

Estratigrafía y geoquímica de las coladas de lava del flanco NW del volcán Lonquimay (38°30'S), Andes del Sur, Chile

Stratigraphy and geochemistry of NW lava flows of Lonquimay volcano (37°55'S), Southern Andes, Chile

E. Polanco¹, D. Gimeno¹, J.A. Naranjo² y J.L. Fernández-Turiel³

- 1 Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona. Martí y Franquès s/n, 08028 Barcelona. epolancov@gmail.com y domingo.gimeno@ub.edu
- 2 Servicio Nacional de Geología y Minería, Av. Santa María 0104, 7530263 Santiago, Chile. jnaranjo@sernageomin.cl
- 3 Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera, CSIC, Solé i Safaris s/n, 08028 Barcelona. jlfernandez@ija.csic.es

Resumen: El volcán Lonquimay corresponde a un estratovolcán holoceno esencialmente andesítico basáltico y andesítico que se localiza en la Zona Volcánica Sur de los Andes (ZVS: 33-46°S). En su flanco NW se exponen 6 flujos de lavas aa y de bloques de composición andesítica y andesítica basáltica con contenido medio en K. Las tendencias de Al₂O₃, CaO, MgO y Sr en función del contenido de sílice y un patrón que exhibe un enriquecimiento en tierras raras ligeras (LREE) y empobrecimiento en tierras raras pesadas (HREE) indicarían el fraccionamiento de plagioclasa como proceso de diferenciación dominante. Asimismo, un patrón marcado por enriquecimiento en elementos móviles y empobrecimiento de elementos inmóviles indicaría una fuente mantélica que incorporó fluidos originados por la deshidratación de la corteza oceánica subducida. Además, la evolución geoquímica de la estratigrafía del sector NW del volcán indicaría también la presencia de mezcla de magmas, lo que parece ser consistente con las texturas de desequilibrio de la fase dominante de estas rocas (plagioclasa) y las evidencias de mezcla en depósitos piroclásticos de este volcán. Estos resultados son coherentes con cortos tiempos de residencia cortical del magma condicionados por la relación estructural SW-NE de este centro eruptivo.

Palabras clave: Zona Volcánica Sur, flujos de lava, cristalización fraccionada, mezcla de magmas.

Abstract: The Holocene Lonquimay stratovolcano is mainly andesitic and andesitic basaltic being located in the South Volcanic Zone of the Andes (SVZ: 33-46°S). Six aa and blocky lava flows of medium K andesitic and andesitic basaltic composition are exposed in the NW flank. Trends of Al₂O₃, CaO, MgO and Sr as function of silica content and a pattern with enrichment in light rare earth elements (LREE) and lower values of heavy rare earth elements (HREE) may indicate the fractionation of plagioclase as dominant differentiation process. A pattern with high values of mobile elements and lower value of immobile elements can be indicated a mantle magma source together with input of fluids originated by the dehydration of the subducted oceanic plate. The geochemistry and stratigraphy of the NW flank suggested the occurrence of magma mixing, this is consistent with disequilibrium textures of the dominant phase of this rocks and evidences of mixing in pyroclastic deposits of this eruptive center. These results are consistent with a short residence time of magmas in the crust indicated associated with the SW-NE structural relation of the Lonquimay volcano.

Key words: South Volcanic Zone, lava flows, fractional crystallization, magma mixing.

INTRODUCCIÓN

El volcán Lonquimay¹ (38°22'S, 71°35'W y 2.865 m s.n.m.) se localiza en la Zona Volcánica Sur de los Andes (Stern *et al.*, 2007) (Fig. 1) y corresponde a un estratovolcán holoceno esencialmente andesítico y andesítico basáltico de contenido medio en potasio con escasos basaltos y dacitas (Moreno y Gardeweg, 1989; Polanco, 1998). El edificio volcánico tiene una forma cónica levemente elongada en dirección N70±5°E y una altura promedio superior a 1.000 m sobre el basamento.

Posee un cráter de unos 0,6 por 0,7 km de diámetro con un glaciar en su interior y, al menos, cinco conos parásitos en sus flancos, el último de los cuales, el cono Navidad y el flujo de lava asociado, se formó durante la erupción iniciada en diciembre del año 1988 (Moreno y Gardeweg, 1989). Esta es la última de cinco erupciones históricas (Naranjo *et al.*, 2000). Además, al NE del cráter principal hay una serie de cráteres y conos de piroclastos y flujos de lavas asociados, alineados en dirección NE-SW formando una cadena de más de 8 km de largo denominada Cordón Fisural Oriental (CFO; Moreno y Gardeweg, 1989) (Fig. 1). Inmediatamente al norte, existen tres conos de piroclastos holocenos y lavas asociadas (CPH en figura 1) que forman una alineación subparalela al CFO de ca. 10 km de longitud.

1 Moreno y Gardeweg (1989) y Polanco *et al.* (2000), entre otros, han mantenido la categoría de complejo volcánico para este centro eruptivo, no obstante, en este trabajo se le considera un estratovolcán en coherencia con Stern *et al.* (2007).

Por su parte, la actividad explosiva de este volcán ha sido frecuente y relativamente continua durante el Holoceno (Polanco, 1998; Polanco *et al.*, 2000).

Este trabajo presenta los resultados parciales obtenidos en el marco de un estudio que intenta comprender la evolución de este centro volcánico y su relación con la geotectónica, así como, tratar de identificar los procesos petrogenéticos dominantes ocurridos en profundidad.

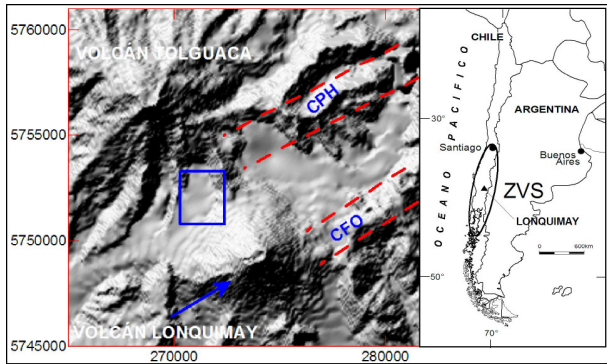


FIGURA 1. Ubicación de volcán Lonquimay y modelo de elevación digital elaborado a partir de las curvas de nivel. La zona de estudio corresponde al rectángulo color azul (Coordenadas UTM, Zona 19).

AMBIENTE GEOTECTÓNICO

El arco volcánico Cuaternario de la Zona Volcánica Sur de los Andes (N10°E y 33-46°S; López *et al.*, 1995), es el resultado de la subducción oblicua de la placa de Nazca bajo la Sudamericana (López *et al.*, 1995; Stern *et al.*, 2007), dando origen al sur de los 37°S de una importante estructura N-S de más de 1000 km, predominantemente dextral durante el Cuaternario: la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (López *et al.*, 1995). En particular, el emplazamiento de este centro eruptivo estaría controlado por un paleorelieve formado por rocas sedimentarias, volcanoclásticas y volcánicas (Eoceno-Mioceno Superior), intensamente afectadas por erosión glacial hacia el S, SE y NE, pero en especial, por estructuras NE-SW (Moreno y Gardeweg, 1989), marcadas por las dos alineaciones paralelas (el volcán Lonquimay-CFO y CPH) y la leve elongación del edificio, las cuales son consistente con un corto tiempo de residencia cortical del magma, y por lo tanto, un volcanismo poco diferenciado (López *et al.*, 1995).

ESTRATIGRAFÍA DEL FLANCO NW

En el flanco NW del volcán Lonquimay se expone, en un sector reducido (aproximadamente unos 2,2 por 3,0 km), una superposición de cinco coladas de lava aa y de bloques de color negro a gris oscuro que tienen diferentes grados de preservación pero que conservan su forma lobular primaria. Además se exponen remanentes de una secuencia de flujos de lavas (L1) reconocidas como las más antiguas de este edificio volcánico (Moreno y Gardeweg, 1989), las cuales corresponden a lavas aa que preservan escasamente sus rasgos

superficiales primarias y están cubiertas por un bosque de araucarias.

Dada las evidentes relaciones de contacto entre las coladas de lava, se les asignó correlativamente de L2 a L6, desde más antiguo a más reciente. La colada de lava L2 conserva remanentes de estructuras primarias de flujo hacia su frente, el cual está fuertemente erosionado y tiene una morfología plana constituida por material fino y algunos bloques que se encuentran distribuidos de forma aleatoria, mientras que la colada L3 corresponde a una lava aa que conserva perfectamente su levée oriental y presenta algunos remanentes de estructuras primarias hacia su frente erosionado de unos 2 m de espesor. Por su parte, el flujo L4 corresponde a una lava aa y de bloques que tiene un espesor en su frente de entre 3 y 5 m y superficialmente está erosionada por escurrimiento intermitente de agua aunque preserva algunas estructuras de avance. Finalmente, las coladas de lava L5 y L6 corresponden a lavas de bloques que presentan claros rasgos de avance y morfología superficial rugosa y tienen potencias expuestas de 5 y 7 m, respectivamente.

GEOQUÍMICA DE ROCA TOTAL

Las muestras analizadas se caracterizan por una asociación mineral formada por fenocristales (<20% en volumen) de plagioclasa-olivino±clinopiroxeno-óxidos de Fe-Ti, donde el mineral más abundante es la plagioclasa. En general, hay más de una familia y comúnmente con textura de reabsorción.

Los resultados químicos de elementos mayores tienen contenidos anhidros de sílice entre 53,8 y 56,8% en peso con excepción de una muestra que alcanza un valor de 58,3 % en peso (Fig. 2A y 2B). Asimismo, los contenidos de alúmina y potasio tienen valores de 15,8 a 17,1% y 0,6 a 1,0% en peso (Fig. 2B), respectivamente. Además, los contenidos de óxidos de Al, Fe, Mg y Ca presentan tendencias lineales negativas con el aumento de sílice, mientras que K y Na tienen correlaciones positivas.

Por su parte, los valores de álcalis y potasio en función del contenido de sílice de las rocas muestreadas corresponden a una serie subalcalina (Fig. 3A) y permiten clasificarlas como andesitas basálticas y andesita (Fig. 3A) calcoalcalinas con contenido medio en potasio (Fig. 3B).

Por otro lado, algunos elementos traza de las muestras analizadas, como Ba, Cs, La, Rb, Th y Zr, presentan evidentes tendencias lineales crecientes en función del aumento del contenido de sílice, mientras que Sr y V tienen una correlación negativa.

Por otro lado, las muestras exhiben un patrón de tierras raras normalizadas (Fig. 3A) con un enriquecimiento en tierras raras ligeras (LREE) y un progresivo empobrecimiento de tierras raras pesadas (HREE). Asimismo, en el diagrama de multi-elementos normalizados al MORB presentan un marcado

enriquecimiento en elementos móviles (Sr, K, Rb y Ba), mientras que los elementos inmóviles están relativamente empobrecidos con una destacada anomalía negativa de Nb y un valor máximo en Th (Fig. 3B).

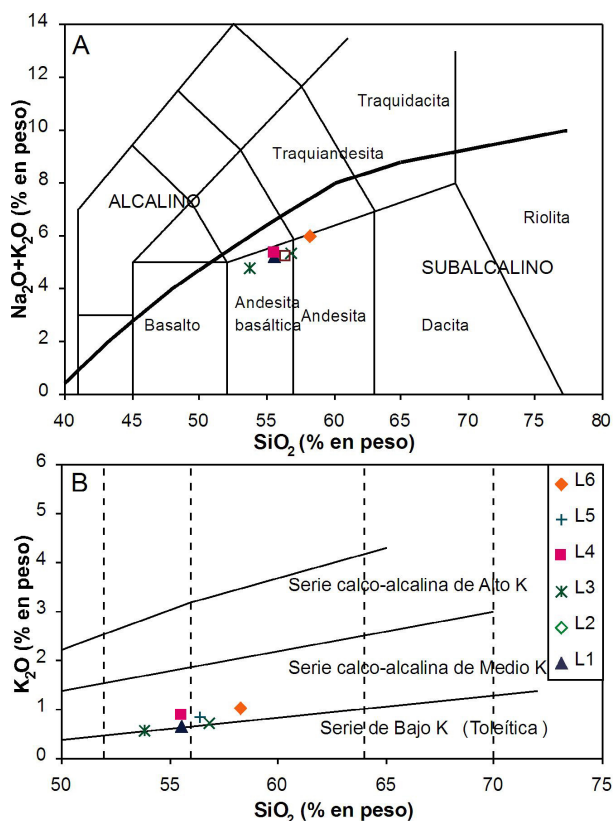


FIGURA 2. Clasificación de las lavas del flanco NW del volcán Lonquimay: A. Diagrama TAS (álcalis totales versus contenido de sílice). B. Diagrama de K₂O versus contenido de sílice (Peccerillo y Taylor, 1976).

Además, algunas razones de elementos trazas incompatibles tienen valores bastante restringidos: Rb/Cs (10,1-11,1), Cs/La (0,12-0,16), La/Sm (2,1-2,3), Nb/Zr (0,01-0,02) y La/Yb (3,6-4,3) (Fig. 4).

DISCUSIÓN

El volcanismo Cuaternario de la ZVS se ha subdividido en cuatro segmentos en función de variaciones en la petrología y geoquímica de sus productos (López *et al.*, 1995). En particular, el volcán Lonquimay se ubica en la Zona Volcánica Sur Central (ZVSC: 37-42°S) que se caracteriza, entre otros, por un menor espesor de la corteza continental y una edad más joven de la corteza oceánica subducida. Además, la estrecha relación estructural del volcán Lonquimay con una alineación SW-NE consistente con cortos tiempos de residencia cortical de los magmas indican que los procesos de fraccionamiento y contaminación son relativamente limitados (López *et al.*, 1995; Stern *et al.*, 2007).

Las muestras analizadas del sector NW del volcán Lonquimay corresponden a rocas intermedias (andesita y andesitas basálticas) calcoalcalinas de medio potasio, coincidente con los resultados de trabajos previos en este volcán (Moreno y Gardeweg, 1989; Polanco, 1998; Naranjo *et al.*, 1999). Además, el enriquecimiento en LREE con respecto a HREE señala la cristalización fraccionada como proceso dominante de diferenciación (Rollinson, 1993). Asimismo, la abundancia de elementos móviles e inmóviles normalizados indica un patrón típico de magmas calcoalcalinos de márgenes convergentes, donde habría ocurrido fusión del manto y aporte de fluidos derivados de la deshidratación de fondo oceánico subducido, consistente con los resultados de otros volcanes de este segmento andino (Tormey *et al.*, 1991; Stern, *et al.*, 2007).

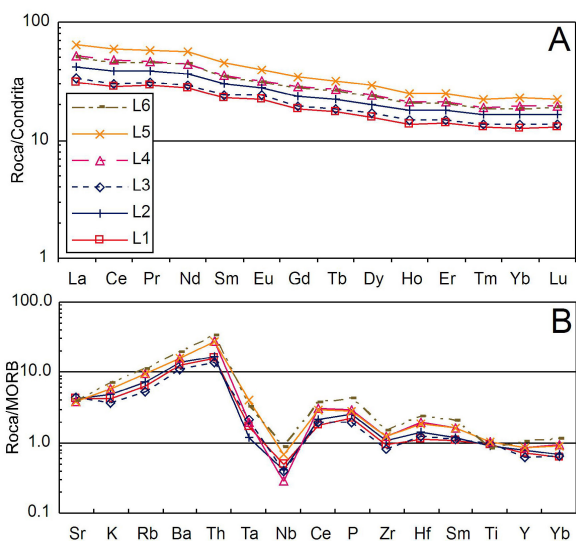


FIGURA 3. A. Diagrama de tierras raras normalizadas a condrita (McDonough *et al.*, 1992). B. Diagrama de elementos móviles e inmóviles normalizados al MORB.

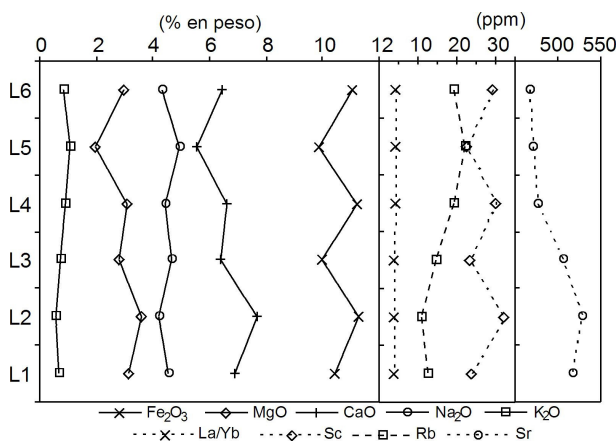


FIGURA 4. Columna esquemática de la estratigrafía del sector NW del volcán Lonquimay. Se observan las variaciones de algunos elementos mayores y trazas seleccionados.

Asimismo, la tendencia de elementos mayores y trazas de las muestras analizadas pueden ser explicadas mediante cristalización fraccionada como proceso de diferenciación, en particular, la cristalización de plagioclasa, fase dominante en estas rocas y con

evidentes texturas de desequilibrio, explicaría la disminución de Al_2O_3 , CaO y Sr y aumento de Na_2O en función del contenido de sílice. No obstante, al analizar las variaciones de la evolución estratigráfica del sector NW del volcán es posible introducir otro proceso en la evolución de estas rocas. El flujo de lava L2 tiene una composición más básica lo que podría ser explicado por la presencia de un nuevo pulso de magma más máfico (Fig. 4), y por lo tanto, la coexistencia de diferentes magmas. Aunque no se han detectado evidencias macroscópicas, la presencia de diferentes familias de plagioclasa y la fuerte textura de desequilibrio de algunos cristales pueden ser prueba de ello. Además, bombas híbridas y la zonación en depósitos de caída ha sido reconocido en tefras de este centro eruptivo (Polanco, 1998). Por su parte, la diferenciación de las coladas de lava L3 a L6 puede ser explicada por fraccionamiento de un magma de composición similar a L2.

Además, razones de Rb/Cs y Cs/La de las rocas analizadas coinciden con los resultados en otros volcanes de la ZVSC, los cuales han sido interpretados como de sello de zona de subducción y enriquecimiento de sedimentos subducidos, respectivamente (Tormey *et al.*, 1991). Por su parte, las razones relativamente constantes de elementos trazas inmóviles como La/Sm y Nb/Zr indicarían una fuente mantélica. No obstante, la leve variación en la razón La/Yb puede señalar la presencia de procesos de mezcla o contaminación.

Aunque la marcada anomalía negativa de Nb podría indicar contaminación cortical y aún persiste el debate acerca de si existe (o no) contaminación de la corteza continental en la ZVSC (López *et al.*, 1995, Stern *et al.*, 2007), parece relativamente claro que las condiciones geotectónicas del volcán Lonquimay favorecieron una insignificante incidencia de los procesos de contaminación cortical, con lo cual resulta bastante probable que el proceso de mezcla de magma sea el responsable de variaciones en algunas razones de elementos incompatibles.

CONCLUSIONES

Los flujos de lava del flanco NW del volcán Lonquimay corresponden a rocas intermedias de contenido medio en K típicas de zona de subducción, cuyo proceso de diferenciación dominante parece ser el fraccionamiento de plagioclasa. Por su parte, las variaciones geoquímicas en la estratigrafía de estas rocas además indicarían la presencia de procesos de mezcla de magmas. Ambos procesos son consistentes con el fuerte control estructural SW-NE de este centro eruptivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del PEGEFA-2005SGR00795 (España) en el marco de una colaboración con el Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). EP agradece el apoyo económico al

Programa de Becas de Doctorado Extraordinario del CONICYT del Gobierno de Chile.

REFERENCIAS

- López, L.; Cembrano, J. y Moreno, H. (1995): Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic Quaternary volcanism (37-46°S). *Revista Geológica de Chile*, 22: 219-234.
- McDonough, W.F., Sun, S., Ringwood, A.E., Jagoutz, E. y Hoffmann, A.W. (1992): Potasium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and evolution of the mantle of the Earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 1001-1012.
- Moreno, H. y Gardeweg, M. (1989): La erupción reciente en el Complejo Volcánico Lonquimay (Diciembre, 1988), Andes del Sur. *Revista Geológica de Chile*. 16: 93-117.
- Naranjo, J.A., Polanco, E. y Young, S. (1999): Geología y Peligros de los volcanes de la cuenca del Alto Biobío, Andes del Sur (37°45'-38°30'S), Regiones VIII y IX, Proyecto Piloto para la vigilancia de los volcanes fronterizos Peteroa y Copahue. UN OCHA – DFID – ONEMI. Servicio Nacional de Geología y Minería (Informe Inédito), 49 p.
- Naranjo, J.A., Moreno, H., Polanco, E. y Young, S. (2000): Mapa de peligros de los volcanes del Alto Biobío, Regiones del Biobío y de la Araucanía. Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología, Minería. Documentos de Trabajo, 15.
- Peccerillo, A. y 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.
- Polanco, E. (1998): *Volcanismo Explosivo Postglacial de la Cuenca del Alto Biobío, Andes del Sur (37°45'-38°30'S)*. Memoria de Título, Universidad de Chile, 104 p.
- Polanco, E., Naranjo, J.A. y Moreno, H. (2000): Volcanismo Explosivo Holoceno de la Cuenca del Alto Biobío, Andes del Sur (37°45'-38°30'S). En: *IX Congreso Geológico Chileno*, II: 59-61.
- Tormey, D., Hickey-Vargas, R., Frey, F. y López-Escobar, L. (1991): Recent lavas from the Andean volcanic front (33 to 42°S), Interpretations of along-arc compositional variations. En: *Andean magmatism and its tectonic setting* (Harmon, R.S. y Rapela, C.W., eds.). Geological Society of America, Special Paper 265, Boulder, Colorado, 57-77.
- Stern, C.R., Moreno, H., López-Escobar, L., Clavero, J., Lara, L., Naranjo, J.A., Parada, M.A. y Skewes, M.A. (2007): Chilean volcanoes. En: *Geology of Chile* (Moreno, T. y Gibbons, W., eds.). The Geological Society of London, London, 147-178.