

Laumontita-wairakita-yugawaralita como testimonio de sistemas geotermales fósiles en los Andes Chilenos

Santiago Maza¹, Diego Morata¹, Estefanía Peña¹ y Catalina Cerna¹

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

(E-mail: santiagomaz@gmail.com, dmorata@ing.uchile.cl, estefania.pena@ug.uchile.cl,
catalina.cerna@ug.uchile.cl)

Keywords: Andes Chilenos; Fm Abanico; Geotermal, Laumontita; Wairakita; Yugawaralita.

ABSTRACT:

En las secuencias sedimentarias volcánicas y volcanoclásticas miocenas de los Andes de Chile Central, se han identificado una serie de sistemas geotermales fósiles a partir de la identificación de laumontita-wairakita-yugawaralita. Estas ceolitas fueron caracterizadas en el Estero de Codegua ubicado en la VI Región de Chile central, rellenando junto a cuarzo y calcita un intenso vetilleo que afectan junto a illita, clorita e interestratificados I/S y C/S a litoclastos, cristales y la masa fundamental tanto de tobas como lavas andesíticas del Oligoceno de la Fm Abanico. Esta asociación de minerales define una alteración propilítica desarrollada en un sistema geotermal de alta temperatura ($>200^{\circ}\text{C}$) y con dominio de pH neutros. Además, estas ceolitas determinan condiciones de profundidad superficial (0,5 kbar o 500-1000 metros) para el sistema geotermal que lo separan del evento de metamorfismo de bajo grado identificado regionalmente y que alcanzó facies de prehnita-pumpellyita (3 kbar o ~5000 metros) reconocidas en este sector. El desarrollo de este sistema geotermal podría haber ocurrido posterior la inversión tectónica de la cuenca Abanico (Oligoceno-Mioceno) producto de un régimen compresivo que permitió el depósito de la Fm Farellones y la exhumación de la Fm Abanico a condiciones subsuperficiales. El intenso vetilleo podría manifestar zonas de daños de fallas regionales de orientación N-S que actuaron como zona preferencial para la circulación de fluidos calientes. El origen de estos fluidos calientes del sistema geotermal de Codegua podría ser asignado a intrusivos del Mioceno superior o bien asociados al colapso de caldera como los ejemplos documentados en otros sectores de Chile central. Los sistemas geotermales fósiles andinos constituyen un excelente registro para la reconstrucción de la evolución termo-tectónica regional y pueden ser utilizados como análogos en superficie de los fenómenos de interacción calor-fluido-roca que ocurren en reservorios de sistemas geotermales activos hospedados rocas volcánicas y volcanoclásticas.

1. Introducción

El potencial geotérmico de ~3800 MW de los Andes Chilenos asociado al vulcanismo Pleistoceno, presenta numerosas manifestaciones superficiales de aguas y vapores termales. Sin embargo, tanto la ubicación, capacidad de almacenaje y de circulación de fluidos en los reservorios de secuencias volcánicas ha sido cuestionable quedando en *stand by* la mayoría de los sistemas prospectados. En este sentido, el fracturamiento secundario de la roca hospedante, la disolución de fases primarias y la precipitación de minerales de alteración son procesos que afectan la capacidad del reservorio, así como su evolución en el tiempo. En la Cordillera Principal de los Andes Chilenos se presenta una extensa zona de afloramientos de secuencias sedimentarias volcánicas y volcanoclásticas de intra-arco que fueron definidas como Formación Abanico (Oligoceno) y Farellones (Mioceno), donde además se documenta la intrusión de diferentes cuerpos magmáticos durante el Mioceno Superior [1], [2]. Además, en varios sectores de Chile central se han identificado también asociaciones mineralógicas consistentes con las condiciones P-T de alteración típicas de sistemas geotermales [3], hoy día exhumados, y que permitirían entender la naturaleza de los procesos de interacción calor-fluido-roca que se desarrollan en profundidad en los mismos.

2. Metodología

En el Estero de Codegua ubicado en la VI Región de Chile central, se realizaron una decena de testigos de una profundidad de hasta 70 m por el Ministerio de Obras Públicas para la construcción de una represa hidroeléctrica. El estudio de la mineralogía secundaria de rocas de la Fm. Abanico se realizó mediante difracción de rayos X (DRX); tanto en muestras de roca de caja, vetillas y en la fracción arcilla; en secciones delgadas a través de microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (SEM) con equipos del Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA) de la FCFM de la Universidad de Chile.

3. Resultados

La secuencia volcánica consiste de una alternancia de tobas líticas y lavas andesíticas correspondiente al miembro 2a de la Fm Abanico [4]. La mineralogía primaria está conformada por clinopiroxenos, escasas plagioclasas (andesina), magnetita y titanomagnetita con relictos de texturas afaníticas a porfídicas. Las tobas, en relación a las lavas, presentan un mayor grado de alteración, con una intensa zeolitización que afecta tanto litoclastos, cristales como a la masa fundamental. Las fases minerales identificadas están dominadas por laumontita

(~30%) y, en menores proporciones (<10%) por estilbita, clinoptilolita, wairakita y yugawaralita. Las plagioclasas están frecuentemente albitizadas (25%) y con reemplazos de laumontita, cuarzo (15%) y feldespato K (<5%). Los filosilicatos máficos son dominantes, con clorita (~15%, chamosita y clinocloro), interestratificados C/S y de manera localizada I/S e illita. La hematita aparece como reemplazo de la masa fundamental y litoclastos con porcentajes <10%. Epidota, calcita, prehnita y pumpellyita también han sido identificadas mediante DRX y SEM (Figura 1a). Las vetillas, por su parte, con espesores variables entre 1-20 mm, están rellenas por una asociación de ceolitas dominada por laumontita, wairakita, yugawaralita, calcita y cuarzo (figura 1b).

4. Discusión

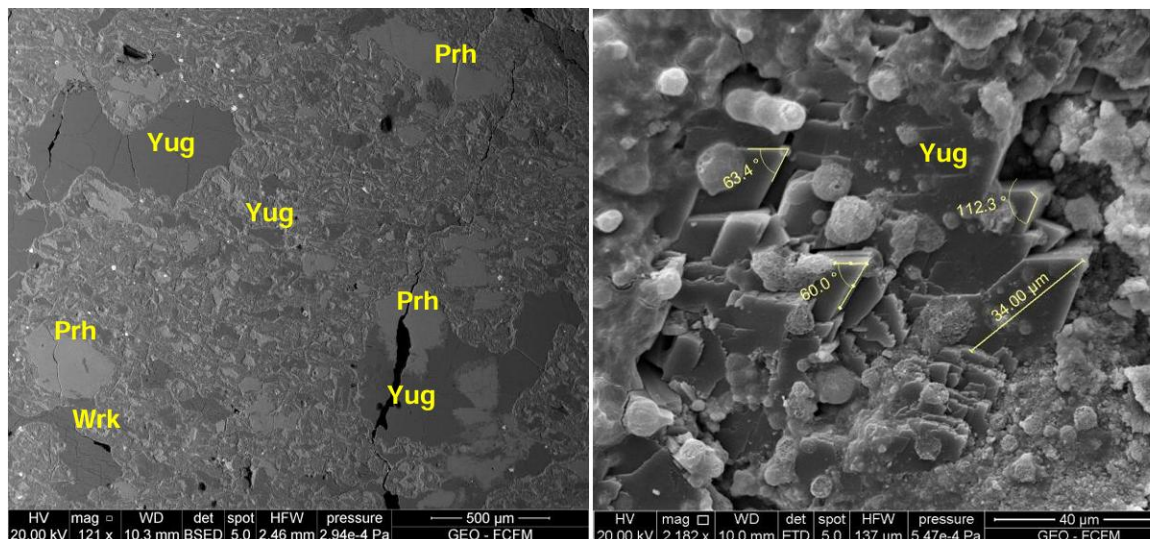
Los minerales y texturas de alteración identificadas en la secuencia volcánica de tobas y lavas andesíticas del Oligoceno de la Fm Abanico diferencian al menos dos eventos de alteración. El primero corresponde a un metamorfismo de bajo grado definido por la asociación de prehnita-pumpellyita con condiciones 240–280 °C y 3 kbar, junto a la albitización de plagioclasas y la asociación de clorita-laumontita-hematita-cuarzo reemplazando la masa fundamental de lavas y litoclastos de tobas así como fenocristales. Por su parte, un segundo evento superpuesto corresponde a una alteración propilítica definida por la asociación clorita-epidota-calcita-laumontita-illita y en vetillas de laumontita-wairakita-yugawaralita junto a cuarzo y calcita desarrollado bajo condiciones P-T típicas de las existentes en reservorios de sistemas geotermales. En este sentido, el campo de estabilidad de laumontita-wairakita-yugawaralita (230 °C y 0,5 kbar, [5; 6]) define un sistema geotermal de alta temperatura (>200°C) y con dominio de pH neutros. El intenso vetilleo, en tobas como lavas, correspondería a una zona de daño de fallas de orientación N-S de escala regional que habrían sido el canal de circulación de los fluidos geotermales posiblemente asociado a intrusivos del Mioceno superior. El sector de Codegua se suma a otros registros de paleo sistemas geotermales en las secuencias volcánicas y volcanoclásticas de la Fm Abanico de Chile central, también caracterizados por la asociación yugawaralita-wairakita-laumontita y vinculados al colapso de caldera documentadas durante este mismo periodo [3].

5. Conclusiones.

El estudio de los sistemas fósiles hoy día exhumados puede ser utilizado como guía para la comprensión de los procesos de interacción calor-fluido-roca en sistemas geotermales hospedados en rocas volcánicas y volcanoclásticas. En este sentido, el paleosistema geotermal identificado en el sector de Codegua

puede ser considerado como un análogo natural de sistemas geotermales hoy día activos presentes en Chile central.

Figura 1. a) Microfotografía de electrones retrodispersados en SEM mostrando el reemplazo de prehnita por yugawaralita y wairakita; b) Microfotografía de electrones secundarios en SEM de cristales prismáticos de yugawaralita.



Agradecimientos: Este trabajo es una contribución al Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA) y al Proyecto Anillo "The Water-Energy-Food Nexus for Urban areas in Central Chile (WEF-Chile)". [ATE220029].

Referencias:

- [1] Muñoz-Gomez, M.; Fuentes, C.; Fuentes, F.; Tapia, F.; Benoit, M.; Farías, M.; Fanning, M.; Fock, A.; Charrier, R.; Sellés, D.; Bustamante, D.: 'Eocene arc petrogenesis in Central Chile (c. 33.6° S) and implications for the Late Cretaceous–Miocene Andean setting: tracking the evolving tectonic regime', *Jour Geol Soc*, 2020, 177.2, pp 258-275.
- [2] Aguirre, L.: 'Geología de los Andes de Chile Central: Provincia de Aconcagua', Boletín N°9, Instituto de Investigaciones Geológicas, 1960. Chile.
- [3] Vergara, M., Levi, B., Villarroel, R.: 'Geothermal - type alteration in a burial metamorphosed volcanic pile, central Chile'. *Jour Met Geol*, 1993, 11, 3, pp 449-454.
- [4] Godoy, E., Schilling, M., Solari, M., & Fock, A.: 'Geología del Área Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua, Región del Libertador General Bernardo O'Higgins', *Ser Nac Geol y Min, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica*, 2009, 118, pp 50.
- [5] Cho, M., Liou, J. G., Maruyama, S.: 'Transition from zeolite to prehnite–pumpellyite facies metamorphism in the Karmutsen metabasites, Vancouver Island, Canada' *Jour Petrol*, 1986, 27-3, pp. 467–494.
- [6] Liou, J.G.; de Capitani, C.; Frey, M.: 'Zeolite equilibria in the system $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - SiO_2 - H_2O ', *New Zealand Jour Geol and Geoph*, 1991, 34-3, pp 293-301.