

## EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DEL VOLCANISMO DE ARCO CENOZOICO DE LOS ANDES CENTRALES DEL SUR Y ANDES NORDPATAGÓNICOS: UNA REVISIÓN INTEGRAL

Vanesa D. LITVAK<sup>1\*</sup>, Lucía FERNÁNDEZ PAZ<sup>1</sup>, Sofía IANNELLI<sup>1</sup>, Andrés ECHAURREN<sup>1</sup>, Andrés FOLGUERA<sup>1</sup>, Florencia BECHIS<sup>2</sup>, Alfonso ENCINAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>: Universidad de Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto de Estudios Andinos “Don Pablo Groeber” (IDEAN). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires Argentina.

<sup>2</sup>: Instituto de Investigaciones en Diversidad Cultural y Procesos de Cambio (IIDyPCa), CONICET - Universidad Nacional de Río Negro, San Carlos de Bariloche, Argentina.

<sup>3</sup>: Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

\*Autora correspondiente: vane@gl.fcen.uba.ar

### Abstract

*Geochemical evolution of Cenozoic arc-related volcanism along Southern Central to North Patagonian Andes: an integral review.* Geochemical variations in arc-related magmas allow correlating their magmatic evolution with changes in the geodynamic context of the Andean subduction zone. We compared the geochemical signature of mostly tholeiitic to calc-alkaline arc-related products through different Andean segments, from Southern Central to North Patagonian Andes including those located both in a frontal and in a retroarc position, together with alkaline retroarc volcanism associated with arc dynamics. Overall, geochemical evolution of Cenozoic arc magmas reflects the direct influence of the variable geodynamic processes developed along the andes, which control the intensity, volume, location, composition and eruptive styles of the arc-related products.

Palabras claves: volcanismo calcoalcalino - volcanismo toleítico - intraplaca - subducción horizontal - geodinámica andina

Keywords: calc-alkaline volcanism - tholeiitic volcanism - intraplate - flat subduction - andean geodynamics

### Introducción

El nivel de conocimiento actual sobre el magmatismo de arco cenozoico es contrastante entre los Andes Centrales del Sur y los Andes Nordpatagónicos (Litvak et al., 2019 y referencias citadas). Nuevos datos sobre la evolución geoquímica del magmatismo en la región patagónica permitieron realizar un análisis integral acerca de la evolución geoquímica de los productos del arco volcánico entre esta región y los Andes Centrales del sur y, a su vez, proponer nuevas correlaciones entre la evolución magmática y los cambios geodinámicos acontecidos en el margen andino durante el Cenozoico.

Se realizó una comparación de los rasgos geoquímicos del magmatismo de arco en diferentes segmentos andinos, entre los 29°–46°S, donde se incluyeron tanto rocas localizadas en el frente volcánico como en el retroarco, y secuencias alcalinas de retroarco vinculadas con la dinámica del arco. En los Andes Centrales del Sur, se estudiaron las unidades localizadas en el segmento de subducción horizontal Pampeano (29°–46°S) y el segmento de subducción somera de Payenia (33°–38°S), mientras que en los Andes Nordpatagónicos se incluyen las secuencias localizadas entre los 39° y 46°S. En estos segmentos, las unidades estudiadas fueron agrupadas y mapeadas en cuatro estadios temporales: i) Paleoceno-Eoceno medio (~67–40 Ma), ii) Eoceno tardío-Oligoceno temprano (~40–28 Ma), iii) Oligoceno tardío-Mioceno medio (~28–18 Ma), y iv) Mioceno medio-Plioceno medio (~18–4 Ma); en coincidencia con los cambios más significativos en la signatura geoquímica.

## Evolución geoquímica

Desde el Paleoceno al Eoceno medio (~67–40 Ma), el volcanismo de arco en los Andes Centrales del Sur estuvo espacialmente limitado al eje andino, con una influencia variable en el aporte de los fluidos provenientes de la losa (Litvak et al., 2019 y referencias citadas), mientras que en los Andes Nordpatagónicos, el volcanismo más voluminoso estuvo restringido al sector extraandino, caracterizado por una impronta de intraplaca (e.g. Rapela et al., 1988; Aragón et al., 2011). En ambos casos, la actividad volcánica estuvo condicionada por un régimen extensional en el marco de la convergencia oblicua entre la placa de Farallón y la Sudamericana en el margen andino; particularmente, en los Andes Nordpatagónicos, el pasaje de la dorsal Aluk-Farallón (~57–42 Ma) condicionó el cese de la actividad del arco, y la apertura de una ventana astenosférica con desarrollo de magmatismo de intraplaca (Aragón et al. 2011; Iannelli et al., 2017).

Durante el Eoceno tardío-Oligoceno temprano (~40–28 Ma) continuó el régimen extensional y el volcanismo de arco se desarrolló en segmentos dispersos a lo largo del eje andino, con predominio de rasgos composicionales toleíticos (Charrier et al., 1996; Muñoz et al., 2006; Montecinos et al., 2008; Piquer et al., 2017, entre otras). En los Andes Nordpatagónicos, el reinicio del arco volcánico en el Eoceno medio muestra rasgos toleíticos compatibles con el contexto extensional, evolucionando a un arco maduro calcoalcalino para el Oligoceno (Fernández Paz et al., 2018a, b; Iannelli et al. 2017).

La ruptura de la placa de Farallón en las de Nazca y Cocos durante el Oligoceno tardío dio lugar al inicio de la subducción ortogonal con alta velocidad de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana. En este contexto, durante el Oligoceno tardío-Mioceno temprano (~28–18 Ma), el arco volcánico en los Andes Centrales del sur desarrolla amplios volúmenes de magmatismo conjuntamente con la apertura de cuencas de intraarco y retroarco; particularmente en el sector más austral, se caracteriza por una marcada composición toleítica (Muñoz et al., 2006; Montecinos et al., 2008; Piquer et al., 2017), mientras que en el sector norte, evoluciona a rasgos típicamente calcoalcalinos (p. ej. Kay et al., 1991, 2005; Litvak et al., 2007; Jones et al., 2016). Por su parte, en los Andes Nordpatagónicos, el volcanismo asociado al arco comprende secuencias basálticas, toleíticas, que se desarrollan asociadas a la apertura de cuencas extensionales de intra- y retroarco, donde se interdigitan con secuencias marinas vinculadas con transgresiones marinas (Bechis et al., 2014; Encinas et al., 2016; Fernández Paz et al., 2018b).

Desde el Mioceno medio al Plioceno (~18–4 Ma), la evolución geodinámica de los Andes Centrales del Sur difiere respecto de los Andes Nordpatagónicos y, por lo tanto, el volcanismo de arco presenta rasgos geoquímicos disímiles. En los Andes Centrales del Sur, las secuencias volcánicas se desarrollaron en el frente volcánico con típica signatura calcoalcalina y fuerte impronta de los fluidos derivados de la losa (Litvak et al., 2019 y referencias allí citadas). En forma sincrónica, se registró una expansión de las secuencias de arco hacia el retroarco andino, debido a la progresiva somerización de la placa de Nazca, dando lugar al actual segmento de subducción horizontal Pampeano y el segmento de subducción somera de Payenia del Mioceno superior (e.g. Kay et al., 1991, 2006; Litvak et al., 2007, 2015; Jones et al., 2016; Poma et al., 2017), vinculados, entre otros factores, a la colisión de la dorsal de Juan Fernández y variaciones en la velocidad de convergencia (ver discusión en Litvak et al., 2019). Se destaca que, en el segmento Pampeano, los magmas de edad miocena media a superior muestran una signatura geoquímica de tierras raras e isotópica (Sr, Nd, Hf, O) que indica un progresivo incremento de componentes corticales, los que estarían asociados tanto a la asimilación de los mismos durante el ascenso de los magmas en el marco de una corteza engrosada, como a erosión de antearco (e.g. Kay et al., 2005; Litvak et al., 2007, Jones et al., 2016). En los Andes Nordpatagónicos, por su parte, el magmatismo de arco muestra rasgos geoquímicos calcoalcalinos, con un desarrollo espacial principalmente restringido al eje andino y asociado a la zona de falla de Liquiñe-Ofqui (Pankhurst et al., 1999).

## Conclusiones

En síntesis, las variaciones en la signatura geoquímica de los magmas de arco desde durante el Cenozoico se correlacionan con los cambios en la geodinámica del margen andino a lo largo de los Andes Centrales del sur a los Andes Nordpatagónicos. Así, la geometría de subducción, las variaciones en la velocidad de convergencia, y la colisión de dorsales sísmicas y asísmicas controlan la intensidad, volumen, extensión, composición y estilos eruptivos de los magmas de arco.

## Agradecimientos

Esto trabajo se realizó en el marco de los proyectos CONICET (11220150100426CO), UBACYT (20020150100166BA), ANPCyT PICT-2012-1490 y Fondecyt (1151146).

## Referencias

- Aragón, E., Déramo, F., Castro, A., Pinotti, L., Brunelli, D., Rabbia O., Rivalenti, G., Varela, R., Spakman, W., Demartis, M., Cavarozzi, C.E., Aguilera, Y.E., Mazzucchelli, M. and Ribot, A., 2011. Tectono-magmatic response to major convergent changes in the North Patagonian suprasubduction system; the Paleogene subduction-transcurrent plate margin transition. *Tectonophysics* 50: 218-237.
- Bechis, F., Encinas, A., Concheyro, A., Litvak, V.D., Ramos, V., Aguirre Urreta, B. 2014. New age constrains for the Cenozoic marine incursions of northwestern Patagonia, Argentina. Paleogeographic and tectonic implications. *Journal of South American Earth Science* 52: 72-93.
- Charrier, R., Wyss, A. R., Flynn, J. J., Swisher III, C. C., Norell, M. A., Zapatta, F., McKenna, M. C., Novacek, M.J., 1996. New evidence for late Mesozoic-early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the upper Tinguiririca valley (35 °S), central Chile. *Journal of South American Earth Science* 9: 393-422.
- Encinas, A., Folguera, A., Oliveros, V., De Girolamo Del Mauro, L., Tapia, F., Rizzo, R., Hervé, F., Finger, K. L., Valencia, V. A., Gianni, G., Álvarez, O., 2016. Late Oligocene-early Miocene submarine volcanism and deep-marine sedimentation in an extensional basin of southern Chile: Implications for the tectonic development of the North Patagonian Andes. *Geological Society of America Bulletin* 128: 807-823.
- Fernández Paz, L., Bechis, F., Litvak, V.D., Echaurren, A., Encinas, A., Oliveros, V., González, J., Folguera, A., 2018b. Magmatismo de retroarco asociado a incursiones marinas durante el Mioceno temprano en el contexto del rollback de la placa de Nazca. 15° Congreso Geológico Chileno, Actas on line, 1117, Santiago de Chile.
- Fernández Paz, Lucía, Litvak, Vanesa D., Echaurren, Andrés, Iannelli, Sofía B., Encinas, Alfonso, Valencia, Víctor, Folguera, Andrés, 2018a. Late Eocene volcanism in North Patagonia (42°30'-43°S): Arc resumption after a stage of within-plate magmatism. *Journal of Geodynamics* 113: 13-21.
- Iannelli, S. B., Litvak V. D., Fernández Paz, L., Folguera, A., Ramos, M. E., Ramos, V. A., 2017. Evolution of Eocene to Oligocene arc-related volcanism in the North Patagonian Andes (39-41°S), prior to the break-up of the Farallón plate. *Tectonophysics* 696-697: 70-87.
- Jones, R. E., Kirstein, L. A., Kasemann, S. A., Litvak, V. D., Poma, S., Elliott, T., Alonso, R., Hinton, R., EIMF, 2016. The role of changing geodynamics in the progressive contamination of Late Cretaceous to Late Miocene arc magmas in the southern Central Andes. *Lithos* 262: 169-191.
- Kay, S. M., Godoy, E., Kurtz, A., 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin* 117: 67-88.

- Kay, S. M., Mpodozis, C., Ramos, V. A., Munizaga, F., 1991. Magma source variations from mid to late Tertiary volcanic rocks erupted over a shallowing subduction zone and through a thickening crust in the Main Andean Cordillera (28-33°S). En Harmin, R. S., Rapela, C. (eds.), *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Geological Society of America 265: 113-137.
- Kay, S., Burns, M., Copeland, P., 2006. Upper Cretaceous to Holocene Magmatism over the Neuquén basin: Evidence for transient shallowing of the subduction zone under the Neuquén Andes (36°S to 38°S latitude). En (eds., Kay, S. M. and Ramos, V. A.) *Late Cretaceous to Recent magmatism and tectonism of the Southern Andean margin at the latitude of the Neuquén basin (36-39°S)*, Geological Society of America, Special Paper 407: 19-60.
- Litvak, V. D., Poma, S., Kay, S. M., 2007. Paleogene and Neogene magmatism in the Valle del Cura region: a new perspective on the evolution of the Pampean flat slab, San Juan province, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 24: 117-137.
- Litvak, V., Spagnuolo, M., Folguera, A., Ramos, V.A., 2015. Late Cenozoic calc-alkaline volcanism over the Payenia shallow subduction zone, South-Central Andean back-arc (34°30'-37°S), Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 64: 365-380.
- Litvak, V.D., Fernández Paz, L., Iannelli, S., Poma, S., Folguera, A., 2019. Cenozoic arc-related magmatism in the Southern Central and North Patagonian Andes. En Horton B. Folguera A (eds.), *Andean Tectonics*, Chapter 21, 38 p., in press.
- Montecinos, P., Schärer<sup>1</sup>, U., Vergara, M., Aguirre, L., 2008. Lithospheric Origin of Oligocene-Miocene Magmatism in Central Chile: U-Pb Ages and Sr-Pb-Hf Isotope Composition of Minerals. *Journal of Petrology* 49: 555-580.
- Muñoz, M., Fuentes, F., Vergara, M., Aguirre, L., Olov Nyström, J., Féraud, G., Demant, A., 2006. Abanico East Formation: petrology and geochemistry of volcanic rocks behind the Cenozoic arc front in the Andean Cordillera, central Chile (33° 50'S). *Revista Geológica de Chile* 331: 109-140.
- Pankhurst, R. J., Weaver, S. D., Hervé, F., Larrondo, P., 1999. Mesozoic-Cenozoic Evolution of the North Patagonian Batholith in Aysén, Southern Chile. *Geological Society of London* 156: 673-694.
- Piquer, J., Hollings, P., Rivera, O., Cooke, D. R., Baker, M., Testa, F., 2017. Along-strike segmentation of the Abanico basin, central Chile: New chronological, geochemical and structural constraints. *Lithos* 268-271: 174-197.
- Poma, S., Ramos, A., Litvak., V. D., Quenardelle, S., Maisonnave, E. B., Diaz, I., 2017. Southern Central Andes Neogene Back Arc Magmatism Over the Pampean Flat Slab: Implications on Crustal and Slab Melts Contribution to Magma Generation in Precordillera, Western Argentina. *Andean Geology* 44: 249-274.
- Rapela, C., Spalletti, L., Merodio, J. y Aragón, E. 1988. Temporal evolution and spatial variation of early Tertiary volcanism in the Patagonian Andes (40°S-42°30'S). *Journal of South American Earth Sciences* 1: 75-88.