



XII Congreso Geológico Chileno
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009



Geología
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

S6_019

Exploración geológica para el fomento de la energía geotérmica en el área Puchuldiza Sur

Cortés, R.¹, Ortiz, M.¹, Vivallos, J.¹, Achurra, L.¹, Silva, C.¹, Fonseca, A.¹, Arancibia, M.¹

(1) Programa Geotermia, SERNAGEOMIN, Santa María 0104, Santiago, Chile.

rcortes@sernageomin.cl

Introducción

El campo geotérmico de Puchuldiza se localiza en el límite entre la Cordillera Occidental y el Altiplano de la Región de Tarapacá, a 4.200 m s.n.m. En las localidades de *Tuja* y *Los Baños de Puchuldiza*, las aguas termales alcanzan la superficie a 89°C en forma de pozas y géiseres, generando un potente sínter silíceo. Estudios anteriores realizados, principalmente, en las décadas del 1970 y 1980, incluyeron cartografía geológica, análisis de aguas, levantamientos gravimétricos, magnetométricos y de resistividad, además de la perforación de 6 pozos, de 400 a 1.150 m de profundidad [1 a 5, entre otros].

Durante 2007 y 2008 el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) realizó estudios geológicos, hidrogeológicos y geofísicos en un sector que incluye parte del campo geotérmico de Puchuldiza. El objetivo fue incentivar la exploración geotérmica en el área, que sería sometida a licitación pública (por el Ministerio de Minería) para el otorgamiento de la concesión de exploración de recursos geotérmicos. Además de cumplir con ese objetivo, los resultados constituyen un aporte al futuro conocimiento integral de este sistema geotérmico.

El estudio de Puchuldiza Sur, presentado en esta contribución, abarca Los Baños de Puchuldiza y sus alrededores, excluyendo *Tuja*. Esta exploración incluyó cartografía geológica (1:25.000), estudios de alteración hidrotermal, caracterización *in situ* de parámetros físico-químicos, análisis químicos e isotópicos de aguas termales y no termales, levantamiento gravimétrico y la aplicación de los métodos de Transiente Electromagnético (TEM) y Magnetotelúrico (MT) [6, 7, 8].

Geología Local

Las manifestaciones geotérmicas de Los Baños de Puchuldiza se ubican en las nacientes de la cuenca del río Puchuldiza, principal afluente de la quebrada Aroma. Éstas se encuentran rodeadas por estratovolcanes de carácter dacítico, del Plio-Pleistoceno: Volcán Guallane y Complejo Latarani-Macurquima al sur y norte, respectivamente [9].



XII Congreso Geológico Chileno
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

Actividad volcánica reciente de $0,9 \pm 0,3$ Ma ha sido determinada en una lava domo de composición dacítica de la cumbre del volcán Latarani (K-Ar, biotita) [6]. Ésta corresponde a la edad más joven obtenida para este complejo volcánico y sugiere la posible existencia de cuerpos subvolcánicos que aportarían calor relicto al sistema geotérmico actual.

Los edificios volcánicos y el sistema geotérmico propiamente tal, se emplazan sobre unidades sedimentarias y volcánicas formadas entre el Cretácico Superior y el Plioceno. Se reconocen 3 eventos deformativos: (1) fuerte plegamiento de las rocas cretácicas; (2) plegamiento de menor intensidad de unidades miocenas, junto con fallamiento inverso de rumbo NW-SE y vergencia al SW y; (3) fallas normales de rumbo N-S a NNE-SSW. Este último evento afectaría, incluso, a los productos del volcanismo más reciente [2]. La relación espacial entre las manifestaciones geotérmicas y los sistemas de falla NW-SE y N-S, sugieren que estos últimos actúan como vía para la circulación de fluidos geotérmicos.

Hidrogeología

Las manifestaciones termales poseen temperaturas entre 40°C y 89°C, alta conductividad eléctrica y pH entre 6 y 7. La composición química de estas aguas permite clasificarlas como cloruradas-sódicas, mientras que la isotopía ^{18}O - ^2H indica una composición isotópica cercana a la línea de aguas meteóricas locales, tal vez con alguna componente magmática menor. Además, cálculos geotermométricos indican que las aguas termales se equilibraron a una temperatura aproximada de 210-240°C (modelo simple sin mezcla).

Por otro lado, isotopía de aguas frías fuera del área de estudio, al N y NW, junto con datos piezométricos tomados de la literatura y medidos en terreno, sugieren que la recarga del sistema proviene, al menos en parte, de dicha zona. Aguas frías bicarbonatadas, sódicas a cálcicas, muestreadas al sur de las manifestaciones termales, poseen carácter meteórico y corto tiempo de residencia, sugiriendo baja participación en el sistema geotérmico.

Geofísica

La aplicación de los métodos TEM y MT en un sector del área “Puchuldiza Sur”, ha permitido la caracterización de resistividades hasta profundidades aproximadas de 6000m [6, 8]. Una gran parte de la zona estudiada presenta valores muy bajos de Resistividad (R), con una distribución espacial asociada, fundamentalmente, a la importante presencia de fluidos geotérmicos en estructuras de alta permeabilidad y a los tipos de alteración hidrotermal.

A partir de datos obtenidos de un levantamiento aeromagnético, realizado a 150 m sobre el terreno, aparece una depresión magnética con orientación preferente W-E, que coincide espacialmente con bajos resistivos y gravimétricos.



XII Congreso Geológico Chileno
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

Hacia la parte E aparecen los valores más altos de R dentro del área estudiada, que llegan a ser superiores a 300 ohm-m bajo los 1.500 m de profundidad. Esto reafirma el carácter de margen del sistema hacia esta orientación [6, 8].

En la parte central, los estudios anteriores (mediante SEV y 2 pozos exploratorios hasta 650m y 700m) describen una zona de baja resistividad relacionada a la presencia de fluidos a temperaturas máximas de 140°C a 160°C [4]. En la presente investigación, los modelos 2D de Resistividad muestran que esta zona conductora en forma de estrato se extiende hasta 1500 m de profundidad, aproximadamente, siendo mayor en la zona de daño de la falla Puchuldiza [8].

Hacia el W, el horizonte conductor aumenta su potencia y alcanza 3000m de profundidad en el sector extremo NW del área de estudio, relacionado probablemente a la circulación de fluidos en una amplia zona de alta permeabilidad, asociada a la Falla Puchuldiza y a la intersección con estructuras NS presentes [8].

Conclusiones

El campo geotérmico de Puchuldiza parece estar vinculado a cuerpos subvolcánicos, producto de la reciente actividad volcánica del Complejo Latarani-Macurquima (<1 Ma). La recarga del sistema proviene, en gran medida, de la infiltración de aguas en la zona N-NW, que luego de su calentamiento a temperaturas cercanas a los 210-240°C, ascienden, preferentemente, por estructuras NW-SE y N-S y migran lateralmente al llegar al nivel de capas permeables de tobas ácidas no soldadas y areniscas. Estos fluidos alcanzan la superficie a 89°C en forma de pozas y géiseres, en la intersección de diferentes sistemas de fallas, en las localidades de *Tuja* y *Los Baños de Puchuldiza*.

Estudios anteriores, realizados principalmente en las décadas de 1970 y 1980, demostraron que la parte NW del sistema hidrotermal de Puchuldiza (fuera del área de estudio "Puchuldiza Sur") presenta las condiciones más favorables para la existencia de un reservorio geotérmico de alta temperatura.

En el presente trabajo se ha revelado una zona de interés dentro del sistema hidrotermal al sur de la zona señalada anteriormente (correspondiente al sector NW del área "Puchuldiza Sur"). En esta zona, cercana a la intersección de sistemas de fallas, la presencia de una estructura geoelectrica de alta conductividad que alcanza 3000m de profundidad, caracterizada además, por bajos magnéticos y gravimétricos, sugiere la existencia de condiciones muy favorables al flujo de fluidos salinos de alta temperatura. Se ha interpretado que ésta podría estar relacionada con la zona de upflow del sistema.

Debido a las complejidades relacionadas con las alteraciones hidrotermales y la circulación de fluidos geotérmicos, sería conveniente ampliar el área estudiada con el método MT, fundamentalmente en el sector NW, para obtener mejores modelos de resistividad, lograr interpretaciones adecuadas y poder avanzar hacia un conocimiento integral del sistema hidrotermal.



XII Congreso Geológico Chileno
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al Programa de Geotermia de SERNAGEOMIN, realizado en el marco del convenio “Exploración geológica para el fomento de la energía geotérmica” suscrito con el Ministerio de Minería, y del Contrato de Aporte Financiero y de Ejecución del Programa de Geotermia suscrito con la entidad financiera alemana KfW. Los autores agradecen a R. Wall y W. Vivallo por sus valiosos aportes en la corrección del manuscrito. También agradecemos al Laboratorio de SERNAGEOMIN por las dataciones de rocas y análisis químico de aguas.

Referencias

- [1] Lahsen A., Alfredo. 1978. Evaluación de los resultados de la exploración del campo geotérmico de Puchuldiza, I región Tarapacá. CORFO – *Comité para el Aprovechamiento de la Energía Geotérmica*, 82 p., Santiago.
- [2] Sandoval S., R. 1979. Estudio geológico de los 5 pozos exploratorios del campo geotérmico de Puchuldiza y su relación con la estratigrafía regional. *CORFO-Comité de Energía Geotérmica*, 5 planos pleg., Santiago.
- [3] Bravo E., R.; Araya C., C. 1978. Informe de mediciones pozos 1, 2, 3, 4 y 5 campo geotérmico de Puchuldiza. *CORFO - Comité Geotérmico*: 9 h. + anexos, 6 planos pleg., Santiago.
- [4] JICA y CORFO. 1979. Informe sobre el proyecto de desarrollo de energía geotérmica en el área de Puchuldiza. *JICA, CORFO*, 109 h., il; h. pleg., Santiago.
- [5] JICA y CORFO. 1981. Report on geothermal power development project in Puchuldiza area. *JICA, CORFO*, 48 p., il; h. pleg. en texto, Santiago.
- [6] Ortiz, M., Achurra, L., Cortés, R., Fonseca, A., Silva, C., Vivallos, J. 2008. Estudio geológico, geofísico e hidroquímico del sector Puchuldiza Sur. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Inédito*, 168 p., 2 mapas escala 1:25.000. Santiago.
- [7] Ortiz, M. 2009. Productos de alteración hidrotermal y datos geoquímicos de roca en el sector Puchuldiza Sur. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Inédito*, 49 p. Santiago.
- [8] SERNAGEOMIN. 2008. Estudio geofísico mediante magnetotelúrico (MT): Proyecto Puchuldiza. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Inédito*, 45 p.
- [9] Lahsen A., A; Munizaga V., F. 1979. Nuevos antecedentes cronológicos del volcanismo Cenozoico Superior de Los Andes del Norte de Chile, entre los 19°00' y los 22°30' Lat. S. *En Congreso Geológico Chileno, 2º, Arica, 6-11 Agosto*: p. F61-F82.
- [10] Araya, C.; Bravo, Raúl; Solar, T. 1979. Control pozos 2, 3, 4 y 5 del campo geotérmico de Puchuldiza. CORFO - Comité Geotérmico, il, 2 planos pleg. en texto, Santiago.