

# ACTAS



## X Congreso Uruguayo de Geología

---

Montevideo, 7 al 10 de noviembre de 2022



Actas Congr. Urug. Geol.  
ISSN: 2815-6978

## ESTIMACIÓN DEL RECURSO GEOTERMAL BASE EN LA CUENCA SANTA LUCÍA (URUGUAY)

**Morales, E.<sup>1,2\*</sup>; Pinto Vieira, F.<sup>3</sup>; Veroslavsky, G.<sup>1,2</sup>; Benvenuto, A.<sup>1,2</sup>; De León, R.<sup>2</sup>; De  
Santa Ana, H.<sup>2,4</sup>**

<sup>1</sup> UDELAR (Universidad de la República). Iguá 4225, 11400, Montevideo, Uruguay.  
ethel@fcien.edu.uy

<sup>2</sup> PEDECIBA (Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas). Isidoro de María 1614,  
11800, Montevideo, Uruguay.

<sup>3</sup> ON (Observatório Nacional), R. Gen. José Cristino, 77, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>4</sup> ANCAP (Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland). Av. Livertador  
s/n, 11100, Montevideo, Uruguay.

### RESUMEN

La Cuenca Santa Lucía presenta un relleno de rocas volcánicas y sedimentarias mesozoicas y una delgada cobertura de sedimentos y rocas sedimentarias cenozoicas. Utilizando datos de pozos profundos perforados con fines petroleros y datos de temperatura media del aire se calculó la temperatura del subsuelo y el recurso geotermal base a 2 y 3 km de profundidad. Los valores más elevados de temperatura se ubican en el sector este de la subcuenca Sur, en las proximidades de los pozos Cochengo y San Jacinto, donde a 2 y 3 km de profundidad se alcanzan valores de temperatura próximos a los 70 y 100 °C, respectivamente. La distribución regional del recurso geotermal base sigue el mismo diseño que el de las temperaturas del subsuelo. Esta situación es coherente con el modelo geológico-geotérmico conceptual disponible para la cuenca, donde la fuente de calor es un gradiente geotérmico normal y en el cual las aguas de recarga circulan a través de las fracturas profundas que constituyen los límites estructurales de la cuenca.

**Palabras claves:** energías renovables, recurso geotermal base, Uruguay

## INTRODUCCIÓN

La incorporación de fuentes renovables a las matrices energéticas de los países se ha incrementado en forma sostenida en las últimas décadas. Uruguay no escapa a esta situación y desde el año 2016 las fuentes renovables, principalmente hidráulica, eólica y biomasa, representan casi el 60% de su matriz energética y el 98% de su matriz eléctrica, lo que lo sitúa en el primer lugar en Latinoamérica (DNE, 2021). Sin embargo, la energía geotérmica aún no ha tenido el impulso e inversión necesarios para su desarrollo.

El propósito de este trabajo es presentar una evaluación del recurso geotermal base, entendido como toda la energía térmica contenida debajo de un área, en un volumen específico y medida en función de la temperatura local media anual, para la Cuenca Santa Lucía. El área en la cual se desarrolla la cuenca tiene una significativa importancia social, productiva y económica en nuestro país, por lo cual el uso de la energía geotérmica podría constituirse en una fuente de energía que contribuya al desarrollo de la región.

Los antecedentes específicos en la Cuenca Santa Lucía se corresponden con estudios geofísicos orientados a conocer el potencial geotérmico de la región de Rincón de la Bolsa (De los Santos *et al.*, 2018; Corbo *et al.*, 2021) y la integración de estudios geológicos y geofísicos que sustentaron la existencia de un sistema geotérmico clásico (Morales *et al.*, 2021).

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La Cuenca Santa Lucía ocupa un área de aproximadamente 6.000 km<sup>2</sup> en la región Sur del país, y su relleno está constituido por rocas volcánicas y sedimentarias, esencialmente siliciclásticas, que se acumularon desde el Jurásico Superior al Cretácico Superior, cubiertas por una delgada cobertura de rocas y sedimentos cenozoicos (Fig. 1).

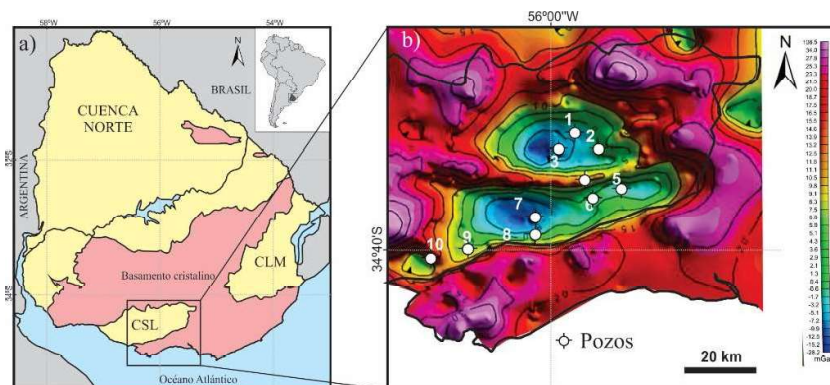


Figura 1: Cuenca Santa Lucía: a) Mapa de ubicación, CSL: Cuenca Santa Lucía, CLM: Cuenca Laguna Merín, b) Mapa de anomalía gravimétrica Bouguer. Se indica la ubicación de los pozos profundos. Pozos: 1) Castellanos,

2) Tala, 3) San Bautista, 4) Cochengo, 5) Piedra Sola, 6) San Jacinto, 7) Sauce 1, 8) Sauce 2, 9) Progreso, 10) Las Brujas (modificado de Morales *et al.*, 2021).

Su geometría en planta es romboidal y sobresale el Alto de Santa Rosa como un rasgo estructural, de dirección general E-W, que compartimenta la cuenca en dos subcuencas, Norte y Sur. El máximo espesor perforado se registra en el pozo Sauce 1 con 2.459 m (Veroslavsky *et al.*, 2004; Fig. 1); mientras que a través de datos gravimétricos ha sido estimado en 2.712 m (Rodríguez *et al.* 2020). La Formación Mígues, que reúne areniscas, areniscas conglomerádicas y pelitas, constituye un acuífero multicapa, en la subcuenca Sur, a profundidades variables.

## METODOLOGÍA

La temperatura de subsuelo fue estimada a partir de 10 datos de BHT (*Bottom Hole Temperature*) de pozos profundos (Fig. 1). Los mismos fueron corregidos según la correlación empírica desarrollada por la *American Association of Petroleum Geologists* (AAPG) en el año 1976, de acuerdo a la siguiente fórmula:  $\Delta T = az + bz^2 + cz^3 + dz^4$ , (1)

Donde  $\Delta T$  es la temperatura de corrección (°C);  $z$  es la profundidad (m);  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$  son coeficientes polinomiales con valores de  $1.878 \times 10^{-3}$ ,  $8.476 \times 10^{-7}$ ,  $5.091 \times 10^{-11}$ , y  $1,681 \times 10^{-14}$  °C/m, respectivamente.

La temperatura de superficie fue calculada aplicando la ecuación propuesta por Beardsmore & Cull (2001):

$$T_o = 3 + \frac{(T_{prom\_aire})}{2}, \quad (2)$$

Donde  $T_o$  es la T de superficie (°C) y  $T_{prom\_aire}$  es la temperatura promedio entre la T máxima y mínima de cada día (°C) medida en las estaciones meteorológicas del Uruguay entre 1961 y 2017.

Para el cálculo de la distribución de la temperatura en subsuelo a diferentes profundidades se utilizó el modelo de conducción de calor unidimensional. El cálculo del “exceso de temperatura” ( $\Delta T$ ) sobre la temperatura de superficie está dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta T = ((q_0/\lambda) * d) - ((A_0 D^2 / 2 \lambda) (1 - e^{-z/b})) \quad (3)$$

Donde  $q_0$  es el flujo de calor en superficie,  $A_0$  la productividad de calor radiogénico y  $k$  la conductividad térmica. El valor de  $A_0$  deriva de relaciones empíricas que relacionan la velocidad sísmica cortical con la productividad de calor radiogénico y el de  $k$  de valores teóricos de las diferentes litologías en función del perfil litológico de cada pozo. La distribución regional del exceso de temperatura fue calculada para profundidades de 2 y 3 km.

Los cálculos del recurso geotermal base se realizaron siguiendo el método volumétrico propuesto por Muffler & Cataldi (1978). De acuerdo a este método el recurso geotermal base (QRB) es calculado como el exceso de energía térmica en una determinada profundidad, siendo el valor de referencia la temperatura de superficie. El recurso geotermal base de una capa de espesor  $d$ , asociado con la distribución de temperatura dada por la ecuación (3) es calculado usando la siguiente ecuación:  $QRB_i = \rho_i C_{pi} A_i d_i (T_i - T_0)$  (4)

Donde  $\rho_i$  es la densidad promedio de la capa  $i$ ,  $C_{pi}$  es el calor específico,  $A_i$  es el área de la celda,  $T_i$  la temperatura a la profundidad  $i$ ,  $T_0$  la temperatura de superficie. Los valores de  $\rho_i$  y  $C_{pi}$  corresponden a valores teóricos.

## RESULTADOS

La temperatura del subsuelo a 2 y 3 km de profundidad en el área de la Cuenca Santa Lucía es presentada en la figura 2a y la Tabla 1. Puede observarse que los valores más elevados de temperatura se ubican en el sector este de la subcuenca Sur, en las proximidades de los pozos San Jacinto y Cochengo, donde a 2 y 3 km de profundidad la temperatura del subsuelo alcanza valores próximos a los 70 y 100°C, respectivamente, mientras que el resto de la cuenca se mantiene a temperaturas inferiores a esos valores. El pozo Cochengo se ubica sobre el Alto de Santa Rosa y presenta una anomalía de temperatura (28,9 °C a 300 m de profundidad; Morales et al., 2021).

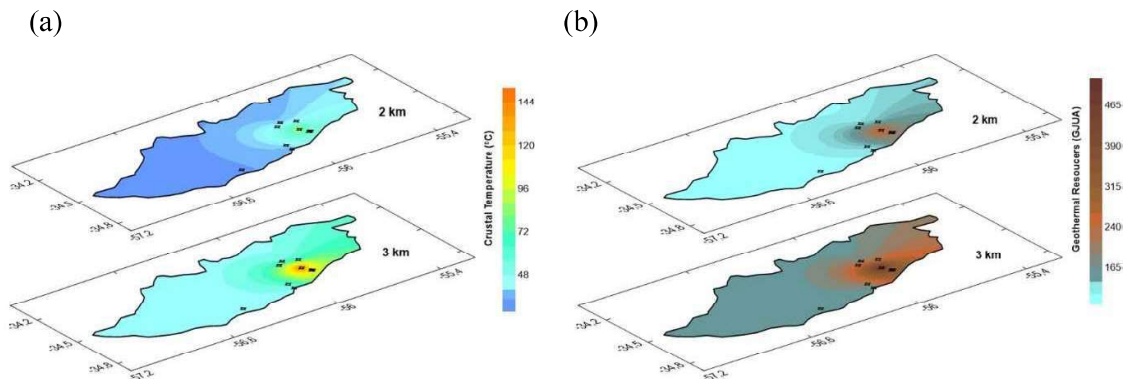


Figura 2: Cuenca Santa Lucía: a) T del subsuelo a las profundidades de 2 y 3 km; b) Recurso geotermal base a las profundidades de 2 y 3 km.

La distribución regional del recurso geotermal base fue calculado a las mismas profundidades que la temperatura del subsuelo (Figura 2b, Tabla 1). Puede observarse en la figura 2b que sigue el mismo diseño que el de la temperatura del subsuelo, indicando que el área con mayores recursos se corresponde con el sector este de la subcuenca Sur, próximo al Alto de Santa Rosa.

Tabla 1: Pozos de la Cuenca Santa Lucía utilizados en este trabajo. Se indica la profundidad total y los valores calculados de gradiente geotérmico, flujo de calor, temperatura del subsuelo y recurso geotermal base.

Pozo	Prof. (m)	$\Gamma$ (°C/km)	q (mW/m <sup>2</sup> )	$\Delta T$ 2km (°C)	$\Delta T$ 3km (°C)	QRB 2km (GJ)	QRB 3km (GJ)
San Jacinto 2	1199	34,6	93	69	102	152	341
San Jacinto 3	1211	34,3	93	68	101	151	338
San Jacinto 4	1231	29,2	79	58	86	128	288
Sauce 1	2460	20,5	55	40	60	90	201
Sauce 2	1692	16,7	45	33	48	73	163
Las Brujas	724	15,2	41	30	44	66	148
Castellanos	2026	19,4	45	38	56	85	189
Cochengo	318	50,3	116	100	149	222	497
San Bautista	1952	25,2	58	50	74	111	248
Tala	1747	23,1	53	45	68	101	226

## CONCLUSIONES

El sector este de la subcuenca Sur, próximo al Alto de Santa Rosa, es el que presenta el mayor exceso de temperatura y mayor recurso geotermal base de la Cuenca Santa Lucía. Esta situación es coherente con el modelo geológico-geotérmico conceptual disponible para la misma, donde las aguas de recarga circulan a través de las fracturas profundas que constituyen los elementos estructurales de la cuenca, siendo favorecidos por el buzamiento general de la cuenca.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a ANCAP e INUMET por proveer datos e información para el desarrollo de tesis de posgrado que fueron utilizados, parcialmente, para este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beardsmore, G. R., Cull, J. P. (2001). *Crustal Heat Flow*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Corbo, F., Ramos, J., Rodríguez, P., De Los Santos, J. 2021. Geophysical depth to basement research in the SW sector of the Santa Lucía Basin, southern Uruguay. *Acta Geophysica* 69 (3) DOI: 10.1007/s11600-021-00625-2
- De los Santos, J., Ramos, J., Corbo, F., Araneda, M., Araneda, A., Flaquer, A. 2028. Investigación geofísica en la fosa de Santa Lucía, Uruguay. *Revista Geofísica* 68: 101 – 115.
- Dirección Nacional de Energía (DNE-MIEM) (2021). <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energiamineria/comunicacion/noticias/presentacion-del-balance-energetico-nacional-2021>.
- Morales, E., Veroslavsky, G., Manganelli, A., Marmisolle, J., Pedro, A., Samaniego, L., Plenc, F., Umpiérrez, R., Ferreiro, M., Morales, M. (2021). Potential of geothermal energy in the onshore sedimentary basins of Uruguay. *Geothermics*. 10.1016/j.geothermics.2021.102165.
- Muffler, P., Cataldi, R., (1978). Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*.
- Rodríguez, P., Marmisolle, J., Gristo, P., de Santa Ana, H., Veroslavsky, G. (2020). Bouguer anomaly map and 2D modeling case study from Santa Lucía Basin, onshore Uruguay. Society of Exploration Geophysicists (SEG), International Exposition and 90th Annual Meeting, 994-998.