



Resultados preliminares del estudio de la relación agua superficial-subterránea mediante tomografía sísmica y eléctrica en un curso de agua de la cuenca Martín-Carnaval, La Plata

S. Lissa¹, S. Perdomo^{1,2}, E. Valeff¹, D. Lorenzo¹, J. Ainchil¹

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP. lissa@fcaglp.unlp.edu.ar ; rusolissa@hotmail.com

² Centro de Investigaciones del Noroeste de la provincia de Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (CITNOBA-CONICET).

Resumen

El conocimiento de la relación agua superficial-subterránea en zonas urbanas constituye una herramienta importante para la toma de decisiones vinculadas a la gestión y el aprovechamiento del recurso hídrico. Los cursos de agua son vulnerables a la contaminación por agroquímicos y por desechos domésticos e industriales en sectores urbanos, que pueden llegar a afectar la calidad química del acuífero freático. Las metodologías convencionales para determinar esta relación requieren de la ejecución de pozos o el relevamiento de perforaciones existentes, cuyo número y distribución condiciona el análisis de los resultados. Además, el estudio de la interacción de un curso de agua con el nivel freático a una escala de detalle resultaría poco práctico y costoso. Por esta razón los métodos geofísicos surgen como una alternativa válida para conseguir información complementaria a una escala de decenas de metros. El objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicabilidad del método sísmico y del método eléctrico para estudiar la relación agua superficial-subterránea en un lugar representativo de un ambiente de llanura, comparando además los resultados de ambos métodos. El curso de agua estudiado es una canalización del arroyo Martín en la cuenca Martín-Carnaval, del Partido de La Plata.

Se decidió aplicar ambos métodos en un perfil de 80 metros en dirección perpendicular al curso de agua. En el caso del método sísmico se utilizó un sismógrafo Geode de 24 canales, un martillo como fuente sísmica y geófonos equiespaciados 2 metros. Sobre el mismo perfil para la tomografía eléctrica se utilizaron 32 electrodos de acero inoxidable con un distanciamiento de 2.5 metros. Las interpretaciones de ambos métodos coinciden al encontrar al menos tres capas, la primera de aproximadamente 2 metros de espesor de muy baja velocidad (200 m/s) y resistividad media (10 Ohm m). Luego, se observa hasta los 10 metros de profundidad un capa de velocidad mayor (800 m/s) y dentro de ella dos zonas con resistividades distintas, una superior de 4 a 8 metros de profundidad con resistividades de aproximadamente 5 Ohm m y una zona inferior con resistividades de aproximadamente 12 Ohm m. La base alcanzada con la tomografía sísmica se ubica en torno de los 12 metros coincidiendo con el tope de una capa que presenta una velocidad de 1400 m/s. El análisis de las propiedades físicas inferidas mediante la inversión permitió definir el comportamiento del curso de agua, que presentaría un carácter efluente en el sector analizado.

Palabras clave: tomografía sísmica, tomografía de resistividad eléctrica, agua superficial-subterránea.

Introducción

Durante los últimos años el uso de técnicas geofísicas de prospección somera ha ido en aumento (Revil et al., 2012), debido a que brindan información indirecta del subsuelo de modo no invasivo, en forma relativamente rápida y a un bajo costo en comparación con la realización de perforaciones u otras técnicas intrusivas. Como resultado se obtienen estimaciones de parámetros físicos de los sedimentos del subsuelo que permiten identificar cambios en la litología, el grado de compactación y conocer su geometría (Sharma, 1997). En particular, mediante el análisis de refracciones sísmicas obtenemos velocidades de transmisión de ondas y mediante sondeos eléctricos obtenemos resistividades del medio subyacente.



Figura 1. Imagen satelital regional y ampliada de la zona de trabajo

El objetivo de este trabajo es valorizar el uso de estos métodos de manera complementaria para la caracterización del subsuelo en un sector del partido de La Plata, próximo a un curso de agua canalizado (Fig. 1). Se espera poder inferir la interacción entre el curso de agua y el nivel freático en la zona.

Materiales y métodos

Para la registración sísmica se utilizó un sismógrafo Geode de 24 canales, con un geófono vertical para cada canal. Los receptores se dispusieron con una separación de 2 metros en un total de 48 estaciones y las fuentes se ubicaron entre los geófonos, también con una distancia de 2 metros entre cada una. Se registraron un total de 47 puntos de tiro dentro del tendido y uno en cada extremo, efectuando en cada posición la suma de 3 golpes de martillo sobre una placa de aluminio.

El procesamiento de los perfiles de refracción consiste en el picado de los primeros arribos de todas las trazas. Dichos tiempos, se corresponden con el tiempo de viaje de la onda directa y las sucesivas ondas refractadas con ángulo crítico en las capas del subsuelo. Se utilizó el software PlotRefra para invertir los datos en un proceso tomográfico iterativo que divide el subsuelo en celdas cuadradas de 2 metros de ancho por 2 metros de alto y mediante trazado de rayos ajusta el modelo a las observaciones (Jones 2010).

La adquisición de datos geoelectricos se efectuó con un arreglo dipolo-dipolo, utilizando 32 electrodos de acero inoxidable conectados a través de un cable multipolar al resistímetro de corriente continua, con una separación mínima de 2.5m.

El procesamiento se realizó con el programa RES2DINV de Geotomo (Loke, 2004), que utiliza los datos observados para generar un modelo inicial, y de manera iterativa modificar las resistividades hasta que la respuesta calculada se aproxime a las mediciones con una cierta precisión dada por un error medio cuadrático. El cálculo de las resistividades aparentes que genera el modelo propuesto se describe en forma pormenorizada en Dey y Morrison (1979) y la rutina de inversión está basada en el método de mínimos cuadrados con suavizado forzado (Loke, 2004).

Resultados y discusión

Los modelos de resistividad eléctrica y velocidad de propagación, muestran que los cambios en las propiedades físicas del subsuelo ocurren a profundidades similares, pudiendo reconocer al menos tres capas de diferentes características (Fig. 2). Una primera capa delgada de aproximadamente 2 metros de espesor presenta velocidades V_p cercanas a 200 m/s, y resistividades del orden de 15 Ohm m. Por debajo, se distingue una capa de aproximadamente 8 metros de espesor con velocidad V_p del orden de 800 m/s y resistividades de 5 a 7 Ohm m. La última capa presenta velocidades V_p de aproximadamente 1400 m/s y resistividades en aumento respecto de las anteriores (10-15 Ohm m). En ambos modelos se asume un espesor infinito

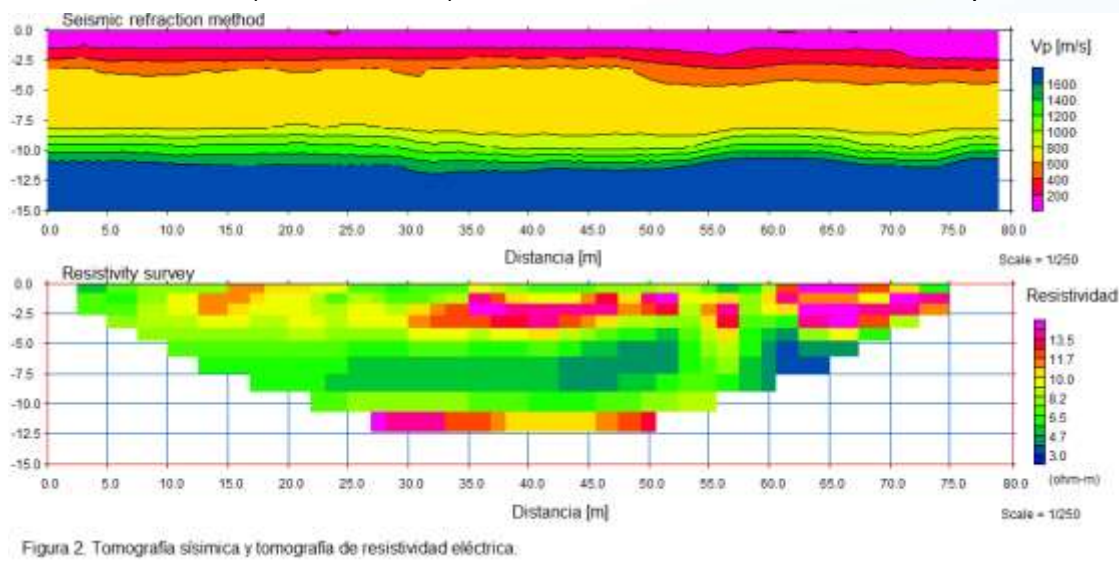


Figura 2. Tomografía sísmica y tomografía de resistividad eléctrica.

para la última capa.

El análisis conjunto de los modelos permite además observar un cambio en el gradiente de velocidad según la resistividad de la capa. Puede verse que las zonas más resistivas (10-15 Ohm m) coinciden con una transición más abrupta de V_p , y por el contrario las zonas menos resistivas (5-7 Ohm m) presentan una transición V_p más suave (Fig. 3).

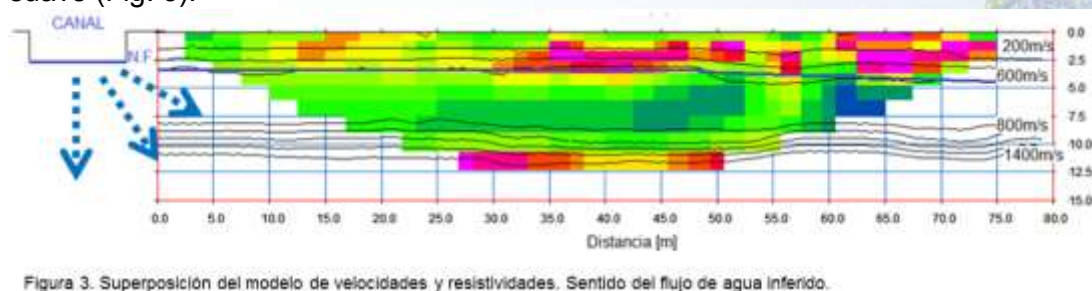


Figura 3. Superposición del modelo de velocidades y resistividades. Sentido del flujo de agua inferido.

Kirsch (2006) manifiesta que el nivel freático produce un aumento brusco de V_p . En general, se observa que la velocidad de los sedimentos no saturados aumenta hasta tres veces su valor en presencia de agua. Esto es lo que se observa entre los 2 y 4m de profundidad en el perfil estudiado, y que además concuerda con los registros de nivel freático para una perforación próxima (Ruiz de Galarreta et al., 1997). Estos resultados nos permiten inferir que la zona no saturada presenta una V_p de 200m/s y



una resistividad superior a los 10 Ohm m. El nivel freático se manifiesta como un brusco aumento de la velocidad y un descenso de la resistividad. A partir de los modelos propuestos se estima que el nivel freático se encuentra a los 4m de profundidad aproximadamente, lo que confirmaría que el curso de agua se comporta como efluente en la sección estudiada ya que el nivel del curso de agua del arroyo se encontraba a 2.5 metros por debajo del nivel del terreno al momento de realizar el sondeo (Fig. 3).

Conclusiones

En este trabajo se propuso evaluar la aplicabilidad de dos métodos geofísicos para estudiar la relación agua superficial-subterránea en un lugar representativo de un ambiente de llanura. Se midió una tomografía sísmica y una tomografía de resistividad eléctrica en una canalización del arroyo Martín en la cuenca Martín-Carnaval, del Partido de La Plata.

Los modelos obtenidos con ambos métodos coinciden al encontrar al menos tres capas, la primera de aproximadamente 3 metros de espesor de muy baja velocidad (200 m/s) y resistividad media (10-15 Ohm m). Luego, se observa hasta los 10 metros de profundidad una capa de velocidad mayor (800 m/s) y dentro de ella dos zonas con resistividades distintas. Una superior de 4 a 8 metros de profundidad con resistividades de 5 Ohm m y una inferior de 12 Ohm m. La última capa alcanzada se ubica próxima a los 12 metros y presenta una V_p de 1400 m/s y una resistividad de 10-15 Ohm m.

La interpretación de ambos modelos permitiría definir el comportamiento del curso de agua, que presentaría un carácter efluente en el sector analizado. El nivel freático se manifiesta como un aumento brusco en la velocidad de propagación en relación a la zona no saturada.

El análisis integral de estos dos métodos permite caracterizar las capas que integran el subsuelo, y ayuda a hacer una interpretación más precisa cuando no se cuenta con información de otros métodos intrusivos como los cateos o las perforaciones.

Referencias

- Dey, A., H. F. Morrison (1979). Resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting* (27), pp. 106-136.
- Jones, Ian F.. Velocity estimation via ray-based tomography. *First break volume 28*, February 2010.
- Kirshc, R. (2006). *Groundwater Geophysics. A tool for hydrogeology*. Springer Berlin Heidelberg New York. ISBN 10 3-540-29383-3, 493p.
- Loke, M. H. (2004). Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys. 128p. (disponible en: <http://www.geotomosoft.com/coursenote.zip>).
- Revil, A., M. Karaoulis, T. Johnson, A. Kemna (2012). Review: Some low-frequency electrical methods for subsurface characterization and monitoring in hydrogeology. *Hydrogeology Journal* (20), pp. 617-658.
- Ruiz de Galarreta, V. A., M. Hernández, N. González (1997). Hidrodinámica de la zona no saturada en el Parque Ecológico, Municipalidad de La Plata, Pcia. De Buenos



Aires, Argentina. Actas del III Seminario Hispano-Argentino sobre temas actuales de hidrología subterránea, pp. 49-60.

Sharma, P. V. (1997). Environmental and engineering geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.