

CAMBIOS EN LOS DINAMISMOS ERUPTIVOS DURANTE LAS ERUPCIONES DE LARGA DURACION: PETROLOGIA DE LAS ERUPCIONES DEL 2006 DEL VOLCAN TUNGURAHUA (ECUADOR)

Pablo Samaniego^{1,2}, Jean-Luc Le Pennec^{1,2}, Claude Robin^{1,2} y Silvana Hidalgo²

¹ Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, CNRS, IRD, F-63038 Clermont-Ferrand, Francia

² Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador

INTRODUCCION

El seguimiento de los potenciales cambios en los dinamismos eruptivos que ocurren durante las erupciones de larga duración representa un gran reto para la vulcanología actual. En el caso de los volcanes de arco, el tiempo entre el inicio de la erupción y el paroxismo eruptivo puede ser relativamente largo, del orden de meses o años. En este caso, las poblaciones que viven bajo la amenaza volcánica pueden acostumbrarse a las nuevas condiciones impuestas por el volcán, lo cual puede comprometer seriamente la preocupación necesaria para reaccionar ante una amenaza volcánica. Esta situación se evidenció en el volcán Tungurahua (Ecuador) que se reactivó en 1999, y cuyo paroxismo se produjo 7 años después. En estos casos, es importante conocer las causas que llevan a que un volcán cambie su comportamiento eruptivo, en particular la transición desde una actividad moderadamente explosiva hacia una altamente explosiva, como fue el caso de las erupciones del Tungurahua en 2006.

El presente estudio está basado en el seguimiento de la actividad eruptiva del volcán Tungurahua por parte del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN, Quito, Ecuador), así como en la caracterización petrológica (análisis químicos de roca total de elementos mayores y trazas, análisis de la composición química de los minerales presentes en la roca) de los productos eruptivos de las erupciones de Julio y Agosto de 2006.

ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL TUNGURAHUA

El Tungurahua (5023 m snm) es uno de los volcanes más activos de los Andes Ecuatorianos. Durante el período histórico, este volcán ha presentado erupciones explosivas importantes (VEI \geq 3) en AD 1533 -34, 1640-1641, 1773, 1886 y 1916-18; con una recurrencia eruptiva de al menos un evento explosivo importante por siglo (Hall et al., 1999; Le Pennec et al., 2008). Estas erupciones estuvieron caracterizadas por caídas regionales de tetra, la generación de flujos piroclásticos y flujos de lodo asociados, y eventualmente por la emisión de flujos de lava al final de cada período eruptivo. En octubre de 1999, luego de 75 años de reposo, el Tungurahua inició un nuevo período eruptivo, el cual continúa en la actualidad. Entre 1999 y 2005, la actividad volcánica se caracterizó por una explosividad baja a moderada, presentándose períodos de intensa actividad volcánica (Noviembre-Diciembre 1999, Agosto 2001, Septiembre 2002, Septiembre-Noviembre 2003, Mayo-Julio 2004), intercalados con períodos de calma. Estas fases eruptivas estuvieron caracterizadas por una actividad de tipo estromboliana, frecuentes explosiones vulcanianas, y la emisión de ceniza a escala local.

A inicios de 2006, el volcán retomó su actividad luego de casi un año de muy poca actividad eruptiva. A partir de Abril 2006, la actividad mostró un incremento nunca antes visto desde el inicio de la erupción, culminando en dos erupciones altamente explosivas ocurridas el 14 Julio (VEI 2) y el 16 Agosto (VEI 3). Por primera vez desde el inicio del presente período eruptivo, el Tungurahua produjo erupciones explosivas suficientemente importantes como para generar columnas de emisión de 14-20 km de altura, una distribución regional de ceniza en el valle interandino al occidente del volcán, y por primera vez desde el inicio del presente período eruptivo, ocurrieron flujos piroclásticos que devastaron la mitad occidental del volcán (Fig. 1). Esta fase eruptiva terminó con la emisión de un flujo de lava que descendió el flanco NW del cono, inmediatamente después de terminada la fase explosiva del 16 Agosto.

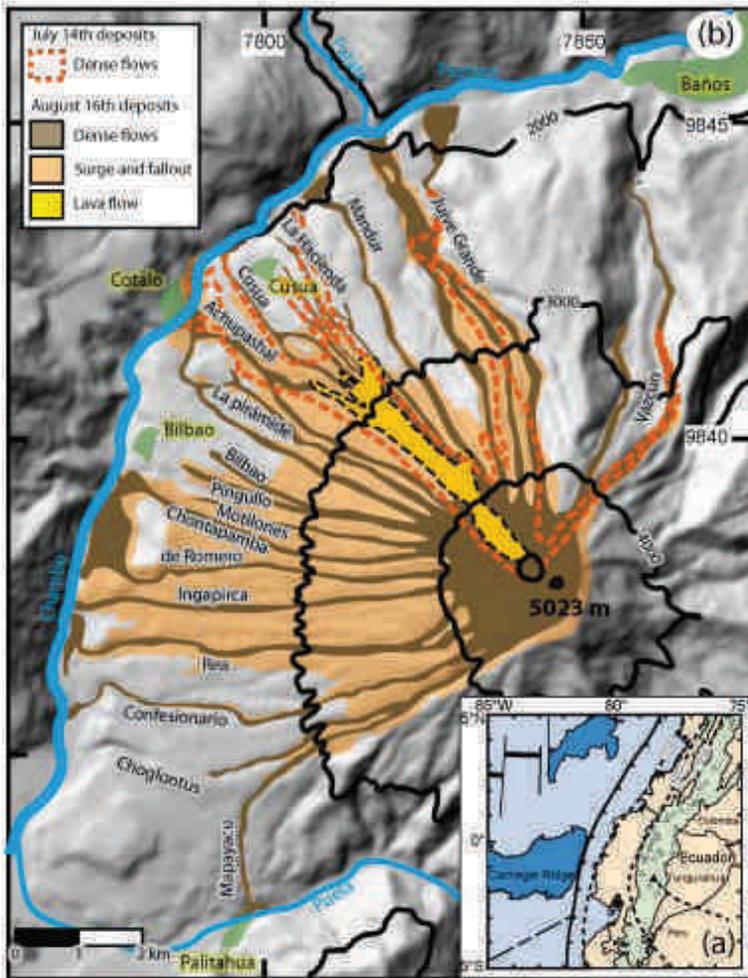


Figura 1. (a) Marco geodinámico de los Andes ecuatorianos. (b) Modelo digital de elevación que muestra la distribución de los depósitos de las erupciones del 14 Julio y 16 Agosto 2006 (Modificado de Kelfoun et al., 2010).

CARACTERIZACION PETROLOGICA

Los productos eruptivos de las erupciones del 14 Julio y 16 Agosto 2006 (tefra, bloques y bombas de los flujos piroclásticos, lava), así como las muestras de las fases eruptivas precedentes (1999-2005) son andesitas porfíricas (58-59 wt.% SiO₂, Fig. 2), con una mineralogía compuesta por plagioclasa, ortopiroxeno, clinopiroxeno y óxidos de Fe-Ti. Adicionalmente, durante la fase paroxismal del 16 Agosto, se pudo observar la presencia minoritaria (1-2%) en el depósito de caída de fragmentos de pómez blanca, cuya composición es más rica en sílice (61-62 wt.% SiO₂, Fig. 2), así como de raros enclaves magmáticos silíceos cuya mineralogía está compuesta por plagioclasa, ortopiroxeno, anfíbol y óxidos de Fe-Ti. En la Fig. 2 se pueden apreciar las muestras de los productos eruptivos del 2006, conjuntamente con los productos eruptivos de las otras erupciones históricas del Tungurahua. Se puede apreciar que las muestras del 2006 siguen globalmente la tendencia de las otras erupciones históricas. Se aprecia además que la mayoría de los productos históricos del Tungurahua muestran composiciones andesíticas, similares a los del 2006, mientras que los productos de la erupción de AD 1886 presentan composiciones mucho más silíceas.

Con respecto a la mineralogía de estas rocas, la principal característica es la presencia de fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno con frecuentes texturas de disequilibrio, como por ejemplo bordes o coronas de reacción y zonas de reabsorción, que frecuentemente están cubiertas por delgados sobrecrecimientos (20-80 um) de composición más máfica (Fig. 3). Adicionalmente, se pueden encontrar algunos cristales de olivino con frecuentes coronas de reacción.

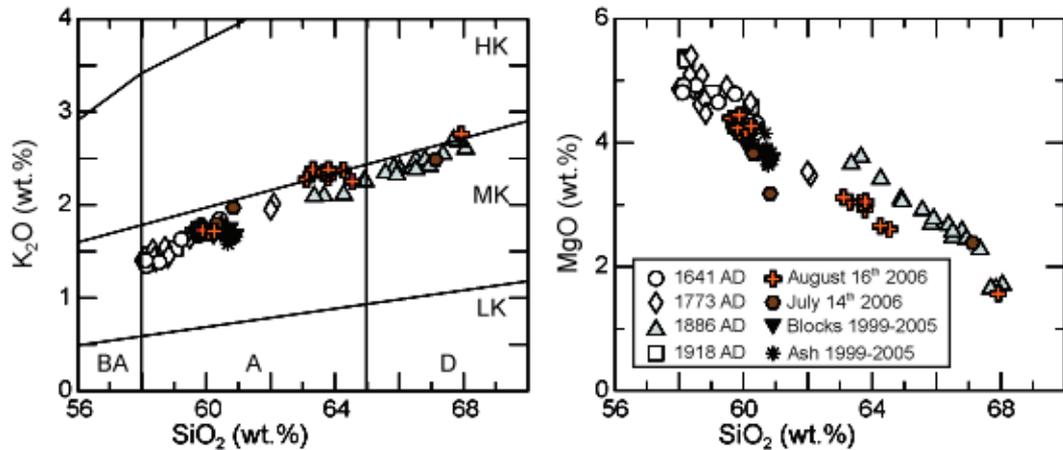


Figura 2. Diagramas de variación para las productos eruptivos del 2006 del volcán Tungurahua, así como de las rocas de otras erupciones históricas. (a) K_2O y (b) MgO vs. SiO_2 como índice de diferenciación. BA- andesitas básicas, A – andesitas, D – dacitas; LK – serie pobre en K_2O , MK – serie moderadamente rica en K_2O .

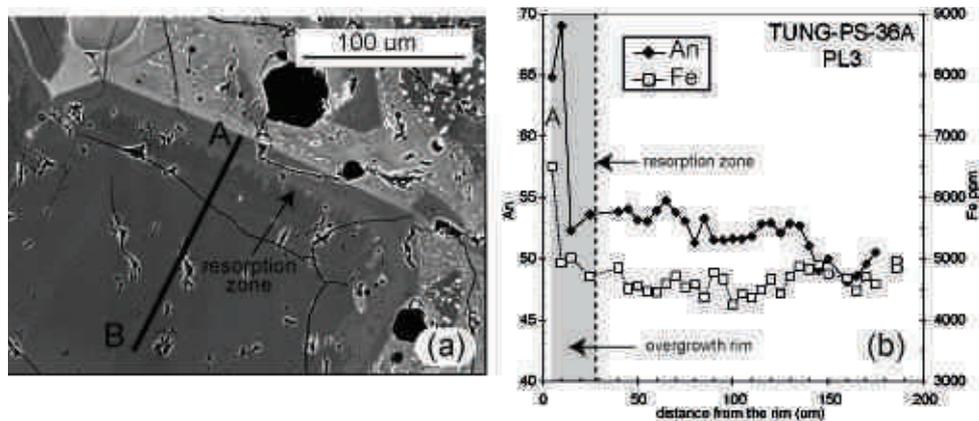


Figura 3. (a) Imagen BSE (Back-scattered electrons) de un fenocristal de plagioclasa mostrando una zona de reabsorción y un sobrecrecimiento. (b) Diagrama An vs. Distancia desde el borde para el fenocristal precedente.

CONDICIONES DE P-T-H₂O PRE-ERUPTIVAS

Las relaciones de fase para magmas andesíticos constituyen un buen punto de partida para determinar las condiciones de P-T pre-eruptivas de los magmas del Tungurahua. En efecto, la paragénesis mineral observada en las rocas del Tungurahua (pl + cpx + opx + mag) es estable bajo un rango limitado de condiciones de P-T (<150-200 MPa, 950-1050°C, Moore y Carmichael, 1998; Pichavant et al., 2002), el cual puede ser constreñido con la aplicación de diferentes termobarómetros.

La temperatura de cristalización de los magmas andesíticos fue determinada por varios métodos (Putirka, 2008). Para todos estos casos, se escogió únicamente las composiciones de los bordes de los fenocristales automorfos y se aplicó los test de equilibrio correspondientes, fijando la presión en 200 MPa (ver más abajo). Los resultados muestran valores consistentes, en particular para el geotermómetro plagioclasa - líquido magmático ($964 \pm 26^\circ C$), el geotermómetro basado en el equilibrio entre orto y clinopiroxeno ($1007 \pm 14^\circ C$) y el geotermómetro clinopiroxeno - líquido magmático ($1013 \pm 12^\circ C$). Estas temperaturas son coherentes con los datos experimentales y reflejarían dos etapas de la secuencia de cristalización, siendo la determinación basada en el geotermómetro plagioclasa – líquido magmático el más indicado para constreñir la temperatura pre-eruptiva. Para la determinación de la presión de cristalización utilizamos diferentes calibraciones del barómetro Al-in-hornblende (Johnson y Rutherford, 1989; Anderson y Smith, 1995; Ridolfi et al., 2010), aplicados a los escasos cristales de anfíbol encontrados en los enclaves magmáticos encontrados en los productos de la fase paroxismal. Se debe recalcar sin embargo que dichos

fenocristales muestran coronas de reacción que sugieren que no se encuentran en equilibrio. Por esta razón se aplicó la formulación recientemente publicada por Ridolfi et al. (2010), que está basada en un estudio sistemático de diferentes tipos de anfíboles naturales y experimentales, y que permite de obtener las condiciones de P-T en las que dichos anfíboles cristalizaron. En base a este geobarómetro se pudo determinar una presión 246 ± 22 MPa, que corresponde a profundidades de 8 ± 1 km bajo la cumbre.

RECONSTRUCCION DEL SISTEMA MAGMATICO DE ALIMENTACION

Los caracterización petrológica de los productos eruptivos, así como los datos geofísicos y las observaciones recopiladas por el IG-EPN, permiten proponer un modelo para el sistema magmático de alimentación del Tungurahua. La homogeneidad geoquímica de los productos eruptivos del Tungurahua desde el inicio del presente período de actividad sugiere la existencia de un reservorio andesítico homogéneo. La actividad eruptiva intermitente presentada por el volcán en el período comprendido entre 1999 y 2005 refleja una situación “estacionaria” entre la alimentación profunda y el ascenso entre el reservorio y la superficie. Se infiere que dicho reservorio debe estar constituido por una parte central activa, y por una parte periférica, en la cual los magmas se acumulan y evolucionan por cristalización hasta composiciones más diferenciadas. Dichos magmas pueden ser ocasionalmente muestreados durante las fases explosivas paroxismales como aquellas del 2006.

Antes de la fase paroxismal del 2006, el reservorio andesítico fue perturbado por la llegada de un nuevo pulso de magma primitivo, caliente y rico en gases. Dicha inyección de magma profundo debió ocurrir 2-3 meses antes del paroxismo, produciendo la convección y la consecuente homogenización del reservorio, y un incremento en la sobrepresión del mismo, que culminó con las erupciones paroxismales del 14 Julio y 16 Agosto de 2006.

REFERENCIAS

- Anderson, J.L., Smith, D.R., 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *Am. Miner.* 80, 549-559.
- Hall, M.L., Robin, C., Beate, B., Mothes, P., Monzier, M., 1999. Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 91, 1-21.
- Johnson, M.C., Rutherford, M.J., 1989). Experimental calibration of the aluminium-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology* 17, 837-841.
- Kelfoun, K., Samaniego, P., Palacios, P., Barba, D., 2009. Testing the suitability of frictional behaviour for pyroclastic flow simulation by comparison with a well-constrained eruption at Tungurahua volcano (Ecuador). *Bull. Volcanol.* 71, 1057-1075. doi 10.1007/s00445-009-0286-6.
- Le Pennec, J.L., Jaya, D., Samaniego, P., Ramón, P., Moreno Yáñez, S., Egred, J., van der Plicht, J., 2008. The AD 1300–1700 eruptive periods at Tungurahua volcano, Ecuador, revealed by historical narratives, stratigraphy and radiocarbon dating. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 176, 70-81.
- Moore, G., Carmichael, I.S.E., 1998. The hydrous phase equilibria (to 3 kbar) of an andesite and basaltic andesite from western Mexico: constraints on water content and conditions of phenocryst growth. *Contrib. Mineral. Petrol.* 130, 304-319.
- Pichavant, M., Martel, C., Bourdier, J.L., Scaillet, B., 2002. Physical conditions, structure, and dynamics of a zoned magma chamber: Mount Pelée (Martinique, Lesser Antilles Arc). *J. Geophys. Res.* 107, 2093, doi:10.2029/2001JB000315.
- Putirka, K.D., 2008. Thermometers and barometers for volcanic systems. *Rev. Mineral. Geochem* 69, 61-120.
- Ridolfi, F., Renzulli, A., Puerini, M., 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contrib. Mineral. Petrol.* doi 10.1007/s00410-009-0465-7.