

## **Esmectitas en el scaling de la planta geotermal Cerro Pabellón, Chile**

Santiago Maza<sup>1</sup>, Diego Morata<sup>1</sup>, Maximiliano Seguel<sup>2</sup>, Germain Rivera<sup>2</sup>, Gianni Volpi<sup>2</sup> y Marco Cecioni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> Enel Green Power Chile. Roger de Flor 2725, Las Condes, Santiago, CHILE

(E-mail: seguelcardenas@gmail.com; germain.rivera@enel.com, gianni.volpi@enel.com; marco.cecioni@enel.com)

**Keywords:** Geotermia; Andes Chilenos; Cerro Pabellón; Scaling; Esmectita; Autigénesis.

### **ABSTRACT:**

Los fluidos geotermiales de centrales geotérmicas experimentan cambios físico-químicos, desde sus puntos de extracción a los de reinyección, favoreciendo la precipitación de sólidos (*“scaling”*). En los Andes del norte de Chile, a 4.500 m s.n.m, se ubica la planta geotermal Cerro Pabellón (81 MWe), operativa desde el 2017 por Geotérmica del Norte. El fluido geotermal es una salmuera sodio clorurada, ligeramente ácida, con T reservorio  $\geq 250^{\circ}\text{C}$  a 1.200 m de profundidad. El presente trabajo analiza el origen de esmectitas de los *scaling* de la planta mediante DRX y SEM-EDX. Los resultados muestran una mayor tasa de precipitación en los intercambiadores de calor (*preheaters*) asociada a la caída de la temperatura ( $155$  a  $90^{\circ}\text{C}$ ), cristalizando ópalo-A, arcillas expansibles, zeolitas tipo heulandita y estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) como fases dominantes. Además, en los últimos pasos de la red de tuberías (*piping*) se caracterizó oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) y getchellita ( $\text{AsSbS}_3$ ). Otras fases minoritarias fueron hematita, magnetita, pirita, sulfuros polimetálicos de Cu-Pb-Zn con cuarzo y plagioclasas detríticas. En los *scaling* del interior del pozo productor CP-2B se identificó calcita, aragonito, hematita, arcillas expansibles, sulfuros y ópalo. La mineralogía de la fracción arcilla de los *scaling* se compone de montmorillonitas ricas en Mg con trazas de Cu y Zn. El análisis morfológico de los *scaling* de los *preheater* e interior del pozo CP-2B evidencia cristales coherentes con formas de agregados tipo panal de abejas y/o rosetas, con tamaños de cristales individuales de  $1\text{--}4\text{ }\mu\text{m}$ . A partir de las asociaciones minerales y las relaciones texturales y morfológicas se propone un origen autigénico para las esmectitas los *preheater* con una temperatura de formación de  $\sim 150^{\circ}\text{C}$  y de  $\sim 230^{\circ}\text{C}$  para las de las tuberías del pozo CP-2B. Estos rangos de temperatura son consistentes con trabajos experimentales.

## 1. Introducción

La esmectita es uno de los grupos de filosilicatos característicos de sistemas geotermales y constituyente principal de la capa sello y de la zonación periférica y superficial de estos ambientes (e.g [1]; [2] y referencias incluidas). En la Cordillera de los Andes del norte de Chile, en la Región de Antofagasta, se ubica a 4.500 m s.n.m el sistema geotermal Pampa Apacheta (o Cerro Pabellón) donde se constituyó la primera planta geotérmica de Sudamérica. Esta planta, operativa desde el 2017 y perteneciente a Geotérmica del Norte (GDN), posee actualmente tres unidades de generación eléctrica, con una potencia instalada de 81 MW que producen 500 GWh al año, energía suficiente para cubrir las necesidades energéticas de 1.7 millones de hogares chilenos y evitando la emisión de 390.000 tn de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La tecnología implementada es mediante plantas de tipo binario, que constan de: (i) Ciclo Primario: en donde el fluido geotermal es extraído del reservorio por medio de 8 pozos de producción y, mediante una red de tuberías (*pipings*), ingresa a intercambiadores de calor (*preheaters*) a unos 155°C y sale a unos 90°C, para ser reinyectado en el reservorio por 4 pozos de reinyección; y (ii) Ciclo Secundario: en el que un fluido orgánico (isopentano) recibe el calor desde el fluido geotermal en los intercambiadores de calor, donde se calienta, vaporiza y se expande asociado a una turbina para generar electricidad, para después ser enfriado y mantenerse en un ciclo cerrado. El fluido geotermal es de tipo sodio clorurado, ligeramente ácido en condiciones de reservorio (pH entre 5.0 y 6.2), con TDS de 14-17 g/L y temperaturas sobre los 250°C a 1.200 m de profundidad [3]. Debido a las condiciones operacionales de la planta, se generan cambios en las condiciones físico-químicas de los fluidos geotermales desde sus puntos de extracción a los de reinyección, lo que puede favorecer a la precipitación mineral (*scaling* o incrustaciones), pudiendo eventualmente generar una disminución en la tasa de circulación del fluido.

## 2. Metodología

En el presente trabajo se estudia la mineralogía de muestras de *scaling* de Cerro Pabellón mediante difracción de rayos-X (DRX), microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de emisión de energía dispersiva de rayos-X (EDX) acoplada al SEM, en los laboratorios del CEGA en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

## 3. Resultados

Los resultados obtenidos muestran una variación mineral según la temperatura del fluido durante su circulación en el *pipiing*. En muestras de los *preheaters* se identificó la mayor tasa de precipitación asociada a la caída de la temperatura, cristalizando ópalo-A, arcillas expansibles, zeolitas tipo heulandita y estibina ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) como fases dominantes. Por el contrario, en los últimos pasos del *pipiing* se identificó oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) y getchellita ( $\text{AsSbS}_3$ ). Otras fases minoritarias fueron hematita, magnetita, pirita, sulfuros polimetálicos de Cu, Pb, Zn acompañados de fases detríticas como cuarzo y plagioclasas [5]. Por su parte, los *scaling* de tuberías de revestimiento del interior del pozo productor CP-2B presentan calcita, aragonita, hematita, arcillas expansibles, sulfuros y ópalo. La mineralogía de la fracción arcilla de los *scaling* se compone de arcillas expansibles del tipo esmectitas, cuya especie dominante son montmorillonitas ricas en Mg con trazas de metales (Cu y Zn). El análisis morfológico de los *scaling* de los *preheater* (Figuras 1a y 1b) e interior de pozo CP-2B evidencia la presencia de cristales con morfología coherentes con formas de agregados tipo panal de abejas y/o rosetas, mientras que los cristales individuales aparecen como placas curvadas con tamaño de granos de 1-4  $\mu\text{m}$ .

#### 4. Discusión

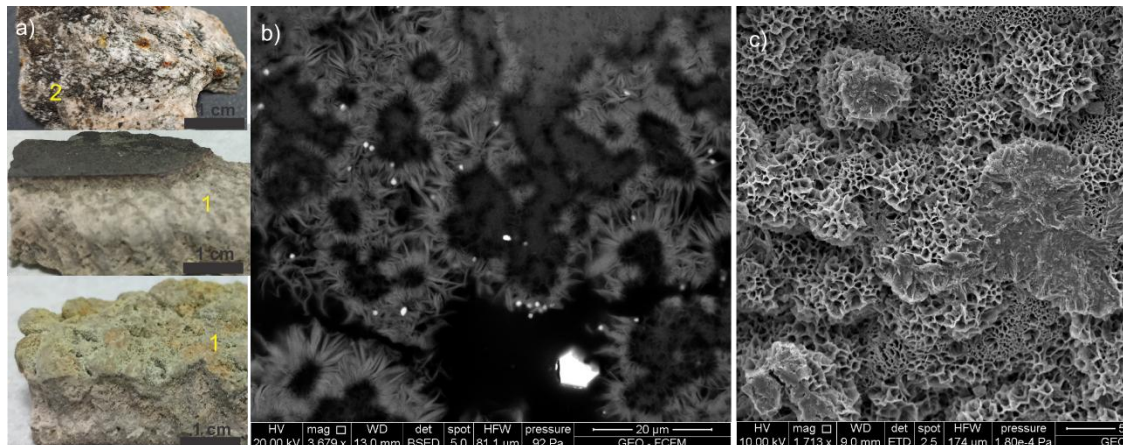
A partir de las relaciones texturales y morfológicas de las esmectitas y las temperaturas medidas en el fluido se propone un mecanismo de precipitación directa a partir de salmueras geotérmicas de la planta de Cerro Pabellón. Este origen autigénico presenta dos rangos de temperatura y asociaciones minerales diferentes:  $\sim 230^\circ\text{C}$  para los *scaling* de las tuberías del pozo CP-2B asociado a calcita-hematita $\pm$ ópalo $\pm$ sulfuros y  $\sim 150^\circ\text{C}$  para las esmectitas de los *preheater* asociado a ópalo-estilbina-oropimente. Estos rangos de temperatura son consistentes con los trabajos experimentales desarrollados por [4] en donde obtienen esmectitas con la típica estructura en panal de abejas como consecuencia de cristalización directa de fluidos termales en un sistema MASH a temperaturas del orden de  $180\text{--}225^\circ\text{C}$ . Esta hipótesis genética, que implicaría una elevada cinética de precipitación *in situ* de esmectitas, es consistente con el modelamiento geoquímico realizado por [5] mediante Phreeqc, con índice de saturación  $>2$  para las fases esmectíticas, y permitiendo, en consecuencia, su precipitación *in situ* a partir del *brine* geotermal.

#### 5. Conclusiones.

El estudio textural, morfológico y químico de las esmectitas de los *scaling* indica un origen autigénico, asociada a una alta tasa de precipitación de minerales como el ópalo y sulfuros en las tuberías de la planta y a calcita en el interior de

los pozos de producción, mostrando en ambos casos una inusual cinética de precipitación.

**Figura 1.** a) Muestras de los *scaling* del *prehater* (1) y de las tuberías de revestimiento del interior del pozo (2) b) Imagen de SEM de esmectitas. c) Imagen de SEM de esmectitas de *scaling* de la tubería del pozo CP-2B.



**Agradecimientos:** Este trabajo es una contribución al Centro de Excelencia de los Andes (CEGA) y se ha desarrollado en el marco del convenio de cooperación entre el CEGA y Geotérmica del Norte (GDN).

#### Referencias:

- [1] Maza, S.N., Collo, G., Morata, D., Lizana, C., Camus, E., Taussi, M., Renzulli, A., Mattioli, M., Godoy, E., Alvear, B., Pizarro, M., Ramírez, C. y Rivera, G.: 'Clay mineral associations in the clay cap from the Cerro Pabellón blind geothermal system, Andean Cordillera, Northern Chile', *Clay Minerals*, 2018, 53, pp 117-141.
- [2] Morata, D., Maza, S., Vidal, J., Taussi, M., Renzulli, A., Mattioli, M., Pizarro, M., Camus, E., Godoy, B., Alvear, B., Rivera, G.: 'Hydrothermal Alteration in Cerro Pabellón Geothermal Field: from Surface and Drill Core Data to Conceptual Model', *Proc World Geoth Congr*, 2020. Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2.
- [3] Giudetti, G., Tempesti, L.: 'First geochemical data from Cerro Pabellón Geothermal Project (Apacheta Region, Chile) ', *Proc World Geoth Cong*, 2020. Reykjavik, Iceland, April 26 – May 2.
- [4] Vidal, O., Baldeyrou, A., Beaufort, D., Fritz, B., Geoffroy, N., Lanson, B.: 'Experimental study of the stability and phase relations of clays at high temperature in a thermal gradient', *Clays and Clay Minerals*, 2012, 60-2, pp 200–225.
- [5] Seguel, M., Robidoux P; Maza, S.; Rivera, G., Tempesti, L., Rodriguez. V., y Morata, D.: 'Geoquímica, mineralogía y factores fisicoquímicos de la precipitación mineral en pozos y tuberías de la central geotérmica Cerro Pabellón', *Congr Geol Chile*, 2023 Santiago, Chile, 26 nov – 1 dic.