

## RESPUESTA ELÉCTRICA DE LA ZONACIÓN QUÍMICA EN UN NIVEL ACUÍFERO EN LA COSTA ARENOSA ORIENTAL DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Carretero, Silvina<sup>1,2</sup>, Perdomo, Santiago<sup>2,3</sup>, Kruse, Eduardo<sup>1,2</sup> y Ainchil, Jerónimo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), 64 n° 3, 1900 La Plata, Argentina. Tel: +542214249049, ext 14. [scarretero@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:scarretero@fcnym.unlp.edu.ar)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (UNLP), Paseo del Bosque s/n. (1900) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

### Resumen

Se analiza la relación entre la litología, la calidad química y la respuesta eléctrica en los materiales del acuífero costero del Partido de La Costa, Buenos Aires. Se realizaron 5 pozos de reconocimiento abarcando el espesor completo de la unidad acuífera. Se midieron sondeos eléctricos verticales (SEV) y se utilizó una sonda de conductividad eléctrica-nivel para definir si existía una zonación química en profundidad. El acuífero es homogéneo en cuanto a su litología, pero no a su calidad química. Existe una zonación que permite diferenciar unidades con agua subterránea de baja conductividad eléctrica (< 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) hasta los 5 y 7 m de profundidad. Por debajo los valores se incrementan, alcanzando 18000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a los 11 m. Existe una buena correlación entre los valores de conductividad eléctrica del agua y los modelos de resistividad propuestos, pudiéndose verificar la efectividad del método en determinar estas variaciones. Resulta un aporte de importancia para los prestadores de servicios de agua potable, tanto para ajustar los volúmenes y tiempos de explotación como para la planificación de nuevas perforaciones de abastecimiento. El mejor conocimiento del sistema hídrico permite realizar una explotación sustentable del recurso evitando realizar perforaciones cuya profundidad se encuentre por debajo de los límites aceptables para un agua potable.

**Palabras claves:** zonación química, litología, sondeos eléctricos verticales, acuíferos costeros, Buenos Aires.

### Abstract

The relationship between the lithology, chemical quality and the electrical response in the materials of the coastal aquifer in the Partido de La Costa, Buenos Aires was analyzed. Five exploration wells covering the total thickness of the aquifer unit were made. Vertical Electrical Sounding (VES) were conducted and an electrical conductivity/water level probe was used to define the presence of a chemical zonation in depth. The aquifer is homogeneous regarding to its lithology but is not as for its chemical quality. It is possible to identify units with groundwater of low electrical conductivity (< 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) up to 5 and 7 m depth. Below the values rise reaching 18000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  at 11 m. There is a good correlation between the values of groundwater electrical conductivity and the proposed resistivity models verifying the method effectiveness to define these variations. This is an important contribution for the water suppliers in order to adapt the volume, the time of exploitation and the new supply wells planning. A good understanding of the hydrological system allows performing a sustainable exploitation avoiding making wells whose depth is below the acceptable limits for drinking water.

**Keywords:** chemical zonation, lithology, vertical electrical sounding, coastal aquifers, Buenos Aires.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El manejo de los recursos hídricos en las localidades de la costa arenosa de la provincia de Buenos Aires es de gran importancia debido a sus limitadas reservas y la creciente demanda que requieren en épocas estivales.

En San Clemente del Tuyú, Partido de La Costa, Buenos Aires sólo un bajo porcentaje de los habitantes obtienen agua potable de red a partir del servicio otorgado por la Cooperativa de Obras y Servicios. El resto de la población se abastece de manera particular. La zona de captación se ubica al sur de la localidad, fuera del área urbanizada. Actualmente se está llevando a cabo un estudio con el objetivo de evaluar la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en la zona de explotación. También se están considerando sectores para una futura expansión y aumentar el abastecimiento de agua potable.

El conocimiento del espesor del sistema acuífero y la calidad química son relevantes para la gestión a la hora de establecer metodologías y caudales de explotación. En el campo de bombeo no se poseen registros de perforaciones profundas sino que se han manejado con datos a nivel regional (Consejo Federal de Inversiones, 1989). Tampoco se ha evaluado la existencia de variaciones químicas en profundidad por falta de los mencionados pozos.

La aplicación del método eléctrico para caracterizar las condiciones del medio en regiones costeras ha sido estudiada por diversos autores (Nowroozi et al. 1999; Nassir et al. 2000; Satriani et al. 2011) pero en ocasiones resulta complicado validar esta metodología indirecta con mediciones de los parámetros del acuífero.

En este trabajo se analiza la relación entre la litología, la calidad química y la respuesta eléctrica en los materiales del acuífero costero del Partido de La Costa, en la zona sur de la localidad de San Clemente del Tuyú.

## **METODOLOGÍA**

Se realizaron 5 pozos de reconocimiento (PR) (Figura 1) abarcando el espesor total de la unidad acuífera. Se utilizó el método de perforación rotativa con inyección de lodo (bentonita) y se fue recuperando sedimento por cada barra o según se observaban cambios en la litología. Se recolectaron muestras de sedimento y se realizó una descripción de la litología a lupa. Se efectuaron perfiles estratigráficos correlacionando las muestras con las formaciones geológicas definidas por Violante et al. (2001)

Los pozos fueron diseñados con cañería ranurada en la totalidad de su extensión para permitir el normal funcionamiento del flujo subterráneo. Pasado un lapso de tiempo de construida la perforación se midió conductividad eléctrica del agua y profundidad para definir si existía una zonación química. Se utilizó una sonda Solinst TLC meter.

Se midieron sondeos eléctricos verticales (SEV) en la modalidad Schlumberger con una separación máxima de 100m entre electrodos de corriente. Los SEV se ubicaron sobre las locaciones de los PR para utilizar información adicional en la interpretación. La inversión de los datos de campo se realizó según el algoritmo de Zohdy (1989) para proveer un modelo inicial multicapa. Posteriormente, se redujo a un número apropiado de capas utilizando los parámetros de Dar Zarrouk y un ajuste manual de acuerdo a la descripción geológica y valor del nivel freático en cada pozo. La diferencia entre la curva de resistividad aparente observada y calculada fue del orden del 5%.

## **RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

### **Área de estudio**

El área de estudio se localiza en San Clemente del Tuyú, Partido de la Costa en la Provincia de Buenos Aires (Figura 1). Se trata de una franja costera con un ancho de 2 km, que cubre una superficie aproximada de 15 km<sup>2</sup>.

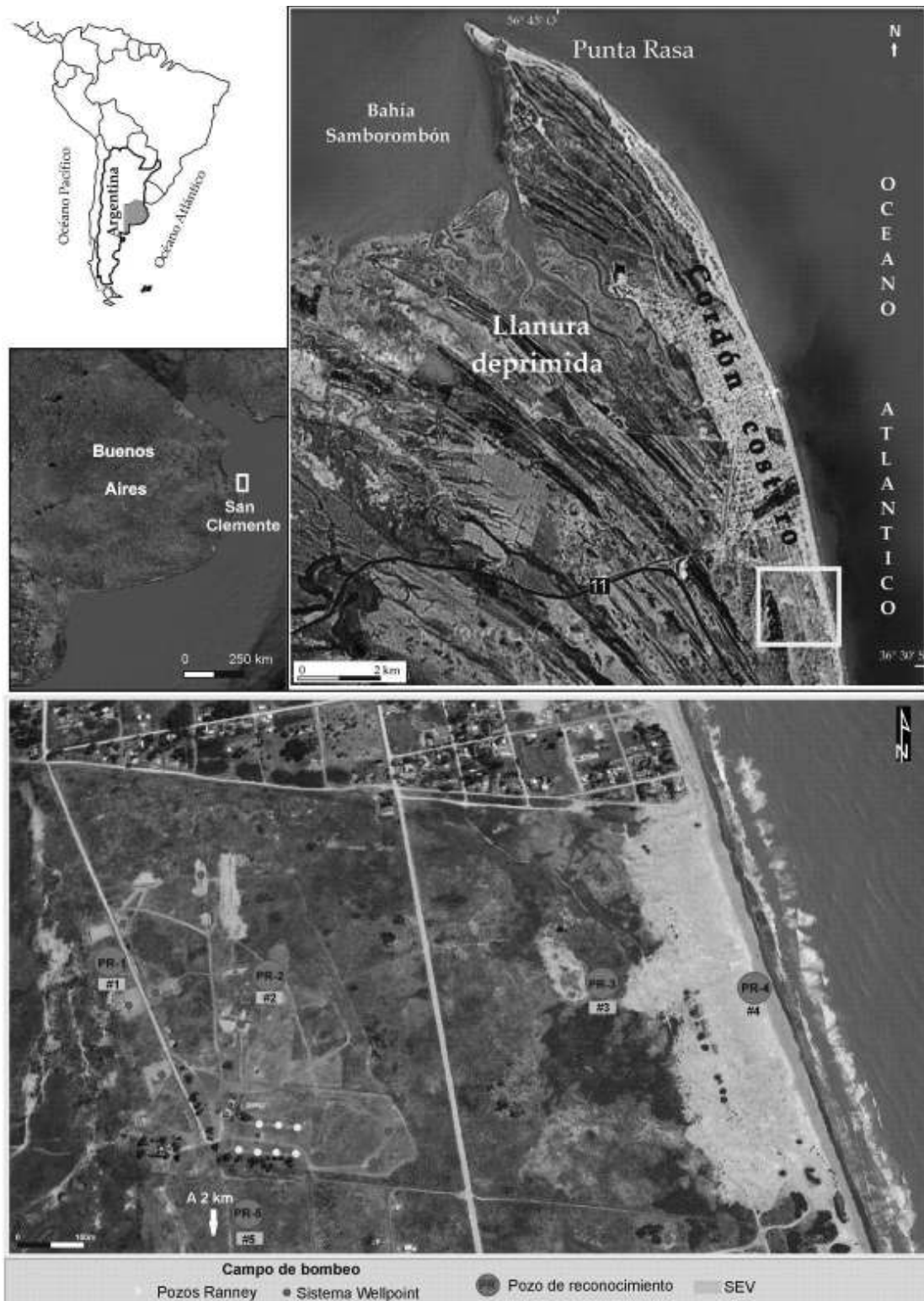


Figura 1. Área de estudio y localización de los pozos de reconocimiento (PR) y SEV

Se reconocen dos ambientes geomorfológicos, el cordón costero y la llanura deprimida, donde la geomorfología ejerce un control fundamental sobre el comportamiento hidrodinámico e hidroquímico. El cordón costero se caracteriza por la presencia de sedimentos compuestos por arenas finas, el agua subterránea es de baja salinidad principalmente del tipo  $\text{Ca-HCO}_3$ . La llanura deprimida se desarrolla al oeste del cordón

costero con cotas inferiores a 5 msnm, predominan los materiales limosos y arcillosos y contiene agua de elevada salinidad, tipo Na-Cl (Carretero et al. 2013).

El acuífero principal de agua dulce está constituido por arenas de médanos superpuestas a arenas de barrera con un espesor promedio de 10 m y está limitado por dos interfases, hacia el continente agua dulce-agua salobre y hacia el mar, agua dulce-agua salada. Este acuífero es la única fuente de provisión de agua dulce para la población. El sector central del cordón costero es la zona de recarga principal, la conducción se efectúa en un corto tramo, y se da la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra al oeste hacia la llanura deprimida (Carretero, 2011).

### Estratigrafía

El análisis de las muestras recuperadas durante las perforaciones y la realización de perfiles estratigráficos por cada pozo de reconocimiento (PR) han permitido reconocer las variaciones litológicas de las unidades que contiene al acuífero (Figura 2).

Hasta los 3,5 m de profundidad se observa una arena clara, de origen eólico, con fragmentos de conchillas que corresponde a la Fm Punta Médanos. Por debajo y hasta los 8 m aparecen arenas más oscuras lo cual se correlaciona con el ambiente de barrera de la Facies Mar de Ajó (Fm Pozo n° 17). En adelante y hasta los 11 m se detecta una arena más oscura y fina, muy arcillosa con fragmentos de conchillas. Luego de los 11 m la litología cambia a arcillas arenosas con conchillas que gradan a arcilla gris con fragmentos de conchillas gruesas (5 mm) lo cual constituye la Facies Destacamento Río Salado de la Fm Pozo n° 8.

Desde el punto de vista hidrológico la Fm Punta Médanos, la Facies Mar de Ajó y la parte superior de la Facies Destacamento Río Salado constituyen la unidad acuífera, mientras que los niveles arcillosos se comportan como acuitardo/acuícludo.

Si bien se presentan algunas diferencias entre las formaciones arenosas, puede expresarse que se trata de un acuífero homogéneo cuyo espesor no supera los 11 m.

PR-3				
N° muestra	Prof. (m)	Litología	Estratigrafía	Comportamiento hidrológico
1	2	arena clara con fragmentos de conchillas	Fm Punta Médanos	Acuífero
2	3,5	arena clara con fragmentos de conchillas		
3	5	arena más oscura con fragmento de conchillas	Fm Pozo N° 17 Fc Mar de Ajó	
4	6,5	arena más oscura con fragmento de conchillas		
5	8	arena más oscura con fragmento de conchillas		
6	9,5	arena más oscura más fina, muy arcillosa con fragmentos de conchillas fina	(Fm Pozo n° 8) Fc	Acuitardo/acuícludo
7	11	arcilla arenosa con conchillas	Destacamento Río Salado	
8	>11	arcilla gris con fragmentos chicos de conchillas gruesas (5mm)		

Figura 2. Descripción del perfil estratigráfico para el PR-3.

### Geoeléctrica

El método geoeléctrico permitió identificar la zona no saturada de alta resistividad, una capa de resistividad intermedia y una base conductiva a una profundidad variable entre

8 y 14 m. Además, dentro de la zona de resistividad intermedia, que se corresponde con el acuífero de agua dulce, los modelos reconocen hasta dos capas, con resistividad decreciente en sus valores con la profundidad.

El sondeo #1 fue medido sobre el pozo de reconocimiento 1 (PR-1). En la Figura 3 se muestra la curva de campo (obs) y la curva de resistividad aparente calculada, para el corte de resistividad verdadera (CRV) indicado en la tabla.

Por debajo del nivel estático ( $\approx 2$  m) se reconocen dos electrocapas de diferente resistividad. La primera se desarrolla entre 2 y 5 m con una resistividad de 35  $\Omega\text{m}$ ; mientras que la segunda presenta menor resistividad (9  $\Omega\text{m}$ ) y alcanza los 10 m de profundidad.

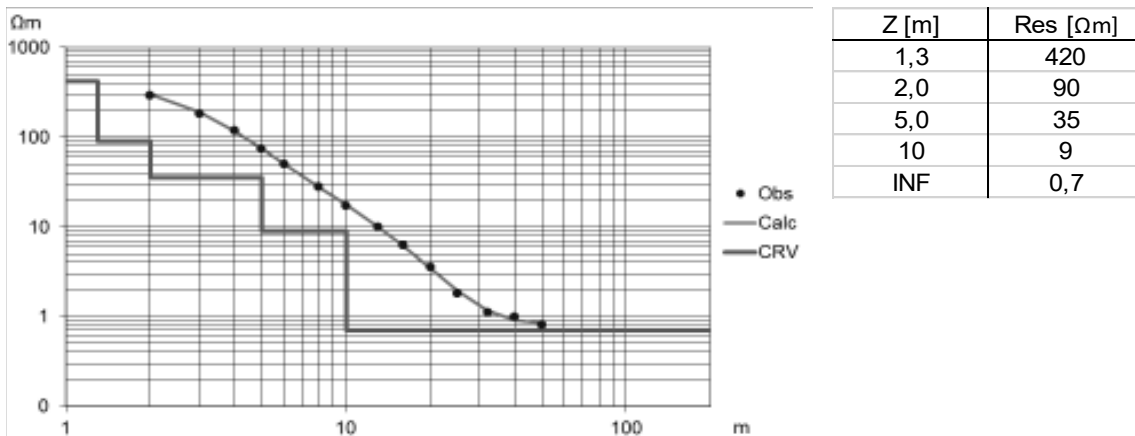


Figura 3. Curva de campo (obs) y la curva de resistividad aparente calculada, para el corte de resistividad verdadera (CRV) indicado en la tabla.

El sondeo #2 se encuentra en el centro geométrico del campo de bombeo donde se realizó la perforación PR-2. En este caso la capa correspondiente al acuífero de agua dulce se desarrolla desde los 4 hasta los 7,5 m de profundidad y presenta una resistividad de 9,5  $\Omega\text{m}$ .

El sondeo #3 se midió en una zona alejada del campo de bombeo, y fuera de la influencia de perforaciones de explotación. En este sitio se proyecta la expansión de la zona de captación y se ha instalado el PR-3. En este caso se distingue una capa con resistividades de 67  $\Omega\text{m}$  desarrollada debajo de la zona no saturada hasta los 6.5 m y la segunda de 15  $\Omega\text{m}$  por debajo de la primera y que se extiende hasta los 12 m de profundidad.

Este sondeo (#4) se midió próximo al pozo PR-4 ubicado en la base del médano en la zona de playa. El modelo de resistividades propuesto distingue dos electrocapas que podrían asignarse al acuífero costero. La primera hasta los 5,5 m de profundidad con una resistividad de 15  $\Omega\text{m}$  y por debajo, otra con una resistividad de 10  $\Omega\text{m}$  hasta los 14 m de profundidad.

El SEV #5 se midió frente al PR-5. En este sector se observan dos electrocapas atribuibles al acuífero de agua dulce. La primera desde 1 a 7 m de profundidad con una resistividad de 62  $\Omega\text{m}$  posee las mejores condiciones eléctricas. Por debajo y hasta los 11m de profundidad, la electrocapa posee una resistividad de 27  $\Omega\text{m}$ .

## Hidroquímica

Los resultados obtenidos mediante la sonda de nivel-conductividad y la estratigrafía sumada a los datos geofísicos han posibilitado la construcción de perfiles para cada PR en donde se puede observar una correlación entre la litología, la geoquímica y la geoelectrica tal como se observa en la Figura 4. El acuífero es homogéneo en cuanto a su litología pero no a su calidad química.

Se ha detectado la existencia de una zonación química en profundidad que permite diferenciar dos unidades: una con agua subterránea de baja conductividad eléctrica (< 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) hasta los 5 y 7 m de profundidad y otra, por debajo, con valores que se incrementan alcanzando los 12000 y 18000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Prof (m)	Oeste		Centro del médano				Este		Estratigrafía		
	PR-1		PR-2		PR-3		PR-5			PR-4	
	Conduct $\mu\text{S}/\text{cm}$	SEV	Conduct $\mu\text{S}/\text{cm}$	SEV	Conduct $\mu\text{S}/\text{cm}$	SEV	Conduct $\mu\text{S}/\text{cm}$	SEV	Conduct $\mu\text{S}/\text{cm}$	SEV	
0											
0,5						610					
1		420		1100			627	620		1567	8*
1,5						580				1576	
2	1169	90	**			584		590		1591	
2,5	1147					588		590		1591	
3	1157			340		588		590		1586	
3,5	1175					688		590		1601	
4	1184					764	67	608		1601	15
4,5	1200					812		603	62	1630	
5	1220					836		601		1710	
5,5	1219					862		609		1889	
6	1239			9,5		922		608		2375	
6,5	2880					1150		616		3015	
7	10000					1702		616		8843	
7,5	12000					4147		640		10200	
8	12600					5943		2546		11900	
8,5	12600					7268		5694		fondo?	
9	12500			0,65		10300		7270			
9,5	12500					12400	15		27		
10						13700					10
10,5		0,7				14000					
11											
11,5											
12											
12,5							1,2				
13											
13,5											
14											
INF											0,75

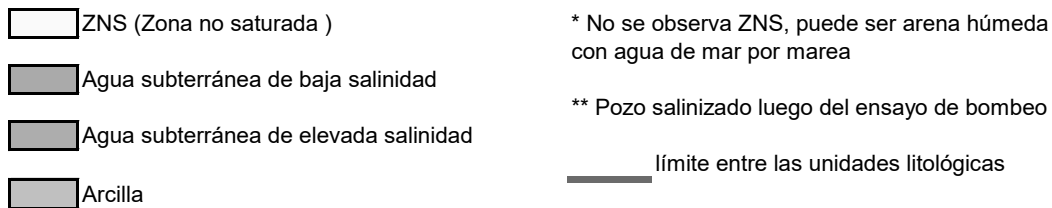


Figura 4. Conductividad eléctrica del agua y perfiles SEV (resistividad en  $\Omega$  m) para los cinco PR

El PR-1 si bien se ubica en el sector de médanos, está dispuesto al oeste en una zona de transición hacia la llanura deprimida. De acuerdo a lo analizado se puede observar que presenta agua de una conductividad promedio de 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta los 6 m para luego pasar a valores de 12000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en un metro más de profundidad. Esta variación se detecta en la respuesta eléctrica con una resistividad que pasa de 35 a 9  $\Omega$  m.

Cabe aclarar algunas particularidades referidas al PR-2 el cual se encuentra ubicado en el centro de la zona de captación de agua. Los valores elevados de conductividad eléctrica se deben a un proceso de salinización producto del bombeo realizado durante los ensayos efectuados para determinar los parámetros del acuífero. El SEV fue medido previo

a la perforación por lo cual los valores de resistividad corresponderían al agua subterránea en condiciones previas al bombeo intensivo. De todas maneras el estado del acuífero en este sector se ve modificado por el bombeo efectuado por la Cooperativa habiéndose detectado un área con conductividades superiores a los 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en los alrededores de la perforación estudiada. Este fenómeno podría correlacionarse con los valores de resistividad medidos ( $< 10 \Omega \text{ m}$ ).

Las resistividades de PR-3 y PR-5 (62 y 65  $\Omega \text{ m}$ ) hasta los 6 m de profundidad parecen corresponder con valores de conductividad promedio de 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Luego de este nivel, en PR-3 el incremento en la conductividad es más marcado que en PR-5 y con valores mucho más elevados (12000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  promedio) ya que en el PR-5 se registraron mediciones de 7000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como máximo. La respuesta eléctrica es diferente en ambos casos resultando de 15  $\Omega \text{ m}$  en PR-3 y 27  $\Omega \text{ m}$  en PR-5. Estos dos pozos se encuentran localizados en sectores fuera de la urbanización y alejados de la influencia de cualquier tipo de extracción de agua por lo que se asignan como ejemplo de las condiciones netamente naturales del recurso subterráneo.

El PR-4, localizado en la zona de playa, presenta una conductividad de alrededor de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta los 5 m, por debajo se detecta un incremento que llega hasta casi 12000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La resistividad en este perfil muestra valores de 15  $\Omega \text{ m}$  para el primer tramo y 10  $\Omega \text{ m}$  para el segundo. No se detectan los valores correspondientes a la zona no saturada debida, probablemente, a la humedad remanente en la arena de la playa producto de las mareas.

Al observar el perfil este-oeste se puede afirmar que la zona central del médano es la que presenta el mayor espesor con agua de buena calidad (6 m) representada por valores de resistividad entre 62 y 65  $\Omega \text{ m}$

## CONCLUSIONES

Existe una buena correlación entre los valores de conductividad eléctrica del agua y los modelos de resistividad propuestos, pudiéndose verificar la efectividad del método en determinar estas variaciones.

En este esquema se pueden separar unidades con agua subterránea de baja salinidad que varían entre los 5 y 7 m de profundidad. Por debajo y hasta los 11 m se produce un marcado incremento de la misma.

Resulta un aporte de importancia para los prestadores de servicios de agua potable, tanto para ajustar los volúmenes y tiempos de explotación como para la planificación de nuevas perforaciones de abastecimiento. Se continuará con estudios en posibles nuevas zonas de captación de agua y se llevarán a cabo nuevas perforaciones profundas. Se prevé aplicar la misma metodología para lograr un mejor ajuste.

El mejor conocimiento del sistema hídrico permite realizar una explotación sustentable del recurso evitando realizar perforaciones cuya profundidad se encuentre por debajo de los límites aceptables para un agua potable.

## REFERENCIAS

- Carretero S.** 2011. Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Argentina. Disponible en [http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id\\_document=ARG-UNLP-TPG-0000002075&request=request](http://sedici.unlp.edu.ar/search/request.php?id_document=ARG-UNLP-TPG-0000002075&request=request)
- Carretero, S., Dapeña, C. y Kruse, E.** 2013. Hydrogeochemical and isotopic characterisation of groundwater in a sand-dune phreatic aquifer on the northeastern coast of the province of Buenos Aires. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 49(3): 399-419
- Consejo Federal de Inversiones.** 1989. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones I y II Punta Rasa-Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires Informe Final. Tomo II. Geología y Geomorfología. 192 p.

- Nassir, A.S.S., Loke, M.H., Lee, C.Y. y Nawawi, M.N.M.** 2000. Salt–water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys, *Geophysical Prospecting*, Vol. 48, pp. 647–661.
- Nowroozi, A. A., Horrocks, S. B y Henderson, P.** 1999. Saltwater intrusion into the freshwater aquifer in the eastern shore of Virginia: a reconnaissance electrical resistivity survey. *Journal of Applied Geophysics*, 42, pp. 1–22.
- Satriani, A.; Loperte, A.; Proto, M.** 2011. Electrical Resistivity Tomography for coastal salt water intrusion characterization along the Ionian coast of Basilicata region (Southern Italy) Fifteenth International Water Technology Conference, IWTC-15 2011, Alexandria, Egypt.
- Violante R.A., Parker G. y Cavallotto J.L.** 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (1): 51-66
- Zohdy, A.** 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curve. *Geophysics*, 54(2), 245-253.