

Aplicación de tomografías de resistividad eléctrica para la caracterización del subsuelo en un ambiente de cabecera de cuenca hidrográfica

Application of electrical resistivity tomography to characterise the subsurface in a headwater hydrographic basin

Camila A Gregorini^{1,2}, Magalí Fornés^{1,2}, M Soledad Gualde^{1,2}, Greta R Hiriart^{1,3}, Sebastián Kuntz^{1,2}, M Julia Arrouy^{1,2}, M Guadalupe Ares^{1,2,4}

Resumen La tomografía de resistividad eléctrica (TRE) es una técnica geofísica multielectrónica de prospección que permite determinar variabilidades litológicas estructurales e identificar la presencia de agua en subsuelo. El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis geológico preliminar del subsuelo en un ambiente de cabecera de una cuenca hidrográfica, caracterizando rasgos morfológicos, profundidad y geometría del basamento, espesor de la secuencia sedimentaria y la distribución del acuífero. Se realizaron tres tomografías (TRE1, TRE2 y TRE3) en el sector medio/bajo de una microcuenca, implementando el mayor espaciamiento interelectrónico en dos de ellas. Se identificaron de base a techo tres zonas caracterizadas por diferentes niveles de resistividad. La primera zona comprende valores de resistividad entre 188 y 500 $\Omega\cdot m$. La segunda zona, valores entre 188 y 60 $\Omega\cdot m$, mientras que la tercera zona muestra valores menores a 60 $\Omega\cdot m$. El análisis de tomografías de resistividad eléctrica permitió identificar el basamento a una profundidad entre 10 y 20 m. Se detectó un espesor significativo de alteración del basamento ("Gruss") que varía entre 5 y 20 m y una secuencia sedimentaria cenozoica de hasta 6 m de espesor. Por último, se identificó una formación acuífera con continuidad variable de 5 m de espesor en promedio. Esta metodología permitió establecer la irregularidad del techo del basamento e inferir de manera aproximada la posición de las principales fracturas. Estas características del subsuelo se asocian a la presencia de manantiales en la región.

Palabras clave Geoeléctrica, basamento, Gruss, acuífero, dominio Serrano.

Abstract *Electrical resistivity tomography (ERT) is a multi-electrode geophysical prospecting technique that allows the determination of lithological and structural variability and the identification of the presence of water in the subsurface. The aim of this work is to carry out a preliminary geological analysis of the subsurface in the headwaters of a river drainage basin, characterizing the morphological features, depth and geometry of the basement, thickness of the sedimentary sequence, and distribution of the aquifer. Three tomographies (TRE1, TRE2, and TRE3) were performed in the middle/lower section of a micro-basin, implementing the largest inter-electrode spacing in two of them. Three zones characterized by different resistivity levels were identified from the base to the top. The first zone comprised resistivity values between 188 and 500 $\Omega\cdot m$. The second zone is between 188 and 60 $\Omega\cdot m$, whereas the third zone shows values lower than 60 $\Omega\cdot m$. The electrical resistivity tomography analysis allowed the identification of the basement at depths between 10 and 20 m. A significant thickness of basement alteration ("Gruss"), varying between 5 and 20 m, and a cenozoic sedimentary sequence up to 6 m thick were detected. Finally, an aquifer formation with an average continuity of 5 m thickness was identified. The methodology enabled the identification of irregularities in the basement top and provided an approximate location of the primary fractures. These subsurface features are linked to the occurrence of springs in the area.*

Keywords *Geoelectrics, basement, Gruss, aquifer, mountain ranges domain.*

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina. Email: cgregorini@ihlla.org.ar

² Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo J Usunoff" (IHLLA), Azul, Buenos Aires, Argentina.

³ Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), Buenos Aires, Argentina.

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

INTRODUCCIÓN

La tomografía de resistividad eléctrica (TRE) es una técnica geofísica multielectrónica de prospección que permite determinar variabilidades litológicas estructurales e identificar la presencia de agua en subsuelo (Ruffo et al., 2022). A partir de la inyección artificial de corriente eléctrica, se determinan los contrastes de resistividad entre los distintos materiales de manera lateral y en profundidad, generando así un modelo bidimensional (Loke, 2021).

El área de estudio se ubica en el centro de la provincia de Buenos Aires (Fig. 1-A), en una microcuenca emplazada en la zona de cabecera de la cuenca del arroyo Del Azul (Gregorini et al., 2022). Geológicamente, el área de estudio se enmarca al N-NO de la unidad morfoestructural del sistema de Tandilia (Cingolani, 2005). Desde el punto de vista geomorfológico, se sitúa en la unidad Dominio Serrano (Zárate & Mehl, 2010), representada principalmente por afloramientos ígneo-metamórficos del Complejo Buenos Aires (Marchesse & Di Paola, 1975) y secuencias sedimentarias del Cenozoico tardío (Zárate & Mehl, 2010). La microcuenca tiene una extensión de 566 ha y se encuentra bajo uso agropecuario (Fig. 1-B). El paisaje presenta una dinámica propia de sectores de cabecera de cuenca con desarrollo de humedales de altura que constituyen las nacientes del arroyo Videla (Gregorini et al., 2022). En lo que respecta a los parámetros topográficos, las alturas máxima y mínima de los cerros alcanzan los 288 y 231 m.s.n.m., respectivamente, con una pendiente media de 2.8 %.

El objetivo de este trabajo consiste en realizar un análisis geológico preliminar del subsuelo mediante la implementación de tomografías de resistividad eléctrica parametrizadas a partir de la descripción litológica de dos perforaciones. Para llevarlo a cabo, se propone la caracterización de los rasgos geológicos del subsuelo, incluyendo la profundidad y geometría del basamento, el espesor de la secuencia sedimentaria y la distribución del acuífero. Este trabajo se enmarca en el estudio del medio físico de la microcuenca con el fin de profundizar en el conocimiento de la estructura del sistema y la relación entre la geología del subsuelo, el paisaje y la conectividad hidrológica entre el agua superficial y el agua subterránea.

METODOLOGÍA

Se realizaron tres tomografías en la zona media/baja de la microcuenca (Fig. 1-B) mediante un resistímetro modelo Supersting R1/IP (Advanced Geosciences Inc., AGI). El mismo cuenta con 112 electrodos con un espaciamiento interelectrónico máximo de 5 m, el cual permite abarcar una distancia horizontal de hasta 555 m por transecta relevada y una profundidad máxima de investigación de aproximadamente 120 m. Para este caso, se ha optado por aplicar el máximo espaciado interelectrónico disponible, utilizando el arreglo multielectrodo de Dipolo-Dipolo, debido a la alta resolución espacial requerida para este trabajo. Los datos obtenidos en campo fueron procesados utilizando el software EarthImager 1D, 2D y 3D (Advanced Geosciences Inc., AGI). Este procesamiento permite generar una imagen de resistividad eléctrica (IRE). La primera tomografía de resistividad eléctrica (TRE 1) se realizó en dirección NO-SE atravesando el arroyo Videla. Posee una apertura de 550 m de longitud y aproximadamente 30 m de profundidad (Fig. 1-B). De forma paralela, sobre el humedal, se encuentra la segunda tomografía de resistividad eléctrica (TRE 2) con una apertura de 275 m y una profundidad de 50 m (Fig. 1-B). Hacia al sur, la tercera transecta de tomografía de resistividad eléctrica (TRE 3) cuenta con la misma apertura y profundidad que la tomografía TRE 1 y se encuentra en dirección E-O atravesando de manera perpendicular el tramo superior del arroyo (Fig. 1-B).

Se realizó la parametrización de la tomografía TRE 1 a través de la descripción litológica de dos perforaciones P1 y P2 (Fig-1-B) aledañas a la transecta.

Por último, y para una mejor visualización de los resultados, se realizó una representación en 3D contemplando la topografía empleando el software ParaView desarrollado por Kitware (Fig. 1-C).

RESULTADOS

Al analizar las tomografías TRE1, TRE2 y TRE3, se identificaron de base a techo tres zonas caracterizadas por diferentes niveles de resistividad reflejadas por la escala de colores (Fig. 1-C y D). La primera zona abarca un rango de resistividad más elevado con valores oscilando entre 188 y 500 $\Omega\cdot\text{m}$. La segunda zona de rango intermedio tiene una resistividad comprendida entre 188 y 60 $\Omega\cdot\text{m}$, mientras que la tercera zona muestra la menor resistividad, con valores menores a 60 $\Omega\cdot\text{m}$.

La primera zona se atribuye al basamento cristalino fracturado, el cual se encuentra a una profundidad que varía entre 10 y 20 m, siendo ésta mayor en las tomografías TRE2 y TRE 3. Se observa que, en la parte superior, el basamento exhibe una morfología irregular. Además, en la TRE1 y TRE3 se evidencian posibles fracturas de inclinación subvertical.

La segunda zona corresponde a un nivel de alteración del basamento (“Gruss”) (Poiré & Spalletti, 2005). Esta zona muestra un desarrollo variable de espesor, entre los 5 m y 20 m aproximadamente según la posición en el perfil.

La tercera zona, se asocia a la secuencia sedimentaria del Cenozoico tardío, la cual muestra un desarrollo limitado con sectores de hasta 6 m de espesor, tapizando la topografía preexistente. Se identifica un espesor saturado de agua dulce de 5 m en promedio, con continuidad variable, asignable a una formación acuífera. En la TRE3 se destaca un espesor saturado más significativo, encontrándose a mayor profundidad hacia el oeste.

La primera zona se atribuye al basamento cristalino fracturado, el cual se encuentra a una profundidad que varía entre 10 y 20 m, siendo ésta mayor en las tomografías TRE2 y TRE 3. Se observa que, en la parte superior, el basamento exhibe una morfología irregular. Además, en la TRE1 y TRE3 se evidencian posibles fracturas de inclinación subvertical.

La segunda zona corresponde a un nivel de alteración del basamento (“Gruss”) (Poiré & Spalletti, 2005). Esta zona muestra un desarrollo variable de espesor, entre los 5 m y 20 m aproximadamente según la posición en el perfil.

La tercera zona, se asocia a la secuencia sedimentaria del Cenozoico tardío, la cual muestra un desarrollo limitado con sectores de hasta 6 m de espesor, tapizando la topografía preexistente. Se identifica un espesor saturado de agua dulce de 5 m en promedio, con continuidad variable, asignable a una formación acuífera. En la TRE3 se destaca un espesor saturado más significativo, encontrándose a mayor profundidad hacia el oeste. En las perforaciones (P1 y P2) se alcanzó una profundidad de 1.5 m, debido a la presencia de la roca. Se identificaron estratos de sedimento, suelo y el nivel freático próximo a la superficie. En el área de las perforaciones se observan afloramientos de roca aislados, donde el agua emerge de manera natural como manantiales.

En las perforaciones (P1 y P2) se alcanzó una profundidad de 1.5 m, debido a la presencia de la roca. Se identificaron estratos de sedimento, suelo y el nivel freático próximo a la superficie. En el área de las perforaciones se observan afloramientos de roca aislados, donde el agua emerge de manera natural como manantiales.

CONCLUSIONES

La implementación del máximo espaciado interelectródico permitió identificar el basamento a una profundidad entre 10 y 20 m, un importante nivel de alteración (“Gruss”) que varía entre 5 y 20 m, una secuencia sedimentaria cenozoica de hasta 6 m de espesor y una formación acuífera de 5 m promedio. En particular, esta metodología permitió establecer la irregularidad del techo del basamento debida a la alteración e inferir de manera aproximada la posición de las principales fracturas. Estas fracturas, junto a los abundantes niveles de “Gruss”, se asocian a los manantiales presentes en la región. Los manantiales alimentan los humedales de cabecera de cuenca y el arroyo, siendo este

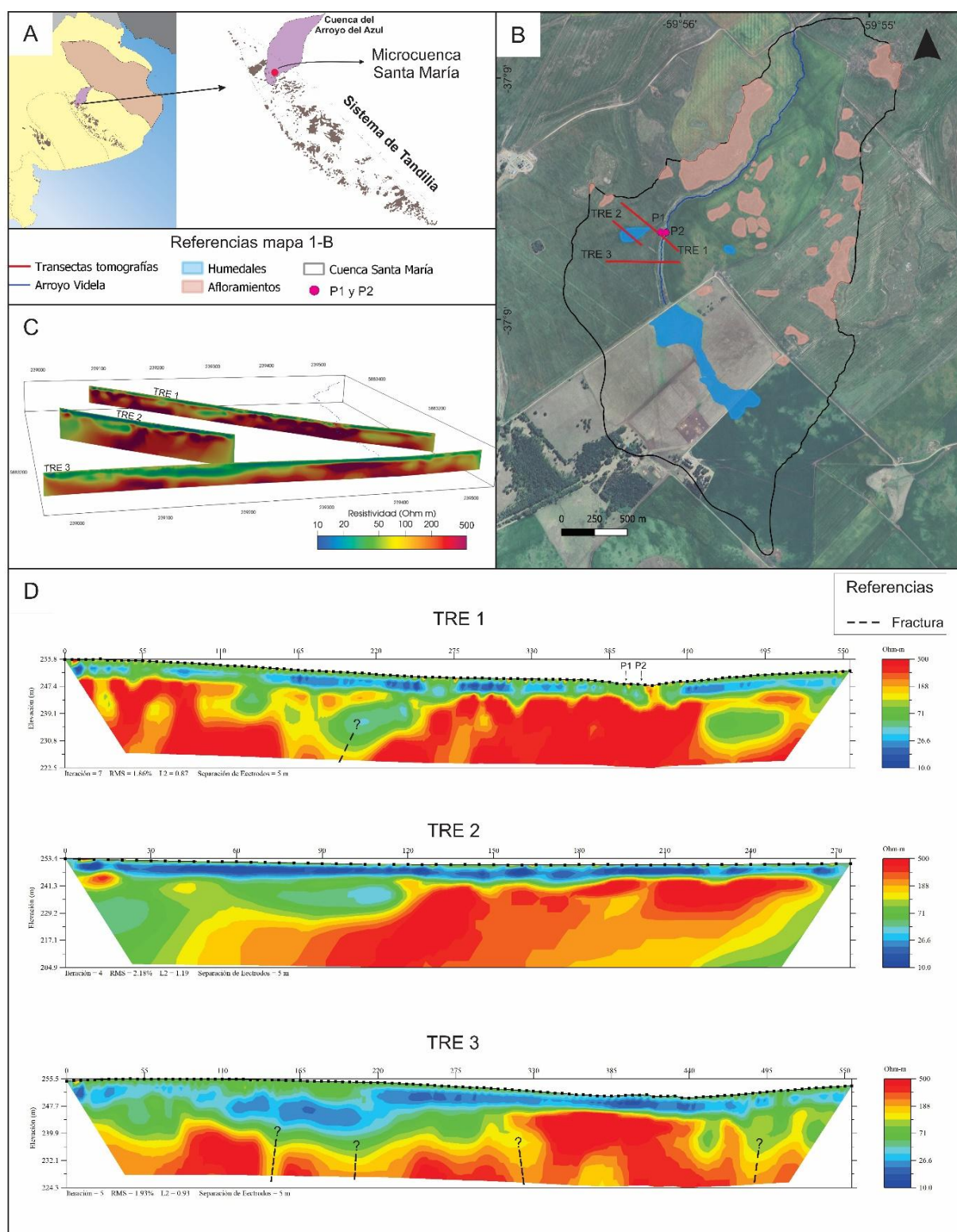


Figura 1. A) Mapa de ubicación del área de estudio (modificado de Gualde et al. 2024). B) Mapa de la microcuenca en estudio donde se puede observar las transectas de las tomografías de resistividad eléctrica realizadas y la ubicación de las perforaciones. C) Modelo 3D de las tomografías TRE 1, TRE 2 y TRE 3. D) Tomografías TRE1, TRE2 y TRE3 en modelo 2D.

último de régimen permanente debido precisamente al aporte subterráneo.

Se propone continuar investigando en las características del subsuelo, con una mayor densidad de tomografías de resistividad eléctrica. Esto permitirá una mejor interpretación estructural, la relación

entre la geología y la geomorfología/paisaje, y su vínculo con el movimiento de flujos de agua verticales. En trabajos futuros, las fracturas en el basamento serán validadas con un análisis en superficie.

Agradecimientos Este trabajo fue financiado por la ANPCyT mediante el Proyecto PICT Serie A 03652.

REFERENCIAS

- Cingolani, C. A.** (2005). Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires. *XVI Congreso Geológico Argentino*.
- Gregorini, C. A., Ares, M. G., Chagas, C., Arrouy, M. J., Moris, D., & Aispún, Y.** (2022). Caracterización preliminar geomorfológica y pedológica de una microcuenca agropecuaria. *XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*.
- Loke, M. H.** (2021). *Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys*. Advanced Geosciences Inc.
- Marchesse, H. G. & Di Paola, E.** (1975). Miogeosinclinal Tandil. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30(2), 161–179.
- Poiré, D. G. & Spalletti, L. A.** (2005). *La cubierta sedimentaria precámbrica/paleozoica inferior del Sistema de Tandilia*.
- Ruffo, A. G., Reyes, M., Albouy, R., Giorgini, J. D., Carrica, L., & Bastianelli, N.** (2022). Tomografía de resistividad eléctrica aplicada a la prospección de agua subterránea en un sector costero del sudoeste bonaerense, Argentina. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 49, 29–35.
- Zárate, M. & Mehl, A.** (2010). *Geología y geomorfología de la Cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina*, 65–78. Editorial Martín.