

Daniel Andrade<sup>1</sup>  
Jean-Philippe Eissen<sup>2</sup>  
Erwan Bourdon<sup>2</sup>  
Michel Monzier<sup>2</sup>  
Bernardo Beate<sup>3</sup>  
Silvana Hidalgo<sup>1</sup>

# DIFERENCIAS PETROGRÁFICAS Y GEOQUÍMICAS EN LAS LAVAS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO PULULAHUA

- 1 Instituto Geofísico/  
Departamento de Geofísica.  
Escuela Politécnica Nacional,  
Quito.
- 2 Institut de Recherche pour le  
Développement (IRD), casilla  
17-12-857, Quito, Ecuador.
- 3 Facultad de Geología, Minas y  
Petróleos; Quito.

## Resumen

En el Complejo Volcánico Pululahua (CVP) se observa tres Unidades geológicas caracterizadas por la presencia de lavas dacíticas in situ. El estudio de 27 muestras tomadas de estas lavas ha revelado que existen marcadas diferencias petrográficas y geoquímicas entre estas tres Unidades estudiadas del CVP. Se muestran y discuten tales diferencias. Las diferencias petrográficas pueden ser de gran utilidad estratigráfica, mientras que las diferencias geoquímicas muestran que las lavas del Pululahua presentan características adakíticas.

## Abstract

Three geologic units are observed in the Pululahua volcanic complex (CVP) which are characterized by in-situ dacitic lavas. The study of 27 samples taken from these lavas has revealed that marked petrographic and geochemical differences exist between the three studied units of the CVP. These differences are presented and discussed in this paper. The petrographic differences can be of great stratigraphic usefulness. The geochemical differences show that the Pululahua lavas present adakitic characteristics.

dandrade@igepn.edu.ec

## INTRODUCCIÓN

El Complejo Volcánico Pululahua (CVP) se encuentra ubicado a ~15 km al N de la ciudad de Quito, prácticamente sobre la línea ecuatorial. Su basamento, al W, lo constituyen rocas tipo flysch y turbiditas de un terreno oceánico acrecionado al continente en el Cretácico terminal (BGS - CODIGEM, 1998), que forma parte de la Cordillera Occidental del Ecuador (figura 1).

Al SE y al E, en cambio, el basamento del CVP son los sedimentos fluvio-lacustres de la cuenca plio-pleistocénica de Guayllabamba, que se encuentran deformados tectónicamente y en discordancia angular bajo los depósitos del CVP (Samaniego *et al.*, 1994).

Para el presente estudio se han tomado muestras de tres Unidades volcánicas principales del CVP (figura 1): una secuencia volcánica antigua cuyo principal afloramiento está en el S del complejo, sobre la loma El Mirador (Unidad I); un grupo de domos de lava dacítica emplazados antes de la formación de la caldera (Unidad II); y, un grupo de domos dacíticos intra-caldera (Unidad III) (Andrade D., en prep.). La característica principal de estas Unidades, que serán estudiadas y comparadas, es la presencia de lavas in situ, es decir que no han sido removilizadas del flujo o domo de lava original.

En el terreno se puede ver que la actividad del CVP ha dado lugar a la generación de grandes flujos tipo *block & ash* asociados al emplazamiento de los domos. También se observa depósitos de erupciones plinianas que han formado importantes flujos piroclásticos ignimbríticos y caídas. La última fase eruptiva del CVP, datada a ~2305 aAP (Hall y Mothes, 1994), afectó severamente a la cul-

tura Cotocollao que se desarrollaba en las cercanías (Isaacson and Zeidler, 1999), y corresponde al emplazamiento de al menos los domos más jóvenes de la Unidad III. Papale y Rosi (1993) han estimado que el volumen de magma extruido durante este último episodio fue de 5-6 km<sup>3</sup>.

## CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS

Para el presente trabajo se estudió petrográficamente un total de 27 muestras de lavas que corresponden a las tres Unidades ya mencionadas. De la Unidad I (secuencia volcánica de "El Mirador") se tomaron 4 muestras de un flujo de lava que aflora al tope de la secuencia. De las Unidades II y III se tomaron 17 y 6 muestras, respectivamente, que corresponden a casi todos los domos que se han reconocido en el CVP.

Como resultado del estudio petrográfico se observa que cada Unidad tiene una asociación mineral característica (tabla 1). La excepción es el domo El Chivo (figura 1) de la Unidad III, que presenta características mineralógicas que no corresponden a las del resto de la Unidad III, y más bien se observa una relativa compatibilidad con la Unidad II (figura 2). En el terreno, el domo El Chivo muestra características morfológicas especiales como el estar excéntrico respecto al centro de la caldera y tener pendientes de hasta 90°. Sobre todo resalta el hecho de que no presenta depósitos asociados a su crecimiento, los cuales probablemente han sido borrados por la erosión. Así, este domo resulta enigmático y es un caso especial dentro de la Unidad III.

La matriz de las lavas de la Unidad I (57% vol., en promedio; figura 2) está constituida principalmente por microcristales de plagioclasa (48% vol.) y vidrio (6% vol.). El vidrio tiene una clara textura fluidal concordante con las orientaciones preferenciales que presentan los microcristales de plagioclasa. Los fenocristales de la Unidad I (plagioclasa y ortopiroxeno) son subhedrales y estaban en desequilibrio con la matriz al momento de la solidificación de la roca. Las plagioclasas, específicamente, se presentan casi siempre zonadas y muestran más de dos etapas de generación.

Las lavas de la Unidad II tienen una matriz constituida principalmente por microcristales de plagioclasa (59% vol.) y vidrio (3.5% vol.), y tiene una textura fluidal leve. La matriz representa, en promedio, el 66% en volumen de la roca (figura 2). Los fenocristales de estas rocas siempre estuvieron en desequilibrio con la matriz al momento de la solidificación, en especial el anfíbol

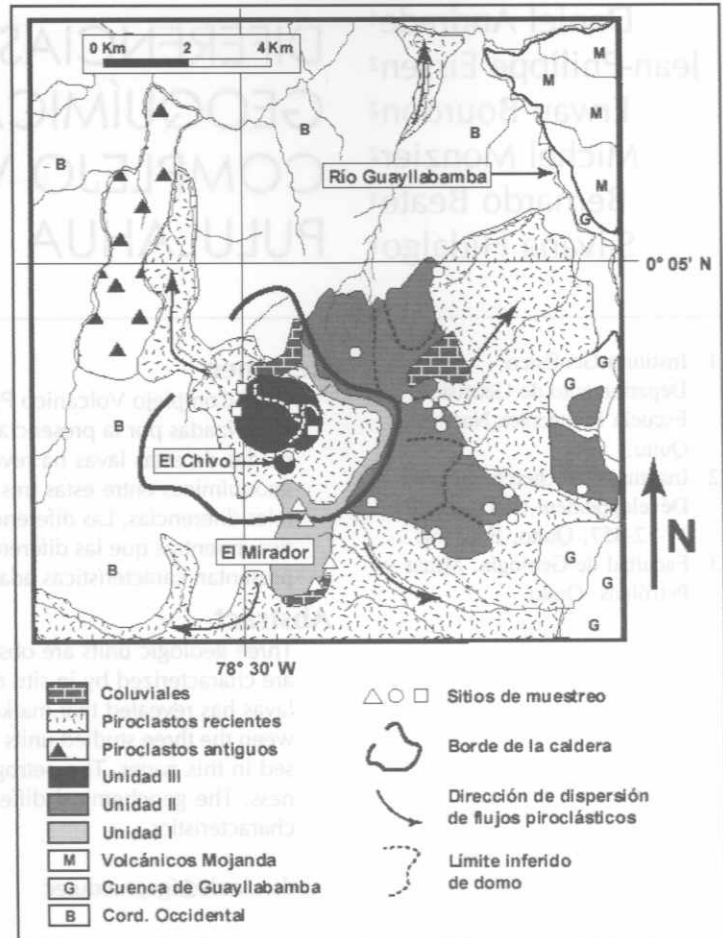


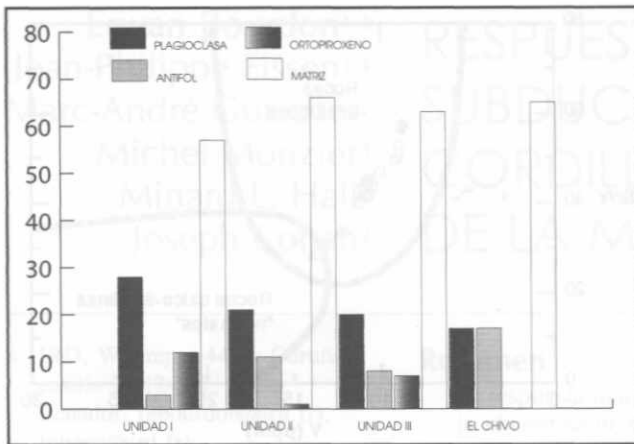
Figura 1. Mapa geológico simplificado. El CVP presenta tres Unidades caracterizadas por la presencia de lavas. La Unidad I es una secuencia volcánica proximal que incluye flujos de lava andesíticos-ácidos. Las Unidades II y III están constituidas por domos de lavas dacíticas.

Unidad	Asociación mineral característica
I	Plagioclasa + ortopiroxeno + opaco ± anfíbol
II	Plagioclasa + anfíbol + opaco + apatito
III	Plagioclasa + anfíbol + ortopiroxeno + opaco ± apatito
Domo El Chivo	Plagioclasa + anfíbol + opaco + apatito

Tabla 1. Cada Unidad del CVP tiene una asociación mineral característica. Solamente las lavas del domo El Chivo (Unidad III) no cumplen con el patrón y, aunque con porcentajes algo diferentes, se parecen más a las lavas de los domos pre-caldera (Unidad II).

que se presenta con gruesos bordes de oxidación o casi como un mineral opaco. Un mineral accesorio presente en todas las lavas de la Unidad II es el apatito, con pequeños fenocristales subhedrales. Las características de la matriz sugieren que las lavas de la Unidad II fueron extruidas casi en estado sólido.

Finalmente, las lavas de la Unidad III presentan una matriz (64% vol., en promedio; figura 2) de caracterís-



**Figura 2.** Las lavas del CVP son todas porfíricas. La matriz es, estructural y mineralógicamente, muy similar para todas ellas, siendo las de la Unidad I algo más ricas en vidrio que aquellas de las Unidades II y III.

Las lavas de la Unidad I están enriquecidas en  $K_2O$  y  $MgO$ , y empobrecidas en  $Al_2O_3$  respecto a las lavas de las Unidades II y III (figura 3). Además, las rocas de las Unidades II y III se alinean en los gráficos y parecen formar una tendencia única, diferente de aquella de la Unidad I. Para el resto de óxidos mayores, e.g. el  $Fe_2O_3$ , toda la suite del CVP muestra tendencias únicas (figura 3). La forma cómo evolucionan químicamente las lavas de las Unidades II y III sugiere que un proceso de diferenciación simple no es aplicable en el caso de las lavas más jóvenes del CVP (Unidades II y III), ya que en el tiempo parecen volverse cada vez más básicas.

El estudio de una muestra de pómez correspondiente a un flujo piroclástico de la última erupción (Unidad III) tiene 75% (vol.) de matriz, 10% (vol.) de plagioclasa, 8% (vol.) de anfífol y <1% (vol.) de ortopiroxeno. Esto indica que el casi todo el ortopiroxeno de las lavas de la Unidad III cristalizó a partir del anfífol (que está bien

fresco en la roca piroclástica) y la matriz, durante el ascenso final de los magmas degasificados que formaron los domos.

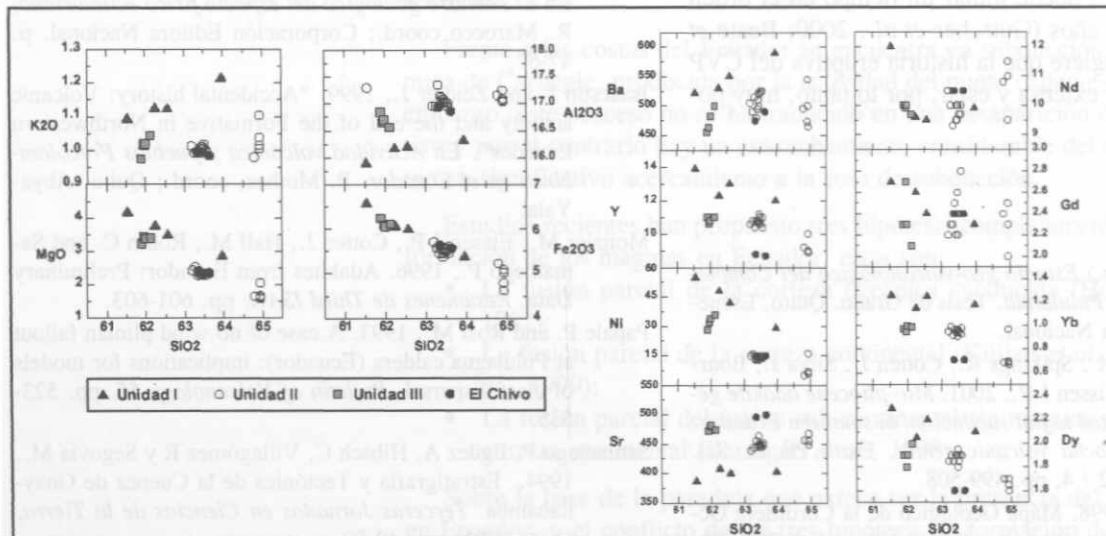
### CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

También para el estudio geoquímico se cuenta con 27 muestras de lavas. La mayoría corresponde a las mismas del estudio petrográfico, excepto por 3 muestras de la Unidad III que, aunque no son exactamente las mismas, son equivalentes.

Varios elementos en traza muestran las mismas características que los óxidos mayores. Estas se observan mejor en elementos como Ni, Y, Ba y Sr (fig. 3). En las tierras raras el comportamiento es menos claro (e.g. Nd y Gd), aunque a veces aún se puede distinguir a las Unidades bien separadas (e.g. Yb y Dy).

Monzier *et al.* (1996) han observado que las rocas del arco volcánico ecuatoriano tienen características ada-

**Figura 3.** Los análisis químicos de las lavas del CVP muestran diferencias bastante claras entre las diferentes Unidades, aunque esto no ocurre con todos los elementos analizados. Sin embargo, es notorio que la Unidad I parece representar una serie separada de las Unidades II y III. El domo El Chivo (Unidad III) presenta características más bien compatibles con la Unidad II.



kíticas acentuadas, lo que sugiere que en su génesis podría intervenir la fusión parcial de la corteza oceánica subducida. Según Drummond y Defant (1990), las adakitas y las rocas calco-alcalinas "normales" pueden ser diferenciadas mediante el gráfico Sr/Y vs Y (figura 4). La serie del CVP muestra que las lavas de la Unidad I se encuentran en la zona de transición entre una serie calco-alcalina "normal" y una adakítica. Por otro lado, las Unidades II y III son claramente adakíticas.

Finalmente, la evidencia geoquímica también muestra que el domo El Chivo se comporta, según varios elementos, como si perteneciera a la Unidad II (figura 3). Esto viene a reafirmar las observaciones morfológicas y petrográficas de que este domo es un caso especial dentro de la Unidad III (domos intra-caldera) y que probablemente, en realidad represente el remanente de un domo de la Unidad II (domos pre-caldera).

## CONCLUSIONES

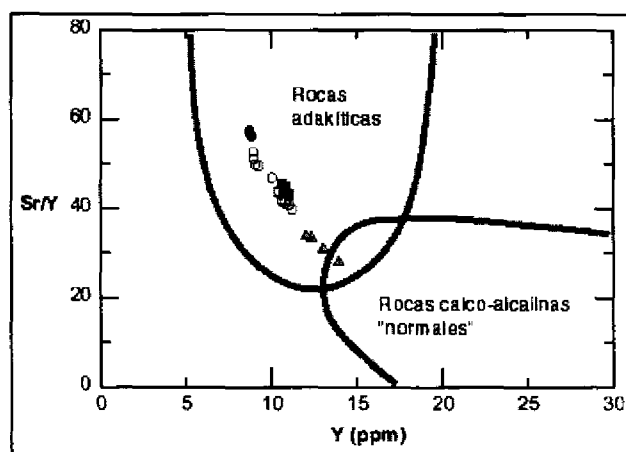
Las lavas del CVP pueden ser clasificadas como andesitas ácidas a dacitas. Los cambios mineralógicos de estas lavas en el tiempo son obvios y significativos, por lo que pueden también ser utilizados como argumentos para diferenciar y clasificar depósitos del CVP

Las diferencias petrográficas observadas se ven acentuadas por las diferencias geoquímicas de las lavas. Sobre todo, en la evidencia geoquímica resalta el hecho de que en el CVP parece existir una primera fase de volcanismo (Unidad I) de tendencia transicional entre una serie calco-alcalina "normal" y una adakítica, la cual pasa luego a uno de clara tendencia adakítica en las lavas más jóvenes (Unidades II y III). La evidencia química también indica que un proceso de diferenciación simple de una cámara magmática no es aplicable al caso del CVP.

Se ha observado que un cambio de este tipo en la química de un arco volcánico (desde "calco-alcalino normal" a "adakítico") puede tomar un tiempo en el orden de los millones de años (Gutscher *et al.*, 2000; Beate *et al.*, 2001) Esto sugiere que la historia eruptiva del CVP podría ser bastante extensa y estar, por lo tanto, muy poco constreñida.

## REFERENCIAS

- Andrade D. (en prep) *Estudio geo-vulcanológico del Complejo Volcánico Pululahua*. Tesis de Grado. Quito, Escuela Politécnica Nacional.
- Beate B., Monzier M., Spikings R., Cotten J., Silva J., Bourdon E. and Eissen J-P, 2001 *Mio-pliocene adakite generation related to flat subduction in southern Ecuador. the Quimsacocha volcanic center*. Earth Planet Sci Let. Vol 192 / 4, pp 499-508
- BGS-CODIGEM, 1998. Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 0 y 1° N (escala 1:200000).



**Figura 4** El gráfico "Sr/Y vs. Y" (Drummond and Defant, 1990) permite diferenciar entre una serie "calco-alcalina normal" y una "adakítica". Aquí se muestran los valores obtenidos para las lavas del CVP. Se observa que pertenecen a una serie adakítica, aunque las lavas de la Unidad I aparecen como transicionales. Los símbolos son los mismos que en la figura 3

- Drummond M. and Defant M., 1990 *A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons* Jnl Geoph Res 95, (B13), p. 21503-21521
- Gutscher M-A, Maury R, Eissen J-P. and Bourdon E, 2000 "Can slab melting be caused by flat subduction?" *Geology* vol 28, No. 6, p. 535-538
- Hall M. y Mothes P., 1994. "Tefrostratigrafía holocénica de los volcanes principales del valle interandino, Ecuador". En *El contexto geológico del espacio físico ecuatoriano*. R. Marocco coord; Corporación Editora Nacional, p 47-67.
- Isaacson J and Zeidler J, 1999. "Accidental history: Volcanic activity and the end of the Formative in Northwestern Ecuador". En *Actividad volcánica y pueblos Precolombinos en el Ecuador*, P Mothes, coord.; Quito, Abya-Yala
- Monzier M., Eissen J-P, Cotten J., Hall M., Robin C. and Samaniego P., 1996. Adakites from Ecuador Preliminary Data. *Resúmenes de Third ISAG*, pp. 601-603
- Papale P. and Rosi M, 1993 A case of no-wind plinian fallout at Pululagua caldera (Ecuador): implications for models of clast dispersal. *Bulletin of Volcanology* 55, pp. 523-535
- Samaniego P, Egúez A, Hibsich C, Villagómez R y Segovia M, 1994. Estratigrafía y Tectónica de la Cuenca de Guayllabamba. *Terceras Jornadas en Ciencias de la Tierra, Quito*, EPN, pp. 49-50