

# EVOLUCIÓN MAGMÁTICA ACTUAL DE LA ZONA SUBANDINA: VOLCANES EL REVENTADOR Y SUMACO, MODELOS GEODINÁMICOS PRELIMINARES

*Roberto BARRAGÁN <sup>(1\*)</sup>,  
Patrice BABY <sup>(1, 2\*\*)</sup>*

## Resumen

Los volcanes El Reventador y Sumaco, localizados a lo largo de la zona subandina norte de Ecuador (levantamiento Napo), muestran una marcada variación petrográfica y geoquímica, a pesar de estar desarrollados sobre un mismo basamento correspondiente a la sección fanerozoica de la cuenca Amazónica Oriente, y estar separados solamente por 50 km de distancia el uno del otro a lo largo de un eje principal NNE-SSO.

El volcán Sumaco, localizado al sur del levantamiento Napo, es caracterizado por un volcanismo alcalino shoshonítico fuertemente subsaturado en sílice y enriquecido en elementos incompatibles en una relación de al menos 5 a 1 con respecto a los contenidos observados en el resto de volcanes andinos ecuatorianos.

El volcán El Reventador, localizado en la parte norte de la zona subandina, es caracterizado por un volcanismo calco-alcalino con una cierta signatura adakítica similar a la que presentan los volcanes holocénicos Cayambe y Antisana de la Cordillera Real.

Radios isotópicos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , obtenidos en ambos volcanes, excluyen los procesos de asimilación de corteza como el principal mecanismo para explicar su variación composicional. En su lugar son los procesos de subducción y la interacción con la cuña mantélica los que imparten el control principal para la generación de estos magmas y sus diferencias.

---

<sup>(1)</sup> LMTG, IRD/CNRS/UPS, 38 rue des 36 ponts, 31400 Toulouse, France.  
[\* Dirección actual: Sociedad Internacional Petrolera S. A, Av. República 396, Edif. Forum 300, 8<sup>vo</sup> piso, Quito, Ecuador ([rbarragan@sipec.com.ec](mailto:rbarragan@sipec.com.ec))].

<sup>(2)</sup> Convenio PETROPRODUCCIÓN-IRD, P. O. Box, 17 12 857, Quito, Ecuador.  
[\*\* Dirección actual: IRD Perú, Casilla 18-1209, Lima 18 – Perú ([Patrice.Baby@ird.fr](mailto:Patrice.Baby@ird.fr))].

Proponemos preliminarmente la existencia de un límite volcanogénico, el mismo que separa dos tipos diferentes de zonas de Benioff desplazadas por efecto de la subducción subhorizontal de la Cordillera de Carnegie. Al norte, el volcán El Reventador estaría asociado con procesos normales de subducción, y su signatura geoquímica reflejaría aun los efectos metasomáticos adakíticos generados al oeste bajo el frente volcánico andino, y arrastrados al este hacia zonas más profundas por corrientes convectivas en la cuña mantélica. Al sur, el volcán alcalino Sumaco reflejaría posiblemente el inicio de un proceso de "slab roll back" como consecuencia directa de la subducción de la Cordillera de Carnegie, la misma que bloquea y disminuye el proceso normal de subducción. Su signatura geoquímica sugiere un menor aporte de la placa subductada y/o bajos grados de fusión parcial, como es sugerido por sus bajos radios LIL/HFS y altos contenidos en elementos incompatibles. Su signatura alcalina también podría reflejar la contribución de una fuente mantélica previo tipo isla oceánica (OIB), modificada por componentes de subducción.

**Palabras claves:** *Shoshonitas, volcanismo alcalino, adakitas, fusión parcial, elementos incompatibles, HFS, LIL.*

## INTRODUCCIÓN

Los Andes ecuatorianos representan un segmento de la zona volcánica septentrional andina (NVZ) (Thorpe *et al.*, 1982), desarrollada a lo largo de la margen nor-occidental de Sudamérica (fig. 1). Los mismos proveen una remarcable oportunidad para estudiar la naturaleza del magmatismo asociado con la convergencia de placas, y por lo tanto precisar la relación entre subducción, espesor y estructura interna de la litósfera continental por la cual atraviesan sus magmas.

Los Andes ecuatorianos, caracterizados por dos cadenas montañosas principales —la Cordillera Occidental al oeste y la Cordillera Real al este—, presentan una tercera cadena incipiente de volcanes desarrollada hacia la parte más externa del arco magmático actual, a lo largo de la zona subandina norte (levantamiento Napo) (fig. 1). A pesar de estar desarrollados sobre un mismo basamento, correspondiente a la sección fanerozoica de la Cuenca Oriente, dichos volcanes subandinos presentan una fuerte variación composicional, tanto geoquímica como petrográfica, desde magmas típicamente calcoalcalinos-andesíticos evidenciados en el volcán Reventador, a magmas fuertemente alcalinos tipo basanitas y fonolitas presentes en el volcán Sumaco (Colony & Sinclair, 1928; Barragán *et al.*, 1998).

Varios factores geológicos, presentes a lo largo del arco magmático andino ecuatoriano, son considerados al comparar volcanes El Reventador y Sumaco. Primero, los magmas generados en ambos volcanes tuvieron que atravesar la misma sección litosférica, y por lo tanto cualquier efecto de la corteza atravesada puede medirse. Segundo, ambos volcanes se localizan a la misma distancia con respecto a la fosa ecuatoriana, y posiblemente tienen una misma relación con respecto a la zona de Benioff, lo que permite probar el efecto que tiene la geometría de la subducción con respecto a la generación de magmas y a las diferentes características de la placa oceánica subductada. El presente trabajo, por lo tanto, tiene como objetivo principal el de establecer un modelo geodinámico para la evolución magmática actual de la zona

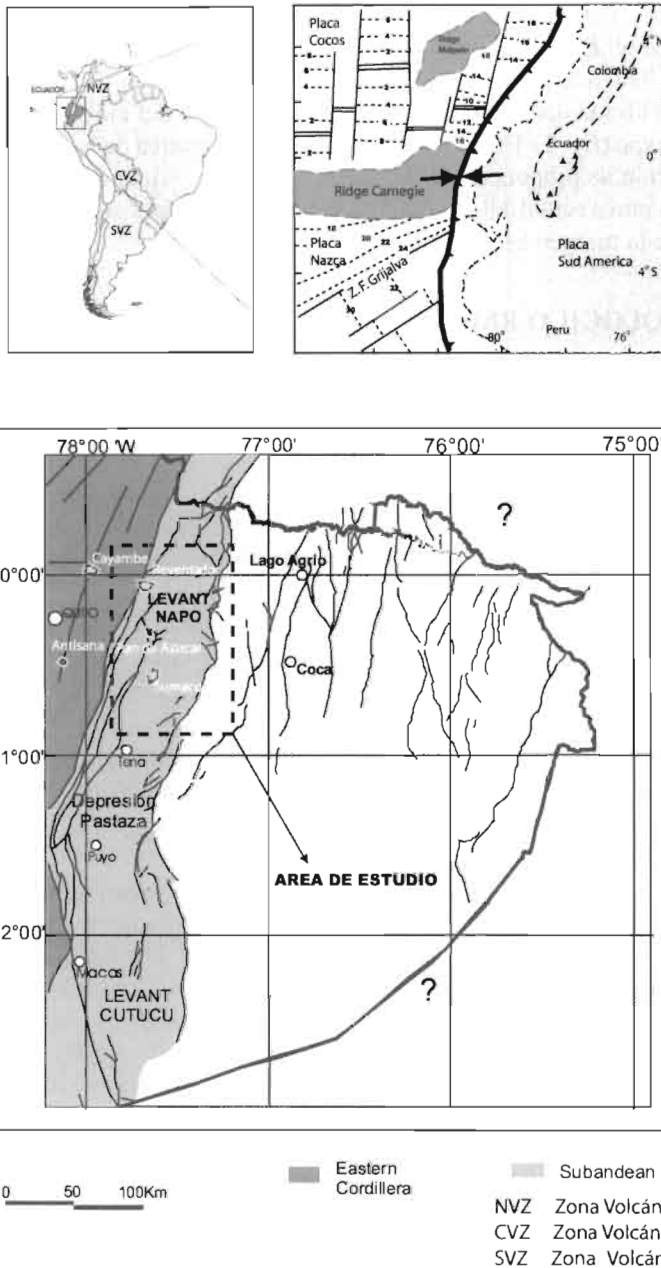


Fig. 1 – Mapa de ubicación regional de la zona de estudio: (A) distribución de las zonas volcánicas activas a lo largo de la Cordillera Andina (modificado de Cas & Wright, 1988); (B) sistema de subducción actual Ecuatoriano-Colombiano y su relación con la placa Nazca (modificado de Monzier *et al.*, 1999); (C) zona subandina ecuatoriana, área de estudio (modificado de Baby *et al.*, 1999).

subandina a través del estudio vulcanológico, petrográfico, y geoquímico de los volcanes Sumaco y El Reventador. El mismo permite explicar las diferencias composicionales tan marcadas entre dichos volcanes, a pesar de estar separados solamente por 50 km de distancia el uno del otro, a lo largo del eje principal N-S del Levantamiento Napo (fig. 2). El modelo de evolución magmática de la zona subandina, que ha continuado se propone, se enmarca dentro de un esquema coherente con la evolución geodinámica actual del arco andino septentrional y del sistema de subducción nor-occidental de la margen Sudamericana.

## 1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La evolución geodinámica de los Andes Septentrionales desde el Neógeno está relacionada con la subducción de la placa oceánica Nazca debajo de la placa Sudamericana (Lonsdale & Klitgord, 1978; Winter, 1990). La característica más significativa del sistema de subducción actual, en los Andes Septentrionales, es la de su segmentación en distintas regiones sismo-tectónicas (Hall & Wood, 1985), con ángulos de subducción altos ( $25\text{-}35^\circ$ ), alternada con regiones asísmicas y segmentos de subducción horizontalizados debido principalmente a la heterogeneidad de la Placa Nazca (Gutscher *et al.*, 1999a).

Ecuador está localizado en una posición geológica privilegiada, debido a que en él se encuentra la transición de algunas de estas regiones sismo-tectónicas y volcanogénicas activas (fig. 1). Al sur de  $2^\circ\text{S}$ , la subducción de la Placa Nazca, caracterizada por un ángulo menor a  $15^\circ$ , crea una zona amagmática (Hall & Wood, 1985; Barberi *et al.*, 1988) y el comienzo de una zona de subducción horizontal (“flat-slab”) (Gutscher *et al.*, 1999b), que se extiende hasta  $15^\circ\text{S}$  en la parte sur del Perú.

Al norte de  $2^\circ\text{S}$ , se ubica el arco volcánico activo, donde la subducción de la litósfera oceánica define una zona de Benioff con ángulos entre  $25^\circ$  y  $35^\circ$  (Winter, 1990; Barazangi & Isacks, 1976; Lonsdale & Klitgord, 1978). Recientemente, Gutscher *et al.* (1999a) proponen una subdivisión de la parte correspondiente al arco magmático ecuatoriano en dos segmentos diferentes: la región entre  $1^\circ\text{S}$  y  $2^\circ\text{S}$ , caracterizada por un arco activo estrecho y una zona de subducción con ángulos altos, orientada hacia el NE; y la región entre  $2,5^\circ\text{N}$  y  $1^\circ\text{S}$ , caracterizada por un arco magmático ensanchado, con una signatura adakítica (Bourdon *et al.*, 2001; Monzier *et al.*, 1997; 1999), directamente ligado a la fusión de la placa subductada correspondiente a la subducción de la cordillera asísmica de Carnegie, cuya prolongación genera un efecto de “flat slab” en la placa subductada (Gutscher *et al.*, 1999a). Ambas regiones estarían separadas por una zona de desgarre “tear zone”, separando la corteza oceánica Nazca al NO (<25 Ma) de la corteza oceánica oligocénica Farallón al SE (>25 Ma) (fig. 1) (Pennington, 1981; Hall & Wood, 1985). Sin embargo, Garrison & Davidson (2003) cuestionan el efecto de “flat slab” asociado a la subducción de la Cordillera de Carnegie propuesto por Gutscher *et al.* (1999a), debido a que su configuración está basada únicamente en la distribución de un solo sismo, y por lo tanto, la información geofísica disponible en la Zona Volcánica Norte (NVZ) no es convincente.

Unívocamente, la colisión de la Cordillera de Carnegie es un proceso continuo que comenzó al menos desde hace 1 a 2 Ma (Lonsdale & Klitgord, 1978; Gutscher *et*

*al.*, 1999a), y probablemente sea un proceso más antiguo según Spikings *et al.* (2001), que ha controlado la evolución geodinámica andina hasta el presente, pero ¿es éste el mecanismo más relevante para la generación de magmas en el arco septentrional andino ecuatoriano? Un transecto orientado N-S, como el propuesto en el presente estudio, permite probar dichos efectos en la producción de magmas tan diferentes en los volcanes holocénicos actuales activos El Reventador y Sumaco a lo largo de la zona subandina norte (levantamiento Napo) (fig. 2). Los mismos se desarrollan directamente sobre la serie cretácica-jurásica de la Cuenca Oriente (fig. 3), que a su vez yace sobre el cratón precámbrico sudamericano (Baldock, 1982; Dashwood & Abbotts, 1990).

Estructuralmente, la zona subandina de Ecuador corresponde a la parte deformada de la Cuenca Oriente, resultado de la inversión tectónica de estructuras pre-existentes extensivas pre-cretácicas, asociadas al sistema de rift Tetiano Triásico Superior-Jurásico Inferior de orientación NNE-SSO (Balkwill *et al.*, 1995; Baby *et al.*, 1998; Christophoul, 1999; Diaz *et al.*, en el capítulo 1 de este libro). Esta franja deformada es más evidente en Colombia, donde constituye un sistema autónomo denominado Cordillera Oriental. En Ecuador, el sistema subandino se presenta en una forma más discontinua, formado por dos estructuras en flor positivas en-echelón (levantamiento Napo y Cordillera de Cutucú), desarrolladas mayormente durante el Mio-Plioceno y Cuaternario (Baby *et al.*, 1999).

## 2. TRANSECTO PETROLÓGICO DE LA ZONA SUBANDINA

La siguiente sección describe brevemente las características físicas, petrográficas y geoquímicas más significantes de los volcanes Sumaco y El Reventador, desarrollados hacia la parte más externa del arco magmático ecuatoriano, en la zona subandina norte.

El contenido geoquímico representativo de elementos mayores, elementos trazas e isótopos de los volcanes Sumaco y El Reventador son resumizados en la tabla 1.

Ambos volcanes son activos y registran períodos eruptivos históricos y recientes durante el último siglo (Hall & Beate, 1991), y se caracterizan por mostrar posiblemente un mismo estilo eruptivo explosivo, típicamente estromboliano-vulcaniano y una morfología cónica similar.

### 2. 1. Volcán Sumaco

El volcán Sumaco está localizado en la parte sur del levantamiento Napo, a 105 km al este de la ciudad de Quito. El Sumaco es un estrato-volcán activo caracterizado por un edificio volcánico principal cónico y muy simétrico, que alcanza una altura máxima de 3 828 msnm (Hall, 1977). Es muy probable que el volcán Sumaco haya tenido un período de actividad entre 1650-1895, habiendo reportes de al menos tres eventos explosivos históricos, el más reciente en 1933 (Hall, 1977).

Debido a su composición geoquímica tan especial, el volcán Sumaco se diferencia del resto de volcanes de los Andes Septentrionales. Las lavas del volcán Sumaco son distintivamente alcalinas, caracterizadas por fonolitas, basanitas y tefritas feldespatóicas (Barragán, 1994). Estas lavas son típicamente porfiríticas conteniendo fenocristales de

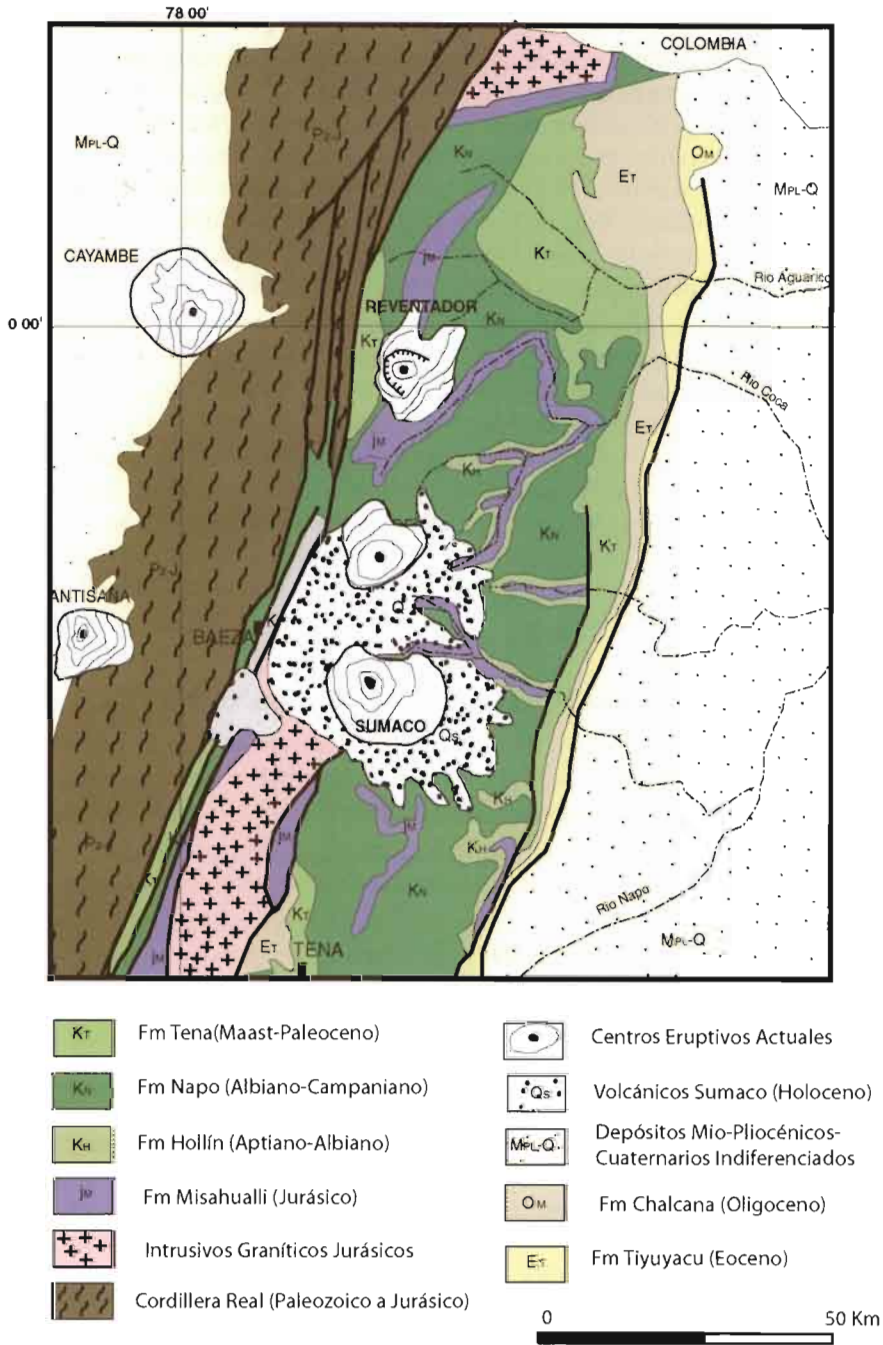


Fig. 2 – Mapa geológico sintetizado de la zona subandina norte: levantamiento Napo y ubicación de los volcanes Sumaco y El Reventador.

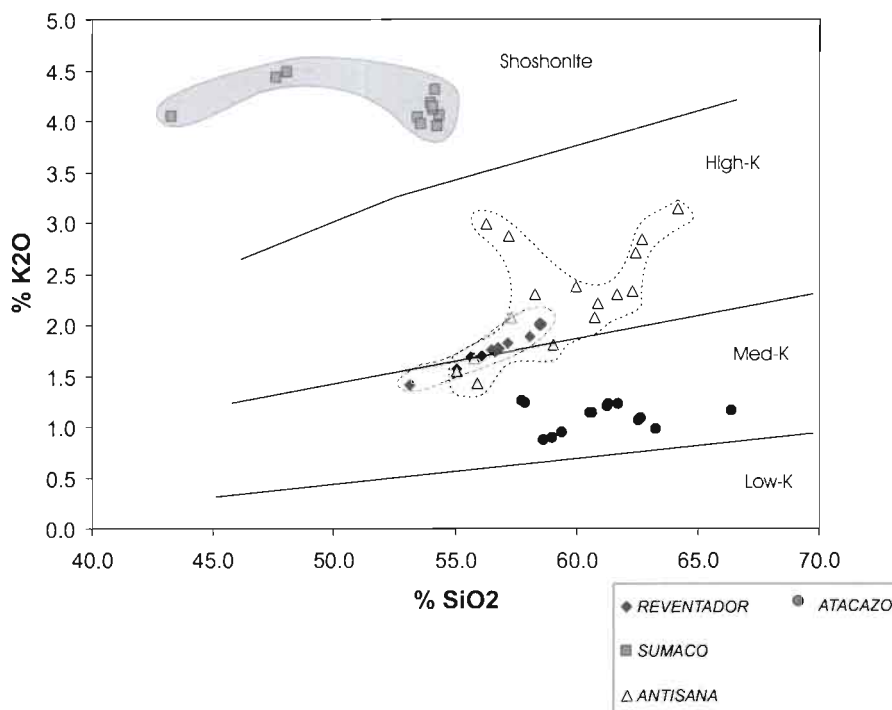


Fig. 3 – Diagrama de variación de  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{K}_2\text{O}$ . Los campos composicionales fueron obtenidos de Peccerillo & Taylor (1976).

huaynita, noseano, leucita, augita sódica y plagioclasa (An33-53). Olivino, apatito y magnetita ocurren en la mayoría de ejemplos. Pequeños cristales de nefelina ocurren en la matriz típicamente con texturas intersertales a pilotaxíticas.

El ensamblaje mineralógico alcalino es reflejado en la composición de elementos mayores en estas lavas, las cuales muestran una afinidad shoshonítica (fig. 3). El volcán Sumaco muestra los valores más altos en los contenidos de  $\text{K}_2\text{O}$  (3,2-4,4 %),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (1-1,5 %) y  $\text{Na}_2\text{O}$  (4,4-6,9 %), y los valores más bajos en  $\text{SiO}_2$  (43-54 %) comparado con el resto de volcanes de la zona andina septentrional. Las lavas del volcán Sumaco son enriquecidas fuertemente en todos los elementos incompatibles (*i.e.*, Zr<sup>a</sup> 400-440 ppm; Ba<sup>a</sup> 2400-2650; Rb<sup>a</sup> 100-120; Nb<sup>a</sup> 53-82 ppm; Sr<sup>a</sup> 2550-4000 ppm) y en tierras raras (*i.e.*, La<sup>a</sup> 138-173, Ce<sup>a</sup> 230-300 ppm; Nd<sup>a</sup> 87-121; Sm<sup>a</sup> 14-18 ppm), con respecto a los contenidos observados en el resto de volcanes andinos de la Zona Volcánica Norte (fig. 4). Sin embargo su naturaleza calco-alcalina es reflejada en los ratios Ba/La (14,8-20) y La/Nb (2,1-2,6), y en la típica deflexión de Ta y Nb como es evidente en los diagramas de araña normalizados con respecto a valores de MORB (fig. 5).

Finalmente, a pesar de sus bajos contenidos en sílice y su apariencia máfica, los magmas del volcán Sumaco son fuertemente evolucionados, sugerido por sus bajos contenidos en MgO (1,6-2,4 %), Cr (8-18ppm), Ni (4-30 ppm) y V (1-5 ppm).

	Volcán Reventador		Volcán Sumaco	
	REV-2	REV-11	3D2	GS-8
SiO <sub>2</sub>	58,46	55,062	47,56	54,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,36	18,284	18,89	19,72
TiO <sub>2</sub>	0,779	0,934	1,29	0,77
FeO*	5,78	7,298	8,99	6,36
MnO	0,117	0,152	0,32	0,22
CaO	6,43	7,796	8,63	6,05
MgO	3,41	4,646	2,49	1,68
K <sub>2</sub> O	2,02	1,575	4,43	4,06
Na <sub>2</sub> O	4,28	3,888	6,77	6,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,367	0,366	0,64	0,46
Zr	137	124	441	406
Ni	17	28	4	10
Cr	26	42		
Sc	10	18	1	1
V	138	176	292	130
Ba	1 107	834	2 563	2 822
Rb	49	36	125	104
Sr	846	802	4 059	2 605
Y	13	17	49	35
Nb	8.7	9,2	82	53
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0,704538	0,704429	0,704243	0,704195
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0,512715	0,512756	0,512893	0,512894
Sc	12,7	19,0	2,5	3,57
Cs	1,36	0,92	2,21	2,8
La	32	24	173	138
Ce	52,55	50,57	302	240
Nd	24,64	24,36	121	88,7
Sm	4,98	5,22	18,5	14,4
Eu	1,47	1,64	5,03	3,79
Tb	0,55	0,65	1,59	1,12
Yb	1,26	1,57	4,67	3,67
Lu	0,20	0,25	0,63	0,52
Hf	3,98	3,28	6,65	6,91
Ta	---	---	3,54	2,78
Th	5.13	4,58	27,8	29,8
U	1,60	1,36	7,26	10,1

Tabla 1 – Análisis geoquímicos representativos de elementos mayores, menores trazas y radios isotópicos de Sr y Nd para los volcanes EL Reventador y Sumaco.



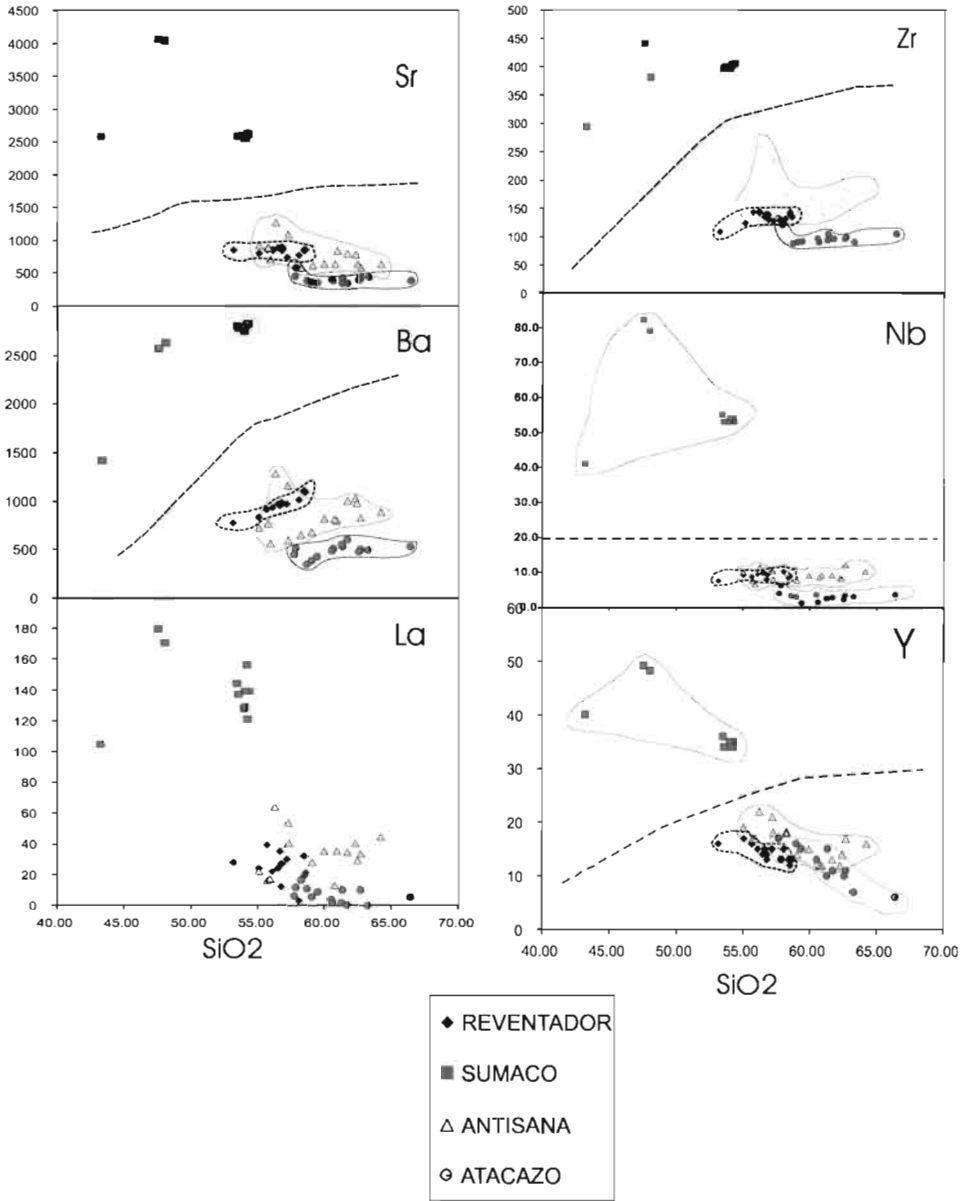


Fig. 4 – Variación de algunos elementos incompatibles para las lavas de los volcanes Sumaco y El Reventador, y de otros volcanes de los Andes Septentrionales ecuatorianos.

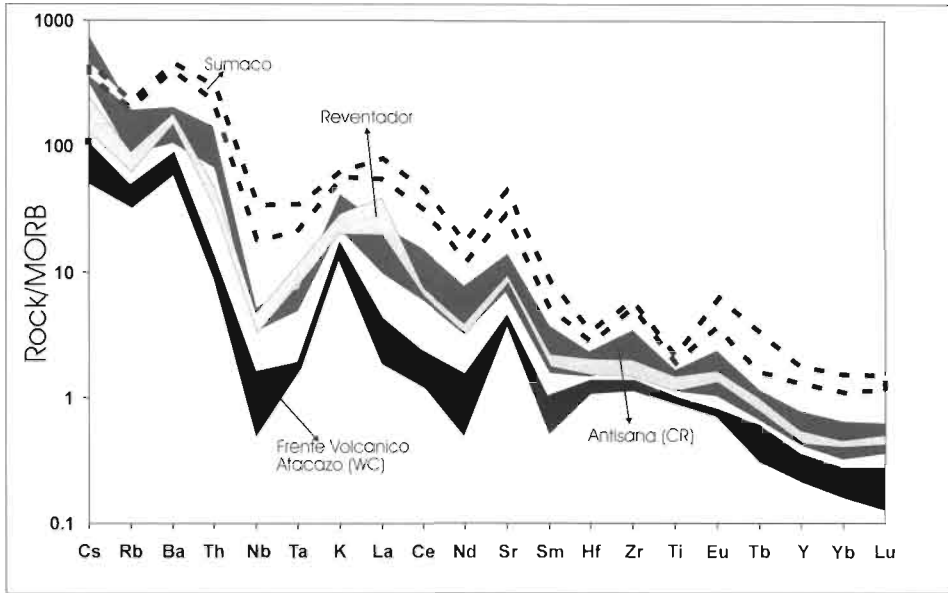


Fig. 5 – Diagramas de araña de elementos incompatibles normalizados con respecto a MORB para muestras representativas de cada volcán y de otros volcanes andinos usados como referencia en este estudio. Los factores y el orden de los elementos usados para la normalización fueron obtenidos de Sun & McDonough (1989).

## 2. 2 . Volcán El Reventador

El complejo volcánico El Reventador está localizado en la parte norte del levantamiento Napo, a 90 km al este de la ciudad de Quito, y a 50 km al norte del volcán Sumaco. Representa uno de los volcanes más activos del Ecuador.

El complejo volcánico está constituido por una secuencia de productos efusivos (flujos de lavas extensos) y explosivos (avalanchas de escombros y flujos piroclásticos). Se han podido distinguir tres grandes unidades correspondientes a otros tantos edificios volcánicos que representan las principales etapas de evolución del complejo volcánico (INECEL, 1988). Morfológicamente, El Reventador está constituido por un estratocóno activo holocénico, que alcanza una elevación de 3 500 msnm (Hall, 1977), y ubicado en el interior de un gran anfiteatro producido por el colapso volcano-tectónico de al menos dos antiguos centros volcánicos, asociados con depósitos de avalanchas de escombros que rellenan el cauce del Río Quijos (INECEL, 1988). El volcán El Reventador ha tenido al menos 24 eventos eruptivos desde 1541, siendo su actividad eruptiva más reciente en 1972-1973, 1976 y 2002.

Petrográficamente, las tres secuencias estratigráficas del volcán El Reventador presentan una substancial similitud en sus características mineralógicas. Sus lavas están caracterizadas por una sucesión de andesitas basálticas, andesitas, y dacitas. Estas lavas son típicamente porfíricas, con una paragénesis de fenocristales cuyo contenido varía

dependiendo del grado de evolución en dichos magmas. Así, la paragénesis está dominada por fenocristales de plagioclasa (An<sub>85-45</sub>)+clinopiroxeno ± olivino ± ortopiroxeno ± horblenda ± magnetita, en una matriz con texturas intergranulares a intersertales. Las lavas andesíticas frecuentemente muestran inclusiones de xenolitos de rocas intrusivas gabrómicas.

Geoquímicamente, las lavas del Reventador evidencian una distribución regular en el campo calco-alkalino entre el límite composicional del tipo medio-alto en K<sub>2</sub>O (1,4 - 2,2 %) (fig. 3). La tabla 1 resume la variación composicional representativa de elementos mayores, trazas y radios isotópicos. El volcán El Reventador está caracterizado por contenidos altos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (> 15%) y Sr (> 800 ppm), y por valores bajos de Y (13-17ppm) e Yb (< 1,57 ppm), además de valores altos en radios de Sr/Y (> 47) y La/Yb (15-25), lo que sugiere una cierta afinidad adakítica (Defant & Drummond, 1990; 1993) (tabla 2).

Las rocas de El Reventador están caracterizadas por presentar un contenido de elementos incompatibles (*i.e.*, Ba Sr, Zr) y tierras raras (*i.e.*, La, Sm) más elevado que aquellos correspondientes a los volcanes de la Cordillera Occidental (*i.e.*, Volcán Atacazo), similar a los observados en el volcán Antisana (Cordillera Real), pero mucho más bajos que los valores encontrados en el Volcán Sumaco (fig. 4).

### 3. COMPARACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS VOLCANES ESTUDIADOS

Las lavas holocénicas de los volcanes Sumaco y El Reventador muestran una fuerte variación composicional tanto en elementos mayores, trazas y en radios isotópicos. Básicamente, dos grupos geoquímicos son diferenciados correspondientes a cada volcán; las lavas del Sumaco son de afinidad alcalina mientras que las lavas del Reventador son típicamente calco-alkalinas (fig. 3).

Los contenidos de elementos trazas de los volcanes estudiados, junto con lo observado en otros volcanes holocénicos del arco magmático actual, han sido graficados

	Valores Adakíticos Característicos	Atacazo	Antisana	Reventador	Sumaco
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (5 wt%)	>15	15,41-17,05	15,79-18,79	17,37-18,57	15,82-19,74
Yb (ppm)	≤1,9	0,47-1,26	1-1,6	1,23-1,57	3,4-4,6
Y (ppm)	≤ 18	6-16	12-19	13-17	35-49
Sr/Y	> 20-40	26-63,5	32,22-64,92	47,17-66,77	64,47-84,08
La/Yb	> 20	4-12,5	10,6-33,9	15,28-25,39	36,7-37,05

Tabla 2 – Signatura geoquímica esperada en adakititas típicamente asociadas con fusión parcial de basaltos metamorfizados correspondientes a la litósfera subductada (modificado de Defant & Drummond, 1990; 1993). Además, rangos de valores para los volcanes Atacazo, Antisana, El Reventador y Sumaco, con el objetivo de mostrar la correspondiente signatura adakítica.

en los diagramas de araña normalizado con respecto a valores de MORB (fig. 5). Una observación importante es que la concentración absoluta de la mayoría de los elementos incompatibles y tierras raras se incrementa fuertemente hacia el volcán Sumaco, siendo enriquecido en los mismos en una relación de al menos 5 a 1 con respecto al resto de volcanes andinos ecuatorianos, a pesar de que sus lavas son subsaturadas en sílice (tabla 1).

Sin embargo, ambos volcanes presentan la característica deflexión en los elementos tipo HFS (*i.e.*, Nb, Ta) con respecto a los elementos tipo LIL (*i.e.*, Ba, Rb, Sr), aunque la misma es menos marcada en el volcán Sumaco (tabla 3). La deflexión en elementos HFS vs. LIL es una típica característica en magmas relacionados a procesos de subducción, y es considerado ser inherente de los fluidos derivados en la litósfera subductada (Hickey *et al.*, 1986). Estas características son bien definidas en los diagramas de LIL/HFS vs. LIL (*i.e.*, Ba/Nb vs. Ba) (fig. 6a). Aunque las lavas del Sumaco son fuertemente enriquecidas en elementos incompatibles (*i.e.*, Ba, Rb, La, Sm, Nb), las mismas presentan valores más bajos en los radios LIL/HFS (*i.e.*, Ba/Nb<sup>a</sup> 31-53) y LIL/REE (Ba/La<sup>a</sup> 13-20), similar al rango observado en basaltos de islas oceánicas (OIB) (Barragán *et al.*, 1998), sugiriendo una menor contribución de la placa subductada y/o consecuencia de la contribución de una fuente mantélica tipo OIB (Reagan & Gill, 1989). Igualmente, los radios de La/Yb se incrementan hacia el Sumaco (fig. 6b), sugiriendo que los magmas de este volcán son el resultado de bajos grados de fusión parcial de la cuña mantélica, similar a lo observado por Hickey *et al.* (1986) en la zona volcánica sur de los Andes.

Por otra parte, una de las características más sobresalientes es la clara signatura adakítica que presentan las lavas del volcán El Reventador (tabla 2). Similares

	SUMACO	REVENTADOR	CAB <sup>(*)</sup>	HNB <sup>(*)</sup>	OIB <sup>(**)</sup>	NMORB <sup>(***)</sup>
Rb/Sr	0,030-0,039	0,03-0,059	0,036	0,025	0,022-0,037	0,008
K/Rb	294-324	341-451	425	408	362-523	1060
Ba/Rb	20,05-27,13	22,6-23,2	23,4	23,6	13,9-22,7	12
Ba/La	14,81-20,94	24,75-42,27	20,1	12,5	9,9-14,4	4
La/Nb	2,6-3,7	2,1-2,6	2,5	1,2	0,8-0,9	1
Ba/Nb	31,25-53,24	90,65-127,24	50,25	15	7,92-12,96	4

Tabla 3 – Comparación de varios radios de elementos incompatibles para diferentes tipos de ambientes volcano-tectónicos (valores tomados de Cas & Wright, 1988):

CAB: Basaltos calco-alcalinos; HNB: Basaltos con alto Niobidio; OIB: Basaltos de Islas Oceánicas; N-MORB: Basaltos de Dorsal mid-oceánica de tipo N.

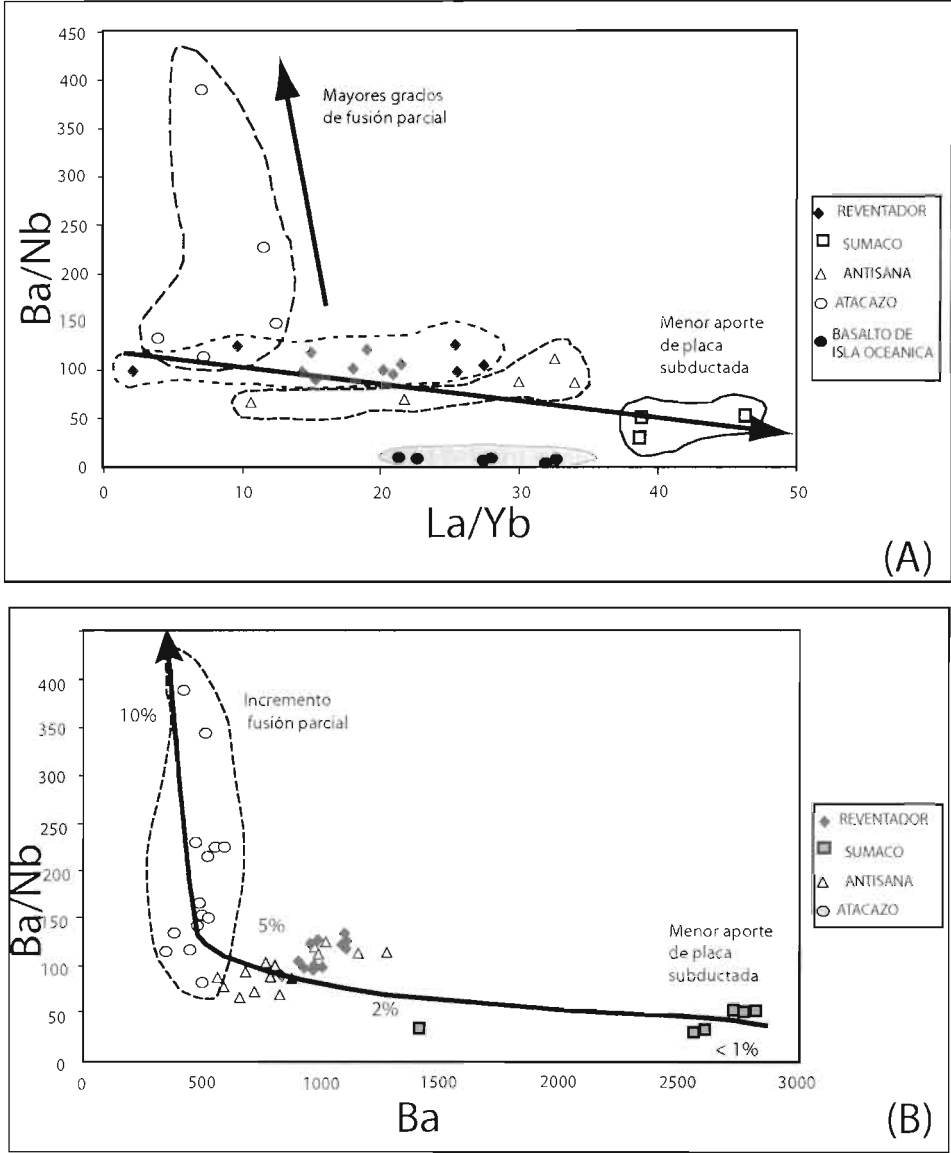


Fig. 6 – Diagrama de radios de elementos incompatibles: a) LIL/HFS vs. LIL (i.e., Ba/Nb vs. Ba) y (b) Ba/Nb vs. La/Yb. Se muestra el posible modelo petrogenético para las lavas de ambos volcanes y de otros en los Andes ecuatorianos septentrionales. Los valores del 1 al 10 % son hipotéticos.

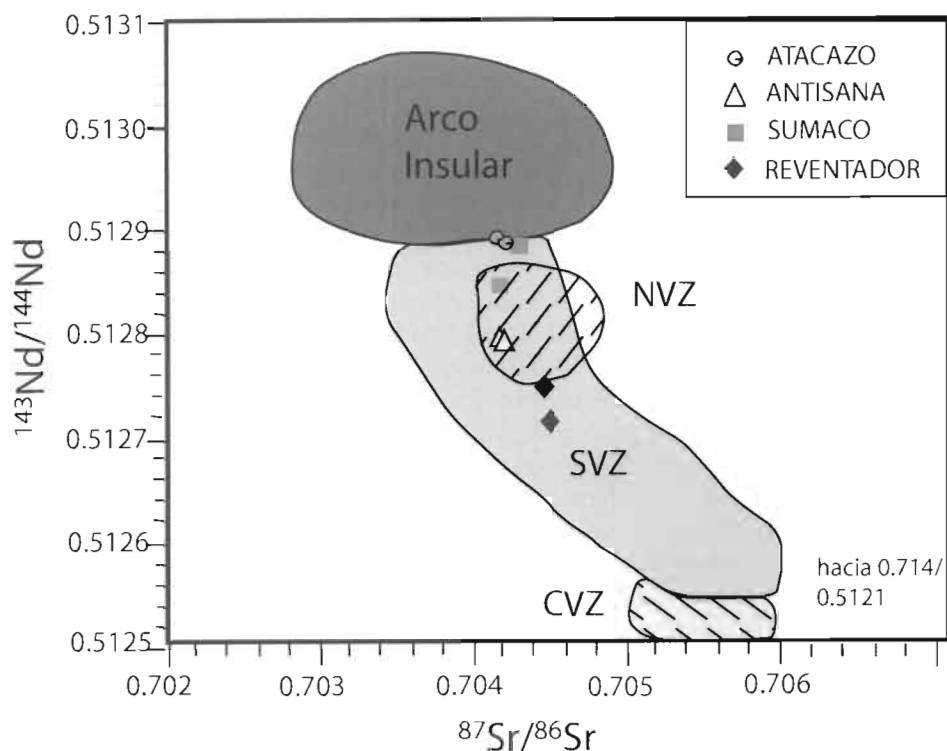
características se observan en los volcanes Antisana y Cayambe de la Cordillera Real y en los volcanes del frente volcánico de la Cordillera Occidental (*i.e.*, Pichincha) (Burdon *et al.*, 2001; Monzier *et al.*, 1999). Aunque dicha signatura no es evidente en el volcán Sumaco, Bourdon *et al.* (2001) sugieren una afinidad de este similar a la de basaltos de alto Nb, que se encuentran de manera casi sistemática asociadas con adakitas en numerosos arcos volcánicos (Sajona *et al.*, 1996). Esta observación no es convincente y cuestionada por los valores altos en los radios Ba/La ( $>20$ ), La/Nb ( $>2$ ) observados en el volcán Sumaco (tabla 3).

Los radios isotópicos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  obtenidos en las lavas de los volcanes Sumaco y El Reventador varían entre 0,704195-0,704538, similar a los valores observados en la Zona Volcánica Sur de Chile (Hawkesworth *et al.*, 1993; Davidson *et al.*, 1990; Francis *et al.*, 1977), valores dentro del rango para magmas generados en arcos insulares (White & Patchett, 1984). De igual forma, los radios isotópicos de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0,512895-0,512715) confirman dicha observación. Sin embargo, las lavas de El Reventador presentan contenidos más altos de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,704538-0,704429) y valores más bajos de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (0,512715-0,512756) con respecto al volcán Sumaco (fig. 7). Si bien esta relación isotópica sugiere que los magmas de El Reventador probablemente asimilaron algo de corteza continental (AFC) durante su ascenso a la superficie, el alcance de dichos procesos fue posiblemente limitado. Por ejemplo, simple asimilación de corteza continental con valores de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  de 0,5120 es requerida para bajar los radios de  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  en magmas de 0,51288 a 0,51279, como ha sido sugerido por Barragán *et al.* (1998) para explicar similares procesos de AFC observados en el volcán Antisana. Por otra parte, los procesos de asimilación son descartados en los magmas del Sumaco porque muestran una relación opuesta a lo que se debería esperarse si existieran realmente efectos de contaminación de material de la corteza continental. Así, las lavas del Sumaco, a pesar de atravesar una sección cratónica, son subsaturadas en  $\text{SiO}_2$  y presentan valores isotópicos de Sr y Nd similares a lo observado en arcos insulares, con valores bajos en los radios de La/Yb (37-35) y enriquecidos en los contenidos de Rb, U y Th.

#### 4. DISCUSIÓN

Identificar el origen de los arcos magmáticos continentales, como el de la cordillera andina ecuatoriana, es un problema geoquímico muy complejo. Es aún más complicado cuando la geometría de la zona de subducción (zona de Benioff) es incierta, debido a la falta de sismicidad en la placa subductada (Garrison & Davidson, 2003). Sin embargo, la estructura física de la zona de subducción sugiere varias alternativas para explicar el origen de estos magmas: sea en la cuña mantélica, en la litósfera oceánica subductada y/o en la corteza a través de la cual los magmas generados pasaron hasta llegar a la superficie.

Basándonos en las evidencias geoquímicas, tres son las posibles hipótesis que tenemos que considerar con el objetivo de explicar la variación composicional de los magmas generados en los volcanes analizados, El Reventador y Sumaco, de la zona subandina ecuatoriana:



**Fig. 7 – Variaciones de isótopos de Sr y Nd en las lavas de los volcanes Sumaco y Reventador. Adicionalmente y por efectos de comparación, se muestra el campo composicional para la Zona Andina Sur, Centro y Norte (SVZ, CVZ, NVZ).**

- (1) ambos volcanes son alimentados por un mismo magma original, el cual sufrió diferentes grados de interacción con la corteza continental;
- (2) la variación geoquímica de estos magmas se relaciona a una misma zona de Benioff, sugiriendo que aunque los procesos de subducción imparten el control principal para la generación de estos magmas, su interacción con la cuña mantélica es la que controla sus diferencias fundamentales;
- (3) los magmas primitivos en cada volcán provienen de fuentes que reflejan cambios bruscos en la geometría de la placa subductada.

La primera hipótesis considera que las lavas alcalinas del volcán Sumaco pudieron haber asimilado mayor cantidad de material enriquecido en álcalis en relación con las lavas del volcán El Reventador. Sin embargo, el basamento continental es el mismo para ambos volcanes, tanto en espesor como en composición, y tiene afinidad continental silíceo como es sugerido en la mayoría de afloramientos expuesto en la zona subandina, contradiciéndose con la naturaleza geoquímica de las lavas del Sumaco, las cuales son notablemente pobres en sílice. Además, los datos isotópicos de Sr y Nd en cada volcán muestran que los procesos de asimilación son insignificantes, y no el

principal mecanismo que pueda explicar su composición, sugiriendo que esta hipótesis es inconsistente.

La segunda hipótesis considera que la variación composicional entre ambos volcanes, y por lo tanto a lo largo de la zona subandina norte, estaría simplemente asociada a los procesos de subducción e interacción con el manto, y no necesariamente asociado con un cambio geométrico de las placas. La falta de evidencias geofísicas necesarias que prueben la presencia de un límite vulcanogénico o "tear zone", como el propuesto por Gutscher *et al.* (1999a), sustentan la validez de esta hipótesis. Simplemente, ambos volcanes estarían asociados a una misma zona de Benioff, la cual habría interactuado con una cuña mantélica afectada indistintamente por diferentes procesos en cada volcán. En el caso del Reventador, su magmatismo y signatura adakítica estarían asociados a la fusión parcial de un manto modificado por procesos metasomáticos arrastrado hacia zonas más profundas por los movimientos de convexión, como es sugerido por Bourdon *et al.* (2001) en el modelo propuesto para el volcán Antisana. O simplemente, reflejaría la interacción y fusión parcial de basaltos metamorfizados a nivel de la corteza inferior, lo cual explicaría fácilmente su signatura adakítica similar a lo propuesto por Garrison & Davidson (2003), como un mecanismo alternativo, para explicar la geoquímica tan peculiar de la Zona Volcánica Norte. En el caso del Sumaco, su signatura alcalina sería consecuencia de la contribución de una fuente mantélica previamente enriquecida, de tipo isla oceánica (OIB) (Reagan & Gill, 1989), y evidenciada en esta zona al menos durante el Cretácico superior (Barragán *et al.*, 1999; Barragán & Baby, en el capítulo 1 de este libro). Sin embargo, la ubicación de estos volcanes equidistantes con respecto a la fosa ecuatorial, y separados a solo 50 km el uno del otro a lo largo de un mismo eje longitudinal NNE-SSO, cuestiona la validez de que dichos volcanes tengan una misma relación con respecto a la zona de Benioff, y por lo tanto un mismo ángulo de subducción con respecto a la generación de magmas. Sin embargo, Garrison & Davidson (2003) sugieren que la signatura geoquímica representada por adakitas no es una característica única ligada a procesos de fusión de la placa oceánica subductada (en este caso la Cordillera de Carnegie), y que bien pueden fácilmente explicarse por procesos de fusión parcial a alta presión de basaltos húmedos localizados en zonas de la corteza inferior (Drumond *et al.*, 1995).

La tercera hipótesis puede asociarse con la existencia de un límite vulcanogénico que define dos zonas volcánicas distintas, y por lo tanto los magmas de cada volcán provendrían de diferentes fuentes. Al norte, el volcán El Reventador estaría asociado con procesos normales de subducción, pero su signatura geoquímica reflejaría aun los efectos metasomáticos de un manto modificado por procesos adakíticos generados al oeste bajo el frente volcánico andino, y arrastrados hacia zonas más profundas por los movimientos de convexión en la cuña mantélica, como es sugerido por Bourdon *et al.* (2001) en el modelo propuesto para el volcán Antisana. Al sur, por otro lado, el volcán Sumaco estaría asociado con otros procesos de subducción con ángulos mayores que reflejan posiblemente el inicio de un proceso de "slab roll back", como consecuencia directa de la subducción de la Cordillera de Carnegie, la misma que bloquea o disminuye el proceso normal de subducción. Su signatura alcalina tan especial refleja la contribución de una fuente mantélica previa tipo isla oceánica (OIB), modificada aún por componentes



de subducción o simplemente el inicio de un proceso de “slab window”, o estaría simplemente ligada a una menor contribución de la placa subductada y/o a bajos grados de fusión parcial como es sugerido por sus bajos ratios LIL/HFS y altos contenidos en elementos incompatibles. Por lo tanto, la subducción de la Cordillera de Carnegie alteró el proceso de subducción normal y generó esta zona de transición, que es un límite entre una zona de subducción normal, caracterizada por un volcanismo calco-alcalino, y una zona de subducción, donde el “flat slab” genera un efecto en el trans-arco andino tipo “roll back” y el posible inicio de un “slab-window”.

## CONCLUSIONES

Los volcanes Sumaco y El Reventador muestran una fuerte variación composicional a pesar de estar desarrollados sobre un mismo basamento y espesor de corteza litosférica. Dos grupos geoquímicos principales son diferenciados correspondientes a cada volcán. Las lavas del Sumaco son de afinidad alcalina, mientras que las lavas de El Reventador son típicamente calco-alcalinas con una signatura adakítica. Asimilación progresiva de corteza continental, como una explicación para el incremento de la alcalinidad y concentración de elementos incompatibles en ambos volcanes, es insignificante como es indicado por los datos isotópicos de Sr y Nd y por la naturaleza geoquímica del basamento.

Tomando en consideración la variación geoquímica a lo largo de la zona subandina, específicamente en los volcanes El Reventador y Sumaco, proponemos la existencia de un límite volcanogénico, el mismo que separa dos tipos diferentes de zonas de Benioff desplazadas por efecto de la subducción subhorizontal de la Cordillera de Carnegie. Al norte, el volcán El Reventador estaría asociado con procesos normales de subducción, y su signatura geoquímica reflejaría aun los efectos metasomáticos adakíticos generados bajo el frente volcánico andino y arrastrado hacia zonas más profundas por corrientes convectivas. Al sur, el volcán alcalino Sumaco reflejaría posiblemente el inicio de un proceso de “slab roll back”, como consecuencia directa de la subducción de la Cordillera de Carnegie, la misma que bloquea o disminuye los procesos normales de subducción. Su signatura geoquímica alcalina sugiere un menor aporte de la placa subductada y refleja, sea la contribución de una fuente mantélica previa tipo isla oceánica modificada aun por componentes de subducción, sea el inicio de un proceso de “slab window”.

## Agradecimientos

El presente trabajo es en memoria de Edwin León quien participó conjuntamente en los estudios de campo en la zona subandina. Agradecemos a Dennis Geist por la revisión informal y discusión de las ideas presentadas en este estudio.

## Referencias citadas

- BABY P., RIVADENEIRA M., BERNAL C., CHRISTOPHOUL F., DAVILA C., GALARRAGA M., MAROCCO R., VALDEZ A., VEGA J. & BARRAGÁN R., 1998 – Structural style and timing of hydrocarbon entrapments in the Ecuadorian Oriente Basin. *American Association of Petroleum Geologists*, Annual Meeting, Rio de Janeiro, Brazil, Abstracts: 464-465.
- BABY P., RIVADENEIRA M., CHRISTOPHOUL F. & BARRAGÁN R., 1999 – Style and timing of deformation in the Oriente Basin of Ecuador. Extended Abstract, *ISAG99*, Gottingen, 1: 68-72.
- BALDOCK J.W., 1982 – Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa Geológico del Ecuador al 1:1 000 000. *D.G.G.M ed.*, Quito, Ecuador, 66 p.
- BALKWILL H., RODRÍGUEZ G., PAREDES F. & ALMEIDA J., 1995 – Northern part of Oriente basin, Ecuador: reflection seismic expression of structures. In: A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*: 559-571.
- BARAZANGI M. & ISACKS B., 1976 – Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America. *Geology*, 4: 686-692.
- BARBERIF, COLTELLI M., FERRARAG., INNOCENTIF., NAVARRO J. & SANTACROCE R., 1988 – Plio-Quaternary volcanism in Ecuador. *Geol. Mag.*, 125 (1): 1-14.
- BARRAGÁN R., 1994 – A Petrologic Transect of the Ecuadorian Andes. *Unpublished Master Thesis*, University of Idaho, 111 p.
- BARRAGÁN R., GEIST D., HALL M., LARSON P., KURZ M., 1998 – Subduction controls on the compositions of lavas from the Ecuadorian Andes. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 154: 153-166.
- BOURDON E., EISSEN E., GUTSCHER M., MONZIER M., ROBIN C., SAMANIEGO P., HALL M., MAURY R., MARTIN H., BASSOULLET C. & COTTEEN J., 2001 – Respuesta magmática a la subducción de una cordillera asísmica: el caso de la margen Ecuatoriana. *Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra*, Quito, Memorias-Anexos.
- CAS R. & WRIGHT J., 1988 – Volcanic Successions: *Chapman & Hall*, 466 p.
- COLONY R. & SINCLAIR J., 1928 – The lavas of the volcano Sumaco, eastern Ecuador. *Am. J. Sci.*, 216: 299-312.
- CHRISTOPHOUL F., BABY P. & DAVILA C., 1999 – Discrimination of eustatic and tectonic influences in the Ecuadorian Oriente Basin from Aptian to Oligocene times, *4th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG'99)*, Univ. Göttingen (Germany), Extended Abstracts Volume: 168-171.
- DASHWOOD M. & ABBOTS I., 1990 – Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador. In Brooks, J., ed., *Classic Petroleum Provinces: Boulder, Colorado, Geological Society Special Publication*, 50: 89-117.
- DAVIDSON J., MCMILLAN N., MOORBATH S., WORNER G., HARMON R. & LOPEZ-ESCOBAR L., 1990 – The Nevados de Payachata volcanic region (18°S/69°W, N. Chile), II. Evidence for widespread crustal involvement in Andean Magmatism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 105: 412-432.
- DEFANT M. & DRUMMOND M., 1990 – Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347: 662-665.
- DEFANT M. & DRUMMOND M., 1993 – Mount St. Helens: Potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc. *Geology*, 21: 547-550.
- DRUMMOND M., BORDELON M., DE BOER J., DEFANT M., BELLON H. & FEIGENSON M., 1995 – Igneous Petrogenesis and tectonic setting of plutonic and volcanic rocks of the Cordillera de Talamanca, Costa Rica-Panama, Central American arc. *American Journal of Science*, 295: 875-919.

- FRANCIS P., MORBATH S. & THORPE R., 1977 – Strontium isotope data for recent andesite in Ecuador and North Chile. *Earth Planet Sci. Lett.*, 37: 197-202.
- GARRISON J. & DAVIDSON J., 2003 – Dubious case for slab melting in the Northern volcanic zone of the Andes. *Geology*, 31: 565-568
- GUTSCHER M., MALAVIEILLE S., LALLEMAND S. & COLLOT J., 1999a – Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth Planet Sci. Lett.*, 168: 255-270.
- GUTSCHER M., OLIVET J., ASLANIAN D., EISSEN J. & MAURY R., 1999b – The “lost Inca Plateau”: cause of flat subduction beneath Peru? *Earth Planet Sci. Lett.*, 171: 335-341.
- HALL M. & WOODC., 1985 – Volcano-tectonic segmentation of the northern Andes. *Geology*, 13: 203-207.
- HALL M., 1977 – El volcanismo en el Ecuador. Publicación del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección Nacional del Ecuador, Quito, 120 pp.
- HALL M. & BEATE B., 1991 – El volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador. In: *El Paisaje Volcánico de la Sierra Ecuatoriana*, ed: P. Mothes, Corporación Editora Nacional, vol 4: 19-39.
- HAWKESWORTH C., GALLAGHER K., HERGT J. & MCDERMOTT F., 1993 – Mantle and Slab contributions in arc magmas. *Annu. Rev. Earth. Planet. Sci.*, 21: 175-204.
- HICKEY R., FREY F., GERLACH D. & LOPEZ ESCOBAR L., 1986 – Multiple sources for basaltic rocks from the southern volcanic zone of the Andes (34°-41°S): trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle and continental crust. *Journal of Geophys. Reser.*, 91: 5963-5982.
- INECEL, 1988 – Estudio Vulcanológico de El Reventador. *Informe inédito*, Quito, Ecuador, 117 p.
- LONSDALE P. & KLITGORD P., 1978 – Structure and tectonic history of the eastern Panama Basin. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89: 981-999.
- MONZIER M., ROBIN C., HALL M., COTTON J., MOTHE P., EISSEN J. & SAMANIEGO P., 1997 – Les adakites d'Équateur: modèle préliminaire. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 324: 545-552
- MONZIER M., ROBIN C., SAMANIEGO P., HALL M., COTTON J., MOTHE P. & ARNAUD N., 1999 – Sangay Volcano, structural development, present activity and petrology. *J. Volc. Geoth. Res.*, 90: 49-79
- PECCERILLO A. & TAYLOR S., 1976 – Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81
- PENNINGTON W., 1981 – Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *J. Geophys. Res.*, 86: 10753-10770.
- REAGAN M. & GILL J., 1989 – Coexisting Calcalkaline and High Niobium Basalts from Turrialba Volcano, Costa Rica. *Jour. Geophys. Res.*, 94, B4: 4619-4633.
- SAJONA F., MAURY R., BELLON H., COTTON J. & DEFANT M., 1996 – High Field Strength Element Enrichment of Pliocene-Pleistocene Island Arc Basalts, Zamboanga Peninsula, Western Mindanao (Philippines). *Journal of Petrology*, 37, 3: 693-726.
- SPIKINGS R., WINKLER W., SEWARD D. & HANDLER R., 2001 – Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186: 57-73.
- SUN J. & MC DONOUGH W., 1989 – Magmatism in the ocean basins. In Saunders, A. D., and Norry, M. J., ed., Special Publication: *Geological Society of America*, 42: 313-345.
- THORPE, R., FRANCIS, P., HAMILL, M. & BAKER, M., 1982 – The Andes. In: *Andesites: orogenic andesites and related rocks*, R, C, Thorpe (ed.): 187-205.
- WHITE, W. & PATCHET P., 1984 – Hf-Nd-Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs: implications for magma origins and crust-mantle evolution. *EPSL*, 67: 167-185.
- WINTER T., 1990 – Mécanismes de déformation récents dans les Andes équatoriennes. *Thèse de l'Université Paris-Sud*, Orsay, 205 p.



# LA CUENCA ORIENTE: GEOLOGÍA Y PETRÓLEO

Patrice Baby  
Marco Rivadeneira  
Roberto Barragán  
(Editores científicos)



# ÍNDICE

PRÓLOGO	9
<i>René Marocco</i>	
AGRADECIMIENTOS	11
INTRODUCCIÓN	13
<i>Patrice BABY, Marco RIVADENEIRA, Roberto BARRAGÁN</i>	
<b>Capítulo 1: Estratigrafía, estructura y evolución geodinámica de la Cuenca Oriente</b>	
EL PRE-APTENSE EN LA CUENCA ORIENTE ECUATORIANA	23
<i>Marlon DÍAZ, Patrice BABY, Marco RIVADENEIRA, Frédéric CHRISTOPHOUL</i>	
ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DEL CRETACIO DE LA CUENCA ORIENTE DEL ECUADOR	45
<i>Roberto BARRAGÁN, Frédéric CHRISTOPHOUL, Howard WHITE, Patrice BABY, Marco RIVADENEIRA, Félix RAMÍREZ, José RODAS</i>	
MAGMATISMO ALCALINO INTRA-PLACA EN LA CUENCA CRETÁCICA ORIENTE, ECUADOR: EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS, GEOCRONOLÓGICAS Y TECTÓNICAS	69
<i>Roberto BARRAGÁN, Patrice BABY</i>	
DINÁMICA DE LA CUENCA DE ANTE-PAÍS ORIENTAL DESDE EL PALEÓGENO	93
<i>Frédéric CHRISTOPHOUL, José David BURGOS, Patrice BABY, Jean-Claude SOULA, Séverine BÈS DE BERC, Celso DÁVILA, Michel ROSERO, Marco RIVADENEIRA</i>	

CUANTIFICACIÓN DE LAS EROSIONES TERCIARIAS Y PLIO-CUATERNARIAS EN LA PARTE SUR DE LA CUENCA ORIENTE	115
<i>José David BURGOS, Patrice BABY, Frédéric CHRISTOPHOUL, Jean-Claude SOULA, Philippe ROCHAT</i>	
HIDROCLIMATOLOGÍA DEL ORIENTE E HIDROSEDIMENTOLOGÍA DE LA CUENCA DEL NAPO	131
<i>Alain LARAQUE, Jean Loup GUYOT, Rodrigo POMBOSA</i>	
LA SUPERFICIE MERA-UPANO: MARCADOR GEOMORFOLÓGICO DE LA INCISIÓN FLUVIATIL Y DEL LEVANTAMIENTO TECTÓNICO DE LA ZONA SUBANDINA	153
<i>Séverine BÈS DE BERG, Patrice BABY, Jaime ROSERO, Marc SOURIS, Jean-Claude SOULA, Frédéric CHRISTOPHOUL, Jorge VEGA</i>	
EL ENJAMBRE SÍSMICO DE MACAS (CORDILLERA DE CUTUCÚ)	169
<i>Denis LEGRAND, Patrice BABY, Francis BONDOUX, Catherine DORBATH, Séverine BÈS DE BERG, Marco RIVADENEIRA</i>	
EVOLUCIÓN MAGMÁTICA ACTUAL DE LA ZONA SUBANDINA: VOLCANES EL REVENTADOR Y SUMACO, MODELOS GEODINÁMICOS PRELIMINARES	183
<i>Roberto BARRAGÁN, Patrice BABY</i>	
<b>Capítulo 2: Historia de la exploración y principales campos petroleros de la petroproducción</b>	
BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA EXPLOTACIÓN PETROLERA DE LA CUENCA ORIENTE	205
<i>Marco RIVADENEIRA</i>	
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES DE LOS PRINCIPALES CAMPOS PETROLEROS DE PETROPRODUCCIÓN	229
<i>Marco RIVADENEIRA, Patrice BABY</i>	