

Avances y Perspectivas del Desarrollo Geotérmico en Bolivia: Análisis del Proyecto Laguna Colorada

Daniel Villarroel-Camacho*^{1,2}

¹ Institute of Earth Sciences, University of Iceland, ICELAND

² GRÓ Geothermal Training Programme under the auspices of UNESCO, ICELAND.

(E-mail: davi@grogtp.is; danielg.villarroel@gmail.com)

Keywords: Geotermia, modelo conceptual, Sol de Mañana, Bolivia.

ABSTRACT:

Bolivia posee significativos recursos geotérmicos, concentrados principalmente en la Zona Volcánica de los Andes Centrales, lo que convierte a la energía geotérmica en un elemento estratégico dentro las políticas nacionales orientadas a diversificar la matriz energética y promover un desarrollo sostenible. Como resultado de campañas geocientíficas iniciadas a fines de la década de 1970, se perforaron seis pozos que alcanzaron profundidades de hasta 1,726 metros en la zona de Sol de Mañana (Suroeste de Bolivia). Durante la década de 2010 se llevaron a cabo estudios geofísicos y geoquímicos, entre ellos levantamientos magnetotelúricos tridimensionales, que identificaron un sistema geotérmico de alta entalpía con temperaturas de reservorio entre 250 y 260 °C. La integración de estos datos con la información proveniente de los pozos permitió desarrollar un modelo conceptual que describe un sistema convectivo impulsado por actividad magmática, evidenciando un alto potencial para una explotación geotérmica sostenible. Con base en estos resultados, hacia finales de la década de 2010, se construyó una planta piloto de 5 MW a una altitud aproximada de 4,980 metros, convirtiéndola en una de las instalaciones geotérmicas más altas del mundo. La planta fue construida para abastecer de electricidad a comunidades cercanas que actualmente dependen de generación a base de diésel, así como para evaluar la viabilidad técnica y económica de una futura ampliación de capacidad hasta 100 MW.

1. Introducción

Bolivia, ubicada en el centro de América del Sur (9°38'–22°53' S; 57°26'–69°38' O), posee una superficie de 1.098.581 km² y una población de 11,3 millones [1]. En 2023, el consumo eléctrico nacional alcanzó los 11.264,85 GWh, con una capacidad instalada de 3.637,1 MW, compuesta mayoritariamente por

termoeléctricas (67,8 %), seguidas por hidroeléctricas (20,2 %), solares (4,5 %) y fuentes eólicas/biomasa (3,7 %) [2]. En 2025, el gobierno presentó el Plan de Expansión del Sector Eléctrico 2026–2050, que proyecta incorporar 5.290 MW al Sistema Interconectado Nacional, priorizando fuentes renovables. Se prevé que para 2050, el 75 % de la matriz energética provenga de fuentes limpias. Entre los proyectos estratégicos destaca la futura Planta Geotérmica Laguna Colorada (100 MW), con conexión al sistema prevista para 2032–2033.

El desarrollo geotérmico en Bolivia se remonta a la década de 1970, con exploraciones iniciales en el occidente del país, destacando el campo Sol de Mañana, eje del Proyecto Geotérmico Laguna Colorada. Este estudio examina la evolución histórica del campo, incluyendo campañas de perforación, investigaciones geocientíficas y la formulación del modelo conceptual, así como los avances más recientes en su desarrollo.

2. Geología

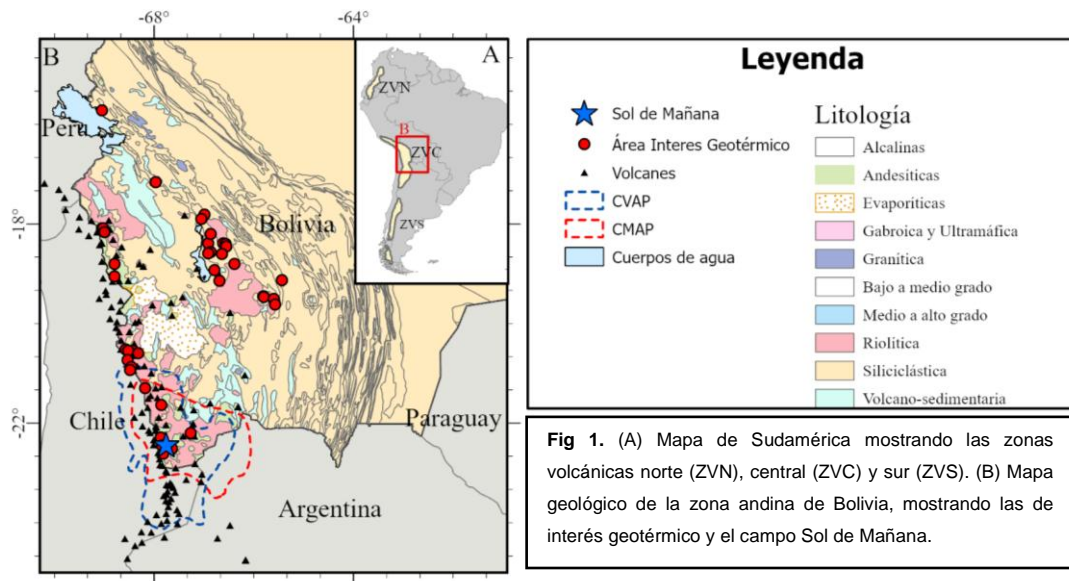
La Zona Volcánica Central de los Andes (ZVC), entre los 14° y 28° S, abarca territorios de Argentina, Bolivia, Chile y Perú, y corresponde a un segmento del cinturón volcánico andino, generado por la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. Es una de las regiones volcánicas más activas de Sudamérica, con numerosos centros eruptivos, calderas colapsadas y extensos campos ignimbríticos silíceos formados durante el Cenozoico. En esta zona destaca el Complejo Volcánico Altiplano-Puna (CVAP) y el Cuerpo Magmático Altiplano-Puna (CMAP), el mayor cuerpo magmático activo conocido en la tierra [3, Fig.1].

El campo geotérmico Sol de Mañana se compone de rocas volcánicas del Mioceno al Pleistoceno, sobre sedimentos cenozoicos y paleógenos. Presenta lavas, tobas e ignimbritas riódacíticas a andesíticas, además de depósitos superficiales correspondientes a estratovolcanes (Holoceno–Mioceno) e ignimbritas dacíticas del Pleistoceno–Plioceno [4].

3. Desarrollo histórico

El desarrollo geotérmico en Bolivia se inició en 1976 con un estudio del PNUD, ENDE y GEOBOL, en el marco del Proyecto de Evaluación de Recursos Energéticos. Se identificó al campo Sol de Mañana como el sitio más prometedor para una planta geotérmica nacional, dentro del Proyecto Laguna Colorada [5].





Entre 1987 y 1992, se perforaron seis pozos en las áreas de Sol de Mañana y Apacheta, alcanzando profundidades de hasta 1726 m [6]. Estos trabajos confirmaron la existencia de una zona geotérmica de alta entalpía. Asimismo, las pruebas de pozo realizadas a finales de la década de 1990 y comienzos de la de 2010 evidenciaron un potencial mínimo de generación eléctrica de 100 MW [7]. A finales de la década de 2010 se construyó una planta binaria de 5 MW, con el propósito de cubrir las necesidades energéticas de las comunidades cercanas, evaluar la respuesta del reservorio ante una operación prolongada y adquirir experiencia en ingeniería, diseño y logística para futuros desarrollos en la región.

4. Modelo conceptual

La Figura 2 muestra un modelo conceptual que integra geología estructural, perfiles geofísicos y datos geoquímicos para definir el reservorio. La fuente principal de calor y volátiles es el cuerpo magmático Altiplano-Puna, cuya expresión más superficial se localiza bajo el volcán Uturuncu, a 60 km al noreste de Sol de Mañana.

En 2015 se realizaron 63 sondeos magnetotelúricos (MT) [8], los cuales revelaron una estructura de resistividad compuesta por una capa superficial conductiva, seguida por una zona más resistiva. La unidad superior, entre 400 y 800 m de profundidad, corresponde a un casquete arcilloso con esmectita y zeolitas; la zona resistiva refleja la presencia de cuarzo, clorita, wairakita y epidota [7,8]. Estos resultados son coherentes con la mineralogía de alteración observada en muestras de testigos, lo que respalda la presencia de un

reservorio de alta temperatura.

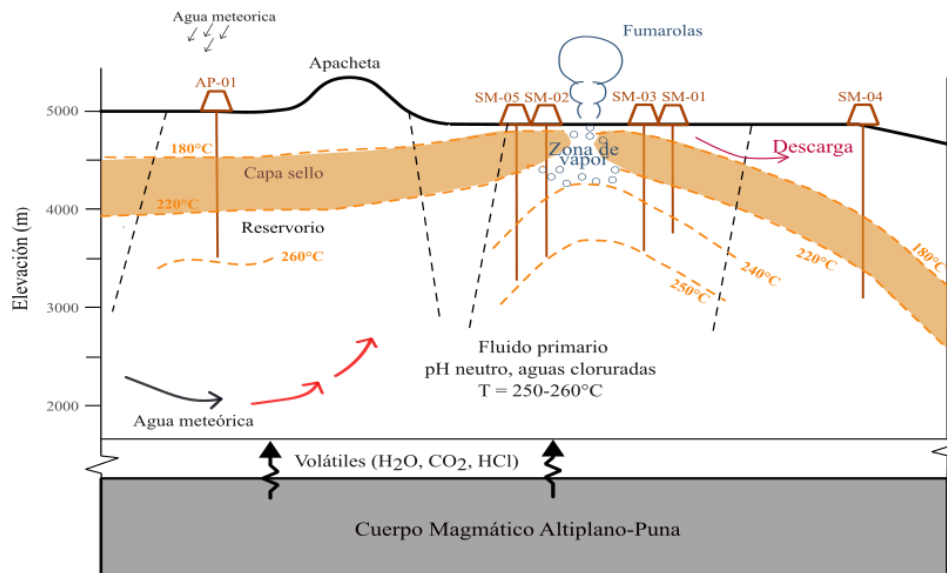


Fig.2 Modelo conceptual del campo geotérmico Sol de Mañana.

Los fluidos geotérmicos profundos tienen origen meteórico y se generan a partir de la recarga regional mediante secuencias volcánicas fracturadas. Durante su descenso, interactúan extensamente con las rocas, alcanzando equilibrio con ensamblajes minerales a temperaturas de 250–260 °C y un pH casi neutro (~5.5). La principal zona de ascenso del sistema, caracterizada por intensa actividad fumarólica y presencia de pozos de lodo, se localiza en un área de alta permeabilidad asociada con la intersección de sistemas de fallas principales.

References:

- [1] INE, 2024: Instituto Nacional de Estadística. Online: <https://www.ine.gob.bo/>
- [2] CNDC, 2019: Comité Nacional de Despacho de Carga. Online: <https://www.cndc.bo>
- [3] de Silva, S.L., 1989. Altiplano-Puna volcanic complex of the central Andes. *Geol* 17, 1102.
- [4] ENEL, (1986). Estudio de factibilidad geotérmica en Laguna Colorada area- Reporte Geovolcanológico. BOL/84/007.
- [5] ENDE-GEOBOL, 1976. Evaluación primaria de recursos geotérmicos en Bolivia. BOL 71/ 532.
- [6] ENEL, (1991). Estudio de factibilidad Geotérmica en el area de Laguna Colorada. BOL 84/007.
- [7] Villarroel-Camacho, D.G., 2014. Geochemical studies of geothermal fluid and evaluation of well testing results from wells SM-1, SM-2, and SM-3, Sol de Manana field, geothermal project, Laguna Colorada. UNU-GTP Report 32, 697–720.
- [8] Pereyra-Quiroga, B., Meneses Rioseco, E., Kapinos, G., Brasse, H., 2023. Three-dimensional magnetotelluric inversion for the characterization of the Sol de Mañana high-enthalpy geothermal field, Bolivia. *Geothermics* 113, 102748.