

## ESTIMACION INICIAL DEL POTENCIAL GEOTÉRMICO SOMERO PARA LA CUENCA DEL RÍO MATANZA-RIACHUELO

<sup>1,2</sup>Alcaraz, Mar, <sup>1</sup>Vives, Luis y <sup>3</sup>Vázquez-Suñé, Enric

<sup>1</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Usunoff". República de Italia, 780. B7300 Azul, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Tel: +54 2281432666. [malcaraz@faa.unicen.edu.ar](mailto:malcaraz@faa.unicen.edu.ar)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET). Av. Rivadavia, 1917. C1066AAJ Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios de Agua (IDAEA-CSIC). C/ Jordi Girona, 18-24. 08023 Barcelona, España.

### Resumen

El crecimiento de la demanda energética supone un reto para los gestores de grandes urbes, como la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Satisfacer esta demanda de forma sostenible con el medio ambiente es el objetivo que demanda la sociedad para este nuevo siglo. La geotermia somera es una energía renovable que empieza a considerarse como alternativa a las fuentes energéticas existentes gracias a sus ventajas. Sin embargo, continúa siendo una gran desconocida. Para salvar este obstáculo inicial y darla a conocer, se ha calculado el potencial geotérmico somero disponible de la cuenca Matanza-Riachuelo, donde se ubica la Ciudad de Buenos Aires. Para su estimación es necesario reproducir el comportamiento del medio subterráneo ante la explotación de este recurso. Para ello se ha resuelto la ecuación de transporte de calor en medio poroso. Los parámetros de entrada necesarios para esta estimación se han obtenido del modelo geológico existente para la cuenca Matanza-Riachuelo así como del modelo numérico del flujo de agua subterránea disponible. Estos parámetros son, principalmente, la velocidad del agua subterránea, los espesores de cada una de las formaciones acuíferas así como los parámetros geotérmicos del terreno (capacidad calorífica volumétrica y conductividad térmica). Como resultados de esta estimación inicial, se han obtenido los mapas de distribución de potencial geotérmico somero para la totalidad de la cuenca Matanza-Riachuelo. Estos mapas constatan la factibilidad de la explotación de este recurso en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, debido a los altos valores de potencial que arrojan, de hasta 10 kW por explotación.

**Palabras clave:** geotermia somera, potencial energético, sonda geotérmica.

### Abstract

The growth in energy demand is a challenge for managers of large cities such as Buenos Aires. Meet this demand in a sustainable manner is the goal demanded by society for this new century. The shallow geothermal energy is a renewable energy that is considered as an alternative to existing energy sources thanks to its advantages. However, it is a great unknown. To overcome this initial barrier and make it known, the available geothermal potential of the Matanza-Riachuelo Basin, where the City of Buenos Aires is located, were calculated. For the estimation of shallow geothermal potential, it is necessary to reproduce the behavior of the underground environment under exploitation of this resource. The heat transport equation in porous media was implemented. The input parameters necessary for this estimate were obtained from the existing geological model for the Matanza-Riachuelo Basin and the hydrogeological numerical model available. These parameters are mainly the groundwater velocity, the thickness of each hydrogeological formations and geothermal ground parameters (volumetric heat capacity and thermal conductivity). As a result of this initial estimate, maps of shallow geothermal potential were obtained for the entire Matanza-Riachuelo Basin. These maps reflect the feasibility of the exploitation of this resource in the City of Buenos Aires, thanks to the high geothermal potential values calculated, up to 10 kW.

**Keywords:** shallow geothermal energy, geothermal potential, borehole heat exchanger.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

La geotermia somera es la energía que se encuentra disponible en el subsuelo, hasta los 400 m de profundidad, para intercambiar con el exterior, de forma que el medio subterráneo se convierte en fuente o sumidero de energía. También recibe el nombre de geotermia de baja entalpía (GBE) en contraposición a la geotermia de alta entalpía, o geotermia profunda, mucho más conocida y extendida.

Uno de los métodos de explotación de geotermia somera requiere de una perforación que suele llegar hasta los 100-200 m de profundidad, en la que se introduce una sonda por donde circula el líquido refrigerante (estructura conocida como sonda geotérmica) y que trabajan como intercambiadores de calor. Una vez que este fluido ha recorrido la sonda geotérmica, a lo largo de la cual ha disipado o absorbido calor, se dirige hacia una bomba de calor que forma parte de la instalación.

Esta energía renovable cuenta con numerosas ventajas frente al resto de las energías renovables (Soni et al., 2015): es ubicua e independiente de las condiciones climáticas; es la que menores impactos ambientales genera; tiene los valores de eficiencia energética más altos; y por último, su producción es descentralizada y localizada en el punto de consumo. Su principal desventaja radica en los altos costes de la instalación inicial, cuya amortización necesitaría de un máximo de 10 años según el contexto económico del lugar de su aplicación.

Debido a sus características, la geotermia somera se postula como una candidata factible a la hora de satisfacer la demanda energética para climatización en grandes ciudades como Buenos Aires. Sin embargo, actualmente no está siendo promovida por las administraciones competentes ni existe un registro oficial de explotación de este tipo de energía en esta zona, debido al desconocimiento social generalizado.

Ante esta situación, este trabajo está dirigido a promover la explotación de la geotermia somera en la cuenca Matanza-Riachuelo mediante la oferta de una estimación del potencial geotérmico somero de la cuenca, teniendo en cuenta sus propiedades geológicas e hidrogeológicas.

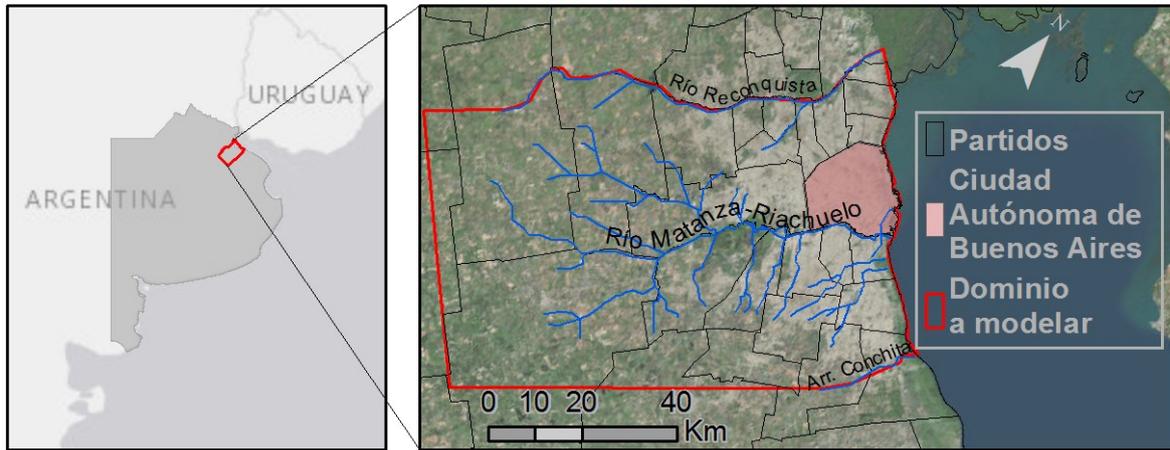
## **DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio abarca un área de 4.500 km<sup>2</sup>, y engloba la cuenca del río Matanza-Riachuelo, sobre la que se asienta la Ciudad Autónoma de Buenos Aires – CABA (Figura 1). Se han conceptualizado un total de cuatro unidades hidrogeológicas en la zona de estudio: el acuífero superficial, correspondiente a la formación Pampeana y Postpampeana y el acuífero profundo, correspondiente a la formación Puelches. Ambos acuíferos están separados por una capa confinante que forma parte de la formación Puelches. Estas unidades se encuentran sobre la formación Paraná. Litológicamente, la formación Pampeana se caracteriza por limos arenosos, mientras que la formación Puelches está constituida principalmente por arenas mal graduadas. La formación Paraná consiste en arcillas, al igual que la capa confinante que separa las dos unidades acuíferas. Una descripción más detallada de la zona de estudio acerca de distintos aspectos –climáticos, hidrológicos, geológicos e hidrogeológicos- puede encontrarse en Zabala et al. (2016).

## **METODOLOGÍA**

### **Consideraciones generales**

A continuación se describen los distintos aspectos de la metodología llevada a cabo para estimar el potencial geotérmico somero para la cuenca Matanza-Riachuelo. Existen diferentes metodologías para estimación del potencial geotérmico a escala regional. Las más numerosas se basan en parámetros empíricos como el calor específico de extracción de cada material geológico, que engloba las distintas características geológicas e hidrogeológicas de cada material (Ondreka et al., 2007; Gemelli et al., 2011; De Filippis et al., 2015).



Service Layer Credits: Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community  
Esri, HERE, DeLorme, MapmyIndia, © OpenStreetMap contributors, and the GIS user community

Figura 1. Área de estudio y del modelo de flujo (Vives et al., 2013).

Las líneas de desarrollo más avanzadas empiezan a considerar explícitamente los distintos aspectos del comportamiento geológico e hidrogeológico del medio subterráneo. Para ello recurren a soluciones analíticas de la ecuación de transporte de calor en medio poroso, como las presentadas por Diao et al. (2004) y aplicadas en García-Gil et al. (2015) o la expresión ofrecida por Molina-Giraldo et al. (2011) y aplicada en Alcaraz et al. (2016).

La técnica utilizada en este trabajo para estimar el potencial a escala regional se basa en el álgebra de mapas (Alcaraz et al., 2016). Esta técnica trabaja con datos ráster, los cuales discretizan la información espacial en celdas. El álgebra de mapas resuelve la expresión matemática implementada para cada una de estas celdas, de modo que el resultado de la fórmula matemática se almacena también en un archivo ráster.

A continuación se presenta la solución analítica implementada, cuya resolución permite obtener el potencial geotérmico extraíble, así como los datos de entrada necesarios para resolverla en el caso particular de la Cuenca Matanza-Riachuelo.

### Estimación del potencial geotérmico somero

Para obtener una estimación inicial del potencial geotérmico de la cuenca Matanza-Riachuelo se ha resuelto en álgebra de mapas dos expresiones propuestas por Bear (1972) y Molina-Giraldo (2011).

El mecanismo de conducción de calor propuesto por Bear (1972) es sólo conducción, asumiendo que el flujo de aguas subterráneas puede despreciarse en acuitardos:

$$\Delta T(r, t) = - \frac{q_L}{4 \pi \lambda} Ei \left[ \frac{r^2}{4 a t} \right] \quad \text{Ec.1.}$$

donde  $\Delta T$  es el incremento de temperatura producido en el medio,  $[K]$ ,  $q_L$  es el potencial geotérmico,  $[W/m]$ ,  $\lambda$  es la conductividad térmica del medio,  $[W/m/K]$ ,  $r$  es la coordenada radial espacial,  $[m]$ ,  $t$  es el tiempo desde el inicio de la operación,  $[s]$ , y  $a$  es la difusividad térmica del medio,  $[m^2/s]$ .

La siguiente propuesta por Molina-Giraldo (2011), considera, además de la conducción de calor en el medio, la advección y dispersión de calor debido al flujo del agua subterránea:

$$\Delta T(x, y, t) = \frac{q_L}{4 \pi \sqrt{\lambda_x \lambda_y}} \exp \left[ \frac{\rho_w c_w q x}{2 \lambda_x} \right] \int_0^{\frac{(\rho_w c_w)^2 t}{4 \rho c \lambda_x}} \exp \left[ -\phi - \left( \frac{x^2}{\lambda_x} + \frac{y^2}{\lambda_y} \right) \frac{(\rho_w c_w q)^2}{16 \lambda_x \phi} \right] \frac{d\phi}{\phi} \quad \text{Ec. 2.}$$

donde  $\Delta T$  es el incremento de temperatura producido en el medio,  $[K]$ ,  $q_L$  es el potencial geotérmico,  $[W/m]$ ,  $\lambda_x$ - $\lambda_y$  es la conductividad térmica efectiva en la dirección longitudinal y transversal,  $[W/m/K]$ ,  $\rho_w c_w$  es la capacidad calorífica volumétrica del agua,  $[J/m^3/K]$ ,  $\rho c$  es la capacidad calorífica volumétrica del medio,  $[J/m^3/K]$ ,  $t$  es el tiempo desde el inicio de la operación,  $[s]$ ,  $x$ - $y$  son las coordenadas espaciales,  $[m]$ ,  $q$  es la velocidad de Darcy,  $[m/s]$  y  $\phi$  es la variable de integración.

Estas expresiones resuelven la ecuación de flujo de calor en medio poroso considerando un modelo de Foco Lineal de Calor en Movimiento (o MILS por sus siglas en inglés, Moving Infinite Line Source Model,). Las hipótesis adoptadas para aplicar estas expresiones son las siguientes:

- la sonda geotérmica se considera como una línea infinita vertical,
- el medio es homogéneo, isótropo y semi-infinito,
- el flujo de calor es constante desde el momento inicial y
- los efectos del contorno de la superficie así como la longitud finita de la sonda geotérmica se desprecian, así que el problema puede tratarse como bidimensional.

Para resolver estas expresiones se han utilizado las herramientas presentadas en Alcaraz et al., (2016), que implementan distintas soluciones analíticas en álgebra de mapas. La metodología propuesta aquí difiere a la presentada en Alcaraz (2016), donde sólo considera conducción y advección a la hora de estimar el potencial geotérmico. En este trabajo se calcula el potencial geotérmico para acuíferos considerando los tres mecanismos de transporte de calor: conducción, advección y dispersión.

Las ecuaciones 1 y 2 permiten obtener el potencial geotérmico para una formación específica representada por un conjunto de parámetros geotérmicos que se supone constante en cada celda del ráster. Este potencial calculado representa los vatios que se obtienen por metro de profundidad. De modo que para obtener el potencial total de una capa hay que multiplicarlo por el espesor de dicha capa. Una vez que se ha calculado el potencial para cada capa, se puede obtener el potencial integrado de todo el conjunto sumando las distintas capas que lo componen (García-Gil et al., 2015).

## Datos de partida

De los modelos geológico e hidrogeológico se han obtenido las siguientes variables que requieren las soluciones analíticas de Bear (1972) y Molina-Giraldo (2011):

- la conductividad térmica del terreno,
- la capacidad calorífica volumétrica,
- los coeficientes de dispersión en las direcciones transversal y longitudinal,
- los espesores de cada formación geológica y
- la velocidad de Darcy de cada unidad hidrogeológica

A partir de las litologías principales de las distintas formaciones geológicas, se han obtenido de bibliografía los parámetros térmicos necesarios para la estimación del potencial geotérmico somero (Schön, 2011): conductividad térmica y capacidad calorífica (Tabla 1). Estos valores se han aplicado a todo el dominio, sin tener en cuenta su variación espacial, de modo que como input se define un valor constante para cada unidad hidrogeológica. La dispersividad térmica se ha considerado constante en todas las unidades acuíferas, e igual a  $\alpha_x = 10m$  y  $\alpha_y = 1m$ .

Las variaciones espaciales de los espesores y de las velocidades de Darcy de cada unidad hidrogeológica se han representado mediante datos de entrada en formato ráster.

El espesor de cada formación perteneciente a las distintas unidades hidrogeológicas necesario para estimar el potencial geotérmico integrado se ha obtenido de estudios previos presentados en Mancino et al. (2013) (Figura 2). Estos espesores representan la profundidad atravesada por una sonda térmica de 100 m.

Tabla 1. Breve descripción litológica y valores de los parámetros hidráulicos térmicos para cada una de las distintas unidades hidrogeológicas conceptualizadas en el área de estudio.

Unidad hidrogeológica	Litología principal	Velocidad de Darcy (m/s)	Conductividad térmica (W/m/K)	Capacidad calorífica volumétrica (kJ/m <sup>3</sup> /K)
Ac. Superior (Pampeano-Postpampeano)	Limos	1.21e-005	2.7	2800
Acuitardo	Arcillas	Despreciable	1.53	850
Ac. Profundo (Puelches)	Arenas	3.21e-005	1.44	2300
Paraná	Arcillas	Despreciable	1.53	850

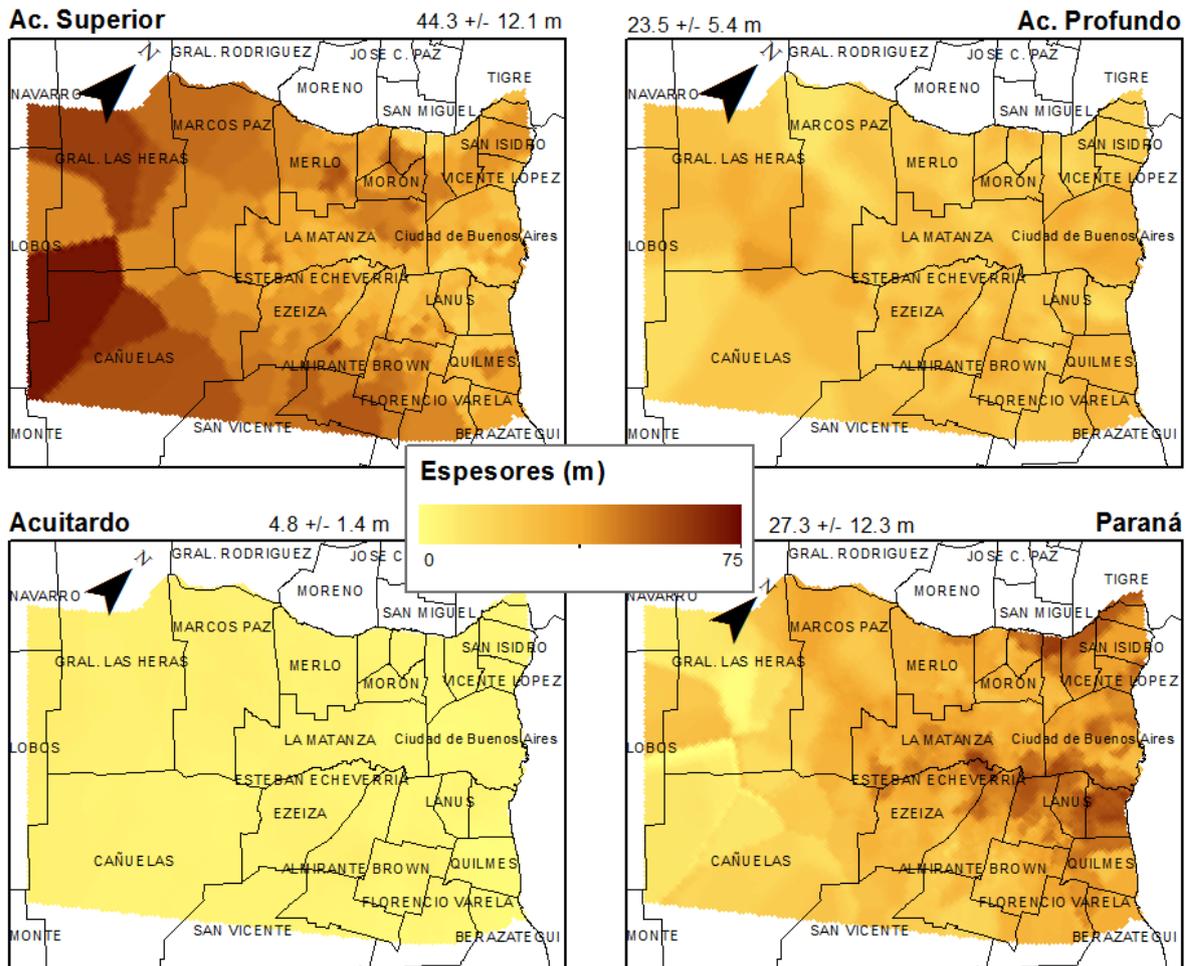


Figura 2. Espesores de las 4 unidades geológicas consideradas y límites administrativos de cada partido. Escala 1:1.000.000.

Las velocidades de Darcy de las dos unidades acuíferas (Pampeano y Puelches) se han obtenido del modelo numérico presentado en Vives et al. (2013). En el caso de los acuitardos, la velocidad de Darcy se considera nula (Figura 3).

## RESULTADOS

Como resultados de la aplicación de la metodología propuesta se obtienen mapas de potencial geotérmico somero por unidad de profundidad para cada unidad hidrogeológica, de potencial geotérmico de cada formación hidrogeológica así como el mapa de potencial integrado para la cuenca Matanza-Riachuelo.

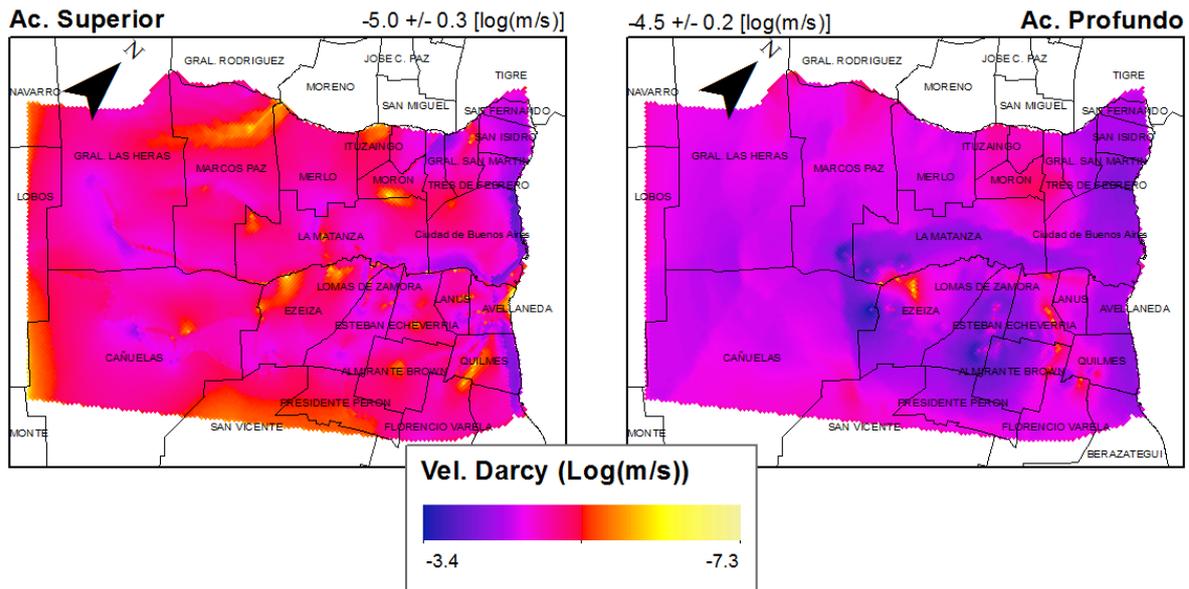


Figura 3. Velocidades de Darcy de las unidades acuíferas superficial y Profunda y límites administrativos de cada partido. Escala 1:1.000.000.

### Potencial geotérmico por unidad de profundidad

Una vez que los datos iniciales están disponibles, el siguiente paso es calcular el potencial geotérmico para cada celda según las ecuaciones 1 y 2. En el caso de los acuitardos, el potencial máximo que puede extraerse según la Ec. 1 es de 5.4 W/m. Las velocidades de Darcy son tan elevadas en las dos formaciones acuíferas que los potenciales calculados con la Ec. 2 exceden en todos los casos el máximo extraíble con la tecnología disponible, así que se ha limitado la extracción a 100 W/m para calcular el potencial geotérmico de cada formación hidrogeológica.

### Potencial geotérmico de cada formación hidrogeológica

Como resultado intermedio se ha obtenido el potencial geotérmico de cada una de las formaciones geológicas descritas (Figura 4). Se han obtenido multiplicando el potencial geotérmico por metro de profundidad por el espesor total de cada formación.

### Potencial geotérmico integrado para la cuenca Matanza-Riachuelo

Una vez que se dispone de los potenciales geotérmicos de cada formación geológica, el potencial integrado representa el potencial geotérmico total que podría extraerse mediante intercambiadores de calor (Figura 5). Se obtiene sumando los potenciales desagregados de cada formación (Figura 4). Este potencial varía según la profundidad de la sonda geotérmica, en este trabajo se presentan los potenciales integrados para sondas geotérmicas con profundidad de 100 m.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta por primera vez el potencial geotérmico somero que puede extraerse de la Cuenca Matanza-Riachuelo y así potenciar la explotación de este recurso energético, ayudando a compensar la matriz energética de esta región, fuertemente desequilibrada. Las formaciones hidrogeológicas con mayor potencial geotérmico son las formaciones Pampeano y Puelches, debido a las altas velocidades de Darcy que presentan. Los acuitardos no suponen un aporte significativo de potencial, debido a sus bajas velocidades de Darcy.

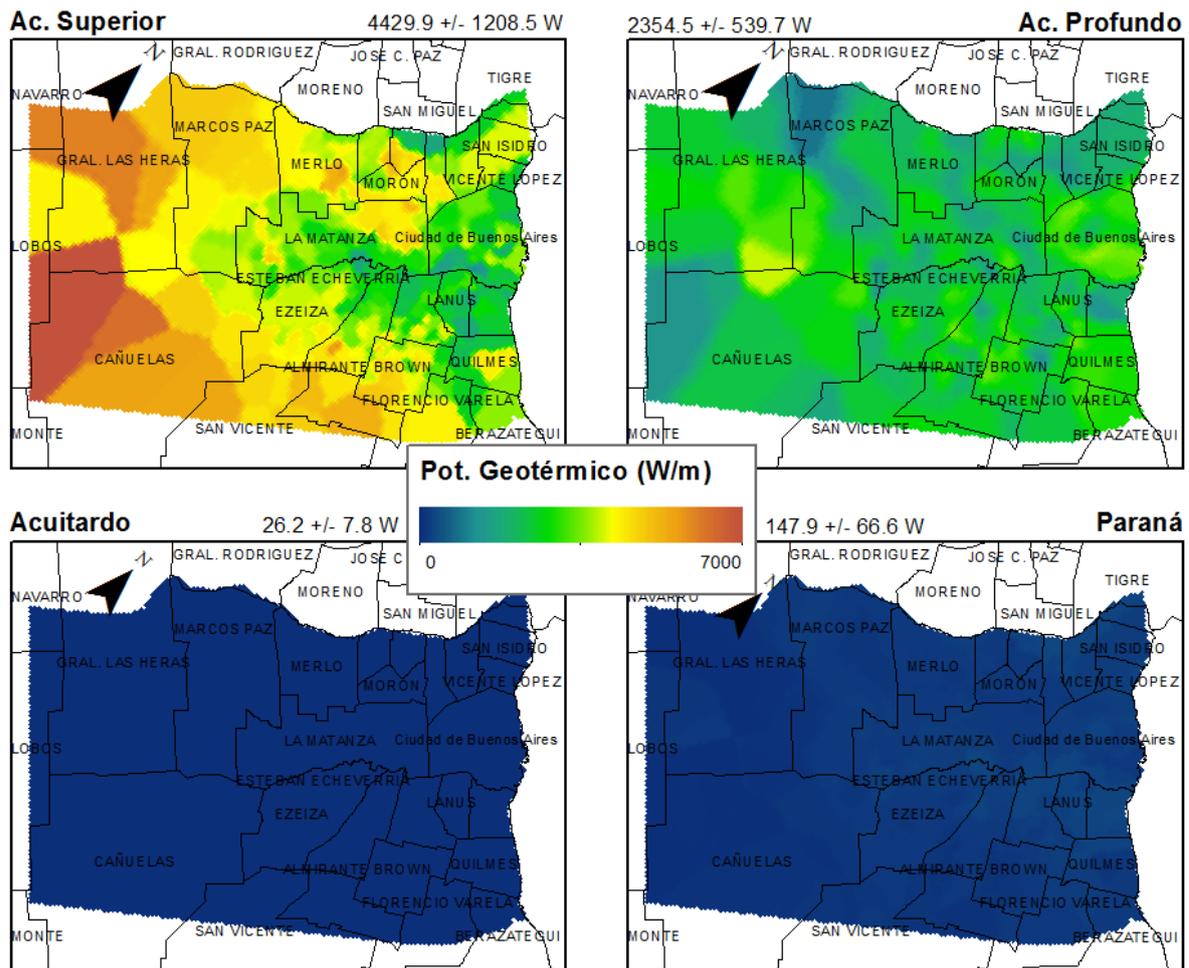


Figura 4. Potencial geotérmico somero de las 4 unidades hidrogeológicas consideradas y límites administrativos de cada partido. Escala, 1:1.000.000.

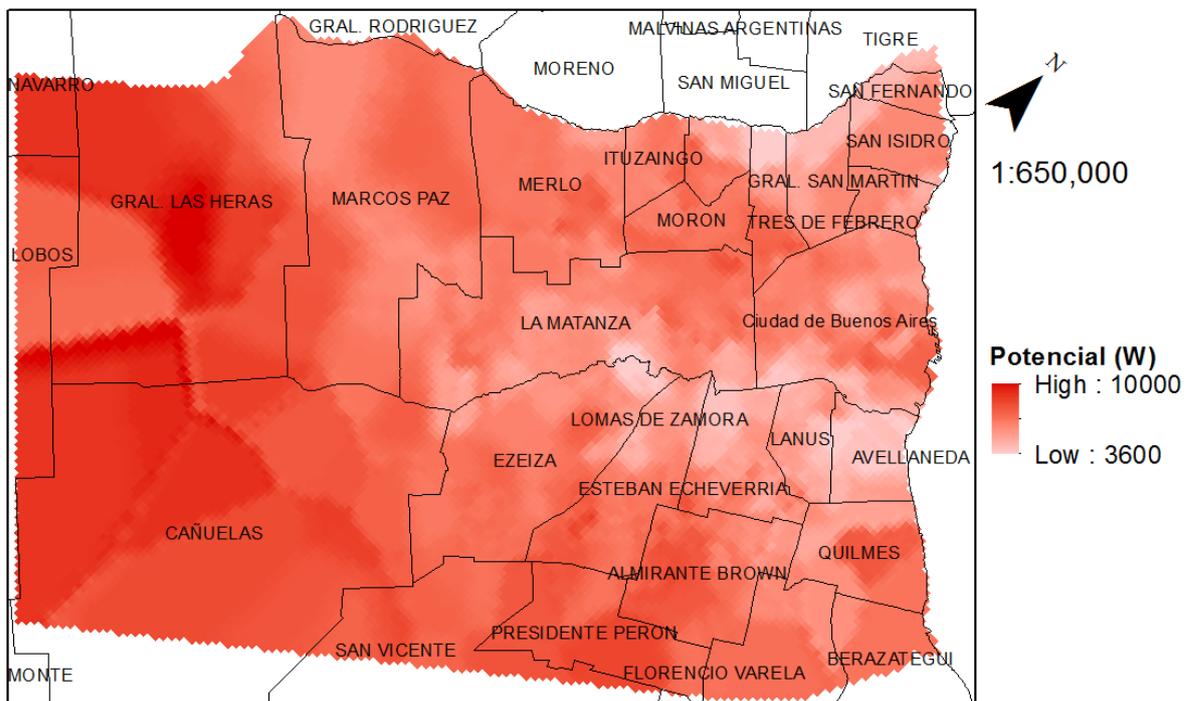


Figura 5. Potencial geotérmico somero integrado en los primeros 100 m de profundidad para la cuenca Matanza-Riachuelo y límites administrativos de cada partido.

En general, los potenciales geotérmicos son muy elevados en toda la cuenca, lo que hace altamente recomendable la explotación de este recurso. Los potenciales geotérmicos más elevados se localizan en los partidos Gral. Las Heras y Cañuelas, zonas donde la velocidad de las aguas subterráneas es lo suficiente elevada para disipar el exceso de calor o aumentar el aporte de calor en las sondas geotérmicas y donde las dos unidades acuíferas presentan mayores espesores. En aquellas zonas donde las velocidades de Darcy son menores o los acuíferos presentan menores espesores, como en los partidos de Esteban Echeverría, Lomas de Zamora, La Matanza, Lanús, Avellaneda o parte de la Ciudad de Buenos Aires, podrían plantearse sistemas geotérmicos someros alternativos, como aquellos orientados al almacenamiento energético (ATES, Aquifer Thermal Energy Storage/ BTES, Borehole Thermal Energy Storage). En este caso, será necesario llevar a cabo análisis alternativos y complementarios al presentado en este trabajo.

Este trabajo plantea la necesidad de llevar a cabo un estudio geológico e hidrogeológico más profundo que considere los espesores y el comportamiento de la formación Paraná, ya que en las zonas de más alta densidad de población contribuye con espesores de más de 60 m, lo que reduce el potencial geotérmico en estas zonas al considerarse esta unidad como un acuitardo. La diferenciación en la formación Paraná de dos unidades hidrogeológicas (como en el caso de la formación Puelches) con un acuitardo de arcillas y un acuífero arenoso, permitiría obtener potenciales geotérmicos más elevados esta zona de alta demanda energética.

## REFERENCIAS

- Alcaraz, M., García-Gil, A., Vázquez-Suñé, E. y Velasco, V.** 2016. Advection and dispersion heat transport mechanisms in the quantification of shallow geothermal resources and associated environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 543, 536–546.
- Bear, J.** *Dynamics of Fluids in Porous Media*. (Dover Mineola New York, 1972).
- De Filippis, G., Margiotta, S., Negri, S. y Giudici, M.** 2015. The geothermal potential of the underground of the Salento peninsula (southern Italy). *Environmental Earth Sciences*, 1–14.
- Diao, N., Li, Q., & Fang, Z.** (2004). Heat transfer in ground heat exchangers with groundwater advection. *International Journal of Thermal Sciences*, 43(12), 1203–1211.
- García-Gil, A., Vázquez-Suñé, E., Alcaraz, M. M., Juan, A. S., Sánchez-Navarro, J. Á., Montlleó, M., Rodríguez, G. y Lao, J.** 2015. GIS-supported mapping of low-temperature geothermal potential taking groundwater flow into account. *Renewable Energy*, 77, 268–278.
- Gemelli, A., Mancini, A. y Longhi, S.** 2011. GIS-based energy-economic model of low temperature geothermal resources: A case study in the Italian Marche region. *Renewable Energy*, 36(9), 2474–2483.
- Mancino, C., Vives, L., Funes, A., Zárate, M. y Martínez, S.** 2013. Modelación del flujo subterráneo en la cuenca Matanza-Riachuelo, provincia de Buenos Aires. 1. Geología y geometría del subsuelo. In *Temas actuales de la hidrología subterránea 2013*.
- Molina-Giraldo, N., Bayer, P. y Blum, P.** 2011. Evaluating the influence of thermal dispersion on temperature plumes from geothermal systems using analytical solutions. *International Journal of Thermal Sciences*, 50(7), 1223–1231.
- Ondreka, J., Rüsgen, M. I., Stober, I. y Czurda, K.** 2007. GIS-supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south-western Germany—Possibilities and limitations. *Renewable Energy*, 32(13), 2186–2200.
- Schön, J.** 2011. *Physical Properties of Rocks: A Workbook*. Amsterdam: Elsevier B.V. HANDBOOK OF PETROLEUM EXPLORATION AND PRODUCTION, Vol.8.
- Soni, S. K., Pandey, M. y Bartaria, V. N.** 2015. Ground coupled heat exchangers: A review and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 83–92.
- Vives, L., Scioli, C., Mancino, C. y Martínez, S.** 2013. Modelación del flujo subterráneo en la cuenca Matanza - Riachuelo, Provincia de Buenos Aires. 3. Modelo numérico de flujo. In N. González, E. E. Kruse, M. M. Trovatto, & P. Laurencena (Eds.), *Temas actuales de la hidrología subterránea 2013* (pp. 101–108). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Zabala, M. E., Martínez, S., Manzano, M. y Vives, L.** 2016. Groundwater chemical baseline values to assess the Recovery Plan in the Matanza-Riachuelo River basin, Argentina. *Science of the Total Environment*, 541, 1516–1530.