

ROL DE LA CONTAMINACIÓN CRUSTAL EN EL MAGMATISMO DE LOS ANDES DEL SUR PERUANO: EJEMPLO DEL VOLCÁN MISTI

Marco Rivera^{1,2,3}, Hervé Martin³, Alain Gourgaud³, Jean-Luc Le Pennec² Marie-Christine Gerbe¹ & Jean-Claude Thouret^{2,3}

¹ INGEMMET, Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. Av. Canadá 1470, San Borja, Lima-Perú
Email: mrivera@ingemmet.gob.pe

² IRD, UR 031, Laboratoire Magmas et Volcans, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, Francia.

³ Université Blaise-Pascal, Laboratoire Magmas et Volcans, UMR 6524, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, Francia.

INTRODUCCIÓN

El volcán Misti (16°17' S, 71°24' O) es uno de los siete volcanes activos situados en la cadena volcánica Plio-Cuaternaria del sur peruano, perteneciente a la ZVC (Zona Volcánica Central) de los Andes. Este volcán se encuentra localizado a 17 km del centro de la ciudad de Arequipa (Fig. 1), la segunda ciudad en términos de población del Perú, con aproximadamente 1 millón de habitantes. Numerosos autores han estudiado la estratigrafía del volcán Misti, cuya actividad se inició hace ~833 ka (e.g. Thouret et al., 2001). Thouret *et al.* (2001) han dividido la evolución de este volcán en cuatro etapas: "Misti 1" (833 - 112 ka), "Misti 2" (112 - 40 ka), "Misti 3" (38 - 14 ka) y "Misti 4" (<11 ka). En este trabajo, nos hemos focalizado en los mecanismos de génesis y evolución de magmas ocurridos durante los últimos 112 ka, ya que durante este tiempo, el Misti ha presentado variados tipos de dinamismos eruptivos: erupciones explosivas (plinianas, freatomagmáticas, vulcanianas), erupciones efusivas y episodios de construcción y destrucción de domos, así como fenómenos de inestabilidad de flanco que han generado al menos dos depósitos de avalancha de escombros.

Por otro lado, el volcanismo plio-cuaternario de naturaleza calco-alcalina en el sur del Perú se localiza a lo largo de la Cordillera Occidental, donde la corteza continental tiene entre 65 et 70 km de espesor (e.g. Kono et al., 1989). Los magmas en esta parte de los Andes provienen de la fusión parcial del manto previamente metasomatizado por fluidos acuosos provenientes de la deshidratación del *slab*. Los magmas al ascender a la superficie interactúan en diversos niveles con la corteza, lo cual modifica su composición original (e.g. James, 1982; Hildreth y Moorbath, 1988). Con el fin de constreñir los procesos de diferenciación intracrustal, hemos emprendido un estudio geoquímico de rocas del volcán Misti, en base a datos de análisis químicos (elementos mayores y trazas), así como de relaciones isotópicas de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd y δ¹⁸O.

Palabras claves: Misti, evolución volcánica, geoquímica, isótopos, asimilación-cristalización fraccionada

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

Un total de 115 muestras de rocas del volcán Misti han sido analizadas. Estas varían en composición desde andesitas a riolitas, y definen una serie calco-alcalina moderada a altamente potásica (56,9 – 73,6 wt.% SiO₂; 1,8-4,0 wt.% K₂O: Fig. 1a). Estas rocas están caracterizadas por presentar elevadas concentraciones en elementos incompatibles LILE (K, Rb, Ba, Th), así como un empobrecimiento en HFSE (e.g. Nb, Zr) y HREE (e.g. Yb) (Fig. 1b). Estas características particulares son propias de magmas de zonas de subducción. En efecto, el enriquecimiento en LILE es la firma de los fluidos provenientes de la deshidratación del *slab*. El empobrecimiento en Y (9,4-17 ppm) y HREE ilustrado en el diagrama multielemento puede ser atribuido a procesos de asimilación o mezcla de magmas en la base de la corteza continental (localizada entre 65 et 70 km de profundidad) donde el granate sería una fase residual (a alta presión). En el diagrama multielementos distinguimos que las riolitas de la etapa "Misti 3" presentan los valores más bajos en REE (tierras raras), Ti, Zr y P.

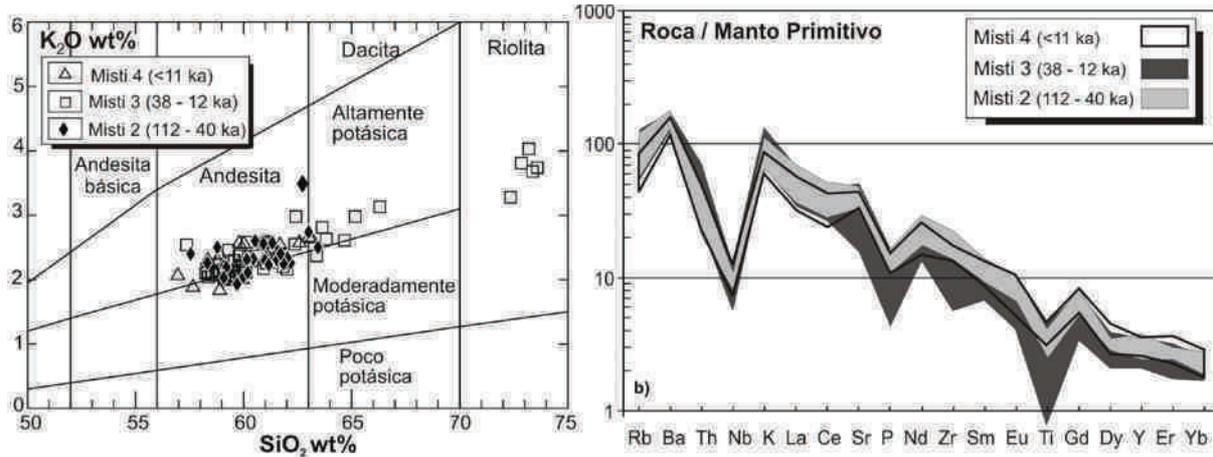


Fig. 1 a) Diagrama K_2O en función de SiO_2 de rocas del volcán Misti (Peccerillo y Taylor, 1976). b) Diagrama multielementos de rocas andesitas a riolíticas del volcán Misti, normalizadas con respecto al manto primitivo (Sun y McDonough, 1989).

Las rocas del volcán Misti presentan elevadas relaciones $^{87}Sr/^{86}Sr$ (0.7071 - 0.7088), $\delta^{18}O$ (7,14 – 11,21‰ V-SMOW), y muy bajas relaciones isotópicas $^{143}Nd/^{144}Nd$ (0.51198 - 0.51227) (Fig. 2), en comparación a los magmas calco-alcalinos de arcos de islas o a los MORB (basaltos de medio oceánicos) (e.g. Davidson et al., 1989, 1991). Estas características isotópicas sugieren que estos magmas han sido fuertemente afectados por procesos de contaminación o asimilación durante la evolución de la serie, probablemente influenciados por la presencia de una corteza continental muy engrosada (entre 65 y 70 km de espesor) en el sur peruano. La tendencia de diferenciación observado entre la relación $^{87}Sr/^{86}Sr$ en función de la SiO_2 muestra que la evolución del Misti se ha producido por un proceso de Asimilación y Cristalización fraccionada (AFC). La importante asimilación por la corteza es corroborada por los valores elevados de $\delta^{18}O$ en función de $^{87}Sr/^{86}Sr$, más importantes durante la etapa "Misti 3".

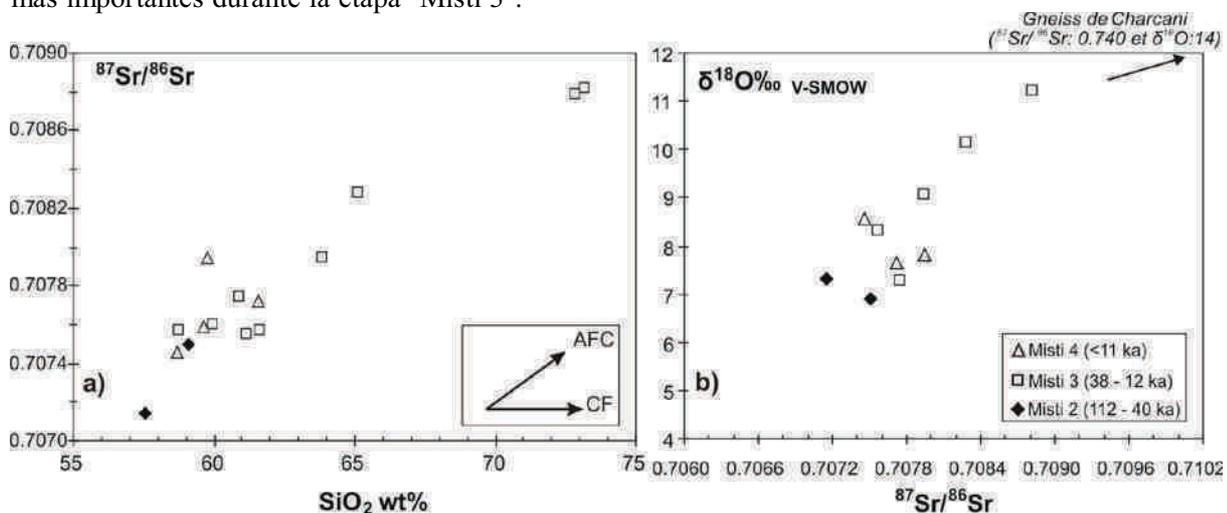


Fig. 2 a) Diagrama $^{87}Sr/^{86}Sr$ en función de SiO_2 wt% de rocas del volcán Misti; b) Diagrama $\delta^{18}O$ en función de $^{87}Sr/^{86}Sr$ de rocas del volcán Misti.

DISCUSIÓN: MODELAMIENTO Y EVOLUCIÓN PETROGENÉTICA

A pesar de la frecuente e intensa actividad explosiva presentada por el Misti desde el Pleistoceno tardío (112 ka hasta el Holoceno), durante el cual se han producido el emplazamiento de voluminosas ignimbritas, algunas de ellas ligadas a colapsos de calderas (Thouret et al., 2001), el volcán Misti ha emitido principalmente productos de composición andesítica, y algunas dacitas y riolitas. Los productos más diferenciados corresponden a riolitas, emitidas durante erupciones plinianas ocurridas entre 34 y 31 ka ("Misti 3").

Por otro lado, es admitido que los magmas calco-alcalinicos de la ZVC resultan esencialmente de la fusión parcial de la cuña del manto metasomatizado por fluidos derivados de la deshidratación de la corteza oceánica subducida (e.g. Davidson et al., 1991), a menudo seguido de una contaminación y/o asimilación por la corteza continental durante el ascenso y la diferenciación (James, 1982; Hildreth y Moor bath, 1988). La mayoría de estudios efectuados sobre las rocas del arco volcánico plio-cuaternario peruano indican que la asimilación en la corteza ha jugado un rol importante en la evolución de los magmas (James, 1982; Delacour et al., 2007), esto debido al gran espesor de la corteza en esta parte de los Andes. Sin embargo, los mecanismos y niveles estructurales donde se produce esta contaminación o asimilación resta hasta hoy en día en debate (Delacour et al., 2007; Sorensen et Holm, 2007).

En el caso del volcán Misti, el comportamiento de los sistemas isotópicos (e.g. Sr, Nd, O) pone en evidencia un rol importante de la asimilación o contaminación durante la evolución de la serie. En efecto, el diagrama $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. SiO_2 (Fig. 2a), muestra una relación lineal, la cual sugiere, que la diferenciación de la serie del Misti se ha desarrollado por procesos de cristalización fraccionada, asociada a una importante asimilación o contaminación por la corteza. El diagrama $\delta^{18}\text{O}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Fig. 2b) concuerda con ésta hipótesis..

El volcán Misti descansa sobre un basamento metamórfico denominado Macizo de Arequipa o "gneis de Charcani" (Tosdal, 1996). Este basamento ha sido utilizado par James (1982) como roca contaminante para explicar la importante variación en elementos trazas e isótopos (Sr, Nd, Pb, O) de rocas volcánicas del arco calco-alcantino en el sur del Perú. Estas rocas que forman parte de la corteza media o superior han sido también utilizados como contaminantes por numerosos autores al norte de la CVZ (e.g. Boily et al., 1990). Un modelamiento geoquímico de un proceso de asimilación y cristalización fraccionada (AFC) haciendo el uso la formulación establecida por De Paolo (1981) ha sido efectuado en el marco de este estudio. Para lo cual hemos tomado las composiciones de una roca menos diferenciada ("magma padre") y una roca más evolucionada ("roca hija") del Misti para reproducir la serie magnética. Como contaminante hemos tomado el gneis de Charcani (Boily et al., 1990). La figura 3 presenta los parámetros tomados para este modelamiento, así como un diagrama multielemento donde son presentados los resultados de dicho modelamiento.

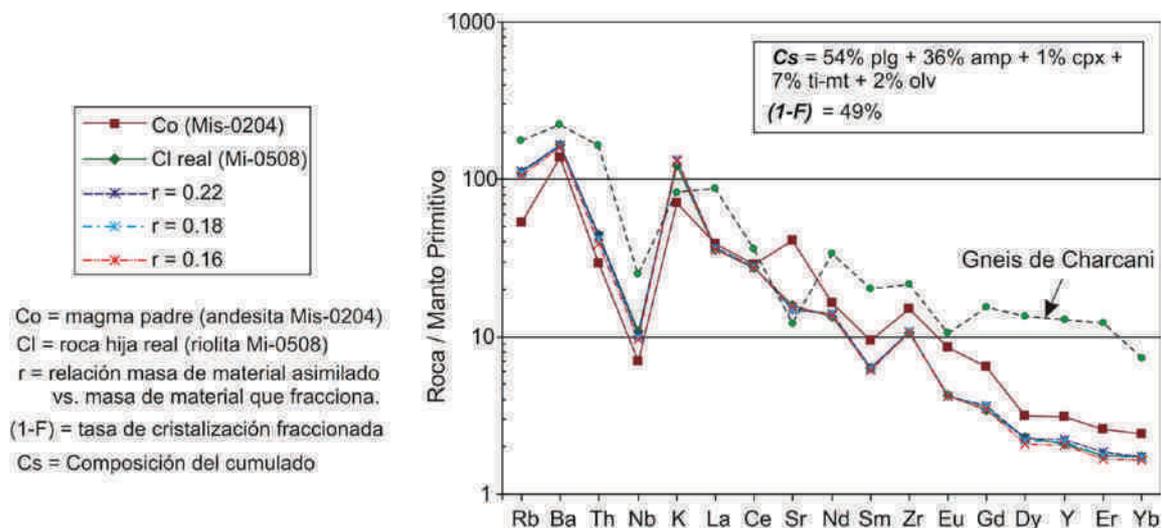


Fig. 3. Diagrama multielemento que muestra los resultados del cálculo de la AFC para varios porcentajes de asimilación del contaminante (Macizo de Arequipa) que participa en la evolución de rocas del volcán Misti.

Según los resultados obtenidos, con una relación material asimilado/material que fracciona (r) igual o menor a 2.2, correspondiente a una tasa de asimilación de $\leq 14\%$, el modelo reproduce la composición de elementos trazas de las rocas más diferenciadas del Misti (riolitas). Este resultado muestra que el Macizo de Arequipa es uno de los contaminantes principales que participa en la evolución de la serie del Misti. Esta asimilación o contaminación ha sido mayor entre 34 et 31 ka, donde se generan las únicas riolitas del Misti.

Por otro lado, los bajos valores en HREE e Y, y las relaciones La/Yb y Sr/Y elevadas, de rocas del Misti pueden reflejar la asimilación o la mezcla de magmas basálticos “padres” provenientes del manto con magmas generados en la base de la corteza, conteniendo granate en el residuo de fusión (magmas generados a alta presión). Además la relación Sm/Yb (3 - 6) elevada de las rocas del volcán Misti es coherente con el fraccionamiento del granate (e.g. Feeley et Hacker, 1995; Delacour *et al.*, 2007). La rareza de productos básicos (andesitas básicas) dentro de los productos del Misti sugiere que los magmas que arriban a la superficie son ya evolucionados (y contaminados), pudiendo estos haberse diferenciado en uno o más reservorios en la corteza durante su trayecto hacia la superficie.

CONCLUSIONES

A pesar de la gran variedad de productos lávicos y piroclásticos emitidos por el volcán Misti, desde el punto de vista geoquímico, estas rocas presentan una gran homogeneidad, tratándose en su gran mayoría de andesitas y algunas dacitas. Mientras que los únicos productos diferenciados (riolitas) han sido emitidos entre 34 et 31 ka ligados a erupciones plinianas. El estudio geoquímico ha permitido determinar los procesos relacionados a la génesis de los productos del volcán Misti. Así una evolución por procesos de Asimilación y Cristalización Fraccionada (AFC) con una tasa de asimilación del 4% es propuesta para explicar la evolución de la serie del Misti. Esta asimilación se produce principalmente en la corteza continental superior donde el contaminante principal es el gneis de Charcani. Sin embargo, también una contaminación inicial ha probablemente tenido lugar en niveles inferiores de la corteza inferior donde los magmas adquieren los bajos valores en HREE e Y.

REFERENCIAS

- Boily M., Ludden J.N., Brooks, C., 1990. Geochemical constraints on the magmatic evolution of the pre-and post-Oligocene volcanic suites of southern Peru: Implication for the tectonic evolution of the Central Volcanic Zone. *Geological Society of America Bulletin* 102, 11, 1565–1579.
- Davidson, J.P., Harmon, R.S., 1989. Oxygen isotope constraints on the petrogenesis of volcanic arc magmas from Martinique, Lesser Antilles. *Earth Planetary Science Letters* 95, 255–270.
- Davidson, J.P., Harmon, R.S., Wörner, G., 1991. The source of the Central Andes magmas; some considerations. In *Andean magmatism and its tectonic setting*. Geological Society of America –Special Paper, 265, 233-243.
- Delacour, A., Gerbe, M.-C., Thouret, J.-C., Worner, G., Paquereau, P., 2007. Magma evolution of Quaternary minor volcanic centres in Southern Peru, Central Andes. *Bulletin of Volcanology* 69, 581–608.
- De Paolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planetary Science Letters* 53, 89–202.
- Feeley, T.C., Hacker, M.D. 1995. Intracrustal derivation of Na-rich andesitic and dacitic magmas : an exemple from volcán Ollagüe, Andean Central Volcanic Zone. *Journal of Geology*, 103;213-225.
- Hildreth, W., Moorbath, S., 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 98, 455–489.
- James, E.D., 1982. A combined O, Sr, Nd, and Pb isotopic and trace element study of crustal contamination in central Andean lavas, I. Local geochemical variations. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 57;47-62.
- Kono, M., Fukao, Y., Yamamoto, A., 1989. Mountain building in the Central Andes. *Journal of Geophysical Research* 94, B4, 3891-3905.
- Peccerillo, P., 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.
- Sorensen, E.V., Holm, P.M., 2008. Petrological inferences on the evolution of magmas erupted in the Andahuay Valley, Peru (Central Volcanic Zone). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 177, 378–396.
- Sun S., McDonough W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Magmatism in the Ocean Basin*, Geol. Soc. Sp. Publ., 42, 313-345.
- Thouret, J.-C., Finizola, A., Fornari, M., Suni, J., Legeley-Padovani, A., Frechen, M., 2001. Geology of El Misti volcano nearby the city of Arequipa, Peru. *Geological Society of America Bulletin* 113 (12): 1593–1610.
- Tosdal, R.M., 1996. The Amazon-Laurentian connection as viewed from the Middle Proterozoic rocks in the central Andes, western Bolivia and northern Chile. *Tectonic* 15, 827-842.