



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



S11_038

Estudio de las alunitas supérgenas de los distritos El Salvador y El Hueso, región de Atacama: implicancias para el control climático y tectónico en la mineralización de óxidos de Cu

Bissig, T.¹, Riquelme, R.²

(1) Mineral Deposit Research Unit, Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, Canada.

(2) Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile.

rriquelme@ucn.cl

Introducción

Nuevos datos de edades ⁴⁰Ar-³⁹Ar y de isotopía estable de O, H y S para alunita supérgena de El Salvador y El Hueso, en el extremo sur del Desierto de Atacama (~26.2° lat S), son analizados considerando la historia morfotectónica de la región (e.g. [1]), permitiéndonos así discutir sobre el contexto geomorfológico en que ocurre la mineralización desde el Eoceno tardío.

Episodios de mineralización supérgena

Aquí se presentan seis nuevas edades de alunita supérgena que complementan edades publicadas (todas Ar-Ar plateau a menos que se indique lo contrario) obtenidas de El Salvador, incluyendo 4 muestras tomadas del mismo afloramiento descrito por [2] (figura 6). Otra muestra ha sido datada en El Hueso. La naturaleza supérgena de las alunitas fue confirmada por análisis isotópicos de S, siendo consideradas supérgenas solo aquellas muestras con $\delta^{34}\text{S}$ (CDT) entre -1.8 and +3. Las alunitas analizadas de El Salvador están asociadas a los depósitos exóticos Damiana y Quebrada Turquesa. [2] obtuvieron un rango de edades entre 35.4 y 11.1 Ma para la actividad supergena en el distrito en la base de edades de óxidos de Mn en los depósitos exóticos mismos, y edades Miocenas para alunita supérgena depositada río arriba de ellos. En el presente estudio se obtuvo un rango entre 35.82 ± 0.95 y 13.83 ± 0.23 Ma para alunita supérgena asociada a Damiana, muestreada en el afloramiento documentado por [2]. Si bien nuestras edades varían en el mismo rango que las edades publicadas, a nivel de afloramiento no son reproducibles. [2] no obtuvieron ninguna edad Eocena del mencionado afloramiento, mientras que en una veta subhorizontal dichos autores obtuvieron edades entre 12.89 ± 0.06 a 13.02 ± 0.06 Ma. Esto contrasta con la edad de 14.22 ± 0.16 Ma obtenido en el presente estudio en una veta subhorizontal. Asimismo, nosotros



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

datamos 2 muestras en el relleno de un plano de falla de fuerte manteo. La alunita ocurre como clastos de brecha subangulares, pero también componiendo un cemento, indicando así que la alunita se emplazó en al menos dos etapas separadas por el movimiento de la falla. La alunita tomada del clasto arrojó una edad de 15.31 ± 0.63 Ma, mientras que aquella tomada del cemento dio una edad de 13.83 ± 0.23 Ma. Esto contrasta con las edades [2] obtenidas en una veta subvertical del mismo afloramiento que varían entre 13.22 ± 0.12 y 3.61 ± 0.06 Ma.

Adicionalmente, en el distrito Salvador se dataron muestras de alunita emplazadas en la cabecera de la Quebrada Turquesa: una muestra de alunita pulverulenta blanca dio una edad plateau de 16.31 ± 0.12 Ma, y la otra arroja un espectro de edades escalonado, ligeramente creciente, que no obstante no alcanza un plateau, a pesar de que los diversos intentos de datación realizados reprodujeron espectros de edad similares. Una edad probable de 11 a 12 Ma se infiere para esta muestra.

En el Hueso, alunita pulverulenta de color blanco que rellena una fractura arrojó una edad de 8.19 ± 0.01 Ma, lo que concuerda con el rango de edades establecido por [3] para los procesos supérgenos en esta localización.

Datos de isotopía estable

Hemos obtenido datos isotópicos de δD para las alunitas datadas en este estudio por ^{40}Ar - ^{39}Ar . Los valores de δD para el grupo de hidroxilos reflejan composiciones de aguas meteóricas interviniendo en los procesos supérgenos [4]. En términos generales, los valores de δD son menos negativos a medida que son más jóvenes. Las alunitas del Eoceno tardío de la Quebrada Riolita arrojan valores de δD de -73‰ , mientras que las alunitas más jóvenes en esta localidad exhiben un marcado incremento de δD , desde -61‰ (15.4 Ma) a -50‰ (13.8 Ma). Las alunitas de la Quebrada Turquesa poseen valores significativamente mayores de δD , de entre -34 a -23‰ para edades más jóvenes que 16.3 Ma. La composición en δD para la alunita de 8.2 Ma tomada en El Hueso es -25‰ , similar a aquella de la Quebrada Turquesa.

Contexto geomorfológico para los procesos supérgenos en el Salvador y el Hueso

La Precordillera fue afectada por la Orogenia Incaica en el Eoceno tardío [5]. Esta fase orogénica alza, exhuma y permite el desarrollo de enriquecimiento supérgeno en el Salvador ya a los 36 Ma. En el Oligoceno temprano una red de drenaje fuertemente incidida en el sustrato se desarrolla en la Precordillera. Los valles formados durante este tiempo alcanzaron incluso 2 km de profundidad respecto a las cumbres circundantes más altas, indicando que la Precordillera era ya elevada y sobrepasaba los 2000 msnm (Riquelme *et al*, 2007). En el Oligoceno, el foco del plegamiento y fallas de cabalgamiento salta hacia el Este, localizándose en el margen Oeste de la Cordillera Oeste (Cordillera Claudio Gay: [6]). Este salto en el foco de la deformación resulta en la generación de la cuenca endorreica correspondiente a la depresión Preandina, la que alberga el Salar de Pedernales.

Los profundos valles Oligocenos en la Precordillera, fueron colmatados con sedimentos clásticos continentales durante el Mioceno Inferior-Medio. El relleno del relieve fue probablemente acompañado de la formación de superficies de pedimentación, tal como lo



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

sugiere la presencia de la superficie Mioceno temprano de Sierra Checo del Cobre [7], representada en el área de estudio por las superficies planas que coronan el área de El Hueso y La Coya. Un pedimento del Mioceno temprano a medio, con un nivel de base local en el Salar de Pedernales, incide y se encuentra encajado en la superficie Sierra Checos del Cobre, al este de El Hueso y La Coya [8]. La posterior evolución del paisaje resulta principalmente del basculamiento de la Precordillera y la Depresión central, el que comienza en el Mioceno Medio e induce la erosión de la Depresión Central. Una tasa de basculamiento relativamente baja y un clima relativamente árido permiten en el Mioceno medio-tardío el retroceso y solapamiento aluvial de los piedemonte, y la formación en la Precordillera del Pediplano de Atacama [1]. El pórfido de Cu de El Salvador está situado en el escarpe de retroceso del Pediplano de Atacama en la Precordillera oeste. El Pediplano de Atacama seguramente se forma en sucesivas etapas, probablemente sobreimprimiendo un antiguo pedimento que podría relacionarse a la Superficie Sierra Checos del Cobre. Un incremento de la tasa de basculamiento, consecuentemente en el alzamiento de la Precordillera durante el Mioceno tardío, fomentando un mayor control orográfico de precipitaciones a altas elevaciones, induce la incisión que origina los actuales profundos cañones (Quebrada El Salado, Quebrada Asientos: [1], [7]).

Discusión e interpretación

Si bien nuestras nuevas edades ^{40}Ar - ^{39}Ar confirman la ocurrencia de procesos supérgenos en el Hueso durante el Mioceno tardío, así como el cese de estos en El Salvador a alrededor de los 13 Ma, nuestros estudios muestran que las edades en alunitas provenientes de una única veta o afloramiento, pueden variar enormemente. En Quebrada Riolita, el rango general de edades de las alunitas de ambiente hidrotermal es equivalente al rango de edades establecido a partir de óxidos de Mn proveniente de la mineralización exótica de Damiana [2]. Lo anterior sugiere que fallas y fracturas pudieron haber sido conductos hacia el sistema mineralizante exótico episódicamente por más de 20 Ma. Así, las condiciones hidrogeológicas, y consecuentemente las condiciones geomorfológicas locales, probablemente fueron similares durante gran parte del Mioceno, e inclusive desde el Eoceno. El Pediplano de Atacama es el resultado de múltiples eventos de pedimentación y de depósitos de gravas. Dentro de este esquema, la mineralización exótica ocurre periódicamente durante los eventos de erosión, cesando a alrededor de 13 Ma. En El Hueso, la oxidación más temprana coincide con la incisión de la Superficie Sierra Checos del Cobre, mientras que un nuevo episodio de mineralización supérgena durante el Mioceno tardío podría ser atribuido a un incremento de la humedad, producto de una mayor captura orográfica de precipitaciones. En contraposición a nuestros datos, el alzamiento Andino Neógeno debería resultar en valores decrecientes de δD para las aguas meteóricas, debido al control orográfico de la composición isotópica de las precipitaciones. Nosotros interpretamos el exceso observado de deuterio como el resultado de una fuerte evaporación y reciclaje de las aguas meteóricas con posterioridad a los 15 Ma, i.e. luego de que la Depresión que alberga el Salar de Pedernales se forma, y como indicativo de un cambio en los patrones de precipitación y la desecación del clima. En contraste,



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

considerando la evolución climática global [9], los valores fuertemente negativos de δD para las alunitas supérgenas del Eoceno tardío corresponderían a paleo-elevaciones de al menos 3000 m a los ca 36 Ma. Lo anterior, es consistente con un paisaje gobernado por el desarrollo de profundos cañones durante el Eoceno tardío-Oligoceno temprano, como ha sido propuesto para esta región [1]. En general, la composición de δD de las alunitas supérgenas no puede ser directamente usado como un paleo-altímetro, sin embargo, combinado con un buen entendimiento de la evolución morfotectónica, puede entregar importantes antecedentes sobre la evolución paleo-climática.

Agradecimientos

Este trabajo ha podido realizarse gracias al financiamiento del proyecto FONDECYT No 11060516.

Referencias

- [1] Riquelme, R, Hérail, G, Martinod, J, Charrier, R J and Darrozes J, 2007. Late Cenozoic geomorphologic signal of forearc deformation and tilting associated with the uplift and climate changes of the Andes, Southern Atacama Desert (26°S - 28°S), *Geomorphology*, 86:283-306.
- [2] Mote, T I, Becker, T A, Renne, P and Brimhall, G H, 2001. Chronology of exotic mineralisation at El Salvador, Chile by 40Ar/39Ar dating of copper wad and supergene alunite, *Economic Geology*, 96:351-366.
- [3] Marsh, T M, Einaudi, M T and McWilliams, M, 1997. 40Ar/39Ar geochronology of Cu-Au and Au-Ag mineralisation in the Potrerillos district, Chile, *Economic Geology*, 92:784-806.
- [4] Rye, R O, Bethke, P M and Wasserman, M D, 1992. The stable isotope geochemistry of acid sulfate alteration, *Economic Geology*, 87:225-262.
- [5] Tomlinson, A J, Mpodozis, C, Cornejo, P, Ramirez, C F and Dumitru, T, 1994. El Sistema de fallas Sierra Castillo-Agua Amarga: Transpresión sinistral Eocena en la precordillera de Potrerillos-El Salvador, in *7° Congreso Geológico Chileno, Actas*, pp 1459-1463 (Sociedad Geológica de Chile).
- [6] Mpodozis, C and Clavero, J, 2002. Tertiary tectonic evolution of the southwestern edge of the Puna Plateau, Cordillera Claudio Gay, 26° - 27°S, northern Chile, in *Andean Geodynamics: Extended Abstracts: Toulouse: IRD*, pp 445-448 (Univ. Paul Sabatier).
- [7] Mortimer, C, 1973. The Cenozoic history of the southern Atacama Desert, Chile, *Journal of the Geological Society of London*, 129:505-526.
- [8] Bissig, T. and Riquelme, R., in press, Contrasting landscape evolution and development of supergene enrichment in the El Salvador Porphyry Cu and Potrerillos-El Hueso Cu-Au districts, Northern Chile. In Society of Economic Geologists Special Publication No. 14
- [9] Zachos, J, Pagani, M, Sloan, L, Thomas, E and Billups, K, 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present, *Science*, 292:686-693.