

Mineralogía de alteración en el pozo Pte-1, campo geotermal Tinguiririca, Chile.

Bárbara Droguett^{1,2}, Diego Morata¹, Jorge Clavero², Germán Pineda², Salvador Morales^{3,4} and Francisco Javier Carrillo^{4,5}

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

²Energía Andina S.A, Darío Urzúa 2165, Santiago, Chile.

³Departamento de Mineralogía y Petrología, Facultad de Ciencias, Avda. Fuentenueva s/n, Universidad de Granada, 18002, Granada

⁴Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), Avda. de Las Palmeras 4, 18100, Armilla (Granada)

⁵Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada, 18071, Granada

*E-mail: bdroguet@ing.uchile.cl

Resumen: Este trabajo presenta los avances en el estudio mediante petrografía óptica, DRX y SEM de la mineralogía de alteración presente en el pozo PTE-1, ubicado en el campo geotérmico Tinguiririca (Chile central). Los 813,85m de rocas perforadas pertenecen al Complejo Volcánico Tinguiririca (Pleistoceno-Holoceno) formado por lavas, tobos y brechas volcánicas de composición andesítica. Sobre la base de las asociaciones minerales se ha determinado dos zonas de alteración principales. La de menor profundidad presenta filosilicatos máficos ricos en esmectita, calcedonia e iddingsita, como fases diagnósticas. La más profunda contiene wairakita, prehnita y epidota, indicando un aumento progresivo de la temperatura. La proporción y naturaleza de filosilicatos máficos reconocida a lo largo de la columna indica una dependencia de la litología primaria, ya que los niveles con menores porcentajes de esmectita en el interestratificado Smt/Chl se encuentran en litologías con mayor porosidad (tobos), independientemente de la profundidad de éstas.

El rango de temperatura estimado a partir de las asociaciones minerales en equilibrio muestra una buena correlación con el perfilaje obtenido directamente del pozo, sugiriendo que la alteración mineral presente refleja el último evento de alteración geotermal activo sufrido por estas rocas.

Palabras Claves: Alteración geotermal, mineralogía, SEM, DRX, Tinguiririca.

1. Introducción

La energía geotérmica ha tomado gran importancia dentro del desarrollo de la matriz energética nacional, por lo que el estudio de campos geotermales ha sido potenciado en los últimos años. Dentro de este contexto, Energía Andina (EASA) ha financiado y colaborado con la realización de diversas tesis de grado. Este trabajo es parte de este proceso de colaboración entre EASA y la U. de Chile.

El presente trabajo se desarrolla a partir del estudio de un sondaje diamantino de 813,85m de largo realizado en el campo geotermal Tinguiririca por la empresa Energía Andina (VI Región, Chile central), específicamente en las coordenadas UTM 6.142.131 N, 373.482 E, y a una altura

de 3.282m s.n.m. Las unidades presentes en la zona de estudio en orden cronológico corresponden a: Formación Río Damas (Jurásico), Formación Baños del Flaco (Jurásico Superior), Unidad Clástica Parda Rojiza (Cretácico Superior), Estratos de la Quebrada Garcés (Eoceno), Formación Abanico (Oligoceno-Mioceno Inferior), Volcanismo del Pleistoceno Inferior (ca. 1 Ma) y Complejo Volcánico Tinguiririca (Pleistoceno-Holoceno), además de intrusivos hipabisales del Cretácico Superior y del Mioceno (Arcos, 1987 y referencias incluidas). El Complejo Volcánico Tinguiririca, que corresponde a la unidad perforada, está compuesto por diez unidades que representan distintos episodios eruptivos, diferenciándose ocho con erosión glacial y dos sin ella (Arcos, 1987). Geoquímicamente, está constituido por rocas de composición desde basáltico-andesítica hasta dacítica (Pineda, 2010).

Dadas las condiciones en superficie, es de gran importancia conocer la mineralogía de alteración en profundidad, con el fin de establecer las condiciones físico-químicas y la distribución de alteración, y contrarrestar esta información con los datos de temperatura obtenidos directamente del perfilaje del pozo, a modo de determinar si la mineralogía estaría reflejando el último evento de alteración geotermal sufrido por estas rocas.

2. Resultados

2.1. Metodología

Para conocer la mineralogía de alteración en detalle se llevan a cabo estudios de microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido y microanálisis EDX (SEM-EDX, Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad de Santiago de Chile, JEOL JSM5410) y difracción de rayos-X (DRX) de muestra total (Mineralogic & Petrologic Solutions Ltd., New Zealand) y de separados de arcillas (Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada).

2.2. Petrografía

Mediante estudio petrográfico se determina que la litología primaria presente en el pozo Pte-1 corresponde a productos volcánicos y subordinadamente rocas clásticas. En cuanto a la mineralogía de alteración, ésta aparece rellenando espacios abiertos (venillas y vesículas), en la masa fundamental de las rocas volcánicas y pseudomorfizando parcial o totalmente fases minerales primarias. Como fases de alteración presentes en toda la columna se ha identificado pirita, hematita y calcita. Sobre la base de minerales diagnósticos, se reconocen dos zonas de alteración principales: Zona I, caracterizada por la presencia de filosilicatos máficos ricos en esmectita, calcedonia e iddingsita; y Zona II, con presencia de minerales calco-silicatado (ceolitas, prehnita, epidota, titanita) junto a filosilicatos máficos y cuarzo.

En la Zona I, iddingsita se presenta únicamente como reemplazo de olivino, mientras que calcedonia se reconoce aproximadamente desde los 300m de profundidad como relleno de espacios y en escasos niveles como reemplazo mineral. En la Zona II cristales de cuarzo aparecen de forma más constante y pervasiva, tanto en la masa fundamental como rellenando vetillas. También se observan, principalmente en vetillas, cristales de ceolita entre los 625 y los 700m. Prehnita es reconocida a partir de los 595m de profundidad y se encuentra tanto en vetillas como alterando cristales de plagioclasa y masa fundamental. La epidota se reconoce a partir los 625.6m, principalmente como reemplazo de cristales de plagioclasa, diseminados en la masa fundamental y en vetillas en conjunto con filosilicatos máficos y sílice. Finalmente, la titanita se encuentra en la parte baja de la columna, a partir de los 638m de profundidad, diseminada en la masa fundamental. Por otro lado, los filosilicatos máficos aparecen a lo largo de toda la columna, presentando en los niveles superiores colores pardo a amarillo como reemplazo de fases primarias. A partir de los 218m es importante la presencia de estos minerales como relleno de espacios abiertos, con un marcado color verde, mientras que a partir de los 776m aparecen de manera ubicua alterando la masa fundamental.

2.3. Química mineral

Utilizando un SEM-EDX se obtienen datos de química mineral, lo que permite confirmar la presencia de ciertos minerales y acotar la composición, dentro de la solución sólida, de otros. El análisis EDX realizado en cristales de ceolita a una profundidad de 698, 4m muestra una composición bastante similar a la de wairakita, a los 625.6, 654 y 786m se reconoce una química propia de cristales de prehnita, y en cristales de epidota, reconocidos a partir de los 625.6m, se obtiene una composición más cercana a la epidota que a la clinozoisita.

En cuanto a los filosilicatos máficos, al graficar el contenido de cationes mayores no interfoliares versus el

contenido de aluminio en los datos obtenidos en las rocas del pozo Pte-1 (Figura 1), es posible observar que el contenido de aluminio varía entre 2,5 y 5 cationes por fórmula unidad y el de cationes no interfoliares entre 18 y 19,7. Esto indica que los filosilicatos máficos se encuentran en una mezcla mecánica intermedia entre clorita y saponita, sin embargo tienen una pequeña tendencia a desviarse hacia el extremo de la beidellita. Los datos obtenidos hasta los 408 m de profundidad tienden a presentar un aumento tanto en el contenido de cationes no interfoliares como en el contenido de aluminio en profundidad, lo que se traduce en un aumento en el contenido de clorita en la interestratificación. A partir de esta profundidad los datos pierden dicha tendencia, produciéndose un estancamiento en los valores o incluso una disminución de ellos, como en los 698,4 y 785,05 m. El contenido en sílice es mayor a 6,25 a.p.f.u. en todos los datos obtenidos, indicando que no se encuentran cloritas s.str. a lo largo del pozo Pte-1.

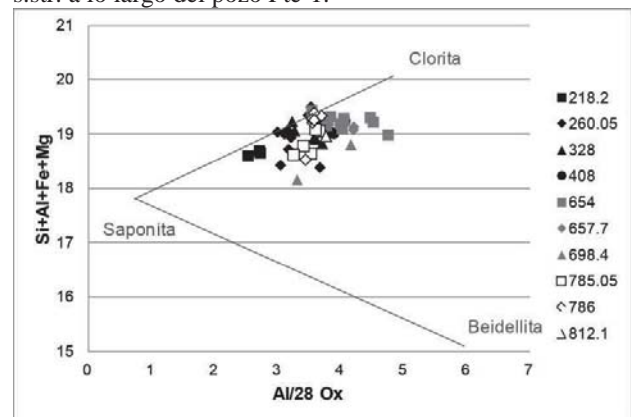


Figura 1. Cationes no-interfoliares (Si+Al+Fe+Mg) versus aluminio total en filosilicatos máficos del pozo Pte-1. Los extremos saponita y beidellita representan la composición de miembros terminales hipotéticos para esmectitas dioctaedrales y trioctaedrales de baja temperatura (Schiffman y Fridleifsson, 1991).

2.4. Difracción de rayos X

Además de confirmar la presencia de minerales ya descritos mediante petrografía macro y microscópica, la DRX entrega información adicional, en especial en lo concerniente a la identificación de ceolitas y minerales del grupo de las arcillas. De este modo, ha sido posible confirmar la presencia de wairakita en seis muestras distribuidas en forma discreta entre los 488,45 y los 698,4m de profundidad, mientras que analcima se reconoce a los 638,9m.

Con respecto a los resultados obtenidos del estudio de separado de arcillas, se obtiene que la interestratificación de filosilicatos máficos presente en el pozo es más bien clorita-esmectita, sin embargo, ya que sólo se cuenta con análisis en cuatro profundidades, no es posible realizar una interpolación de la ocurrencia de filosilicatos a lo largo de toda la columna. Es importante señalar que a los 408 m de

