

CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS Y GEOQUÍMICAS DE LOS MAGMAS DE LA ERUPCIÓN DE 2002-2004 DEL VOLCÁN EL REVENTADOR (ECUADOR)

Pablo Samaniego

Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.
psamaniego@igepn.edu.ec

Minard L. Hall

Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

Jean-Philippe Eissen

IRD, UR 163, Laboratoire Magmas et Volcans, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, France.

Patricia Mothes

Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

Jean-Luc Le Pennec

IRD, Whymper 442 y Coruña, Ap. 17-12-857, Quito, Ecuador.

Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

Patricio Ramón

Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, Ap. 17-01-2759, Quito, Ecuador.

Jo Cotten

UMR 6538, Université de Bretagne Occidentale, BP 809, 29285 Brest, France

INTRODUCCION

El volcán El Reventador, uno de los más activos del arco ecuatoriano, se encuentra ubicado en la zona subandina, a 40 Km. al oriente de la cresta de la Cordillera Real. Debido a ésta ubicación, la historia reciente de este volcán es poco conocida, sin embargo se ha reportado actividad en los períodos de 1898-1912, 1926-1929, 1944, 1958-1960, 1972, 1973-1974 y 1976 (Hall, 1980; INECEL, 1988; J. Egred, *com. pers.*). Esta actividad volcánica se caracterizó por erupciones de tipo estromboliano a vulcaniano, de tamaño pequeño a moderado (VEI ~ 2-3, Simkin & Siebert, 1994), con pequeños flujos piroclásticos, flujos de lava, flujos de escombros y columnas de ceniza que afectaron el valle Interandino ubicado a 70-90 Km. al occidente del volcán. Trabajo de campo hecho por uno de los autores (M.L. Hall) en los años 1970-80's permitió identificar los flujos de lava de las erupciones de 1912, 1944, 1972, 1973 y 1976. Estos datos son muy valiosos para comparar con los datos de la erupción actual.

LA ERUPCION ACTUAL

Luego de 26 años de reposo, y después de pocas horas de intensa actividad sísmica premonitora, el 3 de Noviembre de 2002 el volcán entró en un proceso eruptivo altamente explosivo. Este período se caracterizó por la formación de una columna pliniana de 16 Km. de altura, y la generación de importantes flujos piroclásticos (PFs) que devastaron la caldera de avalancha dentro de la cual se encuentra construido el cono joven de El Reventador. En base a la cuantificación de la cantidad de tefra emitida en esta erupción, Le Pennec et al., (2003) propuso un VEI de 4, lo cual la califica como la más importante erupción de este volcán en los últimos siglos. Luego de tres días de actividad explosiva de menor importancia, el 6 de noviembre de 2002 se inició la emisión de un flujo de lava desde el cráter central (LF1). El 21 de noviembre de 2002 un segundo flujo de lava (LF2) comenzó a ser emitido desde un ventó lateral ubicado en el flanco SE del cono, a menos de 1000 m de distancia del ventó central.

Durante el año 2003 y buena parte del 2004, la actividad del volcán se caracterizó por actividad fumarólica intensa en el cráter central. A partir del segundo semestre del 2004, se comenzaron a registrar

enjambres sísmicos y se detectaron anomalías térmicas en el cráter (Ramón et al., este volumen). Para finales de noviembre de 2004, un nuevo flujo de lava (LF3) fue observado en el interior del cráter central, el cual rebosó dicho cráter y avanzó por sobre el LF1.

CARACTERIZACION PETROGRAFICA Y GEOQUIMICA

Los productos de la erupción 2002 y del flujo de lava de 2004 de El Reventador presentan un rango de variación comprendido entre 54.2 y 59.1 wt% SiO₂ (valores reportados en base anhydra y normalizados al 100 wt%, Fig. 1A). Estas rocas definen una serie que va de las andesitas básicas a las andesitas de medio-a alto-K.

Los productos piroclásticos de la erupción de 2002 muestran una gran homogeneidad geoquímica (57.8-59.1 wt% SiO₂). Sin embargo, cabe resaltar la ocurrencia en los bloques de los flujos piroclásticos, de escasos “glóbulos” de un magma más diferenciado (61.5-62.1 wt% SiO₂). El primer flujo de lava muestra una variación geoquímica comprendida entre 56.5 y 58.2 wt% SiO₂, mientras que el segundo flujo de lava presenta una composición más básica (54.2-54.6 wt% SiO₂). A pesar de esta variación geoquímica, la mineralogía de las lavas y los productos piroclásticos se mantiene constante, compuesta por pl + cpx + opx + amph + mag ± ol. Finalmente, el flujo de lava de 2004 (LF3) presenta una composición de 56.3-56.4 wt% SiO₂. Por el contrario, las muestras de los flujos históricos de este volcán (1912, 1944, 1972, 1973 y 1976) muestran globalmente composiciones más básicas (53.0-57.6 wt% SiO₂, Fig. 1B) y una mineralogía ligeramente diferente (pl + cpx + ol + mag ± amph).

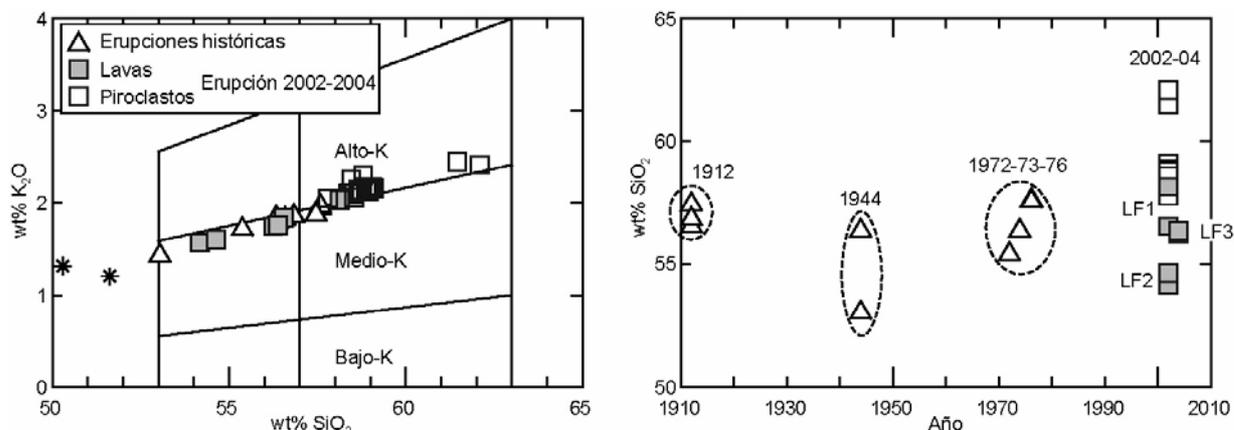


Figura 1. (A) Diagrama wt% K₂O vs wt% SiO₂ para las rocas de la erupción actual (2002-2004) y de las erupciones históricas de El Reventador (clasificación según Gill, 1981). (B) Diagrama wt% SiO₂ en función del año de la erupción.

EVOLUCION MAGMATICA

CONDICIONES DE P-T PRE-ERUPTIVAS Y EQUILIBRIO DE FASES

El estudio mineralógico detallado de las lavas de la erupción actual permitió determinar las condiciones de P-T así como el contenido de agua pre-eruptivos. Las temperaturas de equilibrio, basadas en el geotermómetro de dos piroxenos (Andersen et al., 1993), muestran resultados bastante coherentes, entre 1000 y 1050 °C (28-60 °C de incertidumbre, para una presión total de 5 kbar). En cuanto a las presiones de cristalización, dos geobarómetros diferentes (Johnson & Rutherford, 1989; Nimis, 1999) dan valores entre 3 y 6 kbar.

Las relaciones de fases en el sistema olivino – clinopiroxeno – plagioclasa – sílica permite establecer la paragénesis mineral que cristalizó en estos magmas, así como estimar de forma semi-cuantitativa el contenido de agua de los magmas (Sisson & Grove, 1993; Grove et al., 2003). Este análisis sugiere que la cristalización fraccionada, bajo condiciones ricas en agua (> 5 %), de olivino, clinopiroxeno y plagioclasa permite explicar la evolución desde una composición basáltica hasta las andesitas. En un segundo paso, se establece la reacción olivino + líquido para formar anfíbol + ortopyroxeno.

CRISTALIZACIÓN FRACCIONADA

La modelización geoquímica en base a los elementos mayores y trazas, del proceso de cristalización fraccionada muestra que la evolución desde las andesitas básicas (REV31B, LF2) hasta las andesitas (LF1 y productos piroclásticos -PFs-) se puede explicar por el fraccionamiento de pl + amph + cpx + ol + mag ($r^2 < 0.1$), con un grado de cristalización del 30-40 %. En segundo lugar, se probó la evolución desde un basalto (SAN 20B o REV 29) hasta una andesita básica, lo cual fue obtenido con buenos resultados con una asociación mineral compuesta por pl + cpx + ol + mag. La modelización con los elementos en traza confirma ésta evolución en dos etapas, pues el paso de los basaltos a las andesitas básicas (curva 1, Fig. 2) no necesita la intervención del anfíbol, por el contrario, para la génesis de las andesitas, es fundamental la cristalización de este mineral (curva 2, Fig. 2) para explicar el carácter compatible de las tierras raras medias y pesadas (MREE y HREE) y las relaciones LREE/HREE elevadas (e.g. La/Yb).

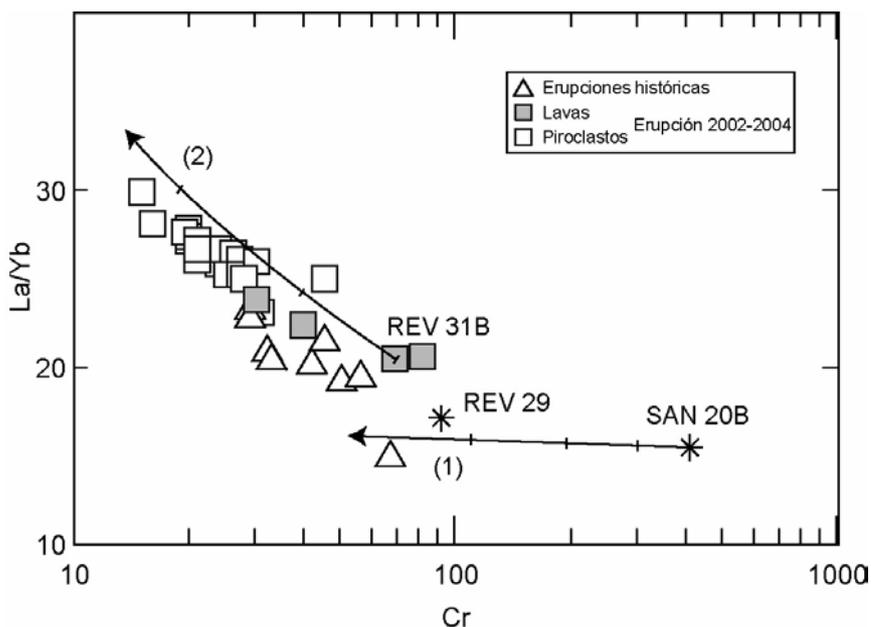


Figura 2. Diagrama La/Yb vs Cr mostrando los resultados de la modelización geoquímica. Los asteriscos (*) corresponden a un basalto de El Reventador (REV 29) y a un basalto del volcán Sangay (SAN 20B). El basalto REV29 corresponde a un fragmento lítico en los depósitos piroclásticos de la erupción de 2002, correspondiente al cono joven del volcán. Curva (1): cristalización de pl + cpx + ol + mag; curva (2): cristalización de pl + amph + cpx + ol + mag. Cada marca representa 20 % de cristalización.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los magmas de la erupción actual de El Reventador (2002-2004) evolucionaron en condiciones de saturación en agua (> 5 wt%) en dos etapas: (1) la evolución de basaltos a andesitas básicas se produce por cristalización fraccionada de una asociación mineral compuesta por pl + cpx + ol + mag; (2) la evolución

de las andesitas básicas a las andesitas requiere la intervención del anfíbol, para explicar las variaciones en elementos traza. Las condiciones P-T pre-eruptivas de los magmas de ésta erupción indican temperaturas entre 1000 y 1050° C y presiones totales que varían entre 3 y 6 kbar.

La modelización geoquímica muestra que los magmas de esta erupción pueden estar vinculados con un proceso de cristalización fraccionada, lo cual confirma la hipótesis de un reservorio magmático químicamente zonado (Müller et al., 2004). Sin embargo, la diversidad geoquímica de los magmas de la erupción actual sugiere un sistema magmático bastante complejo. Por un lado, la presencia de un magma más diferenciado (aunque volumétricamente poco importante) en los productos piroclásticos de la erupción de 2002 podría explicarse como un remanente de una erupción previa que evolucionó en condiciones anhidras. Por otro lado, el hecho que los flujos de lava LF1 y LF2 fueron emitidos de forma contemporánea durante algunos días (observaciones de inicios de diciembre de 2002; Hall et al., 2004) sugiere que cada uno de estos flujos de lava fue alimentado por conductos magmáticos diferentes. Así la lava LF2 correspondería a niveles más profundos del sistema magmático, mientras que la lava LF1 y los productos piroclásticos correspondería a niveles más superficiales.

El carácter altamente explosivo de ésta erupción se puede explicar por la conjunción de varios factores:

- el mayor contenido en anfíbol de las lavas de 2002-2004, que implica un mayor contenido de volátiles en los magmas;
- la naturaleza más diferenciada de las lavas de 2002 (58-59 wt% SiO₂) comparadas con las lavas de las últimas décadas (53-58 wt% SiO₂), que implica una viscosidad más alta de los magmas;
- la ausencia de premonitores sísmicos, que sugiere una evolución en sistema cerrado a altas presiones; y,
- la presencia de numerosos xenolitos en los depósitos de los flujos piroclásticos (Hall et al., 2004) que sugiere una interacción freatomagmática.

REFERENCIAS

- Andersen, D.J., Lindsley, D.H. & Davidson, P.M. (1993). QUILF: A pascal program to assess equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz. *Computers & Geosciences* **19**, 1333-1350.
- Gill, J.G. (1981). Orogenic andesites and plate tectonics. Berlin, Springer-Verlag. 389 p.
- Grove, T.L., Elkins-Tanton, L.T., Parman, S.W., Chatterjee, N., Müntener, O. & Gaetani, G. (2003). Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **145**, 515-533.
- Hall, M.L. (1980). El Reventador, Ecuador, un volcán activo de los Andes Septentrionales. *Revista Politécnica, Monografía de Geología*, **5-2**, 123-136.
- Hall, M.L., Ramón, P., Mothes, P., Le Pennec, J-L., García, A., Samaniego, P., & Yepes, H. (2004). Volcanic Eruptions with little warning: the case of Volcano Reventador's Surprise November 3, 2002 Eruption, Ecuador. *Revista Geológica Chile* **31**, 349-358.
- 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.
- INECEL (1988). Estudio vulcanológico de "El Reventador". Instituto Ecuatoriano de Electrificación, Ministerio de Energía y Minas. 117 p.
- Le Pennec, J.-L., Hidalgo, S., Samaniego, P., Ramón, P., Yepes, H. & Eissen, J.-P. (2003). Magnitud de la erupción del 3 de noviembre del 2002 del volcán El Reventador. *Memorias, Quintas Jornadas en Ciencias de la Tierra*, 8-11 abril 2003, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 97-99.
- Müller, N., Reischmann, T., Toulkeridis, T. & Serón, M. (2004). El Reventador eruption of November 2002 – Insights into magma composition. IAVCEI General Assembly 2004—Nov. 14-19, Pucón, Chile.
- Nimis, P. (1999). Clinopyroxene geobarometry of magmatic rocks. Part 2. Structural geobarometers for basic to acid, tholeiitic and mildly alkaline magmatic systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **135**, 62-74.
- Simkin T. & Siebert L. (1984). Volcanoes of the world. Smithsonian Institution, 2° edition.
- Sisson, T.W. & Grove, T.L. (1993). Experimental investigations of the role of H₂O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatic. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **113**, 143-166.