

COMBINACIÓN DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA Y PERFILAJE DE POZO PARA CARACTERIZAR VARIACIONES LATERALES DEL ACUÍFERO PAMPEANO

Leonardo Sierra^{1,2}, Pablo Weinzettel^{1,3}, Sebastián Dietrich^{1,4}, Sergio Bea^{1,2}, Lucía Cacciabue^{1,5}

¹ Instituto de Hidrología de Llanuras "Eduardo J. Usunoff" (IHLLA). Av. República de Italia n° 780 – Azul – Argentina – +54 2281 432666 – lsierra@faa.unicen.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Av. Rivadavia 1033 - CABA
³ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). Calle 526 entre 10 y 11 - La Plata

⁴ Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Av. Italia n° 780 - Azul

⁵ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). Godoy Cruz 2370 - CABA

Resumen

La tomografía de resistividad eléctrica (TRE) se presenta como una herramienta no destructiva y económica para extrapolar lateralmente información puntual de perforaciones. El objetivo de este trabajo es extrapolar los datos de una perforación exploratoria mediante TRE a las zonas aledañas, enriqueciendo la conceptualización del acuífero en el área de estudio. La perforación de estudio intersecta 70 m de acuífero Pampeano y se ubica en la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. Esta cuenta con descripción litológica, perfilaje geofísico, análisis químicos de agua y sedimento y análisis mineralógicos. Se reconocieron cinco capas con contraste de resistividad eléctrica que coinciden con la zona no saturada y cuatro capas que poseen diferencias litológicas, de mineralogía de arcillas y diferente contenido de salinidad en el agua. Complementariamente se analizan las variaciones en el contenido de arsénico (As). La TRE permitió extrapolar los datos de la perforación para estimar las variaciones laterales de las capas acuíferas. Mediante futuras perforaciones se comprobará la continuidad lateral del modelo geofísico del subsuelo y de los contenidos de As en el acuífero.

Palabras claves: resistividad eléctrica, perfilaje geofísico, arsénico, acuífero Pampeano.

Abstract

The electrical resistivity tomography (ERT) is presented as a non-invasive and economical tool to extrapolate laterally borehole data information. The aim of this work is to extrapolate data from exploratory drilling by ERT to surrounding areas, enriching the conceptualization of the aquifer in the study area. A seventy-meter research borehole in the Pampeano aquifer is located in Tres Arroyos city, Buenos Aires province. It has lithological description, geophysical logging, chemical analysis of water and sediment and mineralogical analysis. Five layers are recognized by the electrical resistivity contrast that match with the unsaturated zone and four layers in saturated zone. These layers have lithology differences, clay mineralogy and different salinity content in the water. Additionally, arsenic (As) content variations are analyzed. The ERT allowed extrapolation of borehole data to estimate lateral variations of the aquifer. Future drilling will confirm the lateral continuity of geophysical model and content of As in the aquifer.

Keywords: electric resistivity, geophysical logging, arsenic, Pampeano aquifer.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los métodos geofísicos de superficie y de perfilaje de pozo, son herramientas de alta resolución para caracterizar el subsuelo horizontal y verticalmente de una forma rápida y económica. Por lo que son un complemento muy potente ante la dificultad de tiempo y económica de la ejecutar perforaciones de estudio, permitiendo mejorar la caracterización de los acuíferos someros (Hyndman y Tronicke, 2005). Las TRE permite definir y mapear la geometría de capas según su litología, y definir zonas con propiedades hidroquímicas similares enriqueciendo la conceptualización del área de estudio (Baines et al., 2002). En la llanura pampeana es más difundido el uso de sondeos eléctricos verticales (SEV), pero tiene la limitación de no ser capaz de discernir variaciones laterales. La TRE al utilizar numerosos electrodos adyacentes realiza sucesivas mediciones de la resistividad eléctrica, permitiendo obtener una perspectiva 2D y hasta 3D de alta resolución de la zona de estudio. Solo por mencionar algunos resultados, la TRE ha permitido diferenciar zonas acuíferas, espesor sedimentario, morfología del basamento hidrogeológico (Weinzettel y Varni, 2007), posición del nivel freático y estudio de la zona no saturada (Dietrich et al., 2014).

Son escasos los estudios geoeléctricos aplicados a la problemática de iones nocivos presentes en el agua subterránea. En el caso del arsénico (As) hay un creciente interés mundial por conocer su comportamiento en los acuíferos, siendo la llanura pampeana la región más extensa con alto As (Nicolli et al., 2012). Son escasos los estudios de aplicación con la TRE (Nath et al., 2010; Chandra et al., 2011) y menos aún con el perfilaje geofísico (Scanlon et al., 2009) para identificar características litológicas que controlen la distribución del As en el acuífero. Al ser un metal traza, no influye en la resistividad eléctrica. Sin embargo, en este trabajo se pretende evaluar la influencia de la litología de los acuíferos ante la presencia de As en el agua. De esta forma sería posible identificar capas o secciones no favorables por su aporte de As. Permitiendo aislarlas al momento de la construcción de un pozo de explotación, favoreciendo la extracción de agua con menor contenido de As. De esta forma, las zonas abastecidas con agua de con As elevado respecto al valor guía de 10 µg/L recomendado por la Organización Mundial de la Salud (Auge et al., 2013), podrían ser exploradas con estas metodologías.

El objetivo de este trabajo es relacionar los datos de una perforación exploratoria a las zonas aledañas utilizando la TRE y enriquecer la conceptualización del acuífero en el área de estudio. Por otra parte, analizan las variaciones areales del acuífero con especial énfasis en la concentración de As.

AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en un área rural próxima a la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires (38°21'54" S, 60°14'39" O) (Figura 1). Se encuentra en la Pampa interserrana, ubicada entre las Sierras de Tandilia y Ventania. En la zona de estudio, los estudios hidrogeológicos de detalle son escasos (Weinzettel et al. 2005). A continuación, se sintetiza la columna estratigráfica: posee un basamento hidrogeológico de rocas sedimentarias paleozoicas a 150 - 200 m de profundidad. En discordancia angular, se presenta una sucesión sedimentaria de edad Cenozoico: "El Rojo" (Mioceno inferior), "El Verde" (Mioceno superior), sedimentos Pampeanos (Mio-Plioceno) y Pospampeanos (Pleistoceno). Estas dos últimas, se estimaron en 120 m de espesor en la zona de estudio mediante SEV (Weinzettel y Varni, 2007). Están formadas por loess arenoso culminado por niveles de calcretas llamadas "toscas" y sedimentos loessicos (Zárate y Tripaldi, 2012). El agua subterránea del área rural de la ciudad de Tres Arroyos es del tipo Na-HCO₃ y localmente del tipo Na-mixta (Cl-SO₄) con HCO₃ en zonas de descarga local vinculadas al Primer y Segundo brazo del Arroyo Tres Arroyos (Weinzettel et al., 2005).

METODOLOGIA

Mediante un censo previo en la zona de interés, se seleccionó la zona con mayores contenidos de As ($234 \mu\text{g/L}$), para caracterizar el acuífero Pampeano. Se caracterizó el sitio seleccionado a partir de una perforación de estudio (PE6) de 70 metros de profundidad perforada mediante percusión, sin inyección ni aditivos (Figura 1). Se recuperó, a cada metro de avance, muestras de testigos continuos y sedimentos de perforación, mediante sacatestigo por hincado y sonda, respectivamente. A igual regularidad se tomaron muestras de agua subterránea con un muestreador del tipo bailer, el cual es un dispositivo con una válvula, que permite el paso del agua al descenderlo por el pozo hasta alcanzar la profundidad deseada. Al subirlo se cierra obteniendo agua de la profundidad de interés. Al momento de tomar las muestras de agua, se midió: pH, alcalinidad y conductividad eléctrica (CE). Las muestras para determinación de cationes y metales trazas, fueron filtradas (acetato de celulosa, $0.45 \mu\text{m}$) y preservadas por acidificación con HNO_3 (excepto las alícuotas para aniones).

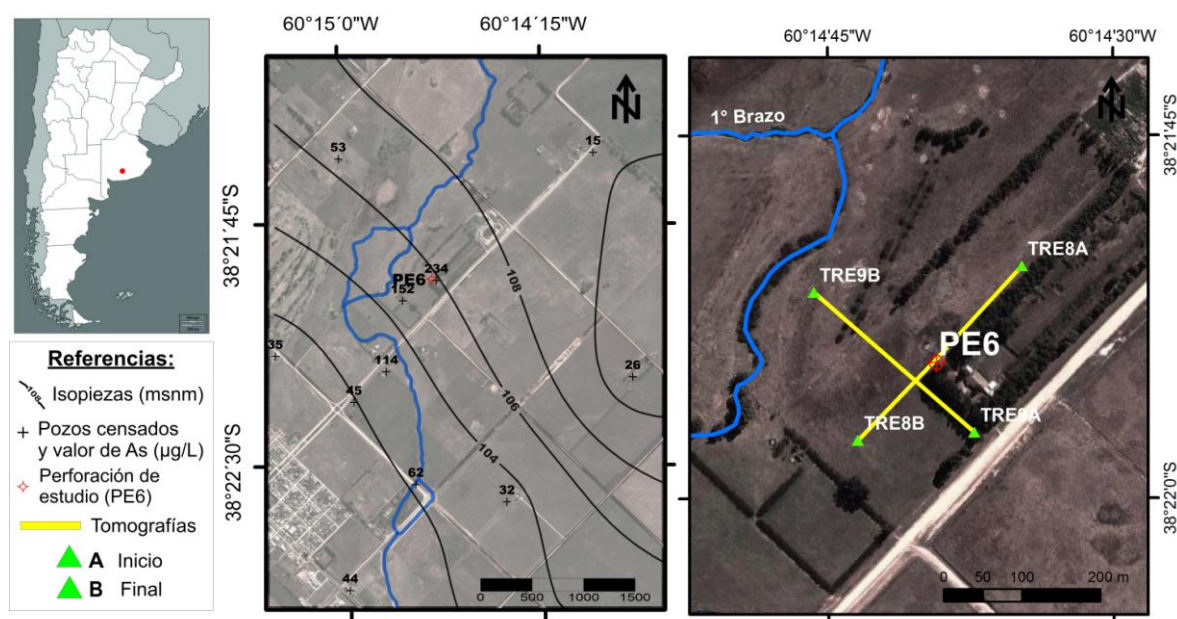


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Isopiezas y contenidos de As en el agua subterránea en la zona de estudio (Izq.). Ubicación de las TRE8, TRE9 y del pozo de estudio (PE6) (Der.).

Al completar la perforación se realizó un perfilaje geofísico con sonda de resistividad normal corta (NC), normal larga (NL), lateral (LAT), potencial espontáneo y resistencia puntual (R) y sonda gamma natural (GN). El perfilaje eléctrico comenzó a los 26 m de profundidad debido a un entubamiento parcial por derrumbe de capas arenosas. El perfilaje GN se realizó luego que el pozo fue entubado. La perforación fue totalmente encamisada en PVC ranurado, realizándose un bombeo a 32 m de profundidad a un caudal de $20 \text{ m}^3/\text{h}$.

De la información de campo se seleccionaron 30 niveles del perfil a partir de la descripción litológica para análisis de laboratorio de las muestras de sedimentos y de agua tomadas con bailer. El agua poral se extrajo de los testigos mediante compresión mecánica en prensa hidráulica. Las muestras de agua fueron analizadas por metodologías estándar (APHA, 2005) y el As por EAA-GH (SM-3114). Sobre los sedimentos de perforación se determinó: granulometría por conteo láser, el carbono inorgánico por pérdida por ignición (LOI 950°C), mineralogía por difracción de rayos X (DRX) y el contenido de metales trazas por ICP-MS (digestión en agua regia, ACME Lab.). Posteriormente se realizó un relevamiento de superficie de dos TRE (TRE8 y TRE9) perpendiculares entre sí, conteniendo a la perforación (TRE8, X: 135m). Se utilizó un equipo AGI SuperSting R1 con 56 electrodos espaciados 5 m en el terreno, obteniéndose perfiles de 275 m de longitud. Se

utilizó la configuración electrodo Dipolo-Dipolo, con una profundidad de investigación de 65 m. La inversión se realizó con el software EarthImager 2D (Advanced Geosciences, Inc., 2005), con corrección por topografía relevada con GPS diferencial. Con los datos de CE y litología de la perforación, se realizó una parametrización de las resistividades medidas con el perfilaje eléctrico y la TRE. Esto permitió obtener un mejor ajuste entre las capas acuíferas y las resistividades medidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los sedimentos

De la descripción del perfil litológico y de los análisis se observa que los sedimentos poseen características loésicas similares a otros depósitos de la región (Zárate y Tripaldi, 2012), con alternancia de niveles de tosca y presencia de patinas de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn (Smedley et al., 2005). Granulométricamente predominan arenas limosas con escasa arcilla (máximo 11%). Sin embargo, el método por conteo laser, podría subestimar el porcentaje de arcilla (Eshel et al., 2004). Por otro lado, en los análisis de DRX se observa un progresivo aumento de los argilominerales (roca total) y una diferenciación notable del tipo a los 31 m (fracción arcilla) (Figura 2). Por encima predominan las illitas e interestratificados illita-esmectita (I-IS) y por debajo las esmectitas, con probable aumento en la capacidad de intercambio iónica de los sedimentos. En cuanto a los análisis químicos es notable el incremento en el contenido de Fe y Mn en los sedimentos por debajo del límite de 31 m (Figura 2). El contenido de As es bajo comparado a otros trabajos de la región (Blanco et al., 2012). A partir de la litología, mineralogía y contenido de Fe y Mn es posible diferenciar dos secciones, separadas por un límite transicional a los 31 m.

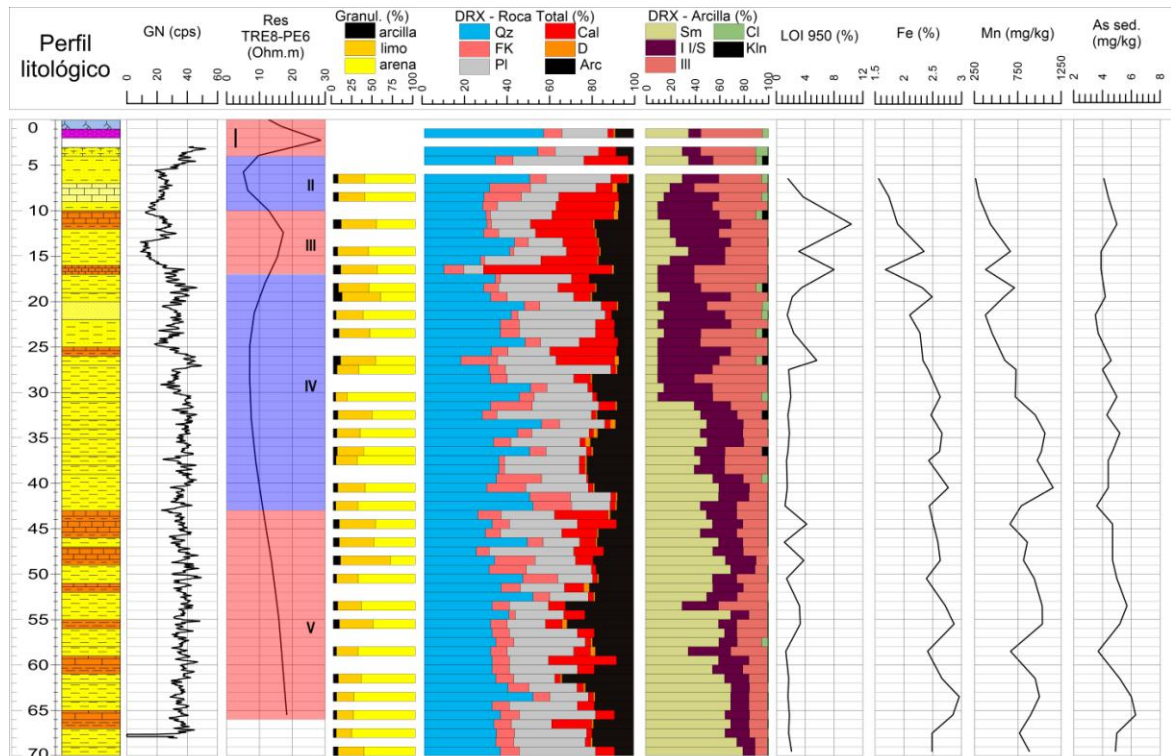


Figura 2. Perfil litológico y curvas de GN, perfil de resistividad de la TRE8 para la ubicación del pozo PE6. Análisis de sedimentos: granulometría, DRX roca total y fracción arcilla, LOI 950°C, contenidos de Fe, Mn y As.

La sección superior está formada por arenas limosas calcíticas de color castaño claro. Está formada por cuarzo y variables cantidades de feldspatos alcalinos y calcita (LOI 950°C). Con predominio de calcita pulverulenta, niveles de tosca (17 y 25 m) y

argilominerales del tipo illitas e I-IS. En cuanto al contenido de Fe y Mn, presentan los valores más bajos (2.5 % y 730 mg/kg, respectivamente). De la misma forma, el contenido de As es bajo (3.5 a 5 mg/kg). En cambio, la sección inferior presenta arenas limosas de color castaño rojizo con alternancia de niveles delgados de argilominerales entre los 31 y 43 m y numerosos niveles de tosca entre los 45 y 67 m, definiendo dos subsecciones (Sierra et al., 2016). Sin embargo, en ambas subsecciones predominan las esmectitas sobre las illitas e I-IS y poseen mayores contenidos de Fe (hasta 3%), Mn (hasta 1160 mg/kg) y As (3.6 a 6.3 mg/kg), respecto de la sección superior. Estos contenidos son atribuibles al mayor contenido de patinas de óxidos e hidróxidos secundarios de Fe y Mn, que junto con las esmectitas son minerales capaces de retener As susceptible de ser movilizado fácilmente al agua (Smedley et al., 2005).

Caracterización hidroquímica

Se utilizaron las muestras tomadas con muestreador tipo bailer para una caracterización general del acuífero, ya que tienen un registro completo (Figura 3). Poseen aguas con pH neutro a alcalino (7,6 – 8), y es posible diferenciar dos tipos hidroquímicos con un límite a los 20 m aproximadamente. La sección superior posee aguas del tipo Cl-Na con alta CE (4500 a 7400 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con HCO_3 variable (540 a 1030 mg/L). Mientras que la sección inferior presenta aguas de menor CE (3700 a 4700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) del tipo mixtas (Cl- SO_4) con menor contenido de HCO_3 (650 a 700 mg/L). No se conoce la causa de esta fuente de salinidad superficial, pero podría deberse a causas litológicas, descarga local y concentración de sales por evapotranspiración.

Las muestras de agua poral permiten respaldar la diferenciación anterior, aunque llegan hasta los 36 m. Presentan diferencias en los valores de CE, pero la tendencia decreciente hacia abajo se mantiene hasta los 20 m, a partir de donde se hacen constantes (2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) hasta finalizar el registro. Los máximos valores de CE del muestreador (7500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y del agua poral (12500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) se encuentran en torno al nivel freático (4,50 m), por lo que indicarían una posible fuente de solutos asociada a la zona no saturada (Figura 3).

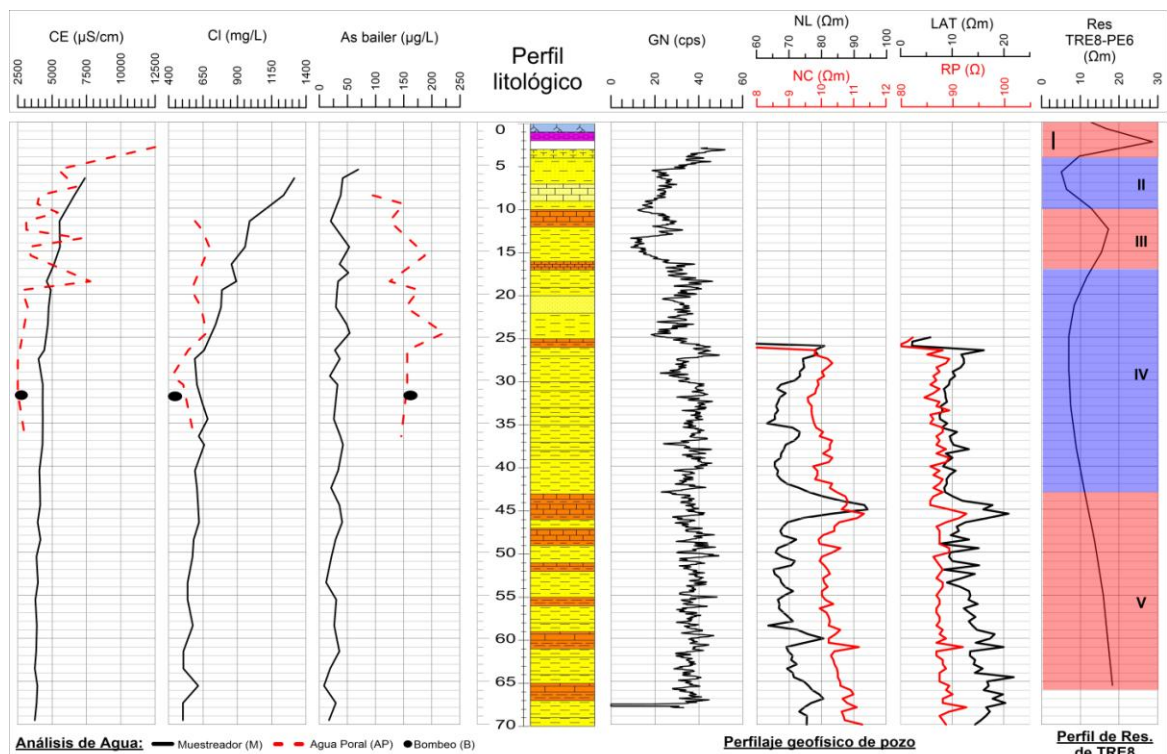


Figura 3. Perfiles de variables hidroquímicas de las muestras de bailer, agua poral y bombeo (Izq.). Perfil litológico, perfilaje geofísico y perfil de resistividad tomado de la TRE8 (Der.).

En cuanto a los contenidos de As, la sección superior presenta valores altos (20 a 70 $\mu\text{g/L}$), comparado a la sección inferior (8 a 40 $\mu\text{g/L}$). Mientras que las muestras de agua poral poseen mayores valores (100 a 225 $\mu\text{g/L}$) y el bombeo a 32 m informó un valor de 160 $\mu\text{g/L}$. Estos mayores contenidos de As podrían estar relacionados con valores de pH elevados del agua poral (7,8 a 9,2) y del bombeo (8,3); así como elevados valores de HCO_3 informados por el bailer. Smedley et al. (2005) indican que valores altos de pH (>8) y elevados contenidos de HCO_3 (>500 mg/L) favorecerían la desorción de los iones arseniatos de la superficie de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, en las condiciones oxidantes predominantes en los acuíferos de la región (Smedley et al., 2005).

TRE y perfilaje de pozo

A partir de las TRE y del perfilaje geofísico fue posible reconocer cinco capas (I a V), diferenciando la zona no saturada (capa I) y cuatro capas acuíferas (capas II a V) indicadas en las TRE8 y 9 de la Figura 4. Complementariamente se representa el perfil de resistividades verdaderas de la TRE8 (X: 135 m) en las figuras de análisis de sedimentos (Figura 2) y de agua (Figura 3). Las capas I, II y III, no tienen registro de perfilaje eléctrico, pero los valores de resistividad eléctrica de la TRE8 se relacionan muy bien con el perfilaje de GN y de la CE de las muestras de agua. Se describen las capas en base a la TRE8.

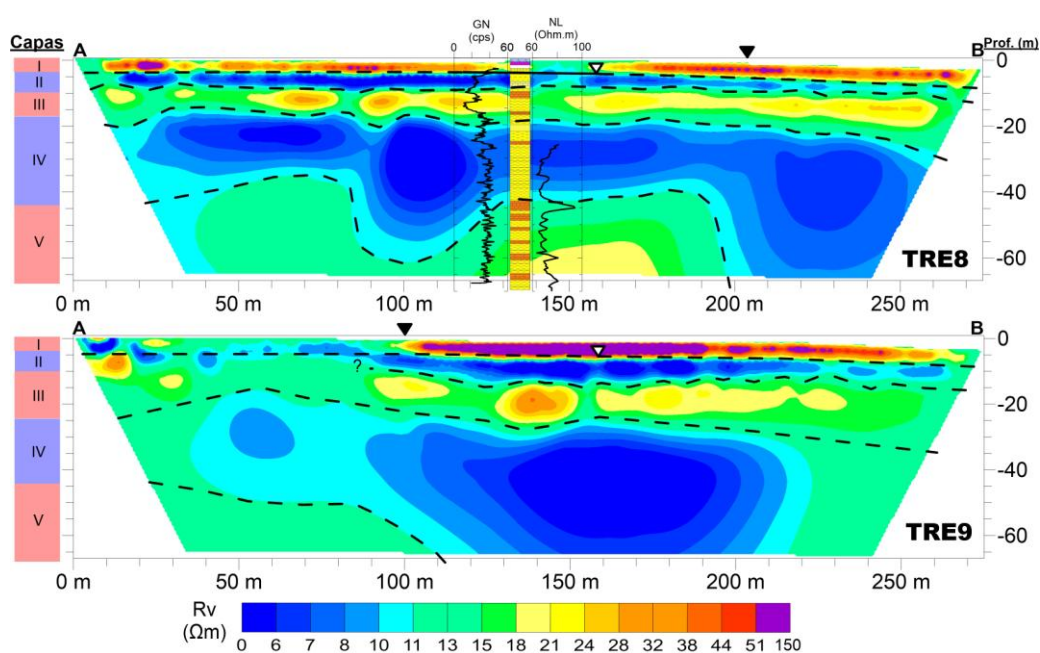


Figura 4. Tomografías de resistividad eléctrica (TRE8 y TRE9), ver su ubicación relativa en Figura 1, inicio (A), final (B) y ubicación de la intersección entre sí (\downarrow). Se superpone la columna litológica, perfilaje GN y de resistividad NL. Se indica la posición del nivel freático (\downarrow) y los límites de las capas I a V y de la perforación de estudio.

La capa I se ubica desde la superficie hasta el nivel freático y presenta las mayores resistividades del perfil (10-30 $\Omega\text{ m}$), lateralmente esta zona alcanza los 150 $\Omega\text{ m}$. Se encuentra formado por arenas limosas con argilominerales esmectíticos (Figura 2). El único dato disponible de agua es un valor muy elevado de CE de los 4 - 5 m (12500 $\mu\text{S/cm}$), que explicaría los valores relativamente bajos de resistividad eléctrica. La capa II entre los 4,5 y 10 m de profundidad presenta las resistividades más bajas medidas en la TRE8 (5-10 $\Omega\text{ m}$) y valores intermedios de GN (20-30 cps). Esas resistividades bajas se relacionan con las CE más elevadas medidas en las muestras de agua (6000 a 7500 $\mu\text{S/cm}$), asociadas a la posición del nivel freático. La capa III entre los 10 y 17 m presenta resistividades intermedias en la TRE8 (13-17 $\Omega\text{ m}$), con los valores más bajos (10 cps) a intermedios (30 cps) en el perfilaje de GN. Presenta un intervalo de arenas limosas con alto contenido de calcita

diseminada y dos niveles de toscas entre los 10 y 17 m. Presenta valores intermedios de CE en el agua del muestreador (5000 a 5500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Para la TRE8, la capa IV de los 17 a 43 m presenta valores bajos de resistividad eléctrica (7-13 $\Omega\text{ m}$), estas se corresponden con arenas limosas con intercalaciones arcillosas esmectíticas. Estas alternancias se observan en el registro de GN que presenta valores intermedios a máximos (20 a 50 cps). El registro del perfilaje eléctrico inicia dentro de esta capa (26 m) observándose en la resistividad NL el mínimo registrado (65 Ωm) hasta un máximo (95 Ωm) a los 44,5 m y coincidiendo con la tendencia registrada en la TRE8. Es notable el buen registro del perfilaje eléctrico del nivel de tosca reconocido entre los 43 y 46 m que limita las capas IV y V. Esta capa fue muy bien reconocida por los análisis de laboratorio (DRX y LOI 950°C) y por la TRE8. La capa V, entre los 43 y 65 m, presenta resistividades levemente más altas para la TRE8 (13 a 18 $\Omega\text{ m}$) y un registro de GN similar al de la capa IV. Esta capa coincide con arenas limosas con numerosos niveles de tosca hasta los 65 m, siendo registradas en la resistividad NL con valores de 65 y 80 $\Omega\text{ m}$. Los registros de LAT y RP son coherentes con estas capas, y permiten reconocer alternancias de niveles con mayor resolución entre niveles de tosca, arenas limosas con intercalaciones de arcillas (Figura 3). El perfilaje eléctrico en las capas IV y V tiene una buena correspondencia con las litologías observadas y con los valores relativamente constantes de CE en el agua (3500 a 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), siendo posible observar un aumento progresivo de la resistividad eléctrica hasta el final del pozo (Figura 3). En cuanto a la TRE9, tiene muy buena correspondencia con las cinco capas reconocidas en la TRE8 (Figura 5 y 6). Presenta similar distribución de resistividades verdaderas, perdiendo definición en profundidad, por lo que es difícil conocer la extensión de la capa V. Es posible observar la variación en la morfología de las capas III y IV.

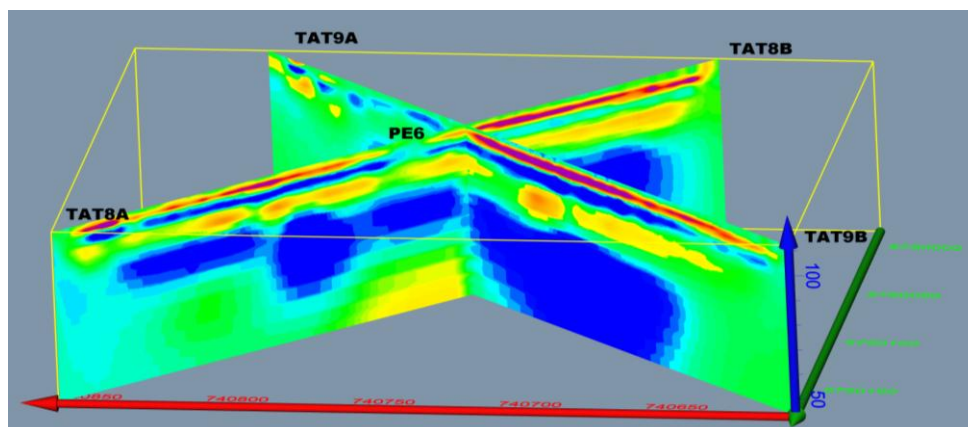


Figura 6. Diagrama en bloque de las tomografías de resistividad eléctrica (TRE8 y TRE9).

CONCLUSIONES

La TRE permitió definir la continuidad de las capas acuíferas y su zonación hidroquímica local. También se pudo reconocer la variación y continuidad lateral de las capas, permitiendo enriquecer la conceptualización del área de estudio.

Fue posible reconocer cinco zonas con contraste de resistividad eléctrica, siendo posible observar la zona no saturada, el nivel freático y cuatro capas hasta los 65 m de profundidad. Estas coinciden con información proveniente del perfil litológico, perfilaje geofísico, análisis de agua y sedimentos de la perforación de estudio.

Es posible reconocer elevados contenidos de As en el agua poral y de bombeo de las capas II, III y parte de la IV, relacionados con altos valores de pH. Mientras que el As en los sedimentos de esta sección presenta menores valores que por debajo de los 31 m de profundidad, coincidiendo con el resto de la capa IV y V. Estas últimas presentan mayores contenidos de Fe, Mn y arcillas del tipo esmectitas. Estas junto con los óxidos secundarios de Fe y Mn son minerales susceptibles de retener As movilizable al agua.

Mediante futuras perforaciones se comprobará la continuidad lateral del modelo geofísico del subsuelo y de los contenidos de As en el acuífero.

AGRADECIMIENTOS

Estudios financiados por el PID 075-2011 a través el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y la ANPCyT. Un especial agradecimiento al Dr. Poiré (CIG) por los análisis de DRX y al personal del IHLLA (Lic. Altolaguirre, Lic. Floriani, Ing. Arias y N. de Líbano).

REFERENCIAS

- APHA**, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. AWWA-WEF, Washington D.C., EEUU.
- Advanced Geosciences, Inc.**, 2009. EarthImager 2D, resistivity and IP inversion software, version 2.4.4.649. Manual de instrucciones. Austin, EEUU.
- Auge, M., Viale, G. E., y Sierra, L.**, 2013. Arsénico en el agua subterránea de la Provincia de Buenos Aires. In VIII Congreso Argentino de Hidrogeología, La Plata, Argentina, Tomo II: 58–63.
- Blanco, M. D. C., Paoloni, J., Morras, H., Fiorentino, C., Sequeira, M. y Amiotti, N.**, 2012. Partition of arsenic in soils sediments and the origin of naturally elevated concentrations in groundwater of the southern pampa region (Argentina). *Environmental Earth Sciences*, 66(7), 2075–2084.
- Baines, D., Smith, D. G., Froese, D. G., Bauman, P., y Nimeck, G.**, 2002. Electrical resistivity ground imaging (ERGI): a new tool for mapping the lithology and geometry of channel-belts and valley-fills. *Sedimentology*, 49(3), 441-449.
- Chandra, S., Ahmed, S., Nagaiah, E., Singh, S. K., y Chandra, P. C.**, 2011. Geophysical exploration for lithological control of arsenic contamination in groundwater in Middle Ganga Plains, India. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(16), 1353-1362.
- Dietrich, S., Weinzettel, P. A., y Varni, M.**, 2014. Infiltration and drainage analysis in a heterogeneous soil by electrical resistivity tomography. *Soil Science Society of America Journal*, 78(4), 1153-1167.
- Eshel, G., Levy, G. J., Mingelgrin, U., y Singer, M. J.**, 2004. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 68(3), 736-743.
- Nath, B., Mallik, S. B., Stüben, D. y Chatterjee, D.**, 2010. Electrical resistivity investigation of the arsenic affected alluvial aquifers in West Bengal, India: usefulness in identifying the areas of low and high groundwater arsenic. *Environmental Earth Sciences*, 60(4), 873-884.
- Nicolli, H. B., Bundschuh, J., Blanco, M. D. C., Tujchneider, O. C., Panarello, H. O., Dapena, C., y Rusansky, J. E.**, 2012. Arsenic and associated trace-elements in groundwater from the Chaco-Pampean plain, Argentina: Results from 100 years of research. *Science of the Total Environment*, 429, 36-56.
- Scanlon, B. R., Nicot, J. P., Reedy, R. C., Kurtzman, D., Mukherjee, A., y Nordstrom, D. K.**, 2009. Elevated naturally occurring arsenic in a semiarid oxidizing system, Southern High Plains aquifer, Texas, USA. *Applied Geochemistry*, 24(11), 2061-2071.
- Sierra, L., Cacciabue, L., Dietrich, S., Weinzettel, P. A., y Bea, S. A.**, 2016. Arsenic in groundwater and sediments in a loessic aquifer, Argentina. En *Arsenic Research and Global Sustainability: Proceedings of the 6° International Congress on Arsenic in the Environment (As2016)*. Estocolmo, Suecia, CRC Press, 92p.
- Smedley, P. L., Kinniburgh, D. G., Macdonald, D. M. J., Nicolli, H. B., Barros, A. J., Tullio, J. O., Pearce, J. M. y Alonso, M. S.**, 2005. Arsenic associations in sediments from the loess aquifer of La Pampa, Argentina. *Applied Geochemistry*, 20(5), 989-1016.
- Weinzettel, P. A., Varni, M. y Usunoff, E.**, 2005. Caracterización hidrogeológica del área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires. En M. Blarasin, A. Cabrera y Matteoda E. Editores, *Actas IV Congreso Argentino de Hidrogeología*, Río Cuarto, Córdoba, Argentina, 171-180.
- Weinzettel, P. A. y Varni, M.**, 2007. Aporte al conocimiento del subsuelo de la cuenca del arroyo Claromecó, provincia de Buenos Aires. En: C. Sosa, J. Ainchil Editores, *Taller de Geofísica Aplicada a la Hidrogeología*; *Actas V Congreso Argentino de Hidrogeología*, Paraná. 13-23.
- Zárate, M. y Tripaldi, A.**, 2012. The aeolian system of central Argentina. *Aeolian Research*, 3(4), 401-417.