



Sistemas deltaicos en el Neógeno de la Cuenca Tumaco, Pacífico colombiano

Hermann Darío Bermúdez¹, Jenny García¹, Lina Clemencia Restrepo¹, Alejandra Mejía-Molina², Jorge Alberto Rey¹, Walter Guzmán¹, Erika Bedoya¹, Victoria Elena Corredor¹ & Juan Alejandro Numpaque¹,

¹Paleoexplorer s.a.s. ²Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH.

Resumen

El Neógeno de la cuenca Tumaco agrupa una espesa secuencia sedimentaria, poco conocida, de la que existe escasa información de pozo y afloramiento.

La descripción detallada de los pozos estratigráficos Tumaco-1-ST-P (sur de la cuenca) y Buenaventura-1-ST-P (al extremo norte), suministra el registro más completo, hasta la fecha, del Neógeno de la cuenca Tumaco; ilustrando la estratigrafía, tendencias depositacionales y evolución de los sistemas deltaicos desarrollados en el área; permitiendo además demostrar la utilidad y validez de los análisis de estratigrafía de secuencias (ciclos T-R), que facilitan la correlación regional y la prospección de hidrocarburos en estos reservorios potenciales (facies de RST), para rocas generadoras de edades paleógenas y cretácicas.

En el pozo Tumaco-1-ST-P (11.980´) la Formación Tumaco (Chatiense-Tortoniense temprano), está compuesta por lodolitas, litoarenitas y conglomerados, asociados al paleodelta del río Patía cuando este desembocaba en la zona de la actual Bahía de Tumaco. La Formación Tangareal del Mira (Tortoniense medio a Zancliense), está compuesta por lodolitas, litoarenitas y conglomerados de paleoambientes deltaicos derivados de la migración, al norte, del río Mira a finales del Mioceno. La Formación Cascajal (Zancliense), está compuesta por lodolitas, litoarenitas y conglomerados fluvio-deltaicos.

En el pozo Buenaventura-1-ST-P (12.136´) la Formación Ladrilleros (correlacionable con la Formación Tumaco), está compuesta por limolitas, litoarenitas y conglomerados, del paleodelta del río San Juan, cuando este desembocaba en la zona de Bahía Málaga. La Formación Mayorquín (correlacionable con Formación Tangareal del Mira) está compuesta por intercalaciones de litoarenitas, lodolitas y ocasionales conglomerados, de paleoambientes deltaicos a estuarinos.

Introducción

La cuenca Tumaco, en el Pacífico colombiano, es una cuenca frontera poco conocida, con escasos y mal expuestos afloramientos rocosos. Teniendo en cuenta esto, la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) ha venido desarrollando, durante la última década una campaña de perforación de pozos estratigráficos, cuyo estudio interdisciplinario ha permitido avanzar en el conocimiento de la geología y prospectividad de esta área del país.

Copyright 2016, ACGGP.

This paper was selected for presentation by an ACGGP Technical Committee following review of information contained in an abstract submitted by the author(s).

Estos materiales representan el registro más completo y mejor estudiado de la pila sedimentaria neógena del Pacífico colombiano, hasta la fecha, constituyendo la base de interpretaciones regionales (estratigráficas y paleogeográficas) claves para el entendimiento de la geología y la formulación de futuros proyectos exploratorios en este sector del país.

Materiales y métodos.

El material estudiado involucró los pozos estratigráficos Tumaco 1-ST-P (profundidad total 11.980´) y Buenaventura 1-ST-P (profundidad total 12.136´) los cuales incluían segmentos corazonados y ripios en toda la extensión del pozo, los cuales reposan en la Litoteca Nacional Bernardo Taborda Arango en Piedecuesta, Santander.

Estas rocas fueron descritas y muestreadas de forma detallada y sistemática (a escala 1:100) identificando facies y asociaciones de facies con el objeto de establecer los paleoambientes de depósito. La edad de las rocas fue determinada mediante estudios bioestratigráficos de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología de polen y esporas (ANH-Antek, 2013; ANH-Antek, 2014a, 2014b).

Para poder enmarcar regionalmente las observaciones geológicas aquí presentadas, se hizo necesario el análisis de la información disponible de los escasos estudios que involucraron estratigrafía en el área, especialmente las descripciones de los pozos perforados en el área (Chagüi-1, Majagua-1 y Remolino Grande-1), lo que implicó la revisión de los trabajos de Cediel *et al.* (2009), Suárez (2007), Schweinfurth en Wainoco Int. Inc., (1980), Echeverri *et al.* (2011), además del estudio y revisión de lo reportado en el pozo estratigráfico Tumaco-1-ST-S y en afloramientos sobre la bahía de Tumaco (ANH-Universidad de Caldas, 2011).

Localización y marco geológico regional

El pozo Buenaventura-1-ST-P fue perforado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH, al oeste de Bahía Málaga, en el sector norte del municipio de Buenaventura, departamento del Valle del Cauca (Figura 1), en el extremo norte de la cuenca Tumaco, muy cerca de la denominada Falla de Garrapatas, que la separa de la subcuenca San Juan, sector sur de la Cuenca Chocó (Barrero *et al.* 2007).

El pozo Tumaco-1-ST-P fue perforado ANH, en el caserío Tangareal del Mira, jurisdicción del municipio de Tumaco, departamento de Nariño (Figura 1), al sur de la cuenca Tumaco.

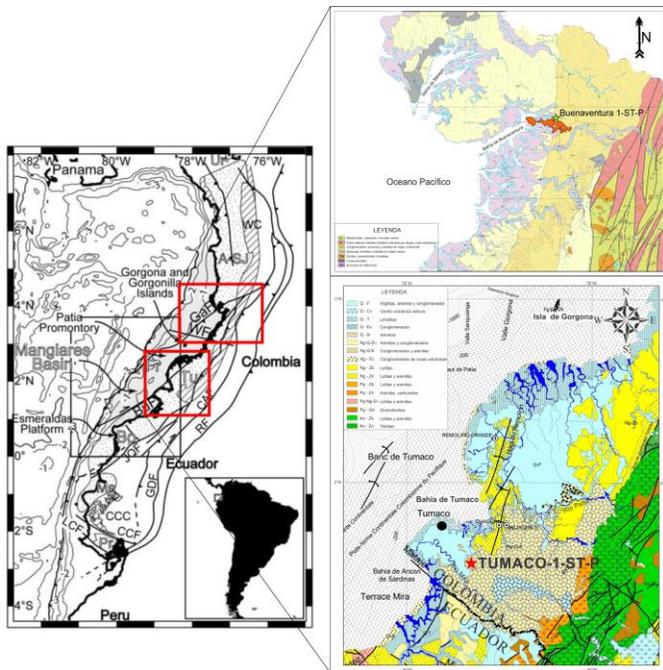


Figura 1. Mapa geológico regional del área de estudio (tomado de Marcaillou et al. 2008) y geología de los sectores norte y sur de la Cuenca Tumaco (mapas Ingeominas), con la localización de los pozos Buenaventura-1-ST-P y Tumaco-1-ST-P.

Estratigrafía

Pozo Buenaventura 1-ST-P.

Formación Ladrilleros.

Montoya (2003), propone el nombre Sedimentitas de Ladrilleros, de manera informal, para referirse a una secuencia detrítica de rocas de grano fino que aflora en la parte occidental de la plancha 259, Malaguita.

A partir de los datos de este trabajo, se propone elevar este término al rango de Formación, incluyendo, además las denominadas Sedimentitas lodo-arenosas y los Sedimentos calcáreo-arenosos (todas unidades del Neógeno) mencionados por Montoya *op cit.*, los cuales están bien caracterizados (aunque la base no aflora) en los ripios y núcleos del pozo Buenaventura-1-ST-P.

De manera general se propone designar como Formación Ladrilleros (nueva unidad), a la intercalación de limolitas, arenitas y conglomerados (Figura 2) que abarcan la parte inferior del pozo Buenaventura-1-ST-P. La Formación Ladrilleros se extiende desde la profundidad final del pozo (12.136') hasta los 3580'. No se observa la base de la unidad. Se observan 4 segmentos: uno basal, conglomerático -arenoso; dos de intercalaciones de lodolitas y arenitas y al techo un cuarto segmento, compuesto por limolitas arcillosas, localmente con cemento calcáreo.

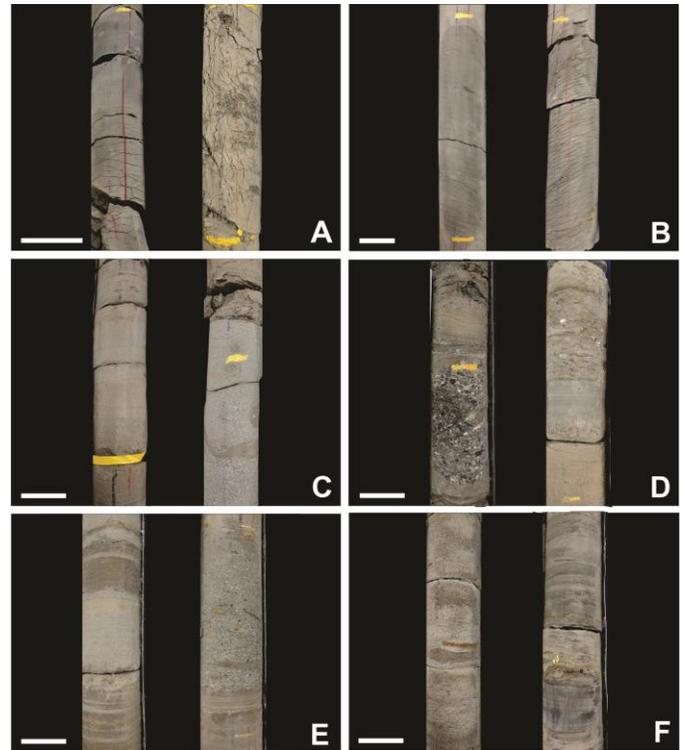


Figura 2. Principales facies de la Formación Ladrilleros en el pozo Buenaventura-1-ST-P. A) Izquierda: Biomicrofita impura a 7.242'. Derecha: Limolita masiva a 7.199'. B) Limolitas masivas con restos fósiles y fragmentos carbonosos a 7.069'. C) Izquierda: Alternancia de capas muy delgadas de conglomerado matriz-soportado, arenita lodosa y lodolitas conglomeráticas a 5.281'. Derecha: Limolita conglomerática a 5.248'. D) Izquierda: Conglomerado clasto-soportado a 5.003,5'. Derecha: Secuencia grano-decreciente de conglomerado clasto-soportado gradando rápidamente a sublitoarenita a 4.576'. E) Izquierda: Alternancia de litoarenitas y limolitas a 5236,5'. Derecha: Secuencia grano-decreciente de conglomerados a limolitas a 5166'. F) Izquierda: Litoarenita a 5175,5'. Derecha: Alternancia de capas lenticulares muy delgadas de arenitas, limolitas y limolitas conglomeráticas a 5124,5'. La barra equivale a 5 cm.

Litología y facies.

Las facies de esta unidad se pueden agrupar en seis asociaciones de facies principales que representan:

Depósitos de plataforma. Representados por intercalaciones de limolitas, limolitas conglomeráticas y biomicritas impuras, generalmente masivas (algunas veces bioturbadas), pero ocasionalmente con laminación ondulada y deformada.

Es común la presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, así como fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos de Prodelta. Conformados por la intercalación de limolitas masivas, limolitas conglomeráticas, areniscas masivas, conglomerados masivos matriz-soportados e intercalaciones de limolitas y areniscas a veces con laminación

ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas. En estas secuencias es común la presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, así como fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos de frente deltaico distal - prodelta. Representados por la intercalación de limolitas masivas, limolitas conglomeráticas, areniscas masivas, conglomerados masivos matriz-soportados, intercalaciones de limolitas y areniscas y secuencias con gradación normal de conglomerados matriz-soportados con areniscas y limolitas a veces con laminación ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas, con presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, así como fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos de frente deltaico proximal y distal. Compuestos por intercalaciones de areniscas masivas, conglomerados matriz-soportados y secuencias grano-decrecientes de conglomerados matriz-soportados, areniscas y limolitas a veces con laminación ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas. En estas rocas es habitual la presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, radiolas de equinodermos, escapófodos, así como fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos fluvio-estuarinos. Estas facies no cuentan con segmentos corazonados; sin embargo, el estudio de los rípios y los registros eléctricos del pozo, permite establecer que corresponden a intercalaciones de capas gruesas a muy gruesas de sublitoarenitas y litoarenitas grises de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas, intercaladas con limolitas grises masivas con abundantes óxidos de hierro y restos carbonosos.

Depósitos de canales y barras fluviales. Localizados la base del pozo y de la unidad (infrayaciendo rocas de la asociación de facies anterior), no cuentan con segmentos corazonados, al igual que la asociación anterior. Corresponden a intercalaciones de capas gruesas a muy gruesas de conglomerados polimícticos hasta tamaño guijarro, y litoarenitas de grano fino a grueso, con algunas interposiciones de limolitas grises. Todas estas rocas son estériles en macro y microfósiles de afinidad marina y por el contrario presentan abundantes fragmentos carbonosos.

Paleontología y edad.

Las determinaciones bioestratigráficas realizadas a partir de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología, permitieron establecer un rango de edad Mioceno temprano – Mioceno tardío, para la Formación Ladrilleros (Figura 3).

A partir de foraminíferos, se determinó una edad Mioceno temprano (Burdigaliense) al Mioceno tardío (Tortonense).

Específicamente se identificaron las biozonas *Globigerinoides bisphericus*, zona de rango parcial M4: 17.5-16.4 m.a, Burdigaliense (Mioceno temprano); biozona *Orbulina suturalis*, zona de primera ocurrencia M6: 15.1-14.2 Ma, Langiense (Mioceno medio) y la biozona *Neogloboquadrina acostaensis* / *Globorotalia languaensis*, zona de rango concurrente M13: 9.8-6.1 m.a, Tortonense (Mioceno tardío).

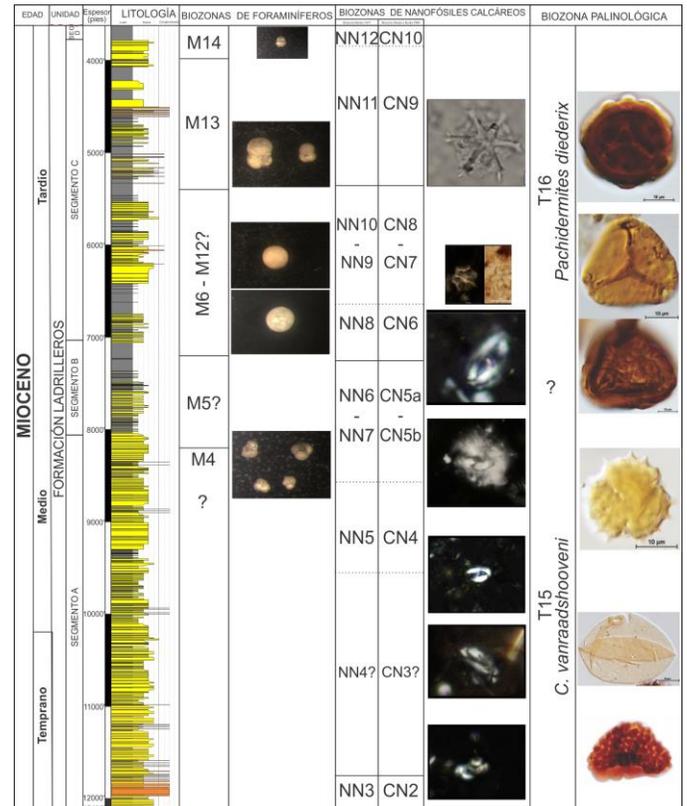


Figura 3. Columna estratigráfica generalizada y resumen bioestratigráfico de la Formación Ladrilleros en el pozo Buenaventura-1-ST-P.

A partir del estudio de palinomorfos, se determinó la presencia del Mioceno temprano al Mioceno tardío (Burdigaliano – Langhiano, zona T15 de Jaramillo *et al.* 2011), destacando que existe una gran cantidad de especies de palinomorfos que no han sido descritas formalmente ni publicadas, lo cual muestra el alto grado desconocimiento palinológico del Pacífico colombiano.

En la parte inferior de la unidad (intervalo 12070' a 8430') las muestras son muy pobres en palinomorfos aunque se aprecian de manera esporádica *Foveotriletes ornatus*, *Polypodiaceoisporites pseudopsilatus*, *Retitriletes sommeri*, *Nijssenosporites fossulatus*, *Crassoretitriletes vanraadshooveni*, *Sriatritriletes saccolomoides*, *Echitricolporites spinosus* y de manera regular *Perisyncolporites pokorny* y *Clavainaperturites microclavatus*.

En la parte intermedia – superior de la unidad (intervalo 8430' – 3510') se identifican formas que permiten asignar la asociación a la zona caribeña *Pachidermites diderix* de Germeraad *et al.* (1968) o a la zona T-16 de Jaramillo *et al.* (2011) de edad Mioceno medio - Mioceno tardío.

En la parte alta de la unidad (intervalo 3510' - 38') se presenta de manera regular *Cyatheacidites annulatus* que indica la zona T-17 de Jaramillo *et al.* (2011) del Mioceno tardío - Plioceno temprano, mientras que la ausencia de *Echitricolporites mcneillyi* hacia la parte superior no permite identificar la zona T-18.

A partir de Nanoplancton calcáreo, se determinó la presencia del Mioceno temprano (Burdigaliense) al Mioceno tardío (Tortonense).

Específicamente se identificaron las zonas: NN3/CN2 *Triquetrorhabdulus carinatus* y/o LO *Sphenolithus belemnus* – LO *Sphenolithus heteromorphus* y/o HO *S. belemnus*, de edad Burdigaliense (Mioceno temprano); NN5/CN4 *Helicosphaera ampliaperta* – HO *Sphenolithus heteromorphus*, de edad Langhiense-Serravaliense (Mioceno medio) y NN8/CN6 *C. coalitus* – LO *Discoaster hamatus*, de edad Tortonense (Mioceno tardío).

Genesis.

A pesar de no contar con intervalos corazonados en la parte inferior de la unidad, los ripios disponibles para el pozo Buenaventura-1-ST-P, permiten apreciar, de base a tope, la presencia de arenitas y conglomerados propios de ambientes fluviales (sin presencia de micro o macrofósiles de afinidad marina), suprayacidos por una sucesión grano-decreciente de intercalaciones de arenitas, lutitas y ocasionales conglomerados que se asocian a depósitos fluvio-deltaicos y estuarinos, que marcan una tendencia general transgresiva, desarrollada durante el Neógeno temprano.

En los intervalos corazonados (complementados con los datos de ripios y registros eléctricos), de la parte media y alta de la unidad, el conjunto de facies y asociaciones de facies de la Formación Ladrilleros, permite observar la presencia de niveles bioturbados, con abundantes fósiles de afinidad marina, especialmente moluscos, algunos crustáceos y restos vegetales (Figura 4 y Figura 5), que se asocian a un sistema deltaico, dominado por olas y mareas, de edad Neógeno temprano, que parece corresponder al paleodelta del río San Juan, cuando este desembocaba en el sector de la actual Bahía de Buenaventura.

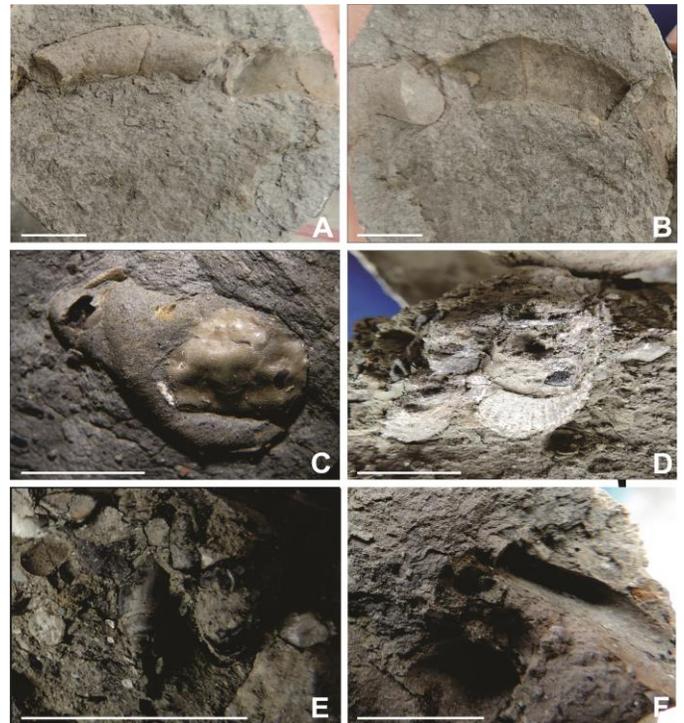


Figura 4. Actividad biológica en la Formación Ladrilleros. A y B) Estructuras de habitación asociadas a crustáceos a 4.623,5'. C) Caparazón de cangrejo, en vista dorsal a 4.617,2'. D) Restos de moluscos a 4.507'. E) Gasterópodo del género *Oliva* sp. A 4.505'. F) Restos vegetales a 4.505'. La barra equivale a 1 cm.

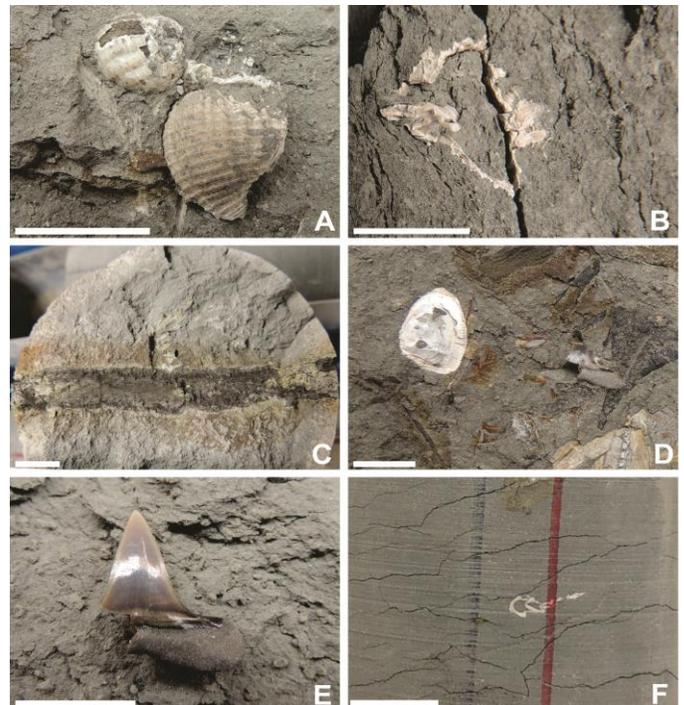


Figura 5. Fósiles de la Formación Ladrilleros. A-B) Fragmentos de gasterópodos a 7.254,7' (A) y a 7.241,6' (B). C) Fragmentos carbonosos a 7.229,2'. D) Restos de peces y pelecípodos a 7.206,5'. E) Diente de tiburón a 7.206,5'. F) Restos de un pequeño gasterópodo a 7.253'. La barra equivale a 1 cm.

Formación Mayorquín

En el pozo Buenaventura-1-ST-P, la Formación Mayorquín (Aspden *et al.* 1985) reposa discordantemente sobre la Formación Ladrilleros y se extiende desde los 3580' hasta los 36', donde se observa una discordancia suprayacida por depósitos fluviales recientes, lo que permite tener un registro de 3544' de esta unidad, la cual está compuesta por intercalaciones de areniscas líticas y lutitas con desarrollo subordinado de conglomerados (Figura 6).

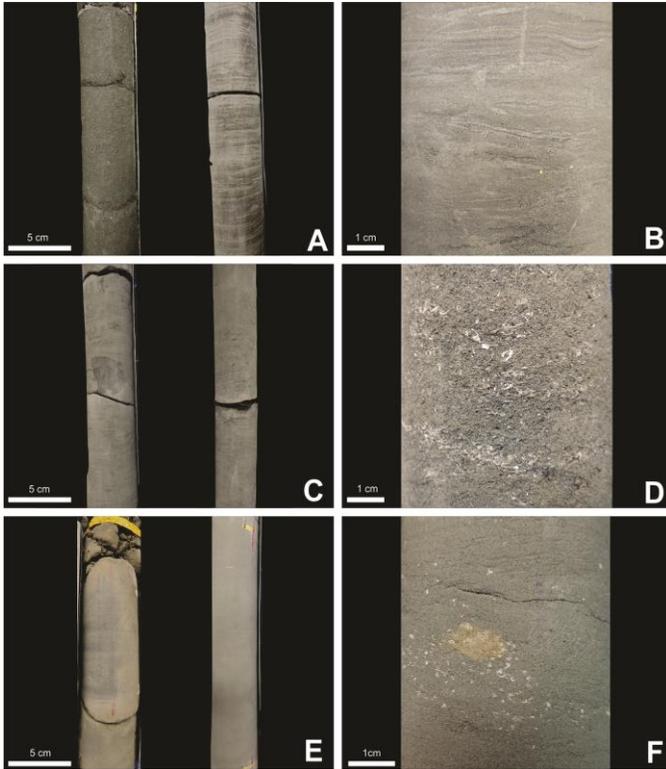


Figura 6. Facies de la Formación Mayorquín en el pozo Buenaventura-1-ST-P. A) De izquierda a derecha, sublitoarenitas lodosas a 2.606' y limolitas, localmente bioturbadas a 2.651'. B) Sublitoarenita con laminación ondulada a 2.826'. C) Sublitoarenitas lodosas a 2.702,5'. D) Sublitoarenitas, con restos de bivalvos y gasterópodos a 2.722'. E) A la izquierda intercalación de limolitas y sublitoarenitas lodosas a 2.845' y a la derecha, sublitoarenita lodosa masiva a 3098'. F) Sublitoarenita fosilífera a 3.003,4'.

Litología y facies.

Las facies de esta unidad se pueden agrupar en cinco asociaciones de facies que representan:

Depósitos de prodelta. Compuestos por intercalaciones de limolitas y areniscas, a veces con laminación ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas; con presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, así como fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos de frente deltaico distal. Representados por la intercalación de limolitas arenosas, areniscas lodosas masivas e interposiciones de lodolitas arenosas y areniscas lodosas, a veces con laminación ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas, con presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, radiolas de equinodermos, escapófodos y fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos de frente deltaico proximal. Agrupan facies que registran la intercalación de limolitas y areniscas masivas y areniscas lodosas e intercalaciones de areniscas lodosas y limolitas arenosas a veces con laminación ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas, con presencia de foraminíferos, restos de bivalvos, gasterópodos, peces, radiolas de equinodermos y escapófodos y fragmentos vegetales carbonizados y láminas de materia orgánica.

Depósitos de frente deltaico proximal - distal. Representados por la intercalación de limolitas masivas, areniscas masivas, areniscas bioclásticas, e intercalaciones de areniscas lodosas y limolitas arenosas a veces con laminación ondulada y deformada o en ocasiones bioturbadas, con presencia de foraminíferos, restos fósiles de bivalvos, gasterópodos, peces, radiolas de equinodermos y escapófodos, así como fragmentos vegetales carbonizados.

Depósitos estuarinos. Estas facies no cuentan con segmentos corazonados; sin embargo, el estudio de los rípios y los registros eléctricos del pozo, permite establecer que corresponden a intercalaciones de capas gruesas a muy gruesas de sublitoarenitas y litoarenitas grises de grano fino a grueso, localmente conglomeráticas, intercaladas con limolitas arenaceas de color gris, masivas con abundantes óxidos de hierro, muscovita y láminas carbonosas.

Paleontología y edad.

Las determinaciones bioestratigráficas de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología, establecieron un rango de edad Mioceno tardío – Plioceno (Figura 7).

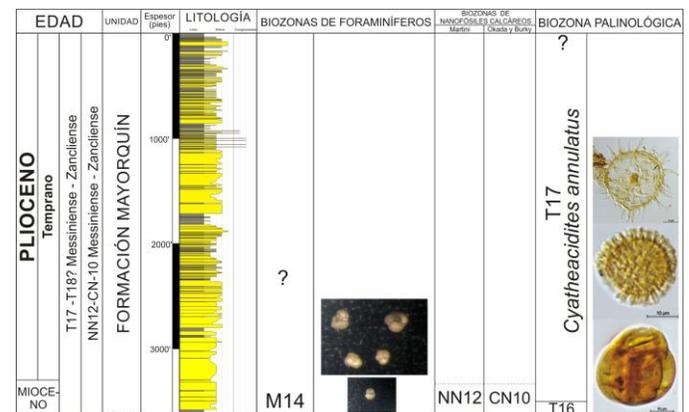


Figura 7. Columna estratigráfica generalizada y resumen bioestratigráfico de la Formación Mayorquín.

A partir de foraminíferos, se determinó, en la base de la unidad, la presencia del Tortonense medio al Zancliense. Específicamente se identificó la biozona *Globigerinoides extremus*, *Globorotalia languaensis*, *tumida*. Zona M14, de edad 6.1-5.5 m.a, Mesiniense (Mioceno superior). A partir del estudio de palinomorfos, se determinó la presencia del Mioceno tardío al Plioceno. Específicamente se identificó la biozona *Cyatheacidites annulatus*. Zona T-17, de edad Mioceno tardío-Plioceno temprano. Por su parte, a partir del nanoplancton calcáreo, se determinó la Biozona *Discoaster quinqueramus* NN11/CN9 del Tortonense - Mesiniense (Mioceno tardío), asociación que también incluía *C. pelagicus*, *C. leptoporus*, *H. carteri*, *P. multipora*, *Reticulofenestra* spp., *S. abies* y *S. moriformis*, entre otros. No fue posible identificar la biozona *Amaurolithus tricorniculatus* - NN12/CN10 debido a la falta de biomarcadores pertenecientes a esta división.

Génesis.

El conjunto de facies y asociaciones de facies de la Formación Mayorquín permite observar la presencia de niveles bioturbados y abundantes fósiles de afinidad marina (Figura 8), y aporte aporte continental, donde es evidente la intensa actividad volcánica que tuvo lugar al final del Neógeno en el área. que registran el establecimiento (durante el Mioceno tardío - Plioceno) de un complejo deltaico dominado por olas y mareas, que se asocia al paleodelta del río San Juan.

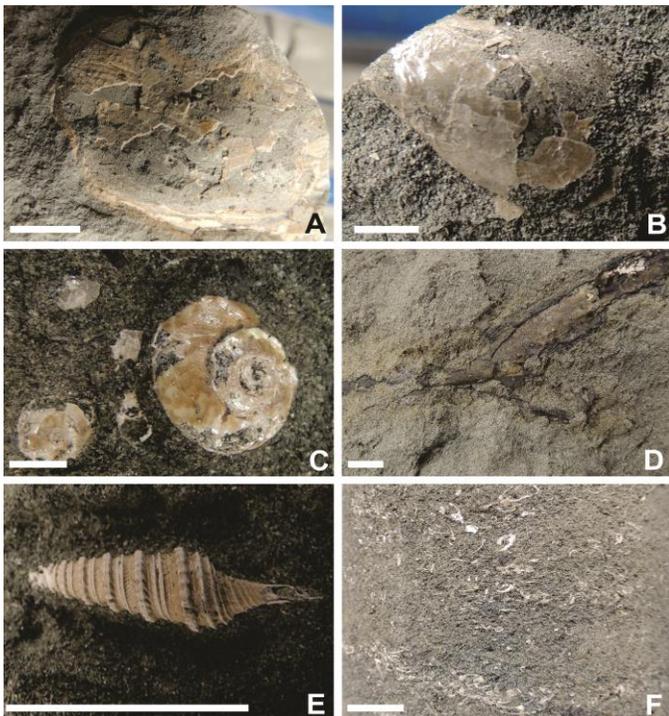


Figura 8. Contenido paleontológico de la Formación Mayorquín en el pozo Buenaventura 1-ST-P. A) Restos de equinodermo a 3.063,5'. B) Bivalvo de concha delgada a 2.968,5'. C) Gasterópodos a 2.933'. D) Restos vegetales a 2.920,5'. E) Gasterópodo a 2.914,5'. F) Restos desarticulados, asociados a una tormentita, de moluscos de concha delgada a 2.722'. La barra equivale a 1 cm.

Pozo Tumaco 1-ST-P.

Formación Tumaco.

La Formación Tumaco (nueva unidad) está constituida, por una intercalación de limolitas y arenitas y ocasionalmente conglomerados (Figura 9) que abarcan la parte inferior del pozo Tumaco 1-ST-P (intervalo 5381-11980') presentando un espesor superior a los 6599' (la base no está presente).

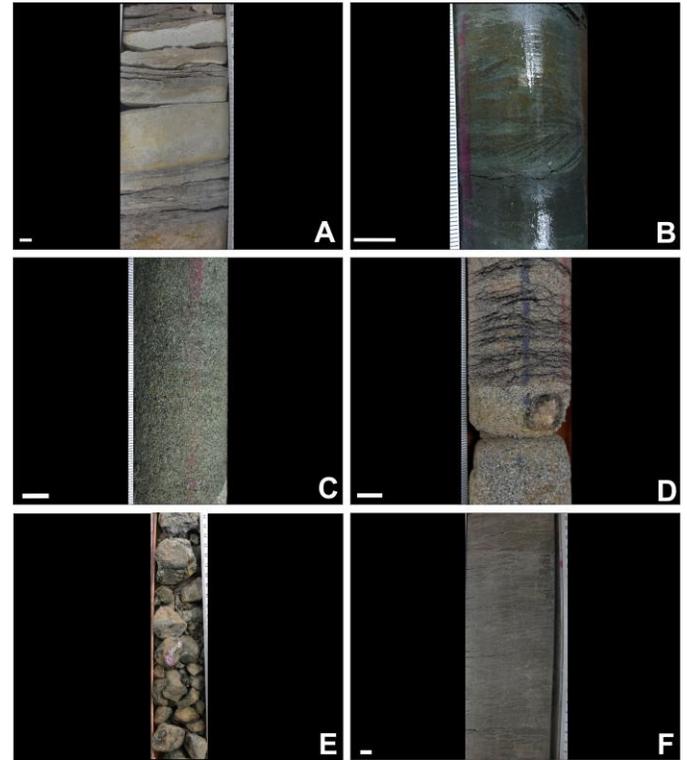


Figura 9. Detalle de algunas facies observadas en la Formación Tumaco, pozo Tumaco-1-ST-P. A) Intercalación de capas delgadas de ceniza volcánica y limolita fosilífera de color gris a 5415.5'. B) Sublitoarenitas masivas y con laminación festoneada, intercaladas con limolitas masivas a 8433.5'. C) Sublitoarenitas con cemento calcáreo de color gris verdoso a 8415'. D) Sublitoarenitas fosilíferas masivas y con láminas carbonosas a 8293.8'. E) Conglomerado polimictico masivo matriz-soportado a 8097'. F) Arcillolita masiva a 5548.2'. La barra equivale a 1 cm.

Litología y facies.

Las facies de esta unidad se pueden agrupar en ocho asociaciones de facies que representan:

Depósitos de plataforma. Corresponden a lodolitas masivas, localmente bioturbadas, con presencia de foraminíferos y algunas láminas o restos carbonosos.

Depósitos de prodelta. Agrupan las facies predominantemente lodosas con algunas intercalaciones de arenitas, que muestran la ocurrencia constante de litologías masivas, localmente bioturbadas, con foraminíferos, gasterópodos y bivalvos que

coexisten con láminas o fragmentos de materia orgánica carbonosa.

Depósitos de frente deltaico distal. Conformados predominantemente por facies arenosas de granulometrías finas e intercalaciones de arenitas y lodolitas. Estas rocas son generalmente masivas, localmente bioturbadas, presentan foraminíferos, bivalvos y gasterópodos, láminas y fragmentos de materia orgánica carbonosa y en ocasiones glauconita.

Depósitos de frente deltaico proximal. Conformada por facies grano-decrecientes de conglomerado polimíctico clasto-soportado, masivo, de gránulos y guijos, predominantemente de composición volcánica.

Depósitos de barras de desembocadura. Agrupan la intercalación heterolítica de lodolitas y arenitas masivas con presencia de niveles bioturbados, siderita y esporádicos foraminíferos.

Depósitos de barras y canales estuarinos. Agrupan las facies que muestran la intercalación heterolítica de lodolitas y arenitas masivas de grano medio a grueso y localmente algunos conglomerados; que en algunos sectores conforman secuencias grano-decrecientes. Destaca la presencia de niveles bioturbados, de nódulos sideríticos y las ocurrencia constante de láminas de materia orgánica carbonosa y de restos fósiles indiferenciados.

Depósitos de laguna costera. Conformados por facies heterolíticas de granulometrías finas, muy comúnmente bioturbadas, generalmente masivas y la ocurrencia de siderita y láminas de materia orgánica y fragmentos carbonosos, junto a restos fósiles.

Depósitos de canales estuarinos. Conformados por la intercalación de facies de conglomerados polimícticos masivos, matriz y clasto-soportados y arenitas masivas, en general de granulometría gruesa, con algunas cintas conglomeráticas y en menor proporción lodolitas masivas. Destaca la presencia de moluscos, principalmente gasterópodos y abundantes fragmentos carbonosos.

Paleontología y edad.

Las determinaciones bioestratigráficas de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología, establecieron un rango de edad Oligoceno tardío – Mioceno tardío, para la Formación Tumaco (Figura 10).

A partir de foraminíferos, se determinó la presencia del Oligoceno tardío (Chatiense) al Mioceno tardío (Tortoniense). Específicamente se identificaron las siguientes zonas: P21b *Paragloborotalia opima*, de edad estimada Chatiense temprano 28.60 - 27.10 m.a.; P22 *Globoturborotalita cipoensis fariasi*, de edad estimada a Chatiense tardío 27.10

a 23.8 m.a.; N4 *Paragloborotalia kugleri* de edad estimada Aquitaniense temprano 23.80 - 21.50 m.a.; N5 *Globigerinatella insueta* de edad estimada Aquitaniense tardío-Burdigaliense temprano 21.60–18.80 m.a.; N6 *Catapsydrax dissimilis* de edad estimada Burdigaliense medio 18.80–17.30 m.a.; N7 *Catapsydrax stainforthi* de edad estimada Burdigaliense tardío 17.30 - 16.40 m.a.; N8 *Globigerinoides diminuta* – *Globigerinoides sicanus* de edad estimada Langhiense 16.40 ± 1.5 a 15,10 m.a.; N9 *Praeorbulina* de edad estimada Langhiense tardío, 15,10 m.a – 14.8 m.a.; N10 *Fohsella peripheroacuta* de edad estimada Serravaliense, 14.8 – 12.6 m.a.; Las zonas N11 – N13 no son claramente identificadas; N14 *Paragloborotalia mayeri* de edad estimada Serravaliense tardío terminal a Tortoniense temprano, Burdigaliense 10.53 – 11.80 m.a.; N15 *Globorotalia merotumida* de edad estimada Tortoniense temprano 10.53 – 9.79 m.a.

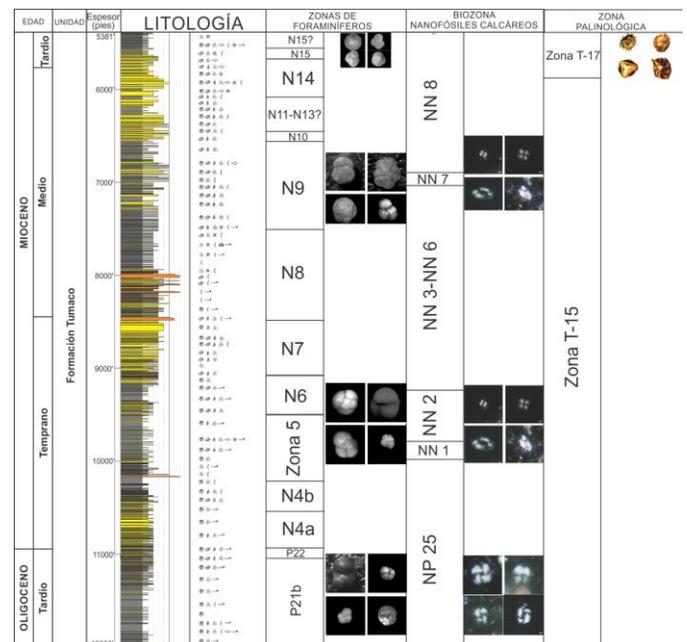


Figura 10. Columna estratigráfica generalizada y resumen bioestratigráfico de la Formación Tumaco.

El estudio de palinomorfos determinó la presencia del Oligoceno al Mioceno. Específicamente se identificaron las siguientes zonas (algunas de carácter local, que revelan el desconocimiento de la flora del Pacífico): *Chiropteridium lobospinosum* (*Cordosphaeridium inodes*, *Homotriblium tenuispinosu*, *Callaiosphaeridium* sp., *Lejeunecysta* aff *globosa* y *Lejeunesista beninensis* de edad Oligoceno). *Selenopenphix brevispinosa* *homotriblium floripes* (*Crassoretitriteles vanraadshooveni*, de edad Mioceno temprano); T-15 *Crassoretitriteles vanraadshooveni*, de edad Mioceno medio.

A partir de nanoplancton calcáreo, se determinó la presencia del Oligoceno tardío (Chatiense) al Mioceno tardío

(Tortonense). Específicamente se identificaron las zonas NP25 *Cyclicargolithus abisectus*, de edad estimada Oligoceno tardío (Chatiense); NN1 *Cyclicargolithus abisectus* - *Reticulofenestra bisecta*, de edad estimada límite Oligoceno/Mioceno; NN2 *Reticulofenestra bisecta* - *Triquetrorhabdus carinatus*, de edad estimada Mioceno temprano (Aquitaniense-Burdigaliense); NN3–NN6 *Triquetrorhabdus carinatus* - *Discoaster kugleri*, de edad Mioceno temprano - Mioceno medio (Burdigaliense–Serravaliense); NN7 *Discoaster kugleri* - *Catinaster coalitus*, de edad Mioceno medio (Serravaliense - Tortonense); NN8 *Catinaster coalitus* - *Discoaster hamatus*, de edad Mioceno medio (Tortonense).

Génesis.

El conjunto de facies y asociaciones de facies de la Formación Tumaco, permite observar la presencia de niveles bioturbados con abundantes fósiles de afinidad marina (Figura 11), así como evidencia de rocas asociadas a paleoambientes transicionales, que permiten plantear la existencia, durante el final del Oligoceno y gran parte del Mioceno, de un enorme complejo deltaico dominado por olas y mareas que parece corresponder al paleodelta del río Patía, cuando éste desembocaba en la zona que hoy ocupa la bahía de Tumaco.

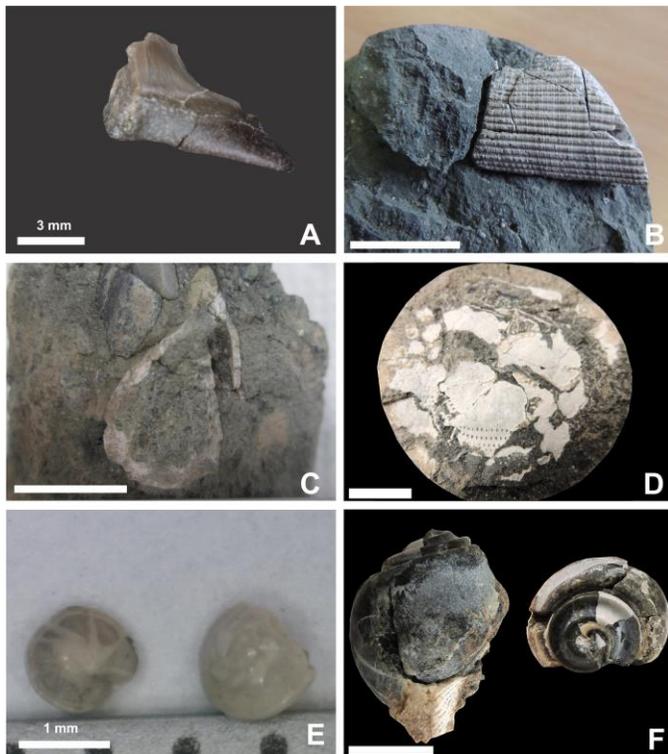


Figura 11. Contenido paleontológico de la Formación Tumaco en el pozo Tumaco-1-ST-P. A) Fragmento de un diente de tiburón encontrado a 10299,8'. B) Restos de un escafópodo, encontrado a 7500'. C) Restos de un pecelípodo encontrado a 7997'. D) Ambulacros y radiolas de equinodermo, hallados a 8277,3'. E) Macroforaminíferos hallados en el ripio del intervalo 5900-5920'. F) Gasterópodo encontrado a 8475'. La barra equivale a 1 cm a menos que se indique otra cosa.

Los análisis de procedencia (ANH-ANTEK S.A. 2014a), sugieren un área de aporte que, al menos parcialmente, involucraba sectores de la Cordillera Central; lo que se evidencia en el registro estratigráfico con la presencia de minerales como granates y pumpellita y de fragmentos de rocas metamórficas como mármoles, claramente originados en corteza continental, aunque es clara la preponderancia de un área fuente máfica - intermedia y de rocas recicladas de primer ciclo, que se asocian a la Cordillera Occidental.

Formación Tangareal del Mira

La Formación Tangareal del Mira (nueva unidad), reposa discordantemente sobre la Formación Tumaco y se observa completa en el pozo Tumaco-1-ST-P en el intervalo 1437-5381' (espesor de 3944'), mientras que solamente el techo está presente en el pozo Tumaco-1-ST-S. En general se observa como una unidad compuesta por intercalaciones de areniscas líticas y lutitas con un desarrollo de conglomerados a la base de la unidad (Figura 12).

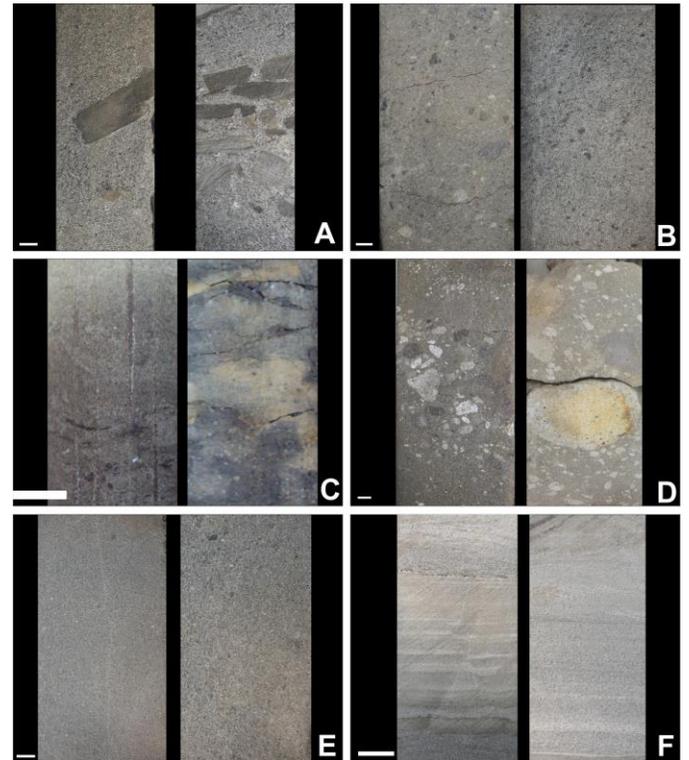


Figura 12. Algunas facies de la Formación Tangareal del Mira en el pozo Tumaco-1-ST-P. A) Sublitoarenitas masivas con intraclastos lodosos a 5246,15 y 5252,1'. B) Litoarenitas conglomeráticas masivas a 5357 y 5098,4'. C) Limolitas arenosas masivas con intercalación de litoarenitas intensamente bioturbadas (madrigueras subhorizontales de la ichnofacies Cruziana) a 1675' y litoarenitas limosas bioturbadas a 1781'. D) Conglomerados polimícticos y litoarenitas conglomeráticas masivas, con clastos de pumita a 5336,5 y 5350,5'. E) Litoarenitas masivas, localmente conglomeráticas, de color gris, a 5079,3 y 5106,5'. F) Sublitoarenitas de color gris claro con laminación plano-paralela, a 5001,7 y 5001,4'. La barra equivale a 1 cm.

Litología y facies.

Las facies de esta unidad se pueden agrupar en cinco asociaciones de facies que representan:

Depósitos de prodelta. Agrupan facies lodosas con intercalaciones subordinadas de arenitas de grano fino y muy fino, masivas y bioturbadas, con restos fósiles de afinidad marina (moluscos y crustáceos) y material carbonoso que refleja la influencia del continente.

Depósitos de frente deltaico. Compuestos por arenitas y arenitas lodosas masivas, frecuentemente bioturbadas y localmente con laminación ondulada, de grano fino y muy fino y lodolitas masivas bioturbadas, localmente conglomeráticas, con ocasionales fragmentos fósiles.

Depósitos de canales y barras fluviales. Agrupan facies muy similares a las de la asociación de facies anterior, pero en general de granulometrías más finas, muestra la intercalación de conglomerados masivos matriz-soportados, frecuentemente en cintas, dispuestos en secuencias grano-decrecientes hasta arenitas masivas de tamaño de grano fino y medio.

Depósitos de bahía estuarina. Agrupa intercalaciones de lodolitas y principalmente arenitas con laminación ondulada.

Depósitos de canales fluviales. Compuestos predominantemente por secuencias grano-decrecientes de conglomerados masivos matriz-soportados a arenitas masivas de grano muy grueso a medio sin registro de micro o macro fauna marina.

Paleontología y edad.

Las determinaciones bioestratigráficas de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología, establecieron un rango de edad Mioceno tardío - Plioceno, para la Formación Tangareal del Mira (Figura 13) en el pozo Tumaco-1-ST-P.

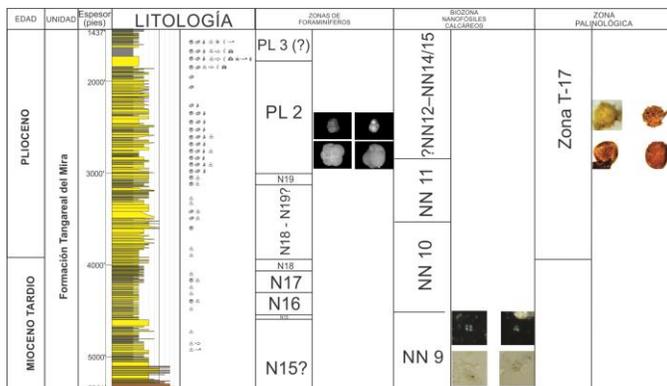


Figura 13. Columna estratigráfica generalizada y resumen bioestratigráfico de la Formación Tangareal del Mira.

A partir de foraminíferos, se determinó la presencia del Tortoniense medio al Zancliense. Específicamente se identificaron las siguientes zonas: N16 *Neogloboquadrina acostaensis* de edad estimada Tortoniense medio 9.79 – 8.30 m.a.(?); N17 *Globorotalia plesiotumida* de edad estimada Mesiniense 8.30 m.a – 5.60 m.a; N18 – N19 *Globorotalia tumida* - *Zeaglobigerina nepentes* de edad estimada Mesiniense a Zancliense (5.60 – 4.10 m.a.); PL2 *Globorotalia margaritae* de edad estimada Zancliense (4.10 – 3.58 m.a.); PL3 *Sphaeroidinellopsis* spp., de edad estimada Zancliense (3.47 – 3.12 m.a), cuyo límite superior se extiende a la Formación Cascajal.

A partir del estudio de palinomorfos, se determinó la presencia del Mioceno tardío al Plioceno. Específicamente se identificaron las siguientes zonas *Selenopemphix minusa* de edad Mioceno tardío (que incluye la parte inferior de la Formación Tangareal del Mira y la superior de la Formación Tumaco); T-17 *Cyatheidites annulatus* (*Ataxiodinium confusum* y *Tuberculodinium vancouverae* de edad Plioceno), que incluye la Formación Cascajal y la parte superior de la Formación Tangareal del Mira.

A partir de nanoplancton calcáreo se determinó la presencia del Mioceno medio–Mioceno tardío (Tortoniense) al Plioceno temprano (Mesiniense- Zancliense). Específicamente se identificaron las zonas NN9 *Discoaster hamatus*, de edad Mioceno medio - Mioceno tardío (Tortoniense); NN10 *Discoaster hamatus* - *Discoaster bergrenii*, de edad Mioceno tardío (Tortoniense); NN11 *Discoaster bergrenii*, de edad Mioceno tardío (Tortoniense - Mesiniense) y ?NN12–14/15 que abarca Plioceno temprano (Mesiniense- Zancliense).

Génesis.

Al igual que en la infrayacente Formación Tumaco, el conjunto de facies y asociaciones de facies de la Formación Tangareal del Mira, permite observar la presencia de abundantes fósiles de afinidad marina (Figura 14 y Figura 15), así como evidencias de aporte continental, que permiten plantear la existencia (durante el Mioceno tardío - Plioceno) de un complejo deltaico dominado por olas y mareas, que ocurre cuando la migración al norte del río Mira, a finales del Mioceno, pasa a ocupar la posición que abandonó el delta del río Patía en su movimiento hacia su sitio actual de desembocadura.

El desarrollo de facies fluviales a la de base de la unidad, evidencian la caída relativa del nivel del mar en la zona, que es sucedida por dos ciclos transgresivo – regresivos mayores, donde es evidente la fuerte influencia volcánica.



Figura 14. Contenido paleontológico de la Formación Tangareal del Mira, en el pozo Tumaco-1-ST-S (Tomado de Universidad de Caldas - ANH, 2011). A) Restos de cefalotórax de langosta a 1847'. B) Restos de cangrejo a 1866'. C) Molde de un cangrejo braquiuro a 1820'. D) Restos de gasterópodo turritélido a 1623'. E) Restos de hojas a 1750'. F) Fragmento de un equinoideo del Orden Clypeasteroidea (Dólar de arena) a 1749'. La barra equivale a 1cm.

Formación Cascajal

En este trabajo se propone formalizar el término Formación Cascajal (unidad propuesta por ANH-Universidad de Caldas, 2011), para describir las rocas del Neógeno tardío de la Cuenca Tumaco, presentes en el pozo Tumaco-1-ST-S (en el pozo Tumaco-1-ST-P solamente se disponen de ripios, que sin embargo sirvieron para establecer con precisión la edad de la unidad y complementar la descripción litológica y paleontológica) y parcialmente en algunos afloramientos localizados sobre la bahía de Tumaco.

Esta nueva unidad está conformada por intercalaciones de facies de lodolitas, litoarenitas y conglomerados, localmente bioturbados (Figura 16), que reposan discordantemente (contacto a 1437') sobre la Formación Tangareal del Mira.

Litología y facies.

Las facies de esta unidad, según descripciones de los pozos Tumaco-1-ST-S y Tumaco-1-ST-P, se pueden agrupar en cinco asociaciones de facies que representan:

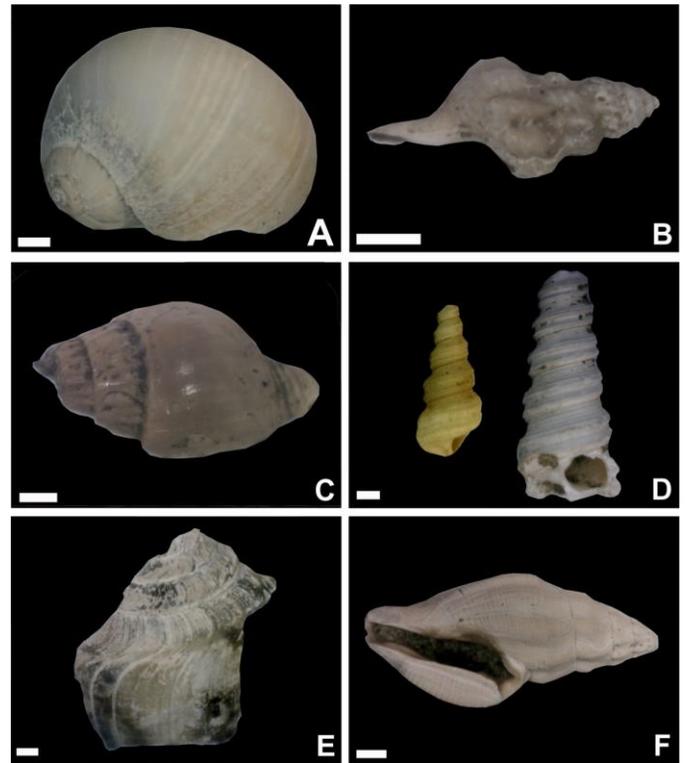


Figura 15. Contenido paleontológico de la Formación Tangareal del Mira, hallado en los ripios del pozo Tumaco 1-ST-P. A) *Polinices* sp encontrado entre 1860' - 1880'. B) Gasterópodo encontrado entre 2800' - 2820'. C) *Euclia* sp? hallado entre 1620' - 1640'. D) Gasterópodos del género *Turritella* sp., hallados entre 1640' - 1660' y 1600' - 1620', respectivamente. E) Fragmento de gasterópodo, hallado en el ripio del intervalo 1660' - 1680'. F) *Cymatophos* sp? entre 1740' - 1760'. La barra equivale a 1 milímetro.

Depósitos de prodelta. Incluye facies que muestran predominio absoluto de lodolitas masivas con restos fósiles marinos y ocasionales niveles de arenitas de grano muy fino.

Depósitos de barras de desembocadura. Agrupan facies con intercalación de arenitas masivas, ocasionalmente bioturbadas y con laminación ondulada y lodolitas con laminación plano-paralela. Contienen fragmentos fósiles de afinidad marina, que incluyen bivalvos, gasterópodos, escafópodos, equinodermos, foraminíferos, pellets fecales glauconitizados, peces, corales, además de restos de plantas, fragmentos carbonosos, materia orgánica diseminada e intraclastos lodosos.

Depósitos de frente deltaico distal. Agrupan secuencias de arenitas masivas de grano muy fino, intercaladas con lodolitas masivas, localmente bioturbadas o con laminación plano-paralela u ondulada, con algunos restos de equinodermos, peces, pellets, foraminíferos, gasterópodos, bivalvos y esporádica glauconita.

Depósitos de frente deltaico proximal. Conformados por la intercalación de conglomerados masivos matriz-soportados, arenitas masivas, a veces con laminación ondulada o en ocasiones bioturbadas, con presencia de foraminíferos, restos

fósiles de bivalvos, gasterópodos, peces y radiolas de equinodermos, así como de intraclastos carbonosos.

Depósitos de canales y barras estuarinas. Conformados por intercalaciones de conglomerados masivos matriz-soportados, arenitas masivas y lodolitas masivas. Son frecuentes la bioturbación, los nódulos sideríticos, las láminas de materia orgánica carbonosa, así como algunos restos de moluscos, peces y foraminíferos.

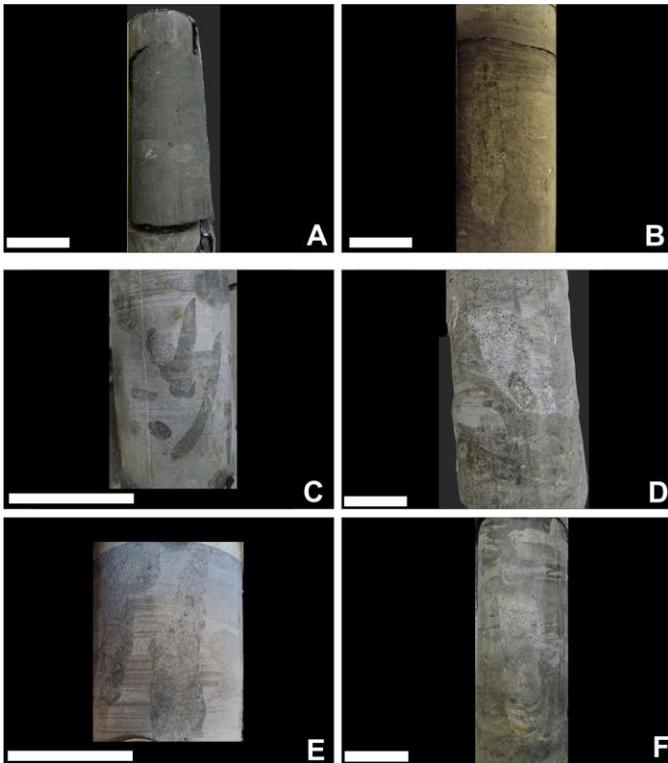


Figura 16. Facies características de la Formación Cascajal en el pozo Tumaco-1-ST-S, incluyendo estructuras de alimentación y vivienda. A) Limolita con madrigueras horizontales a 1562'. B) Bioturbación subvertical en arenitas a 534'. C) Madrigueras subverticales de vivienda a 1285'. D) Madrigueras subverticales y subhorizontales a 764,5'. E) Detalle de madrigueras verticales en arenitas laminadas a 150,1'. F) Madriguera vertical (*Diplocaterium isp?*) a 698,5'. La barra equivale a 1 cm.

Paleontología y edad.

Las determinaciones bioestratigráficas de foraminíferos, nanoplancton calcáreo y palinología, permiten establecer una edad Plioceno tardío (Zancliense), para la Formación Cascajal en el pozo Tumaco-1-ST-P (Figura 17).

A partir de foraminíferos se determinó la presencia del Gelaziense (zonas PL4, PL5). El estudio de palinomorfos determinó la presencia del Mioceno tardío a Plioceno con la identificación de las zonas *Selenopemphix minusa* y T-17 *Cyatheacidites annulatus*. Por su parte el nanoplancton calcáreo, a pesar de la pobre preservación, determinó la

presencia del Zancliense (biozonas ¿NN12–14/15).

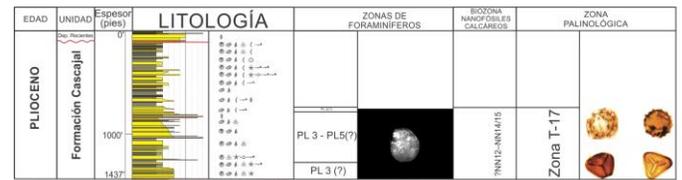


Figura 17. Columna estratigráfica generalizada y resumen bioestratigráfico de la Formación Cascajal.

Génesis.

Al igual que en las unidades infrayacentes, el conjunto de facies y asociaciones de facies de la Formación Cascajal, registra la presencia de segmentos bioturbados, numerosos fósiles de afinidad marina (Figura 18) e influencia continental, que permiten plantear la existencia de un complejo deltaico dominado por olas y mareas, que se asocia a la progradación del delta del río Mira. En esta unidad el aporte volcánico es aún mayor que en la infrayacente Formación Tangareal del Mira, lo que da cuenta del intenso vulcanismo del Plioceno en la zona.

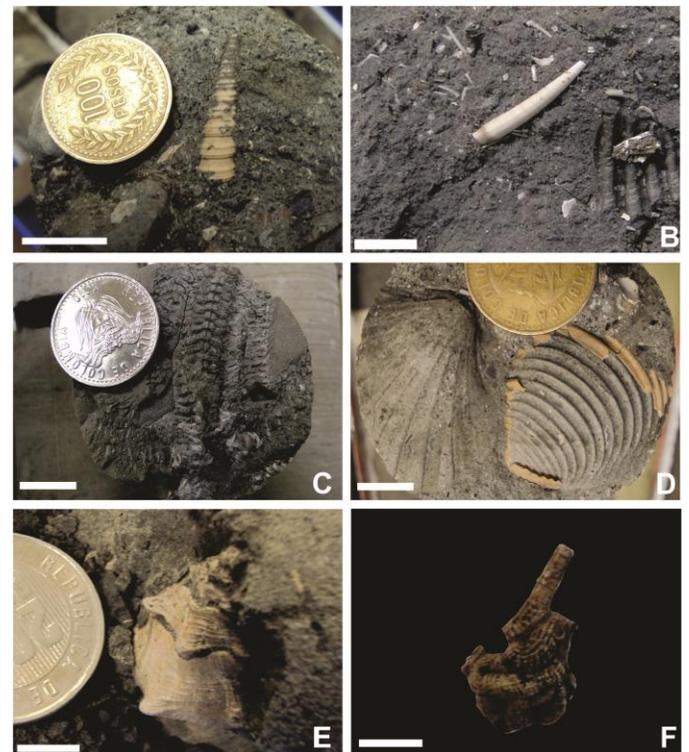


Figura 17. Contenido paleontológico de la Formación Cascajal en el pozo Tumaco-1-ST-S. A) Gasterópodo (*Turritella* sp) a 424'. B) Escafópodo (*Dentalium* sp) a 718'. C) Equinodermo asteroideo (*Estrella de mar*) a 1130'. D) Restos de los bivalvos *Glycymerys* sp y *Astarte* sp a 433'. E) Gasterópodo (*Solenosteira* sp) a 619'. F) Poliqueto (gusano serpúlido) a 304'. La barra equivale a 1 cm.

Relaciones estratigráficas de los sistemas deltaicos en el Pacífico colombiano e implicaciones regionales

El registro estratigráfico estudiado, a partir de la sección litológica observable en los pozos Buenaventura-1-ST-P y Tumaco-1-ST-P permite tener una idea clara de la sedimentación en la cuenca Tumaco durante el Neógeno, al permitir la correlación de unidades, litologías y eventos de carácter regional en el área (Figura 18).

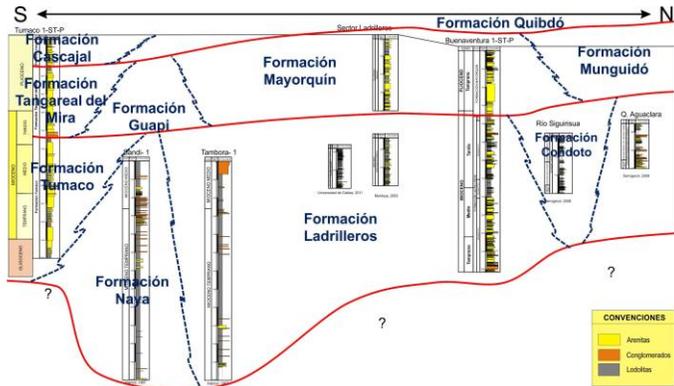


Figura 18. Correlación litoestratigráfica de pozos en la cuenca Tumaco y sur de la subcuenca San Juan (Cuenca Chocó).

El análisis de la información estratigráfica disponible, ha revelado no solo el empleo indiscriminado, de nomenclaturas extendidas desde las cuencas del Chocó y del Ecuador, así como inconvenientes de definición y de procedimiento estratigráfico, incluyendo problemas de sinonimia, homonimia, sino también la pobre o nula definición bioestratigráfica, imprecisión y falta de criterio en la definición de los límites entre unidades etc., lo que ha resultado en la existencia de un escenario estratigráfico extremadamente confuso que no ha permitido un cabal entendimiento de la estratigrafía y evolución geológica del área (Figura 19).

EDAD	Van Der Hammen (1958)	Suarez (1989)	Duque-Caro (2000)	Montoya (2003)	Marcallou (2005)	Becerra y Usma (2008)	Pozo Tumaco-1-ST-P	Pozo Buenaventura-1-ST-P
CUATERNARIO								
PLEOCENO		Fm. Guapi	Fm. Sierra	Fm. Mayorquin	Fm. Guapi	Fm. Guapi	Fm. Tangareal del Mira	Fm. Mayorquin
		Fm. Guapi	San Agustín Chagüil	Fm. Reposo	San Agustín	San Agustín Chagüil		
		Fm. Angostura	Fm. Napipi Sup	Sed. lodarenosas	Fm. Angostura	Fm. Angostura		
MIOCENO		Fm. Naya	Fm. Napipi Inf	Sed. arcillosarenosas	Fm. Naya	Fm. Viche	Fm. Tumaco	Fm. Ladrilleros
		Fm. Cayapas	Fm. Uva	Sed. calcáreo-arenosas	Fm. Cayapas	Fm. Cayapas		
OLIGOCENO	Grupo Pacifico	Unidad 1 Sur	?	Unidad 1 Sur	Unidad 1 Sur	?	?	
EOCENO		?	?	Fm. Río Piedras	?	?	Rocas Volcánicas sedimentarias	Rocas Volcánicas sedimentarias
		?	Pre Uva					
PALEOCENO				Fm. Egipal				
CRETÁCICO		Grupo Dagua		Grupo Diabésico	Grupo Diabésico	Grupo Diabésico	Grupo Diabésico	Grupo Diabésico

Figura 19. Cuadro comparativo de las principales nomenclaturas utilizadas en el área y la propuesta por este trabajo.

Las tendencias de variaciones de tamaño de grano, así como la sucesión de paleoambientes de depósito y la resultante tendencias de somerización – profundización, permiten a su vez definir un esquema estratigráfico de secuencias, con ciclos transgresivo – regresivos, *sensu* Embry (2009), que registran ascensos y caídas relativas del nivel del

mar y el desarrollo de discordancias regionales asociadas a rompimientos del ciclo sedimentario.

Estas tendencias depositacionales son claves en el entendimiento de la dinámica de la sedimentación en la cuenca, primordialmente debido al pobre conocimiento de la estratigrafía del área, la cual ha sido definida esencialmente a partir de datos de pozo.

El empleo de ciclos T-R y la correlación de discordancias, permite postular la existencia de aloformaciones de carácter regional, que marcan tendencias depositacionales, las cuales funcionan a nivel de cuenca sin tener relación directa con las litologías o paleoambientes de depósito y permiten correlacionar de una mejor manera los depósitos preservados en el subsuelo (corazones, registros, sísmica) o en superficie, tal como lo confirma la correlación entre los pozos Tumaco-1-ST-P y Buenaventura-1-ST-P (Figura 20).

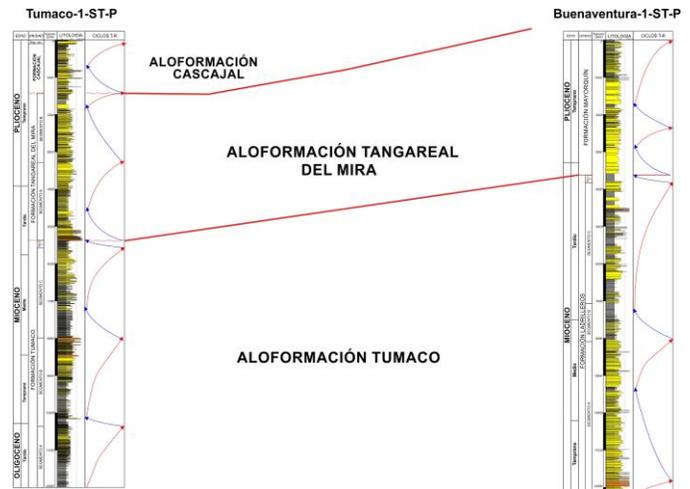


Figura 20. Empleo de un esquema aloestratigráfico y de ciclos T-R en la Cuenca Tumaco, comparando los pozos Tumaco-1-ST-P y Buenaventura-1-ST-P. En azul se ilustran ciclos transgresivos, con potencial roca fuente (asociados a depósitos de TST) y en rojo se muestran ciclos regresivos, con potenciales reservorios (asociados a depósitos de RST).

Conclusiones

La descripción detallada de los pozos estratigráficos Tumaco-1-ST-P (sur de la cuenca) y Buenaventura-1-ST-P (al extremo norte), suministra el registro más completo, hasta la fecha, del Neógeno de la cuenca Tumaco.

En estos pozos se ilustra la estratigrafía, tendencias depositacionales y evolución de los sistemas deltaicos desarrollados en el área; permitiendo además demostrar la utilidad y validez de los análisis de estratigrafía de secuencias (ciclos T-R), que facilitan la correlación regional y la prospección de hidrocarburos en estos reservorios potenciales (facies de RST), para rocas generadoras de edades paleógenas y cretácicas, algunas recién descubiertas en las islas de

Gorgona y Gorgonilla (Bermúdez *et al.* 2016a, 2016b, este volumen), que con seguridad deben estar en el subsuelo de la cuenca Tumaco.

En el pozo Tumaco-1-ST-P (11.980´) la Formación Tumaco (Chatiense-Tortoniense temprano) está compuesta por lodolitas, litoarenitas y conglomerados, asociados al paleodelta del río Patía cuando este desembocaba en la zona de la actual Bahía de Tumaco. La Formación Tangareal del Mira (Tortoniense medio a Zancliense), está compuesta por lodolitas, litoarenitas y conglomerados de paleoambientes deltaicos, derivados de la migración, al norte, del río Mira a finales del Mioceno. La Formación Cascajal (Zancliense), está compuesta por lodolitas, litoarenitas y conglomerados fluvio-deltaicos.

En el pozo Buenaventura-1-ST-P (12.136´) la Formación Ladrilleros (correlacionable con la Formación Tumaco), está compuesta por limolitas, litoarenitas y conglomerados, que representan los depósitos del paleodelta del río San Juan, cuando este desembocaba en la zona de Bahía Málaga. La Formación Mayorquín (correlacionable con Formación Tangareal del Mira) está compuesta por intercalaciones de litoarenitas, lodolitas y ocasionales conglomerados, de paleoambientes deltaicos a estuarinos.

Agradecimientos

Se agradece a la Agencia Nacional de Hidrocarburos por la autorización para la divulgación de estos resultados, que hacen parte del contrato Antek S.A - ANH 153 de 2012. La revisión de los resultados del trabajo por parte de los Drs. Darío Barrero y Luis Ernesto Ardila (asesores ANH) es altamente apreciada.

Referencias

ANH – ANTEK S.A. (2013). *Estudio integrado de los núcleos obtenidos de los pozos perforados por la ANH y de las muestras de pozo (núcleos y ripios) disponibles en la Litoteca Nacional. POZO BUENAVENTURA-1-ST-P*. Reporte interno a la ANH.

ANH – ANTEK S.A. (2014a). *Estudio integrado de los núcleos obtenidos de los pozos perforados por la ANH y de las muestras de pozo (núcleos y ripios) disponibles en la Litoteca Nacional. POZO TUMACO-1-ST-P*. Reporte interno a la ANH.

ANH – ANTEK S.A. (2014b). *Estudio integrado de los núcleos obtenidos de los pozos perforados por la ANH y de las muestras de pozo (núcleos y ripios) disponibles en la Litoteca Nacional. POZOS CUENCA CAUCA - PATÍA*. Reporte interno a la ANH.

Aspden, J.A. Nivia, A. y Millward. (1985). *Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:100.000. Plancha 279 – Dagua*. Ingeominas. Bogotá.

Bermúdez, H.D., García, J., Stinnesbeck, W., Keller, G., Rodríguez, J.V., Hanel, M., Hopp, J., Schwarz, W., Trieloff, M., Bolívar, L., Vega, F.J. (2016). The Cretaceous-Paleogene boundary at Gorgonilla Island, Colombia, South America. *Terra Nova*, 28 (1), pp 83–90.

Bermúdez, H.D., Rodríguez, J.V., García, J., (2016). Turbiditas cretácicas en la Isla de Gorgonilla. Implicaciones en la exploración petrolera del Pacífico Colombiano. *Memorias XII Simposio Bolivariano de exploración petrolera en las cuencas subandinas*. Bogotá D.C. (este volumen).

Cediel, F., Restrepo, I., Marín-Cerón, M. I., Duque-Caro, H., Cuartas, C., Mora, C. et al. (2009). *Geology and Hydrocarbon Potential, Atrato and San Juan Basins, Chocó (Panamá) Arc. Tumaco Basin (Pacific Realm)*. Medellín, Colombia.

Echeverri, S., Borrero, C., Moreno, M., Pardo, A., Castillo, H. (2011). Propuesta de nomenclatura estratigráfica para la sucesión Neógena expuesta en la bahía de Tumaco (Cuenca Tumaco costa adentro, SW de Colombia) redefinición y formalización. *Poster, XIV Congreso Latinoamericano de Geología*. Medellín. Colombia.

Embry, A.F. (2009). *Practical Sequence Stratigraphy*. Canadian Society of Petroleum Geologists, Online at www.cspg.org.

Marcaillou, B., Collot, J.Y. (2008). Chronostratigraphy and tectonic deformation of the north Ecuadorian-south Colombian offshore Manglares forearc basin. *Marine Geology*, 255, pp. 30- 44.

Montoya, D.M. (2003). *Geología de las planchas 240 Pichimá, 241 Cucurupí, 259 Malaguita y 260 Aguas Claras*. Escala 1:200.000. Memoria explicativa. INGEOMINAS, Bogotá. 106 p.

Suárez, M. (2007). Geological Framework of the Pacific Coast Sedimentary Basins, Western Colombia. *Geología Colombiana*, 32, pp. 47-62.

Universidad de Caldas – ANH (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*. Reporte interno a la ANH.