



Geoquímica e isótopos de He, Sr y Pb en las rocas del Complejo Volcánico Caviahue-Copahue, (Argentina)

Juan Sánchez, Emilie Roulleau* y Daniele Tardani

CEGA, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago Centro, Santiago, Chile

Yuji Sano y Naoto Takahata

AORI, University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, Japón

*email: eroulleau@ing.uchile.cl

Resumen: El Complejo Volcánico Caviahue-Copahue, localizado en el límite entre Chile y Argentina presenta una historia estructural compleja y una actividad que data de unos 3Ma. Estudios geoquímicos de elementos mayores y traza e isótopos de He, Pb y Sr en las rocas de las diferentes unidades del complejo muestra un desarrollo con pequeñas variaciones de composición isotópicas. Los datos isotópicos y de elementos trazas muestran un aporte mantélico, notado en las razones de He, probablemente una lertzolita de olivino y piroxeno, con una contribución de sedimentos y de la corteza oceánica de la placa de Nazca, que durante su ascenso por la corteza se enriquece de elementos como U, Th y Pb, indicando un aporte cortical a este magma.

1 Introducción

En la Cordillera de los Andes en el límite de Chile-Argentina se encuentra el Complejo Volcánico Caviahue-Copahue (CCVC). Este complejo se desarrolla en un contexto tectónico convergente de placas, donde la placa de Nazca subduce bajo la placa Sudamericana, con una tasa de convergencia de 80mm/año (Somoza, 1998). Esta región presenta una corteza engrosada de aproximadamente 45 km y subduce bajo la placa de Nazca con un ángulo de 30° (Bohm et al., 2002; Lüth et al., 2003). Estructuralmente, el CCVC está localizado en un campo de estrés generado por la interacción entre LOFZ y la zona de falla Antifir-Copahue (Melnick et al., 2006). El CCVC se compone de un estrato-volcán Copahue dentro la caldera de Caviahue. El Volcán Copahue tiene una actividad desde el Pleistoceno y está definido por una actividad andesítica a basáltica-andesítica típica de volcán de arco. Esta también asociado con varios sistemas geotermales (al NE del volcán Copahue). Este estudio presenta los resultados preliminares de la geoquímica de los elementos mayores y en trazas, y de los isotópicos de He, Sr y Pb de varias unidades vulcano estratigráficas que conforman el CCVC. Los objetivos son entender mejor el origen del magma de CCVC, y ver si existe una evolución

en la composición química e isotópica de CCVC con el tiempo.

2 Geocronología, Muestreo y Metodología

2.1 Geocronología

Los datos geocronológicos que se utilizan son los propuestos por Linares et al (1999). La formación Cola de Zorro tiene una edad calculada promedio ponderado de 19 muestras de $4,5 \pm 0,5$ Ma y representa el basamento. La secuencia volcánica Las Mellizas que tiene un edad de $2,6 \pm 0,05$ Ma, representa la erosión de un estratovolcán antiguo formado después la Caldera de Caviahue (Melnick et al., 2006). La actividad del Volcán Copahue comenzó en el Pleistoceno ($1 \pm 0,1$ Ma) que está relacionado con la secuencia pre-glacial. El estadio syn-glacial se interpreta aquellos depósitos ocurrido en una o más glaciaciones desde los últimos 700ka (Melnick et al, 2006). Los depósitos y lavas del estadio post-glacial son de edades jóvenes 15ka. (Melnick et al, 2006).

2.2 Muestreo

En el presente trabajo se estudian las rocas de la formación Cola de Zorro (Cola de Zorro), la secuencia volcánica Las Mellizas (NV-30) y de la secuencia volcán Copahue: las rocas del estadio Pre-glacial (NV25 y NV26), syn-glacial (COP-SG-2), post-glacial (PM) y dos muestras que vienen de las últimas erupciones del Volcán Copahue (SE 2014 y NV21).

2.3 Metodología

La geoquímica en elementos mayores y trazas están hechos por fusión alcalina con un ICP (Actlabs, Canada). Los isótopos de Sr y Pb fueron analizados a partir de polvos de rocas. Los dos isótopos fueron separados con un trabajo de química. Los detalles de la química se puede leer en Roulleau and Stevenson (2013). Los dos isótopos fueron analizados con un espectrómetro de masas Triton plus en el Centro GEOTOP-UQAM (Canada). Los isótopos de He fueron analizados en un separado mineral de fenocristales de olivino y piroxeno. Para la medición de los isótopos, los minerales fueron triturados

con una trituradora tipo molino de acero inoxidable, que contiene una pelota dentro del mismo material. Después de la purificación de las muestras, los isótopos de He se miden con el espectrómetro de masa Hélix de la Universidad de Tokio (Japón).

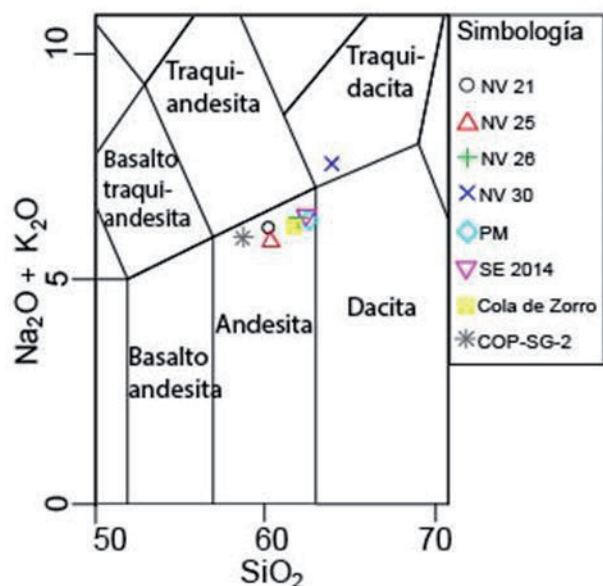


Figura 1. Diagrama TAS Middlemost 1995 de las muestras estudiadas..

3. Resultados

3.1 Química de roca total

Las muestra clasifican en base el diagrama TAS (figura 1) y al diagrama K2O de Pecerrillo y Taylor (1976) como andesitas de la serie calco alcalina rica en K, menos la muestra COP-SG-2, que clasifica como traqui-andesita de la serie calco alcalina. Las muestras en el diagrama spider (figura 2) se reconocen principalmente una anomalía negativa de Nb y positiva de Pb, como también un enriquecimiento de U y Pb, con pequeñas variaciones de Sr y P. A demás presenta un importante enriquecimiento en los elementos LIL (Cs, Rb, Ba, K). En un diagrama de tierras raras las muestras presentan un leve enriquecimiento de las tierras raras livianas con respecto a las pesadas normalizadas a NMORB de Sun y McDonough (1989). La razones de Ce/Pb, Ba/La y La/Yb tienen valores entre 21,22 hasta 25,28, entre 16,52 hasta 20,93 y entre 9,59 hasta 11,6 respectivamente.

3.2 Isótopos de He, Sr y Pb

La razón de ³He/⁴He normalizada con el aire (R/Ra) muestra un rango para el muestreo en los piroxenos de 5,08Ra a 7,3Ra y para los olivinos de 5.85Ra a 8,42Ra. Para los isótopos de Sr se obtienen valores en un rango 0,703872 a 0,704054. Los isótopos de Pb muestran valores de ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb entre 38.49 y 38.53, de ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb entre 15.61 y 15.62 y de ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb entre 18.58 y 18.60.

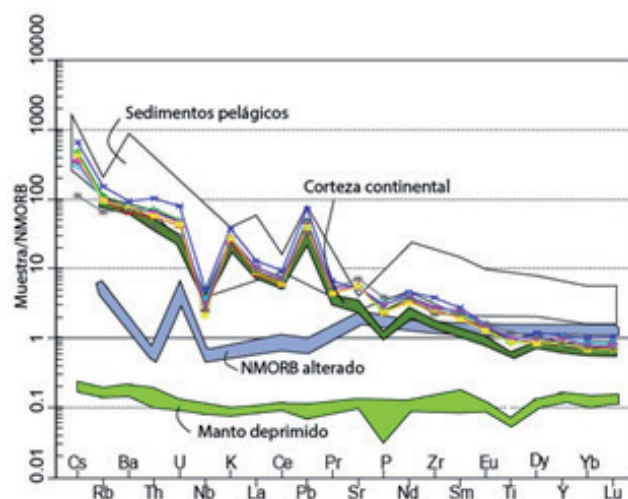


Figura 2. Diagrama Spider normalizado a NMORB de Sun y McDonough (1989). La simbología de las muestras es la misma que se utilizó en la fig. 1. También grafica áreas de la literatura: Sedimentos pelágicos: (Othman et al., 1989; Strun et al., 1999), corteza continental: (Kemp y Hawkesworth 2004; Rudnick y Fountain 1995; Taylor y McLennan 1995; Wedepohl 1995; Weaver y Tarney 1984), NMORB alterado (Strun et al., 1999) manto deprimido (Salters y Stracke, 2004; Strun et al., 1999).

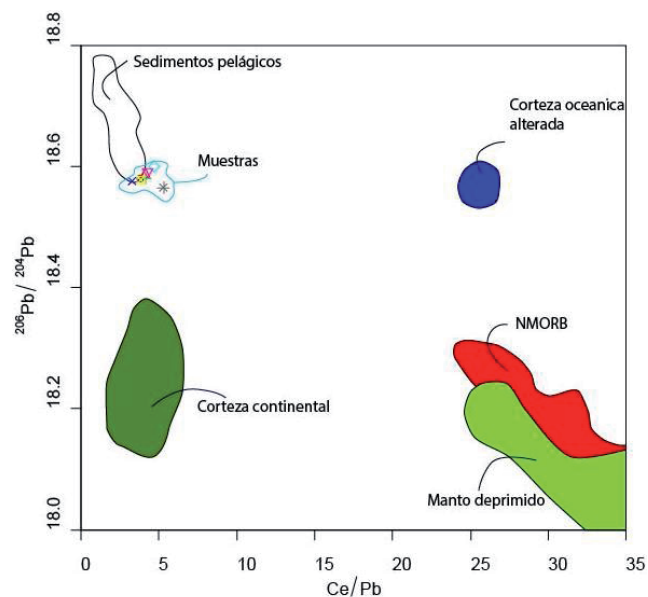


Figura 3. Diagrama ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb v/s Ce/Pb. Se grafica de la literatura: corteza oceánica alterada (Strun et al., 1999), para las demás áreas se usó las mismas referencias que en la fig. 2.

4 Discusión

4.1 Química de roca total

El spider de los elementos en trazas de CCVC esta superpuesto con los sedimentos y la corteza continental, ilustrando la característica de la composición de un arco. La concentración de elementos LIL están en función del comportamiento de la fase fluida, mientras que los elementos HFS (Y, Hf, Zr, Ti, Nb, Ta) y las tierras raras

están controlados por la química de la fuente y los procesos cristal/fundido que toman lugar durante la evolución de una roca (Rollinson, 1993). En el diagrama spider (figura 2), para todas las muestras, existe una anomalía negativa de Nb, lo cual es consistente al ser estas rocas pertenecientes a un ambiente de subducción, donde el Nb sustituye al Ti en algunos minerales residuales, tales como el rutilo, por lo que los magmas al ascender por la corteza lo hacen deprimidos en este elemento (Green, 1989). Se observa también una anomalía positiva de Pb, la cual está atribuida al desintegración de elementos radioactivos presentes en mayor parte en la corteza, tales como el U y Th, y probablemente incorporados al magma durante su residencia en esta (Green, 1989). Las muestras de estudio muestran un fraccionamiento de tierras raras livianas relativo a las pesadas en un diagrama de tierras raras normalizado a condrito, lo que puede ser causada por la presencia de olivinos, ortopiroxenos y clinopiroxenos en la fuente de la génesis del magma (Rollinson, 1993).

4.2 Variaciones en los valores de helio

El ^3He presente en el manto es considerado una componente primordial. La razón $^3\text{He}/^4\text{He}$ en el manto superior es considerada uniforme a $8R_a$. Para los ambientes de subducción se ha sugerido que la fuente principal de Helio ($5.4 \pm 1.9R_a$; Hilton et al., 2002) es la cuña del manto, más que la corteza oceánica, continental o sedimentos, siendo estos más ricos en ^4He que el manto subyacente. Las razones de He más bajas en los piroxenos que en los olivinos cogenéticos es el resultado de dos procesos: 1) la difusión preferencial de intercambio de He magmático en los piroxenos en comparación con los olivinos, con una difusión de He estimada de 10 veces más alta en piroxenos que en olivino (Trull y Kurz, 1993) y 2) la adición de radiogénica de ^4He por contaminación cortical en la cámara magmática (Trull y Kurz, 1993, Van Soest et al, 2002).

4.3 Origen del magma

El origen del magma se puede interpretar haciendo uso de los isótopos de Pb, He y Sr, y comparaciones de estos con razones de elementos traza. Las razones de He en los minerales de CCVC muestra el aporte importante del manto tipo MORB como las muestras de fluidos geotermales (Rouilleau et al., 2015). Por otro lado, en el diagrama $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs Ce/Pb se observa el aporte de los sedimentos pelágicos de la placa de nazca de la subducción (Fig. 3). Los mismos resultados son encontrados comparando las razones de isótopos vs Ce/Pb , La/Ba y Nb/U . Los isótopos de Sr vs Ba/La muestran también la contribución probable de la corteza oceánica en la fuente magmática de CCVC. Pero no se puede excluir el aporte de la contaminación cortical, la que se manifiesta con los isótopos de Sr y Pb (Fig. 3) y los elementos en trazas (Fig. 2). Esto se ajusta bien a la anomalía importante de Pb, del cual ya se discutió su probable alto contenido. Esta contribución de corteza continental viene de una

contaminación durante el transporte del magma a la superficie.

4.4 Variaciones isotópicas entre las diferentes unidades.

En general, las muestras asociadas con la caldera de Caviahue muestran una composición geoquímica e isotópica que contiene una contribución del manto más importante (ie. isótopos de Sr, Pb, Ba/La y Nb/U) que las muestras de Copahue. Pero no es claro si el aporte de corteza por las muestras de Copahue viene de la subducción por los sedimentos pelágicos o la corteza oceánica o si viene de la corteza continental durante el transporte del magma a la superficie (Varekamp et al., 2006) propone que las muestras de Caviahue pueden contener más sedimentos viejos que las muestras de Copahue.

5. Conclusiones

Los primeros resultados de CVCC muestran que los magmas provienen de una mezcla entre una fuente mantélica, y los sedimentos y la corteza oceánica provenientes de la placa de nazca. El tiempo de residencia en la corteza continental parece involucrar asimilación de material cortical. En el futuro, la idea sería de bien entender la contribución de cada fuente que se encuentra en las rocas magmáticas de CCVC.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por una beca de investigación de E. Rouilleau a través del proyecto FONDECYT 11130351 y por el CEGA con el proyecto FONDAP 15090013. Gracias a Carlos Esteban por su ayuda para obtener las autorizaciones para el muestreo.

Referencias

- Bohm, M., Lüth, S., Echtler, H., Asch, G., Bataille, K., Bruhn, C., Rietbrock, A., Wigger, P., 2002. The Southern Andes between 36° and 40° latitude: seismicity and average seismic velocities. *Tectonophysics*, 356, 275-289.
- Dewey, J.F., Lamb, S.H., 1992. Active tectonics in the Andes. *Tectonophysics*, 205, 79-95.
- Gansser, A., 1973. Facts and theories on the Andes. *Journal of the Geological Society*, Vol. 129, p: 9-131.
- Hilton, D.R., Fischer, T.P. and Marty, B., 2002. Noble gases and volatile recycling at subduction zones. In: D.P. Reviews in Mineralogy and Geochemistry; Porcelli, Ballentine, C.J., and Wieler, R. (Editor), Noble gases in geochemistry and cosmochemistry, pp. 319-370.

- Hildreth, W., Moorbath, S., 1988. Crustal contribution to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v.98, 455-489.
- Kemp, A.I.S. and Hawkesworth, C.J. (2004). Granitic Perspectives on the Generation and Secular Evolution of the Continental Crust. In: *Treatise on Geochemistry*. Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Editors), Elsevier, Amsterdam. 3: 349-410.
- Kley, J., Monaldi, C., Salfity, L., 1999. Along-strike segmentation of the Andean-foreland: causes and consequences. *Tectonophysics*, Vol. 301, p. 75-94.
- Linares, E., Ostera, H.A., Mas, L.C., 1999. Cronología K-Ar del Complejo Efusivo Copahue-Caviahue, Provincia del Neuquén. *Rev. Asociación Geológica Argentina*, 54 (3), 240-247.
- Lüth, S., Wigger, P., ISSA Research Group, 2003. A crustal model along 39°S from seismic refraction profile – ISSA 2000. *Rev. Geol. Chile*, 30 (1), 83-101.
- Melnick, D., Folguera, A., Ramos, V.A., 2006. Structural control on arc volcanism: The Copahue-Agrio complex, South-Central Andes (37°50'S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 22. p. 66-88.
- Mpodozis, C., Ramos, V.A., 1989. The Andes of Chile and Argentina. En: G.E. Erickson, M.T. Canas Pinochet, y J.A. Reinemund (eds), *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources*. Circ. Pac. Coun. En. Min. Res. Earth Sci. Ser., Houston, 59-90.
- Othman D. B., White W. M., Patchett J. 1989. The geochemistry of marine sediments, island arc magma genesis, and crust-mantle recycling. Volume 94, Issues 1–2, Pages 1–21
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63–81.
- Rollinson, H. 1993. *Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific and Technical. p. 1-355.
- Rouilleau, E., Tardani, D., Vinet, N., Sano, Y.; Takahata, N.; Reich, M. 2015. Noble-gas and nitrogen isotope geochemistry of geothermal fluids from the Caviahue-Copahue volcanic complex in the Southern Andes, Goldschmidt, Pragua.
- Rouilleau, E., Stevenson, R. 2013, Geochemical and isotopic (Nd-Sr-Hf-Pb) evidence for a lithospheric mantle source in the formation of the alkaline montereian province (Quebec), *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 50, no. 6, pp. 650-666.
- Rudnick, R.L. and Fountain, D.M. (1995). Nature and composition of the continental crust -- a lower crustal perspective. *Reviews in Geophysics* 33: 267-309.
- Salters, V.J.M. and Stracke, A. (2004). Composition of the depleted mantle. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 5: doi: 10.1029/2003GC000597. issn: 1525-2027.
- Saunders, A.D. and Norry, M.J. (Editors), *Geological Society of London*, London. 42: 313-345.
- Somoza, R., 1998. Updated Nazca (Farallon)- South America relative motion during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean regime. *J. S. Am. Sci.*, 11, 211-215.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the ocean basins*.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1985). *The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Blackwell, Oxford. 312.
- Varekamp, J.C. et al., 2006. Geochemistry and isotopic characteristics of the Caviahue-Copahue volcanic complex, Province of Neuquén, Argentina. *Geological Society of America Special Papers*, 407: 317-342.
- Weaver, B.L. and Tarney, J. (1984). Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature* 310: 575-577.
- Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59: 1,217-1,239.