

# SISMICA DE REFRACCION Y SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES PARA ESTIMAR LA PROFUNDIDAD DEL BASAMENTO HIDROGEOLOGICO EN TANDIL (BUENOS AIRES)

Santiago Perdomo\*; Marcos Wocca\*\*, Simón Lissa\*, Martín Vázquez\*

\* Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Paseo del Bosque s/n (B1900), La Plata, Buenos Aires, Argentina (perdomo.geofisica@gmail.com)

\*\* BW S.R.L. Calle 491 3138 (B1897), Gonnet, Buenos Aires, Argentina.

## Resumen

Los métodos geofísicos son mediciones indirectas que resultan adecuados para identificar contrastes de alguna propiedad física que puedan presentar las distintas formaciones presentes en el área de estudio. Estos contrastes pueden indicar cambio de litología, presencia de agua subterránea o cambios en las condiciones hidroquímicas del agua. El objetivo de este trabajo es valorar la combinación de geoeléctrica y refracción sísmica para reducir la ambigüedad en la determinación de la profundidad del basamento hidrogeológico en la zona de Tandil, Provincia de Buenos Aires. Se ha realizado una inversión iterativa entre ambos métodos para conseguir un modelo geofísico que se ajuste a la litología descrita en los antecedentes. Los modelos de resistividad propuestos en este trabajo permiten correlacionar una electrocapa de resistividad de 10 a 20  $\Omega\text{m}$ , que sería atribuible sedimentos tipo limo arcilloso con arena subordinada y que contiene al acuífero freático/zona saturada. Esta capa posee un espesor variable de 30 a 40 m en todos los SEV realizados. El modelo de velocidad de propagación de onda sísmica muestra que estos sedimentos presentarían bajas velocidades (menor a 1050 m/s) y un espesor próximo a los 30 m. La última electrocapa de todos los modelos presenta muy alta resistividad (1500  $\Omega\text{m}$ ) y velocidad sísmica superior a los 6000 m/s, estas dos propiedades estarían indicando que se trata de un basamento muy consolidado a una profundidad aproximada de 50 m. Finalmente, la perforación propuesta ha confirmado basamento consolidado a los 49 m de profundidad.

**Palabras Claves:** GEOFISICA, SISMICA, SEV, ACUIFERO FREATICO

## Abstract

Geophysical methods are indirect measurements that are suitable for identifying contrasts in physical properties of the subsurface. These contrasts may indicate a change in lithology, the presence of groundwater or changes in the hydrochemical conditions of the groundwater. The objective of this work is to evaluate the combination of geoelectrical and seismic refraction to reduce the ambiguity to estimate the depth of the hydrogeological basement in Tandil (Buenos Aires). An iterative inversion has been carried out between both methods to achieve a geophysical model for the lithology described for the area. The resistivity models proposed in this work allow us to correlate a resistivity electrolayer of 10 to 20  $\Omega\text{m}$ , which would be attributable to clayey silt type sediments with subordinate sand and containing the phreatic aquifer/saturated zone. This layer has a variable thickness of 30 to 40 m in all the VES carried out. The seismic wave propagation velocity model shows that these sediments would have low velocities (less than 1050 m/s) and a thickness close to 30 m. The last electrolayer of all the models presents very high resistivity (1500  $\Omega\text{m}$ ) and seismic velocity greater than 6000 m/s, these two properties would indicate that it is a very consolidated basement (hard rock at depth) at an approximate depth of 50m. The proposed drilling in the study area has reached consolidated basement at 49 m depth.

**Keywords:** GEOPHYSICS, SEISMIC, VES, PHREATIC AQUIFER

## INTRODUCCIÓN

Se ha realizado un estudio de exploración hidrogeológica con la finalidad de ubicar perforaciones que pudieran caracterizar el acuífero en un predio cercano a la ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires.

Resulta sumamente complicado ubicar zonas aptas para la captación de agua subterránea en este ambiente de sierras, debido a que la productividad de los pozos se encuentra asociada al espesor saturado y a la conductividad hidráulica del acuífero. En general, las líneas de flujo subterráneo indican un movimiento del agua hacia zonas topográficamente deprimidas (valles, cañadas y lagunas) pero es en estos sitios, especialmente en los dos primeros, donde se encuentra la roca aflorando o se emplaza a poca profundidad. Por ello normalmente el éxito se basa en ubicar roca meteorizada o cubierta por sedimentos con más de 10 m de espesor.

En esta zona, la profundidad del nivel freático es variable, en los bajos en ocasiones se encuentra muy cercana a la superficie, mientras que en las lomadas puede hallarse a decenas de metros de profundidad. Es en este sentido donde la exploración del espesor de los sedimentos mediante técnicas geofísicas reviste particular importancia (Weinzettel y Varni, 2007; Weinzettel et al. 2011, Calvetty Amboni y Bianchi, 2016; Lissa et al. 2017). El objetivo de este trabajo es aplicar y valorar la combinación del método geoelectrico y la refracción sísmica para reducir la ambigüedad en la determinación de la profundidad del basamento hidrogeológico, y realizar una estimación más confiable del espesor de la cubierta sedimentaria.

### Área de estudio

El área de estudio se ubica 15 Km en dirección SE de la localidad de Tandil, Provincia de Buenos Aires (Figura 1), desde el punto de vista hidrogeológico, la zona se encuentra en la Región Serrana.



Figura 1. Ubicación del área de estudio (recuadro azul) próxima a la ciudad de Tandil, en la Provincia de Buenos Aires.

En este ambiente se incluyen a las unidades orográficas de Tandilia y Ventania, que constituyen los únicos sistemas montañosos de la Provincia y ocupan sólo el 5% de su superficie. La descripción de los sedimentos es una síntesis de los trabajos de González (2005), en el cual se señalan las siguientes características.

- Sedimentos postpampeanos y reciente: Esta unidad se caracteriza por su discontinuidad areal y está integrada por limos arenosos de origen eólico que se adosan a los faldeos serranos de Tandilia y de Ventania. En las depresiones (valles) predominan depósitos aluviales y coluviales, derivados de la acción fluvial y gravitacional respectivamente. Los sedimentos eólicos, que pertenecen a la Formación Junín (Platense eólico), normalmente no superan 5 m de espesor y suelen presentar niveles calcáreos (tosca). Los depósitos aluviales y coluviales (limos arenosos, arenas, gravas y bloques), tienen una expresión areal y vertical más reducida. El conjunto se comporta como pobremente acuífero, contiene a la capa freática y presenta salinidad de moderada a baja (3,5 a 0,5 g/l); su empleo se restringe al ámbito rural.

- Sedimentos Pampeanos: típicamente compuesto por limos-arenosos calcáreos y loess, que ocupa las depresiones interserranas, conformando el sustrato de los Sedimentos Postpampeanos. El espesor del Pampeano en el Ambiente Serrano (de Tandil) varía entre 0 y 30 m, se comporta como acuífero de moderado rendimiento, contiene a la capa freática y normalmente agua con menor salinidad que la del Postpampeano (0,5 - 2,5 g/l). Se lo utiliza para la provisión de algunas localidades de pocos habitantes y en la zona rural, para el abastecimiento doméstico y ganadero.

- Basamento hidrogeológico: Está constituido por rocas que presentan las mismas características litológicas que las que forman los cuerpos serranos (granitoides, cuarcitas, calizas, dolomitas y arcilitas). Conforman un medio discontinuo, anisótropo y heterogéneo con agua en fisuras (porosidad secundaria) y productividad de nula a muy baja. Compone el zócalo impermeable sobre el que se asientan las unidades hidrogeológicas con porosidad primaria. En Tandil se encuentra aflorando en superficie.

Tabla 1. Síntesis del sistema hidrogeológico para el ambiente serrano (modificado de Auge, 2004).

Litología	Comportamiento hidrogeológico	Espesor
Limos arenosos y arcillosos	Probablemente acuífero	0 - 5
Limos arenosos calcáreos (loess)	Acuífero libre	0-30
Cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas y calizas. Esquistos, gneises, mármol, milonitas	Acuífugo	

## MATERIALES Y METODOS

Los métodos geofísicos son mediciones indirectas que resultan adecuados para identificar contrastes de alguna propiedad física que puedan presentar las distintas formaciones presentes en el área de estudio. De acuerdo a su naturaleza, estos contrastes pueden indicar cambio de litología, presencia de agua subterránea o cambios en las condiciones hidroquímicas del agua almacenada en el medio subterráneo. Para reducir la ambigüedad de los métodos geofísicos se utiliza una combinación de dos técnicas diferentes: la geoelectrica y la refracción sísmica (Figura 2).

El método geoelectrico consiste en la inyección de corriente continua y la medición del potencial eléctrico producido (Orellana, 1982), para identificar contrastes de resistividad en profundidad (1D). Se midieron 6 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) con un arreglo Schlumberger de 200 m de separación máxima entre los electrodos de corriente. El procesamiento de los datos se realizó mediante el programa de inversión SEVs (Perdomo y Nigro, 2015).

El método de refracción sísmica registra los arribos de una onda generada con una fuente sísmica (martillo) en sensores (geófonos). Con esta información es posible reconocer las velocidades de propagación de las ondas sísmicas del subsuelo y la geometría de las formaciones. Las ondas generadas por los impactos viajan a través del medio y los tiempos de viaje dependen de la distancia entre fuente-receptor y los parámetros físicos como la

elasticidad y la densidad del medio (Sharma, 1997). Los receptores se dispusieron con una separación de 5 m en un total de 24 estaciones y las fuentes se ubicaron en los extremos de cada perfil. En cada posición se efectuó la suma de 5 golpes de martillo sobre una placa de aluminio, para garantizar una buena relación señal - ruido.



Figura 2. Instrumental utilizado en la adquisición de datos geoelectricos y sísmicos.

Para realizar la interpretación de los perfiles sísmicos se utiliza el paquete de programas de Refracción Sísmica Seislmager, de Geometrics. Este software permite realizar las lecturas de los sismogramas, para luego iniciar el procesamiento de la información. Con este software se estiman las velocidades de los estratos mediante técnicas de mínimos cuadrados, luego usa el método de tiempo de retardo para estimar las profundidades, el programa ajusta las profundidades de cada estrato por efecto de la superficie topográfica; este proceso se hace en forma iterativa hasta encontrar el modelo que se ajuste a las características geológicas.

## RESULTADOS

Al momento de realizar la prospección geofísica no se cuenta con un informe detallado de las características de las unidades hidrogeológicas o litología existente en la zona puntual de trabajo, por esta razón se propone una asignación hidrogeológica en función de los rangos de resistividad y antecedentes de zonas próximas. Sin embargo, se toma como referencia la presencia de un molino próximo al SEV 6 donde se midió la profundidad del nivel de agua a 20.7 metros bajo nivel del terreno (m.b.n.t), la conductividad eléctrica in situ fue de 0,69 mS/cm (correspondiéndose con agua dulce), el pH igual a 8.1 (levemente alcalino).

### Sector 1

El modelo de resistividades propuesto para el SEV 6 tiene un error de ajuste de 3.7%, que se considera aceptable para las mediciones experimentales. En la figura 3, se muestra la curva de campo, los parámetros del modelo (profundidad y resistividad “verdadera”) y la curva calculada. En este modelo se presenta una primera capa de 3 m de espesor aproximadamente y una resistividad de 75  $\Omega$ m. Por debajo se observan dos electrocapa de 40 y 30  $\Omega$ m que se desarrollan hasta los 22 m de profundidad, que coinciden con la profundidad del nivel freático. La siguiente electrocapa presenta una resistividad de 10  $\Omega$ m atribuible al acuífero freático con un espesor aproximado de 30 m. Por último, la base del modelo está representada por un electrocapa de muy alta resistividad que se correspondería con la roca del basamento (1500  $\Omega$ m) que se desarrolla desde los 52 m de profundidad.

El modelo de velocidad de propagación de onda sísmica consta de 4 capas, la primera de 400 m/s, la segunda de 780 m/s y la tercera de 1050 m/s (Fig. 4). Estas 3 capas estarían representando a los sedimentos. Por último, se observa una capa de alta velocidad

(6150 m/s), que podría atribuirse a roca muy consolidada y que se encontraría a una profundidad de 50 m.

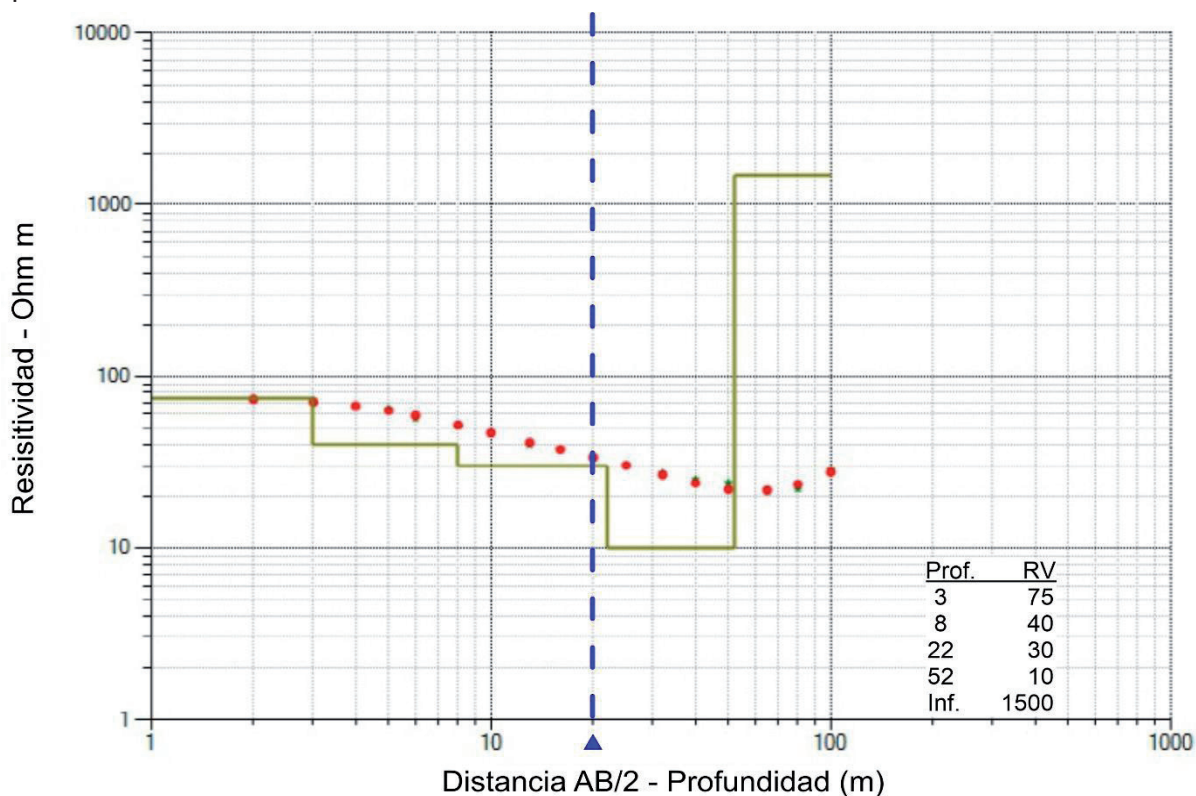


Figura 3. Resistividad aparente de campo (verde), calculada (rojo) y modelo de resistividad verdadera (RV) propuesto para el SEV 6. Con la línea azul se indica la posición del nivel freático.

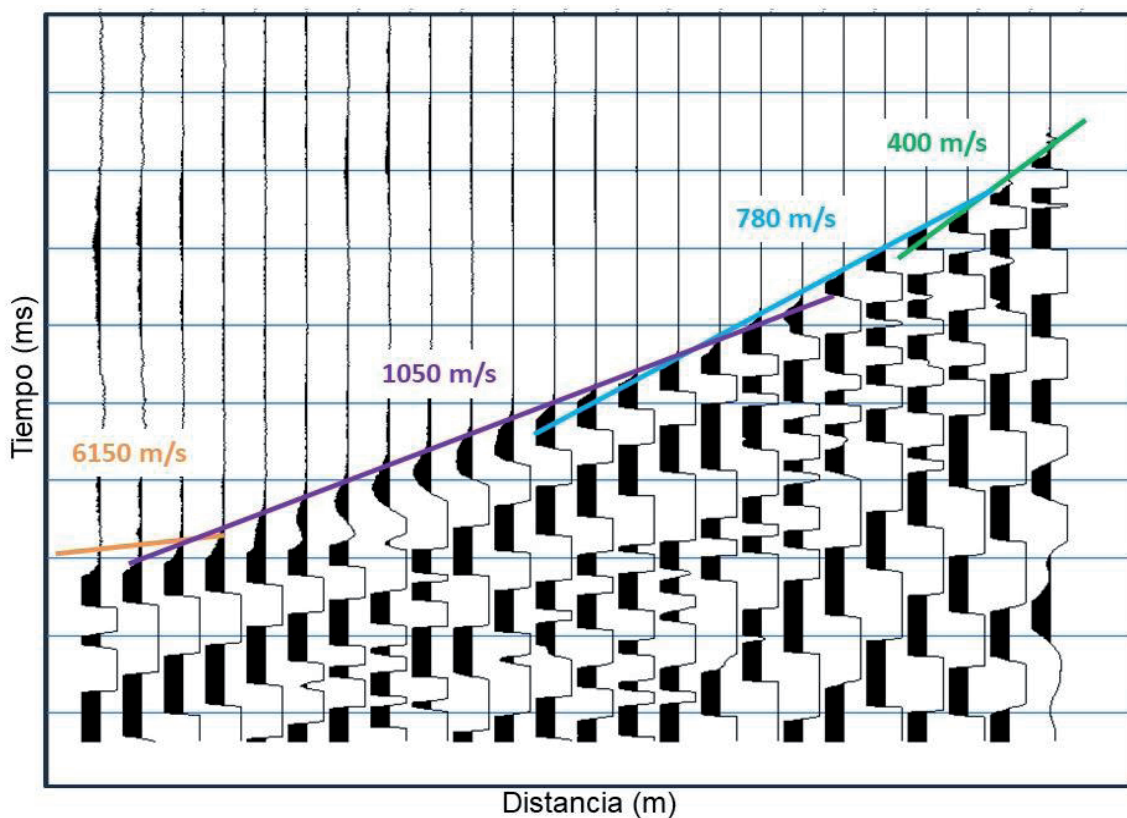


Figura 4. Registro sísmico. Picado de primeros arribos y estimación de la velocidad onda P.

Con los modelos de los demás SEV se confeccionó un perfil para correlacionar capas adyacentes y estudiar una posible variación lateral de cada capa (Fig. 5). También se presenta el modelo de velocidades de propagación estimado a partir de la sismica de refracción.

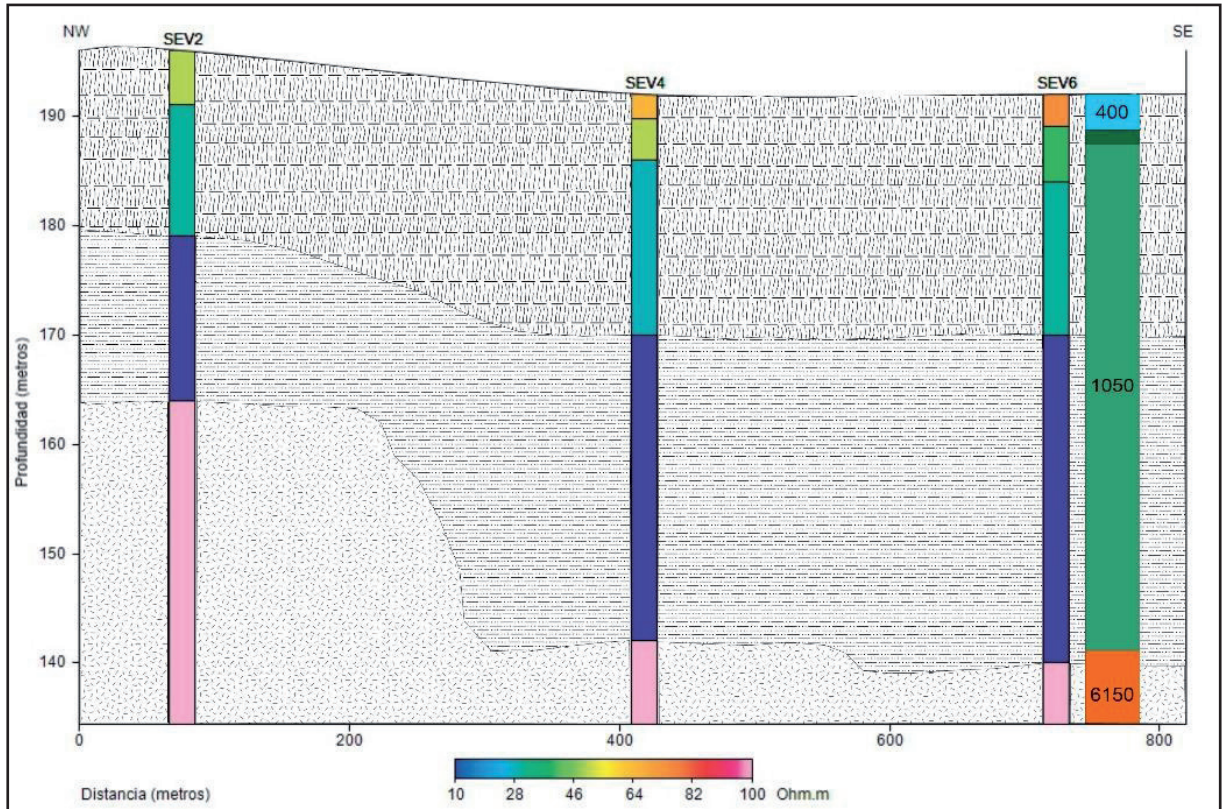


Figura 5. Modelos de resistividad y velocidad sísmica en el pozo de referencia.

Se observa una buena correspondencia en el número de capas y en los valores de resistividad de las mismas para los SEV que integran este perfil. Se observa que en los SEV 4 y 6 la zona acuífera presentaría un espesor similar (30 m aprox.). Hacia el SEV 2, en correspondencia con el alto topográfico, el espesor posiblemente disminuye a 15 m.

## Sector 2

Los sondeos integrados en este perfil se orientan de la misma manera que el perfil del sector 1, en la zona más alta topográficamente se midió el SEV 1 y, el SEV 5 en la parte más baja. Los modelos muestran que la electrocapa de interés identificada en el SEV 6 con una resistividad de  $10 \Omega\text{m}$  se observa en estos tres sondeos (Fig. 6).

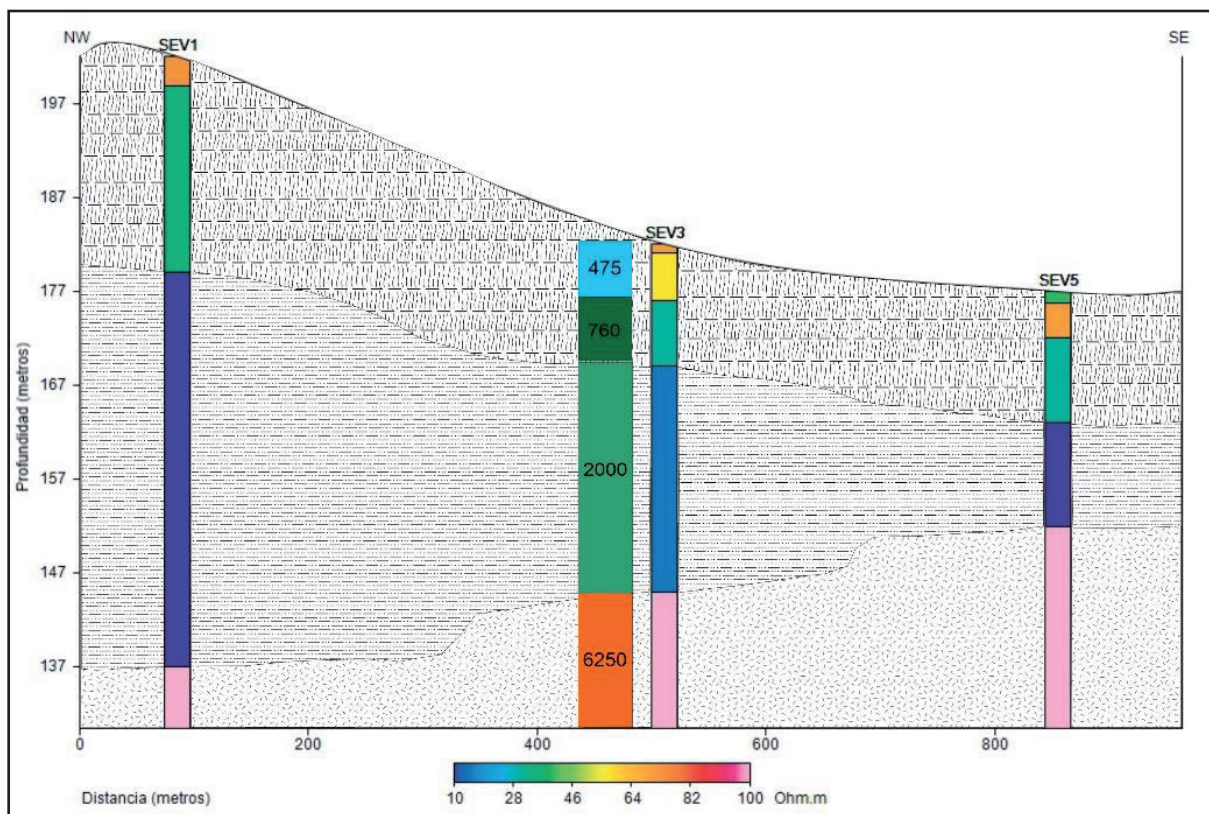


Figura 6. Modelos de resistividad y velocidad sísmica en una zona baja topográficamente.

El mayor espesor se observaría en la zona alta (SEV 1) con un valor de 40 m aproximadamente. En la zona más baja topográficamente, se observa que el basamento resistivo se vuelve más somero, reduciendo el espesor de la electrocapa atribuible al acuífero freático. En el SEV 3 el modelo de velocidades de ondas sísmicas coincide con el modelo geoelectrónico, determinando la profundidad del basamento consolidado a los 37 m.b.n.t. En este sector el acuífero presentaría un espesor de 25 m y de sólo 9 m en el SEV 5.

## CONCLUSIONES

Las interpretaciones efectuadas en el presente estudio se realizaron a partir de estudios geoelectrónicos, mediante la ejecución de SEV y modelos de velocidad de propagación de onda sísmica, tomando como referencia el nivel freático medido en el molino próximo al SEV 6.

Los modelos de resistividad propuestos en este trabajo permiten correlacionar una electrocapa de resistividad de 10 a  $20 \Omega\text{m}$ , que sería atribuible sedimentos tipo limo arcilloso con arena subordinada y que contiene al acuífero freático/zona saturada. Esta capa se ha podido identificar en todos los SEV del área de estudio, con un espesor máximo de 40 m en el SEV 1 y de 30 m en el sector noreste (SEV 4 y 6).

La última electrocapa de todos los modelos presenta muy alta resistividad ( $1500 \Omega\text{m}$ ) y velocidad sísmica superior a los 6000 m/s, estas dos propiedades estarían indicando que se trata de un basamento muy consolidado (roca dura en profundidad).

Con posterioridad a este estudio, se ha realizado una perforación próxima al SEV 4, y se ha confirmado, a través de una comunicación personal, la presencia de basamento consolidado a los 49 m.b.n.t.

Por esta razón la combinación de estos dos métodos geofísicos surge como una alternativa válida para conseguir información complementaria y mejorar la interpretación en sitios con escasa información litológica.

## REFERENCIAS

- Calvetty Amboni, B. y Bianchi E.** (2016). Prospección geoelectrica en la cuenca de Gastre. En: García, R y Blarasin M. (Ed.). *Hidrogeología Regional* (1 ° edición, pp. 45 - 53). Editorial Científica Universitaria.
- González, N.** (2005). *Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. In Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires.* Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino.
- Lissa, S., Perdomo, S., Valeff, E., Lorenzo, D. y Ainchil, J.** (2017). *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.* Resúmenes expandidos XXVIII Reunión Científica AAGG. : EDULP. 2017. p27 - 31.
- Orellana, E.** (1982). *Prospección Geoelectrica en corriente continua (2 ed.)* Paranainfo. Madrid, España.
- Perdomo, S. y Nigro, J.** (2015). *SEVs (Versión 1.0).* Dirección Nacional de Derechos de Autor. Expdte. 5306396.
- Perdomo, S., Späth F. y Kruse E.** (2017). *Exploración gravimétrica y geoelectrica del basamento cristalino en el umbral de Martín García. Partido de La Plata. Buenos Aires.* Actas XX Congreso Geológico Argentino.
- Sharma, P.** (1997). *Environmental and engineering geophysics.* Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Weinzettel, P. y Varni, M.** (2007). *Aportes al conocimiento del subsuelo de la cuenca del arroyo Claromecó, provincia de Buenos Aires.* Taller de Geofísica Aplicada a la Hidrogeología. Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Weinzettel, P. Varni, M. y Dietrich S.** (2011). *Exploración hidrogeológica mediante métodos de resistividad eléctrica en una zona de geología compleja.* VII Congreso Argentino de Hidrogeología.