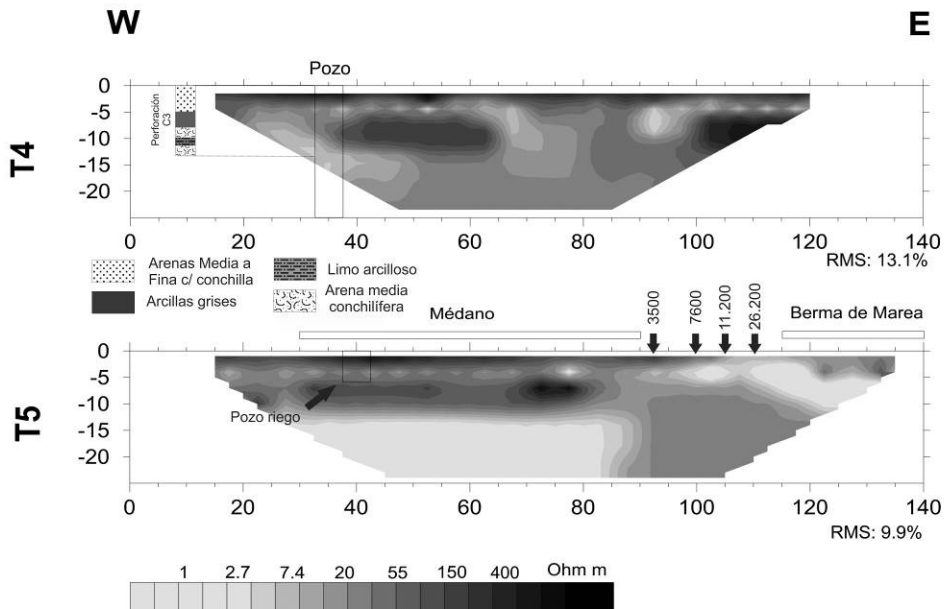


Figura 6. Modelos de Resistividades propuestos para la zona de Cariló. En la transecta T5 se han representado las conductividades en uS/cm. Las profundidades y distancias están en metros. Los colores oscuros indican zonas más resistivas mientras que los claros zonas más conductivas.

Aunque el valor predominante hasta los 20m es de 20-55 Ω m, se observaron dos sectores más resistivos (150 Ω m) entre las progresivas 40-60m y más allá de los 100m que podría estar caracterizando lentes de arena más gruesa o con presencia de conchilla.

En la zona oriental se midió una tomografía eléctrica de 135m (T5) de largo abarcando el sector del médano y la berma de marea.

El modelo propuesto mostró un sector resistivo somero de unos 3m de espesor hasta la progresiva de 100m. Los valores de resistividad intermedia (20-150 Ω m) aparecieron hasta los 10m de profundidad, por debajo se observó un descenso de los valores de resistividad (<3 Ω m), que podría atribuirse a la presencia de material arcilloso o agua de elevada salinidad.

Desde la progresiva de 100m hasta los 120m apareció una zona de baja resistividad desde la superficie hasta los 10m de profundidad hacia el este, por debajo de una pequeña cresta de playa. Allí sería evidente la influencia del agua marina superficial en los sedimentos. Además se midieron las conductividades eléctricas (uS/cm) del agua

subterránea a los 2 mbbp, en las progresivas de 95, 100, 105 y 110m. Estos valores muestran un aumento de las conductividades hacia el mar, esta misma tendencia se observó en el modelo propuesto para esta IRE.

Más allá de los 90m y por debajo de los 8m los valores de resistividad fueron del orden de los 20 Ω m. Estos valores serían asignables a sedimentos con agua de menor contenido salino que la marina.

Conclusiones

La aplicación de tomografías eléctricas en el acuífero costero de Pinamar permitió identificar el espesor de la zona no saturada y verificar la distribución de agua dulce y salada en el sistema subterráneo.

Las tomografías mostraron anomalías conductivas con distintas profundidades y espesores en el acuífero somero. Estas anomalías podrían estar indicando la presencia de lentes arcillosos dentro del paquete de arenas del cordón costero.

En los modelos de resistividad propuestos para las tomografías realizadas sobre la costa se evidenció la presencia de un nivel

resistividad intermedia ($20 \Omega\text{m}$) por debajo del sector de playa, que sería indicativo de la presencia de agua dulce. Además se reconoció también un nivel de baja resistividad (agua salina) por debajo de la zona de médano en las dos trazas costeras. Estas características mostrarían la compleja interacción de la interfase agua dulce – salada.

Los resultados permiten reconocer las variaciones litológicas laterales descriptas en las perforaciones realizadas en el área y también la variabilidad en la salinidad que caracteriza a la unidad acuífera.

A su vez confirman la presencia de un sistema acuífero único interconectado hidráulicamente.

De esta forma se resalta la utilidad de las tomografías eléctricas como una herramienta para mejorar el conocimiento hidrogeológico de esta región.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su especial agradecimiento al Lic. Pablo De Bernardi y a Gustavo Tinto por su colaboración y trabajo, a Alfredo Baldini y a la Municipalidad de Pinamar.

Referencias

- González Arzac, R., Pérez Spina, R., Garay, R., Vizcaino, A., Remorini, G., Campos, A., Rascofky, L., García, R. & Bravo Molino, R.1993. Estado Actual de las fuentes subterráneas en Pinamar y Villa Gesell (Primera etapa: Pinamar). Consejo Federal de Inversiones. Administración General de Obras Sanitarias. 71p
- Loke, M., 2004. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, s.l.: s.n.
- Orellana, E., 1982. Prospección Geoeléctrica en corriente continua. 2 ed. Madrid: Paranainfo.
- Parker, G. y Violante, R. A. 1989. Geología y Geomorfología. Regiones I y II. Punta Rasa - Faro Querandí. Provincia de Buenos Aires. Convenio Consejo Federal de Inversiones y Servicio de Hidrografía Naval, Informe final. 141 pp.
- Rodríguez Capitulo, L y Kruse E. 2012. Influencia de la evolución geomorfológica Pleistocena Holocena en la dinámica del acuífero costero medanoso. En: Ollier C. et al. (Editor) Degiovanni y Andreazzinni (compiladores). V Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología. ISBN 978-987-688-012-1. UniRío editora. Río IV. Córdoba. pp 263-272.
- Sharma, P., 1997. Environmental and engineering geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.

- Violante, R., G. Parker y J. L. Cavallotto. 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la Bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56 (1): 51-66