

LA SUPERFICIE MERA-UPANO: MARCADOR GEOMORFOLÓGICO DE LA INCISIÓN FLUVIATIL Y DEL LEVANTAMIENTO TECTÓNICO DE LA ZONA SUBANDINA ECUATORIANA

Séverine BÈS DE BERC ^(1*), *Patrice BABY* ^(2**),
Jean-Claude SOULA ⁽³⁾, *Jaime ROSERO* ^(2***), *Marc SOURIS* ^(2****),
Frédéric CHRISTOPHOUL ⁽³⁾, *Jorge VEGA* ⁽²⁾

Resumen

La zona subandina ecuatoriana, piedemonte de la Cordillera Oriental, está caracterizada por una actividad sísmica y volcánica muy intensa, así como por procesos de erosión muy espectaculares. En este trabajo, se define un marcador morfológico regional llamado Superficie Mera-Upano, que se formó entre 32 000 a. BP y 14 000 a. BP. Este marcador está utilizado para medir tasas de incisión fluvial y de levantamiento tectónico en la zona subandina. Los valores obtenidos son muy altos y pueden ser relacionados a un evento geodinámico mayor como la entrada en subducción de la "Dorsal" oceánica de Carnegie bajo la Cuenca Oriente.

Palabras claves: Ecuador, Cuenca Oriente, incisión fluvial, geomorfología, Superficie Mera-Upano.

⁽¹⁾ IFEA: Institut Français d'Études Andines, Whymper 442 y Coruña, Quito, Ecuador
[^{*} Dirección actual: BRGM - SGR/GUA, Morne Houëlmont, route de l'Observatoire, 97 113 Gourbeyre, Guadeloupe, France (S.BesdeBerc@brgm.fr)].

⁽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)]

[^{***} Dirección actual: PerezCompanc, Suiza 209 y Eloy Alfaro, Quito, Ecuador].

[^{****} Dirección actual: IRD, Quality House Convent, 38 Convent Rd, Silom, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand].

⁽³⁾ LMTG, IRD/CNRS/UPS, 38 rue des 36 ponts, 31400 Toulouse, France.

INTRODUCCIÓN

La zona subandina ecuatoriana, piedemonte de la Cordillera Oriental, está caracterizada por una actividad sísmica y volcánica muy intensa (ver Legrand *et al.* y Barragán *et al.*, en este libro), así como por procesos de erosión muy espectaculares que se manifiestan por deslizamientos de algunos decenas de kilómetros. Esos procesos de erosión muy intensos están corroborados por las medidas de erosión realizadas en la cuenca hidrológica del Napo en el marco del Convenio INHAMI-IRD (ver Laraque *et al.*, en este libro), y por una incisión fluvial muy fuerte en los valles de la zona subandina.

El presente trabajo tiene por objetivo principal el de caracterizar e interpretar la geomorfología de las terrazas aluviales subandinas que se desarrollan al este de los volcanes Sangay y Tungurahua, ambos ubicados en la Cordillera Oriental, cerca del límite con la zona subandina (figs. 1 y 2). La actividad cuaternaria muy fuerte de esos volcanes (Hall & Beate, 1991) ha provocado los colapsos de sus edificios e importantes depósitos de lavas y de lahares que pueden alcanzar volúmenes de decenas de km³. Ambos depósitos fueron la alimentación principal de los conos aluviales del piedemonte de la Cordillera, actualmente sellados por una superficie morfológica regional que hemos bautizado “Superficie Mera-Upano”. Este marcador morfológico regional permite calcular las tasas de incisión de los ríos Pastaza y Upano, así como la tasa de levantamiento tectónico del megacono aluvial del Pastaza.

1. CONTEXTO ESTRUCTURAL DE LA ZONA SUBANDINA

El sistema subandino constituye la parte aflorante de la Cuenca Oriente y permite observar el estilo de las deformaciones recientes. La zona subandina está estructurada por fallas inversas de orientación N-S a NNE-NNW. Las secciones de sísmica de reflexión muestran que esas fallas son generalmente de alto ángulo (ver Rivadeneira & Baby en el capítulo 2), y probablemente de escala cortical. Los marcadores cinemáticos que se observan en los afloramientos, como en los mapas estructurales, evidencian una tectónica transpresiva con movimientos dextrales. La mayoría de esas fallas corresponden a antiguas fallas normales invertidas, que controlaron la sedimentación triásica y jurásica (ver Díaz *et al.*, en este libro).

La morfología subandina conduce a diferenciar, del norte al sur, tres unidades morfo-tectónicas: el Levantamiento Napo, la Depresión Pastaza y la Cordillera del Cutucú (fig. 2).

La Depresión Pastaza está deformada por fallas inversas de basamento que generan anticlinales de propagación a vergencia este (fig. 3). La Cordillera del Cutucú corresponde a una antiforma compleja desarrollada al frente de la Cordillera Oriental (fig. 4) y deformada por la inversión de un rift de edad triásica a jurásica (ver Díaz *et al.* y Legrand *et al.*, en este libro). Entre la Cordillera Oriental y la Cordillera del Cutucú, se desarrolla el valle del Upano donde se acumularon gran parte de los depósitos volcano-clásticos del volcán Sangay.

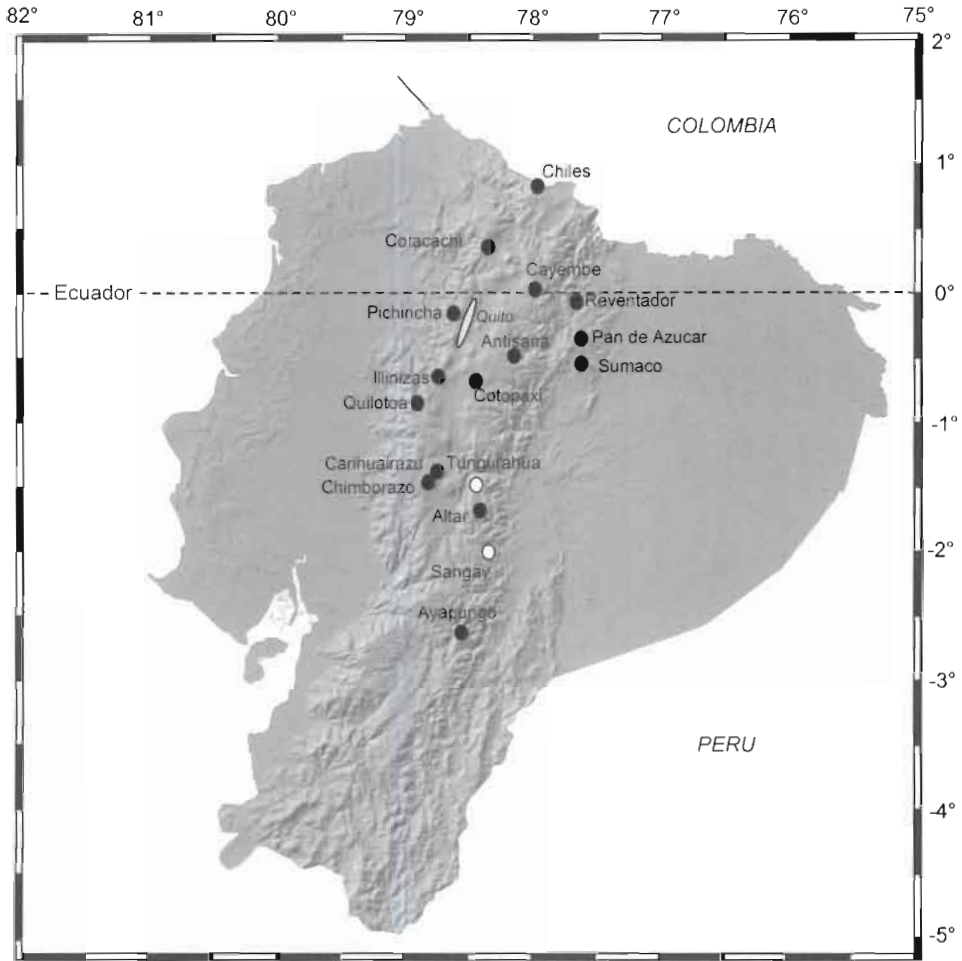


Fig. 1 – Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) y ubicación de los volcanes activos del Ecuador.

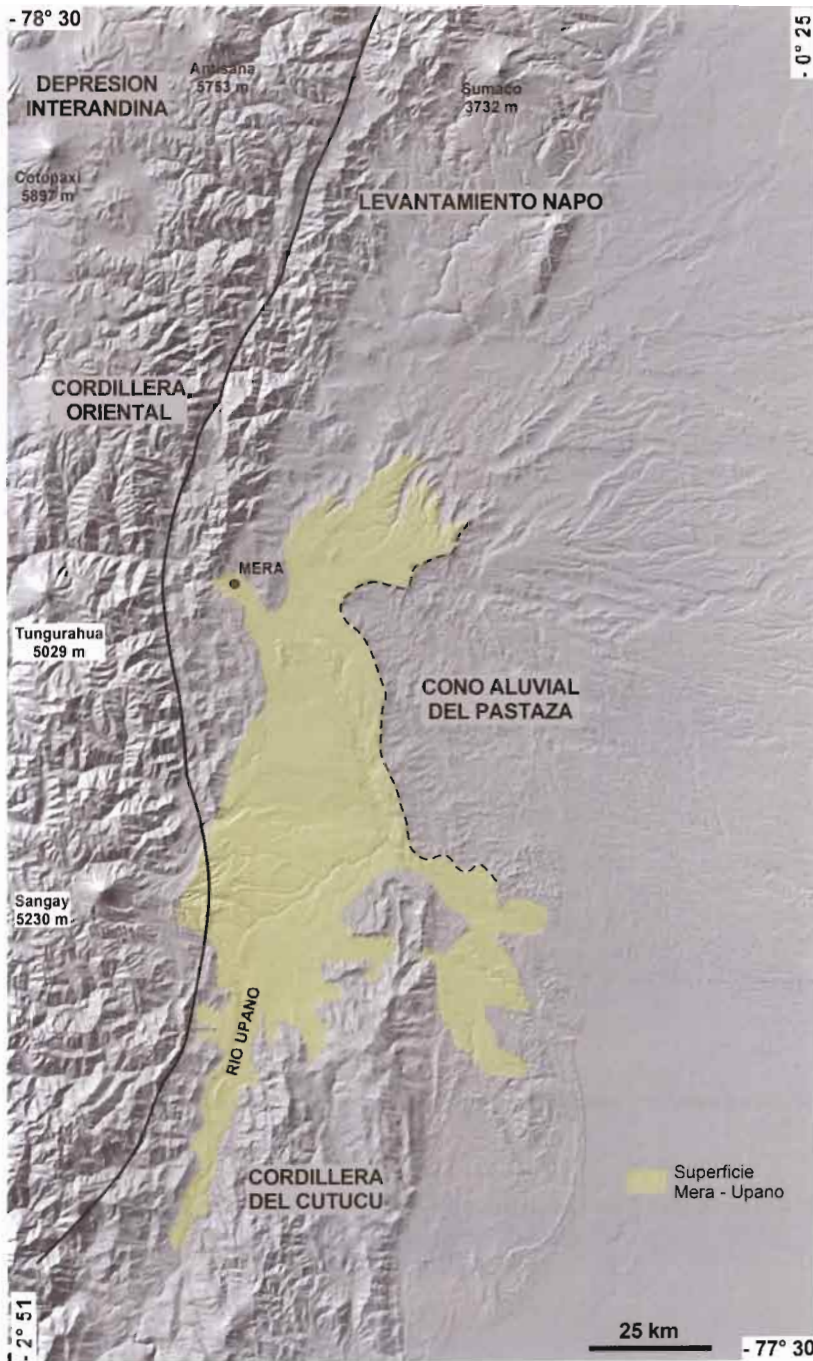


Fig. 2 – Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) de la zona subandina ecuatoriana y ubicación de la Superficie Mera-Upano.

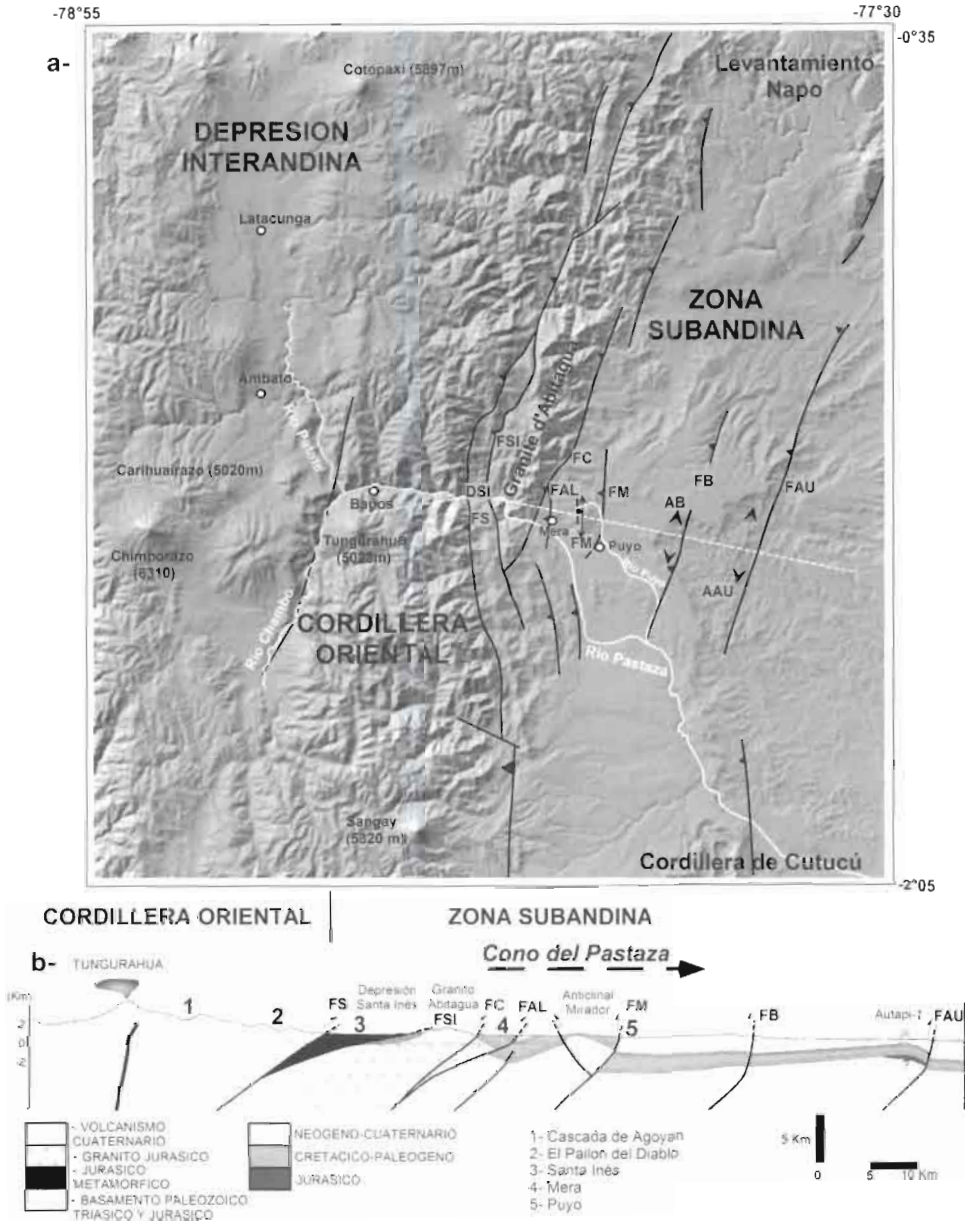


Fig. 3 – a) Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) y ubicación del valle y del cono del Pastaza; b) sección estructural a través del valle y del cono del Pastaza. FAU: falla de corrimiento de Autapi; AAU: anticlinal de Autapi; FB: falla de corrimiento de Bobonaza; AB: anticlinal de Bobonaza; FM: falla de corrimiento del Mirador; AM: anticlinal Mirador; FAL: falla de corrimiento del Alpayacu; FC: falla de corrimiento de Cosanga; FSI: falla de corrimiento de Santa Inés; DSI: Depresión de Santa Inés; FS: falla de corrimiento subandina.

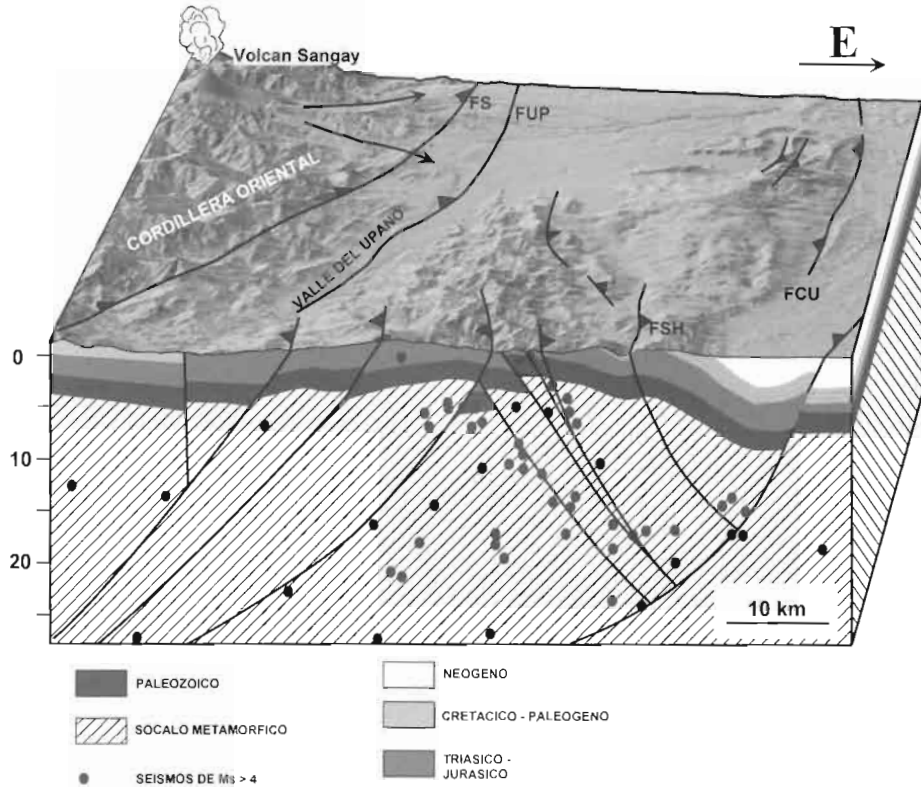


Fig. 4 – Bloque morfo-tectónico 3D de la Cordillera del Cutucú. Los sismos representados son los del experimento de Legrand et al. presentado en este libro (capítulo 1).
FUP: Falla del Upano.

2. UN MARCADOR MORFOLÓGICO REGIONAL: LA SUPERFICIE MERA – UPANO

El estudio de las imágenes satelitales y de modelos numéricos de terreno (Savane©IRD) nos han permitido poner en evidencia una superficie morfológica regional de más o menos 3 000 km² ubicada en la zona subandina, y cubriendo la Depresión Pastaza y el valle del Upano entre la Cordillera Oriental y la Cordillera del Cutucú (fig. 2). Esta superficie está cortada al este por un deslizamiento de más de 70 km de extensión N-S, y de 500 m de altura (figs. 2 y 5), que constituye una barrera morfológica importante entre la zona subandina y la llanura amazónica. Además, la incisión fluvial de la Superficie Mera-Upano por los ríos Pastaza y Upano, que se observa actualmente, puede alcanzar más de cien metros de profundidad (figs. 6 y 7). Como lo muestra la figura 6, esos procesos de erosión siguen muy activos y afectan continuamente las vías de comunicación en el valle del Pastaza.

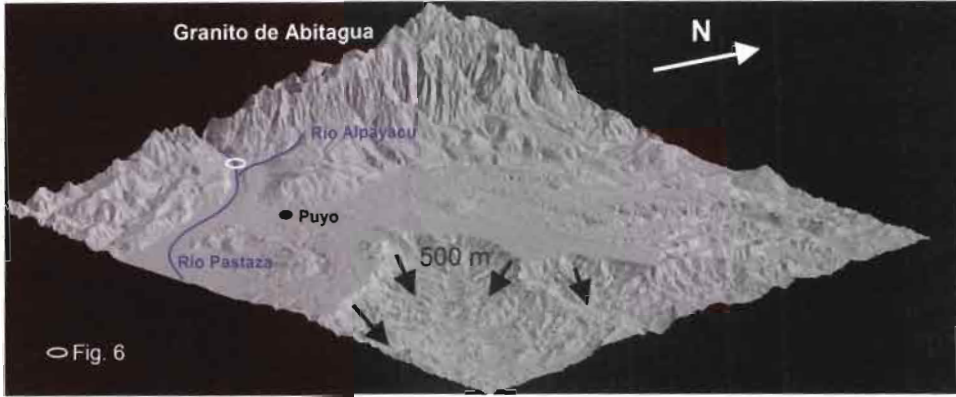


Fig. 5 – Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) del megacono aluvial del Pastaza y de su deslizamiento frontal.

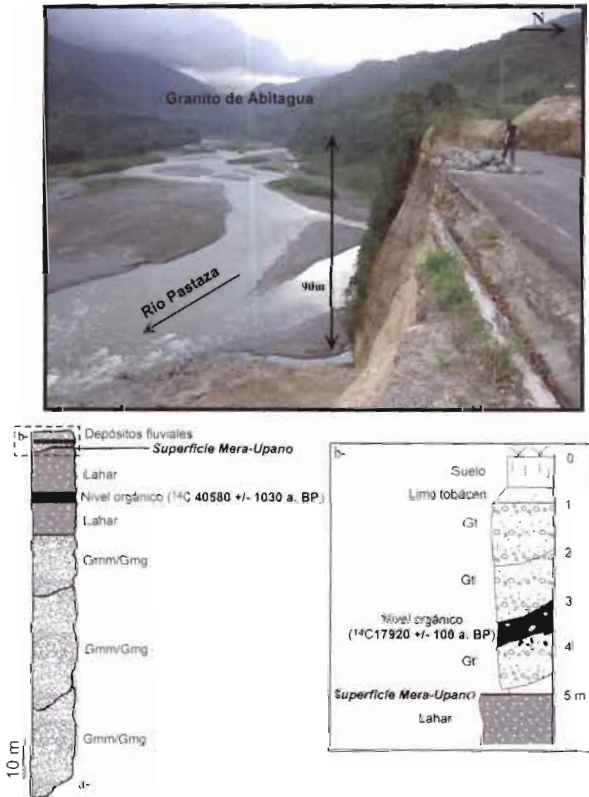


Fig. 6 – Secciones litológicas de la Fm. Mera (a) y de los depósitos aluviales (b) del paleo-río Alpayacu que sellan la superficie Mera-Upano (ubicación en la fig. 5). La foto ilustra el deslizamiento de mayo del 2002 en la carretera Baños-Puyo, que permitió levantar esas secciones. Descripción de facies según la nomenclatura de Miall (1996).

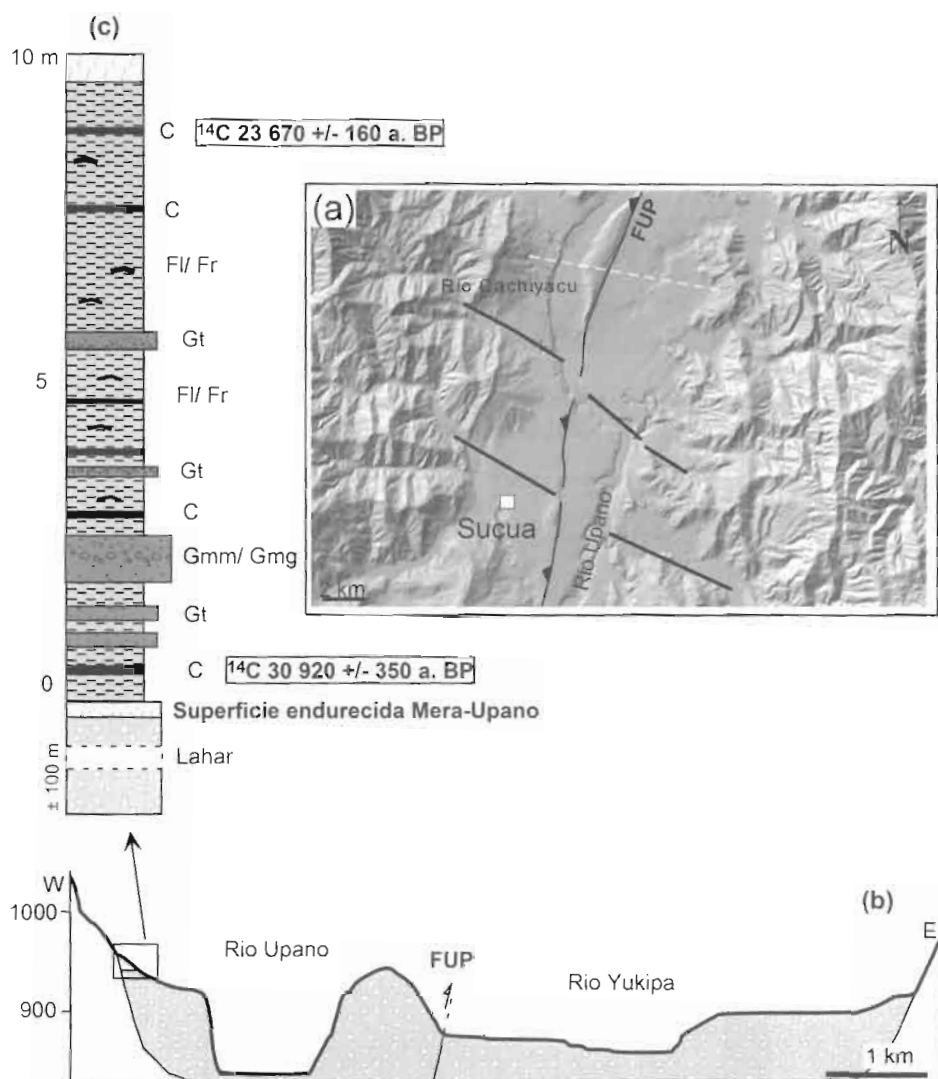


Fig. 7 – a) Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) del valle del Upano; b) sección estructural a través del relleno volcano-sedimentario del valle del Upano; c) sección litológica de los depósitos fluviales que sellan la Superficie Mera-Upano.

FS: Falla de corrimiento subandina; FUP: Falla del Upano; FSH: falla de retro-corrimiento de Shaime; FC: falla de corrimiento del Cutucú. Descripción de facies según la nomenclatura de Miall (1996).

El río Upano y el río Pastaza son los medios de transporte principales de los depósitos aluviales de la zona subandina. La Superficie Mera-Upano se formó encima de los conos aluviales alimentados por esos dos ríos, y en gran parte por los sedimentos volcano-clásticos producidos por los volcanes Tungurahua y Sangay (fig. 8). Esta superficie de extensión regional corresponde a un nivel endurecido oxidado característico de las superficies de erosión sub-aérea llamadas “glacis” en francés. En los topes de los conos aluviales del Pastaza y del Upano, logramos obtener dataciones encima y debajo de esta importante superficie de erosión.

El cono aluvial del Pastaza, que ocupa toda la Depresión Pastaza, al este del granito de Abitagua, y la depresión Santa Inés al oeste, está compuesto por la Formación Mera considerada como de edad pleistocena (Tshopp, 1953). La Formación Mera comprende tres unidades de “debris flow” (conglomerados gruesos con matriz flotante) de un espesor total de 50-80 m, cubiertas por dos niveles de lahar que provienen del volcán Tungurahua (fig. 6). El tope del último nivel de lahar corresponde a la Superficie Mera-Upano. Encima de esta superficie, se encuentran localmente, cerca de la localidad de Mera, depósitos fluviales de 5 m de espesor que contienen principalmente clastos graníticos y que provienen del antiguo cauce del río Alpayacu, tributario del río Pastaza (ver fig. 5). Dentro de esos depósitos fluviales, se ubica un nivel orgánico con troncos de árboles bien conservados, que hicimos datar por ^{14}C en los laboratorios de Beta Analytic (Miami, Florida, USA), y que dio una edad de 17 920 a. +/- 100 BP (Beta-144644). Más abajo, entre los dos niveles de lahar, aparece otro nivel orgánico del mismo tipo que dio una edad ^{14}C de 40 580±1030 a. BP (BETA-169315). Esas dos dataciones nos indican que la Superficie Mera-Upano se formó entre 40 580±1030 a. BP y 17 920 a. +/- 100 BP.

En el valle del Upano, en la espalda de la Cordillera de Cutucú (fig. 2), la Superficie Mera-Upano se desarrolló al tope de depósitos de lahares (fig. 7) que



Fig. 8 – Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) mostrando la proveniencia de los sedimentos de los conos aluviales de la zona subandina ecuatoriana.

proviene de los colapsos sucesivos del volcán Sangay, datados en 260 ka BP y 50 ka BP (Monzier *et al.*, 1999). Calculamos que en el valle del Upano se depositó alrededor de 60 km³ de lahares (Bès de Berc, 2003). La incisión del río Upano es más o menos de 100 m de profundidad, y alcanzó el substrato de los depósitos de lahar que corresponde a la Fm. Napo o la Fm. Hollín de edad cretácica. Localmente sobre la Superficie Mera-Upano, encontramos depósitos fluviales del antiguo cauce del río Upano (fig. 7). Esta serie fluvial de una decena de metros (fig. 7) reveló niveles orgánicos que nos permitieron datar su base en ¹⁴C 30 920 +/- 350 a. BP (Beta-171211) y su tope en ¹⁴C 23 670 +/- 160 a. BP (Beta-171212).

Las dataciones de Mera y del Upano muestran que la Superficie Mera-Upano empezó a formarse antes de 30 920 +/- 350 a. BP, y fue preservada por lo menos hasta 17 920 a. +/- 100 BP. Este periodo corresponde a la última gran glaciación puesta en evidencia por Claperton (1993) entre 32 000 a. BP y 14 000 a. BP. En la cuenca amazónica, fue un periodo de clima frío y seco donde pudo desarrollarse una superficie de erosión o de no depositación tal como la de Mera-Upano.

3. TASAS DE INCISIÓN Y DE LEVANTAMIENTO TECTÓNICO

La Superficie Mera-Upano constituye un excelente marcador morfológico para medir las tasas de incisión de los ríos, y de la deformación vinculada con las recientes fallas de la zona subandina.

3. 1. Las tasas de incisión del río Pastaza

La zona del Pastaza está dividida en cuatro dominios estructurales, donde calculamos tasas de incisión a partir de la superficie regional de Mera-Upano, y de diferentes niveles de terrazas de ablación a orillas del río Pastaza (Bès de Berc, 2003). Esos dominios son del Este al Oeste: la zona de Mera-Puyo, sobre el cono aluvial del Pastaza; el granito de Abitagua; la Depresión de Sta. Inés; y, más al oeste, el Alto Pastaza (fig. 9).

En la zona de Mera-Puyo, la tasa de incisión fue calculada a partir de dos marcadores: la Superficie Mera-Upano (T1), ubicada 90 m arriba del río Pastaza; y la terraza de ablación de Motolo (T2), encontrada en la cantera de Motolo cerca del pueblo de Mera, ubicada 20 m arriba del río Pastaza y datada en ¹⁴C 1 800 +/- 50 a. BP (BETA-168282). Las tasas de incisión calculadas para la zona de Mera-Puyo son de 0,43 cm/año entre 17 920 +/- 100 a. BP y 1 800 +/- 50 a. BP, y de 1,11 cm/año desde 1 800 +/- 50 a. BP.

En el granito de Abitagua, la Formación Mera es condensada (11 m de espesor) y descansa directamente sobre el granito. La Superficie Mera-Upano (T1) está ubicada 156 m arriba del río Pastaza, lo que implica una tasa de incisión de 0,87 cm/año.

En la Depresión de Sta. Inés, además de la Superficie Mera-Upano ubicada alrededor de 135 m arriba del río Pastaza, aparecen varios niveles de terrazas de ablación en la Formación Mera. Una de esas terrazas de ablación está sellada por una colada de lava proveniente del volcán Tungurahua. Esta colada de lava fue cartografiada sobre 30

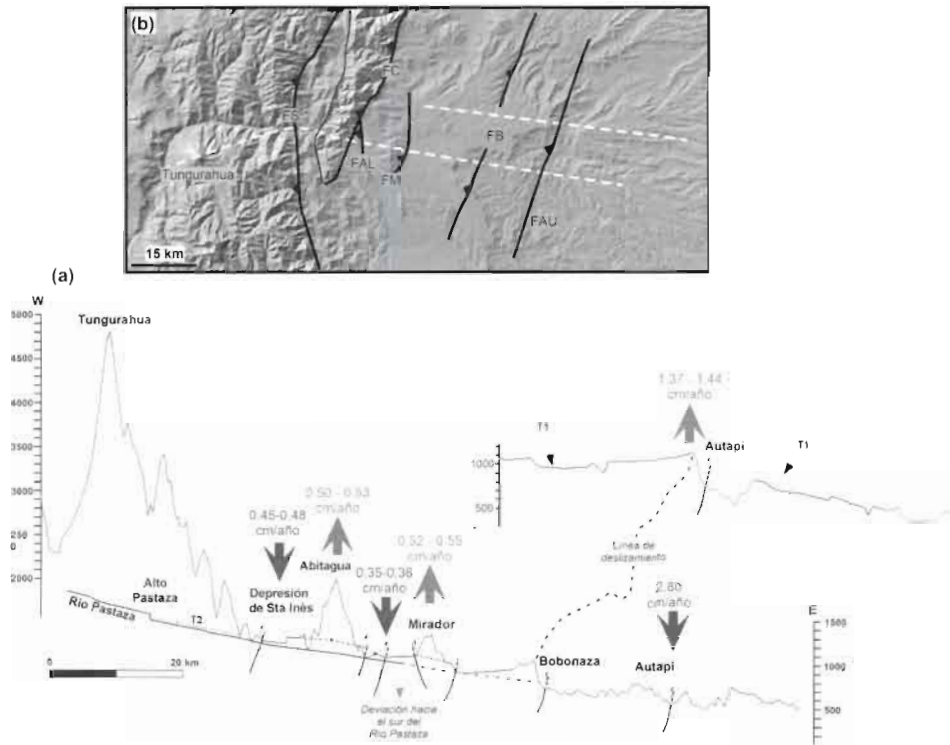


Fig. 9 – Secciones morfo-estructurales a través del valle y del cono aluvial del Pastaza, y valores de tasas de incisión fluvial y de levantamiento tectónico.

km de extensión, desde el pueblo de Baños (al pie del volcán Tungurahua) hasta la Depresión de Sta. Inés. Según Hall *et al.* (1999), esa colada de lava sucede a un flujo piroclástico datado en ^{14}C 2 215 +/- 90 a. BP y está cubierta por cenizas volcánicas datadas en ^{14}C 1 470 +/- 85 a. BP. En la Depresión de Sta. Inés, a partir de la Superficie Mera-Upano y de la terraza sellada por las lavas, calculamos tasas de incisión de 0,54-0,57 cm/año entre 2215 y 1470 a. BP, y de 0,87-2,5 cm/año entre 2 215 y 1470 a. BP.

Las tasas de incisión calculadas a lo largo del Río Pastaza, entre 17 920 a. BP y el Presente, están resumidas en la sección de la figura 9. Esas tasas no son constantes de una unidad estructural a la otra, y están aparentemente vinculadas a las diferentes fallas de corrimiento de la zona subandina. Globalmente, las tasas de incisión aumentan en el tiempo del Pleistoceno al Presente.

3. 2. Las tasas de incisión del río Upano

La Superficie Mera-Upano (T1) nos permitió también calcular la tasa de incisión del río Upano. La incisión de T1 empezó después de los últimos depósitos fluviales datados en 23 670 a. BP, que encontramos sobre la superficie (fig. 7). Calculamos en este

lugar, por un espesor de 110 m de lahares y de depósitos fluviales, una tasa de incisión hasta el Presente de 0,46 cm/año.

3. 3. Las tasas de levantamiento tectónico en el megacono del Pastaza

El marcador morfológico Mera-Upano, que se extiende desde la Depresión Sta. Inés hasta la llanura amazónica, está bastante deformado. Esta superficie aparece en la figura 9a cortada y basculada por las diferentes fallas subandinas. Se calculó el rechazo vertical de las principales fallas inversas a partir de este marcador. Asumiendo que la Superficie Mera-Upano no fue afectada por incisión y por levantamiento tectónico hasta 17 920 a. BP (ver más arriba), calculamos tasas de levantamiento del mismo orden que las tasas de incisión (ver fig. 9a). La tasa de levantamiento más fuerte se encuentra en las fallas de corrimiento subandinas frontales (fallas de Bobonaza y de Autapi) donde alcanza más de un centímetro por año. El deslizamiento de 500 m de altura que afecta el frente del megacono aluvial del Pastaza (fig. 5) está vinculado al importante rechazo de esas dos fallas de corrimiento frontales.

4. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

En el Pleistoceno medio y superior, se depositan en la Depresión Pastaza y en el valle del Upano lahares que provienen de la actividad de los volcanes Tungurahua y Sangay (fig. 10a). Esos lahares constituyen la parte superior de la Formación Mera del megacono aluvial del Pastaza. Los lahares del valle del Upano resultan de dos colapsos sucesivos del edificio del volcán Sangay en 260 y 50 ka BP.

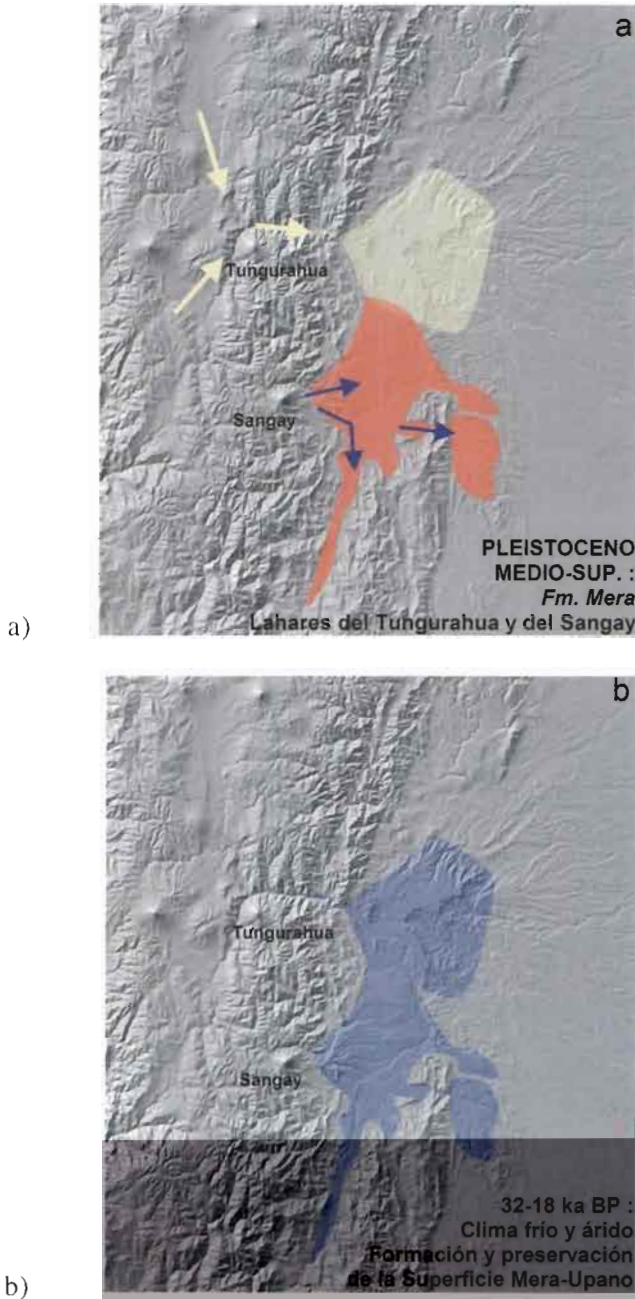
Entre 32 y 18 ka BP, la última gran glaciación se traduce en la cuenca amazónica por un clima frío y seco responsable de la formación y de la preservación de la Superficie Mera-Upano (fig. 10b). Aparentemente, durante este periodo, no hubo actividad tectónica y tampoco incisión fluvial.

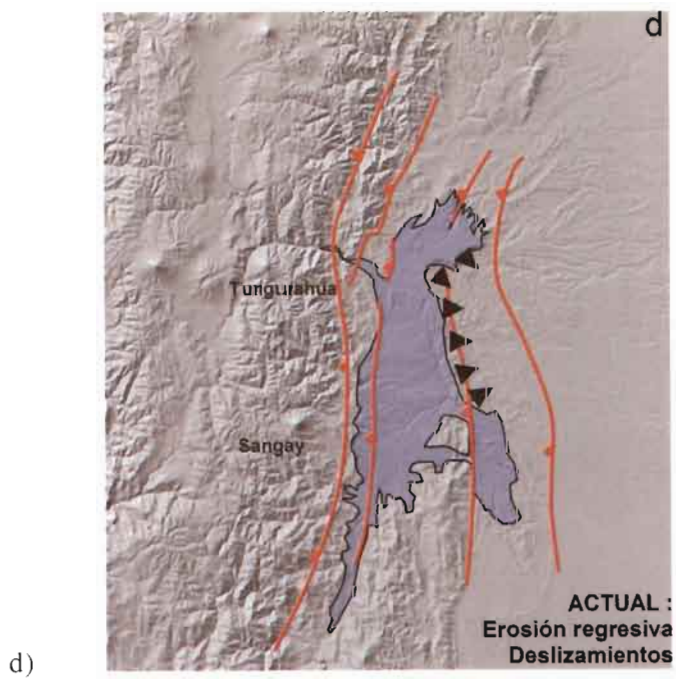
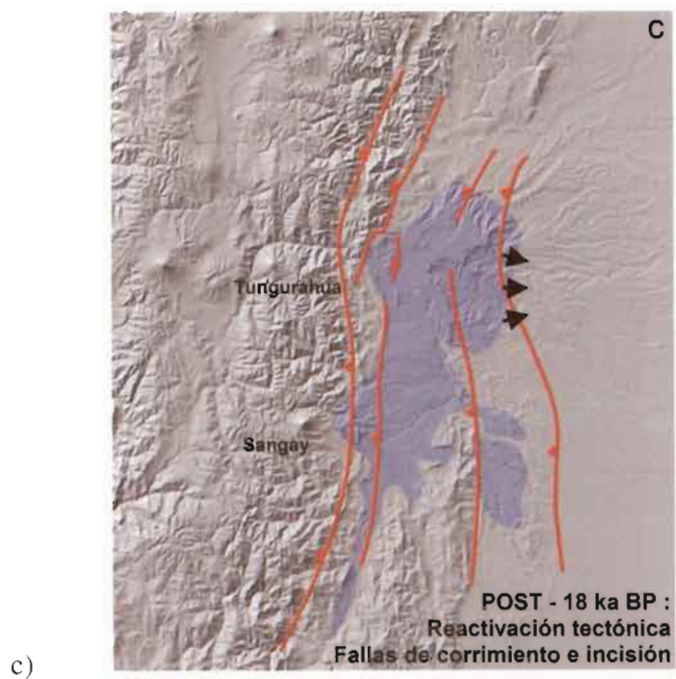
Después de 18 ka BP (edad de los depósitos fluviales más jóvenes encontrados encima de la Superficie Mera-Upano), comienza la incisión fluvial de la Superficie Mera-Upano por los ríos Pastaza y Upano (fig. 10c). Esta incisión está ligada a la actividad tectónica de la zona subandina y a la propagación de fallas de corrimientos que corten y deforman la Superficie Mera-Upano.

Actualmente (fig. 10d), el megacono aluvial del Pastaza está afectado por un proceso de erosión regresiva espectacular, que se traduce por un deslizamiento de 500 m de altura que separa la zona subandina de la llanura amazónica. Este deslizamiento está ubicado a lo largo de las fallas de corrimiento frontales de la zona subandina, cuya tasa de levantamiento es estimada a más de 1 cm/año. Esta importante actividad tectónica está corroborada por la fuerte actividad sísmica y volcánica que caracteriza la zona subandina ecuatoriana (ver Legrand *et al.* y Barragán *et al.*, en este libro). La propagación de las fallas de corrimiento modificó considerablemente la red hidrográfica de la región del Pastaza y del Upano.

Aparentemente, la Superficie Mera-Upano y las fuertes tasas de incisión fluvial y de levantamiento tectónico que la caracterizan, están restringidas a la zona subandina

Fig. 10 – Los diferentes estados de evolución de la zona subandina ecuatoriana y de la Superficie Mera-Upano desde el Pleistoceno: a) Pleistoceno medio-superior; b) entre 32 y 18 ka. BP; c) desde 18 ka. BP; d) actualmente.





ecuatorialiana. Desaparecen al sur (en Perú) y al norte (en Colombia). La morfología de la zona subandina ecuatorialiana y su fuerte actividad tectónica pueden ser interpretadas como el resultado de un evento geodinámico mayor tal como la subducción de la "Dorsal" oceánica de Carnegie, cuyos efectos pueden aparecer en la cuenca amazónica a partir del Pleistoceno.

Referencias citadas

- BÈS DE BERC S., 2003 - Tectonique de chevauchement, surrection et incision fluviale (exemple de la zone subandine équatorienne, haut bassin amazonien). *PhD Thesis*, University of Toulouse, 181 p.
- CLAPPERTON C., 1993 - Quaternary Geology and Geomorphology of South America. Elsevier, Amsterdam, 779 p.
- HALL M. & BEATE B., 1991 - El volcanismo Plio-Cuaternario en los Andes del Ecuador. *Estudios de Geografía*, 4: 5-38.
- HALL M.L., ROBIN C., BEATE B., MOTHES P. & MONZIER M., 1999 - Tungurahua Volcano, Ecuador: structure, eruptive history and hazards. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 91: 1-21.
- MIALL A. D., 1996 - The Geology of fluvial deposits, sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Blackwell Science, London, 582 p.
- MONZIER M., ROBIN C., SAMANIEGO P., HALL M. L., COTTON J., MOTHES P. & ARNAUD N., 1999 - Sangay Volcano, Ecuador; structural development, present activity and petrology. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 90: 49-79.
- TSCHOPP H.J., 1953 - Oil explorations in the Oriente of Ecuador. *A.A.P.G. bull.*, 37: 2303-2347.



LA CUENCA ORIENTE: GEOLOGÍA Y PETRÓLEO

Patrice Baby

Marco Rivadeneira

Roberto Barragán

(Editores científicos)



IFEA

IRD

INSTITUT FRANÇAIS DE 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>	

