



# Tiempo de residencia magmática de circones de dos ignimbritas miocenas, Andes Centrales sur

Cristián Ramírez<sup>1\*</sup>, Víctor Villa<sup>1</sup>, Francisco Hevia<sup>3</sup>, José A. Naranjo<sup>1</sup> y Marco Suárez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María #0104, Santiago, Chile.

<sup>2</sup>Laboratorio de Geocronología, Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Tiltil #1993, Santiago, Chile.

<sup>3</sup>Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Plaza Ercilla #803, Santiago, Chile.

\*e-mail: cristian.ramirez@sernageomin.cl

## Resumen

Los tiempos de residencia magmática aportan valiosa información sobre los lapsos de almacenamiento de cristales y magma en cámaras o reservorios. Comúnmente se utilizan para su cálculo, edades eruptivas de rocas volcánicas y edades obtenidas en minerales con alta temperatura de cierre. En este trabajo se estudian las ignimbritas miocenas Los Cristales y San Andrés cuyas edades de cristalización se calculan, mediante U-Pb en circones, en  $16,7 \pm 0,08$  Ma y  $9,28 \pm 0,16$  Ma, respectivamente. Las diferencias entre edades eruptivas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y de cristalización de circones de estas unidades se calculó en 430 ka (Los Cristales) y 290 ka (San Andrés). Estos datos se interpretan como el tiempo de residencia de los circones formados en las cámaras o reservorios asociados a los sistemas magmáticos de las ignimbritas, y pueden considerarse como una estimación de los tiempos mínimos de almacenamiento de los magmas de estos sistemas en la corteza.

**Palabras clave.** Edad U-Pb en circón. Tiempos de residencia. Ignimbrita Los Cristales. Ignimbrita San Andrés, Andes Centrales.

## Introducción

Uno de los fenómenos geológicos más catastróficos está relacionado a la generación de ignimbritas voluminosas asociadas al colapso de caldera (Francis y Oppenheimer, 2003), las cuales han sido ampliamente documentadas en los Andes Centrales (De silva et al., 1989; Naranjo et al., 2013a, b, este congreso, en prep.). Sin embargo, las condiciones de formación de una cámara magmática asociada a calderas y la escala de tiempo de estos procesos son una línea de investigación en desarrollo (Costa, 2008). En este contexto, el estudio de los tiempos de residencia magmática entrega información importante acerca de los lapsos en que cristales y magma son almacenados previo a las erupciones volcánicas (Costa, 2008).

En el presente trabajo calcularon los tiempos de residencia magmática de circones de las ignimbritas Los Cristales (ca. 16 Ma) y San Andrés (ca. 9 Ma), distribuidas en la precordillera de la Región de Atacama. Para esto, se

utilizaron edades U-Pb en circones (de este estudio) y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  interpretadas como edades eruptivas (Nalpas et al., 2008; Costa, 2008). Con estos datos se estimó la duración de los procesos de formación de estos sistemas magmáticos, material fuente de las ignimbritas.

## Marco Geológico

Las rocas estudiadas se ubican en la cordillera de Domeyko, al oeste del Salar de Pedernales. En este sector, la unidad Gravas de Atacama se encuentra discordante sobre unidades volcánicas y sedimentarias, marinas y continentales, del Mesozoico (Formaciones Quebrada del Salitre, Asientos, Estratos de Quebrada y la Formación Sierra Fraga) y rocas metamórficas e intrusivas del Paleozoico Superior (Esquistos El Jardín, Batolito Sierra Castillo; Tomlinson et al., 1999).

En el sector El Jardín, se reconoce la Ignimbrita Los Cristales, de ca. 16 Ma, definida por Cornejo et al., (1993) como un depósito de flujo piroclástico riódacítico de pómez, cuarzo, plagioclasa y biotita. Se distribuye al oriente, en los alrededores de los salares Maricunga y Pedernales, y se intercala en las Gravas de Atacama en la precordillera. En tanto, sobre las gravas, se depositó la Ignimbrita San Andrés de ca. 9 Ma, descrita por Clark et al., (1967), como una toba riolítica cinerítica y pumicea, con cristales de biotita, cuarzo y plagioclasa principalmente (Cornejo et al., 2013). En el sector estudiado, se extiende al menos, desde el Salar de Pedernales hasta el sector Aeródromo Salvador.

La existencia de grandes sistemas de calderas reconocidos en el arco volcánico cenozoico superior, inmediatamente al este del Salar de Pedernales (Naranjo et al., 2013a, b, este congreso, en prep.), indica que estos afloramientos corresponderían a depósitos distales de ignimbritas provenientes de aquel sector.

## Metodología

Las muestras de las ignimbritas San Andrés y Los Cristales fueron obtenidas aproximadamente a 20 km de El Salvador, en las rutas C-173 y C-13, respectivamente, donde se muestrearon cerca de 3 kg de cada una. La molienda, separación desde la matriz y la datación de los circones se realizó en el Laboratorio del Servicio Nacional de Geología y Minería. Se seleccionaron cerca de 160 circones con lupa binocular, se realizaron imágenes de cátodo-luminiscencia en SEM y datación puntual en LA-ICP-MS. La edad U-Pb de los circones fue calculada como el valor promedio ponderado de aquellas seleccionadas por la herramienta *tuffzircage* del software Isoplot 4.15 (Ludwig, 2008). El tiempo de residencia se calculó, en forma análoga a lo expuesto en Costa (2008), como la diferencia entre la edad U-Pb de los circones de cada una de las ignimbritas, y las edades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  obtenidas de Nalpas et al., (2008), por ellos interpretadas como edades eruptivas. Para ambas ignimbritas se calculó un tiempo estadístico máximo, el cual corresponde a la diferencia entre la edad de erupción, a la cual se le resta el error analítico y la edad U-Pb de los circones, a la cual se le suma el error analítico.

## Resultados

### Caracterización de las ignimbritas

La ignimbrita Los Cristales, de color rosáceo, en la localidad muestreada tiene un espesor aproximado de 5 m, abundantes fragmentos líticos tamaño arena a grava y escasas pómez fragmentadas en una matriz cinerítica con escasos cristales de plagioclasa y biotita. En lámina delgada se observa hasta un 7 % de cristales de plagioclasa y biotita, fragmentos líticos porfíricos y vítreos, pómez fibrosas y vesiculares de hasta 2 mm, en una matriz desvitrificada rica en esquirlas de hasta 1mm.

La ignimbrita San Andrés tiene un espesor de hasta 15 m en la localidad muestreada. Es de tonalidad rosada, con matriz cinerítica, y abundantes pómez rosadas y blancas de hasta 4 cm. En lámina delgada se observa menos de un 10% de fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita, escasos líticos porfíricos en una matriz rica en esquirlas finas menores que 100  $\mu\text{m}$  con abundantes pómez tubiformes y vesiculares.

### Edades U-Pb de circones

Los cristales de circón de ambas ignimbritas son, en general, euhedrales a subhedrales, de hasta 400  $\mu\text{m}$ , ocasionalmente fragmentados y comúnmente prismáticos con zonación oscilatoria.

### Ignimbrita Los Cristales

El histograma general de esta ignimbrita muestra edades entre 1.200 y 15,8 Ma. Los circones más jóvenes definen un importante *peak* agrupado en 90 cristales entre 17,5 y 15,8 Ma, del cual no es posible separar, estadística ni geológicamente, un grupo definido con menor cantidad de circones. Por lo tanto, la edad promedio ponderada se ha calculado en este grupo, con un resultado de  $16,7 \pm 0,08\text{Ma}$  (Fig. 1).

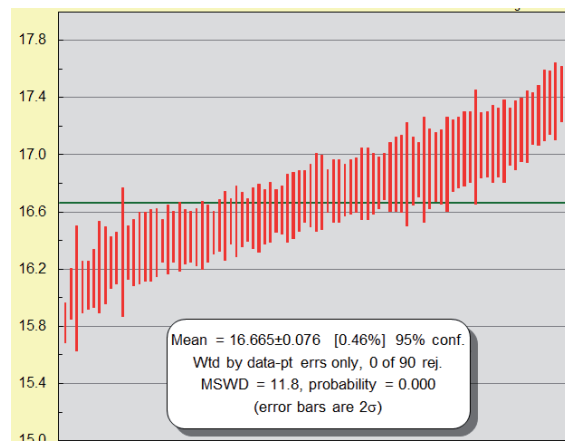


Figura 1. Distribución de edades (Ma) de los circones más jóvenes representados por las barras rojas (error analítico) de la Ignimbrita Los Cristales y la edad calculada a partir de ellos:  $16,7 \pm 0,08\text{ Ma}$ .

### Ignimbrita San Andrés

La distribución de los circones más jóvenes de la ignimbrita San Andrés muestra un grupo bien definido de 13 cristales identificados con la herramienta *tuffzircage* (Fig. 2a). Estos se utilizaron para calcular la edad promedio ponderada, con un resultado de  $9,28 \pm 0,16\text{ Ma}$  (Fig. 2b).

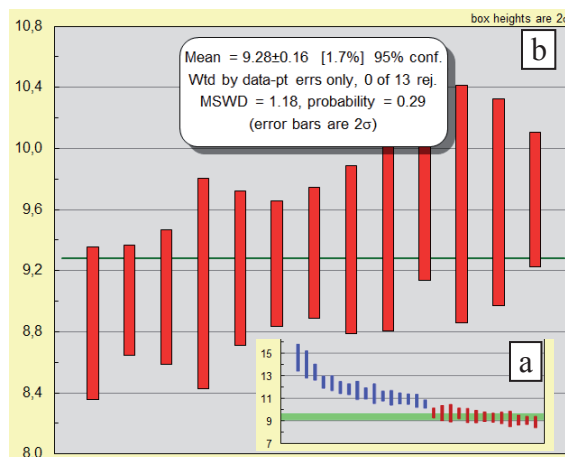


Figura 2. a) Distribución de los circones más jóvenes de la ignimbrita San Andrés y el grupo (barras rojas) seleccionado por *tuffzircage* para el cálculo de la edad. b) Detalle del grupo de circones seleccionados y la edad promedio ponderada calculada a partir de este:  $9,28 \pm 0,16\text{ Ma}$ .

### Tiempos de residencia

Edades de  $16,5 \pm 0,2$  y  $16,6 \pm 0,2$  Ma de Ignimbrita Los Cristales (Nalpas et al., 2008) fueron interpretadas por estos autores como edades eruptivas. El tiempo de residencia máximo se calculó, utilizando la edad U-Pb de los circones y el promedio de estas dos edades eruptivas ( $16,55 \pm 0,2$  Ma). El resultado fue de 430 ka.

Cuatro edades entre 9,15 y 9,21 Ma fueron obtenidas por Nalpas et al., (2008) e interpretadas como edades eruptivas para la Ignimbrita San Andrés, todas con un error analítico de 0,02 Ma. El tiempo de residencia máximo se calculó como la diferencia entre la edad U-Pb de los circones y el promedio de estas cuatro edades eruptivas ( $9,17 \pm 0,02$  Ma). El resultado fue de 290 ka.

### Discusión

#### Edad de los circones

Las edades U-Pb en circones de ignimbritas han sido comúnmente interpretadas como edades de cristalización en la cámara magmática, previo a su erupción (Schmitt et al., 2002; Costa, 2008). Esta interpretación es aplicable para los circones de este estudio, ya que presentan sistemática zonación oscilatoria y edades ligeramente más antiguas que las edades eruptivas.

Dado que la separación de circones se realizó desde la matriz y no de fragmentos juveniles, los cálculos pueden incluir edades de circones accidentales de otras unidades que, eventualmente, envejecen las edades promedio ponderadas (de cristalización). Aun cuando lo anterior no es determinante para la ignimbrita San Andrés (Fig. 2), este sesgo podría ser importante en la ignimbrita Los Cristales (90 cristales entre 15,8 y 17,5 Ma). Por otro lado, en esta ignimbrita existe un gran número de circones con edades analíticas U-Pb más jóvenes que la edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de erupción (Fig. 1). De esta manera, el amplio intervalo de edades en el grupo de circones escogido para los cálculos en esta ignimbrita puede tener más bien un origen analítico y no necesariamente corresponder a circones accidentales.

#### Tiempos de residencia

Los tiempos de residencia magmática se calculan a partir de distintos sistemas radiométricos en diferentes minerales (Costa, 2008). Corresponden, presumiblemente, al tiempo de almacenamiento de un mineral en un sistema magmático desde el inicio de su cristalización. En este trabajo se utilizaron edades U-Pb en circones, cuyas temperaturas de cierre son relativamente altas comparadas con otros sistemas radiométricos (Dickin, 2005). En consecuencia, los resultados de este estudio, de 430 y 290 ka, ofrecen una estimación de los tiempos mínimos de

acumulación de magmas en las cámaras o reservorios asociados a ambas ignimbritas. Es necesario destacar, sin embargo, que los efectos de la utilización de distintos sistemas isotópicos en diferentes minerales, con temperaturas de cierre disímiles, son desconocidos (Costa et al. 2008).

#### Comparación con otras ignimbritas

Según Costa et al. (2008 y referencias allí citadas), los tiempos de residencia más cortos han sido estimados entre 4 y 70 ka para algunas ignimbritas de los sistemas volcánicos Taupo, Crater Lake y Yellowstone, cuyas edades varían entre 7 y 600 ka. Por otra parte, para los sistemas volcánicos de Toba (Youngest Toba, 75 ka), Long Valley (Bishop Tuff, 760 ka), La Pacana (ignimbritas Atana y Toconao, ca. 4 Ma) y La Garita (Fish Canyon Tuff, 28 Ma), se han calculado tiempos entre 160 y 750ka. Los resultados obtenidos en este trabajo se ubican dentro de los tiempos más extensos, comparables con aquellos estimados para la Bishop Tuff (hasta 390 ka), Fish Canyon Tuff (hasta 360 ka), y para las ignimbritas Atana y Toconao (500 a 750 ka).

### Conclusiones

Si no se consideran los posibles efectos de utilizar sistemas isotópicos distintos ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y U-Pb) y se asume de menor relevancia la incorporación de cristales accidentales con edades similares a las de cristalización, es posible concluir lo siguiente:

- Se calcularon edades U-Pb en circones (promedio ponderadas) de  $16,7 \pm 0,08$  Ma para la ignimbrita Los Cristales y  $9,28 \pm 0,16$  Ma para la ignimbrita San Andrés. Ambas se interpretan como edades de cristalización de los circones en la cámara o reservorio magmático, en una etapa previa a la erupción generadora de las ignimbritas.
- La diferencia entre edades eruptivas ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) y de cristalización de circones (U-Pb) de las ignimbritas Los Cristales y San Andrés, fueron calculadas en 430 y 290 ka, respectivamente. Estos datos se interpretan como el tiempo de residencia de los cristales en las cámaras o reservorios asociados a los sistemas magmáticos de las ignimbritas. Estos valores, a su vez, pueden considerarse como tiempos mínimos de almacenamiento de estos magmas en la corteza.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los funcionarios del Laboratorio del Sernageomin por su importante contribución en aspectos técnicos y analíticos. A los conductores Gonzalo Núñez y José Luis Díaz por el apoyo logístico, y a Marcos

Lienlaf por el apoyo técnico. Este trabajo es una contribución del Plan Nacional de Geología (PNG) del Departamento de Geología General del Servicio Nacional de Geología y Minería, mediante el Proyecto PNG N°8011, Carta Geológica de Chile: Áreas Salar de Agua Amarga y Portezuelo del León Muerto, Áreas Salar de Pajonales y Cerro Mono y Áreas Cerro Panteón de Aliste y Cerro Colorado.

Schmitt, A. Lindsay, J., de Silva, S., Trumbull, R. 2002. U-Pb zircon chronostratigraphy of early-Pliocene ignimbrites from La Pacana, north Chile: implications for the formation of stratified magma chambers. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 120, 43-53.

Tomlinson, A. J., Cornejo, P., Mpodozis, C., 1999. Hoja Potrerillos, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). Mapas Geológicos, N°14, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago.

## Referencias

- Clark, A.H.; Mortimer, C.; Sillitoe, R. 1967. Implications of the isotopic ages of ignimbrite flows, southern Atacama Desert. Chile: *Nature*, v. 215: 723-724.
- Cornejo, P.; Matthews, S.; Mpodozis, C.; Rivera, O.; Riquelme, R. 2013. Carta El Salvador, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 158, 1 mapa escala 1:100.000.
- Costa, F. 2008. Residence times of silicic magmas associated with calderas. In: Caldera Volcanism: Analysis, Modelling and Response, Gottsmann, J. Marti J. (eds), *Developments in Volcanology* 10: 1-55.
- De Silva, S. L. 1989. The Altiplano-Puna volcanic complex of the Central Andes. *Geology* 17, 1102-1106.
- Dickin, A.P. 2005. Radiogenic isotope geology. Cambridge University Press, Cambridge, 510 pp.
- Francis, P., Oppenheimer, C., 2003. Volcanoes, second edition. Oxford University Press, Oxford.
- Ludwig, K. R. 2008. User's Manual for Isoplot 3.70, A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication N°4: 76 p.
- Nalpas, T., Dabard, M.P., Ruffet, G., Vernon, A., Mpodozis, C., Loi, A., Herail, G. 2008. Sedimentation and preservation of the Miocene Atacama Gravels in the Pedernales-Chañaral Area, Northern Chile: Climatic or tectonic control?. *Tectonophysics*. 459, 161-173.
- Naranjo, J.A.; Villa, V.; Venegas, C. 2013a. Geología de las áreas Salar de Aguilar y Portezuelo del León Muerto, Regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 151-152, 1 mapa escala 1:100.000.
- Naranjo, J.A.; Villa, V.; Venegas, C. 2013b. Geología de las áreas Salar de Pajonales y Cerro Moño, regiones de Antofagasta y Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, Nos. 153-154, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Naranjo, J.A., Ramírez, C.A., Villa, V.A. En preparación. Geología de las áreas Cerro Panteón de Aliste y Cerro Colorado. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Naranjo, J.A., Villa, V., Ramírez, C.A., Pérez de Arce, C. (este Congreso). Oligo-Holocene evolution of the southern part of the Central Andes: volcanism and tectonic, 4 p.