

MAGMATISMO ALCALINO INTRA-PLACA EN LA CUENCA CRETÁCICA ORIENTE, ECUADOR: EVIDENCIAS GEOQUÍMICAS, GEOCRONOLÓGICAS Y TECTÓNICAS

Roberto BARRAGÁN ^(1*),
Patrice BABY ^(1, 2**)

Resumen

Varios cuerpos ígneos alcalino-basálticos han sido identificados en la sección sedimentaria cretácica de la cuenca ecuatoriana Oriente (≈ 110 -80 Ma). Los mismos están caracterizados por valores bajos en los radios LILE/HFSE y en los radios isotópicos de Sr y Nd, todos dentro del rango observado en las firmas composicionales de basaltos de isla oceánica o punto caliente ("hot-spot"), consistentes con una fuente astenosférica. Sísmica de reflexión muestra que la ubicación de los distintos centros eruptivos es controlada por las estructuras pre-existentes del rift Triásico-Jurásico invertido en un régimen transpresivo a partir del Cretácico Superior. Edades radiométricas y el registro biostratigráfico de los sedimentos cretácicos sugieren una variación diacrónica de la posición geográfica de este volcanismo alcalino, ocurrido al menos a partir del Albiano ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{K}$, 106 ± 5 Ma) en la parte septentrional de la Cuenca Oriente, y hasta el Campaniano ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, 84 ± 2 Ma y $82 \pm 0,5$ Ma) en la parte occidental-central (zona subandina).

Se propone un mecanismo de "slab roll-back", originado a partir de la cesación de los procesos de subducción en el Cretácico Inferior (≈ 130 -120 Ma), como el modelo geodinámico más probable para explicar la generación de este magmatismo. El mismo está asociado con la migración lateral y vertical de material astenosférico hacia zonas previamente adelgazadas de la corteza o "thin-spots" litosféricos. Por lo tanto, el paleo-rift Triásico-Jurásico ejerció un control fundamental en la generación de estos magmas alcalinos, facilitando la fusión parcial de una

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

⁽²⁾ 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)].

fuerza astenosférica no afectada por procesos de subducción. Finalmente, la inversión tectónica del Cretácico Superior da lugar a la reactivación de las estructuras extensivas pre-existentes en un régimen transpresivo, lo que originó la migración del magmatismo hacia el sur-suroeste principalmente a lo largo del Corredor Sacha-Sushufindi de la Cuenca Oriente.

Palabras claves: *Magmatismo alcalino, elementos incompatibles, isótopos Sr-Nd, "thin-spot", "roll-back", Cretácico, Cuenca Oriente.*

INTRODUCCIÓN

Magmatismo intra-placa de tipo alcalino-basáltico ha sido identificado en varias secuencias Mesozoicas y Cenozoicas a lo largo de la margen occidental de las Américas y de la Península Antártica. Dependiendo del ambiente tectónico imperante, diversos son los procesos magmáticos que pueden explicar su ocurrencia y generación. Estos mecanismos incluyen:

- (1) Plumas mantélicas o "mantle plumes" presentes debajo de la corteza continental con temperaturas anormalmente altas (Campbell & Griffiths, 1992; Kerr *et al.*, 1995; Gibson *et al.*, 1995; Hill, 1993), (e.g. Columbia River Basalts, noroeste de los Estados Unidos [Thompson & Gibson, 1991]);
- (2) fusión parcial de material astenosférico por descompresión adiabática debido a extensión litosférica de gran escala (McKenzie & Bickle, 1988) y asociada a la propagación de zonas de rift (e.g. cuencas Triásico-Jurásicas andinas de "back-arc" entre 25°S y 0° [Romeuf *et al.*, 1997];
- (3) desarrollo de "slab windows" relacionados con procesos de subducción a lo largo de márgenes continentales activos (Thorkelson & Taylor, 1989; Hole *et al.*, 1991) después de la colisión y subducción de dorsales mid-oceánicas (e.g. Baja California [Storey *et al.*, 1989], Patagonia meridional [Ramos & Kay, 1992; Stern *et al.*, 1990] y Península Antártica [Hole *et al.*, 1993; 1995]);
- (4) "slab roll back", debido a la migración lateral y vertical de material magmático astenosférico en zonas litosféricas previamente adelgazadas o "thin-spots" (e.g. La Antártica-James Ross Island [Hole *et al.*, 1995]).

La Cuenca Oriente de Ecuador, localizada al este de la cordillera andina actual (fig. 1), proporciona nuevas evidencias de un magmatismo continental alcalino-basáltico intra-placa, asociado con la evolución del margen noroccidental de la placa continental sudamericana durante el Cretácico. El mismo se desarrolla sobre una sección sedimentaria Fanerozoica durante condiciones marino someras estables que correspondían a la depositación de las Fms. Cretácicas Hollín y Napo (Barragán *et al.*, en este libro). La distribución geográfica de estos eventos ígneos alcalinos se confina en gran parte a las estructuras pre-extensivas invertidas durante el Cretácico, alineadas a lo largo del Corredor Sacha-Sushufindi en una dirección NNE-SSW en la parte central de la Cuenca.

A continuación, se pone en evidencia los resultados de un estudio geoquímico, geocronológico y tectónico, dirigidos a entender la evolución geodinámica de esta pequeña provincia ígnea máfica, denominada "Volcanismo Basáltico Cretácico de la

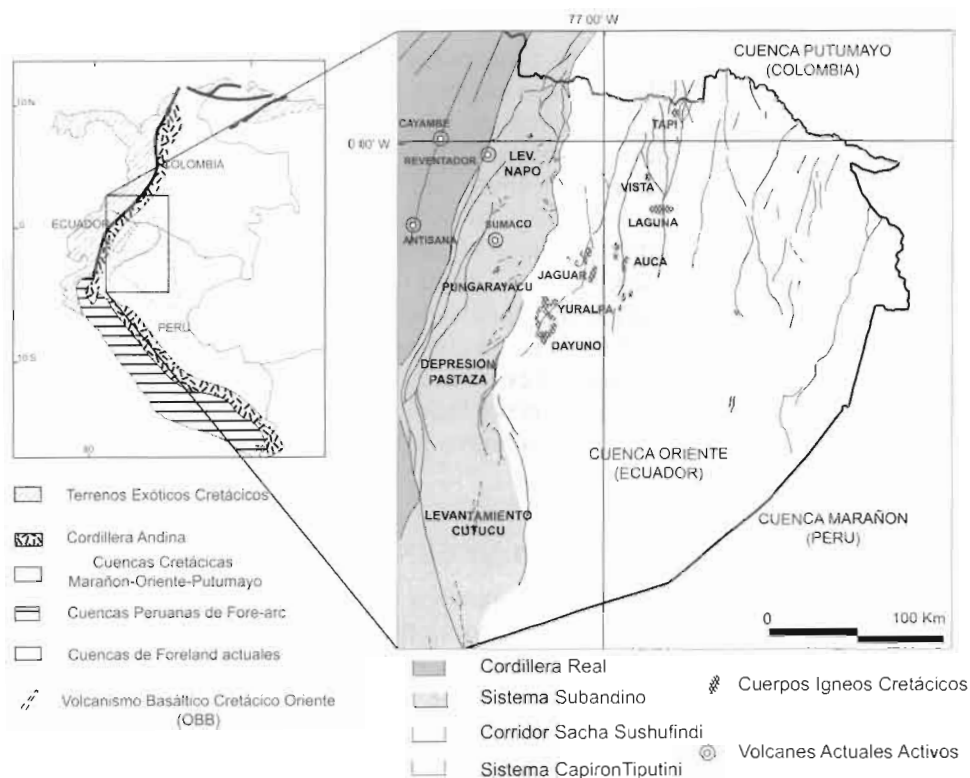


Figura 1 – Mapa tectónico sintético de la Cuenca Oriente (modificado a partir de Baby *et al.*, 1999) y su relación con la distribución de los eventos volcánicos.

Cuenca Oriente (OBB = Oriente Basin Basalts)”, y a establecer su relación con la evolución de la margen noroccidental activa de Sudamérica.

1. CUADRO GEOLÓGICO Y CONTROL TECTÓNICO DEL MAGMATISMO CRETÁCICO

La Cuenca Oriente de Ecuador forma parte del sistema actual de cuencas subandinas de ante-país o cuencas de foreland (Marksteiner & Alemán, 1997) desarrolladas entre el escudo Precámbrico Brasileño-Guyanés, al este, y el arco magmático andino actual al oeste (Dashwood & Abbotts, 1990) (fig. 1). Sus configuraciones estructural y estratigrafía han sido descritas en varias publicaciones (Tschoop, 1953; Baldock, 1982; Dashwood & Abbotts, 1990; Balkwill *et al.*, 1995; White *et al.*, 1995; Jaillard, 1997; Baby *et al.*, 1999; Rivadeneira & Baby, 1999). Un resumen del contexto estratigráfico, estructural y de la evolución geodinámica de la Cuenca Oriente se presenta en el capítulo I de este libro.

Sísmica de reflexión muestra que la localización y ocurrencia del volcanismo alcalino-cretácico están restringidas principalmente al Corredor Sacha-Shushufindi siguiendo una dirección NNE-SSW, siendo controlado su emplazamiento por estructuras pre-Cretácicas extensivas, particularmente fallas normales de escala cortical que limitan semi-grabenes Triásico-Jurásicos (figs. 3 y 4, véase fig. 2 para ubicación), invertidos en contexto transpresivo dextral a partir del Cretácico Superior (≈ 90 Ma). Esta relación entre tectónica y volcanismo se ve reflejada en la distribución de los cuerpos magmáticos a escala regional de la cuenca (figs. 1 y 2), sugiriendo que las estructuras pre-existentes ejercieron un control fundamental para la generación del magmatismo cretácico alcalino durante la evolución de la cuenca cratónica Oriente. Por lo tanto, el ascenso de material magmático a la superficie estuvo posiblemente limitado a las discontinuidades estructurales pre-existentes. Dichas zonas litosféricas previamente adelgazadas, correspondientes en la Cuenca Oriente a zonas afectadas por el sistema de Rift pre-Cretácico Tetyano, han sido definidas previamente por Thompson & Gibson (1991) como “thin-spots litosféricos”.

2. ACTIVIDAD MAGMÁTICA EN LA CUENCA CRETÁCICA ORIENTE

La distribución regional de los cuerpos extrusivos e intrusivos cretácicos reconocidos dentro del ciclo sedimentario Hollín-Napo de la Cuenca Oriente se resume en la figura 2. Aunque el volumen de volcanismo generado es relativamente pequeño, el OBB es un evento regional alineado y desarrollado a lo largo de una zona orientada NNE compuesta de por al menos 40 centros eruptivos aislados. Los mismos están caracterizados por depósitos hyaloclastíticos, diques basálticos y cuerpos intrusivos someros gabróicos (sills), el más grande de estos con un espesor de 150 a 200 m, cubriendo un área de 20 km² (Áreas Yuralpa-Dayuno, véase figura 2 para localización). Sus características principales son resumidas en la tabla 1.

Las facies extrusivas están caracterizadas predominantemente por conos de tobas y maars formando centros volcánicos monogenéticos (Walker, 1993), definidos en varias secciones sísmicas (figs. 3 y 4), y confirmados a través de varios núcleos de perforación y del análisis de registros eléctricos de pozos que atraviesan los mencionados cuerpos ígneos, además de la descripción de afloramientos especialmente en la zona subandina. Los componentes volcanoclastíticos, identificados en estas sucesiones volcánicas, consisten principalmente en capas finas de tobas basálticas estratificadas, ceniza fina, fragmentos de lapilli, vidrio basáltico y minerales máficos. Es muy común la presencia de lapilli acrecional y sideromelano que evidencia condiciones depositacionales húmedas y un enfriamiento rápido. La mayoría de los productos volcánicos están palagonitizados. Por lo tanto, estos depósitos volcanoclastíticos reconocidos en la sección cretácica sugieren eventos freatomagmáticos con típico estilo eruptivo Surtseyano (Cas & Wright, 1988).

Los cuerpos ígneos intrusivos equivalentes están caracterizados por sills diabásicos-gabróicos y diques basálticos. Los mismos fueron emplazados a varios niveles estratigráficos en la serie cretácica (figs. 3 y 4), y analizados a través de muestras de núcleos de perforación bien preservados sin mayor alteración secundaria (tabla 1, véase fig. 2 para su ubicación). En general, presentan una composición mineralógica y

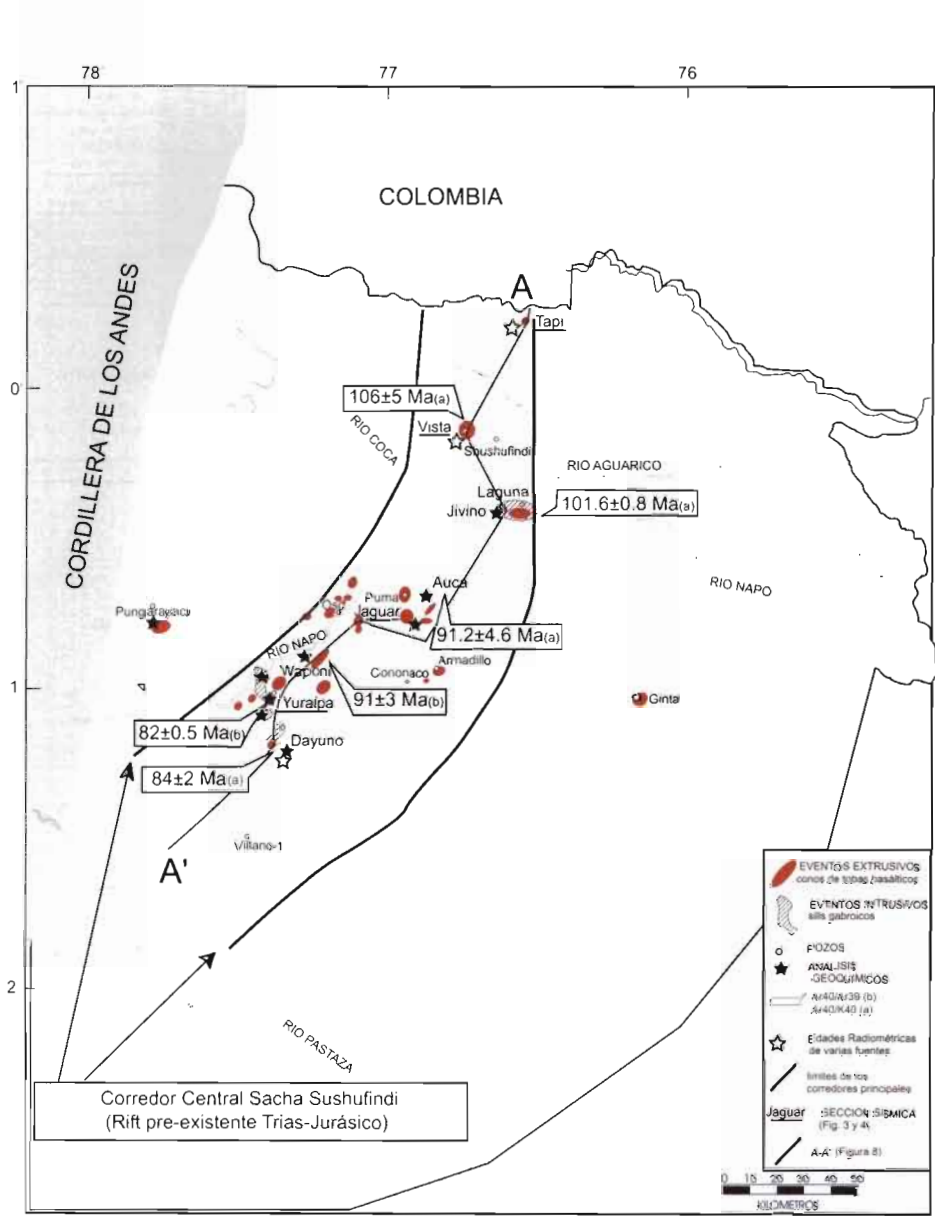


Figura 2 – Distribución geográfica y localización de los eventos extrusivos e intrusos cretácicos a lo largo de la Cuenca Oriente. Son ubicadas las diferentes muestras analizadas (análisis geoquímicos y radiométricos).

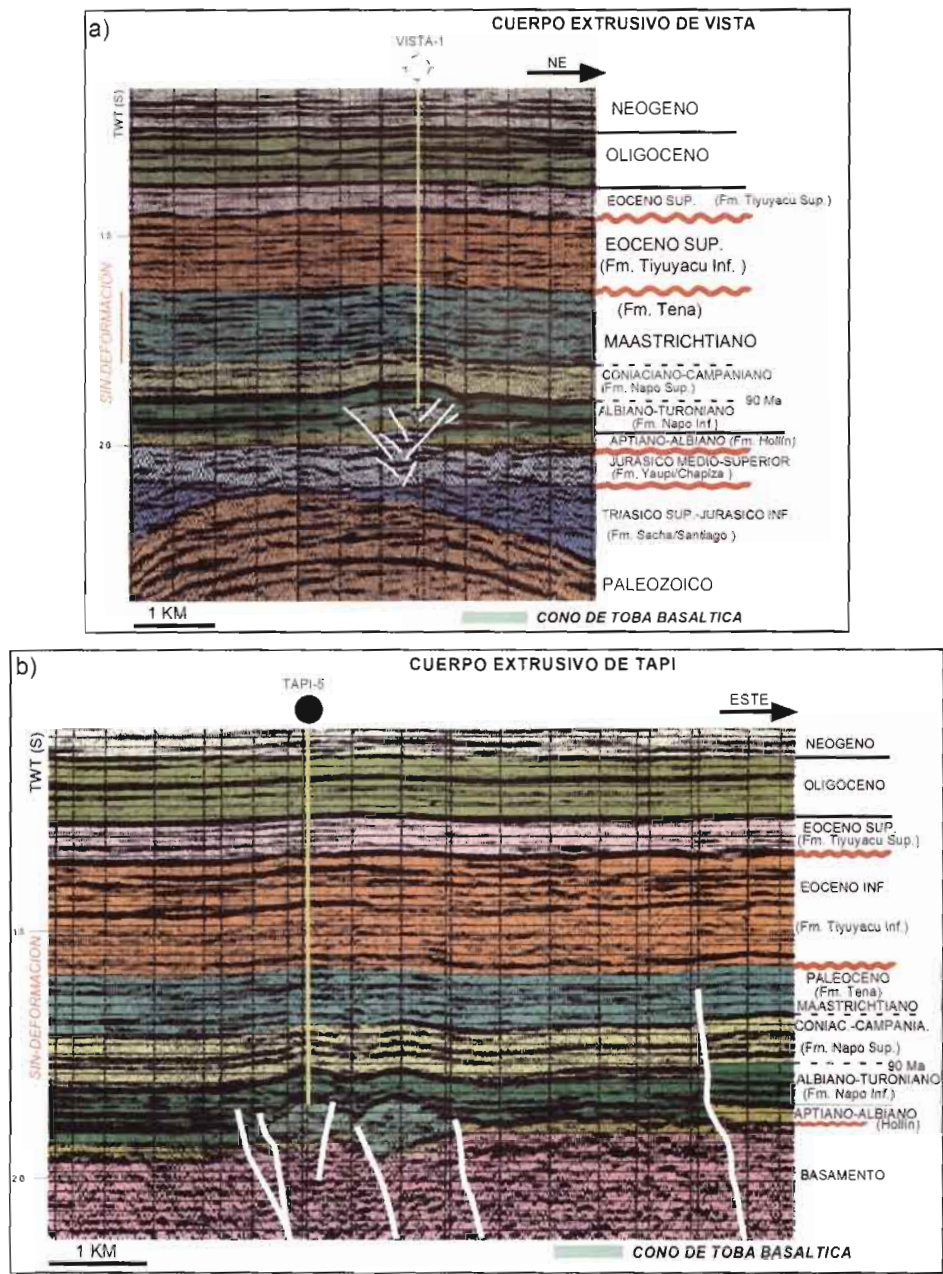


Figura 4 – Secciones sísmicas de reflexión que muestran el emplazamiento de los depósitos extrusivos en la Cuenca sindeposicional a las Fms. Hollin Superior y Napo Basal del Albiano: (a) Vista y (b) Tapi (conos de toba). Véase figura 2 para la localización de los perfiles sísmicos.

NNE ↓ SSW	<i>Eventos Extrusivos</i>					<i>Eventos Intrusivos</i>				
	Area (*)	Tobas Basált	Espesor (m) (**)	Intervalo estratigráfico	Bioestratigrafía Edad (***)	Dikes Basálticos	Sills Gabroicos	Espesor (m) (**)	Edad (Ma) Radiométrica	Método Radiométrico
	Tapi		100-200	Fm. Hollin	Albiano medio			1-2		
	Vista		100-200	Hollin Superior -Napo Basal	Albiano medio			1-2	106 ± 5	⁴⁰ Ar/ ⁴⁰ K (***)
	Jivino							1-25	101 ± 0,8	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar
	Laguna			Napo Inferior	Albian Superior- Cenomanian Inferior			50-60	92 ± 3,9 ?	⁴⁰ Ar/ ⁴⁰ K (***)
	Indillana- Itaya		30	Napo Inferior	Albian Superior- Cenomanian Inferior			20		
	Ginta		40	Napo Inf.-Medio	Cenomaniano Superior					
	Auca		20-100	Napo Superior	Turoniano-Santoniano			0,1-1	91 ± 4,6	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar (***)
	Armadillo		40-80	Napo Superior	Turoniano-Santoniano					
	Cononaco		50-70	Napo Superior	Turoniano-Santoniano					
	Puma		70	Napo Superior	Coniaciano-Santoniano					
	Jaguar		150-200	Napo Superior	Coniaciano-Santoniano					
	Punga- rayacu		10	Napo Superior	Santoniano-Campaniano			1-50		
	Waponi							150	91 ± 3	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar
	Yuralpa		100-150	Napo Superior	Santoniano-Campaniano			80-200	82 ± 0,5	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar
	Dayuno		100	Napo Superior	Santoniano-Campaniano			50-100	84 ± 2	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar (***)

Tabla 1 – Resumen de los eventos extrusivos e intrusivos encontrados en la Cuenca Oriente.

Información Biostratigráfica (*) basada en White *et al.* (1995) y Jaillard *et al.* (1997).

** Nuevas determinaciones radiométricas a través del método ⁴⁰Ar-³⁹Ar.

*** Datos no publicados (Informes Petroproducción no publicados).

como fenocristales subordinados. Los microlitos de plagioclasa, clinopiroxeno, magnetita y óxidos de hierro forman la matriz con una textura igualmente intergranular.

3. PROCEDIMIENTOS ANÁLITICOS

La composición y abundancia geoquímica de elementos mayores y menores de muestras representativas del volcanismo cretácico están sumariadas en la tabla 2. Es importante indicar que la espesa sección cenozoica sobreyacente limita los afloramientos cretácicos de la Cuenca Oriente. Por lo tanto, la distribución de los diferentes cuerpos ígneos, identificados en este estudio, está restringida únicamente a muestras de testigos de pozos exploratorios y al análisis de sus correspondientes registros eléctricos y secciones sísmicas, siendo difícil cuantificar el volumen verdadero de magma generado durante este evento volcánico.

Elementos mayores (Ni, Cr, Sc, V, Ba, Rb, Sr, Zr, Y y Nb) y elementos menores fueron analizados por procedimientos de rayos X y de ICP-MS en el laboratorio de "Washington State University" (Johnson *et al.*, commun. pers., 1998). La precisión fue probada por análisis múltiples de un solo espécimen. Precisión en los elementos mayores es < 2 % de la abundancia absoluta, la precisión de elementos trazas es < 5 % excepto por Nb y Rb, que es del 10 % en muestras con bajo contenido. Datos isotópicos de Sr y Nd (tabla 2) fueron determinados en la "Cornell University". Detalles más precisos del procedimiento utilizados se pueden encontrar en White & Patchett (1984).

Cuatro dataciones radiométricas fueron determinadas usando el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en muestras no alteradas. Estos resultados junto a los datos no publicados de dataciones por el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{K}$ (Informes Petroproducción no publicados) son resumidos en la tabla 1 (véase también la figura 2 para su ubicación). Las determinaciones radiométricas fueron realizadas en la "Oregon State University". Las edades fueron calculadas usando el procedimiento descrito en Dalrymple *et al.* (1981), Duncan & Hogan (1994), y Duncan *et al.* (1997).

4. CARÁCTER GEOQUÍMICO Y PETROGÉNESIS

A pesar de estar localizados en diferentes posiciones geográficas y presentar un rango amplio de edades ($\approx$ 110-80 Ma), las muestras analizadas exhiben un rango restringido tanto en elementos mayores como en elementos trazas. El volcanismo OBB cae dentro del rango observado para el campo de basaltos alcalinos (fig. 5), en los diagramas de Harker de álcalis total ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) versus SiO_2 . Además, están caracterizadas por un alto contenido en TiO_2 (≥ 3 wt%), K_2O (1,5-2 wt%), Na_2O (2-3 wt%) y P_2O_5 ($> 0,6$ wt%), lo que sugiere un origen en zonas profundas astenosféricas. La abundancia de MgO (8,4-15,8 wt%), Ni (50-340 ppm), Cr (270-500) y V (225-350 ppm) sugieren una naturaleza primitiva. El número del magnesio (Mg#) varía entre 60 a 74 con la mayoría de valores sobre 67 (tabla 2). Los mismos representan composiciones primitivas de magmas que han experimentado cantidades pequeñas de fraccionamiento de una fuente mantélica asumiendo para esta última un número de magnesio típico de 88-90 (Wilson, 1993).

	Jivino-1	Auca-16	Auca-23	Pungara yacu-9	Yuralpa-1
Elementos Mayores Normalizados (Peso %):					
SiO ₂	46.43	45.18	45.29	43.09	45.37
Al ₂ O ₃	11.48	13.21	9.91	11.05	9.34
TiO ₂	3.09	3.20	2.72	3.21	2.49
FeO [*]	11.73	13.67	11.96	12.19	12.18
MnO	0.17	0.12	0.13	0.20	0.176
CaO	12.07	10.83	12.30	12.44	10.88
MgO	10.48	8.41	14.20	12.60	15.54
K ₂ O	1.29	2.01	0.80	1.19	1.07
Na ₂ O	2.67	2.54	1.93	3.19	2.52
P ₂ O ₅	0.59	0.83	0.76	0.85	0.435
Elementos trazas no normalizado (XRF) (ppm):					
Ni	258	58	344	234	404
Cr	317	277	482	314	535
Sc	24	21	25	28	31
V	264	276	250	297	246
Ba	518	697	380	559	301
Rb	26	38	16	14	17
Sr	662	1008	460	782	592
Zr	194	246	187	233	168
Y	25	26	23	26	18
Nb	60.5	84	60	81	43.1
Ga	20	23	14	20	19.1
Cu	63	28	44	58	56
Zn	116	128	141	120	115
Pb	1	1	4	4	
(ICP-MS)					
La	36.93	47.57	40.77	47.08	57.51
Ce	70.41	88.99	77.11	89.2	107.03
Pr	8.33	10.21	9.11	10.44	12.51
Nd	34.85	41.64	38.49	43.39	52.46
Sm	8.16	9.65	8.6	9.67	12.25
Eu	2.73	3.11	2.81	3.2	3.53
Gd	7.61	8.12	7.49	8.55	10.53
Dy	5.9	6.12	5.57	6.36	7.69
Ho	1.04	1.06	0.95	1.06	1.32
Er	2.34	2.43	2.15	2.43	2.84
Tm	0.31	0.31	0.27	0.3	0.34
Yb	1.73	1.7	1.49	1.69	1.83
Lu	0.25	0.24	0.22	0.23	0.25
Th	3.57	4.87	3.81	4.81	7.10
Hf	4.73	5.34	4.61	5.52	6.92
Ta	3.55	4.5	3.47	4.86	5.58
Pb	2.29	3.78	5.59	3.46	2.23
Cs	0.91	3.33	2.54	3.97	4.49
Mg/Mg+Fe	66.000	57.000	71.886	69.000	74.000
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.705192	0.704422			0.703547
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.512818	0.512836			0.512815

Tabla 2 – Composición geoquímica de elementos mayores y trazas de muestras de testigos de perforación de basaltos cretácicos de la Cuenca Oriente (OBB). Análisis geoquímicos de elementos mayores y menores determinados por métodos de XRF y ICP-MFS. Hierro total está expresado como FeO. Las técnicas de análisis están discutidas en el texto y en las referencias citadas. El número de Magnesio (Mg#) fue calculado usando $\text{FeO}/\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,33$.

(*) muestras de diques diabásicos.

(**) muestras de sills gabróticos (véase figura 2 para localización de muestras).

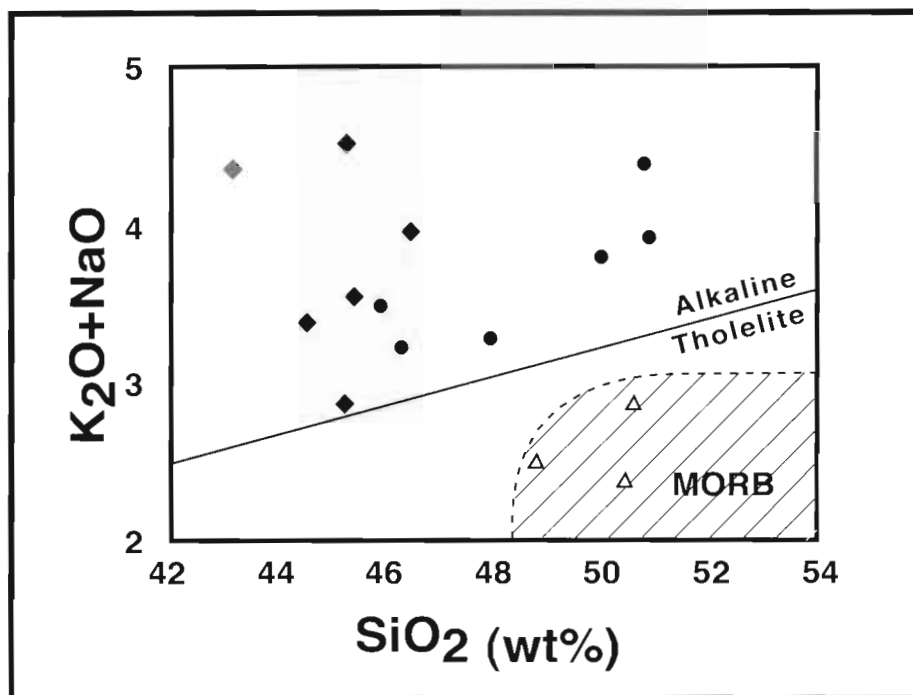
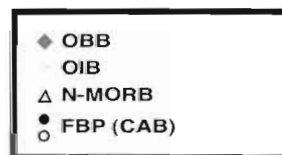


Figura 5 – Diagramas de Na₂O + K₂O vs. SiO₂ para las rocas ígneas de la cuenca cretácica Oriente (OBB), y por comparación para otras muestras de diferentes ambientes tectónicos: Punto Caliente, análisis representativo de Morb, y basaltos continentales (CAB) según Cas & Wright (1988). La línea diagonal divide los campos alcalino y toleítico según Reynolds & Geist (1995).



En general, las muestras del volcanismo cretácico de la Cuenca Oriente presentan valores similares de elementos trazas con relación a magmas basáltico alcalinos originados en diversos ambientes tectónicos, sean continentales (Basaltos de “Slab Window”, e.g. San Quintín, Baja California [Storey *et al.*, 1989; Saunders *et al.*, 1987], Península Antártica [Hole *et al.*, 1993] y Patagonia [Stern *et al.*, 1990]; Basaltos de mesetas continentales o “Continental Flood Basalts”, e.g. Provincia de Karoo [Duncan *et al.*, 1997; Gibson *et al.*, 1995]) y oceánicos (Basaltos alcalinos de islas Oceánicas “OIB”, e.g. Cameroon [Fitton & Dunlop, 1985] y Galapagos [Geist *et al.*, 1998; Reynolds & Geist, 1995]).

El volcanismo OBB se caracteriza por presentar valores bajos en los ratios LILE/HFSE (e.g.: Ba/Nb ≈ 6,33-8,56; Th/Ta ≈ 0,98-1,44; La/Nb ≈ 0,57-0,67; Ba/Zr ≈ 1,79-2,83), (tabla 3; modificado de Shinjo, 1998; Wilson, 1993; Hole *et al.*, 1993), sin presentar la característica deflexión en el contenido de Nb y Ta, típico de magmas relacionados a procesos de subducción (Ramos & Kay, 1992) (fig. 6a). Además, el OBB

	No afectado por procesos de subducción					Basaltos relacionados con procesos de subducción			
	OBB	MORB	OIB	pluma mantélica	"Slab window"		"Roll Back"	IAT	HAB y CA
	(Volc. Cretac. Cuenca Or.)			(Camerum)	(San Quintin)	(Antartic Penins)	(James Ross Island)		
K/Zr	35,5-67,8	12	44		57,5-60,08			147	216
Rb/Zr	0,06-0,15	0,01	0,1	0,129	0,128-0,138	0,038-0,119	0,09-0,125	0,21	0,35
Ba/Zr	1,79-2,83	0,1	1,7	1,93	1,54-1,83	0,399-1,188	0,877-1,43	5	7,5
Ba/Nb	6,33-8,56	4	7	8,09	7,14-9,19	2,69-8,21	4,73-6,14	157	214
Ba/Ce	4,93-7,83	1	5	5,25	6,86-5,52	1,81-5,4	7,16-8,52	30	13
La/Nb	0,57-0,67	0,97	0,66	0,8056	0,66-0,74	0,61-0,881	1,22-3,47	1,86	7,14
Zr/Nb	2,63-3,89	27	4	4,194	4,5-5,37	4,657-7,66	5,87-10,6	31	29
Zr/Y	7,76-9,46	2,9	7,3	10,34	9,64-7,807	5,43-18,57	4,81-10,46	1,8	2,7
Ce/Yb	40-60	-	-	-	24,61-35,29	15,67-44,978	10,97-45,33	-	-
Sm/Yb	4,71-6,86	-	-	-	2,69-3,72	2,606-4,387	2,61-4,6	-	-
(Ce/Y)n	6,51-8,35	0,7	4,73-9,1	8,78	4,88-7,825	2,58-9,15		1,2	3, 05

Tabla 3 – Radios de elementos incompatibles de OBB y de basaltos de varios ambientes tectónicos. OBB = Basaltos de la Cuenca Oriente (localización de las muestras véase figura 2); IAT = arco de isla toleítico; HAB = basalto de alto-aluminio; CA = basalto calco-alcalino; OIB = basalto de isla oceánica. (Fuente de datos: Wilson, 1993; Sun, 1980; Shinjo, 1998; Fitton & Dunlop, 1985; Storey *et al.*, 1989; Hole *et al.*, 1995).

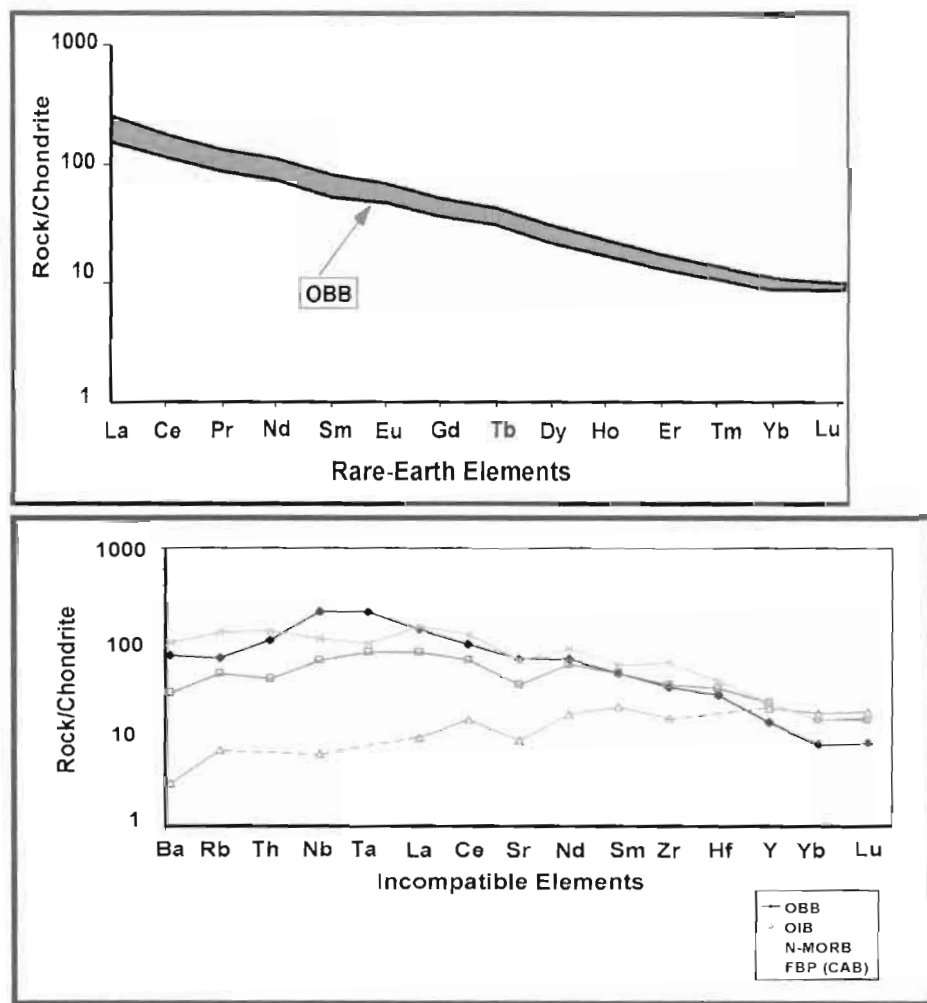


Figura 6 – Diagramas de araña normalizados con respecto a valores de coindrita: a) mostrando la distribución de elementos de tierras raras en muestras de OBB, es evidente una variación restringida en el rangocomposicional; b) comparando las rocas de OBB (muestra representativa) con otros basaltos de ambientes tectónicos diferentes (OIB, MORB, y basaltos continentales (FBP)). Datos de manto primitivo y de coindrita según Sun & McDonough (1989).

exibe perfiles típicos de basaltos alcalinos tipo OIB, como se observa en los diagramas de multi-elementos normalizados con respecto a valores de MORB y de coindrita (fig. 6b). Estos perfiles son un indicativo de un origen asociado a grados bajos de fusión parcial de una fuente astenosférica profunda (Hole *et al.*, 1995). Igualmente, ratios de Ba/Ta (50-150) and La/Ta (8,84-11,75) caen dentro del rango observado para basaltos de origen oceánico (punto caliente-OIB) y de basaltos de origen continental (pluma

mantélica), que no han sufrido interacción con material litosférico enriquecido por procesos de asimilación de corteza continental (fig. 7a). La abundancia de elementos de tierras raras pesados es consistente y la signatura geoquímica de estos magmas basáltico alcalinos ($\text{La/Yb} \approx 21,3-32,6$, $\text{Sr/Y} \approx 12,4-32,9$, $\text{Ce/Yb} \approx 40,7-62,3$, $\text{Sm/Yb} \approx 4,7-6,9$) confirma un origen asociado a bajos grados de fusión parcial de un manto astenosférico con facies de granate residual, a una profundidad de origen de al menos 80 kilómetros según los modelos propuestos por Ellam (1992) para basaltos primitivos.

La relación de isótopos de Sr y Nd obtenida en tres muestras del volcanismo OBB (fig. 7b) muestra valores ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$: 0,703547-0,705192 y $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: 0,512815-0,512836) dentro del rango observado en basaltos de isla oceánica (OIB), y similar a los campos composicionales de basaltos alcalinos de origen continental (e.g. Península Antártica, James Ross Island y basaltos cratónicos de la Patagonia [Stern *et al.*, 1990]).

5. GEOCRONOLOGÍA: EMPLAZAMIENTO DEL MAGMATISMO CRETÁCICO EN LA CUENCA ORIENTE

Nuevas dataciones radiométricas de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ junto con otras de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{K}$ de muestras basálticas en testigos de perforación obtenidos a lo largo de la Cuenca Oriente son resumidas en la tabla 1 (véase fig. 2 para ubicación). Estos datos absolutos combinados con las edades biostratigráficas de los sedimentos circundantes de las Fms. Hollín y Napo, definidas por varios autores (e.g.: Tschopp, 1953; Faucher & Savoyat, 1973; Hoffstetter, 1956; Jaillard, 1997), sugieren una variación cronológica con la posición geográfica para el emplazamiento de estos magmas máficos a partir del Albiano hasta el Campaniano ($\approx 110-80$ Ma). La figura 8 ilustra la posición estratigráfica de los diferentes eventos ígneos observados en la cuenca ecuatoriana Oriente y su relación con las formaciones cretácicas Napo y Hollín. El evento volcánico más antiguo corresponde a conos de toba basálticos y diques diabásicos, emplazados contemporáneamente a la depositación de la Fm. Hollín Superior en el Albiano Medio-Superior en la parte nor-central de la Cuenca Oriente (áreas de los campos Vista y Tapi, véase la figura 2 para su ubicación). Las edades radiométricas obtenidas confirman el registro biostratigráfico en esta localización ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{K} \approx 106 \pm 5$ Ma; Informe Petroproducción no publicado). Evidencias de un volcanismo basáltico alcalino diacrónico se observa a lo largo del Corredor Sacha-Shushufindi, sinsedimentario a las secciones Napo Inferior del Albiano Superior-Cenomaniano en la parte central de la cuenca (áreas de Laguna-Jivino y Ginta), Napo Medio del Turoniano (áreas Auca-Armadillo) y Napo Superior del Santoniano-Campaniano en la parte occidental sur-central de la Cuenca Oriente (zona subandina actual- áreas de Pungarayacu, Yuralpa y Dayuno). Las edades radiométricas, en las correspondientes localidades, confirman igualmente el registro biostratigráfico, respectivamente: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar} \approx 101,6 \pm 0,8$ Ma y $91 \pm 4,6$ Ma (Barragán, 1999), parte central de la cuenca; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar} \approx 84 \pm 2$ Ma (Informe Petroproducción no publicado) y $82 \pm 0,5$ Ma (Barragán, 1999), parte sur-central occidental de la Cuenca Oriente.

Por lo tanto, la variación cronológica de edades para el emplazamiento de los diferentes cuerpos ígneos máficos está directamente relacionada con la posición geográfica, desde el Albiano ($\approx 106 \pm 5$ Ma) en la parte septentrional de la cuenca, hasta

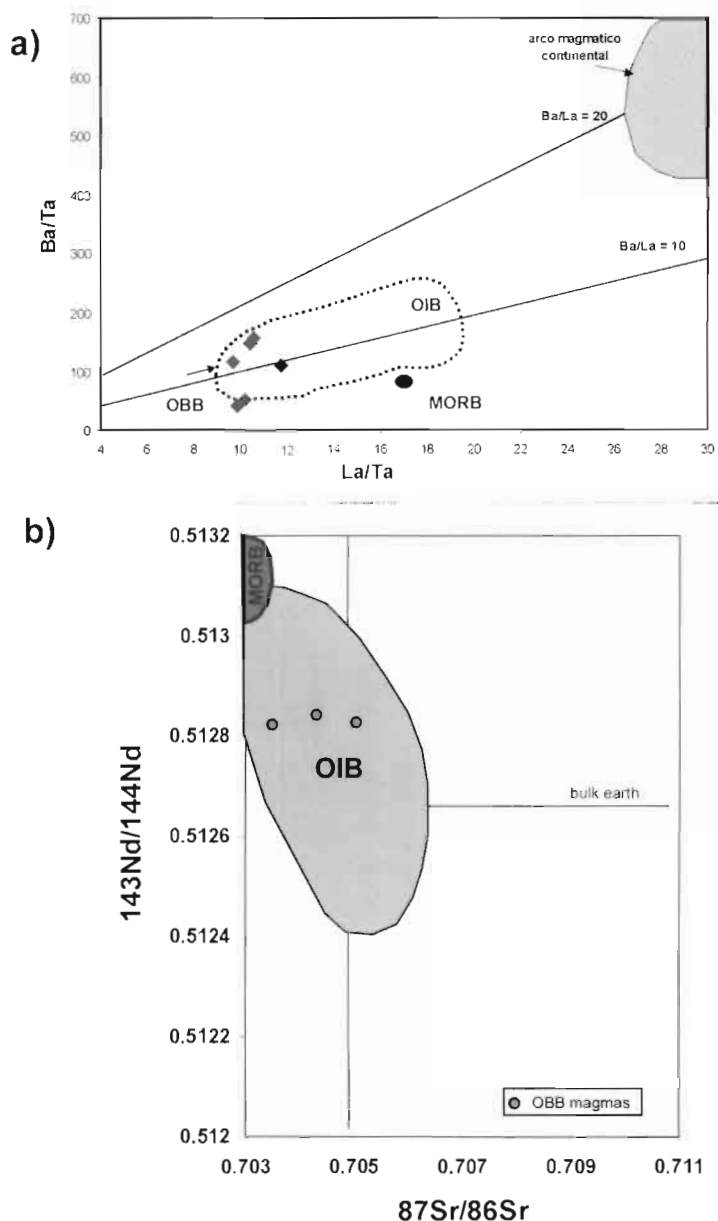


Figura 7 – a) Diagrama de Ba/Ta vs. La/Ta (modificado de Ramos & Kay, 1992) mostrando la afinidad general de los magmas de OBB con los basaltos de isla oceánica (OIB). Además, se muestra el campo correspondiente al arco magmático continental andino. b) Variación del $^{143}Nd/^{144}Nd$ vs. $^{87}Sr/^{86}Sr$ para los magmas alcalinos OBB y de otros ambientes tectónicos (OIB y MORB) (modificado de White & Hofmann, 1982).

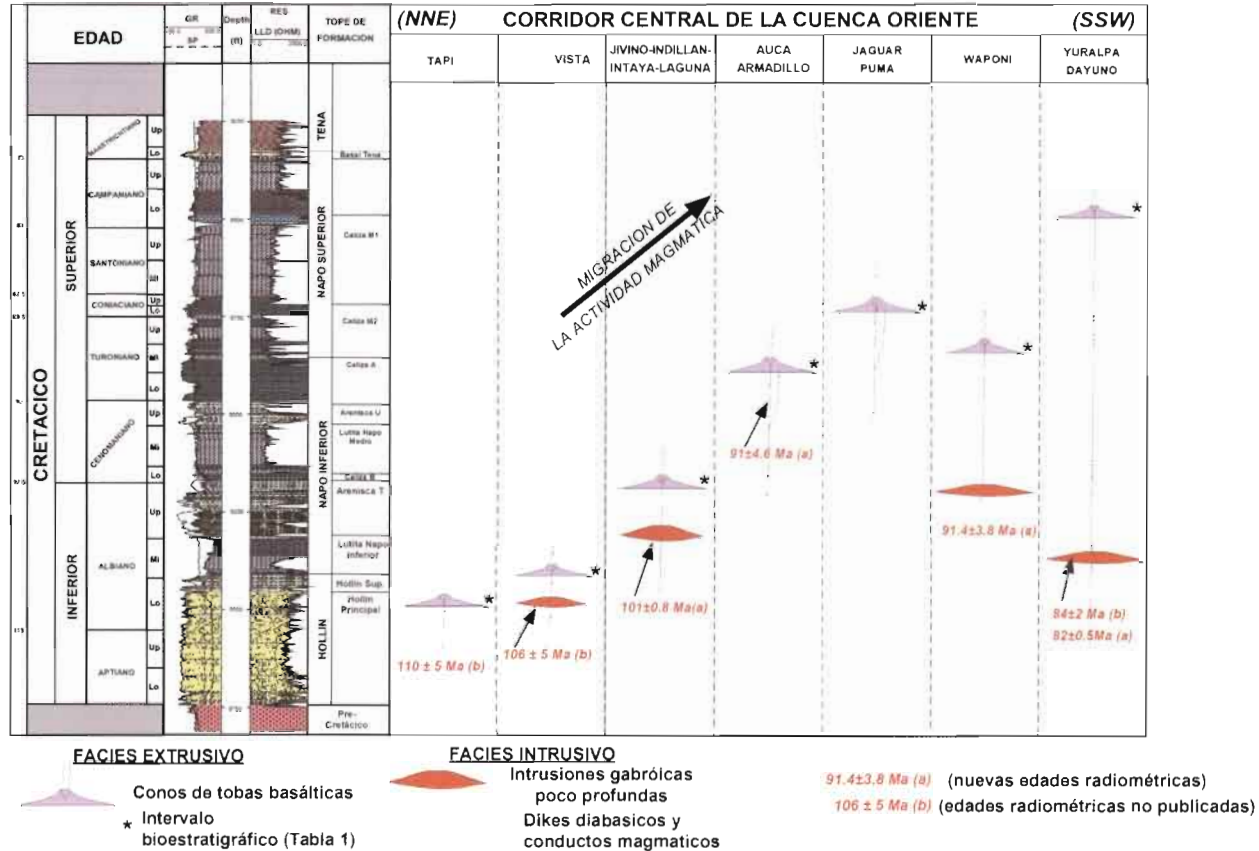


Figura 8 – Sección transversal esquemática que muestra la posición estratigráfica de la facies ígneas observadas en la Cuenca Oriente, y su relación con las diferentes unidades, miembros y formaciones cretácicas de Napo y de Hollín.

el Campaniano ($82 \pm 0,5$ Ma) en la parte central-oeste (Zona Subandina), sugiriendo una migración progresiva del magmatismo hacia el S-SW a lo largo del Corredor Sacha-Shushufindi (fig. 2).

6. DISCUSIÓN: GENERACIÓN DEL EVENTO ALCALINO OBB

La Cuenca Oriente de Ecuador registró los cambios geodinámicos asociados con la reorganización de placas tectónicas en el margen noroccidental de Sudamérica durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior. A lo largo del segmento Ecuatoriano-Colombiano, este período ($\cong 130$ -120 Ma) fue marcado por la acreción lateral de terrenos alóctonos (e.g. Chaucha Arenillas - Aspden & Litherland, 1992; Jaillard *et al.*, 2000), y por la cesación de los procesos de subducción y magmatismo relacionados al arco continental Misahualli (Jaillard *et al.*, 1995; 2000). Todos estos eventos dieron lugar a cambios paleogeográficos importantes (Pindell & Tabbutt, 1995): levantamiento y erosión de la sección pre-Cretácica, instalación de una plataforma marina somero en el Cretácico de la Cuenca Oriente (sistema MOP) (Marksteiner & Alemán, 1997; Dashwood & Abbotts, 1990; White *et al.*, 1995), y desarrollo de un magmatismo continental alcalino intra-placa orientado en una dirección casi paralela al arco magmático pre-existente.

Como se mencionó al inicio, la ocurrencia y generación del volcanismo intra-placa en la Cuenca Oriente pueden explicarse por varios mecanismos. Sea por la formación de “slab window” (Thorkelson & Taylor, 1989), por la interacción de un punto caliente (Campbell & Griffiths, 1992; Gibson *et al.*, 1995; Hill, 1993), por la propagación de un rift (McKenzie & Bickle, 1988), o por “slab roll back” de la placa subductada (Hole *et al.*, 1995; Stern *et al.*, 1990). Cualquiera de estos mecanismos tendrá que explicar las siguientes observaciones geológicas:

- el volumen de productos eruptivos generados por este volcanismo alcalino es relativamente pequeño;
- las firmas geoquímicas e isotópicas de tipo OIB son consistentes con una fuente astenosférica sin ninguna evidencia geoquímica de interacción con componentes de procesos de subducción;
- el control tectónico en el emplazamiento del volcanismo OBB es evidente y es ejercido por las estructuras pre-existentes Triásico-Jurásicas del paleo-rift Tetiano, invertidas en un régimen transpresivo a partir del Turaniano;
- finalmente, la migración del volcanismo hacia el SE a lo largo del Corredor Sacha-Shushufindi y orientado NNE-SSW, es sugerido por la variación cronológica sistemática del magmatismo respecto a la posición geográfica de los diferentes eventos eruptivos, desde el Albiano (~ 110 Ma) en la parte norte, hasta el Campaniano (~ 80 Ma) en la parte oeste-central de la Cuenca Oriente.

Primeramente, cualquier posibilidad de magmatismo alcalino asociado a procesos de rifting continental debe ser eliminada. No existen evidencias de extensión litosférica de suficiente magnitud para generar fusión parcial por descompresión adiabática en la Cuenca Cretácica Oriente. En contraste, y como es sugerido por todas las evidencias tectónicas, la mayoría de centros eruptivos

alcalinos son controlados por estructuras invertidas en transpresión desde el Turoniano (Baby *et al.*, 1998; 1999; Rivadeneira & Baby, 1999). Por otro lado, un modelo de punto caliente continental podría explicar la variación sistemática de edades con la posición geográfica, y por lo tanto, la migración magmática del volcanismo alcalino OBB hacia el SE, a lo largo del Corredor Sacha-Shushufindi como es sugerido por los datos radiométricos. Sin embargo, el volumen de volcanismo generado por el evento magmático OBB es pequeño, y no puede ser justificado por un modelo de “hot-spot”.

¿Es entonces el evento alcalino OBB un indicador de procesos de “slab window” en la placa subductada del margen ecuatoriano durante el Cretácico inferior? Si éste es el caso, el modelo de “slab-window” podría explicar la generación de volúmenes limitados de magmas máficos en un área que no ha sido afectada por una extensión litosférica significativa. Sin embargo estamos omitiendo el elemento más importante de un modelo de “slab window”: “slab windows” se forman como consecuencia de la colisión de una dorsal mid-oceánica (Thorkelson, 1996), y no hay evidencias geológicas en la Cuenca Oriente de la interacción de una dorsal después del evento acrecional del terreno alóctono Chaucha-Arenillas (≈ 130 -120 Ma) (Jaillard *et al.*, 2000; Aspden & Litherland, 1992), debido a que la subducción cesó automáticamente a lo largo del margen ecuatoriano.

Proponemos, por lo tanto, un mecanismo de “slab-roll back” como el proceso más probable para explicar el origen de este magmatismo alcalino intra-continental tan peculiar en la cuenca cretácica Oriente. La figura 9 (a-c) muestra un esquema del modelo geodinámico propuesto. A partir de la cesación de los procesos de subducción, después del evento acrecional (fig. 9a), el material relicto de la placa subductada correspondiente a su parte más baja fue gravitacionalmente hundida y rotada como resultado del gran contraste de densidades con el material astenosférico circundante (fig. 9b). Esto resultó en una migración lateral y vertical de material mantélico astenosférico no modificado por procesos de subducción, siguiendo posiblemente la trayectoria de la subducción jurásica previa, y posiblemente remplazando la cuña mantélica SSW-NNE pre-existente. Esto simplemente pudo inducir el “roll-back” de la porción de placa oceánica subductada (fig. 9c). A partir del Albiano (≈ 110 Ma), el material astenosférico no modificado por procesos de subducción migró lateralmente y verticalmente siguiendo las paleo-estructuras del rift Triásico-Jurásico o “thin-spot” litosférico, promoviendo fusión parcial y facilitando la evacuación de magmas a la superficie, especialmente en la parte nor-central de la cuenca. La inversión tectónica a partir del Turoniano (90 Ma) (Baby *et al.*, 1999) generó la reactivación total en transpresión de las estructuras extensivas pre-existentes, que originó la migración del magmatismo alcalino hacia el S-SW, siguiendo la trayectoria del Corredor Sacha-Shushufindi. Ejemplos similares, que vienen lo más cercano posible a demostrar este mecanismo, son los observados en la evolución magmática de James Ross Island de la Península Antártica (Hole *et al.*, 1995), y en las lavas basálticas de las pampas patagónicas (Stern *et al.*, 1990).

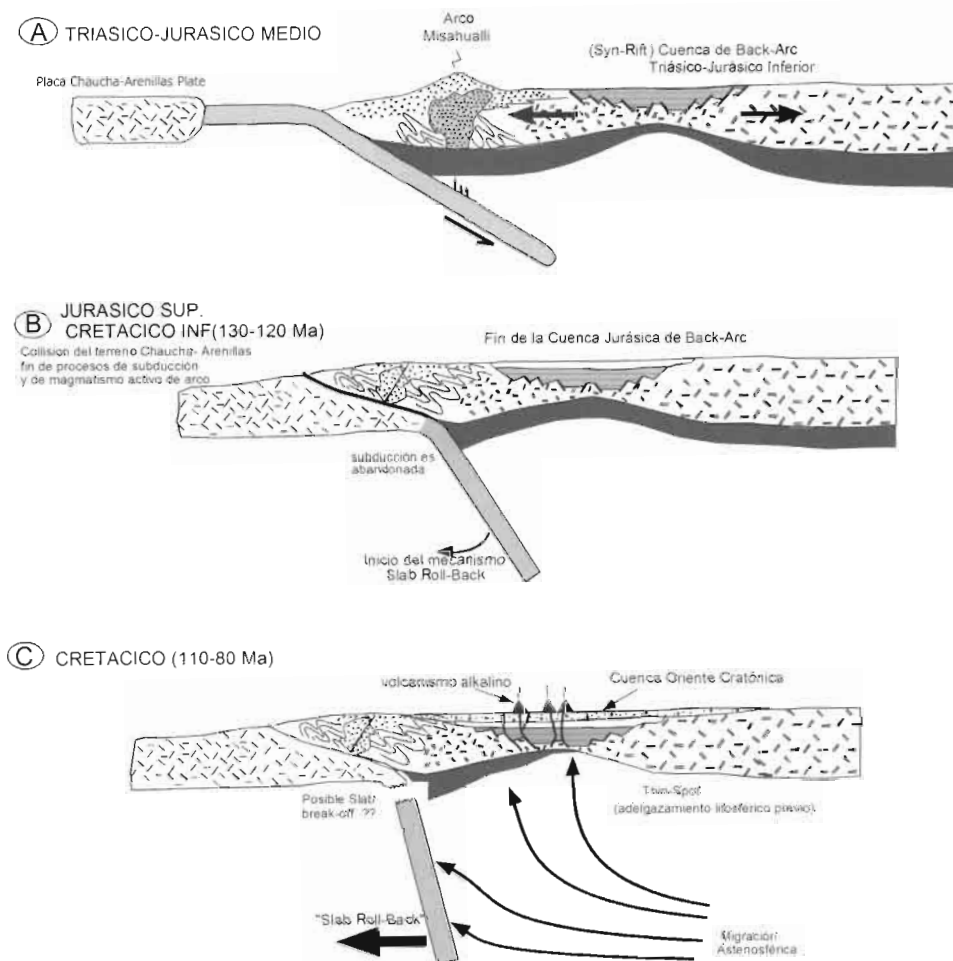


Figura 9 – Modelo esquemático (a-c) para el origen y la evolución geodinámica del “thin-spot” intra-continental a lo largo del corredor Sacha-Sushufindi de la Cuenca Oriente.

CONCLUSIONES

La composición geoquímica e isotópica del volcanismo cretácico alcalino en la Cuenca Oriente (OBB) es consistente con un origen astenosférico no afectado por procesos de subducción. Exhibe un rango restringido en la variación composicional: contenidos bajos de SiO_2 (42,58-46,72 %), altos en álcalis (3,4-4,6 %), bajos en elementos incompatibles (e.g. $\text{Ba/Nb} \approx 6,33\text{-}8,56$; $\text{Th/Ta} \approx 1\text{-}1,44$; $\text{La/Nb} \approx 0,57\text{-}0,67$; $\text{Ba/Zr} \approx 1,79\text{-}2,83$), y valores isotópicos de Sr–Nd ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0,703547-0,705192, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 0,512815-0,512836), todos ellos similares a basaltos tipo OIB originados en una pluma mantélica o punto caliente.

Un mecanismo de "slab roll-back", asociado con la migración lateral y vertical de magma astenosférico, facilitó la generación del volcanismo alcalino intra-placa en la Cuenca Oriente cretácica, a partir de la cesación de los procesos de subducción (≈ 130 -120 Ma). El rift pre-Cretácico ejerció un control fundamental en la generación de estos magmas, actuando como "thin-spots" litosféricos. En la Cuenca Oriente, la inversión tectónica a partir del Turoniano (≈ 90 Ma) dio lugar a la reactivación en transpresión de las estructuras extensivas pre-existentes, originando la migración hacia el S-SW de la actividad magmática, y siguiendo la dirección del Corredor Sacha-Shushufindi.

Agradecimientos

El presente trabajo representa un resumen de una parte de la tesis doctoral obtenida por R. Barragán en la Universidad Paul Sabatier de Toulouse (Francia).

Los autores agradecen especialmente a Petroproducción por proporcionar acceso a la información radiométrica y a todas las muestras de testigos de perforación obtenidas para análisis geoquímicos y radiométricos. Nuestros agradecimientos a Dennis Geist por sus revisiones constructivas.

Referencias citadas

- ASPDEN J. & LITHERLAND M., 1992 – The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205: 187-204.
- BABY P., RIVADENEIRA M., BERNAL C., CHRISTOPHOUL F., DÁVILA 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 Geologist*, 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. *4th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG'99)*; Univ. Göttingen (Germany), Extended Abstracts Volume: 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. & H. J. Welsink, Petroleum basins of South America: *AAPG Memoir* 62: 559-571.
- BARRAGÁN R., 1999 – Relations entre Volcanisme, Tectonique d'inversion et Sédimentation dans le Bassin Crétacé Équatorien. *Ph.D Thesis*, Laboratoire de Dynamique de Bassins, Université Paul Sabatier, Toulouse III, France, 223 p.
- CAMPBELL I. & GRIFFITHS R., 1992 – The changing nature of mantle hotspots through time: Implications for the chemical evolution of the mantle. *The Journal of Geology*, 92: 497-523.
- CAS R. & WRIGHT J., 1988 – Volcanic Successions. *Chapman & Hall*, 466 p.
- DALRYMPLE G., ALEXANDER E., LANPHERE M. & KRAKER G., 1981 – Irradiation of samples for ^{40}Ar - ^{39}Ar dating using the geological Survey TRIGA reactor. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 1176, 55 p.

- 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.
- DUNCAN R. & HOGAN L., 1994 – Radiometric dating of young MORB using the ^{40}Ar - ^{39}Ar incremental heating method. *Geophys. Res. Lett.* 21: 1927-1930.
- DUNCAN R., HOOPER P., REHACEK J., MARSH J. & DUNCAN A., 1997 – The timing and duration of the Karoo igneous event, southern Gondwana. *J. Geophys. Res.* 102: 18127-18138.
- ELLAM R., 1992 – Lithospheric thickness as a control on basalt geochemistry. *Geology*, 20: 153-156.
- FAUCHET B. & SAVOYAT E., 1973 – Esquisse Géologique des Andes de l'Équateur. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, vol. XV, Fasc. 1-2: 115-142.
- FITTON J. & DUNLOP H., 1985 – The Cameroon line, West Africa, and its bearing on the origin of oceanic and continental alkali basalt. *Earth and Planetary Science Letters*, 72: 23-38.
- GEIST D., NAUMANN T., LARSON P.B., 1998 – Evolution of Galapagos magmas: mantle and crustal level fractionation without assimilation. *Journal of Petrology* 39: 953-971.
- GIBSON S., THOMPSON R., DICKIN A. & LEONARDOS O., 1995 – High-Ti and Low-Ti mafic potassic magmas: key to plume-lithosphere interactions and continental flood-basalt genesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 141: 325-341.
- HILL R., 1993 – Mantle plumes and continental tectonics. *Lithos*, 30: 193-206.
- HOFFSTETER R., 1956 – Lexique stratigraphique international, Amérique Latine-Ecuador. *Congrès Géologique International-Commission de Stratigraphie*, V, fascicule 5a, 191 p.
- HOLE M., ROGERS, G. & SAUNDERS A., 1991 – Relation between alkalic volcanism and slab-window formation. *Geology*, 19: 657-660.
- HOLE M., KEMPTON P. & MILLAR I., 1993 – Trace-element and isotopic characteristics of small degree melts of the asthenosphere: Evidence from the alkalic basalts of the Antarctic Peninsula. *Chemical Geology*, 109: 51-68.
- HOLE M., SAUNDERS A., ROGERS G. & SYKERS M., 1995 – The relationship between alkaline magmatism, lithospheric extension and slab window formation along continental destructive plate margins. In: Smellie, J. L. (ed.), 1995, *Volcanism Associated with Extension at Consuming Plate margins, Geological Society Special Publication*, 81: 265-285.
- JAILLARD E., SEMPERE T., SOLER P., CARLIER G. & MAROCCO M., 1995 – The role of Thethys in the evolution of the northern Andes between late Permian and late Eocene times. In: *The Ocean Basins and Margins, Volume 8: The Thethys Ocean*, edited by A. E. M. Nairn et al., Plenum Press, New York.
- JAILLARD E., 1997 – Síntesis Estratigráfica y Sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la Cuenca Oriental del Ecuador. *Petroproducción – Orstom*, 163 p.
- JAILLARD E., HÉRAIL G., MONFRET T., DIAZ-MARTINEZ E., BABY P., LAVENU A., DUMONT J. F., 2000 – Tectonic Evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and Northernmost Chile. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A. Campos (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro: 481-559.
- KERR A., SAUNDERS A., TARNEY J., BERRY N. & HARDS V., 1995 – Depleted mantle-plume geochemical signatures: no paradox for plume theories. *Geology*, 23: 843-846.
- MARKSTEINER R. & ALEMÁN A., 1997. Petroleum systems along the Fold belt Associated to the Marañón-Oriente-Putumayo (MOP) Foreland Basin. In VI Simposio Bolivariano 'Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas', Memorias Tomo II: 63-74.
- MCKENZIE D. & BICKLE M., 1988 – The volume and composition of melt generated by extension of the lithosphere. *Journal of Petrology*, 29: 625-679.

- PINDELL J. L. & TABBUTT K. D., 1995 – Mesozoic-Cenozoic andean paleogeography and regional controls on hydrocarbon systems. *In*: A. J. Tankard, R. Suárez S. & H. J. Welsink, Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62: 101-128.
- RAMOS V. & KAY S. M., 1992 – Southern Patagonian plateau basalts and deformation: back-arc testimony of ridge collisions. *Tectonophysics*, 205: 261-282.
- REYNOLDS R. & GEIST D., 1995 – Petrology of basalts from Sierra Negra volcano, Galápagos Archipelago. *Journal of Geophysical Research*, 100, 24: 537-553.
- RIVADENEIRA M. & BABY P., 1999 – La Cuenca Oriente: Estilo tectónico, etapas de deformación y características geológicas de los principales campos de Petroproducción. *Petroproducción – Institut de Recherche pour le Développement*, 88 p.
- ROMEUF N., MUNCH P., SOLER P., JAILLARD E., PIK R., AGUIRRE L., 1997 – Mise en évidence de 2 lignées magmatiques dans le volcanisme du Jurassique inférieur de la zone Subandine Équatorienne. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 324, IIa: 361-368.
- SAUNDERS A., ROGERS G., MARRINER G., TERRELL D. & VERMA S., 1987 – Geochemistry of Cenozoic volcanic rocks, Baja California, Mexico: Implications for the petrogenesis of post-subduction magmas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 32: 223-245.
- SHINJO R., 1998 – Petrochemistry and tectonic significance of the emerged late Cenozoic basalts behind the Okinawa Troughs Ryukyu arc system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 80: 39-53.
- SOLER P. & SEMPERE T., 1993 – Stratigraphie, géochimie et signification paléotectonique des roches volcaniques basiques mésozoïques des Andes Boliviennes. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 316: 777-784.
- STERN C., FREY F., FUTA K., ZARTMAN R., PENG Z. & KYSER T., 1990 – Trace-element and Sr, Nd, Pb and O isotopic composition of Pliocene and Quaternary alkali basalts of the Patagonia Plateau lavas of southernmost South America. *Contrib. Mineral. Petrol.* 104: 294-308.
- STOREY M., ROGERS G., SAUNDERS A. & TERRELL D., 1989 – San Quintín volcanic field, Baja California, Mexico: 'within-plate' magmatism following ridge subduction. *Terra Research*, 1: 195-202.
- SUN J. & MCDONOUGH 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.
- THOMPSON R. & GIBSON S., 1991 – Subcontinental mantle plumes, hotspots and pre-existing thin-spots. *Journal of the Geological Society*, London, 148: 973-977.
- THORKELSON D. & TAYLOR R., 1989. Cordilleran slab windows. *Geology*, 17, 833-836.
- THORKELSON D., 1996 – Subduction of diverging plates and the principles of slab window formation. *Tectonophysics*, 255: 47-63.
- TSCHOPPH H. J., 1953 – Oil explorations in the Oriente of Ecuador. *AAPG Bull.*, 37, 2303-2347.
- WALKER G., 1993 – Basaltic-volcano systems. *In*: Prichard, H., Alabaster, T., Harris, N., and Neary, C., (eds), Magmatic processes and plate tectonics, Special Publication: *Geological Society of America*, 76: 3-38.
- WHITE W. & HOFMANN A., 1982 – Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution. *Nature*, 296: 821-825.
- WHITE, H., SKOPEC, R., RAMIREZ, F., RODAS, J. & BONILLA, G., 1995 – Reservoir characteristics of the Hollin and Napo formations, western Oriente basin, Ecuador. *In*: Tankard, A. J., Suárez S. R. & Welsink, H. J., eds., Petroleum basins of South America: *American Association of Petroleum Geologist Memoir* 62: 573-596.

- WHITE W. & PATCHETT J., 1984 – Hf-Nd-Sr isotopes and incompatible element abundances in island arcs: implications for magma origins and crustal mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 67: 167-185.
- WILSON M., 1993 – Geochemical signatures of oceanic and continental basalts: a key to mantle dynamics? *Journal of the Geological Society*, 150: 977-990.



LA CUENCA ORIENTE: GEOLOGÍA Y PETRÓLEO

Patrice Baby

Marco Rivadeneira

Roberto Barragán

(Editores científicos)



IFEA

IRD

INSTITUT RECHERCHES
DÉVELOPPEMENT



PETROECUADOR

ÍNDICE

PRÓLOGO	9
<i>René Marocco</i>	
AGRADECIMIENTOS	11
INTRODUCCIÓN	13
<i>Patrice BABY, Marco RIVADENEIRA, Roberto BARRAGÁN</i>	
Capítulo 1: Estratigrafía, estructura y evolución geodinámica de la Cuenca Oriente	
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 HIDROSEDIMEN- TOLOGÍA 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 BERC, 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 BERC, 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>	

Capítulo 2: Historia de la exploración y principales campos petroleros de la petroproducción

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>	