

Correlación y geocronología Ar-Ar del basamento Cretácico y el relleno sedimentario Eoceno superior - Mioceno (Aquitaniense inferior) de la cuenca de antearco de Tumaco, SW de Colombia

Sebastián Echeverri^{1,2,*}, Agustín Cardona³, Andrés Pardo-Trujillo¹, Carlos Borrero¹, Sebastián Rosero¹ y Sergio López⁴

¹ Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES, Universidad de Caldas, Calle 65 No. 26-10, Manizales, Colombia.

² Instituto de Energía e Ambiente-IEE; Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto 1289, Laboratorio de Termocronología, São Paulo, Brasil.

³ Escuela de Procesos y Energía, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Carrera 80 No 65 - 223. Medellín, Colombia.

⁴ Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH, Avenida Calle 26 No. 59 - 65 Piso 2. Bogotá, Colombia.

* juansebasecheverri@gmail.com; sebastian.echeverri@usp.br

RESUMEN

El registro geológico de los Andes del Norte incluye una serie de bloques alóctonos de origen oceánico que fueron acrecionados a la margen continental durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico. Un segmento del antearco del suroccidente colombiano presenta un extenso registro estratigráfico del intervalo Cretácico Superior - Mioceno inferior cuyas características han sido reconstruidas a partir de líneas sísmicas, pozos de exploración petrolera y algunas exposiciones superficiales. Nuevos resultados de geocronología Ar-Ar, integrados con los registros de sondeo en el pozo Remolinogrande-1 indican la presencia de por lo menos 1051 m de basamento volcano-sedimentario caracterizado por rocas de afinidad basáltica y lodolitas con edades Ar-Ar entre 82 y 76 Ma. Las edades de estas rocas se pueden correlacionar con las de la Isla Gorgona, localizada inmediatamente al norte y en la misma tendencia estructural, y sugieren una historia magmática de larga duración e independiente de los bloques alóctonos también Cretácicos que conforman la Cordillera Occidental. El incremento de rocas volcánicas y la presencia de rocas gabróicas es afín con un posible ambiente de arco volcánico que experimentó un incremento en el flujo magmático a ca. 82 Ma. Este basamento es suprayacido discordantemente por lodolitas, limolitas y arenitas lodosas de la formación Lutitas de Remolinogrande (unidad propuesta), de edad Eoceno superior - Mioceno inferior basal, que limitan la acreción de este bloque asociado a un arco magmático Paleógeno construido sobre el sustrato volcánico Cretácico. Este segmento podría representar la porción suroccidental de la placa del Caribe asociada al istmo de Panamá o un elemento oceánico independiente acrecionado a la margen continental de los Andes del Norte en el Eoceno tardío.

Palabras clave: pozos; basamento; geocronología; cuenca Tumaco; Cordillera Occidental; Andes, Colombia.

ABSTRACT

The geological record of the Northern Andes includes a series of allochthonous blocks of oceanic origin that were accreted to the continental

margin during the late Cretaceous and Cenozoic. A forearc segment from southwestern Colombia contains an extensive Upper Cretaceous to lower Miocene stratigraphic record, which has been characterized using seismic lines, oil exploration wells and scarce surface outcrops. New Ar-Ar geochronological data, integrated with the Remolinogrande-1 well logs indicate the presence of at least 1051 m of a volcano-sedimentary basement characterized by basaltic rocks and mudstones with Ar-Ar ages that range between 82 and 76 Ma. These ages can be correlated with Ar-Ar ages from Gorgona Island, which is localized to the north and lies within the same structural trend, and suggest a long magmatic history independent from the Cretaceous allochthonous blocks that form the Western Cordillera. The increase in volcanic rocks and the presence of gabbroic rocks suggests a volcanic arc setting that experimented and increment in the magmatic flux at ca. 82 Ma. These basement rocks are unconformably overlain by mudstones, siltstones and muddy sandstones of the Lutitas de Remolinogrande formation (proposed unit), of upper Eocene - base of lower Miocene. These sedimentary rocks constrain the age of the accretion of this block, correlated with a Paleogene magmatic arc built over Cretaceous volcanic substratum. This segment could represent the southwestern portion of the Caribbean plate, associated with the Panama Isthmus, or an independent oceanic element accreted to the Northern Andes continental margin during the late Eocene.

Key words: wells; basement; geochronology; Tumaco basin; Cordillera Occidental; Andes, Colombia.

INTRODUCCIÓN

A partir de análisis geoquímicos y geocronológicos locales y modelos tectónicos regionales, que incluyen el segmento occidental de los Andes del Norte en Colombia y Ecuador, se ha interpretado a las rocas volcánicas y plutónicas de composición básica de las cordilleras occidentales y la región del Pacífico como formadas en ambientes de plateau y/o arco oceánico en una posición alóctona en el Pacífico, que estaría asociada a las márgenes de la placa del Caribe que migraría a lo largo del Cretácico Superior-Paleógeno de esa posición hasta ocu-

par su posición actual (Echeverría y Aitken, 1986; Lebras et al., 1987; Pindell et al., 1988, 2005; Spadea y Espinosa, 1996; Toussaint, 1996; Kerr et al., 1997; Sinton et al., 1998; Reynaud et al., 1999; Révillon et al., 2000; Villagómez et al., 2011; Serrano et al., 2011; Rodríguez y Zapata, 2013). Algunos de estos elementos oceánicos habrían colisionado con el margen continental de Suramérica desde el Cretácico Tardío hasta el Mioceno (Toussaint, 1996; Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003; Farris et al., 2011; Villagómez y Spikings, 2013), contribuyendo así a la formación de la cadena Andina del Norte (Kennan y Pindell, 2009; Gómez et al., 2005; Vallejo et al., 2006; Bayona et al., 2012; Villagómez et al., 2011).

Si bien estos modelos tienen una coherencia regional, los análisis geocronológicos son limitados en extensos segmentos de la Cordillera Occidental y la región del Pacífico colombiano (p. ej., Echeverría y

Aitken, 1986; Kerr et al., 1997; Révillon et al., 2000; Serrano et al., 2011; Villagómez et al., 2011), y los análisis sistemáticos en algunas regiones han sugerido que la historia magmática es más extensa, posiblemente incluyendo varios episodios magmáticos (Serrano et al., 2011) probablemente superpuestos antes de la acreción al continente, lo cual sugiere por lo tanto que la evolución geológica de estos bloques oceánicos es más compleja.

En esta contribución se presentan nuevos datos estratigráficos, petrográficos y de geocronología Ar-Ar para rocas volcánicas y sedimentarias del pozo exploratorio Remolinogrande-1, localizado en el alto estructural de Remolinogrande - Gorgona, hacia el segmento sur de la cuenca del antearco andino de Tumaco en el Pacífico colombiano y al norte del municipio del mismo nombre (Figura 1). Los nuevos datos geocronológicos obtenidos en rocas volcánicas del basamento

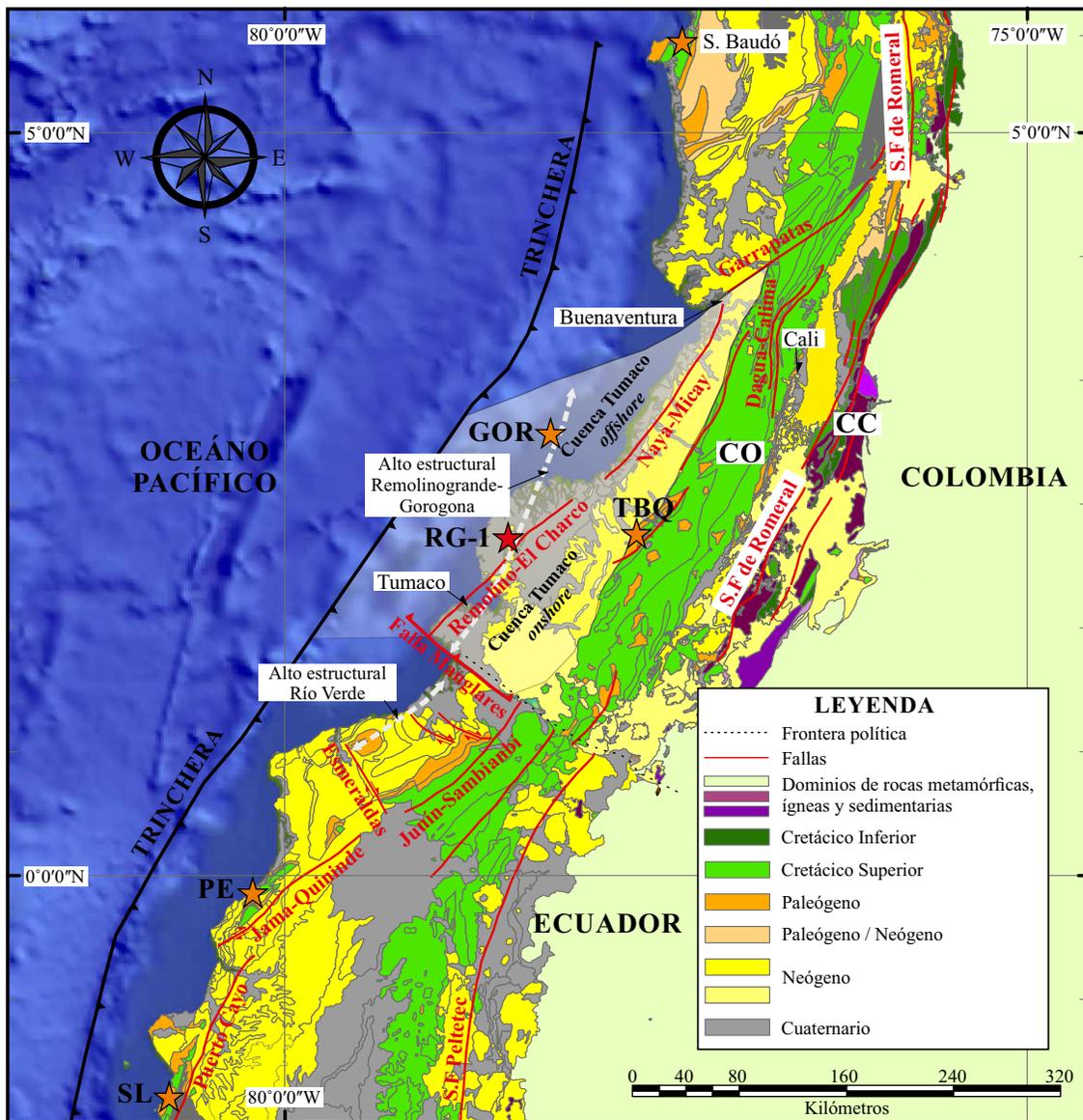


Figura 1. Mapa geológico del W de Colombia y el NW de Ecuador (modificado de Longo y Baldock, 1982; Gómez et al., 2007). El área transparente de color gris corresponde a la cuenca Tumaco, de acuerdo con los límites oficiales propuestos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos en Barrero et al. (2007); adicionalmente se resaltan los altos estructurales de Río Verde y Remolinogrande - Gorgona donde se localiza con una estrella roja la sección presentada en este trabajo y con estrellas de color naranja las secciones reportadas en la literatura. SL: San Lorenzo; PE: Pedernales-Esmeraldas; RG-1: Remolinogrande-1; GOR: Gorgona; TBQ: Timbiquí; CO: Cordillera Occidental; CC: Cordillera Central.

indican la existencia de una historia magmática caracterizada por varios pulsos volcánicos de composición basáltica, cuyo registro de erupción se extiende entre 82.9 Ma y 76.2 Ma. Este vulcanismo puede ser correlacionado con las edades obtenidas en la Isla Gorgona e indica la existencia de un bloque máfico coherente en el Pacífico colombiano con una extensa historia magmática (Serrano *et al.*, 2011). Suprayaciendo discordantemente a las rocas del basamento se presenta una potente cobertera sedimentaria cenozoica, que registra la evolución geológica de la cuenca de antearco de Tumaco. Esta inició probablemente desde el Eoceno y puede ser caracterizada mediante pozos exploratorios.

Al comparar los nuevos datos obtenidos para rocas del basamento de la cuenca de antearco de Tumaco con el expuesto en la Cordillera Occidental y con las secuencias sedimentarias que lo cubren, es posible confirmar que este bloque tuvo su acreción a la margen continental antes del Eoceno tardío, de manera independiente al núcleo de la Cordillera Occidental.

MARCO GEOLÓGICO

Los Andes del Norte tienen como característica fundamental la presencia de terrenos máficos volcánicos con sedimentos asociados, formados en ambientes oceánicos, los cuales fueron acrecionados a la margen continental desde el Cretácico Tardío controlando así parte del desarrollo de la cadena Andina (Gansser, 1973; Toussaint, 1996; Kerr *et al.*, 1997; Cediel *et al.*, 2003; Kennan y Pindell, 2009).

Algunas exposiciones de este sustrato Cretácico en el suroccidente colombiano y noroccidente ecuatoriano han sido caracterizadas en los últimos años composicional y temporalmente como parte de una serie de remanentes de corteza oceánica de edad Cretácico Superior con edades entre *ca.* 100 Ma y 70 Ma formadas en ambientes de plateau y arco oceánico (Daly, 1989; Spadea y Espinosa, 1996; Toussaint, 1996; Nivia *et al.*, 1996; Kerr *et al.*, 1997 y 2002; Kerr y Tarney, 2005; Mamberti *et al.*, 2003; Luzieux *et al.*, 2006; Vallejo *et al.*, 2006; Jaillard *et al.*, 2009; Villagómez *et al.*, 2011; Serrano *et al.*, 2011) y correlacionables con el Plateau Oceánico Colombia - Caribe (CCOP, *sensu* Kerr *et al.*, 2002), los cuales son considerados como parte de la placa oceánica del Caribe que habría sido acrecionada a la placa Sudamericana desde el Cretácico Tardío a medida que esta placa migraba desde una posición suroriental en el Pacífico (Burke, 1988; Pindell *et al.*, 1988, 2005; Pindell y Kennan, 2009).

Estas rocas se encuentran al occidente del sistema de fallas de Peltepec-Romeral o sutura Romeral, estructura regional que las separa de los terrenos con rocas metamórficas Pre-Triásicas y granitoides Jurásicos, y registra aparentemente una acreción de edad Cretácica Tardía a la margen continental y una serie de episodios de reactivación tectónica (Villagomez *et al.*, 2011).

La cuenca de antearco de Tumaco en el Pacífico suroccidental colombiano (Figura 1), comenzó su historia en la margen continental desde el Eoceno tardío y su relleno sedimentario se depositó sobre un sustrato oceánico poco conocido que podría ser semejante a los terrenos volcánicos cretácicos expuestos en la Cordillera Occidental y en la Isla Gorgona (Cediel *et al.*, 2003; Gómez *et al.*, 2007).

Los límites de la cuenca están definidos hacia el norte por el sistema de fallas de Garrapatas, hacia el oriente por el piedemonte occidental de la Cordillera Occidental, hacia el occidente por la pared interna de la trinchera Colombia - Ecuador y hacia el sur por el borde Ecuatoriano (Figura 1); sin embargo, varios autores (*p. ej.*, Evans y Whittaker, 1982; Bueno-Salazar, 1989; Escovar *et al.*, 1992; López *et al.*, 2008; Marcaillou y Collot, 2008) han sugerido una continuación estratigráfica del sistema de cuencas de antearco colombianas con la cuenca Borbón en el NW de Ecuador. Esta cuenca presenta un sector costa adentro (*onshore*) y

uno costa afuera (*offshore*), controlados por la segmentación generada por la formación de los altos estructurales de Río Verde en la cuenca Borbón (NW de Ecuador) y Remolinogrande - Gorgona en la cuenca Tumaco (SW de Colombia) a partir del Neógeno (López *et al.*, 2008). La génesis precisa de estas estructuras asociadas al proceso de subducción es controvertida, y podría estar relacionada con estructuras en dúplex por apilamiento tectónico (Marcaillou y Collot, 2008; López *et al.*, 2008; Escovar *et al.*, 1992), o altos de basamento limitados por fallas normales (Suárez-Rodríguez, 2007; Cediel *et al.*, 2010).

MUESTREO Y MÉTODOS

La estratigrafía de la cuenca de antearco de Tumaco ha sido poco estudiada debido a las escasas exposiciones presentes en esta área, estando limitada a algunos pozos exploratorios o al análisis de líneas sísmicas (*p. ej.*, Suárez-Rodríguez, 2007; López *et al.*, 2008; Cediel *et al.*, 2010; Marín-Cerón y Sierra, 2011). En este estudio presentamos la descripción macroscópica y petrográfica de muestras de zanja del pozo exploratorio Remolinogrande-1 (Figura 2), las cuales reposan en la Litoteca Nacional (Agencia Nacional de Hidrocarburos, Piedecuesta - Santander, Colombia). Hasta el momento, este pozo representa la sección estratigráfica más completa para caracterizar el intervalo Cretácico Superior - Oligoceno, que incluye el basamento de la cuenca de antearco de Tumaco. Adicionalmente, fue utilizada la información de registros de pozo (rayos gamma, potencial espontáneo resistividad, densidad; Schlumberger, 1981) para calibrar y correlacionar las litologías presentes.

La caracterización petrográfica se hizo a partir de muestras de zanja húmeda (*cuttings*), previamente lavadas y secadas a temperatura ambiente, posteriormente se realizó un cuarteo, extracción de las fracciones mayores a 2 mm, y finalmente se hizo un montaje de la fracción fina con bálsamo de Canadá. Los datos obtenidos fueron integrados con los de muestras de núcleos de pared (*sidewall cores*) obtenidos por Robertson Research (1981). Un resumen de las características petrográficas de las muestras se presenta en la Tabla S1 del suplemento electrónico.

Para análisis de geocronología Ar-Ar fueron seleccionados fragmentos homogéneos de rocas volcánicas con texturas afaníticas, a partir de muestras de zanja húmeda del pozo Remolinogrande-1 (Figura 2). Las muestras corresponden a los códigos: YK-87, YK-88 y YK-89. Los granos fueron lavados con ultrasonido y para cada intervalo se realizó una selección (*hand picking*) grano a grano de fragmentos volcánicos.

Los análisis de geocronología por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de fusión por etapas fueron realizados en el Laboratorio Actlab, Canadá. Las muestras fueron envueltas en papel de aluminio y fueron cargados en un capsula (vial) sellada de cuarzo con sales de K y Ca y láminas de biotita LP-6 intercaladas con las muestras para ser usadas como monitor de flujo. La muestra fue irradiada en un reactor nuclear por cuarenta y ocho horas. Los monitores de flujo fueron puestos entre cada dos muestras, lo que permite la detección precisa de los gradientes de flujo dentro del tubo. Después se corrieron los monitores de flujo y los valores *J* fueron calculados para cada muestra, usando el gradiente de flujo ya medido. La biotita LP-6 tiene una edad asumida de 128.1 Ma. Los separados fueron fundidos por etapas, incrementando la intensidad de un láser de CO₂ de 10 W (New Wave Research MIR10). La composición isotópica de Ar fue medida en un espectrómetro de masas estático *Micromass* 5400 equipado con un contador de iones con multiplicador de electrones. Todos los análisis fueron corregidos teniendo en cuenta el blanco total del sistema, la sensibilidad del espectrómetro de masas, discriminación de masas y las constantes de decaimiento. Para estos análisis consideramos como edad de meseta (*plateau*) con significado

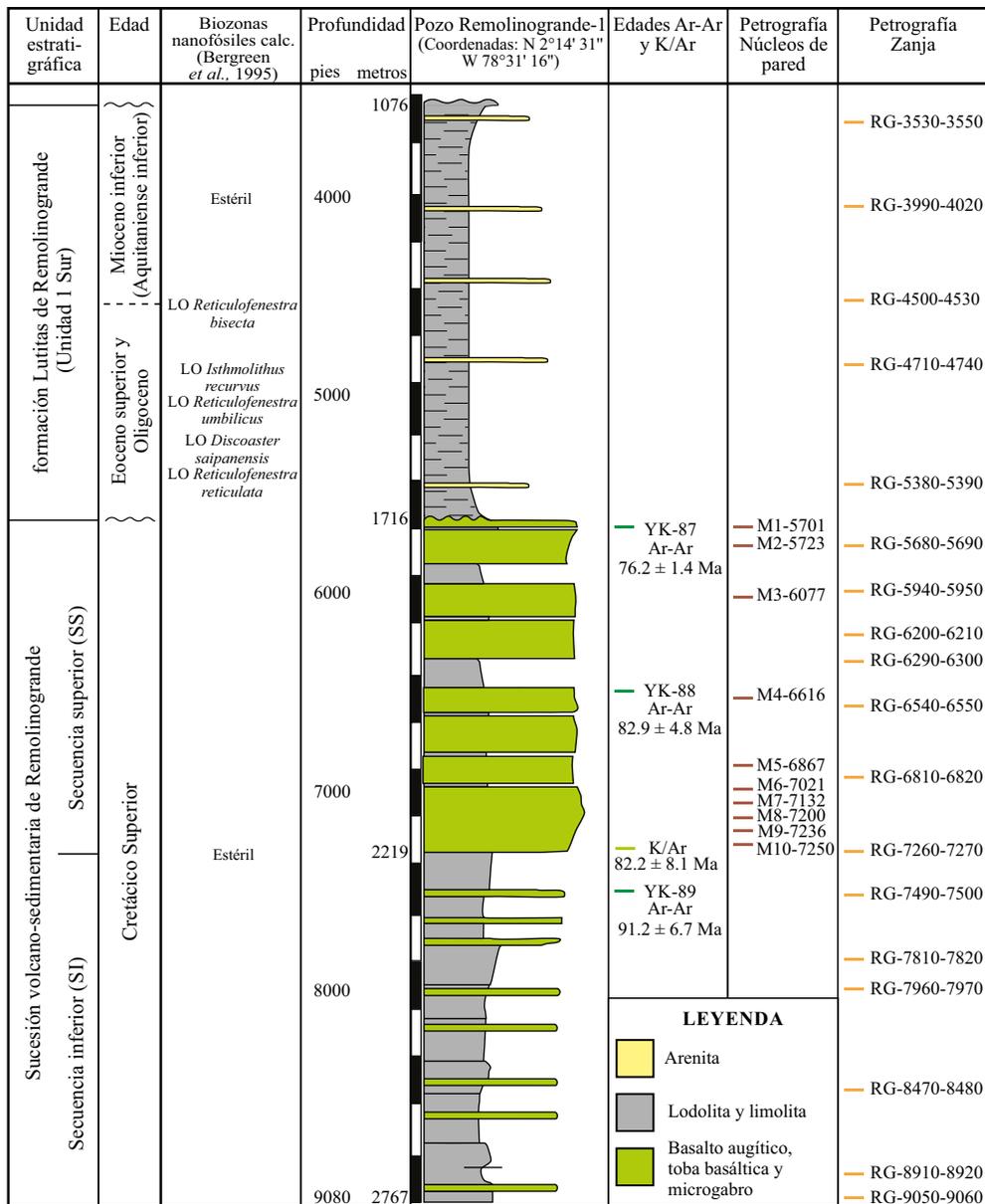


Figura 2. Columna estratigráfica de la sucesión volcano-sedimentaria de Remolinogrande-1 y la formación Lutitas de Remolinogrande-1 en el pozo del mismo nombre. Se localizan las tres edades Ar/Ar y las secciones petrográficas de muestras de zanja obtenidas en este estudio, junto con la edad K/Ar y las secciones petrográficas de núcleos de pared reportadas por Robertson Research (1981). Las edades propuestas están fundamentadas en estudios de nanofósiles calcáreos (Robertson Research, 1981; ANH-Universidad de Caldas, 2011). LO: última ocurrencia (*last occurrence*).

aquella que incluye más del 50% del gas ³⁹Ar liberado en al menos tres etapas sucesivas de desgasificación y aquella en la cual la edad integrada se sobrepone dentro del error a la edad de meseta.

RESULTADOS

Estratigrafía

Sucesión volcano-sedimentaria de Remolinogrande (Cretácico Superior)

El basamento de la cuenca de antearco de Tumaco, denominado informalmente como *Tumaco block basement* por Borrero et al. (2012) es dividido en dos secuencias; una secuencia inferior SI compuesta por

limolitas y arenitas con intercalaciones basálticas de poco espesor, y una secuencia superior SS constituida por lavas basálticas y silos gabróticos.

En este trabajo, proponemos emplear el término sucesión volcano-sedimentaria de Remolinogrande para las rocas del basamento de la cuenca de antearco de Tumaco, presentes en el pozo del mismo nombre. La caracterización de las secuencias propuestas por Borrero et al. (2012), a partir del análisis de muestras de zanja, núcleos de pared y registros de pozo, se presenta a continuación: La secuencia inferior SI comprende el intervalo 2225 – 2767.5 m y está conformada por una sucesión volcano-sedimentaria marina, con niveles de lodolita terrígena y limolita intercaladas con basalto, toba basáltica y microgabro (Figura 2). Se pudo identificar en los ripios, material orgánico carbonizado, escasos foraminíferos y restos de conchas sin diferenciar. La secuencia

superior SS, comprende el intervalo 1717.8 – 2225 m y está compuesta principalmente por conjuntos de basalto, toba y microgabro, con espesores variables de centímetros a decenas de metros, e intercalaciones menores de niveles delgados de lodolita y lodolita arenosa (Figura 2).

Los registros de pozo (p. ej., rayos gamma, densidad, resistividad) muestran un marcado contraste en el contacto entre las rocas del Cretácico Superior del basamento y el suprayacente relleno sedimentario de edad Eoceno superior - Oligoceno. Los valores de densidad de las rocas, obtenidos a partir del registro de densidad (*bulk density*), están en el rango de 2.6 a 2.85 g/cm³ (Schlumberger, 1981), los cuales son directamente correlacionables con los valores de densidad del microgabro y el basalto (EduMine, 2014). Además, se observan cambios en los valores de densidad con rango de 2.1 a 2.6 g/cm³ (Schlumberger, 1981), que podrían corresponder a intercalaciones de lodolita, limolita y lodolita arenosa.

La caracterización petrográfica muestra un dominio de rocas volcánicas constituidas por basalto piroxénico con olivino, interstratificadas con niveles de toba de cristales y vidrio, y toba de líticos y cristales de composición basáltica. La textura del basalto es vitrocrystalina y holocrystalina, afanítica y menos frecuente porfirítica, con texturas especiales traquitoide, variolítica, subofítica y poikilítica (Figuras 3a y 3b). Los cristales, con tamaños de fino a medio, están constituidos principalmente por clinopiroxeno (augita) y plagioclasa

cálcica, en menor proporción se observa olivino serpentizado y esfena. Las tobas son vitrocrystalinas con vidrio devitrificado y cristales angulares, rotos, de tamaño fino a medio, y tobas de líticos, vidrio y cristales, con líticos subredondeados y cristales angulares, soldados por una matriz vítrea (Figuras 3c, 3d y 4a). La composición es basáltica, y los líticos volcánicos presentes corresponden a basalto con texturas vitrocrystalina porfirítica, traquitoide y variolítica. Los microgabros corresponden petrográficamente a rocas holocrystalinas faneríticas equigranulares de grano fino a medio con textura poikilítica, ofítica y subofítica; están compuestos por plagioclasa y clinopiroxeno como constituyentes principales, y olivino y esfena como accesorios (Figuras 4b y 4c). En general, todas las litologías presentan evidencia de saussuritización, cloritización, calcitización y zeolitización, como procesos de alteración sobreimpuestos.

Robertson Research (1981) realizó una datación K/Ar (roca total) en una muestra de basalto de núcleo de pared del intervalo 2213 – 2210 m, obteniendo una edad de 82.2±8.1 Ma.

Formación Lutitas de Remolinogrande (Eoceno superior-Mioceno inferior basal)

Se propone emplear el término “formación Lutitas de Remolinogrande” para el conjunto predominantemente lutítico presente en el intervalo 1072.9–1717.8 m del pozo Remolinogrande-1.

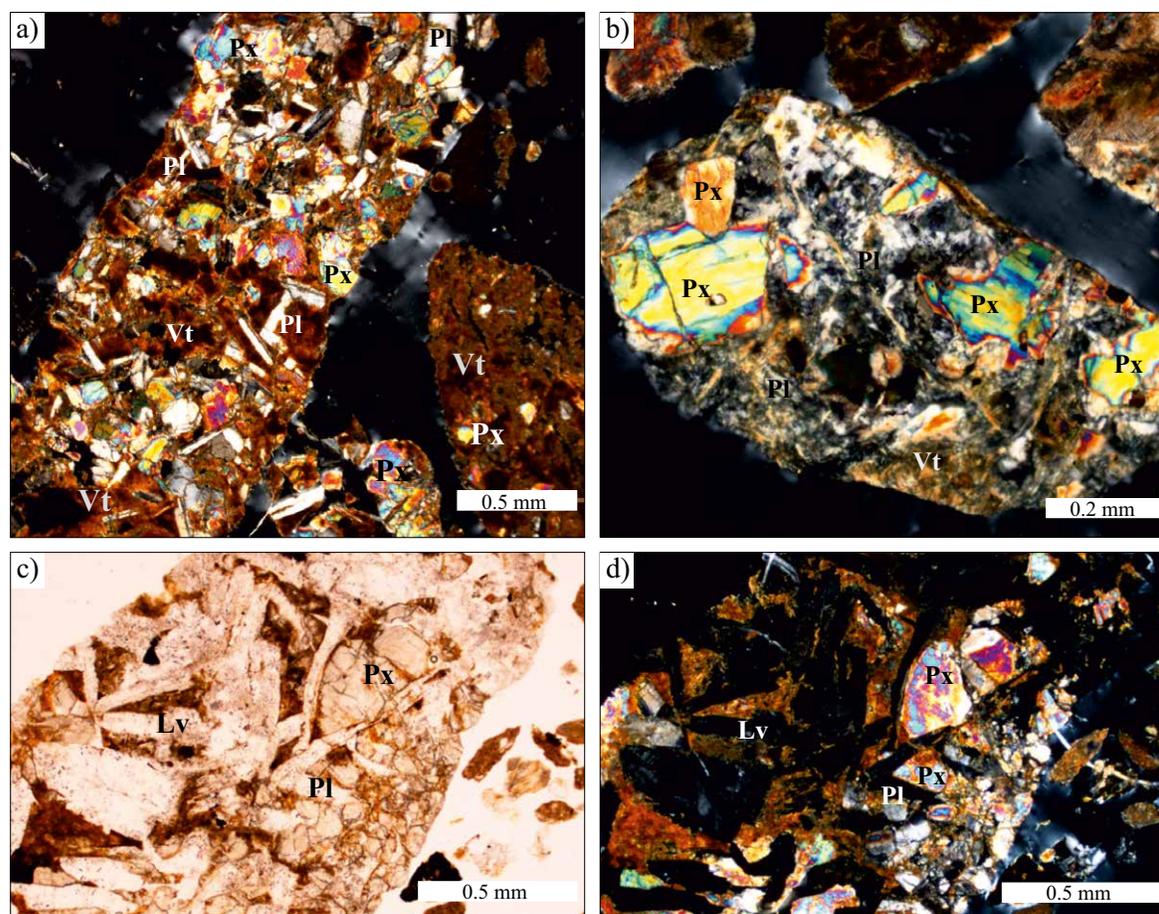


Figura 3. Fotomicrografías con nicolos cruzados (NX) y paralelos (NP). a) Basalto piroxénico con textura afanítica hipocrystalina y vidrio devitrificado (NX; profundidad 1731.2 – 1734.3 m). b) Basalto piroxénico con plagioclasa saussuritizada y piroxenos alterados (NX; profundidad 2758.4 – 2761.5 m). c) y d) Tobsas basálticas de líticos, cristales y vidrio (NP y NX; profundidad 1993.4 – 1996.4 m). Pl: plagioclasa, Px: piroxeno, Vt: vidrio devitrificado, Lv: lítico volcánico.

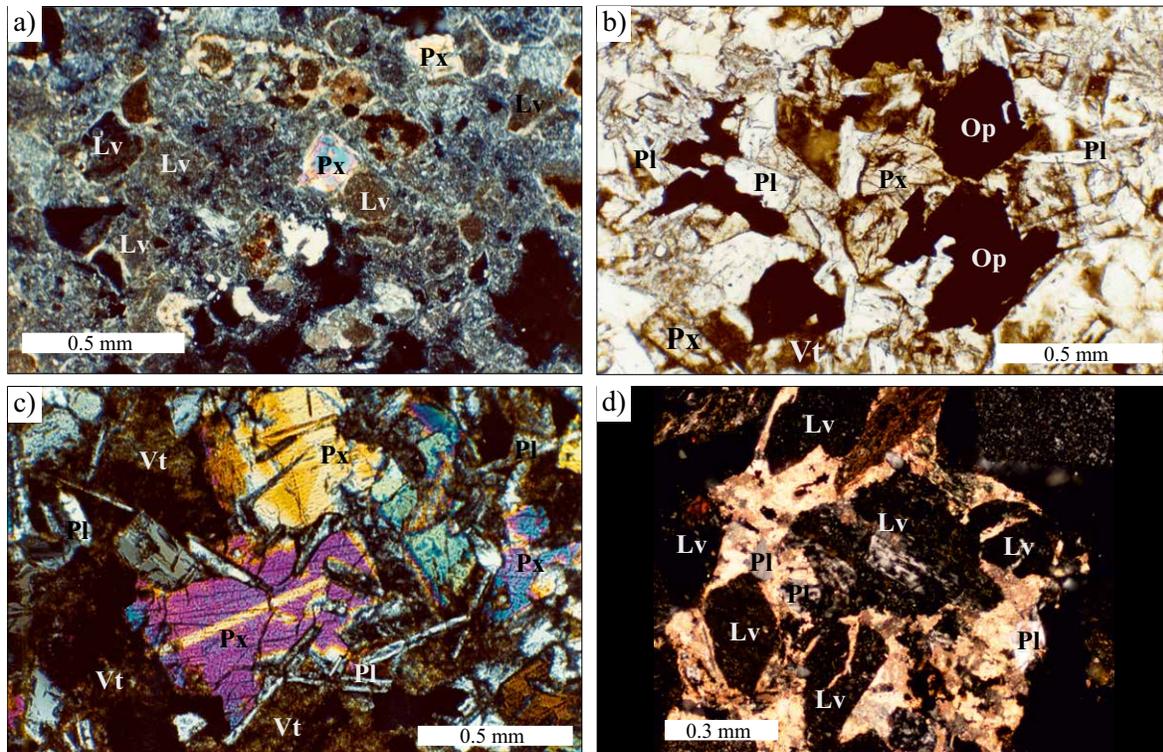


Figura 4. Fotomicrografías con nicóles cruzados (NX) y paralelos (NP). a) Núcleo de pared compuesto por tobas basálticas devitrificadas de líticos y cristales (NX; profundidad 2209.8 m). b) Núcleo de pared compuesto por microgabro con textura holocrystalina equigranular (NP; profundidad 2140 m). c) Núcleo de pared compuesto por microgabro alterado con texturas poikiliticas y subófiticas (NX; profundidad 1744.3 m). d) Litoarenita con abundantes granos volcánicos de composición andesítica embebidos en cemento calcáreo (NX; profundidad 1444.7 – 1435.6 m). Pl: plagioclasa, Px: piroxeno, Vt: vidrio devitrificado, Op: minerales opacos, Lv: lítico volcánico.

Esta unidad suprayace discordantemente a la sucesión volcano-sedimentaria de Remolinogrande, y representa el intervalo Eoceno tardío parte superior - Mioceno temprano parte basal (ANH-Universidad de Caldas, 2011). La edad de esta formación ha sido definida a partir de análisis de foraminíferos realizados en los rípos del pozo Remolinogrande-1 por Duque-Caro (2000), y análisis de nanofósiles calcáreos (Robertson Research, 1981; ANH-Universidad de Caldas, 2011), los cuales sugieren que la sucesión sedimentaria se extiende desde el Eoceno superior hasta el Mioceno inferior muy bajo (Aquitaniense basal).

La formación Lutitas de Remolinogrande está constituida por sucesiones monótonas de lodolita y limolita de color gris verdoso, con escasos niveles de arenita (Figura 2). En general, las facies de grano fino son homogéneas y esporádicamente laminadas, arenosas, con presencia de láminas de materia orgánica, foraminíferos, gasterópodos y conchas indiferenciadas. Las arenitas son homogéneas, lodosas o con cemento calcáreo, con restos de materia orgánica y conchas indiferenciadas.

Petrográficamente, las arenitas analizadas son de grano muy fino a medio, angulares a subredondeadas, con selección moderada a pobre y matriz arcillosa o cemento calcáreo entre el 10–35% (Figura 4d). Composicionalmente corresponden a subarcosa, sublitoarenita y litoarenita, con cuarzo monocristalino y policristalino ígneo (hasta 58%), plagioclasa, chert y líticos volcánicos, con características afines a fuentes mixtas. Son frecuentes los fósiles de foraminíferos y algas (determinados a partir de observaciones petrográficas). Los minerales pesados están caracterizados por altas proporciones de fases inestables como clinopiroxeno, anfíbol (verde y pardo), epidota, y en menor proporción ortopiroxeno, olivino, clorita, espinela, biotita y esfena, afines

con fuentes ígneas máficas a intermedias (Echeverri, 2012). Minerales estables a ultraestables como apatito, circón y turmalina son también comunes (Echeverri, 2012).

Geocronología Ar-Ar

Los detalles de los experimentos geocronológicos Ar-Ar y la información adicional se presentan en la Tabla 1 y en la Tabla S2 del suplemento electrónico.

Muestra YK-87 (RG-1 - 1731.2–1734.3). De esta muestra se obtuvo una meseta en cinco etapas con el 91.9 % del ^{39}Ar , la cual permite obtener una edad de 76.2 ± 1.4 Ma con un MSWD=1.5 (Figura 5a). La edad integrada para esta muestra es de 75.8 ± 1.9 . En la isócrona inversa los puntos forman una regresión lineal, con una edad de 90.7 ± 7.2 Ma, MSWD=1.1 (Figura 5b).

Muestra YK-88 (RG-1 - 1965.9–1996.4). La muestra define igualmente una meseta en cuatro etapas consecutivas de desgasificación con el 64.3 % del ^{39}Ar . La primera etapa de desgasificación presenta mayores errores posiblemente asociados a alteración en los bordes de los cristales y las etapas finales presenta igualmente mayores errores que podrían reflejar la presencia de inclusiones minerales. La edad de meseta obtenida es de 82.9 ± 4.8 Ma (Figura 5c) que se sobrepone dentro del error a la edad integrada para esta muestra de 81.5 ± 3.3 Ma. La regresión lineal de la isócrona arroja una edad de 90.0 ± 8.5 Ma (MSWD = 0.68) (Figura 5d).

Muestra YK-89 (RG-1 - 2282.9–2286). Para esta muestra se obtuvo una meseta de cuatro etapas consecutivas de desgasificación que corresponden a 56.1 % del argón (^{39}Ar) liberado y que indica una edad de 91.2 ± 6.7 Ma. (Figura 5e). Sin embargo la forma cóncava hacia arriba del espectro con un espectro que comienza en 99 Ma, disminuye a

Tabla 1. Resumen de resultados geocronológicos por el método Ar/Ar

Muestra	Edad de isócrona (Ma) $\pm 1\sigma$	Edad de fusión total (Ma) $\pm 1\sigma$	Edad de meseta (Ma) $\pm 1\sigma$	Ca/K	Comentarios
YK-87	90.7 \pm 7.2	75.8 \pm 1.9	76.2 \pm 1.4	5.84 - 266	Meseta con cinco etapas
YK-88	90.0 \pm 8.5	81.5 \pm 3.3	82.9 \pm 4.8	9.02 - 189.44	Meseta con cuatro etapas
YK-89	69.7 \pm 10.8	98.9 \pm 3.5	91.2 \pm 6.7	6.05 - 127.53	Meseta con cuatro etapas

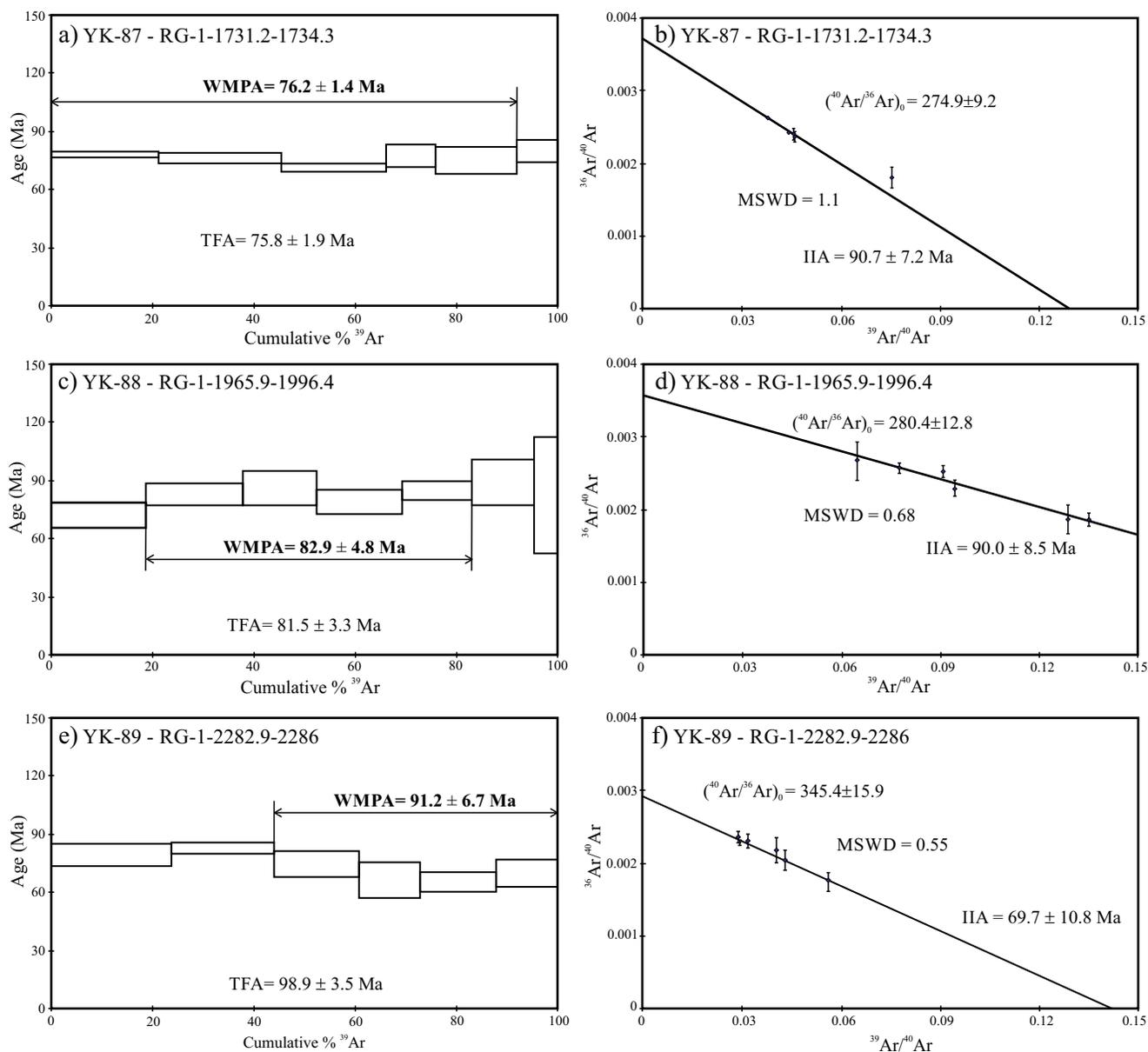


Figura 5. a), c) y e) Espectros de degasificación en roca total y edades ⁴⁰Ar/³⁹Ar. b), d) y f) Diagramas de isócrona a partir de la correlación de ³⁹Ar/⁴⁰Ar vs. ³⁶Ar/⁴⁰Ar. Las muestras analizadas son de composición basáltica y pertenecen a la sucesión volcano-sedimentaria de Remolinogrande. WMPA: *weighted mean plateau age* (edad media ponderada de meseta); TFA: *total fusion age* (edad de fusión total); MSWD: *mean square of weighted deviates* (media cuadrática de las desviaciones ponderadas); IIA: *inverse isochron age* (edad de isócrona inversa).

86.6 Ma y sube a 93 Ma. Este patrón sugiere cierto exceso de argón que hace inadecuada la edad de meseta. La edad integrada para esta muestra es de 98.8 ± 3.5 Ma, la cual refleja el exceso de argón. La relación $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ atmosférica en la isócrona tiene un valor de 345. Al considerar la isócrona inversa los puntos forman una regresión lineal caracterizada por valor de edad de 69.7 ± 10.8 Ma, MSWD = 0.55 (Figura 5f).

DISCUSIÓN

Las características estratigráficas y geocronológicas del pozo Remolinogrande-1 en la cuenca de antearco de Tumaco en el Pacífico colombiano, confirman la existencia de un registro volcánico de composición basáltica con edades geológicas entre 82.9 Ma y 76.2 Ma. Estas rocas reflejan una historia caracterizada por flujos de lava alternados con eventos piroclásticos, los cuales podrían ser cortados por una fase gabrítica de grano fino. El segmento más inferior de la secuencia volcánica incluye una alternancia de lavas y tobas basálticas con rocas sedimentarias siliciclásticas con material orgánico. Estos elementos podrían ser más característicos de ambientes sedimentarios donde ya existe exposición subaérea como en algunos arcos volcánicos (Ishizuka et al., 2011; Germa et al., 2011). Hacia el segmento superior de la secuencia se incrementa la proporción de material volcánico y microgabro, sugiriendo un incremento en el flujo magmático que ocasiona un engrosamiento cortical magmático.

El registro temporal de esta historia volcánica presenta algunas semejanzas con las características temporales documentadas en la Isla Gorgona (Serrano et al., 2011), la cual se encuentra expuesta al norte del pozo Remolinogrande-1, siguiendo la misma posición estructural-geográfica, y sugiere por lo tanto la existencia de una relación genética. Las edades reconocidas a lo largo de la costa Pacífica ecuatoriana son también semejantes (Luzieux et al., 2006) y sugieren que este bloque tendría una mayor extensión regional.

La presencia de lavas ultrabásicas komatiíticas de edad Fanerozoica ha dado lugar a una extensa discusión sobre el origen y petrogénesis de las rocas expuestas en la Isla Gorgona (Dietrich et al., 1981. Révillon et al., 2000; Thompson et al., 2003; Kerr, 2005; Serrano et al., 2011), siendo interpretadas por algunos autores como derivadas de una pluma mantélica asociada a la placa del Caribe (Révillon et al., 2000; Kerr, 2005). Sin embargo los análisis geocronológicos detallados presentados por Serrano et al. (2011) muestran una historia magmática intraoceánica más extensa que ha llevado a estos autores a relacionar el origen del magmatismo en la Isla Gorgona con la presencia de una ventana astenosférica causada por la subducción de la dorsal del paleo-Caribe bajo el Gran Arco Caribeño, la cual puede ser responsable del registro volcánico de larga duración.

Las características estratigráficas y los resultados geocronológicos presentados para el pozo Remolinogrande-1 son comparables con los de la Isla Gorgona. Si bien los resultados obtenidos no son definitivos para discriminar entre las hipótesis de pluma, ventana astenosférica, o de superposición de escenarios de pluma hacia arco (Vallejo et al., 2006; Villagómez et al., 2011; Wegner et al., 2011; Serrano et al., 2011; Zapata et al., 2013), las características estratigráficas identificadas en el pozo Remolinogrande-1 son afines con la transición de un ambiente inicialmente de arco que experimentó una modificación significativa en el flujo magmático. Esa hipótesis se correlaciona con la historia geológica de una margen convergente donde a la evolución de un magmatismo de menor volumen con sedimentación siliciclástica afín a un ambiente de arco se le sobrepone un incremento en el flujo magmático (ca. 82–76 Ma), que en la caso de estar en la margen convergente podría representar el influjo de la ventana astenosférica (Serrano et al., 2011).

Dos modelos han sido propuestos para la historia de acreción y correlación del segmento tectonoestratigráfico que incluye el Alto Remolinogrande y la Isla Gorgona: como parte del sustrato de la Cordillera Occidental colombiana, haciendo parte de un plateau oceánico (Gómez et al., 2007) o como un elemento oceánico acrecionado no relacionado a las rocas de la Cordillera Occidental (Kerr et al., 1997; Cediell et al., 2003; Villagómez et al., 2011).

La revisión de la cartografía geológica de la región occidental del departamento del Cauca indica que al oriente del alto estructural Remolinogrande - Gorgona e inmediatamente al este de las fallas Remolino - El Charco y Naya - Micay están expuestas rocas ígneas con afinidad de arco y edades de 53.4 Ma, 46.7 ± 2 Ma y 45 ± 5 Ma (Eoceno inferior y medio), incluidas dentro de la formación Timbiquí y granitoides asociados (McCourt et al., 1990; Barbosa-Camacho, 2003). Este arco está limitado por fallas y separado hoy en día ≥ 100 km de las rocas magmáticas Eocenas que conforman el arco magmático de la Cordillera Central al oriente (Bayona et al., 2012). La distancia mínima entre estos arcos, sin tener en cuenta la posibilidad de ser mayor por el acortamiento Andino, no es fácilmente explicable como parte de una única zona de subducción (Tatsumi y Eggins, 1995). Por lo tanto se sugiere que el arco de Timbiquí, localizado en el segmento oriental del antearco de Remolinogrande - Gorgona, no se encuentra relacionado genéticamente a la margen continental en el Eoceno y podría representar un elemento de arco cenozoico que no tendrían ninguna relación con las rocas de la Cordillera Occidental colombiana que ya se habrían acrecionado a la margen.

La acreción de los terrenos que conforman la Cordillera Occidental a la margen continental habría ocurrido en el Cretácico Tardío (Villagómez y Spikings, 2013), mientras que el bloque Remolinogrande - Gorgona, que podría incluir la Serranía del Baudó, se habría acrecionado con posteridad.

La formación Lutitas de Remolinogrande, que suprayace en discordancia angular al basamento volcano-sedimentario de la cuenca Tumaco, constituye un marcador estratigráfico de este evento acrecional, sugiriendo que la acreción del bloque habría sido contemporánea o anterior a la sedimentación del Eoceno tardío de esta formación. La presencia de líticos volcánicos andesíticos, ortopiroxeno (hiperstena), biotita, y cuarzo mono y policristalino es característica de rocas de arco que podrían relacionarse al arco Paleoceno-Eoceno de Timbiquí y al basamento continental Suramericano, confirmando en conjunto con el clinopiroxeno, olivino y chert, que el bloque Remolinogrande-Gorgona ya estaría adosado al continente.

La formación Lutitas de Remolinogrande, que reposa discordantemente sobre las rocas volcánicas Cretácicas, ha sido correlacionada a lo largo de la llanura costera con el Grupo Pacífico (Van der Hammen, 1958), la formación Calcáreo-Detrítica en cercanías a Timbiquí (McCourt et al., 1990), y la Unidad 1 Sur y la formación Cayapas hacia el segmento sur de la cuenca Tumaco (Suárez-Rodríguez, 2007). Así mismo, se puede correlacionar con la formación Uva definida para la cuenca de antearco de Atrato (Haffer, 1967; Duque-Caro, 1990) y con las formaciones Zapallo, Playa Rica y Pambil definidas para la cuenca Borbón en el extremo NW de la llanura costera del Pacífico ecuatoriano (Evans y Whittaker, 1982; Deniaud, 1998), sugiriendo por consiguiente que esta cuenca igualmente es un elemento continuo en la región Pacífica de Colombia y Ecuador, y por lo tanto podría ser un importante marcador de la acreción.

Si bien está fuera del alcance de este trabajo, se especula que el antearco del Pacífico colombiano y ecuatoriano que incluye el arco de Timbiquí podría estar relacionado con el segmento suroriental de la placa del Caribe que incluye el istmo de Panamá y el sector noroccidental de la margen continental colombiana, el cual incluye

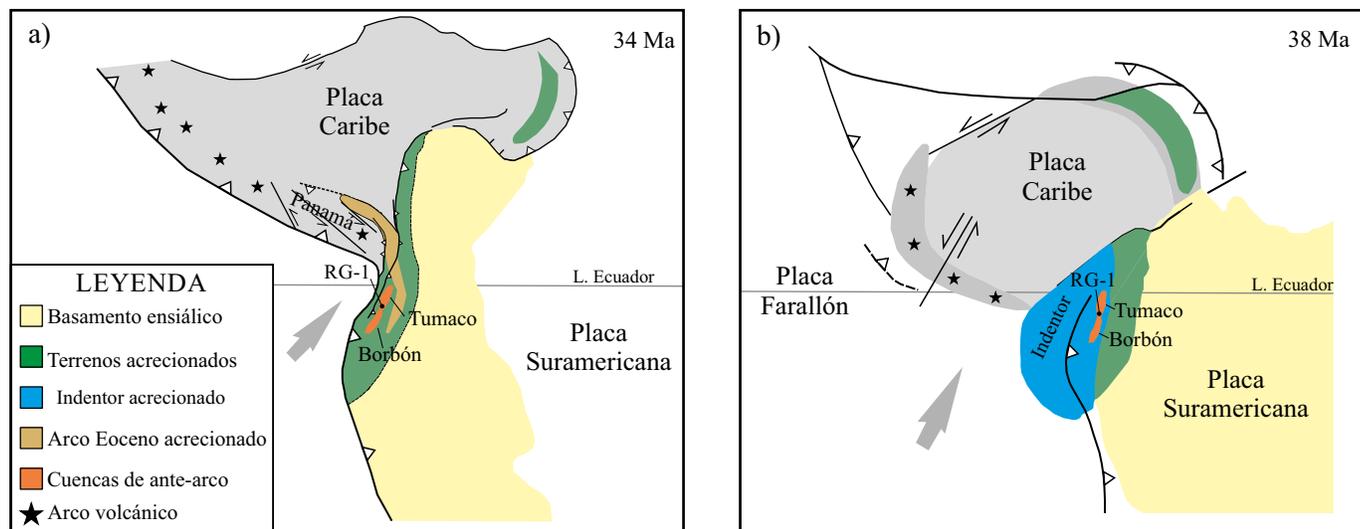


Figura 6. Esquema generalizado que muestra dos propuestas de reconstrucción tectónica para el Eoceno tardío - Oligoceno en la margen NW de Suramérica; a) Modificado de Pindell y Kennan (2009); b) Modificado de Whattan *et al.* (2012).

un sustrato basáltico con afinidad de plateau y un arco magmático sobrepuesto <70 Ma (Buchs *et al.*, 2010; Wegner *et al.*, 2011), y por lo tanto la interacción con Suramérica habría comenzado en el Eoceno tardío y se habría propagado hasta el Mioceno (Farris *et al.*, 2011; Montes *et al.*, 2012) (Figura 6). Este escenario u otro en el cual este bloque Remolinogrande - Gorgona (Pindell y Kennan, 2009) podría corresponder a un *indentor* con un origen independiente a la placa del Caribe (Figura 6), requiere de análisis más detallados de las unidades expuestas en el suroccidente colombiano.

CONCLUSIONES

El basamento de la cuenca de antearco de Tumaco se denomina sucesión volcano-sedimentaria de Remolinogrande. Está constituido por flujos de lava alternados con eventos piroclásticos de composición basáltica e intercalaciones de lodolitas y lodolitas arenosas. Las edades entre 82.9 Ma y 76.2 Ma, que inclusive pueden ser más antiguas, sugieren una historia magmática correlacionable con las rocas de la Isla Gorgona en Colombia y de Pedernales - Esmeraldas en región pacífica del NW de Ecuador. La alternancia de lavas y tobas basálticas con rocas sedimentarias siliciclásticas con material orgánico, sumado a la ausencia de niveles de chert, se correlacionan con los patrones de apilamiento de ambientes de arcos de islas (Ishizuka *et al.*, 2011; Germa *et al.*, 2011) y son poco comunes en ambientes de plateau (Utsunomiya *et al.*, 2008; Kusky *et al.*, 2013), sin embargo, se requieren análisis geoquímicos para probar esta hipótesis.

La formación Lutitas de Remolinogrande de edad Eoceno superior - Mioceno inferior basal, presenta potentes intervalos de lodolitas y esporádicas intercalaciones de subarcosas, sublitoarenitas y litoarenita; esta formación suprayace discordantemente a las rocas del basamento. Por la composición de las rocas que incluye material volcánico máfico, material más intermedio y componentes siálicos, se sugiere que estas rocas representan el registro sedimentario que sella la acreción de este bloque a la margen continental Suramericana. Este elemento tectonoestratigráfico del antearco de los Andes colombianos podría ser parte de la placa del Caribe y ser correlacionables con el bloque Chocó - Panamá. Trabajos futuros en las rocas magmáticas de este segmento poco conocido del antearco del SW colombiano podrán con-

tribuir a la comprensión de la evolución de la corteza oceánica Caribe y Pacífico, así como al registro geológico escasamente definido de la temporalidad y continuidad de la colisión del bloque Chocó - Panamá en la margen Suramericana.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentes surgieron en el marco de los proyectos realizados entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y el Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES de la Universidad de Caldas. Agradecemos a la ANH por permitir emplear datos de su propiedad, además a los colaboradores del IIES y de la Facultad de Minas por sus aportes en los análisis petrográficos y la elaboración de figuras. Los autores agradecen las sugerencias y comentarios de la Dra. Margarita López, un revisor anónimo y el Dr. Luca Ferrari, los cuales enriquecieron la discusión y estructura del artículo.

APÉNDICE. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Información adicional sobre la petrografía de las unidades estudiadas y los detalles de los experimentos geocronológicos Ar-Ar (Tablas S1 y S2) está disponible en el portal electrónico de la Revista <<http://rmcg.unam.mx/>>, en la tabla de contenidos de este número.

REFERENCIAS

- ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos) - Universidad de Caldas, 2011, Estudio geológico integrado en la Cuenca Tumaco *onshore*. Síntesis cartográfica, sísmica y análisis bioestratigráfico, petrográfico, geocronológico, termocronológico y geoquímico de testigos de perforación y muestras de superficie: Contrato 092, Informe inédito, 191 pp.
- Barbosa-Camacho, G., 2003, Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Cauca: Santiago de Cali, Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS), 221.
- Barrero, D., Pardo, A., Vargas, C.A., Martínez, J.F., 2007, Colombian sedimentary basins: Nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal:

- Bogotá, Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), 91 pp.
- Bayona, G., Cardona, A., Jaramillo, C., Mora, A., Montes, C., Valencia, V., Ayala, C., Montenegro, O., Ibañez-Mejía, M., 2012, Early Paleogene magmatism in the northern Andes: insights on the effects of oceanic plateau–continent convergence: *Earth and Planetary Science Letters*, 331, 97-111.
- Berggren, W.A., Kent D.V., Swisher C.C., Aubry M.P., 1995, A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy, *en* Berggren, W., Kent, D., Aubry, M., Hardenbol, J. (eds.), *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation: Society for Sedimentary Geology Special Publications* 54, 129-212.
- Borrero, C., Pardo, A., Jaramillo, C.M., Osorio, J.A., Cardona, A., Flores, A., Echeverri, S., Rosero, S., García, J., Castillo, H., 2012, Tectonostratigraphy of the Cenozoic Tumaco forearc basin (Colombian Pacific) and its relationship with the northern Andes orogenic build up: *Journal of South American Earth Sciences*, 39, 75-92.
- Buchs, D.M., Arculus, R.J., Baumgartner, P.O., Baumgartner-Mora, C., Ulianov, A., 2010, Late Cretaceous arc development on the SW margin of the Caribbean plate: Insights from the Golfito (Costa Rica) and Azuero (Panama) complexes: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(7), 1-35.
- Bueno-Salazar, R., 1989, Hydrocarbon exploration and potential of the Pacific coastal basin of Colombia, *en* Ericksen, G.E., Cañas-Pinochet, M.T., Reinemund, J.A. (eds.), *Geology of the Andes and Its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series*, 11, 335 - 343.
- Burke, K., 1988, Tectonic evolution of the Caribbean: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16, 210-230.
- Cediel, F., Shaw R.P., Caceres, C., 2003, Tectonic assembly of the Northern Andean Block, *en* Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J. (eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir*, 79, 815-848.
- Cediel, F., Restrepo, I., Marín-Cerón, M.I., Duque-Caro, H., Cuartas, C., Mora, C., Montenegro, G., García, E., Tovar, D., Muñoz, G., 2010, Geology and Hydrocarbon Potential, Atrato and San Juan Basins, Chocó (Panamá) Arc, Colombia, Tumaco Basin (Pacific Realm): Medellín, Colombia, Universidad EAFIT, 172 pp.
- Daly, M.C., 1989, Correlations between Nazca/Farallon Plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador: *Tectonics*, 8 (4), 769-790.
- Deniaud, Y., 1998, Evolución tectono-sedimentaria de las cuencas costeras Neógenas del Ecuador: Quito, Ecuador, Convenio Petroproducción / ORSTOM, 72 pp.
- Dietrich, V.J., Gansser, A., Sommerauer, J., Cameron W.E., 1981, Paleogene Komatiites from Gorgona Island, East Pacific – A primary magma for ocean floor basalts?: *Geochemical Journal*, 15, 141-161.
- Duque-Caro H., 1990, Neogene stratigraphy, paleoceanography and paleobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 77, 203-34.
- Duque-Caro, H., 2000, Análisis bioestratigráfico de muestras de los pozos Buchado-1, Pacurita-1, Remolinogrande-1, Sandi-1, Tambora-1 y Urodo-1. Áreas pacíficas costeras colombianas: Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), Informe interno.
- Echeverri, S., 2012, Estratigrafía y análisis de procedencia del intervalo Eoceno-Plioceno de la cuenca de forearc de Tumaco “onshore” (SW de Colombia) y su relación con la tectónica de la margen pacífica del NW de Suramérica: Manizales, Colombia, Universidad de Caldas, Tesis de Maestría, 127 pp.
- Echeverría, L.M., Aitken, B.G., 1986, Pyroclastic rocks: another manifestation of ultramafic volcanism on Gorgona Island, Colombia: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 428-436.
- EduMine, 2014, Average specific gravity of various rock types (en línea): <<http://www.edumine.com/xtoolkit/tables/satables.htm>>, Consulta: 30 de Abril de 2014.
- Escovar, R., Gómez, L.A., Ramírez, J.R., 1992, Interpretación de la Sísmica Tumaco 90 y evaluación preliminar del área: Bogotá, Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), 7-52.
- Evans, C., Whittaker, J.E., 1982, The geology of the western of the Borbón Basin, North-west Ecuador, *en* Leggett, J.K. (ed.), *Trench-Forearc Geology: Sedimentation and Tectonics on Modern and Ancient Active Plate Margins: Geological Society, London, Special Publications*, 10, 191-198.
- Farris, D.W., Jaramillo, C., Bayona, G., Restrepo-Moreno, S.A., Montes, C., Cardona, A., Mora, A., Speakman, R.J., Glascock, M.D., Valencia, V., 2011, Fracturing of the Panamanian Isthmus during initial collision with South America: *Geology*, 39, 1007-1010.
- Gansser, A., 1973, Facts and theories on the Andes: *Journal of the Geological Society*, 129, 93-131.
- Germa, A., Quidelleur, X., Labanieh, S., Chauvel, C., Lahitte, P., 2011, The volcanic evolution of Martinique Island: Insights from K-Ar dating into the Lesser Antilles arc migration since the Oligocene: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 208, 122-135.
- Gómez, E., Jordan, T., Allmendinger, R.W., Hegarty, K., Kelley, S., 2005, Syntectonic Cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena Valley Basin of Colombia and implications for exhumation of the Northern Andes: *Geological Society of American Bulletin*, 117, 547-569.
- Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H., Mora, M. (compiladores), 2007, Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1'000.000: Bogotá, Colombia, INGEOMINAS, 2 hojas.
- Haffer, J. 1967, On the geology of the Urabá and northern Chocó regions, NW Colombia: Bogotá, Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL), Reporte interno.
- Ishizuka, O., Tani, K., Reagan, M.K., Kanayama, K., Umino, S., Harigane, Y., Sakamoto, I., Miyajima, Y., Yuasa, M., Dunkley, D.J., 2011, The timescales of subduction initiation and subsequent evolution of an oceanic island arc: *Earth and Planetary Science Letters*, 306, 229-240.
- Jaillard, E., Lapiere, H., Ordoñez, M., Toro-Álava, J., Amortegui, A., Vanmelle, J., 2009, Accreted oceanic terranes in Ecuador: Southern edge of the Caribbean Plate?, *en* James, K.H., Lorente, M.A., Pindell, J.L. (eds.), *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate: Geological Society, London, Special Publications*, 328, 469-485. doi:10.1144/SP328.19.
- Kennan, L., Pindell, J.L., 2009, Dextral shear, terrane accretion and basin formation in the Northern Andes: best explained by interaction with a Pacific-derived Caribbean Plate?, *en* James, K.H., Lorente, M.A., Pindell, J.L. (eds.), *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate: Geological Society, London, Special Publications*, 328 (1), 487-531.
- Kerr, A.C., 2005, La Isla Gorgona, Colombia: A petrological enigma?: *Lithos*, 84, 77-101.
- Kerr, A.C., Tarney, J., 2005, Tectonic evolution of the Caribbean and northwestern South America: The case for accretion of two Late Cretaceous oceanic plateaus: *Geology*, 33, 269-272.
- Kerr, A.C., Aspden, J., Tarney, J., Pilatasig, L.F., 2002, The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints: *Journal of the Geological Society of London*, 159, 577-594.
- Kerr, A.C., Marriner, G.F., Tarney, J., Nivia, A., Saunders, A.D., Thirlwall, M.F., Sinton, C.W., 1997, Cretaceous basaltic terranes in Western Columbia: Elemental, chronological and Sr–Nd isotopic constraints on petrogenesis: *Journal of Petrology*, 38, 677-702.
- Kusky, T.M., Windley, B.F., Safonova, I., Wakita, K., Wakabayashi, J., Polat, A., Santosh, M., 2013, Recognition of ocean plate stratigraphy in accretionary orogens through Earth history: A record of 3.8 billion years of sea floor spreading, subduction, and accretion: *Gondwana Research*, 24, 501-547.
- Lebras, M., Megard, F., Dupuy, C., Dostal, J., 1987, Geochemistry and tectonic setting of pre-collision Cretaceous and Paleogene volcanic rocks of Ecuador: *Geological Society of America Bulletin*, 99 (4), 569-578.
- Longo, R., Baldock, J., 1982, Mapa Geológico de la República del Ecuador: Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos del Ecuador, escala 1:1.000.000, 1 hoja.
- López, E., Collot, J.-Y., Sosson, M., 2008, Sedimentary constraints on the tectonic evolution of the paired Tumaco–Borbón and Manglares forearc basins (southern Colombia - northern Ecuador) during the Late Cenozoic, *en* 7th International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts: Nice, Francia, 292-294.
- Luzieux, Heller, E., Spikings, R., Vallejo, C.F., Winkler, W., 2006, Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence: *Earth and Planetary Science Letters*, 249 (3-4), 400-414.
- Mamberti, M., Lapiere, H., Bosch, D., Jaillard, E., Eithien, R., Hernandez, J., Polvé, M. 2003, Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian Plateau in Ecuador: *Lithos*, 66, 173-199.

- Marcaillou, B., Collot, J.Y., 2008, Chronostratigraphy and tectonic deformation of the North Ecuadorian-South Colombian offshore Manglares forearc basin: *Marine Geology*, 255 (1-2), 30-44.
- Marín-Cerón, M.I., Sierra, G., 2011, Petroleum Geology of Colombia. Geology and Hydrocarbon Potential, Tumaco Basin: Medellín, Colombia, Fondo Editorial Universidad EAFIT, 13, 80 pp.
- McCourt, W.J., Muñoz, U., Villegas, V., 1990, Regional geology and gold potential of the Guapi-Napi drainage basin and upper Timbiquí river, Cauca Department, SW Colombia: British Geological Survey, Overseas Geology Series, Technical Report WC/90/34, 112 pp.
- Montes, C., Cardona, A., McFadden, R.R., Moron, S.E., Silva, C.A., Restrepo-Moreno, S.A., Ramirez, D.A., Hoyos, N., Wilson, J., Farris, D., Bayona, G.A., Jaramillo, C.A., Valencia, V., Bryan, J., Flores, J.A., 2012, Evidence for middle Eocene and younger land emergence in Central Panama: implications for Isthmus closure: *Geological Society of America Bulletin*, 124(5-6), 780-799. doi: 10.1130/B30528.1.
- Moreno-Sánchez, M., Pardo-Trujillo, A., 2003, Stratigraphical and sedimentological constraints on western Colombia: Implications on the evolution of the Caribbean plate, *en* Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickweide, J., (eds.), *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir*, 79, 891-924.
- Nivia, A., 1996, El Complejo Estructural Dagua, registro de deformación de la provincia litosférica oceánica cretácica occidental en un prisma acrecionario, *en* VII Congreso Colombiano de Geología: Santa Fe de Bogotá, Memoria 3, 54-67.
- Pindell, J., Kennan, L., 2009, Tectonic evolution of the Gulf of Mexico, Caribbean and northern South America in the mantle reference frame: an update, *en* James, K., Lorente, M.A., Pindell, J. (eds), *The Origin and Evolution of the Caribbean Plate: Geological Society of London, Special Publications*, 328, 1-55.
- Pindell, J.L., Cande, S.C., Pittman, W.C., Rowley, D.B., Dewey, F., Labreque, J., Haxby, W., 1988, A plate-kinematic framework for models of the Caribbean evolution: *Tectonophysics*, 155, 121-138.
- Pindell, J., Kennan, L., Maresch, W., Stanek, K., Draper, G., Higgs, R., 2005, Plate kinematics and crustal dynamics of circum-Caribbean arc-continent interactions; tectonic controls on basin development in proto-Caribbean margins, *en* Avé-Lallemant, H.G., Sisson, V.B. (eds.), *Caribbean-South American Plate Interactions, Venezuela: Geological Society of America, Special Paper* 394, 7-52.
- Révillon, S., Arndt, N.T., Chauvel, C., Hallot, E., 2000, Geochemical study of ultramafic volcanic and plutonic rocks from Gorgona Island, Colombia: the plumbing system of an oceanic plateau: *Journal of Petrology*, 41(7), 1127-1153.
- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapiere, H., Mamberti, M., Mascle, G.H., 1999, Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America: *Tectonophysics*, 307 (3-4), 235-254.
- Robertson Research, 1981, Biostratigraphic, geochemical and petrological analysis of samples from Arco Well Remolino Grande-1, Colombia: Houston, Texas, Robertson Research (U.S.) Inc., Reporte inédito No. 318, 75 pp.
- Rodríguez, G., Zapata, G., 2013, Análisis comparativo entre la formación Barroso y el Complejo Quebradagrande: un arco volcánico toleítico-calcoalcalino, segmentado por el sistema de fallas de romeral en los Andes del Norte?: *Boletín Ciencias de la Tierra*, 33, 39-58.
- Schlumberger, 1981, Remolino Grande-1 Well logs. Simultaneous Compensated Neutron and Formation Density, run 2: 3363-7778, run 3: 7772-9082. Simultaneous Induction resistivity and Sonic, run 2: 363-7775, run 3: 7771-9081. Río Patía Field, Nariño Colombia. Registros del pozo Remolinogrande-1, reporte interno.
- Serrano, L., Ferrari, L., López-Martínez, M., Petrone, C.M., Jaramillo, C., 2011, An integrative geologic, geochronologic and geochemical study of Gorgona Island Colombia: Implications for the formation of the Caribbean Large Igneous Province: *Earth and Planetary Science Letters*, 309, 324-336.
- Sinton, C.W., Duncan, R.A., Storey, M., Lewis, J., Estrada, J.J., 1998, An oceanic flood basalt province within the Caribbean plate: *Earth and Planetary Science Letters* 155, 221-235.
- Spadea, P., Espinosa, A., 1996, Petrology and chemistry of late Cretaceous volcanic rocks from the southernmost segment of the Western Cordillera of Colombia (South America): *Journal of South American Earth Science*, 9, 79-90.
- Suárez-Rodríguez, M., 2007, Geological framework of the pacific coast sedimentary basins: *Geología Colombiana*, 32, 47-62.
- Thompson, P.M.E., Kempton, P.D., White, R.V., Kerr, A.C., Tarney, J., Saunders, A.D., Fitton, J.G., McBirney, A., 2003, Hf-Nd isotope constrains on the origin of the Cretaceous Caribbean plateau and its relationship to the Galapagos Plume: *Earth and Planetary Science Letters*, 217, 59-75.
- Tatsumi, Y., Eggins, S., 1995, Subduction zone magmatism: Blackwell Science, Frontiers in Earth Science, 211 pp.
- Toussaint, J. F., 1996, Evolución Geológica de Colombia 3: Cretácico: Medellín, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 277 pp.
- Utsunomiya, A., Suzuki, N., Ota, T., 2008, Preserved paleo-oceanic plateaus in accretionary complexes: Implications for the contributions of the Pacific superplume to global environmental change: *Gondwana Research*, 14, 115-125.
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R.A., Luzieux, L., Winkler, W., Chew, D., Laurance, P., 2006, The early interaction between Caribbean Plateau and the NW South American Plate: *Terra Nova*, 18(4), 264-269.
- Villagómez, D., Spikings, R., 2013, Thermochronology and tectonics of the Central and Western Cordilleras of Colombia: Early Cretaceous-Tertiary evolution of the Northern Andes: *Lithos*, 160-161, 228-249.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., Beltrán, A., 2011, Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia: *Lithos*, 125 (3-4), 875-896.
- Van der Hammen, T., 1958, Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos: INGEOMINAS. Investigaciones de Estratigrafía y Palinología, Informe interno 1279 y Boletín de Geología, 6 (1-3), 53-54.
- Wegner, W., Wörner, G., Harmon, R.S., Jicha, B.R., 2011, Magmatic history and evolution of the Central American Land Bridge in Panama since Cretaceous times: *Geological Society of America Bulletin*, 123, (3-4), 703-724.
- Whattan, S. A., Montes, C., McFadden, R. R., Cardona, A., Ramirez, D., Valencia, V., 2012, Age and origin of earliest adakitic-like magmatism in Panama: Implications for the tectonic evolution of the Panamanian magmatic arc system: *Lithos*, 142-143, 226-244.
- Zapata J.P., Restrepo, J.J., Martens, U., Cardona, A., Brito, R., 2013, Geochronology and geochemistry of the basic sequence of Altamira, Antioquia, Western Cordillera of Colombia *en* XIV Congreso Colombiano de Geología: Bogotá D.C., Memorias, 375-376.

Manuscrito recibido: Diciembre 12, 2014

Manuscrito corregido aceptado: Mayo 1, 2015

Manuscrito aceptado: Mayo 3, 2015