Proceedings of the
Latin-American Geothermal Congress 2025
LGC 2025
San Salvador, El Salvador
22–26 Sept. 2025

Instalación de Bombas de Calor Geotérmico en el Altiplano Chileno

* Diego José Aravena Noemi [1, 2], Bárbara Bravo Rivera [1], Nicolás Pérez Estay [1], Diego Morata Céspedes [1], Linda Daniele [1].

(1) Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes. Universidad de Chile. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.

(2) Universidad de Atacama, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Av. Copayapu 485,Copiapó, Chile.

Keywords: Bomba de calor geotérmico, Altiplano, Perforación, colectores de calor, baja temperatura.

ABSTRACT:

Las Bombas de Calor Geotérmico (BCG) utilizan el subsuelo como una batería de calor para climatizar espacios de forma limpia y eficiente. Existen diversas configuraciones que permiten a las BCG intercambiar calor con el subsuelo, una de las más utilizadas corresponde al colector vertical de tipo cerrado, compuesto por una serie de sondajes donde se instalan tuberías de polietileno que transportarán agua, que actuará como agente de transferencia de calor. En Chile, la perforación de sondajes se ha desarrollado principalmente impulsada por la minería y, en menor medida, la agricultura. Debido a esto, existe incertidumbre en torno a la perforación para intercambio de calor. El objetivo de este trabajo es caracterizar los primeros colectores verticales cerrados en el norte de Chile y los más altos del mundo, ubicados en los pueblos milenarios de Putre y Visviri, 3.371 y 4.083 msnm. Para ello, se ha documentado la campaña de perforación, instalación de tuberías y cementación de 16 sondajes utilizados como colector geotérmico.

Introducción

La Geotermia Somera corresponde a toda la energía contenida en el subsuelo, a una profundidad tal, que permite su aprovechamiento como fuente o sumidero de calor. Las Bombas de Calor Geotérmico (BCG) utilizan el subsuelo como una batería de calor para climatizar espacios de forma limpia y eficiente. En Chile se han documentado un mínimo de 29 proyectos que utilizan Bombas de Calor Geotérmico (BCG) [1] y se ha calculado una potencia instalada mínima de 8 MWt [2]. Las BCG han sido principalmente acopladas a colectores geotérmicos de tipo vertical abierto (usando agua del acuífero) y de tipo horizontal cerrado [2]. Solo existe un proyecto documentado de colectores de tipo vertical cerrado. Todos los proyectos documentados hasta el año 2024, se ubican en el sur de Chile [3].

Los sectores rurales del altiplano chileno sufren de condiciones climáticas particulares y extremas, que se traducen en bajísimas temperaturas. Esto requiere de sistemas de calefacción que, la mayoría de las veces, no existen. En este contexto, las Bombas de calor geotérmico, representan un sistema eficiente y resiliente, que permite amortiguar las condiciones extremas del altiplano Chileno. Sin embargo, existen barreras técnicas que dificultan la implementación de los colectores de calor: la dureza de los suelos dificulta la excavación de zanjas para colectores verticales (Fig. 1) y la escasez de agua, característica del norte de Chile, dificulta la implementación de sistemas abiertos que requieren la solicitud de derechos de agua. Los proyectos CEGA, implementados entre 2021 y 2025, muestran que los colectores verticales cerrados son una opción eficiente en términos de eficiencia y espacio, ofreciendo una opción resiliente para la climatización de espacios. El objetivo de este trabajo es caracterizar los primeros colectores verticales cerrados en el norte de Chile, los más altos del mundo, ubicados en los pueblos de Putre y Visviri, a 3.371 y 4.083 msnm.

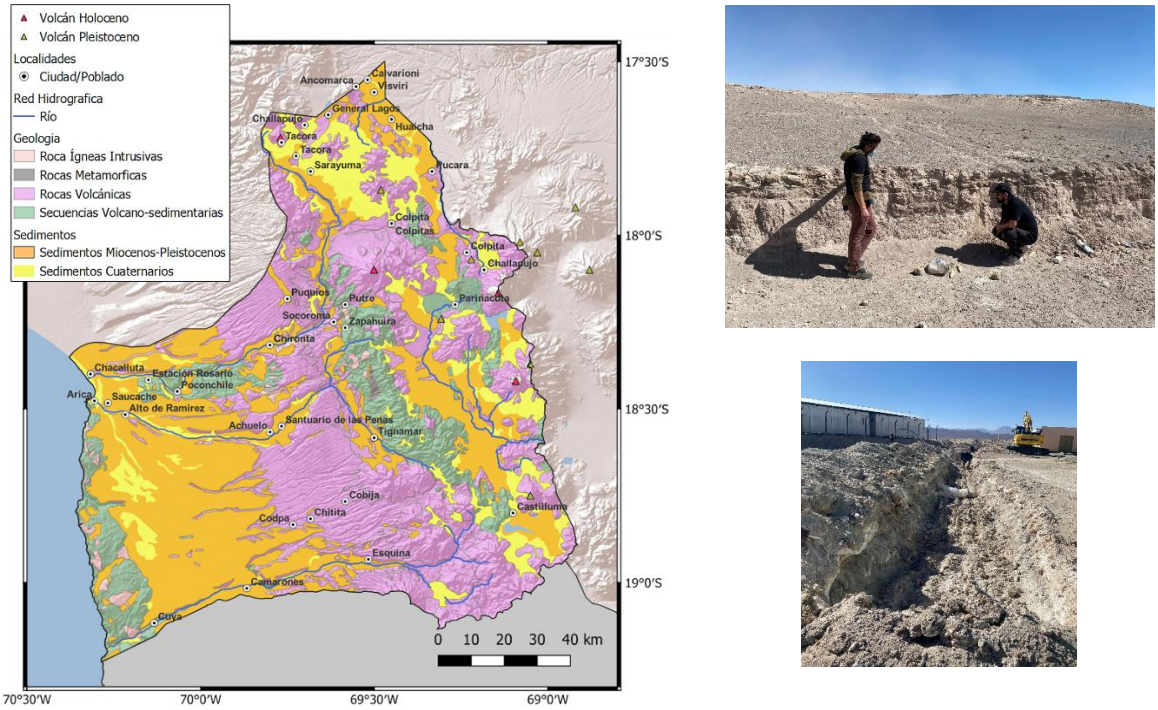

Figura 1. *Litologías predominantes en la Región de Arica y Parinacota. Fotografías de suelos áridos y salinos predominantes en el norte de Chile.*

Metodología

Se ha documentado la campaña de perforación, instalación de tuberías y cementación de 16 sondajes utilizados como colectores de calor geotérmico para climatizar las habitaciones de dos escuelas ubicadas en el Altiplano Chileno. Con énfasis en las barreras técnicas a las hora de perforar los sondajes, instalar los colectores y cementar el sondaje.

Resultados

El contexto geológico donde se emplaza este colector geotérmico presenta complejidades a la hora de perforar. Una estratigrafía heterogénea, combinada con la presencia de arcillas y abundante agua a partir de los 35-40 m requiere el uso de herramientas diferenciadas para perforar los sedimentos de granulometría media a fina versus bloques decimétricos a métricos. Se distinguen 3 dificultades concretas: (i) las diferencias granulométricas requieren tener varias opciones de brocas, como triconos y martillos. (ii) La inestabilidad de estratos ubicados en remociones en masa, puede ser resuelta usando entubado simultaneo y extrayendo los tubos justo antes de insertar los colectores tipo “doble U”. Se debe considerar la capacidad de soldar tuberías si es que los encajes cónicos se sueltan. Si la tubería se atasca, se debe considerar perforar en 8 ´ en vez de 6´. (iii) En el altiplano, es posible encontrar acuíferos altamente productivos, por lo que se debe considerar la logística necesaria para reinyectar o disponer del agua extraída.

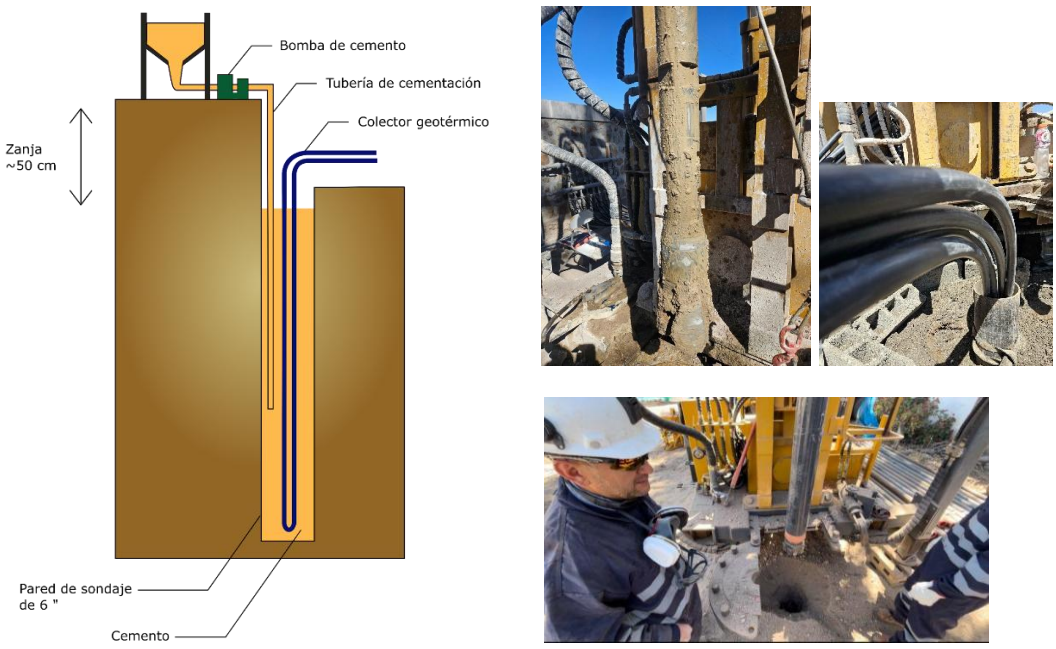

Figura 2. *Esquema de instalación de colector y cementación de los pozos. Fotografías de la perforación e instalación de tuberías “doble U” en sondaje de 6 pulgadas.*

Durante el mes de noviembre del 2024 se completó la instalación del sistema geotérmico de climatización y agua caliente sanitaria en el liceo Granaderos de Putre. Durante agosto del año 2025, se completó la instalación del sistema en el internado de Liceo Visviri. En ambos casos de instaló calefaccionan las habitaciones y una línea de agua caliente para lavamanos. En cada proyectos, el circuito está compuesto por ocho sondajes, de 70 mts de profundidad, con mangueras de polietileno de 32 mm de diámetro y de configuración tipo U doble en

su interior. Todas las mangueras confluyen en dos manifold por sistema. Los equipos y componentes de cada sistema son: (i) los circuitos hidráulicos, que vienen desde el manifold donde convergen los colectores geotérmicos del campo de sondajes; (ii) dos bombas de circulación envían agua caliente desde el estanque de almacenamiento a los radiadores ubicados en cada habitación y; (iii) tablero eléctrico independiente que energiza las BCG y las bombas de circulación.

El sistema de distribución de calor consta de: (i) radiadores de doble chapa ubicados en todas las habitaciones de los internados (figura 3). Los radiadores emiten un calor suave, que aporta a alcanzar una temperatura ambiente de confort, no deben usarse para secar ropa, calentar alimentos ni apoyar ningún elemento. (ii) A esto se suman tuberías que transportan el agua caliente hacia y desde los radiadores y; (iii) un termostato por área (varones y damas) para el control de la temperatura objetivo. El sistema de calefacción se activará cuando la temperatura ambiente en el interior del internado sea menor a la temperatura objetivo, manteniéndose prendido hasta que la temperatura ambiente sea la temperatura objetivo, momento en que se apaga. El agua caliente sanitaria para los lavamanos es producida por un una de las bombas de calor geotérmico.

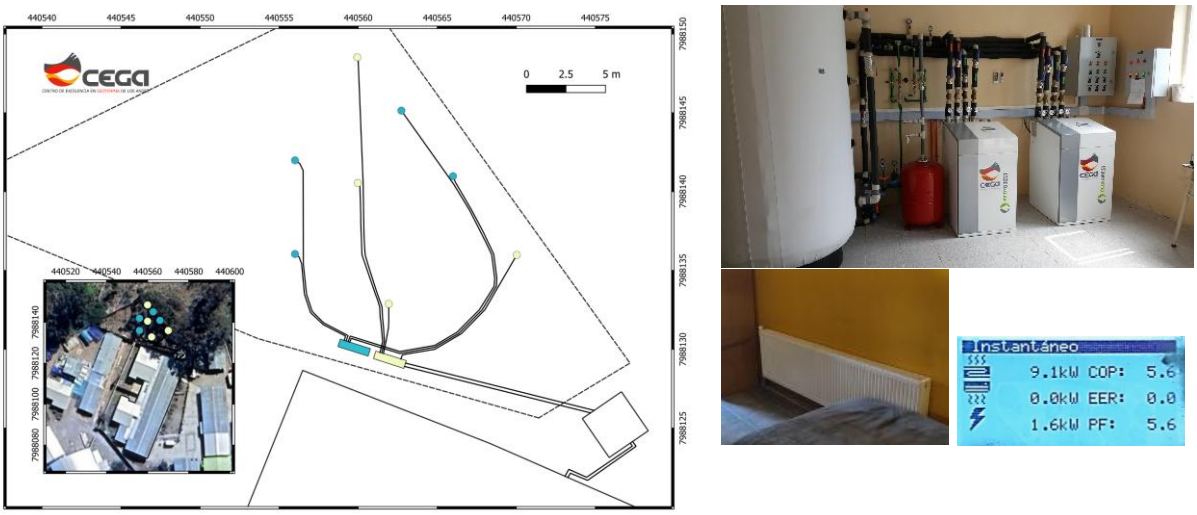

Figura 3. *Distribución de 8 sondajes utilizados para climatizar el internado del Liceo Granaderos de Putre. Fotografía de bombas de calor y radiadores implementadas en proyectos CEGA. COP instantáneo de 5.6 medido en Putre.*

Discusión

La evaluación interdisciplinaria de los proyectos desarrollados permite identificar algunas de las principales barreras para el desarrollo de la geotermia en la Puna y Altiplano del norte de Chile: (i) deficiente Red de Distribución Eléctrica en Áreas Rurales; (ii) espacio Limitado para Instalación de los colectores geotérmicos; (iii) la inversión inicial requerida para la instalación de colectores verticales puede ser

prohibitiva para algunas comunidades o instituciones; (iv) los suelos áridos no son adecuados para la instalación de colectores geotérmicos horizontales; (v) existe una baja conciencia social y una falta de formación de técnicos e instaladores en el mercado local y; (vi) la oferta de importadores e instaladores de bombas de calor en Chile es limitada, lo que puede dificultar el acceso a la tecnología y aumentar los costos de instalación. Se deben dedicar esfuerzos a subsanar estas barreras, estimulando el desarrollo de la geotermia somera como una solución limpia, eficiente y de alto impacto social.

La identificación de un acuífero de alta productividad es un avance significativo, pues actualmente el pueblo suple su demanda de agua mediante el uso de derechos superficiales, que son captados desde el Río Achuncagua, un curso susceptible de sufrir afectaciones climáticas y antrópicas.

Conclusiones

Se ha logrado documentar las principales barreras técnicas para implementar colectores verticales cerrados. Destaca la abundante presencia de litologías volcánicas y secuencias de sedimentos muy finos, los que requieren el uso de herramientas diferenciadas y métodos flexibles de perforación. Sin embargo, se deben enfrentar desafíos sociales y económicos de gran trascendencia para consolidar a la geotermia somera en el norte de Chile.

Se instalaron dos sistemas de colectores verticales compuestos por 16 sondajes acoplados a cuatro bombas de calor (dos en cada escuela calefaccionada). los resultados ratifican las ventajas técnicas de los colectores verticales, capaces de resistir el clima y la erosión química de los suelos salinos del norte de Chile, manteniendo una alta eficiencia eléctrica que supera con creces a otras tecnologías.

Agradecimientos: este trabajo es financiado por el Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA) y los fondos regionales FIC de las regiones de Antofagasta y Arica y Parinacota.

Referencias:

[1] Harfagard, S., Sánchez, I., Flores, M., González-Castellví, D.: Estado de desarrollo de proyectos de bombas de calor geotérmicas instalados en Chile. Ministry of Energy, (2016), 217 pp.
[2] Morata, D., Aravena, D., Lahson, A., Muñoz, M. and Valdenegro, P., 2020. Chile Up-Data: the First South American Geothermal Power Plant After One Century of Exploration. Proceedings World Geothermal Congress 2020 Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2, 2020
[3] Aravena, D., Bravo B., Pérez-Estay N., Morata, D., Daniele, L. 2025. Perforación para la implementación de geotermia somera en el Altiplano Chileno. Actas del Primer Congreso Hidrogeológico Chileno. Los Andes. Chile. 23 al 25 de abril de 2025.