

**TRABAJO DE GRADO**

**RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL Y ASOCIACIONES DE  
FORAMINIFEROS DE LA FORMACIÓN TUBARÁ (PLIOCENO  
TEMPRANO), SECCIÓN ARROYO PIEDRAS (NORTE DE COLOMBIA)**

**POR:**

**CARLOS EDUARDO MOLINARES BLANCO  
GEÓLOGO**

**DIRECTOR:**

**PhD. JOSÉ IGNÁCIO MARTÍNEZ**

**CO-DIRECTOR:**

**PhD. CARLOS ALBERTO JARAMILLO**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS  
MEDELLÍN, JULIO DE 2007**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los resultados aquí expuestos y gran parte de este trabajo fueron posibles gracias a los convenios de cooperación tecnológica entre el Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) y el Instituto Colombiano del Petróleo (ECOPETROL-ICP); y entre este último con la Universidad EAFIT.

C.M. expresa sus agradecimientos al Geólogo José Saavedra por su colaboración en la fase de Campo; a todo el Departamento de Geociencias de la Universidad EAFIT, especialmente a Juan D. Restrepo; a mis compañeros del grupo de Bioestratigrafía de ECOPETROL –ICP, en especial a Vladimir Torres y Carolina Vargas por todo su apoyo; a Gloria Cobaleda (ECOPETROL –ICP) por su colaboración con las imágenes de microscopía electrónica; a Flavia Fiorini por todas las valiosas discusiones, sugerencias y comentarios. Este trabajo también ha sido significativamente mejorado gracias a las sugerencias y comentarios proporcionados por los revisores PhD Hermann Duque y PhD Georgina Guzmán.

Un agradecimiento muy especial al Profesor José Ignacio Martínez, por toda la paciencia, entrega y dedicación en la orientación de esta investigación y a Carlos Jaramillo por su confianza, incondicional apoyo y por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo. Finalmente a María Camila Molinares y Liliana León por todo su amor, el sacrificio y su continuo soporte e inspiración.

## Tabla de Contenido

	Pág
Listado de Figuras.....	I
Listado de Tablas .....	II
Listado de Anexos.....	III
Resumen.....	IV
Abstract.....	V
Agradecimientos.....	VI
Introducción.....	VII
1. Generalidades .....	1
1.1 Objetivos .....	1
1.2 Localización.....	1
1.3 Investigaciones Previas.....	1
1.4 Contexto Geológico.....	5
2. Métodos.....	7
3. Resultados.....	9
3.1 Descripción de litofacies.....	9
3.2 Distribución estratigráfica de los Foraminíferos.....	15
3.3 Foraminíferos Planctónicos y Edad .....	19
4. Discusión .....	20
4.1 Interpretación Paleoambiental .....	20
4.2 Significado Paleoambiental de las Asociaciones de Foraminíferos.....	22
4.3 Afinidad Pacífica-Caribe de las Asociaciones de Foraminíferos.....	25
4.4 Contexto Geológico durante la Acumulación de la Formación Tubará.....	26
4.4.1 Cambios Eustáticos durante el Plioceno Temprano.....	29
4.4.2 Tectónica en el Norte de Suramérica durante el Plioceno Temprano.....	31
4.4.3 Clima en el Norte de Suramérica durante el Plioceno Temprano.....	32
5. Conclusiones.....	36
6. Referencias.....	38

## Listado de Figuras

Figura 1.1 Localización de la sección estratigráfica de la Formación Tubará en el Arroyo Piedras, al sur del municipio de Tubará, noroccidente de Colombia.....	3
Figura 1.2. Contexto tectónico de la esquina noroccidental de Suramérica.....	4
Figura 1.3. Porción central de la plancha geológica 16-17 de INGEOMINAS.....	5
Figura 3.1. Columna generalizada del intervalo estratigráfico de la Formación Tubará, expuesto en la sección Arroyo Piedras.....	9
Figura 3.2. Litofacies reconocidas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.....	11
Figura 3.3. Litofacies reconocidas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.....	12
Figura 3.4 Litofacies reconocidas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.....	13
Figura 3.5. Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos identificadas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.....	15
Figura 3.6. Dendrograma del análisis de agrupamiento ( <i>un-constrained cluster</i> ) realizado a las 12 muestras de la Formación Tubará, cuyo recobro supero los trescientos (300) individuos.....	16
Figura 3.7. Intervalos bioestratigráfico de las especies de foraminíferos planctónicos identificados en las muestras de la Formación Tubará.....	18
Figura 4.1. Bloque diagramas ilustrando los diferentes paleoambientes interpretados para las litofacies identificadas en la columna estratigráfica de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras.....	20
Figura 4.2. Ubicación de los depocentros del delta del río Magdalena, interpretados para el intervalo Mioceno Tardío al Reciente.....	27
Figura 4.3. (A) Estados en la evolución de un delta, ilustrando las diferencias entre su fase (1) constructiva y sus fases (2-4) destructivas o de abandono. (B) Columna idealizada para un delta dominado por los ríos, que culmina con una transgresión marina de estratos sin relación genética al tope.....	28
Figura 4.4. Variaciones en el nivel del mar en metros, para el intervalo entre los 4,0 y 6,0 Ma, comparado con el actual nivel del mar.....	29
Figura 4.5. Paleoelevaciones de la Cordillera Oriental de Colombia expresada como porcentaje de la elevación actual.....	30
Figura 4.6. Ilustración esquemática del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) en América tropical en el intervalo entre los 4.4 y 4.3 Ma.....	32
Figura 4.7. Cambios en la composición porcentual de las arcillas illita, clorita, caolinita y esmectita, provenientes del núcleo DSDP-502 con respecto a la profundidad para el intervalo Plioceno Temprano y parte del Mioceno Tardío.....	34

## **Listado de Tablas**

Tabla 1. Litofacies identificadas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.....	10
Tabla 2. Listado de especies de foraminíferos bentónicos identificadas en las muestras de la Formación Tubará.....	14
Tabla 3. Porcentajes de las especies de foraminíferos bentónicos identificadas en las muestras de la Formación Tubará cuyo recobro superó los 300 individuos.....	17
Tabla 4. Foraminíferos planctónicos identificados en las muestras de la Formación Tubará.....	18
Tabla 5. Características ecológicas de algunos géneros, comunes en las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la Formación Tubará.....	21
Tabla 6. Reportes en el Caribe de cinco especies de foraminíferos bentónicos que en la Formación Tubará fueron considerados por Redmond (1953), diagnósticas de un evento de incursión del Pacífica.....	25

## **Listado de Anexos**

Anexo 1. Datos de la poligonal de la sección Arroyo Piedras

Anexo 2. Columna estratigráfica de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras

Anexo 3. Listado y conteos de los Foraminíferos bentónicos identificados en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedra

Anexo 4. Sistemática paleontológica

Anexo 5. Láminas

## Resumen

La Formación Tubara en el Arroyo Piedras (169 m) es dividida en tres segmentos, interpretados como producto de la sedimentación en ambientes marino marginales relacionados con la evolución del paleo-delta del río Magdalena durante el Plioceno Temprano: El segmento inferior, es interpretado como resultado de sedimentación siliciclástica en una llanura aluvial/deltaica; el segmento intermedio, como el resultado de sedimentación lagunar y/o en pantanos costeros y el superior, como la transición entre ambientes de anteplaya/bahía y frente de playa superior, caracterizados por una considerable reducción en el aporte de material terrígeno, al parecer, producto de una migración del paleo-delta del río Magdalena.

La sucesión está dominada por las asociaciones de foraminíferos bentónicos *Criboelphidium-Hanzawaia* (CbHz) y *Hanzawaia-Textularia-Criboelphidium* (HzTCb) en el segmento inferior; *Ammonia-Hanzawaia* (AmHz) en el segmento medio y por la asociación *Hanzawaia-Textularia-Quinqueloculina-Triloculina* (HzQT) en el segmento superior. La presencia de los foraminíferos planctónicos *Globigerinoides obliqua*, *Globigerinoides rubra* y *Globorotalia conomiozea subconomiozea* permite precisar su edad como Plioceno Temprano.

La presencia aparente de especies relacionadas con una conexión marina con el Océano Pacífico para esta sección (Redmond, 1953) es reevaluada, debido a su ocurrencia en asociaciones típicas de la provincia Caribe, incluida la sección del Arroyo Piedras.

Controles tanto autocíclicos, i.e. migración (avulsión) del delta del río Magdalena, como alocíclicos, i.e. ascenso marcado del nivel del mar, levantamiento de los Andes del norte, una migración de la posición media de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), durante el establecimiento de condiciones permanentes similares a las del fenómeno ENSO fase El Niño, parecen haberse combinado para producir la sucesión estratigráfica de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras.

**Palabras Clave:** Foraminíferos Bentónicos, Formación Tubará, Paleo-delta, Paleoambientes, Valle Inferior del Magdalena, Plioceno Temprano.

## Abstract

The Tubara Formation in the Arroyo Piedras Creek (169 m) is divided in three segments, that are interpreted as the result deposition on marginal marine environments related to the Early Pliocene evolution of the Magdalena river paleo-delta: The lower segment is interpreted as the result of siliciclastic sedimentation in an alluvial/deltaic plain; the intermediate as the result of sedimentation on a lagoon and/or coastal swamps, and the upper in the foreshore/bay – upper shoreface transition, characterized by a considerable terrigenous input decrease, maybe, originated by a migration in the Magdalena paleo-delta river system. The succession is dominated by the benthonic foraminifera assemblages *Criboelphidium-Hanzawaia* (CbHz) and *Hanzawaia-Textularia-Criboelphidium* (HzTCb) in the lower segment; *Ammonia-Hanzawaia* (AmHz) in the intermediate segment and *Hanzawaia-Textularia-Quinqueloculina-Triloculina* (HzQT) in the upper segment. The occurrence of the planktonic foraminifera taxa, *Globigerinoides obliqua*, *Globigerinoides rubra* y *Globorotalia conomiozea subconomiozea* allow to precise the age of the Tubara Formation as Early Pliocene. The apparent presence of species related to a marine connection with the Pacific Ocean (Redmond, 1953) is re-evaluated, due to their occurrence in typical Caribbean assemblages, included the Arroyo Piedras section.

Both, autocyclic, i.e. migration (avulsion) of the Magdalena river delta and allocyclic, i.e. rapid sea-level rise, northern Andes upheaval, a change in the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) position, during the stablishment of permanent El Niño–Like conditions, seem to had combined to produce, the Tubara Formación stratigraphic succession at the Arroyo Piedras section.

**Key works:** Benthonic foraminifera, Tubara Formation, Paleo-delta, Paleoenvironments. Lower Magdalena Valley, Early Pliocene.



## INTRODUCCIÓN

El levantamiento del istmo de Panamá es uno de los acontecimientos geológicos más importantes de la historia reciente de la tierra; asociado a este evento: (1) se originaron cambios profundos en el clima global (e.g. Keigwin, 1982, b; Haug & Tiedemann, 1998; Haug et al., 2001), (2) se establecieron algunas condiciones necesarias para el comienzo de las glaciaciones del hemisferio norte (Keigwin, 1982a; b; Haug & Tiedemann 1998; Bartoli et al., 2005) y (3) se produjeron cambios significativos tanto en los ecosistemas marinos (e.g. Jackson et al., 1996; Collins et al., 1996b; McDougall, 1996; Bornmalm et al., 1999; Collins & Coates, 1999), como en los terrestres (e.g. Woodring, 1954; Marshall et al., 1979; Webb & Nancy, 1996).

Aunque muchos trabajos han sido dedicados a establecer las edades de los principales eventos relacionados con el cese de las conexiones marinas entre el Océano Pacífico y el mar Caribe (e.g. Keller et al., 1989; Duque-Caro, 1990; Webb & Nancy, 1996; Coates et al., 1992; 2003; 2004), son pocas las evidencias paleontológicas (e.g. Collins et al., 1996a, Duque-Caro, 1990) que comprueben la existencia de corredores marinos (Coates & Obando, 1996; Collins et al., 1996a) que facilitarían la circulación de masas de agua someras a través del istmo de Panamá, particularmente durante el intervalo Mioceno Tardío al Plioceno Temprano (Haug et al., 2001; Steph et al., 2006).

La Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras aparentemente presenta una alta proporción de especies diagnósticas de una conexión marina con el Océano Pacífico (Redmond, 1953). Estas asociaciones, consideradas en parte como del Mioceno Superior (Redmond 1953; Van den Bold, 1966) a Plioceno Inferior (Bordine, 1974, Duque-Caro, 1990), evidenciarían que el flujo de masas de agua somera desde el Océano Pacífico al Mar Caribe (Steph, 2006), no estarían restringidos solo al área del Canal de Panamá (Collins et al., 1996a) y del Atrato (Duque-Caro, 1990). Sin embargo, un nuevo muestreo e interpretación paleoambiental de la Formación Tubará en la sección Arroyo Pideras, sugiere ambientes marinos marginales, con asociaciones de foraminíferos generalmente tolerantes a condiciones fluctuantes en la salinidad, dominadas por especies con una amplia distribución geográfica (e.g. *Ammonia beccarii*) y en donde es muy difícil evaluar afinidades oceanicas (e.g. Sen Gupta, 1999).

Se descarta que aquellas especies consideradas como diagnósticas de una incursión Pacífica (Redmond, 1953), se hubiesen generado en el Océano Pacífico e ingresado al Mar Caribe después del levantamiento inicial del istmo; además se discute la ausencia de aquellas especies de afinidad Pacífica presentes en las Formaciones Chagres (Collins et al., 1996a) o Munguido (Duque-Caro, 1990).

Finalmente, los cambios observados en la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras se relacionan con la evolución del paleo-delta del río Magdalena (e.g. Bordine, 1974; Molina, et al., 1986), en particular, durante el intervalo Mioceno Tardío - Plioceno Temprano, siendo este intervalo de especial interés, por considerarse como un reservorio potencial de hidrocarburos (Bordine, 1974, Pince et al., 2003).

## INTRODUCCIÓN

El levantamiento del istmo de Panamá es uno de los acontecimientos geológicos más importantes de la historia reciente de la tierra; asociado a este evento: (1) se originaron cambios profundos en el clima global (e.g. Keigwin, 1982, b; Haug & Tiedemann, 1998; Haug et al., 2001), (2) se establecieron algunas condiciones necesarias para el comienzo de las glaciaciones del hemisferio norte (Keigwin, 1982a; b; Haug & Tiedemann 1998; Bartoli et al., 2005) y (3) se produjeron cambios significativos tanto en los ecosistemas marinos (e.g. Jackson et al., 1996; Collins et al., 1996b; McDougall, 1996; Bornmalm et al., 1999; Collins & Coates, 1999), como en los terrestres (e.g. Woodring, 1954; Marshall et al., 1979; Webb & Nancy, 1996).

Aunque muchos trabajos han sido dedicados a establecer las edades de los principales eventos relacionados con el cese de las conexiones marinas entre el Océano Pacífico y el mar Caribe (e.g. Keller et al., 1989; Duque-Caro, 1990; Webb & Nancy, 1996; Coates et al., 1992; 2003; 2004), son pocas las evidencias paleontológicas (e.g. Collins et al., 1996a, Duque-Caro, 1990) que comprueben la existencia de corredores marinos (Coates & Obando, 1996; Collins et al., 1996a) que facilitarían la circulación de masas de agua someras a través del istmo de Panamá, particularmente durante el intervalo Mioceno Tardío al Plioceno Temprano (Haug et al., 2001; Steph et al., 2006).

La Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras aparentemente presenta una alta proporción de especies diagnósticas de una conexión marina con el Océano Pacífico (Redmond, 1953). Estas asociaciones, consideradas en parte como del Mioceno Superior (Redmond 1953; Van den Bold, 1966) a Plioceno Inferior (Bordine, 1974, Duque-Caro, 1990), evidenciarían que el flujo de masas de agua somera desde el Océano Pacífico al Mar Caribe (Steph, 2006), no estarían restringidos solo al área del Canal de Panamá (Collins et al., 1996a) y del Atrato (Duque-Caro, 1990). Sin embargo, un nuevo muestreo e interpretación paleoambiental de la Formación Tubará en la sección Arroyo Pideras, sugiere ambientes marinos marginales, con asociaciones de foraminíferos generalmente tolerantes a condiciones fluctuantes en la salinidad, dominadas por especies con una amplia distribución geográfica (e.g. *Ammonia beccarii*) y en donde es muy difícil evaluar afinidades oceanicas (e.g. Sen Gupta, 1999).

Se descarta que aquellas especies consideradas como diagnósticas de una incursión Pacífica (Redmond, 1953), se hubiesen generado en el Océano Pacífico e ingresado al Mar Caribe después del levantamiento inicial del istmo; además se discute la ausencia de aquellas especies de afinidad Pacífica presentes en las Formaciones Chagres (Collins et al., 1996a) o Munguido (Duque-Caro, 1990).

Finalmente, los cambios observados en la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras se relacionan con la evolución del paleo-delta del río Magdalena (e.g. Bordine, 1974; Molina, et al., 1986), en particular, durante el intervalo Mioceno Tardío - Plioceno Temprano, siendo este intervalo de especial interés, por considerarse como un reservorio potencial de hidrocarburos (Bordine, 1974, Pince et al., 2003).

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 OBJETIVOS**

- Interpretar los ambientes de acumulación del intervalo estratigráfico de la Formación Tubará que aflora en la sección Arroyo Piedras, con base en las evidencias micropaleontológicas y/o estratigráficas observadas en campo.
- Establecer la edad de la unidad mediante la identificación de foraminíferos planctónicos.
- Comparar las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la sección Arroyo Piedras, con las asociaciones descritas en las Formaciones Chagres y Munguido

### **1.2 LOCALIZACIÓN**

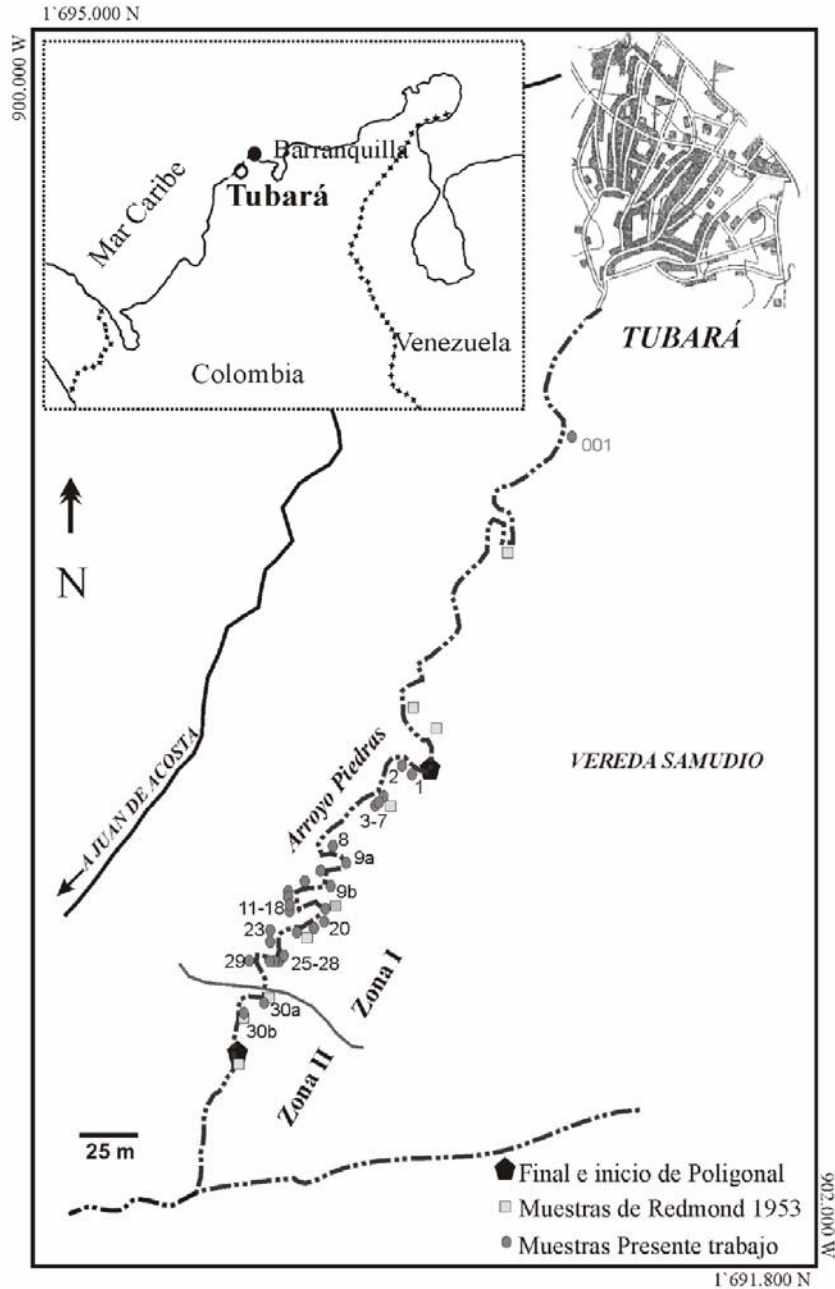
El Arroyo Piedras está localizado al noroccidente de Colombia, en cercanías al Municipio de Tubará (10° 52' 31.20" N; 74° 58' 37.96" W), a ~25 km al sur occidente de Barranquilla. La sección del Arroyo Piedras localizada al sur de esta población, corresponde con la descrita originalmente por Redmond (1953) como sección Arroyo el Horno y por Van den Bold (1963) como sección Arroyo de las Piedras (Fig. 1.1).

### **1.3 INVESTIGACIONES PREVIAS**

Los primeros trabajos estratigráficos sobre la Formación Tubará, en particular sobre la sucesión estratigráfica presente en el Arroyo Piedras, se remontan a comienzos del siglo pasado (Anderson, 1926; 1927a; b; 1928; 1929). La unidad, expuesta en los alrededores de Tubará, según Anderson (1929) tiene un espesor no menor de 2650' y consta de siete (7) horizontes estratigráficos, principalmente delimitados con base en su contenido de moluscos, denominados en orden ascendente con las letras M hasta S (Anderson, 1929).

La sección Arroyo Piedras según Redmond (1953), correspondería solo a los horizontes O al S de Anderson (1927), sin embargo, los límites superior e inferior de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras no están expuestos (e.g. Porta, 1974); a su vez, esta unidad carece hasta el momento de una sección tipo de referencia (Porta, 1974; Porta 2003).

En la sección Arroyo Piedras, Redmond (1953) reconoce ochenta y tres (83) especies de foraminíferos, de las cuales quince (15) fueron reportadas como nuevas. También establece que las edades de sus zonas serían Mioceno Medio Tardío (Zona I) a Mioceno Tardío (Zona II) y resalta la aparente afinidad Pacífica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos, atribuida a la libre comunicación entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe durante el Oligoceno al Mioceno Temprano.



**Figura 1.1** Localización de la sección estratigráfica de la Formación Tubará en el Arroyo Piedras, al sur del municipio de Tubará ( $10^{\circ} 52' 31.20''$  N;  $74^{\circ} 58' 37.96''$  W), noroccidente de Colombia. Se representan las muestras analizadas en este trabajo, junto con las muestras y las zonas I & II descritas por Redmond (1953). Ubicación del recuadro en coordenadas planas origen Bogotá.

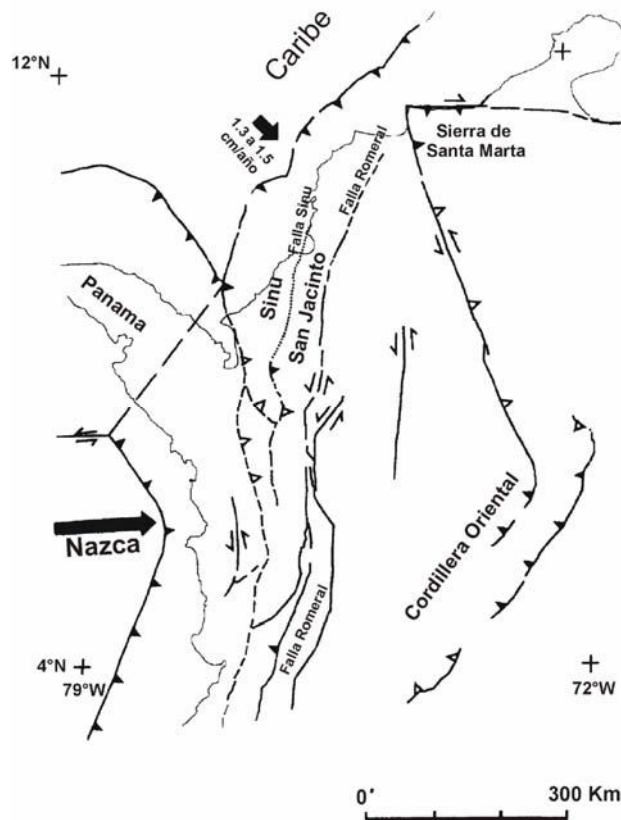
Entre las especies de afinidad Pacífica, Redmond (1953) destaca: *Bolivina brevior*, *Cymbaloporetta bradyi*, *Cymbaloporetta squamosa*, *Tretomphalus pacificus*, *Bolivina ligularia*, *Loxostomum limbatum*, *Planorbulina mediterraneensis* y *Reusella pulcra*, reportadas en la(s) Zona I y/o Zona II, que podrían solo ser explicadas por una conexión reciente entre los dos océanos. Estas asociaciones fueron interpretadas por Redmond (1953) como de ambientes neríticos de mar abierto de profundidad moderada.

La Formación Tubará, ha sido estudiada también respecto a su contenido de ostrácodos (Van den Bold, 1966) y evolución paleoambiental (Bordine, 1974). La reconstrucción de Bordine (1974), evidencian sucesiones regresivas de plataforma externa hacia ambientes marino marginales grueso-granulares cuya edad sería Mioceno Tardío a Plioceno Temprano y correspondería con la postulada por Duque-Caro (1990) para esta sección.

La edad Mioceno Tardío – Plioceno Temprano para la sección Arroyo Piedras (Bordine 1974; Duque-Caro 1990), sería aparentemente más joven que lo planteado originalmente por Redmond (1953) y Van den Bold (1966). Sin embargo, para una comprensión de los cambios en las edades de las unidades litoestratigráficas, es crítico considerar la cronoestratigrafía vigente a la fecha de publicación, particularmente para el Oligoceno y el Mioceno del norte de Colombia (e.g. Porta, 1970; Duque-Caro, 2006).

#### 1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

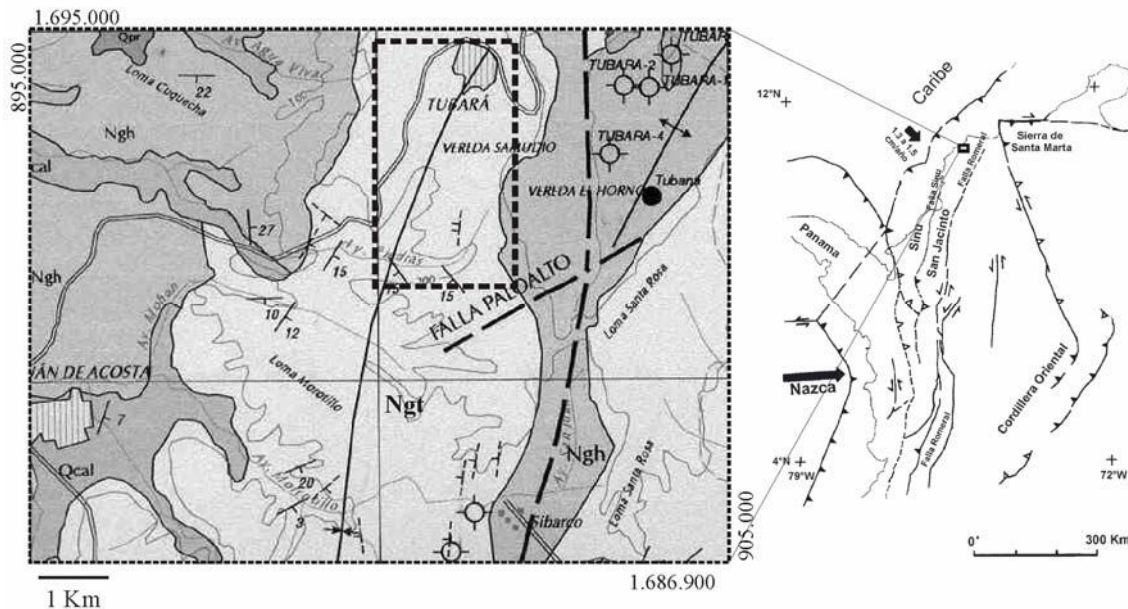
El noroccidente colombiano está localizado en la zona de convergencia entre las placas de Suramérica y Caribe (Totto & Kellogg, 1992; Flinch 2003); la convergencia de éstas placas durante el Terciario, dio lugar a la formación de dos provincias geológicas conocidas como cinturón de Sinú y cinturón de San Jacinto (Duque-Caro 1979; Totto & Kellogg, 1992; Flinch 2003), limitadas por los lineamientos de Sinú y de Romeral (Fig. 1.2).



**Figura 1.2.** Contexto tectónico de la esquina noroccidental de Suramérica. En este esquema se observan los cinturones de Sinú y San Jacinto, delimitados por los lineamientos de Sinú y Romeral (modificado de Totto & Kellogg, 1992).

El cinturón plegado de San Jacinto posee un basamento oceánico, que lo diferencia de las secuencias al oriente las cuales suprayacen un basamento continental ígneo-metamórfico (Duque-Caro, 1979). Sobre este basamento oceánico se acumularon rocas pelágicas del Cretácico Superior, una espesa secuencia del Terciario Inferior y sedimentos fluvio-lacustrinos del Cuaternario (Duque-Caro 1979, Flinch 2003). Por su parte, el cinturón del Sinú, está constituido en la base por una corteza oceánica de edad posiblemente pre-Coniaciano (Case et al., 1990), sobre la que se han descrito arcillolitas del Oligoceno – Mioceno, sedimentos fino-granulares del Mioceno Superior, turbiditas del Plioceno y sedimentos clásticos y/o carbonatos someros del Cuaternario (Duque-Caro 1979).

La sección estratigráfica del Arroyo Piedras está ubicada en la terminación periclinal del sinclinal de Tubará, un pliegue asimétrico amplio, con su flanco oriental más inclinado, constituido por rocas de la Formación Tubará y en parte, por la Formación Hibacharo (Fig. 1.3). El sinclinal de Tubará hace parte de la Serranía de Tubará (Duque-Caro 1979), en las estribaciones septentrionales del denominado cinturón plegado de San Jacinto.



**Figura 1.3.** Porción central de la plancha geológica 16-17 de INGEOMINAS. El recuadro interno indica la posición de la Figura 1. En la parte superior se observa la población de Tubará, en el centro, el eje del sinclinal de Tubará, a la derecha y en la parte inferior, algunos pozos exploratorios de hidrocarburos y al exterior su ubicación en coordenadas planas origen Bogotá. (Ngt = Formación Tubará; Ngh = Formación Hibacharo; Qcal = Cuaternario aluvial).

## 2 MÉTODOS

En este trabajo se buscó recolectar y ubicar, con la mayor precisión, muestras para análisis micropaleontológico, que en lo posible, correspondieran exactamente con la sucesión de Redmond (1953). Para esto, se levantó una columna estratigráfica mediante el trazo de una poligonal de 1.448,95 m a lo largo del Arroyo Piedras (Anexo 1). La sección descrita a continuación, inicia a los 10° 51' 29.77" N; 74° 59' 01.58" W y culmina a los 10° 51' 08.00" N; 74° 59' 18.25" W. (Fig. 1) y representa un espesor estratigráfico real de 169,78 m (Fig. 4; Anexo 2). Para la descripción de la columna estratigráfica, los diferentes estratos se delimitaron principalmente con base en las litofacies, teniendo en cuenta su geometría externa, forma, color, tamaño de grano, matriz, contenido fosilífero y de materia orgánica. En total, 35 muestras fueron recolectadas preferiblemente en aquellos estratos que presentaran características consideradas como indicadoras de una buena preservación de la microfauna (granulometría fina, color oscuro, sin oxidación, etc.); tomando de cada horizonte una muestra de 200 a 500 g, y luego preservadas en bolsas etiquetadas con información acerca del punto de muestreo.

En el laboratorio del Instituto Colombiano del Petróleo (ECOPETROL – ICP), 20 g. de cada muestra fueron secados a 60°C durante 24 horas. Posteriormente fueron lavadas en varios ciclos con agua y detergente sobre un tamiz de 63 µm, hasta que el material arcilloso fue removido completamente. A continuación los residuos secos fueron reducidos por el método del cuarteo manual, verificando al mismo tiempo su homogeneidad. Todos los especímenes de foraminíferos fueron extraídos de las sub-muestras y organizados por sus características morfológicas en placas porta-foraminíferos utilizando un estereoscopio de 50X. Las placas micropaleontológicas estarán almacenadas en la foraminíteca (en construcción) del grupo de bioestratigrafía de ECOPETROL-ICP, la cual será depositada en las instalaciones del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), en Piedecuesta, Santander.

La clasificación genérica adoptada se basó en Loeblich & Tappan (1987), mientras que la determinaciones específicas fueron realizadas mediante la comparación de ilustraciones y fotografías, en el catálogo *on-line* de holotipos de Ellis & Messina (bajo la Licencia de ECOPETROL – ICP) y de algunas publicaciones de localidades del Mioceno Superior, Plioceno y Reciente del Caribe, Golfo de México, California y Pacífico ecuatorial (e.g. Cushman & Jarvis, 1930; Barbat & Johnson, 1934; Hedberg, 1937; Coryell & Rivero, 1940; Cushman & Renz, 1941; Renz, 1948; Franklin, 1944; Stainforth, 1948; Bermudez, 1949; Phleger & Parker, 1951; Redmond, 1953; White, 1956; Garrison, 1959; Smith, 1964; Boltovskoy & Gualancañay, 1975; Poag, 1981; Bolli et al., 1984; Kohl, 1985; Casell & Sen Gupta, 1989; Collins, 1993; Parada-Ruffinatti, 1996; Javaux & Scott, 2003). Las especies identificadas fueron posteriormente fotografiadas en el laboratorio de microscopía electrónica de la Universidad Nacional sede Bogotá.

Debido a que muchas de las asociaciones y/o especies de foraminíferos bentónicos encontradas en la Formación Tubará han sido reportadas en sedimentos recientes, las interpretaciones paleoecológicas y paleobatimétricas se basan en comparaciones con asociaciones del Caribe y el Golfo de México (e.g. Phleger & Parker, 1951; Culver & Buzas 1982; Poag, 1981; Murray 1991; Javaux & Scott, 2003). Además, con el propósito de identificar asociaciones de foraminíferos bentónicos de significado paleoecológico e investigar la distribución de dichas asociaciones a lo largo de la sección estratigráfica, se

realizó un análisis de agrupamiento (*cluster*) sin restricciones (*un-constrained*) utilizando el programa MVSP® (<http://www.kovcomp.com/>).

En el análisis *cluster*, al contrario de otros métodos estadísticos, algunas restricciones comunes no aplican; por ejemplo, las muestras pueden no ser producto de un muestreo estadísticamente aleatorio o los atributos pueden no necesariamente poseer una distribución de frecuencia normal (Davis, 1986). El procedimiento general para realizar un análisis de agrupamiento se inicia con la escogencia de alguna medida de similitud, en este caso se escogió la distancia euclidiana. La ventaja de esta medida, es que los agrupamientos no son muy afectados por datos extremos (*outliers*) y además fue escogido por que los atributos, no poseen escalas de medidas diferentes, lo cual si afecta este índice. Como algoritmo de agrupamiento se escogió el de similitud media no ponderada (UPGMA, *unweighted pair group average*, Sneath & Sokal, 1973), definido como el promedio sin ponderación de las distancias entre todos los pares de objetos en dos diferentes agrupaciones (*clusters*). Este algoritmo fue seleccionado por su eficiencia al formar agrupamientos, incluso en *clusters* elongados ("*chain type clusters*"). Otros cinco métodos de agrupamiento (Centroide, WPGMA, Varianza Mínima, Vecino más cercano y Vecino más lejano) fueron comparados con los resultados obtenidos con el UPGMA, buscando que los resultados mantuvieran una coherencia con la información geológica.

Finalmente, la afinidad Pacífico – Caribe fue evaluada teniendo como referencia todas las publicaciones anteriormente citadas, pero principalmente la base de datos de reportes de foraminíferos bentónicos de las localidades del PPP (*Panama Paleontological Project*) del STRI (*Smithsonian Tropical Research Institute*)



### 3. RESULTADOS

#### 3. 1. DESCRIPCIÓN DE LITOFACIES

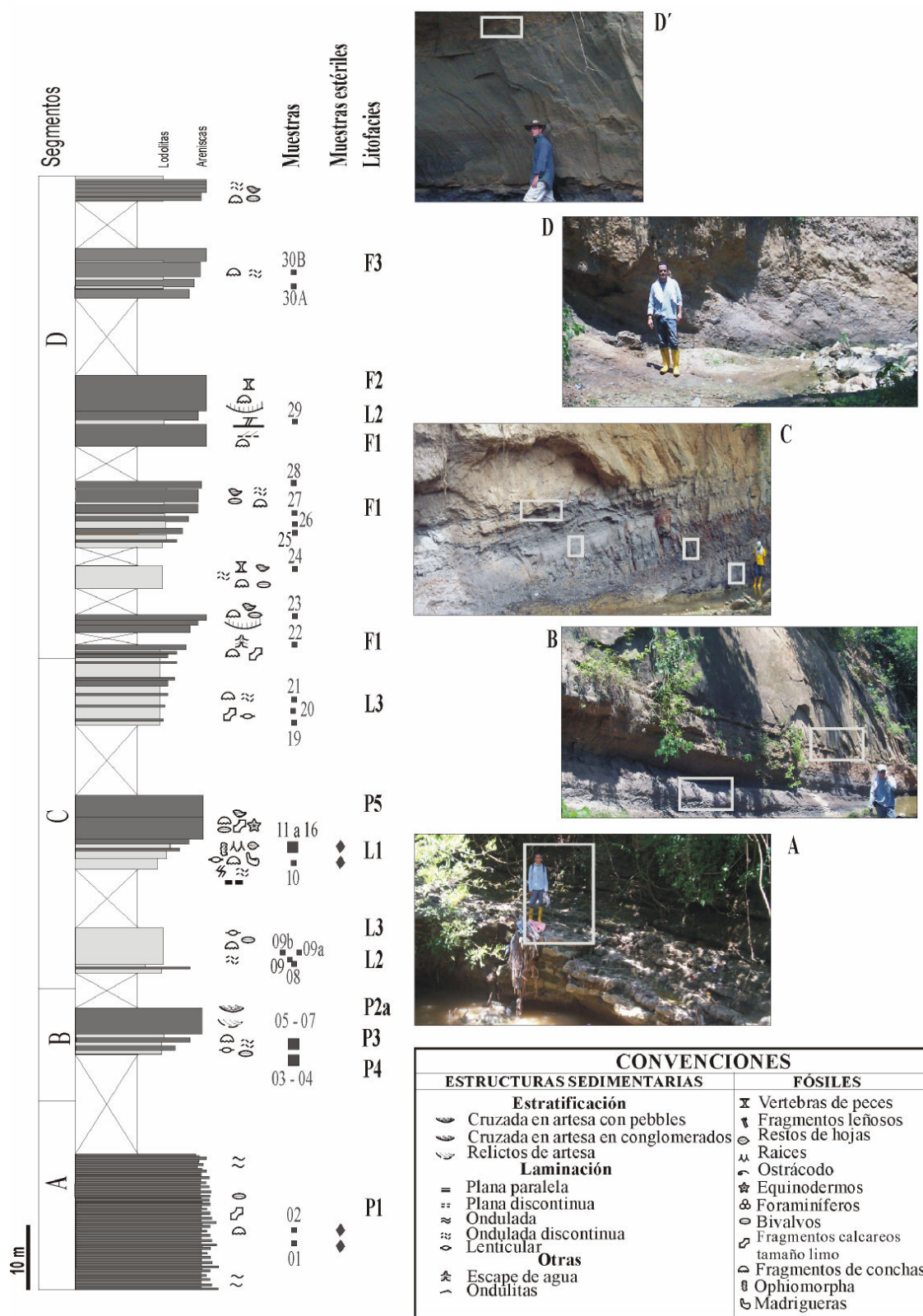
La sección Arroyo Piedras fue dividida en cuatro (4) segmentos estratigráficos, en los cuales se discriminaron doce (12) litofacies, agrupadas en tres (3) asociaciones (Tabla 1), distribuidas en orden ascendente de la siguiente manera (Fig. 3.1):

El segmento **A** (Fig. 3.1), se caracteriza por la presencia de una sucesión rítmica (Fig. 3.2) de litoarenitas fosilíferas, de grano fino a medio, en capas de 15 a 25 cm, con laminación ondulosa continua y geometría tabular (*litofacies P1*); las cuales cambian gradualmente a litoarenitas fosilíferas de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, muy bien calibradas, bien cementadas, con fragmentos fósiles de moluscos (25%) de hasta 3 cm de longitud, en capas de 10 a 30 cm (Fig. 3.2).

El segmento **B** (Fig. 3.1), presenta litoarenitas fosilíferas de grano medio a grueso, en ocasiones conglomeráticas, lodosas, en capas de 5 a 60 cm. Las capas son grano-decrecientes (Fig. 3.3), gradando al tope a lodolitas arenosas de 3 a 20 cm, con láminas a capas lenticulares de 1 a 8 mm de espesor, compuestas de cuarzoarenitas fosilíferas de grano muy fino (*litofacies P4*). A continuación, en este mismo segmento, ocurre un intervalo de 6 m compuesto de cuarzo arenitas de grano medio, deleznales, con buen calibrado y estratificación cruzada en artesa y en ocasiones con guijos a la base de las artesas (*litofacies P3*); intercalado con arcillolitas grises con estratificación plano paralela (*litofacies P2a*) y delgados lentes de cuarzoarenitas de grano muy fino (Fig. 3.2).

El segmento **C** (Fig. 3.1), presenta un predominio de arcillolitas grises (Fig. 3.4) con laminación plano-paralela continua (*litofacies L3*), en ocasiones con niveles de arenitas fosilíferas con laminación ondulosa (Fig. 6.2.4) y estratificación lenticular, seguidas por lodolitas carbonosas con fragmentos de hojas (*litofacies L2*; Fig. 3.3) y limolitas a arenitas de grano muy fino bioturbadas (*litofacies L1*), algunas de estas mostrando vestigios de raíces y de la ichnofacies *Ophiomorpha* (Fig. 3.3). En este intervalo se observan apariciones esporádicas de litoarenitas conglomeráticas con gradación normal, con abundantes fragmentos, mal seleccionados, de bivalvos y gasterópodos (Fig. 3.3.2.1), que disminuyen hacia el tope en proporción y tamaño (*litofacies P5*), además de algunos niveles de litoarenitas fosilíferas, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada plana en bajo ángulo, geometría lenticular y contactos netos erosivos a la base (*litofacies P2b*) y además, aparentemente estructuras de escape de agua (Fig. 3.2).

El segmento **D** (Fig. 3.1), el cual coincide con la Zona II de Redmond (1953), se caracteriza por la presencia de litoarenitas lodosas, fosilíferas, que gradan a lodolitas arenosas grises (*litofacies F3*), y ocurrencias esporádicas de arcillolitas grises, asociadas a la *litofacies L2*, suprayacidas por una sucesión de cuarzoarenitas de grano medio, muy limpia, deleznable, bien seleccionadas, con excelente calibrado y estratificación cruzada plano paralela (Fig 3.4; *litofacies F2*). Hacia el tope (Fig. 3.1, Segmento D'), se observa una sucesión de litoarenitas lodosas, grises, de grano fino, con laminación ondulosa continua, que gradan a litoarenitas más limpias, bien seleccionadas y cementadas, en capas de mayor espesor, más frecuentes y continuas (*litofacies F1*).

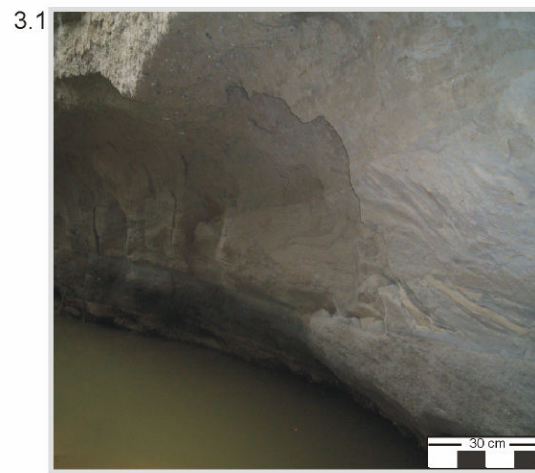
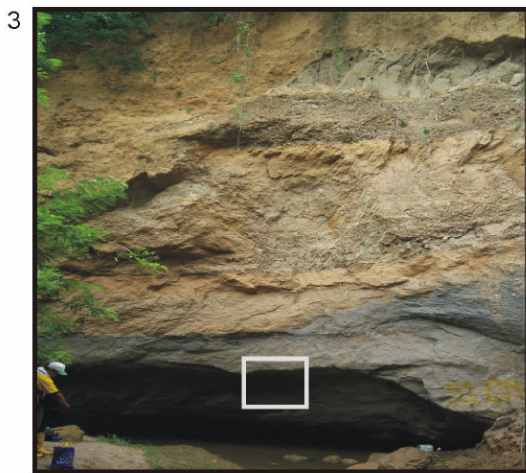
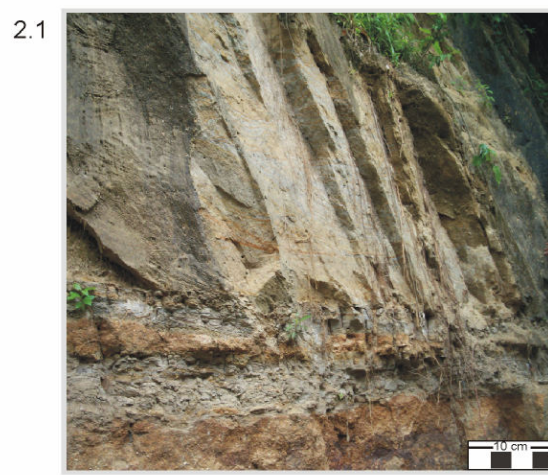
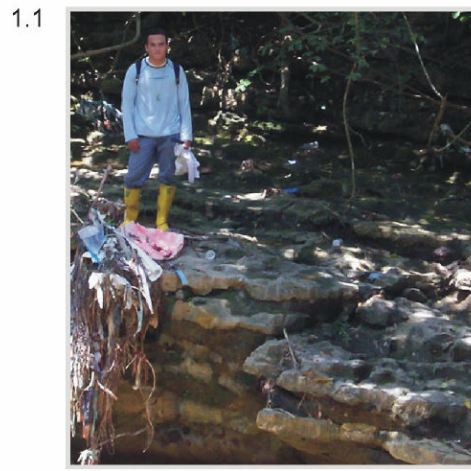


**Figura 3.1.** Columna generalizada de la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras. Se ilustran las muestras y las *litofacies*, distribuidas en los segmentos (A-D) en los que fue dividida la sección. Los recuadros indican la ubicación de las imágenes ampliadas en las Figuras 5 -7.

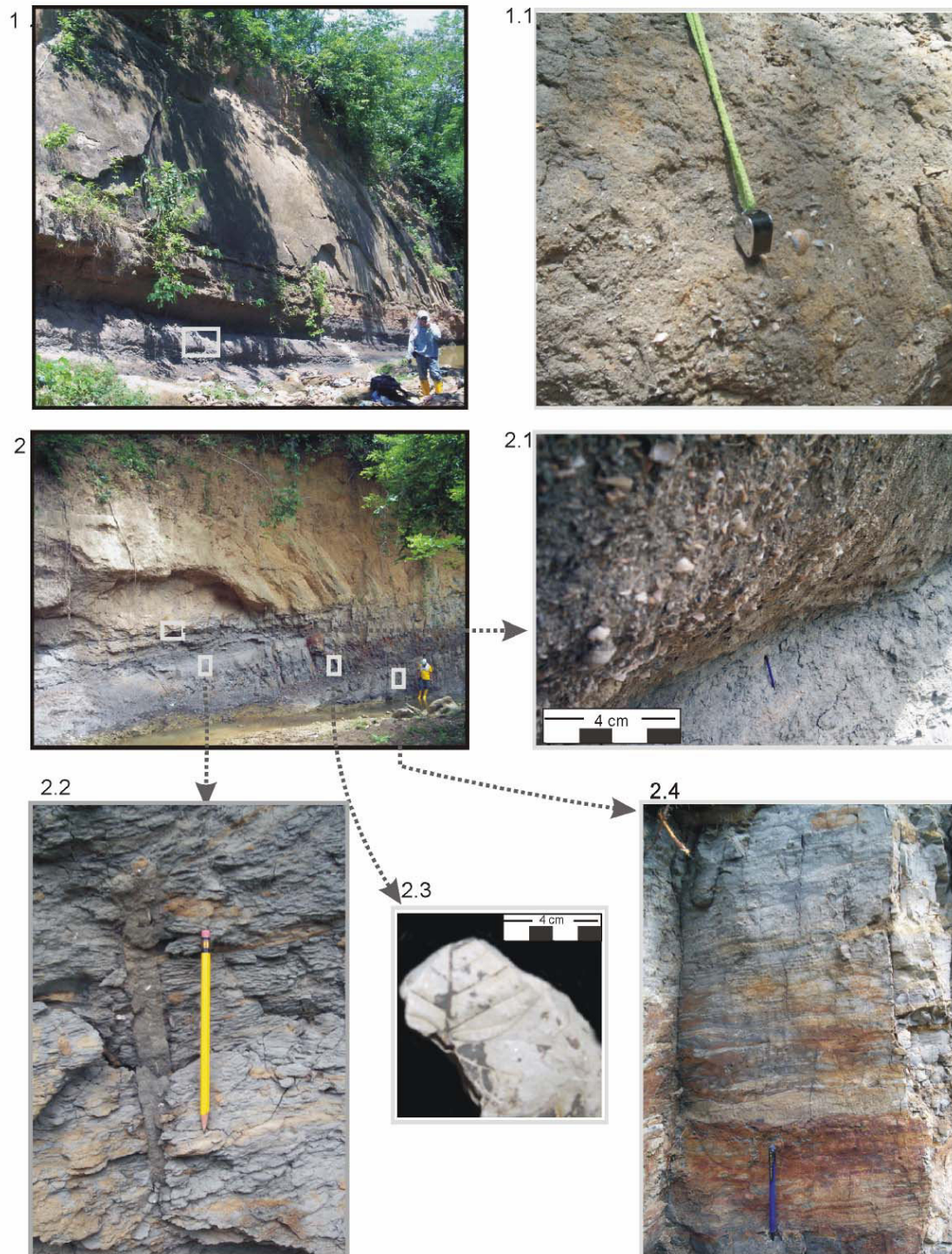
**Tabla 1.** Litofacies y asociaciones de litofacies identificadas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras. Interpretación paleo-ambiental basada en las litofacies asociadas a ambientes marinos deltaicos descritas en Coleman & Prior 1982; Elliot 1986; Bhattacharya & Walter 1992.

Descripción de Litofacies	Código	Ambiente	Figura	Asociación
Litoarenitas (Qz 5%, L 90%, F5%), lodosas, fosilíferas (30%), de grano fino a medio, con laminación ondulosa y geometría tabular continua en capas de 15 a 25 cm, que cambian gradualmente a litoarenitas fosilíferas de grano medio a grueso, localmente conglomeráticas, muy bien calibradas, mejor cementadas, con fragmentos fósiles (25%) de hasta 3 cm de longitud, en capas de 10 a 30 cm	P1	Barras frontales de canal tributario	5.1.1	
Cuarzo arenita (Qz 95%, L 3%, F 2%) de grano medio, muy bien calibrada, deleznable, con estratificación cruzada en artesa y en ocasiones con guijos a la base de las artesas	P2a	Barras de canal	5.2.1	
Litoarenita (Qz 75%, L 10%, F5%) fosilífera (10-25%) de grano medio a grueso, geometría lenticular, contactos netos erosivos a la base, estratificación cruzada plana en bajo ángulo y aparentes estructuras de escape de agua	P2b		5.3.1	
Arcillolitas grises con estratificación plano paralela, intercaladas con lentes de arenitas de grano muy fino	P3	Planicie de inundación	5.2.1	P. Planicie Aluvial/deltaica
litoarenitas (Qz 75%, L 20%, F5%), de grano medio a grueso, fosilíferas, en ocasiones conglomeráticas, lodosas (Ar 70%,M 25%,C 5%), granodecrecientes, en capas de 5 a 60 cm, con láminas a capas lenticulares de 1 a 8 mm de espesor, compuestas de cuarzo arenitas de grano muy fino, intercalados con lodolitas arenosas de 3 a 20 cm de espesor, con laminación ondulosa continua	P4	Desborde de canal	6.1.1	
Estratos de aproximadamente 4 m. de litoarenita (Qz 75%, L 20%, F5%) de grano medio a grueso, fosilíferas, conglomerática a la base, con gradación normal y con abundantes fragmentos y conchas gasterópodos y bivalvos, que tienden a disminuir hacia el tope	P5	Depositos de flujos torrenciales	6.2.1	
Lodolitas grises, fisiles, con laminación ondulosa continua, que gradan a lodolitas arenosas, grises, intercaladas con lentes de 1 cm hasta 4 cm de cuarzoarenitas fosilíferas de grano muy fino, con pequeños frag.de bivalvos & gasterópodos	L1	Laguna/Pantano costero	7.1.1 7.1.2	
Limolitas grises oscuras, carbonosas, bioturbadas, con abundantes fragmentos de hojas, que gradan a limolitas arenosas bioturbadas con laminación ondulosa.	L2	Pantano costero ( <i>swamp</i> )	6.2.3	L. Laguna / Pantano costero
Lodolitas arenosas, fosilíferas, con abundantes fragmentos & conchas de bivalvos & gasterópodos algunos de ellos mostrando una incipiente orientación que gradan a litoarenitas (Qz 75%, L 20%, F5%) lodosas (Ar 75%, M15%, C5%), fosilíferas, mejor calibradas y cementadas; granocrecientes y con laminación ondulosa continua	L3	Laguna costera ( <i>lagoon</i> )	6.2.2 6.2.4	
Litoarenitas (Qz 75%, L 20%, F5%), lodosas (Ar 60%, M35%, C5%) de grano fino, grises, fosilíferas, que gradan a lodolitas grises masivas sin fósiles ni estructuras internas aparentes	F1	Anteplaya ( <i>foreshore</i> ) / Bahía ( <i>Bay</i> )	7.3	
Cuarzo arenitas (Qz 95%, L 5%, F0%), de grano medio, buena selección & calibrado, bioturbadas, con estratificación cruzada plana de bajo ángulo en set de hasta 60 cm de espesor.	F2	Duna de playa	7.3.1	F. Transición Anteplaya / frente de playa
Litoarenitas (Qz 75%, L 20%, F 5%) lodosas (Ar 60%, M35%, C5%), de grano fino, laminación ondulosa continua, que gradan a litoarenitas (85%, L 10%, F5%) (Ar 75% M25%, C5%), mejor seleccionadas y cementadas, en capas de mayor espesor (10 a 25 cm), más frecuentes, continuas & con ondulitas al tope.	F3	Frente de Playa superior ( <i>Upper shoreface</i> )	7.4	

Qz: Cuarzo, L: Líticos, F: Feldespato; Ar: Armazón, M: Matriz, C: Cemento



**Figura 3.2.** Litofacies reconocidas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras. (3.2.1) Panorámica y detalle de la litofacies *P1*, interpretada como barras frontales de canal tributario. (3.2.2) Panorámica y detalle de las litofacies, *P2a*, barras laterales de canal y *P3*, llanura de inundación. (3.3.3) Panorámica y detalle de la litofacies *P2b*, mostrando aparentes estructuras de escape de agua.



**Figura 3.3.** Litofacies reconocidas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.

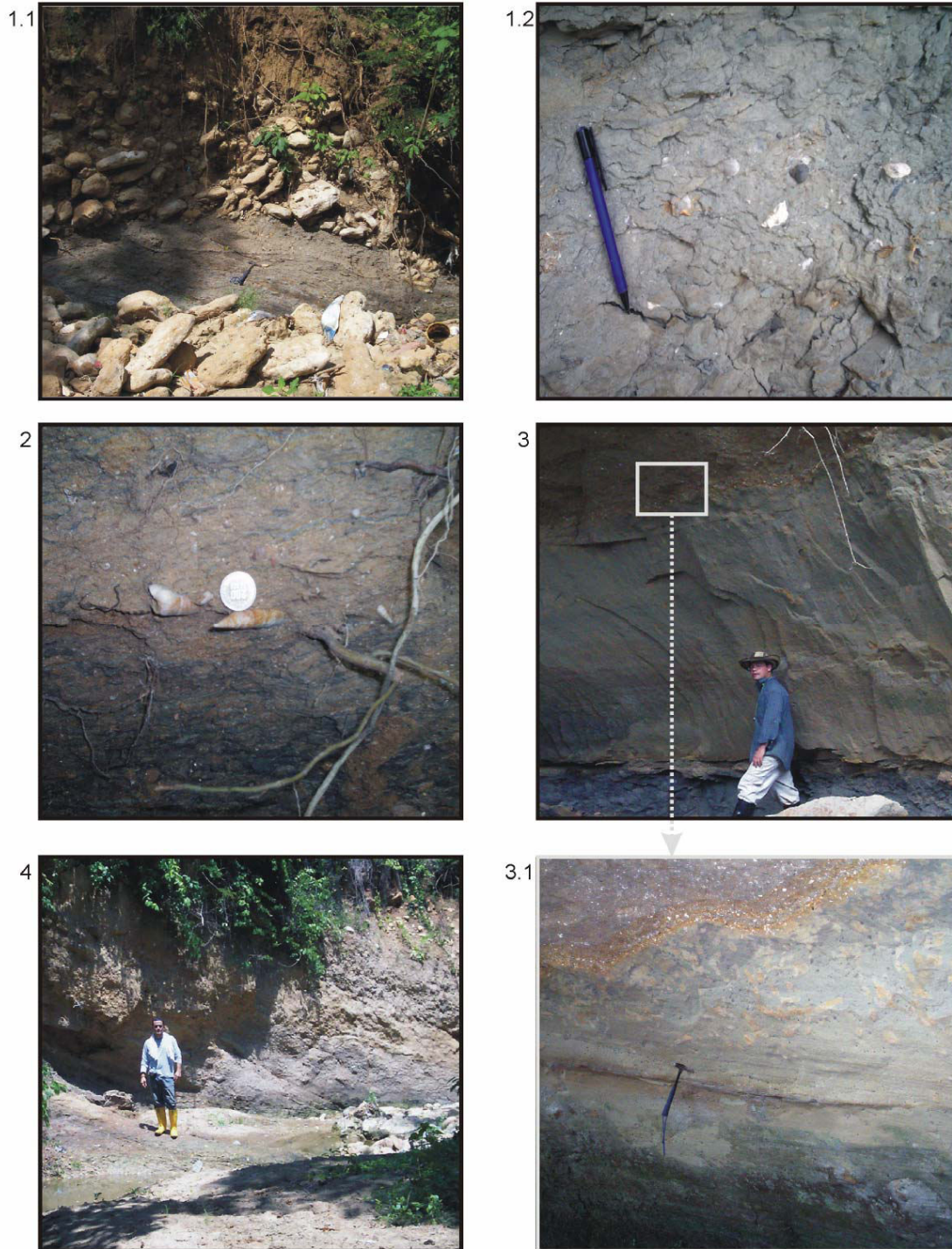
(3.3.1) Panorámica y detalle de la litofacies *P4*, productos de desbordes de canal tributario.

(3.3.2) Panorámica del Segmento C; (3.3.2.1) Detalle de la litofacies *P5*, aparentes flujos torrenciales no canalizados.

(3.3.2.2) Detalle de la ichnofacies *Ophiomorpha* encontrada en la litofacies *L3*.

(3.3.2.3) Fragmentos de hojas de la litofacies *L2*, interpretada como depósitos de pantanos costeros.

(3.3.2.4) Estratificación lenticular y laminación ondulosa en la litofacies *L3*, aparentes lagunas costeras.



**Figura 3.4.** Litofacies reconocidas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.

(3.4.1) Panorámica y detalle de la litofacies *L1*, interpretado como depósitos de laguna/Pantano costero. (3.4.2) Detalle de la litofacies *F1*, representando los depósitos de la transición de una anteplaya / bahía. (3.4.3) Panorámica y detalle de la litofacies *F2*, al parecer producto dunas de playa. (3.4.4) Panorámica de la litofacies *F3*, interpretado como depósitos de un frente de playa superior.

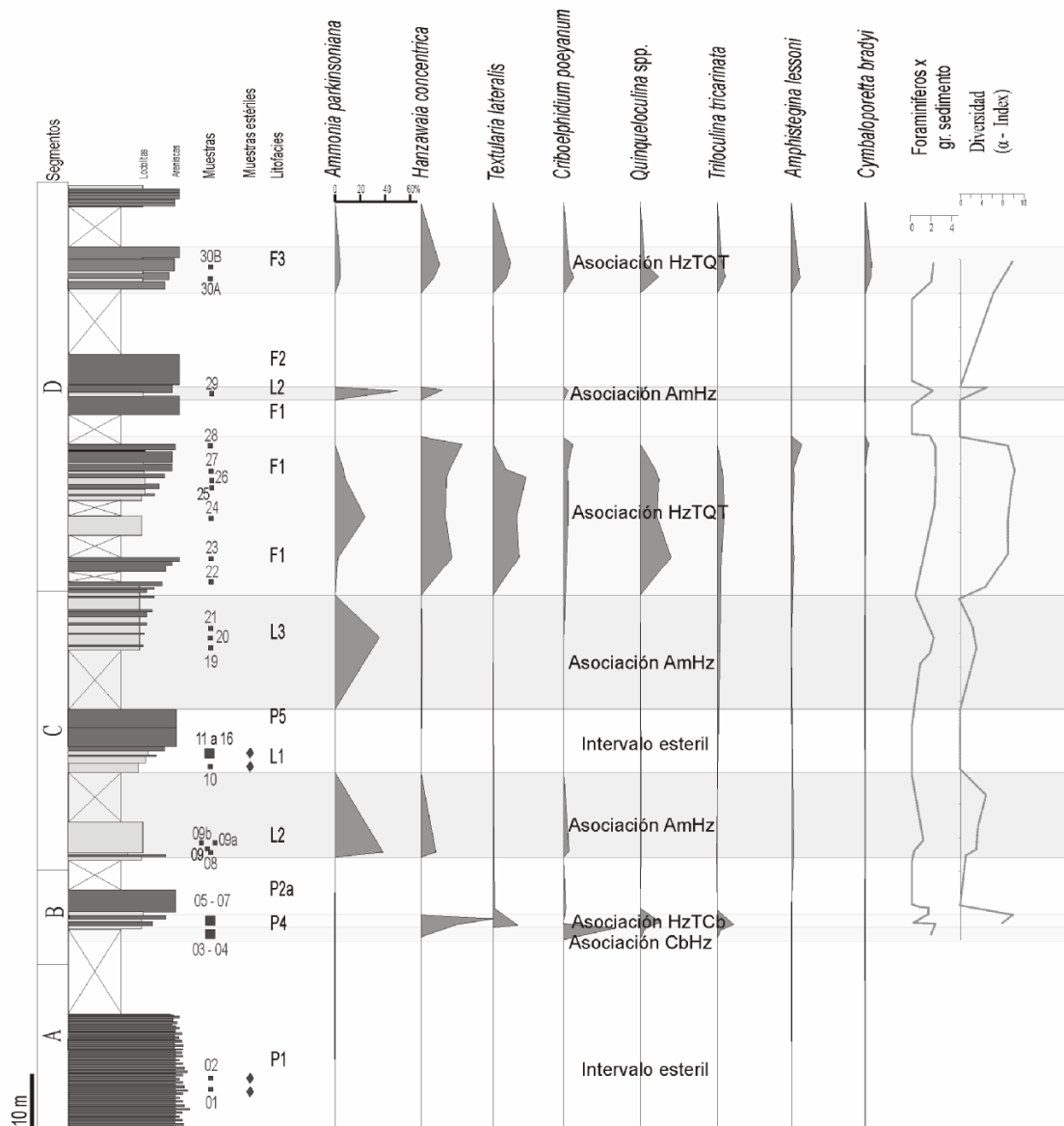
### 3.2. DISTRIBUCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LAS ASOCIACIONES DE FORAMINIFEROS BENTÓNICOS

De las treinta y cinco (35) muestras recolectadas en la sección Arroyo Piedras, veintiuna (21) presentaron recobro de foraminíferos (Anexo 3). En estas, se identificaron 68 especies de foraminíferos bentónicos (Anexo 4), 34 de las cuales fueron previamente reportadas por Redmond (1953; Tabla 2), incluidas 3 de las 9 especies consideradas producto de una incursión marina del Océano Pacífico en el Caribe, i.e. *Cymbaloporetta bradyi*, *Dyocibicides biserialis* y *Planorbulina mediterranensis*.

**Tabla 2.** Listado de especies de foraminíferos bentónicos identificados en la Formación Tubará. Los asteriscos indican las especies descritas en Redmond (1953), reconocidas en este trabajo y entre corchetes, nombres originales de especies cuya designación ha cambiado

<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny)	<i>Cymbaloporetta</i> sp B	* <i>Pararotalia sarmiento</i> (Redmond)
[= <i>Rosalina parkinsoniana</i> ]	<i>Cymbaloporetta tobagoensis</i> (Bronnimann)	[= <i>Rotalia sarmiento</i> ]
<i>Ammonia tepida</i> (Linné) [= <i>Rotalia beccarii</i> (Linné) var <i>tepida</i> Cushman]	[= <i>Cymbalopora tobagoensis</i> ]	* <i>Planorbulina mediterranensis</i> d'Orbigny
* <i>Amphistegina lessoni</i> d'Orbigny	* <i>Cymbaloporetta bradyi</i> (d'Orbigny)	* <i>Quinqueloculina lamarckiana</i> d'Orbigny
* <i>Angulogerina colombiana</i> Redmond	[= <i>Cymbalopora poeyi</i> (d'Orbigny) var. <i>bradyi</i> Cushman]	<i>Quinqueloculina</i> sp. cf.
* <i>Angulogerina</i> sp. cf.	* <i>Discorbis terquemi</i> van Bellen	<i>Q. panamensis</i> Cushman
<i>A. jamaicensis</i> Cushman & Todd	* <i>Discorbis floridensis</i> Cushman	<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Stache)
<i>Angulogerina</i> sp A	* <i>Dyocibicides biserialis</i> Cushman & Valentine	[= <i>Alveolina seminulum</i> ]
* <i>Asterigerina carinata</i> d'Orbigny	* <i>Elphidium tubaraense</i> (Kleinpell) [= <i>Elphidium granti</i> (Kleinpell) var <i>tubaraensis</i> Redmond]	<i>Quinqueloculina</i> sp A
* <i>Bolivina bicostata</i> (Cushman) [= <i>B. costata</i> (Cushman) var <i>bicostata</i> Cushman]	* <i>Eponides repandus</i> Fichtell & Moll	* <i>Rectobolivina hancocki</i> (Cushman & McCulloch) [= <i>Bifarina hancocki</i> ]
<i>Bolivina</i> sp. cf.	* <i>Eponides antillarum</i> Galloway & Heminway	* <i>Rectobolivina pacifica</i> (Cushman & McCulloch) [= <i>Bifarina pacifica</i> ]
<i>B. caudriae</i> Cushman & Renz	* <i>Fissurina atlantica</i> (Redmond)	* <i>Reusella bordata</i> Redmond
<i>Bolivina</i> sp. cf. <i>B. acerosa</i> Cushman	[= <i>Entosolenia atlantica</i> ]	<i>Reusella atlantica</i> (Reuss)
* <i>Bolivina tortuosa</i> (Brady)	<i>Fissurina</i> sp A	[= <i>Reusella spinulosa</i> (Reuss) var <i>atlantica</i> Cushman]
var <i>lissa</i> Redmond	<i>Guttulina</i> sp A	* <i>Siphonina pulchra</i> Cushman
<i>Bolivina floridana</i> Cushman	* <i>Hanzawaia concentrica</i> (Cushman)	<i>Textularia</i> sp. cf. <i>T. lancea</i> Lalicker & McCulloch
* <i>Bulimina striata</i> (d'Orbigny) var <i>mexicana</i> Cushman	[= <i>Truncatulina concentrica</i> ]	<i>Textularia</i> sp. cf. <i>T. truncata</i> Höglund
* <i>Buliminella elegantissima</i> (d'Orbigny)	* <i>Hanzawaia depressus</i> (Phleger & Parker)	<i>Textularia lateralis</i> Lalicker
[ <i>Bulimina elegantissima</i> ]	[= <i>Cibicides depressus</i> ]	<i>Textularia</i> sp. aff. <i>T. lateralis</i> Lalicker
<i>Bulliminella morgani</i> Andersen	* <i>Oolina hexagona</i> (Williamson)	<i>Textularia</i> sp. cf. <i>T. secasensis</i>
* <i>Cancris sagra</i> (d'Orbigny) [ <i>Rotalia sagra</i> ]	[= <i>Entosolenia squamosa</i> (Williamson) var. <i>hexagona</i> Williamson]	Lalicker & McCulloch
* <i>Cassidulina caribea</i> Redmond	* <i>Oolina colombiana</i> Redmond	<i>Textularia</i> sp. cf. <i>T. vola</i> Lalicker & McCulloch
<i>Cibicides rugosa</i> Phleger & Parker	* <i>Massilina crenata</i> (karrer)	<i>Textularia</i> sp. cf. <i>T. scrupula</i> Lalicker & McCulloch
<i>Cibicides</i> sp. cf. <i>C. sinistralis</i>	[= <i>Spiroloculina crenata</i> ]	<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orbigny
Coryell & Rivero	<i>Miliollinella fichteliana</i> (d'Orbigny)	<i>Triloculina antillarum</i> (d'Orbigny)
<i>Cibicides perforatus</i> Coryell & Rivero	[= <i>Triloculina fichteliana</i> ]	[= <i>Spiroloculina antillarum</i> ]
* <i>Compressigerina coartata</i> (Palmer)	<i>Miliollinella</i> sp A	* <i>Uvigerina isidroensis</i> Cushman & Renz
[ <i>Uvigerina coartata</i> ]	<i>Nonion</i> sp A	* <i>Valvulineria olsoni</i> Redmond
<i>Criboelphidium poeyanum</i> (d'Orbigny)	* <i>Nonionella atlantica</i> Cushman	
[= <i>Polystomella poeyana</i> ]	* <i>Nonionoides grateloup</i> (d'Orbigny)	
<i>Cymbaloporetta</i> sp A	[= <i>Nonionina grateloup</i> ]	

El segmento **A** no presentó recobro de foraminíferos. En comparación, los segmentos **B** a **D** presentan cuatro asociaciones bien diferenciadas de foraminíferos bentónicos (Fig. 3.5). En el segmento **B**, se discriminaron dos asociaciones, la primera es la asociación **CbHz**, presente en la muestra 03, a la base de la *litofacies P4* y caracterizada por un alto contenido de *Criboelphidium poeyanum* (41%) y *Hanzawaia concentrica* (14%) y en menor proporción *Quinqueloculina* spp. (6%) y *Triloculina tricarinata* (3%; Fig. 3.5)



**Figura 3.5.** Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos identificadas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras. Las principales especies que caracterizan dichas asociaciones son incluidas; además de los segmentos estratigráficos y las litofacies relacionadas con dichas asociaciones

La segunda asociación reconocida es la asociación **HzTCb** (muestra 06), que se caracteriza por el predominio marcado de *Hz. concentrica* (72%), y en menor proporción (2%) por *Textularia lateralis* y *Cb. Poeyanum* (Fig. 3.5). Esta asociación se presenta hacia el tope de los estratos de las *litofacies* P4, descritos como lodolitas arenosas, con láminas a capas lenticulares de cuarzoarenitas fosilíferas de grano muy fino.

La parte intermedia de la sección estratigráfica, i.e. segmento **C**, presenta la asociación **AmHz** (Muestras 8 a 21) caracterizada por una diversidad baja, altos porcentajes de *Ammonia parkinsoniana* (35 – 50%), y una menor proporción de *Hz. concentrica* (10 – 20%) y *Cb. poeyanum* (2 – 5%) (Fig. 3.5). Esta asociación se encontró en arcillolitas grises

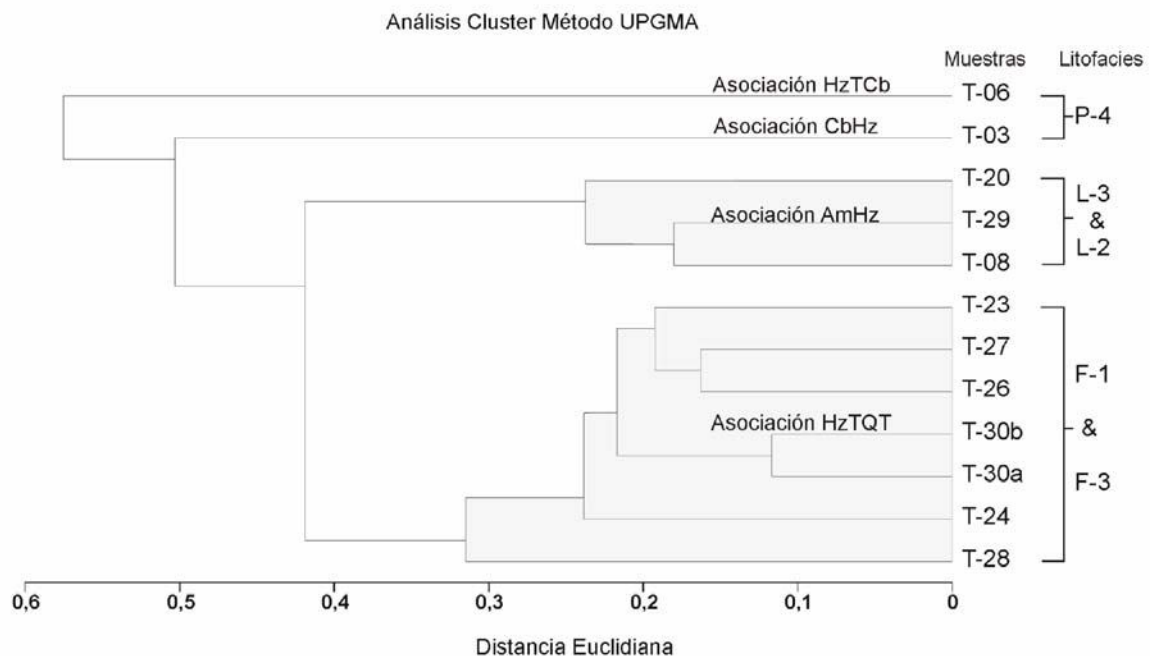


con laminación plano-paralela continua (*litofacies L3*) y en ocasiones en niveles de arenitas fosilíferas con laminación ondulosa (*litofacies L2*).

En medio de la Asociación AmHz se identificó un intervalo estéril (muestras 10 a 16), caracterizado por un alto contenido de materia orgánica y de hojas fosilizadas en la muestra 13 (Fig. 3.5).

En el segmento **D** (Muestras 22 a 30), ubicado en la parte estratigráficamente más superior, fue reconocida la asociación **H<sub>z</sub>TQT**, constituida principalmente por *H<sub>z</sub>. concentrica* (20 – 40%), *T<sub>x</sub>. lateralis* (10 - 25%), *Quinqueloculina* spp. (9 – 15%) y *T. tricarinata* (3 – 5%). A su vez, respecto a las asociaciones anteriormente descritas, la asociación H<sub>z</sub>TQT presenta un mayor contenido de *Cymbaloporeta bradyi* y *Amphistegina lessoni* y una menor proporción de *A. parkinsoniana* (Fig. 3.5). Esta asociación fue ubicada en las litoarenitas a lodolitas arenosas grises de la *litofacies F1* y en las litoarenitas más limpias, mejor seleccionadas, de la *litofacies F3* (Fig. 3.5). En este segmento también se reconoció una muestra (29) asociada con la *litofacies L2*, en donde la baja diversidad y alto contenido de *A. parkinsoniana*, hicieron de esta, una muestra afín con la Asociación AmHz.

Las asociaciones descritas anteriormente fueron corroboradas mediante un análisis de agrupamiento (Fig. 3.6), realizado con las frecuencias relativas de las especies de foraminíferos bentónicos, en aquellas muestras cuyo recobro superara los 300 individuos (Tabla 3). Las asociaciones obtenidas con el cluster sin restricciones (*unconstrained*) presuponen que ellas han permanecido relativamente constantes a través del tiempo y que simplemente han migrado lateralmente como lo hacen las litofacies. En la figura 3.6 se observa que las asociaciones CbHz y H<sub>z</sub>TCb, están relacionadas con la litofacies P4 (Fig. 3.5); la asociación AmHz con las litofacies L2 y L3 (Fig. 3.5), mientras que la asociación H<sub>z</sub>TQT, se identificó siempre en estratos caracterizados por las litofacies F2 y F3 (Fig. 3.5).



**Figura 3.6.** Dendrograma del análisis de agrupamiento (*un-constrained cluster*) realizado a las 12 muestras de la Formación Tubará, cuyo recobro supero los trescientos (300) individuos. Se evidencian las cuatro asociaciones de foraminíferos bentónicos discriminadas y sus respectivas litofacies asociadas.



### 3.3 FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS & EDAD

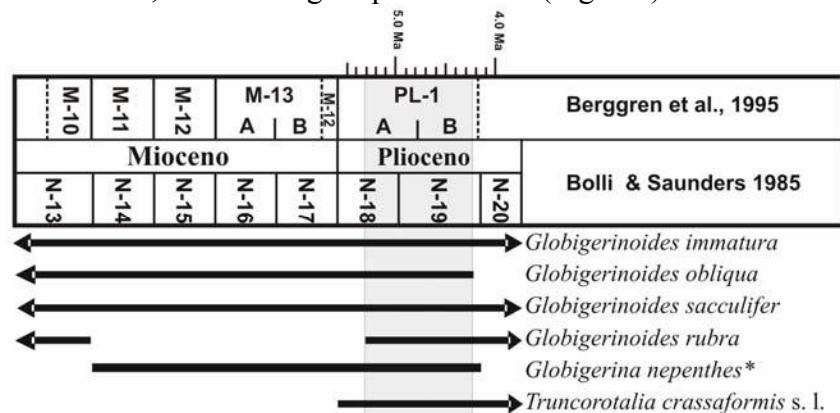
Todos los foraminíferos planctónicos fueron seleccionados y utilizados para determinar la edad; sin embargo el recobro de foraminíferos planctónicos es muy pobre y esta dominado por *Globigerinoides* spp. que no llega a superar el 10% del total de las asociaciones.

El listado de especies y abundancias absolutas en 20 g de sedimento se presenta a continuación (Tabla 4). Es notable la ausencia de formas quilladas, e.g. *Globorotalia tumida* plexus, las cuales serían más diagnosticas de edad (cf. Bolli & Saunders 1985).

**Tabla 4.** Foraminíferos planctónicos (abundancia absoluta) identificados en las muestras del Arroyo Piedras, Formación Tubará. Las muestras están ordenadas estratigráficamente de base a techo

	Muestras													
	3	4	6	8	20	23	24	25	26	27	28	29	30a	30b
<i>Globigerina</i> spp.	4						1		9	3	3			1
<i>Globigerinoides immatura</i>	1				1		3				5	5	1	3
<i>Globigerinoides obliqua</i>	12				1		14		14	2	6	10	3	7
<i>Globigerinoides sacculifer</i>													7	
<i>Globigerinoides rubra</i>													2	
<i>Globigerinoides</i> sp.			3	5	8	2	16		10	21	17	5		11
<i>Globorotalia subconomiozea</i>													1	
<i>Truncorotalia</i> cf <i>crassaformis</i> s.l.												1		
Total foraminíferos planctónicos	17	0	3	5	10	2	34	0	33	26	31	21	14	22

Sin embargo, la co-ocurrencia en algunas muestras (29 y 30a) de algunos especímenes identificados como *Globigerinoides rubra*, *Globigerinoides obliqua*, *Globorotalia conomiozea subconomiozea* junto a otro asociado morfológicamente a *Truncorotalia* cf *crassaformis* s.l., indica que al menos una parte del intervalo analizado sería de edad Plioceno Temprano, entre la parte superior de la Zona N-18 y la Zona N-19 (*sensu* Bolli & Saunders 1985), coincidiendo parcialmente con la Zona PL-1 de Berggren et al., (1995). Según el modelo de Berggren (et al., 1995), este intervalo de la Formación Tubará, no sería más joven que ~ 4.2 Ma, ni más antiguo que ~ 5.4 Ma (Fig. 3.7).



**Figura 3.7.** Intervalos bioestratigráfico de las especies de foraminíferos planctónicos identificados en las muestras de la Formación Tubará. El área sombreada indica el posible rango bionológico durante el cual fue acumulado el segmento de la Formación Tubará analizado en este trabajo.

\* Especie reportada antes por Bordine (1974) en la sección Arroyo Piedras, pero en una posición estratigráfica inferior, al intervalo aquí analizado.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1 INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL

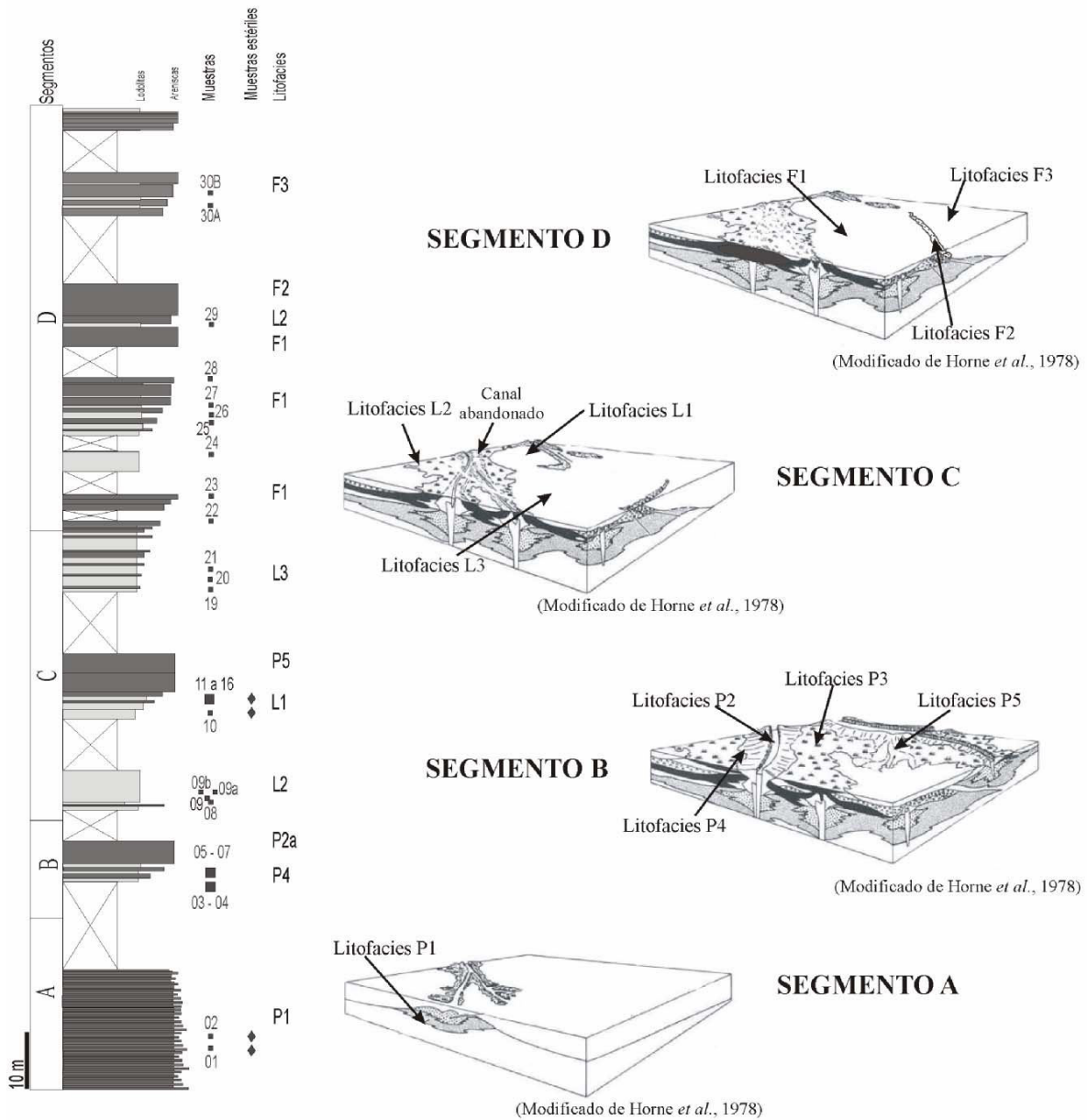
Los cuatro segmentos estratigráficos en los cuales fue dividida la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras (Fig. 3.1), fueron interpretados con base en las comparaciones realizadas con algunos modelos de facies descritos para los ambientes marino marginales y marino deltaicos (Colelman & Prior 1982; Elliot 1986; Bhattacharya & Walter 1992); de acuerdo con sus características litológicas, estructuras (in)orgánicas, y asociaciones de foraminíferos bentónicos de la siguiente manera (Fig. 4.1):

En la parte inferior, el segmento **A**, sin recobro de foraminíferos y caracterizado por la sucesión rítmica de litoarenitas lodosas de grano fino a medio y litoarenitas de grano medio de la *litofacies P1*, fue interpretado como depósitos de barras frontales de canal distributivo (Fig. 4.1). El segmento **B**, caracterizado por la presencia de las asociaciones de foraminíferos bentónicos **CbHz** y **HzTCb**; cuarzoarenitas de la *litofacies P2*, arcillolitas de la *litofacies P3* y litoarenitas de la *litofacies P4*, fue interpretado como el producto de la acumulación de canales distributivos, llanuras de inundación y de desborde de canales subacuados, sobre una planicie deltaica/costera (Fig. 4.1).

En la parte media, el segmento **C**, caracterizado por la asociación **AmHz** y por las arcillolitas y limolitas, grises a negras, ricas en materia orgánica, identificadas como las *litofacies L1* a *L3*, fue interpretada como depósitos de lagunas/pantanos costeros (Fig. 4.1). El intervalo estéril en la mitad de este segmento (Fig. 3.1), caracterizado por un alto contenido de hojas fosilizadas, fue asociado con depósitos de pantanos costeros más alejados de una influencia marina, mientras que las litoarenitas conglomeráticas de la *litofacies P5* (Fig. 3.3.2.1), fueron interpretadas como flujos torrenciales esporádicos sobre las lagunas/pantanos costeros (Fig. 4.1).

El segmento **D** en la parte superior, caracterizado por la presencia de la asociación **HzTQT** y de las litoarenitas de las *litofacies F1* y *F3* (Fig. 4.1) fue interpretado como la transición entre ambientes de anteplaya/bahía y un frente de playa superior; separados por las cuarzoarenitas de grano medio de la *litofacies F2* (Fig. 4.1), caracterizadas por su excelente calibrado y estratificación cruzada plana (Fig. 3.4.3.1), las cuales fueron interpretadas como las dunas de playa que generalmente separan la anteplaya/bahía y de los frentes de playa.

Finalmente, en la sección Arroyo Piedras, casi el 30% de la sección no pudo ser observada por estar cubierta, estos intervalos posiblemente representados por las litofacies menos competentes, estarían asociados con los depósitos arcillosos más marinos de la planicie deltaica.



**Figura 4.1.** Bloque diagramas ilustrando los diferentes paleoambientes interpretados para las litofacies identificadas en la columna estratigráfica de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras y para los cuatro segmentos (A-D), en los que fue dividida la sección.

## 4.2 SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL DE LAS ASOCIACIONES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS DE LA FORMACIÓN TUBARÁ

La mayoría de las especies de foraminíferos bentónicos encontradas en la Formación Tubará han sido reportadas en sedimentos recientes; es por esto, que las interpretaciones paleoecológicas y paleobatimétricas se basan principalmente en comparaciones realizadas con asociaciones de especies descritas en ambientes recientes del Caribe y el Golfo de México (e.g. Phleger & Parker, 1951; Culver & Buzas 1982; Poag, 1981 Murray 1991; Javaux & Scott, 2003 y referencias allí citadas). Adicionalmente, datos ecológicos de algunos géneros (Murray 1991), también fueron utilizados para soportar dichas interpretaciones (Tabla 5).

**Tabla 5.** Características ecológicas de algunos géneros comunes en las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la Formación Tubará, tomadas de Murray (1991)

Género	Modo de vida	Substrato	Alimentación	S	T °	Ambiente
Ammonia	Infaunal libre	arenosos lodosos	Herbívoro	s, m, h	0-30°C	Plataforma interna y pantanos costeros salobres e hipersalinos
Amphistegina	Epifaunal libre	fital y carbonatos	Herbívoro / Simbiosis	m	>20°C	Arecifes coralinos y pantanos costeros
Criboelphidium	Infaunal libre	lodosos arenosos	Herbívoro / detritívoro	s, m, h	-	Ciénagas y pantanos, salobres e hipersalinos; plataforma interna
Discorbis	Epifaunal libre/adjunto	duros / arena gruesa	Herbívoro	m	cálida	Plataforma interna
Hanzawaia	Epifaunal	duros	Herbívoro ?	m	>20°C	Plataforma interna
Nonionella	Infaunal libre	lodosos	detritívoro ?	m	cálida	Plataforma a batial superior
Quinqueloculina	Epifaunal libre/adjunto	plantas/ sedimentos	Herbívoro	m, h	cálida a fría	Pantanos costeros hipersalinos Plataforma somera, raro en batial
Textularia	Epifaunal	duros/ arenosos	detritívoro ?	m	fría cálida	Pantanos costeros y Plataforma
Triloculina	Epifaunal libre/adjunto	lodosos, fital arenosos	detritívoro	h, m	>20°C	Principalmente pantanos y plataformas internas hipersalinas algunas especies batiales

Substrato duro = rocas, conchas, macrofauna, plantas, etc...T° = Temperatura del agua de fondo

S= salinidad; (s) Salobre = 0 - 32‰, (m) marino = 32 - 37‰, (h) Hipersalino ? 37‰

Ambientes= Plataforma 0-180, Batial 180-4000, Abisal > 4000 m. \* Datos basados en Murray 1991

**1. Asociación CbHz:** Esta asociación, está caracterizada por un alto contenido de las especies *Criboelphidium poeyanum*, *Hanzawaia concentrica* y en menor proporción *Pararotalia sarmientoi*, *Discorbis terquemi*, *Quinqueloculina* spp. y *Triloculina tricarinata* *Criboelphidium* o *Elphidium* no quillados, son considerados como morfotipos infaunales, en general, asociados a áreas de salinidad variable, en plataformas internas, ciénagas y/o pantanos (Tabla 5). *Criboelphidium poeyanum*, en particular, es una especie que en el presente se encuentra asociada a ambientes salobres en Belice, a ambientes litorales y de lagunas costeras (*lagoons*) en Tobago, Santa Lucía, Venezuela, Puerto Rico, Cuba, Belice,

Panamá; y a manglares en Bahamas y Florida (Javaux & Scout, 2003; y referencias allí citadas).

La especie *Hanzawaia concentrica*, ha sido reportada en ambientes litorales y pantanos costeros de Belice, y asociada a arrecifes coralinos de plataforma interna a externa en Trinidad & Tobago y Venezuela (Javaux & Scout, 2003). El género *Hanzawaia*, opuesto a *Criboelphidium*, se considera como un morfotipo epifaunal que prefiere sustratos duros y condiciones normales de salinidad (Tabla 5).

Las especies menor representadas, *Triloculina tricarina* y *Quinqueloculina seminulum*, han sido reportadas en ambientes hipersalinos asociados a pantanos y lagunas costeras semi-protegidas, en Bahamas, Bermudas y Florida (Javaux & Scout, 2003).

Todo lo anterior sugiere que el ambiente de depósito de la asociación **CbHz**, debería caracterizarse por fuertes variaciones de salinidad, probablemente altas tasas de aporte de detritos y a su vez disponibilidad de fuentes de materia orgánica vegetal cercanas.

La asociación **CbHz** se encontró en litoarenitas lodosas, fosilíferas, granodecrecientes, identificadas como la *litofacies P4*, relacionadas con depósitos subacuáticos de desborde de canales sobre una laguna y/o pantano costero (Fig. 4.1).

**2. Asociación HzTCb:** Esta asociación se caracteriza por una alta proporción de *Hanzawaia concentrica*, y en menor proporción *Textularia lateralis* y *Criboelphidium poeyanum* (Fig. 3.5). El ambiente de acumulación de esta asociación, está estrechamente relacionado con el de la asociación descrita anteriormente; sin embargo, el dominio marcado de la especie *Hanzawaia concentrica* (72%) manifiesta un cambio hacia condiciones más normales en salinidad, menor aporte de detritos y un sustrato firme (Tabla 5). Esta asociación se presenta hacia el tope de los estratos de las *litofacies P4* y estaría relacionada a instantes durante los cuales el aporte de sedimentos continentales habría sido interrumpido, o disminuido significativamente, sobre la laguna costera (Fig. 4.1).

**3. Asociación AmHz:** la asociación AmHz está caracterizada por una baja diversidad y altos porcentajes de *Ammonia parkinsoniana* y en menor proporción por *Textularia lateralis*, *Hanzawaia concentrica*, *Criboelphidium poeyanum* y *Eponides repandus*.

Las especies de *Ammonia* presentes en la Formación Tubará, habían sido reportadas por Redmond (1953) como *Ammonia beccarii* (Linné); sin embargo los morfotipos de *Ammonia* en la Formación Tubará, están más relacionados al morfotipo descrito por Poag (1978) como *A. parkinsoniana* (d'Orbigny) forma *typica*; y en algunos casos al morfotipo descrito por el mismo autor como *A. parkinsoniana* forma *tepida* Cushman.

En general, el género *Ammonia* se restringe a la plataforma interna (e.g. Murray 1991) y en particular la *A. parkinsoniana* forma *typica* es una especie que puede soportar variaciones marcadas en la salinidad en ambientes de lagunas y/o pantanos costeros (e.g. Sen Gupta et al. 1986). Ejemplos modernos de asociaciones con una baja diversidad y una alta proporción de *A. parkinsoniana* han sido reportados en las lagunas (*lagoons*) de las costas del Golfo de México, particularmente en aquellas que poseen una influencia mareal bien marcada, al estar directamente conectadas al océano (e.g. Alvarado *lagoon*; Phleger and Lankford, 1978). En el Mar Caribe, asociaciones con un predominio marcado de *A. parkinsoniana* también han sido reportadas en lagunas y bahías costeras de Puerto Rico (Seigle, 1975) y Santa Lucía (Sen Gupta & Schafer, 1973). En Colombia, el género *Ammonia* es predominante en las asociaciones de foraminíferos de las lagunas costeras de la isla Baru, alcanzando frecuencias entre el 50 – 10% (Parada-Ruffinati et al., 1996). En particular, las lagunas costeras de los Vásquez, Portonaíto, Cholón y Pelado predominan los

individuos del género *Ammonia* y en menor proporción, son frecuentes especímenes de los géneros *Criboelphidium*, *Elphidium*, *Quinqueloculina*, *Ammotium* y *Bolivina*. De otro lado, en las lagunas de Barú y Mohán, es más abundante el género *Ammotium*, con frecuencias menores de *Ammonia* y *Criboelphidium* (Parada-Ruffinati et al., 1996).

La asociación **AmHz**, fue identificada en arcillolitas descritas como las *litofacies L1 & L3*, consideradas como el producto de la acumulación en lagunas y/o pantanos costeros (Fig. 4.1). A su vez, en medio de esta asociación, se identificó un intervalo rico en materia orgánica y hojas fosilizadas sin recobro de foraminíferos (*litofacies L2*), el cual fue interpretado como los depósitos de pantanos costeros más alejados de la influencia marina, que en el recinto, suelen distinguirse por la presencia de solo especies de foraminíferos aglutinados (excepto *Ammonia tepida*), con un muy pobre potencial de preservación (e.g. Culver, 1990).

**4. Asociación HztQT:** Esta asociación está representada por *H. concentrica*, *Textularia lateralis*, *Quinqueloculina* spp., *Triloculina tricarinata* y se caracteriza por porcentajes más bajos de *A. parkinsoniana* a desventajas de las especies anteriormente descritas.

Aunque *T. tricarina* y *Quinqueloculina seminulum* han sido reportadas en ambientes hipersalinos asociados a pantanos y lagunas costeras semi-protegidas en Bahamas, Bermudas y Florida (Javaux & Scout, 2003). En general *Triloculina* y *Quinqueloculina* se consideran morfotipos epifaunales, relacionados a condiciones de salinidad normal y aporte de terrígenos bajos a moderados (e.g. Murray, 1991).

Adicionalmente en las muestras estratigráficamente más superiores, la asociación **HztQT** está caracterizada por un mayor contenido de *Amphistegina lessoni*. *Amphistegina* es el género de foraminíferos bentónicos más abundante en arrecifes coralinos y en sustratos duros de bancos de carbonatos, generalmente asociados a aguas cálidas y cristalinas con menos de 30 m. de profundidad (Sen Gupta, 1999).

La asociación **HztQT**, se encontró en sedimentos descritos como las *litofacies F1* y *F3*, las cuales se interpretaron como el registro de la transición entre una anteplaya/bahía y un frente de playa superior, con salinidad más cercana a la marina normal y donde el aporte de siliciclásticos habría sido significativamente reducido (Fig. 4.1).

En síntesis, La sección Arroyo Piedras de la Formación Tubará, podría dividirse con base en sus características litológicas y micropaleontológicas en tres intervalos, así:

El segmento inferior, sin recobro de foraminíferos, es interpretado como depósitos de barras de desembocadura de canal tributario sobre una planicie aluvial/deltaica, los cuales cambian a depósitos posiblemente originados en una planicie deltaica/costera, caracterizada por una asociación de foraminíferos bentónicos típica de ambiente relacionado con condiciones variables de salinidad y de aportes de sedimentos terrígenos.

La parte intermedia, es interpretada como el producto de sedimentación en lagunas (*lagoons*) y/o pantanos costeros (*swamps*), en donde *Ammonia parkinsoniana* era dominante, y un intervalo estéril caracterizado por un alto contenido de materia orgánica y de hojas fosilizadas, el cual aparentemente está asociado a depósitos de pantanos costeros más alejados de la influencia marina.

Finalmente, el segmento superior es interpretado como la transición entre ambientes de anteplaya/bahía (*Foreshore/Bay*) y frente de playa superior (*Upper Shoreface*). El contenido de *Ammonia parkinsoniana* es menor, al tiempo que la proporción de especies de foraminíferos bentónicos relacionadas a plataformas de carbonato someros, i.e. *Amphistegina lessoni* es mayor, lo que sugiere la reducción del aporte de sedimentos terrígenos (Fig. 4.1).



### 4.3 AFINIDAD PACIFICA-CARIBE EN LAS ASOCIACIONES DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS DE LA SECCIÓN ARROYO PIEDRAS

Uno de los principales objetivos de este trabajo era comparar las asociaciones de Foraminíferos de la sección Arroyo Piedras, con las asociaciones descritas en las Formaciones Chagres (Collins et al., 1996a) y Munguido (Duque-Caro, 1990), a fin de evaluar una posible afinidad Pacífica.

La Formación Chagres, fue acumulada en condiciones batiales a profundidades mayores que 200 m. (Collins et al., 1996a). En esta localidad, se destaca la presencia de las especies: *Bolivina tonga filacostata*, *Cassidulina corbyi*, *Cassidulina laevigata*, *Cassidulina subglobosa*, *Cassidulina tortuosa*, *Cibicides colombianus*, *Cibicides culebrensis*, *Dyocibicides biserialis*, *Ehrenbergina* sp A, *Planulina charapotoensa*; las cuales evidenciarían la influencia de masas de agua del Océano Pacífico en el Mar Caribe (Collins et al., 1996a). La Formación Munguido de la cuenca del Atrato, se estima que fue acumulada en condiciones batial superior a nerítica (Duque-Caro, 1990), en donde se destaca la presencia de asociaciones de foraminíferos bentónicos con una marcada afinidad Californiana (Duque-Caro, 1990).

Sin embargo, ninguna de las especies descritas como evidencia de una incursión Pacífica en la Formación Chagres (Collins et al., 1996a) o de la corriente de California en el pozo Orogado-1 (Duque-Caro, 1990), se encontraron en las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la Formación Tubará; la razón principal, puede ser que los ambientes de acumulación interpretados para la sección Arroyo Piedras fueron marino marginales ( $\leq 20$  m), mucho más someros que los que prevalecieron para las Formaciones Chagres y Munguido ( $\geq 150$  m). Por esta razón, aunque la influencia de masas de agua Pacífica hubiese llegado al área de Tubará, su registro no es comparable con las asociaciones de influencia Pacífica, hasta ahora restringidas a las cuencas del Atrato y del canal de Panamá. Además, en los ambientes marinos marginales, es difícil diferenciar provincias oceanográficas, por que las asociaciones de foraminíferos bentónicos presentan una muy baja diversidad, generalmente dominadas por especies tolerantes a variaciones fuertes en la salinidad (e.g. *Ammonia parkinsoniana*). Las especies de foraminíferos bentónicos de ambientes marinos marginales se caracterizan por una amplia distribución geográfica, a pesar de que muchos de estos ambientes se encuentren en localidades separadas por grandes distancias (e.g. Sen Gupta, 1999). La razón del porque muchas de dichas especies poseen tan amplia distribución no es aun del todo clara (e.g. Sen Gupta, 1999) y en algunos casos ha sido interpretada como el producto del transporte accidental a través del sedimento presente en las patas de las aves migratorias, ya que para la mayoría de estas aves, estas áreas suelen ser los sitios de aterrizaje en sus viajes (Hayward & Hollis, 1994).

Otra dificultad para determinar el provincialismo, es que a pesar de su amplia distribución geográfica, las especies dominantes en los ambientes marino marginales suelen presentar una alta variabilidad intra-específica (e.g. *Elphidium excavatum*), manifestado en un gran número de morfoespecies, que seguramente después de una revisión taxonómica podrían ser agrupadas en solo una(s) especie(s) (Sen Gupta, 1999).

En particular, en lo relacionado a la posible influencia Pacífica en la Formación Tubará, cinco (5) de las especies que Redmond (1953) consideró como diagnósticas para determinar una incursión Pacífica (Tabla 4), han sido posteriormente identificadas en asociaciones típicas caribeñas de foraminíferos bentónicos (datos de PPP disponibles *on-line* en

<http://www.fiu.edu/~collinsl/pppdatabase.html>); incluso, algunas de estas, en estratos más antiguos que los de la Formación Tubará (Tabla 6). De esta manera, es poco probable que dichas especies se hubiesen generado en el Océano Pacífico e ingresado al Mar Caribe después del aislamiento originado por el levantamiento inicial del istmo de Panamá.

En general es muy difícil evaluar la afinidad Pacífica-Caribe de cualquiera de las especies identificadas en la Formación Tubará, debido a la escasez en el Océano Pacífico, de afloramientos del Mioceno Superior - Plioceno Inferior. La razón, es la erosión de este intervalo causada por el levantamiento rápido y amplio sufrido por Centroamérica y el norte de Suramérica, durante este periodo de tiempo (Coates et al., 2004).

Sin embargo, aunque con la incertidumbre sobre el origen de muchos de los foraminíferos bentónicos presentes en la sección Arroyo Piedras, las especies identificadas en la Formación Tubará pueden hasta el momento considerarse: cosmopolitas (e.g. *Ammonia parkinsoniana*, *Amphistegina lessoni*, *Quinqueloculina lamarckiana*); de la provincia Caribe (e.g. *Reusella atlantica*, *Hanzawaia concentrica*), y en una considerable proporción endémicas del sur del Caribe (e.g. *Reusella bordata*, *Angulogerina colombiana*).

**Tabla 6.** Reportes en el Caribe de foraminíferos bentónicos que en la Formación Tubará fueron considerados por Redmond (1953) producto de una incursión del Pacífico. Localidades y edades del PPP disponibles *on-line* en <http://www.fiu.edu/~collinsl/pppdatabase.html>.

	Formación	Cuenca	País	Edad
<i>Bolivina ligularia</i>	Cayo Agua NE	Bocas	Panamá	~ 4.6 - 5.0
<i>Cymbaloporeta bradyi</i>	Moin	Limón	Panamá	1.7 - 1.9
<i>Cymbaloporeta squamosa</i>	Swan Cay	Bocas	Panamá	???
	Cayo Agua	Bocas	Panamá	~ 4.6 - 5.0
	I. solarte	Bocas	Panamá	3.5 - 3.6
	Escudo	Bocas	Panamá	2.2 - 3.6
	Shark Hole	Bocas	Panamá	3.6
	Gatun	Colon	Panamá	~ 6.5 - 8.0
<i>Dyocibicides biserialis</i>	Toro-Chagres	Colon	Panamá	???
	Chagres?	Colon	Panamá	~ 5.8 - 6.4?
	Moin	Limón	Costa Rica	1.7 - 1.9
	Banano	Limón	Costa Rica	2.4 - 3.6
	Cayo Agua	Bocas	Panamá	4.6 - 5.0
	I. solarte	Bocas	Panamá	3.5 - 3.6
	Escudo	Bocas	Panamá	2.2 - 3.6
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	Gatun ?	Colon	Panamá	~ 6.5 - 8.0
	Moin	Limón	Costa Rica	1.7 - 1.9
	Banano	Limón	Costa Rica	2.4 - 3.6

#### **4.4. CONTEXTO GEOLÓGICO DURANTE LA ACUMULACIÓN DE LA FORMACIÓN TUBARÁ**

La Formación Tubará descrita en la sección Arroyo piedras según esta interpretación (sección 4.1), se caracteriza por la transición de ambientes marino marginales salobres, afectados por significativos aportes de material continental, a ambientes marinos de salinidad normal, caracterizados por una importante reducción en los aportes de material siliciclástico (Fig. 4.1).

Es probable que el aporte terrígeno en la parte inferior de la sección, provenga del antiguo sistema deltaico del río Magdalena (Bordine, 1974) y que su posterior disminución, este relacionada con una migración de la desembocadura del paleo-delta del río Magdalena.

A la fecha, con base en la interpretación estratigráfica en superficie (Bordine, 1974) y de imágenes sísmicas del subsuelo (Pince et al., 2003), se han interpretado para el Neógeno, tres posibles depocentros relacionados al río Magdalena: **(1)** Mioceno Tardío – Plioceno Temprano, **(2)** Pleistoceno Temprano, **(3)** Reciente, asociados con diferentes posiciones en la desembocadura del paleo-Magdalena (Fig. 4.2).

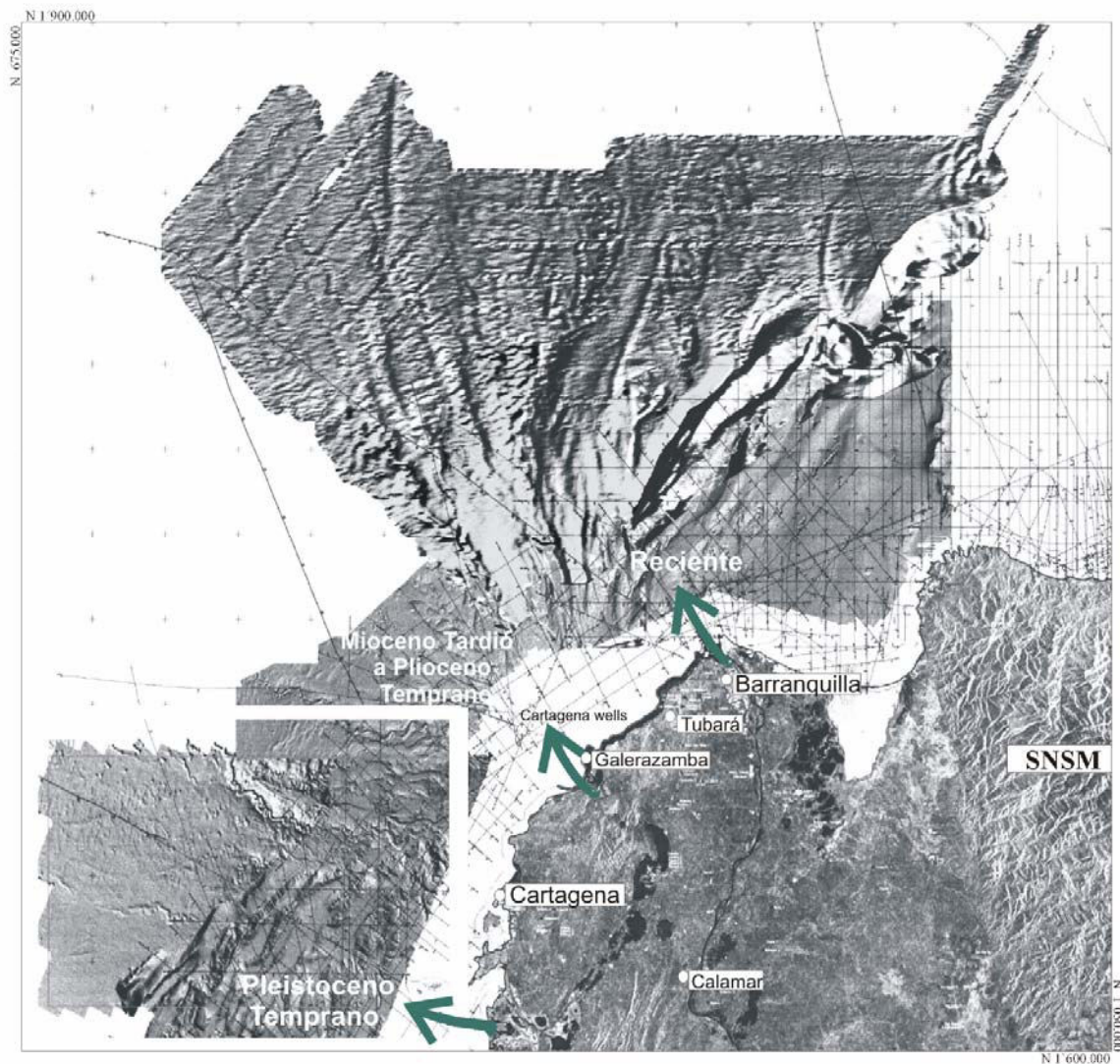
El depocentro Neógeno más antiguo, hasta ahora reconocido, es de edad Mioceno Tardío a Plioceno Temprano (Bordine, 1974; Pince et al., 2003), y ha sido relacionado con los depósitos continentales a marino marginales descritos en las localidades de Tubará (Redmond, 1953), Saco (Bürgl et al., 1955) y Juan de Acosta (Bordine, 1974).

Este paleo-delta, con una desembocadura posiblemente en los alrededores de Galerazamba (Molina et al., 1986), habría originado una geometría lobular típica, evidenciada en la batimetría del fondo (Carvajal, 1990), imágenes multihaz (Ercilla et al., 2000) y también en las imágenes sísmicas del área (Pince et al., 2003).

Respecto a su evolución, Carvajal (1990) observa un lóbulo al occidente de la población de Galerazamba y un lóbulo menos claro al noroeste de Santa Verónica, con un sentido de migración contrario a las manecillas del reloj. La posible presencia de este giró, esta de acuerdo con la interpretación de Molina et al. (1986), e indicaría que inicialmente la desembocadura del río Magdalena estaría localizada cerca de la población de Tubará y que posteriormente, habría migrado a los alrededores de Galerazamba, disminuyendo así significativamente el aporte de sedimentos terrígenos en los alrededores de Tubará.

En los deltas, este tipo de cambios se relacionan a los procesos que controlan el sistema, los cuales suelen diferenciarse en autocíclicos y alocíclicos (Bhattacharya & Walter, 1992). Los controles autocíclicos tienen su origen al interior de la cuenca y están relacionados con los procesos sedimentológicos; esto incluye avulsión, migración y cambios en la posición de los lóbulos etc. Por su parte, los procesos alocíclicos están relacionados con procesos originados fuera de la cuenca, dentro de los que se destacan la eustasia, la tectónica y el clima (Bhattacharya & Walter, 1992).

Un elemento útil en la discriminación de eventos originados por procesos autocíclicos o alocíclicos, es que las discontinuidades desarrolladas por procesos alocíclicos, tienden a dejar un registro más regional que las originadas por los factores intrínsecos de la cuenca (Bhattacharya & Walter, 1992). Sin embargo, en la mayoría de los deltas es difícil de interpretar y en algunos casos, por ejemplo en el delta del río Mississippi, eventos inicialmente interpretados como autocíclicos, han sido posteriormente reinterpretados como alocíclicos, debido al descubrimiento de superficies de erosión controladas por la eustasia (e.g. Boyd et al., 1989).



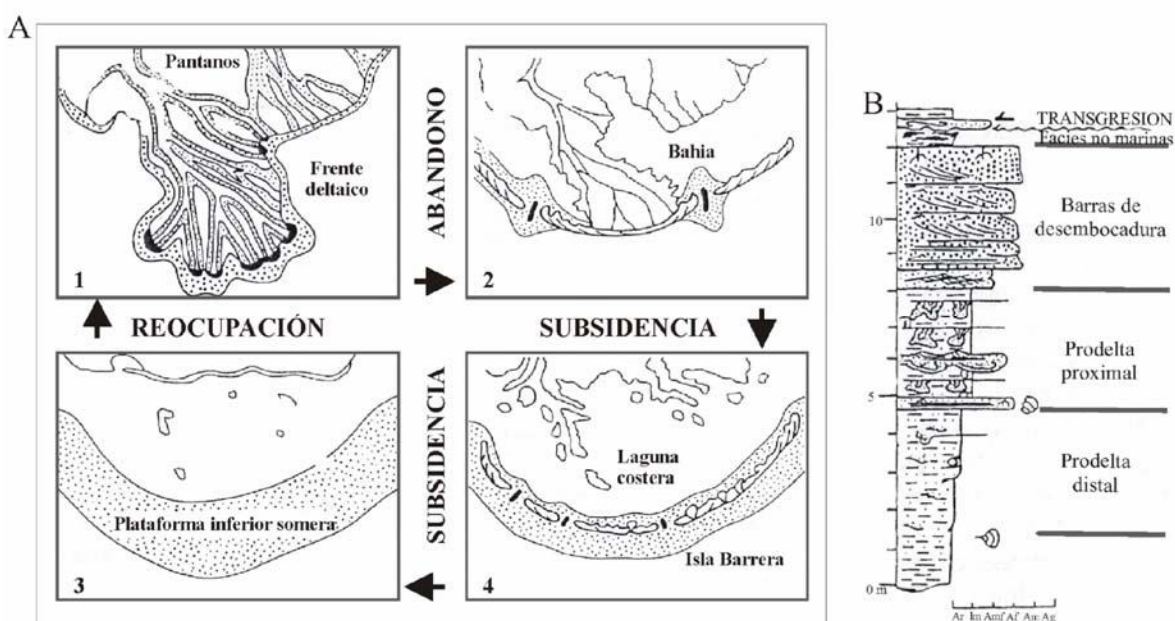
**Figura 4.2.** Ubicación de los depocentros del delta del río Magdalena, interpretados para el intervalo Mioceno Tardío al Reciente. Las flechas indican las principales áreas de desembocadura asociadas a cada depocentro. A la derecha, se observa la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). (modificado de Pince et al., 2003).

En ausencia de datos de otras secciones, es posible que los cambios observados al tope de la sección Arroyo Piedras, pudieran haber sido generados por procesos autocíclicos; sin embargo, las características que presentaron la eustasia, la tectónica y el clima, descritas a continuación, posiblemente tuvieron una fuerte incidencia en el cambio en la desembocadura del paleo-delta del río Magdalena, para el tiempo en el cual se depositaron estos sedimentos, interpretado aquí como de edad Plioceno Temprano (sección 3.3).

#### 4.4.1. Cambios eustáticos durante el Plioceno Temprano

En los sistemas deposicionales deltaicos, un incremento significativo en el nivel del mar, puede ocasionar que un sistema deltaico evolucione hacia un estuario o un sistema de isla barrera (Fig. 4.3a). En este caso, los depósitos transgresivos son acumulados sobre una superficie (superficie transgresiva), originando facies que no están genéticamente relacionadas con las facies infrayacentes de la fase progradacional del delta (Bhattacharya & Walter, 1992).

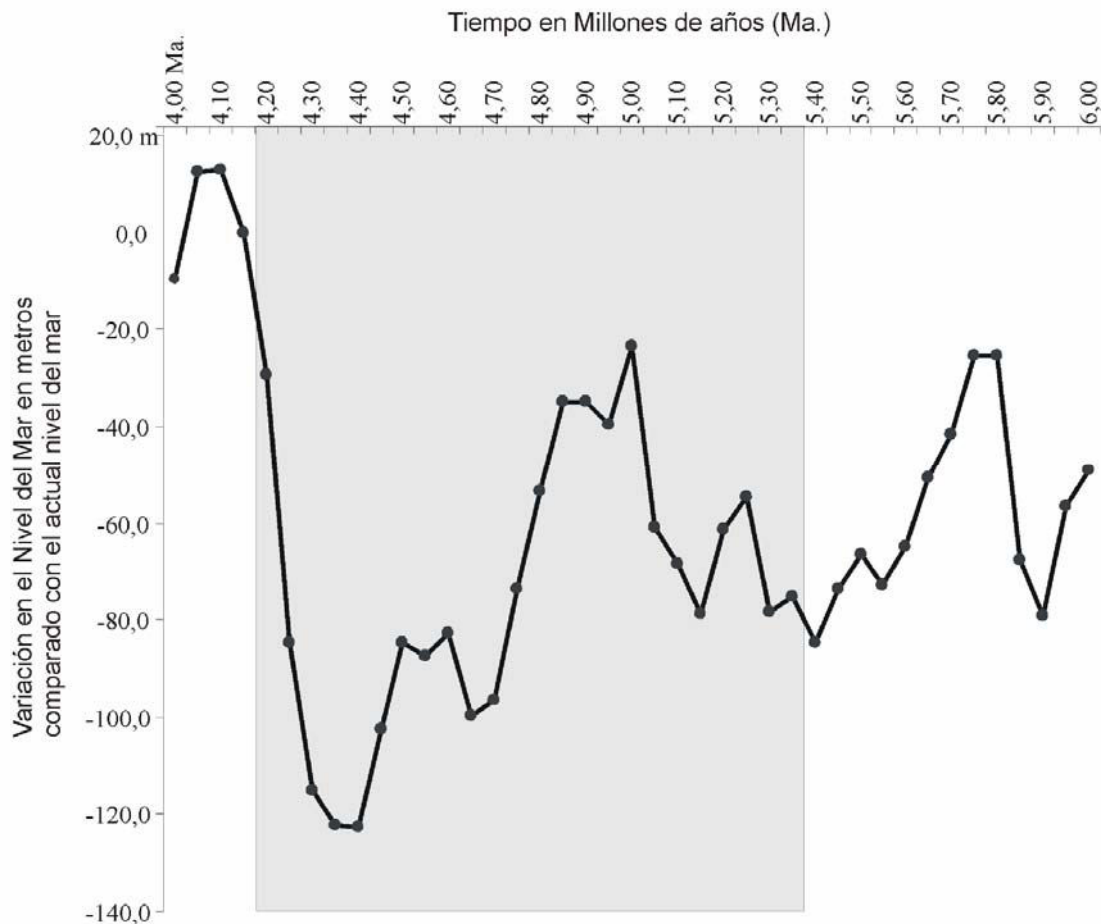
La sucesión de facies progradante idealizada para los sistemas deltaicos dominados por ríos inicia con depósitos de prodelta distales que gradan a depósitos de prodelta proximales, barras de desembocadura de canales tributarios y a estratos no marinos, limitados al tope por una superficie transgresiva sobre la cual se acumulan la subsiguiente secuencia transgresiva marina (Fig. 4.3b).



**Figura 4.3.** (A) Estados en la evolución de un delta, ilustrando las diferencias entre su fase (1) constructiva y sus fases (2-4) destructivas o de abandono (modificado de Boyd and Penland, 1988). En el panel 1, se ilustran con puntos las arenas de *levees* y del frente deltaico, en negro las barras de desembocadura de canal. (B). Columna idealizada para un delta dominado por los ríos, que culmina con una transgresión marina de estratos sin relación genética al tope (modificado de Bhattacharya & Walter, 1992).

La sucesión de facies en la columna del Arroyo Piedras (Fig 3.1), presenta un patrón similar al descrito antes; los estratos de los segmentos **A** y **B**, representarían depósitos de canales tributarios, el segmento **C** la sucesión progradante de ambientes marinos marginales a no marinos, mientras que el segmento **D** representaría los depósitos transgresivos sin relación genética con la sucesión infrayacente.

Respecto a un posible control eustático en la trasgresión interpretada al tope de la sección Arroyo Piedras; se destaca el hecho que el nivel del mar global empezó a ascender rápidamente en el Plioceno Temprano, según algunas estimaciones (Miller et al., 2005), unos 100 m. en tan solo 200 mil años (Fig. 4.4).



**Figura 4.4.** Variaciones en el nivel del mar en metros, para el intervalo entre los 4,0 y 6,0 Ma, comparado con el actual nivel del mar. Estimaciones basadas en un modelo de *backstripping* realizado a cinco perforaciones en las planicies costeras de New Jersey (Miller et al., 2005). El área sombreada indica la posible edad de la Formación Tubará en el Arroyo Piedras.

Este aumento significativo en el nivel medio del mar, en un intervalo de tiempo (~4.4 - 4.1 Ma) en parte coincidente con la edad estimada para la secuencia aquí analizada (~5.4 - 4.2 Ma), pudo generar el espacio de acomodación suficiente para provocar la trasgresión interpretada al tope de la Formación Tubará, ocasionando una disminución en el aporte de sedimentos terrígenos y a su vez posiblemente, un retroceso de las áreas fuente.

Sin embargo, es ampliamente conocido que el nivel del mar en una cuenca se ve afectado por varios factores adicionales a la eustasia (e.g. clima, compactación, subsidencia, aporte de sedimentos, tectónica, etc.), los cuales suelen ser diferentes entre cuencas y pueden no siempre interactuar en el mismo sentido y en la misma magnitud (e.g. Miall, 1992).

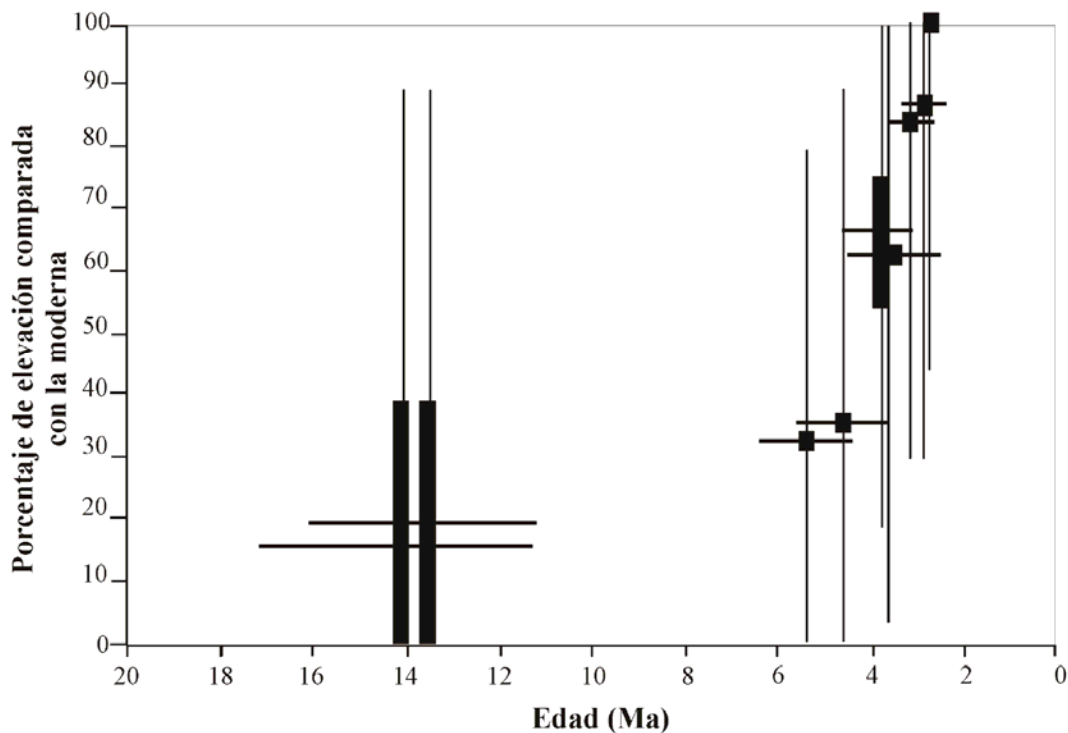
Hasta ahora se desconoce como estos factores, pudieron interactuar con la eustasia, en el sector norte de la Cuenca del Valle Inferior del Magdalena durante el Plioceno Temprano; esta información y una datación más precisa del tope de la sección Arroyo Piedras, serían necesarios para confirmar si los cambios ambientales allí identificados, están directamente relacionados o no, con variaciones eustáticas del nivel del mar.

#### 4.4.2. Tectónica en el norte de Suramérica durante el Plioceno Temprano

Las edades de los principales eventos tectónicos del Neógeno en los Andes del norte son aun imprecisas y sus consecuencias permanecen aun inciertas (Steph et al., 2006). Los cambios en los aportes de sedimentos del río Amazonas a la dorsal de Ceara (*Ceara Rise*), basados principalmente en cambios en la composición mineralógica en el contenido de arcillas, han logrado suministrar información sobre las edades de los principales eventos orogénicos en los Andes centrales (e.g. Dobson et al., 1997; Harris & Mix, 2002); sin embargo, su historia en ocasiones no necesariamente coincide con la de los Andes del norte (e.g. Peterson & Haug, 2006).

En términos generales se sabe que en los Andes de Colombia, el levantamiento de la Cordillera Oriental ocurrió al parecer entre el Mioceno Medio a Pleistoceno (e.g. Hoorn et al., 1995), registrado en algunos depósitos intra-montanos de abanicos aluviales y flujos gravitacionales, que indican movimientos masivos de sedimentos, al tiempo del levantamiento de la cordillera (e.g. Van Houten & Travis, 1968).

Adicionalmente, registros paleobotánicos (e.g. Van der Hammen et al., 1973); obtenidos de secuencias de sedimentos Neógenos en el área de la sabana de Bogotá, sugieren una fase mayor de levantamiento tectónico entre los 5 – 2 Ma, a una tasa de 0.6 – 3 mm/año (Gregory-Wodzicki, 2000). Los datos paleobotánicos indican que hasta el Plioceno Temprano, las elevaciones de la Cordillera Oriental, no fueron superiores a un 40% de su nivel de altura actual, alcanzando medidas similares a las modernas, alrededor de los 2.7 Ma (Fig. 4.5).



**Figura 4.5.** Paleoelevaciones de la Cordillera Oriental de Colombia expresada como porcentaje de la elevación actual (barras negras). Las líneas horizontales (verticales) indican la incertidumbre en la edad (paleoelevación). Estimaciones realizadas con base en el registro palinológico de la Sabana de Bogotá. (tomado de Gregory-Wodzicki 2000).

El levantamiento en el Macizo de Santander podría ser en parte contemporáneo con el de la Sabana de Bogotá (Hoorn et al., 1995). Interpretaciones basadas en huellas de fisión (*fission-track data*), sugieren que la parte occidental del macizo se levantó a los 19 – 14 Ma, la parte central a los 16 – 14 Ma y un levantamiento posterior ocurrió entre el Mioceno Tardío al Plioceno Temprano (7 – 4 Ma), registrado principalmente en la parte central y norte del macizo (Shagam et al., 1984). En este mismo periodo de tiempo, en el área de la Cuenca de Maracaibo posiblemente se desarrolló un sistema deltaico de baja energía (Horn et al., 1995), que fue progresivamente constituido por materiales más gruesos a medida que el Macizo de Santander se levantaba y generaba más sedimentos al delta (Van Houten & James, 1984).

Los mayores levantamientos orogénicos en la parte norte y occidental de Colombia, al parecer también ocurrieron entre los 3 – 4 Ma (McCourt et al., 1984), sin embargo, aun se carecen de evidencias para sustentar esta afirmación. Por esta razón, no debe descartarse que la migración en el Plioceno Temprano del paleo-delta del Magdalena, desde los alrededores de Tubará a una posición cerca de Galerazamba, estuviese relacionada con una fase de levantamiento de las zonas de aporte o bien, un cambio de los fondos de depósito (Molina et al., 1986), originado por fenómenos tectónicos.

#### **4.4.3 Clima en el norte de Suramérica durante el Plioceno Temprano**

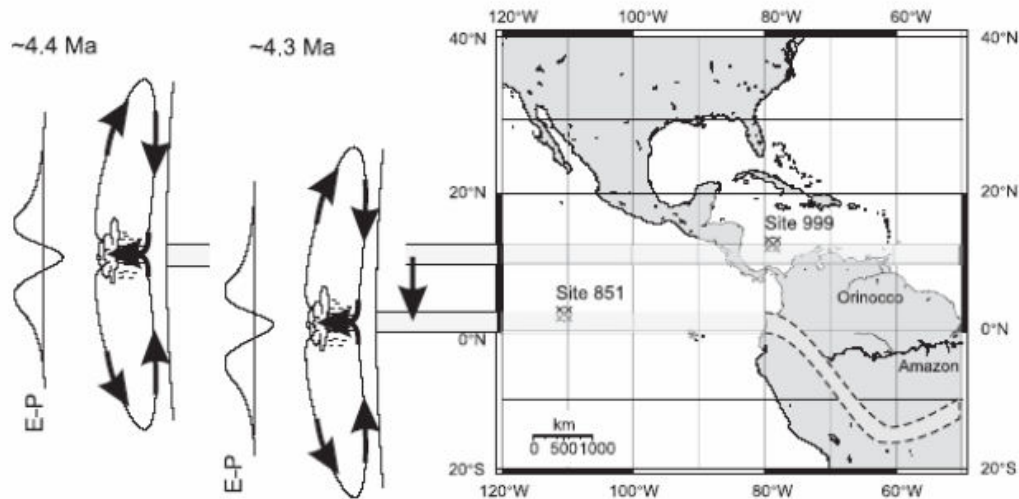
El clima, más que actuar como un factor aislado, puede influir en los sistemas deposicionales deltaicos variando todos los componentes físicos, químicos y biológicos que modelan la distribución de sedimentos en los deltas (Elliot, 1986). En especial, el clima puede modelar los regimenes de descarga de sedimentos, al controlar las precipitaciones y los procesos hidrogeológicos estacionales de una cuenca (Coleman & Prior, 1982).

Para el Plioceno Temprano, las reconstrucciones paleoceanográficas en el Caribe (ODP Site 999, Cuenca de Colombia) sugieren que alrededor de los 4.4 Ma, la temperatura (SST) y salinidad superficial (SSS) superficial del océano habrían disminuido, en relación con un cambio hacia el sur en la posición media de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ; Billups et al., 1999; Gussone et al., 2004; Fig. 4.6).

La migración de la ITCZ, posiblemente relacionada con el cierre parcial del istmo de Panamá (Haug and Tiedemann, 1998), produjo entre otros efectos, un incremento en las precipitaciones en la cuenca del río Orinoco, lo que a su vez aumentaría su caudal y descarga hacia el océano (Gussone et al., 2004). En este escenario, se asume que un fortalecimiento en la corriente del norte de Brasil (Billups et al., 1999), transportaría hacia el Caribe aquellas masas de agua con una menor salinidad, originadas por el incremento en la descarga de aguas frescas provenientes del río Orinoco y de esta manera contribuiría a la disminución en la salinidad superficial del Mar Caribe, específicamente en el núcleo ODP-999 (Steph et al., 2006).

Sin embargo, no se descarta que la reducción en la salinidad superficial también pudo haber sido originada, por un aumento en la descarga del río Magdalena (Steph et al., 2006). En parte, un incremento en las precipitaciones sobre la Cuenca del río Magdalena, aumentaría significativamente la descarga de sedimentos aportados por los Andes colombianos; que podría no ser soportado por los procesos generadores de espacio de acomodación y originaría así, una migración lateral del sistema deltaico.





**Figura 4.6.** Ilustración esquemática del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) en América tropical en el intervalo entre los 4.4 y 4.3 Ma. Las bandas sombreadas indican la posición del área de precipitación máxima. Sobre el continente, la banda está dibujada en líneas discontinuas, por la incertidumbre de su posición exacta. Al lado izquierdo, se esquematiza la posición de las celdas de Hadley y la distribución de la evaporación menos la precipitación (E-P; tomado de Gussone et al., 2004).

Los cambios en las descargas del río Magdalena, originados por la migración hacia el sur de la posición media de la ITCZ, pudieron ser similares a la respuesta que ha experimentado el sistema fluvial del río Magdalena durante el Cuaternario, cuando la ITCZ ha tenido desplazamientos en su posición media hacia al sur, en respuesta a la estacionalidad anual, fluctuaciones multianuales y/o a cambios relacionados con los periodos glaciales / interglaciales.

En la actualidad, las descargas del río Magdalena se ven afectadas a lo largo del año por dos temporadas lluviosas (Marzo-Mayo y Octubre-Noviembre) y dos temporadas secas (Diciembre-Marzo y Junio-Septiembre), controladas por el paso de la ITCZ (e.g. Poveda et al., 2006). Las dos temporadas lluviosas tienen una intensidad similar y se presentan cuando la ITCZ está ubicada sobre las áreas de aporte del río Magdalena, variando desde un valor promedio más bajo en Marzo de  $4.068 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a un valor promedio más alto en Noviembre de  $10.287 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (e.g. Milliman & Meade, 1983; Restrepo & Kjerfve, 2000).

La distribución estacional de la carga de sedimentos depositados en la Cuenca de Colombia en el Caribe, también se relacionan al paso de la ITCZ, con valores tan altos como  $609 \times 10^3 \text{ ton/día}$ , durante la temporada lluviosa y menores a  $200 \times 10^3 \text{ ton/día}$  durante la temporada seca (Restrepo & Kjerfve, 2000). La carga de sedimentos en suspensión del Magdalena se correlaciona significativamente bien con la descarga de agua (Mora & Martínez, 2005) y tiene un promedio anual de  $144 \times 10^6 \text{ ton/año}$  (Restrepo & Kjerfve, 2000).

Adicional a los controles interanuales, la descarga del río Magdalena se ve afectada por fluctuaciones multianuales de la ITCZ, incluidas las fases El Niño y La Niña del fenómeno ENSO (e.g. Poveda et al., 2006; Restrepo & Kjerfve, 2000). Durante la fase de El Niño, la posición media de la ITCZ es desplazada más al sur, originando valores típicamente bajos en las descargas anuales del río Magdalena ( $\sim 2000 - 3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; Restrepo & Kjerfve,

2000). En contraste, durante la fase de La Niña, cuando la ITCZ es forzada a una posición más norte, se producen precipitaciones fuertes en la parte noroccidental de Suramérica, originando mayores descargas anuales, usualmente excediendo los  $12.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Restrepo & Kjerfve, 2000).

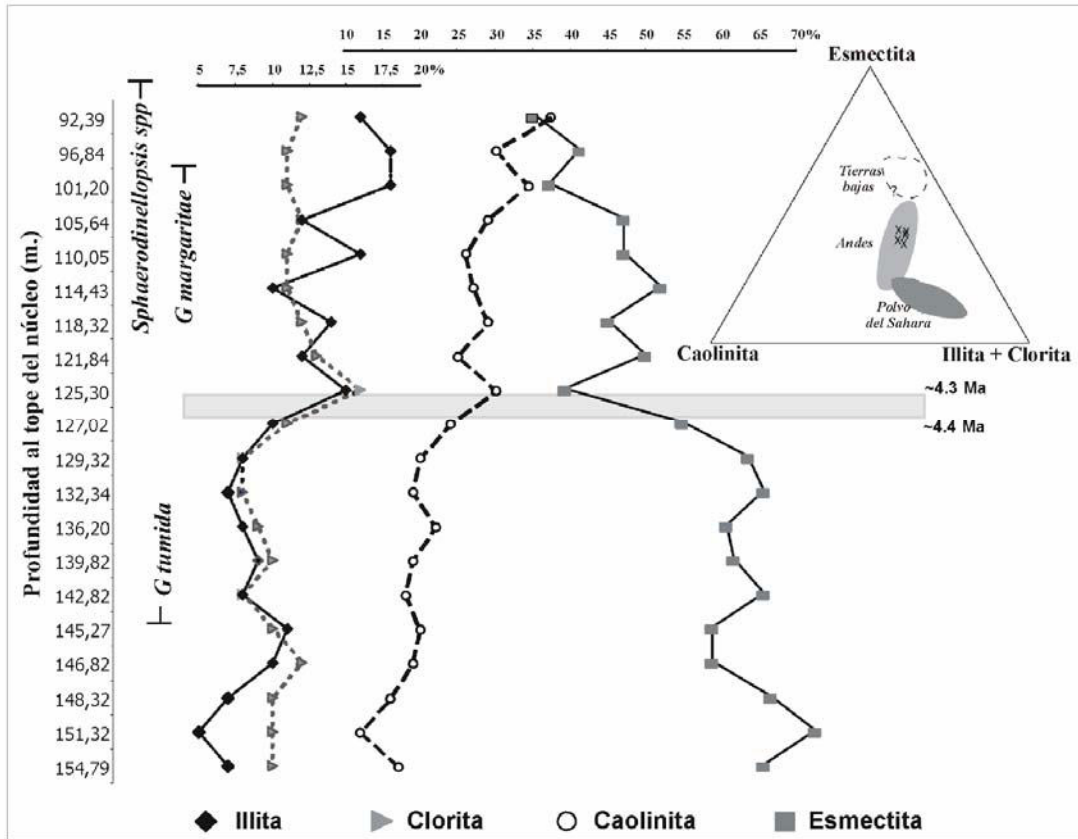
La migración de la posición media de la ITCZ en los periodos glaciales /interglaciales del Cuaternario Tardío, ha sido reconstruida para el norte de Suramérica con base en las variaciones de elementos mayores, registradas en los sedimentos acumulados en el núcleo ODP – 999 en la cuenca de Colombia (Mora & Martínez, 2005) y en el núcleo 1002 en la cuenca de Cariaco (Peterson & Haug, 2006). Basados en estos trabajos, condiciones más húmedas, habrían dominado en el norte de Suramérica durante los periodos interglaciales, cuando la ITCZ tendría una posición media más septentrional y al opuesto, las condiciones secas dominarían durante los periodos glaciales, cuando la ITCZ estaría en una posición más austral. A su vez, el registro en la Cuenca de Colombia (i.e. Mora & Martínez, 2005) indica que posiblemente las arcillas illita-clorita predominaron durante los periodos interglaciales y aparentemente se habrían derivado de la erosión de los Andes del norte, mientras que la esmectita y caolinita, predominaron durante los periodos glaciales y habrían sido transportados desde las sabanas tropicales, incluida la depresión Momposina.

En el Plioceno Temprano, los registros paleoceanográficos parecen favorecer la interpretación de condiciones permanentes tipo El Niño (e.g. Ravelo et al., 2006; Wara et al., 2005); a su vez, debido a condiciones globales más calidas, en comparación con el Cuaternario, se esperarían registros similares a las de los periodos interglaciales con un mayor aporte de illita-clorita proveniente de los Andes (Martínez & López, 2005).

Las condiciones descritas anteriormente debieron haber sido alteradas en  $\sim 4.4$  a  $4.3 \text{ Ma}$ , por la migración hacia el sur de la ITCZ como lo sugiere el registro de arcillas del núcleo DSDP – 502 (Schumann & Nage, 1982), Cuenca de Colombia (Fig. 4.7).

En este núcleo, se evidencia para dicho intervalo de tiempo, un aumento significativo en el contenido porcentual de illita, clorita y caolinita, coincidiendo a su vez, con una disminución significativa en el contenido de la esmectita (Fig. 4.7). La composición mineralógica conocida para las fuentes potenciales de material terrígeno de la Cuenca de Colombia, sugieren que el material derivado de los Andes, tendría una mayor proporción de illita, clorita (Mora & Martínez, 2005) y también de caolinita (Fig. 4.7), respecto al material proveniente de las tierras bajas; por esta razón, es posible que un eventual incremento en el aporte de material proveniente de los Andes aumente las proporciones de estas arcillas.

Los cambios porcentuales en los contenidos de arcillas, estarían reflejando un posible incremento en las precipitaciones y en el material aportado por la cordillera de los Andes (Fig. 4.7), como respuesta a la migración al sur de la ITCZ (Billups et al., 1999; Gussone et al., 2004). Sin embargo, un cambio significativo en la distribución y/o proporción de las zonas de aporte originado por procesos tectónicos, no debería ser del todo descartados.



**Figura 4.7.** Cambios en la composición porcentual de las arcillas illita, clorita, caolinita y esmectita, provenientes del núcleo DSDP-502 con respecto a la profundidad para el intervalo Plioceno Temprano y parte del Mioceno Tardío terminal. A la derecha, la composición mineralógica de las fuentes potenciales de sedimentos terrígenos en la Cuenca de Colombia según Mora & Martínez (2005). A la izquierda se muestra la posición de algunos eventos bioestratigráficos característicos del Plioceno Inferior (Keigwin, 1982a). La posición del intervalo 4.3 y 4.4 Ma. fue establecida según el modelo cronoestratigráfico establecido para el núcleo DSDP-502 por Keigwin (1982a)

En síntesis, aunque no es posible descartar que los cambios en los patrones de sedimentación observados hacia el tope de la Formación Tubará hayan sido originados por factores intrínsecos, propios de la dinámica de un delta; una serie de evidencias señalan que durante el Plioceno Temprano, en parte coincidiendo con la edad aquí estimada para la sección Arroyo Piedras, la eustasia, la tectónica y el clima, presentaron cambios significativos que pudieron afectar el sistema y alterar la desembocadura del paleo-Magdalena, desde una posición en los alrededores de Tubará a otra cerca de la población de Galerazamba.

## 5. CONCLUSIONES

El nuevo muestreo e interpretación paleoambiental de la Formación Tubará expuesta en la sección Arroyo Piedras, sugiere que este intervalo fue acumulado en ambientes marino marginales y no como fue originalmente planteado por Redmond (1953), en condiciones neríticas de mar abierto. La sección puede dividirse con base en sus características litológicas y micropaleontológicas en tres segmentos:

El segmento inferior, interpretado como el producto de la acumulación sobre una planicie aluvial/deltaica, caracterizada por una asociación de foraminíferos bentónicos típica de ambientes relacionados con condiciones variables de salinidad y de aportes de sedimentos terrígenos. La parte intermedia, asociada con lagunas (*lagoons*) y/o pantanos costeros (*Swamps*), caracterizados por una alta proporción de individuos de la especie *Ammonia parkinsoniana*. En medio de este segmento se encontró un intervalo estéril, caracterizado por un alto contenido de materia orgánica y de hojas fosilizadas, el cual fue asociado con los depósitos de pantanos costeros más alejados de una influencia marina.

Finalmente el segmento superior, el cual fue interpretado como la transición entre ambientes de anteplaya y el frente de playa; caracterizado por un menor contenido de *Ammonia parkinsoniana* y a su vez una mayor proporción de algunas especies (e.g. *Amphistegina lessoni*) que indicarían que el aporte de sedimentos terrígenos fue significativamente reducido.

De otro lado, la co-ocurrencia de las especies *Globigerinoides rubra*, *Globigerinoides obliqua*, un reporte previo de *Globigerina nepenthes* y un ejemplar relacionado morfológicamente con *Globorotalia conomiozea subconomiozea*; ubican al intervalo analizado en el Plioceno Temprano, en parte equivalente con la Zona PL-1 de Berggren et al., (1995), entre los ~ 4.2 a 5.4 Ma.

Respecto a la aparente alta proporción de especies diagnósticas de una conexión marina con el Océano Pacífico (Redmond, 1953), atribuida a una comunicación somera entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe en el intervalo Mioceno Tardío a Plioceno Temprano; se puede concluir, que no hay evidencias que sustenten la afirmación realizada por Redmond (1953), que las especies *Bolivina brevior*, *Tretomphalum pacificus*, *Reusella pulcra*, *Bolivina ligularia*, *Cymbaloporetta bradyi*, *Cymbaloporetta squamosa*, *Dyocibicides biserialis*, y *Planorbulina mediterraneensis*; sean diagnósticas de una conexión Pacífica. La mayoría de estas especies, han sido identificadas en asociaciones típicas de la provincia Caribe; incluso, algunas de estas, en estratos más antiguos que los de la Formación Tubará; por esto, es poco probable que dichas especies se hubiesen generado en el Océano Pacífico e ingresado al Mar Caribe después del aislamiento originado por el levantamiento inicial del istmo de Panamá.

Además, aunque la influencia de masas de agua Pacífica hubiese llegado al área de Tubará, su registro no es comparable con las asociaciones de influencia Pacífica, hasta ahora restringidas a las cuencas del Atrato (Formación Munguido) y del canal de Panamá (Formación Chagres). Los ambientes de acumulación interpretados para la sección Arroyo Piedras fueron marino marginales ( $\leq 20$  m), mucho más someros que los que prevalecieron para las Formaciones Chagres y Munguido ( $\geq 150$  m).

Otra gran dificultad presente al evaluar la afinidad Pacífica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la Formación Tubará, es la escasez de localidades en el litoral

Pacífico, correspondientes con el Mioceno Tardío – Plioceno Temprano, atribuido en parte a el rápido y amplio levantamiento sufrido por Centroamérica y el norte de Suramérica, durante este intervalo de tiempo.

Además, aunque no es posible descartar que los cambios en los patrones de sedimentación observados hacia el tope de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras hayan sido originados por factores intrínsecos, propios de la dinámica de un delta; una revisión de las características presentadas por la eustasia, la tectónica y el clima, evidencia que estos elementos presentaron cambios significativos, que pudieron alterar la desembocadura del paleo-Magdalena en el Plioceno Temprano, desde una posición en los alrededores de Tubará a otro lugar que ha sido ubicado por algunos autores cerca de la población de Galerazamba.

Finalmente, se recomienda para determinar si la costa norte de Colombia se vio afectada por la influencia de los corredores marinos que se postulan existieron a través del istmo de Panamá (e.g. Coates & Obando, 1996; Collins et al., 1996a), se recomienda buscar otras localidades coetáneas a la Formación Tubará, ubicadas tal vez más al occidente, acumuladas en ambientes batiales y no en ambientes marino marginales como los interpretados aquí para la sección Arroyo Piedras.

## 6. REFERENCIAS

- Anderson, F. M. 1926. Original source of oil in Colombia. AAPG Bulletin., vol.10, p. 382-404.
- Anderson, F. M. 1927a. Non-marine Tertiary deposits of Colombia. Bull Geol. Soc. Amer., vol. 38, p. 591-644.
- Anderson, F. M. 1927b. The marine Miocene deposits of North Colombia. Proc. Calif. Ac. Sc., (4<sup>a</sup> ser.), vol. 16, p. 87-95.
- Anderson, F. M. 1928. Notes on the lower Tertiary deposits of Colombia and their molluscan and foraminiferal fauna. Proc. Calif. Ac. Sc., (4<sup>a</sup> ser.), vol. 17, p. 1-29.
- Anderson, F. M. 1929. Marine Miocene and related deposits of North Colombia. Proc. Calif. Ac. Sc., (4<sup>a</sup> ser.), vol. 18, p. 73-213.
- Barbat, W. F. and F. L., Johnson. 1934. Stratigraphy and Foraminifera of the Reef Ridge shale, Upper Miocene, California. Journal of Paleontology, vol. 8, p 3-17.
- Bartoli, G., M. Sarnthein, M. Weinelt, H. Erlenkeuser, D. Garbe-Schönberg, and D.W. Lea. 2005. Final closure of Panama and the onset of northern hemisphere glaciation. Earth and Planetary Science Letters, vol. 237, p. 33 – 44.
- Bhattacharya, J. P., and R. G. Walker. 1992. Deltas. In: Facies Models, Response to sea level change, eds., Walter R. G., and N. P. James. Geological Association of Canada. Ontario, Canada. p, 157-178.
- Berggren, W.O., D. V. Kent, C. C. Swisher, and M-P. Aubry. 1995. A revised geochronology and chronostratigraphy. In: W. A. Berggren, D. V. Kent, M-P. Aubry and J. Hardenbol, eds., Time scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Special Volume, No 54, p 129-212.
- Bermudez, P. J. 1949. Tertiary Smaller Foraminifera of the Dominican Republic. Cushman Lab. Foram. Research Special Pub, No 25, p 1-322.
- Billups, K., A. D. Ravelo, J. C. Zachos, and R. D. Norris 1999. Link between oceanic heat transport, thermohaline circulation, and the Intertropical Convergence Zone in the early Pliocene Atlantic. Geology., vol. 27, p. 319–322.
- Bolli, H. M., J. P. Beckmann, and J. B. Saunders. 1984. Benthic Foraminiferal Biostratigraphy of the South Caribbean Region, 408 p. Cambridge, Cambridge University Press.

- Bolli, H. M. and J. B., Saunders. 1985. Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera. In: Bolli, H. M., Saunders, J. B., and Perch-Nilsen, K., eds., *Plankton Stratigraphy*, p. 155-262. Cambridge, Cambridge University Press.
- Boltovskoy, E. y E. Gualancañay. 1975. Foraminíferos Bentónicos Actuales de Ecuador 1. Provincia Esmeraldas. Instituto Oceanográfico de la Armada., 55 p, 10 pl. Guayaquil, Ecuador.
- Bordine, B. W. 1974. Neogene Biostratigraphy and Paleoenvironments Lower Magdalena Basin, Colombia. A non-published Ph.D Dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Department of Geology, 262 p.
- Bornmalm, L., G. Joen, G. V. Widmark, and B. A. Malmgren. 1999. Changes in Circulation and Trophic Levels in the Pliocene Caribbean Sea: Evidences from Benthic Foraminifer Accumulation Rates. *Journal of Foram. Research.*, vol. 29, p. 209–221.
- Boyd, R. and S. Penland. 1988. A geomorphic model for Mississippi delta evolution. *Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions*, v. 38, p. 443-452.
- Boyd, R., J. Suter, J. and Penland, S., 1989. Sequence stratigraphy of the Mississippi delta: *Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions*, v. 39, p. 331-340.
- Bürgl, H., H. Barrios, A. Rostrom, 1955. Micropaleontología y Estratigrafía de la sección Arroyo Saco. Departamento de Bolívar. Servicio Geológico Nacional Boletín. Geológico., vol. 3 (No 1).
- Carvajal, J. H. 1990. Características Sedimentológicas de la plataforma continental frente a Galerazamba. Ingeominas, Informe 2173. Cartagena de Indias.
- Case, J. E, W. D. N. MacDonald and P. J. Fox. 1990. Caribbean Crustal Provinces; Seismic and Gravity Evidence, In: G. Dengo and J. E. Case, eds., *The Caribbean region: Geological Society of America, The geology of North America.*, vol. H, p. 15–36.
- Casell, D. T., and B. K. Sen Gupta. 1989. Pliocene Foraminifera and Environments, Limon Basin of Costa Rica. *Journal of Paleontology*, vol. 63, p 146-157.
- Coates, A.G. and J. A. Obando. 1996. The geologic evolution of the Central American isthmus. In: *Evolution and environment in tropical America*, ed. J.B.C.Jackson, A.F. Budd, and A.G. Coates, p. 21-56, University of Chicago Press, Chicago.
- Coates, A.G., J.B.C. Jackson, L.S. Collins, T.M. Cronin, H.J. Dowsett, L.M. Bybell, P. Jung, and J.A.Obando, 1992. Closure of the Isthmus of Panama: the near-shore marine record of Costa Rica and western Panama. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 104, p. 814-828.

Coates, A.G., M-P. Aubry, W.A. Berggren, L.S. Collins, and M. Kunk. 2003. Early history of the Central American arc from Bocas del Toro, western Panama. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 115, p. 271-287.

Coates, A.G., L. S. Collins, M-P. Aubry, and W. A. Berggren. 2004. The Geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with northwestern South America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol 116, p. 1327-1344.

Coleman, J.M and D. B., Prior. 1982. Deltaic environments, In: Scholle, P. A. and Spearing, D. R., eds., *Sandstone Depositional Environments: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 31*, p. 139 – 178.

Collins, L.S. 1993. Neogene paleoenvironments of the Bocas del Toro Basin, Panama. *Journal of Paleontology.*, vol. 67, p. 699-710.

Collins, L.S. and A.G. Coates, Ed. 1999. A paleobiotic survey of Caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama. *Bull. Am. Paleontol.*, vol. 357, p. 1-351.

Collins, L.S., A.G. Coates, W.A. Berggren, M-P. Aubry, and J. Zhang. 1996a. The late Miocene Panama isthmian strait. *Geology.*, vol. 24, p. 687-690.

Collins, L.S., A.F. Budd, and A.G. Coates. 1996b. Earliest evolution associated with closure of the Tropical American Seaway. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, vol. 93, p. 6069 - 6072.

Coryell, H. N, and F. C., Rivero. 1940. A Miocene microfauna of Haiti. *Journal of Paleontology*, vol. 14, p 324-344.

Culver, S. J., 1990. Benthic Foraminifera of Puerto Rican Mangrove-Lagoon Systems: Potencial for Paleoenvironmental Interpretations. *Palaios*, vol. 3, p. 34 – 51.

Culver, S. J., and M. A. Buzas. 1982. Distribution of Recent Benthic Foraminifera in the Caribbean Region. *Smithsonian Contributions to the Marine Science.*, No. 14, 382 p.

Cushman, J. A., and P. W. Jarvis, 1930. Miocene Foraminifera from Buff Bay, Jamaica. *Journal of Paleontology*, vol. 4, p 353-368.

Cushman, J. A., and H. H. Renz. 1941. New Oligocene-Miocene foraminifera from Venezuela. *Contributions Cushman Lab. Foramin. Res.*, vol. 17, p. 1-27.

Davis, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology.*, John Willey and Sons, 646p.

Dobson, M. D., G. R. Dickens, and D. K. Rea, 1997. Terrigenous sedimentation at Ceara Rise, *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, vol. 154, p. 465– 473.

Duque-Caro, H. 1979. Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia. In: J. S. Watkins, L. Montadert and P. W. Dickerson, eds., *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margin*. AAPG. Mem., 29, p 329-351.



Duque-Caro, H. 1990. Neogene stratigraphy, palaeoceanography and palaeobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Palaeogeogr. Palaeoc. Palaeoecol.*, vol. 77, p. 203-234.

Elliot, T. 1986, Deltas. In: Reading, H. G., eds., *Sedimentary environments and facies*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, p. 113-154.

Duque-Caro, H. 2006. Comentario a: Quantitative biostratigraphic model for the Tertiary of the Lower Magdalena Basin, Colombian Caribbean. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, Vol. 3, p. 183-196.

Ercilla, G., Alonso, B., Estrada, F., Chiocci, F.L., Baraza, J., Farraron, M., 2000. El Sistema Turbidítico del Magdalena: Procesos geológicos recientes (Mar Caribe). In: Alonso, B., G. Ercilla, eds., *Valles Submarinos y Sistemas Turbidíticos Modernos*. CSIC, Madrid, p. 203-228.

Flinch, J. F. 2003. Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia), In: C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean. Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG. Mem.*, 79, p. 776–796.

Franklin, E. S. 1944. Microfauna from the Carapita formation of Venezuela. *Journal of Paleontology*, vol. 18, p 301-319.

Garrison, L. E. 1959. Miocene Foraminifera from the Temblor Formation North of Coalinga, California. *Journal of Paleontology.*, vol 33, p. 662-669.

Gregory-Wodzicki, K. M. 2000. Uplift history of the central and northern Andes: A review, *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 112, p. 1091– 1105.

Gussone, N., A. Eisenhauer, R. Tiedemann, G.H. Haug, A. Heuser, B. Bock, Th.F. Nagler, and A. Muller. 2004. Reconstruction of Caribbean Sea surface temperatures and salinity fluctuations in response to the Pliocene closure of the Central American Gateway and radiative forcing using  $^{44/40}\text{Ca}$ ,  $^{18}\text{O}$  and Ca/Mg ratios. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 227, p. 201-214.

Harris, S., and A. C. Mix, 2002. Climate and tectonic influences on continental erosion in tropical South America, *Geology*, vol. 30, p. 447 – 450.

Haug, G. H., and R. Tiedemann. 1998. Effect of the formation of the Isthmus of Panama on Atlantic Ocean thermohaline circulation. *Nature.*, vol. 393, p. 673-676.

Haug, G. H., R. Tiedemann, R. Zahn, A.C. Ravelo. 2001. Role of Panama uplift on oceanic freshwater balance. *Geology.*, vol. 29, p. 207–210.

- Hayward, B. W., and C. J. Hollis. 1994. Brackish foraminifera in New Zealand: A Taxonomic and ecologic review. *Micropaleontology*, vol. 40, p. 185 – 222.
- Hedberg, H. D. 1937. Foraminifera of the Middle Tertiary Carapita Formation of north-Eastern Venezuela. *Journal of Paleontology*, vol. 11, p 661-697.
- Hoorn, C., J. Guerrero, G. A. Sarmiento, and M. A. Lorente. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene South America. *Geology*, vol. 23, p. 237– 240.
- Horne, J. C., Ferm, J. C., Caruccio, F. T., and B. P. Baganz. 1978. Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region. *AAPG Bulletin*, vol. 62, p. 2379-2411.
- INGEOMINAS, 2001. Geología de las Planchas 16 -17, Galerazamba y Barranquilla. Memoria Explicativa., 54 p. Bogotá, Colombia
- Jackson, J.B.C., A.F. Budd, and A.G. Coates. 1996. *Evolution and Environment in Tropical America*. 358 p. The University of Chicago Press, Chicago.
- Javaux, E. J., and D. B. Scott. 2003. Illustration of Modern Benthic Foraminifera from Bermuda and Remarks on Distribution in Other Subtropical/tropical Areas. *Palaeontologia Electronica.*, vol. 6, No 4, 29 p, 2.1MB; [http://palaeo-electronica.org/paleo/2003\\_1/benthic/issue1\\_03.htm](http://palaeo-electronica.org/paleo/2003_1/benthic/issue1_03.htm)
- Keigwin, L. D. 1982a. Neogene planktonic foraminifers from Deep Sea Drilling project Sites 502 and 503. In: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol. 68: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., p. 269–277.
- Keigwin, L.D. 1982b. Isotopic paleoceanography of the Caribbean and East Pacific: role of Panama uplift in late Neogene time. *Science.*, vol. 217, p. 350-352.
- Keller, G., Zenker, C.E., and Stone, S.M., 1989. Late Neogene History of the Pacific-Caribbean seaway. *Journal of South American Earth Sciences.*, vol. 2, p. 73 – 108.
- Kohl, B. 1985. Early Pliocene Benthic Foraminifers from the Salina Basin Southeastern Mexico. *Bulletin of American Paleontology.*, vol. 88, No 322, 173 p, 37 pl.
- Loeblich, A. R., and H. Tappan. 1987. *Foraminiferal Genera and their Classification*. Van Nostrand Reinhold Company, 2 Vols, p 1-847. New York.
- Marshall, L.G., R.F. Buttler, R.E. Drake, G.H. Curtis, and R.H. Telford. 1979. Calibration of the Great American Interchange. *Science.*, vol. 204, p. 272 – 279.
- Martinez, J. I., and E. Lopez. 2005. El Sistema fluvial del Magdalena durante el Plioceno-Cuaternario: Contexto Tectónico y escenario Paleoclimático. En: *Los sedimentos del río Magdalena, reflejo de la crisis ambiental*. Ed. J. D. Restrepo. p. 101-110. Fondo editorial Universidad EAFIT, Medellín. Colombia.

McCourt, W. J., J. A., Aspen, and M. Brook. 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. Geological Society of London. Journal, vol, 141, p. 831 – 845.

McDougall, K., 1996, Benthic foraminiferal response to the emergence of the Isthmus of Panama and coincident paleoceanographic changes: Marine Micropaleontology., vol. 28, p.133–169.

Miall, A. D., 1992. Exxon global cycle chart: an event for every ocasión? Geology, v. 20, p. 787 – 790.

Miller, K. G., M. A. Kominz., J. V. Browning., J. D. Wright, G. S. Mountain., M.E. Katz., P. J. Sugarman., B. S. Cramer., N. Christie-Blick., and S. F. Pekar. 2005. The Phanerozoic Record of Global Sea Level. Science., vol. 310, p. 1293 – 1298.

Milliman, J. D., and R. H. Meade. 1983. Worldwide delivery of river sediment to the oceans, J. Geol., vol. 91, 1– 21.

Molina J.; Cáceres, H.; Ruge, P. ;Castillo, L. E. 1986. Análisis deposicional y geohistórico del Noroccidente Colombiano. U. Nal., Geología. Colombiana., vol. 15, p 5-33. Bogotá.

Mora G., and J. I. Martinez. 2005. Sedimentary metal ratios in the Colombia Basin as indicators for water balance change in northern South America during the past 400,000 years. Paleoceanography., vol. 20, p. 1-12.

Murray, J. W. 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific & Technical., 397 p. Longman House, England.

Parada-Ruffinatti, C. 1996. Foraminiferos del Pleistoceno-Holoceno en el Caribe Colombiano. Biblioteca José Jerónimo Triana No 14, Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia. 392 p. Bogotá, Colombia.

Peterson, L. C., and G. H.; Haug. 2006. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, vol. 234, p. 97– 113.

Phleger, F. B., and R. R. Lankford. 1978. Foraminifera and Ecological Processes in the Alvarado Lagoon Area, Mexico. Journal of Foraminiferal Research, vol. 8, p. 127 – 131.  
Phleger, F. B., and Parker, F. L. 1951. Ecology of Foraminifera of northwest Gulf of Mexico. Geol. Soc. Am. Memoirs., No 46, 64 p. 20 pl.

Pince, J. M, C. Osorio, B. Mouly, and J. Amaral. 2003. Tertiary Depositional Environments and Reservoir Properties in the Sinu Accretionary Prism (Offshore – Colombia) VIII Simposio Bolivariano - Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas

Poag, C. W. 1978. Paired Foraminiferal Ecophenotypes in Gulf Coast Estuaries: Ecological and Paleocological Implications. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, vol 28, p. 395-420.

Poag, C. W. 1981. Ecologic Atlas of benthic foraminifera of the Gulf of Mexico. Hutchinson Ross Publ. Co., 174p, 64 pl, 1 map.

Porta, J. de, 1970. On planktonic foraminiferal zonation in the Tertiary of Colombia: Micropaleontology, v. 16, p. 216-220.

Porta, J. de. 1974. Lexique Stratigraphique International. Volume V Amérique Latine. Fasc. 4: 1-692 p. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.

Porta, J. de. 2003. La Formación del Istmo de Panamá y su incidencia en Colombia Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. Vol. 27, No 103, p. 191 – 216.

Poveda, G., P. R. Waylen, and R. S. Pulwarty. 2006. Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 234, p. 3 – 27.

Peterson, L. C., and G. H. Haug. 2006. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 234, p. 97 – 113.

Ravelo, A. C., P. S. Dekens, and M., McCarthy. 2006. Evidence for el Niño like conditions during the Pliocene. GSA Today, vol 16, No. 3, p. 4 – 11.

Redmond, C. D. 1953. Miocene Foraminifera from the Tubara beds of Northern Colombia. Journal of Paleontology., vol. 27, p. 708–733.

Renz, H. H. 1948. Stratigraphy and Fauna of the Agua Salada Group, State of Falcon, Venezuela. Geol. Soc. Am. Memoirs., 32. 219p.

Restrepo, J. D., and B. Kjerfve. 2000. Magdalena River: Interannual variability. 1975 – 1995 and revised water discharge and sediment load estimates. Jour. Hydrol., vol. 235, p. 137 – 149.

Schumann, D., and U. Nage. 1982. Leg 68: Shore-Based X-ray Mineralogy. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 68: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., p. 397–402.

Seiglie, G. A. 1975. Foraminifera of Guayanilla bay and their use as environmental indicators. Revista Española de Micropaleontología., vol. 7, p. 453-487.

Sen Gupta, B. K, and C. T. Schafer. 1973 Holocene benthonic foraminifera in leeward bays of St Lucia, West Indies. Micropaleontology., vol. 19, p 341-365.

Sen Gupta, B. K.; Malavassi, L.R., and E. Malavassi. 1986. Late Miocene Shore in northern Costa Rica: Benthic Foraminiferal Record. *Geology*, vol. 14, p. 218–220.

Sen Gupta, B. K. 1999. Foraminifera in Marginal Marine Environments. In: *Modern Foraminifera*, ed., Sen Gupta, B. K. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. p. 141 -160.

Shagam, R., Kohn, B. P., Banks, P. O., Dasch, L. E., Vargas, R., Rodriguez, G. I. and Pimentel, N. 1984. Tectonic implications of Cretaceous-Pliocene fission-track ages from rocks of the circum-Maracaibo Basin region of western Venezuela and eastern Colombia, *in* Bonini, W. E., et al., eds., *The Caribbean–South American plate boundary and regional Tectonics*. Geological Society of America Memoir 162, p. 385–412.

Smith, P.B. 1964. Ecology of benthonic Species of Recent Foraminifera off Central America: U.S. Geological Survey Professional Paper 429-B, p. B1–B55.

Sneath, P. H. A., and R. R. Sokal. 1973. *Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman and Co., San Francisco, C.A., 573 p.

Stainforth, R. M. 1948. Applied Micropaleontology in coastal Ecuador. *Journal of Paleontology*, vol. 22, p 113-151.

Steph, S., R. Tiedemann, M. Prange, J. Groeneveld, D. Nurnberg, L. Reuning, M. Schulz, and G. H. Haug (2006), Changes in Caribbean surface hydrography during the Pliocene shoaling of the Central American Seaway, *Paleoceanography*, 21, p. 1 - 25.

Totto, E. A. and J. N. Kellogg. 1992. Structure of the Sinu San Jacinto Fold Belt an Active Accretionary Prism in Northern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 5, p. 211–222.

Van den Bold, W. A. 1966. Upper Miocene Ostracoda from de Tubara Formation Northern Colombia. *Micropaleontology*, vol.12, p. 360-364.

Van der Hammen, T., J. H., Werner and H. Van Dommelen. 1973. Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: A study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High-Andean biota. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 16, p. 1–122.

Van Houten, F. B. and H. E. James. 1984. Late Cenozoic Guayabo delta complex in SW Maracaibo Basin, *in* Bonini, W. E., et al., eds., *The Caribbean–South American plate boundary and regional tectonics*: Geological Society of America Memoir 162, p. 325–332.

Van Houten, F. B. and R. B., Travis. 1968. Cenozoic deposits, Upper Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, vol. 52, p. 675–702.

Wara, M.W., A. C., Ravelo, and M. L., Delaney. 2005. Permanent el Niño-like conditions during the Pliocene warm period. *Science*, vol. 309, p. 758– 761.

Webb, S.D. and A. Nancy. 1996. Late Cenozoic Evolution of the Neotropical Mammal Fauna. In: *Evolution and Environment in Tropical America*, edit. J.B.C. Jackson, A.F. Budd, and A.G. Coates, p 335-358. The University of Chicago Press, Chicago.

White, W. R. 1951. Pliocene and Miocene Foraminifera from the Capistrano Formation, Orange County, California. *Journal of Paleontology.*, vol 30, p 237 – 260.

Woodring, W. P. 1954. Caribbean Land and Sea through the Ages. *Geological Society of America Bulletin.*, vol 65, p. 719 – 732.

## 5. CONCLUSIONES

El nuevo muestreo e interpretación paleoambiental de la Formación Tubará expuesta en la sección Arroyo Piedras, sugiere que este intervalo fue acumulado en ambientes marino marginales y no como fue originalmente planteado por Redmond (1953), en condiciones neríticas de mar abierto. La sección puede dividirse con base en sus características litológicas y micropaleontológicas en tres segmentos:

El segmento inferior, interpretado como el producto de la acumulación sobre una planicie aluvial/deltaica, caracterizada por una asociación de foraminíferos bentónicos típica de ambientes relacionados con condiciones variables de salinidad y de aportes de sedimentos terrígenos. La parte intermedia, asociada con lagunas (*lagoons*) y/o pantanos costeros (*Swamps*), caracterizados por una alta proporción de individuos de la especie *Ammonia parkinsoniana*. En medio de este segmento se encontró un intervalo estéril, caracterizado por un alto contenido de materia orgánica y de hojas fosilizadas, el cual fue asociado con los depósitos de pantanos costeros más alejados de una influencia marina.

Finalmente el segmento superior, el cual fue interpretado como la transición entre ambientes de anteplaya y el frente de playa; caracterizado por un menor contenido de *Ammonia parkinsoniana* y a su vez una mayor proporción de algunas especies (e.g. *Amphistegina lessoni*) que indicarían que el aporte de sedimentos terrígenos fue significativamente reducido.

De otro lado, la co-ocurrencia de las especies *Globigerinoides rubra*, *Globigerinoides obliqua*, un reporte previo de *Globigerina nepenthes* y un ejemplar relacionado morfológicamente con *Globorotalia conomiozea subconomiozea*; ubican al intervalo analizado en el Plioceno Temprano, en parte equivalente con la Zona PL-1 de Berggren et al., (1995), entre los ~ 4.2 a 5.4 Ma.

Respecto a la aparente alta proporción de especies diagnósticas de una conexión marina con el Océano Pacífico (Redmond, 1953), atribuida a una comunicación somera entre el Océano Pacífico y el Mar Caribe; se puede concluir, que no hay evidencias que sustenten la afirmación realizada por Redmond (1953), que las especies *Bolivina brevior*, *Tretomphalum pacificus*, *Reusella pulcra*, *Bolivina ligularia*, *Cymbaloporetta bradyi*, *Cymbaloporetta squamosa*, *Dyocibicides biserialis*, y *Planorbulina mediterraneensis*; sean diagnósticas de una conexión Pacífica. La mayoría de estas especies, han sido identificadas en asociaciones típicas de la provincia Caribe; incluso, algunas de estas, en estratos más antiguos que los de la Formación Tubará; por esto, es poco probable que dichas especies se hubiesen generado en el Océano Pacífico e ingresado al Mar Caribe después del aislamiento originado por el levantamiento inicial del istmo de Panamá.

Además, aunque la influencia de masas de agua Pacífica hubiese llegado al área de Tubará, su registro no es comparable con las asociaciones de influencia Pacífica, hasta ahora restringidas a las cuencas del Atrato (Formación Munguido) y del canal de Panamá (Formación Chagres). Los ambientes de acumulación interpretados para la sección Arroyo Piedras fueron marino marginales ( $\leq 20$  m), mucho más someros que los que prevalecieron para las Formaciones Chagres y Munguido ( $\geq 150$  m).

Otra gran dificultad presente al evaluar la afinidad Pacífica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la Formación Tubará, es la escasez de localidades en el litoral Pacífico, correspondientes con el Mioceno Tardío – Plioceno Temprano, atribuido en parte

a el rápido y amplio levantamiento sufrido por Centroamérica y el norte de Suramérica, durante este intervalo de tiempo.

Los patrones de sedimentación observados hacia el tope de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras pudieron haber sido originados por factores intrínsecos, propios de la dinámica de un delta; sin embargo una revisión de las características presentadas por la eustasia, la tectónica y el clima, evidencia que estos elementos presentaron cambios significativos, que pudieron alterar la desembocadura del paleo-Magdalena en el Plioceno Temprano, desde una posición en los alrededores de Tubará a otro lugar que ha sido ubicado por algunos autores cerca de la población de Galerazamba.

Finalmente, para determinar si la costa norte de Colombia se vio afectada por la influencia de los corredores marinos que se postulan existieron a través del istmo de Panamá (e.g. Coates & Obando, 1996; Collins et al., 1996a), se recomienda buscar otras localidades coetáneas a la Formación Tubará, ubicadas tal vez más al occidente, acumuladas en ambientes batiales y no en ambientes marino marginales como los interpretados aquí para la sección Arroyo Piedras.



## 6. REFERENCIAS

- Anderson, F. M. 1926. Original source of oil in Colombia. AAPG Bulletin., vol.10, p. 382-404.
- Anderson, F. M. 1927a. Non-marine Tertiary deposits of Colombia. Bull Geol. Soc. Amer., vol. 38, p. 591-644.
- Anderson, F. M. 1927b. The marine Miocene deposits of North Colombia. Proc. Calif. Ac. Sc., (4<sup>a</sup> ser.), vol. 16, p. 87-95.
- Anderson, F. M. 1928. Notes on the lower Tertiary deposits of Colombia and their molluscan and foraminiferal fauna. Proc. Calif. Ac. Sc., (4<sup>a</sup> ser.), vol. 17, p. 1-29.
- Anderson, F. M. 1929. Marine Miocene and related deposits of North Colombia. Proc. Calif. Ac. Sc., (4<sup>a</sup> ser.), vol. 18, p. 73-213.
- Barbat, W. F. and F. L., Johnson. 1934. Stratigraphy and Foraminifera of the Reef Ridge shale, Upper Miocene, California. Journal of Paleontology, vol. 8, p 3-17.
- Bartoli, G., M. Sarnthein, M. Weinelt, H. Erlenkeuser, D. Garbe-Schönberg, and D.W. Lea. 2005. Final closure of Panama and the onset of northern hemisphere glaciation. Earth and Planetary Science Letters, vol. 237, p. 33 – 44.
- Bhattacharya, J. P., and R. G. Walker. 1992. Deltas. In: Facies Models, Response to sea level change, eds., Walter R. G., and N. P. James. Geological Association of Canada. Ontario, Canada. p, 157-178.
- Berggren, W.O., D. V. Kent, C. C. Swisher, and M-P. Aubry. 1995. A revised geochronology and chronostratigraphy. In: W. A. Berggren, D. V. Kent, M-P. Aubry and J. Hardenbol, eds., Time scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Special Volume, No 54, p 129-212.
- Bermudez, P. J. 1949. Tertiary Smaller Foraminifera of the Dominican Republic. Cushman Lab. Foram. Research Special Pub, No 25, p 1-322.
- Billups, K., A. D. Ravelo, J. C. Zachos, and R. D. Norris 1999. Link between oceanic heat transport, thermohaline circulation, and the Intertropical Convergence Zone in the early Pliocene Atlantic. Geology., vol. 27, p. 319–322.
- Bolli, H. M., J. P. Beckmann, and J. B. Saunders. 1984. Benthic Foraminiferal Biostratigraphy of the South Caribbean Region, 408 p. Cambridge, Cambridge University Press.

Bolli, H. M. and J. B., Saunders. 1985. Oligocene to Holocene low latitude planktic foraminifera. In: Bolli, H. M., Saunders, J. B., and Perch-Nilsen, K., eds., *Plankton Stratigraphy*, p. 155-262. Cambridge, Cambridge University Press.

Boltovskoy, E. y E. Gualancañay. 1975. Foraminíferos Bentónicos Actuales de Ecuador 1. Provincia Esmeraldas. Instituto Oceanográfico de la Armada., 55 p, 10 pl. Guayaquil, Ecuador.

Bordine, B. W. 1974. Neogene Biostratigraphy and Paleoenvironments Lower Magdalena Basin, Colombia. A non-published Ph.D Dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Department of Geology, 262 p.

Bornmalm, L., G. Joen, G. V. Widmark, and B. A. Malmgren. 1999. Changes in Circulation and Trophic Levels in the Pliocene Caribbean Sea: Evidences from Benthic Foraminifer Accumulation Rates. *Journal of Foram. Research.*, vol. 29, p. 209–221.

Boyd, R. and S. Penland. 1988. A geomorphic model for Mississippi delta evolution. *Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions*, v. 38, p. 443-452.

Boyd, R., J. Suter, J. and Penland, S., 1989. Sequence stratigraphy of the Mississippi delta: *Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions*, v. 39, p. 331-340.

Bürgl, H., H. Barrios, A. Rostrom, 1955. Micropaleontología y Estratigrafía de la sección Arroyo Saco. Departamento de Bolívar. Servicio Geológico Nacional Boletín. Geológico., vol. 3 (No 1).

Carvajal, J. H. 1990. Características Sedimentológicas de la plataforma continental frente a Galerazamba. *Ingeominas, Informe 2173*. Cartagena de Indias.

Case, J. E, W. D. N. MacDonald and P. J. Fox. 1990. Caribbean Crustal Provinces; Seismic and Gravity Evidence, In: G. Dengo and J. E. Case, eds., *The Caribbean region: Geological Society of America, The geology of North America.*, vol. H, p. 15–36.

Casell, D. T., and B. K. Sen Gupta. 1989. Pliocene Foraminifera and Environments, Limon Basin of Costa Rica. *Journal of Paleontology*, vol. 63, p 146-157.

Coates, A.G. and J. A. Obando. 1996. The geologic evolution of the Central American isthmus. In: *Evolution and environment in tropical America*, ed. J.B.C.Jackson, A.F. Budd, and A.G. Coates, p. 21-56, University of Chicago Press, Chicago.

Coates, A.G., J.B.C. Jackson, L.S. Collins, T.M. Cronin, H.J. Dowsett, L.M. Bybell, P. Jung, and J.A.Obando, 1992. Closure of the Isthmus of Panama: the near-shore marine record of Costa Rica and western Panama. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 104, p. 814-828.

Coates, A.G., M-P. Aubry, W.A. Berggren, L.S. Collins, and M. Kunk. 2003. Early history of the Central American arc from Bocas del Toro, western Panama. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 115, p. 271-287.

Coates, A.G., L. S. Collins, M-P. Aubry, and W. A. Berggren. 2004. The Geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with northwestern South America. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol 116, p. 1327-1344.

Coleman, J.M and D. B., Prior. 1982. Deltaic environments, In: Scholle, P. A. and Spearing, D. R., eds., *Sandstone Depositional Environments: American Assotiation of Petroleum Geologists, Memoir 31*, p. 139 – 178.

Collins, L.S. 1993. Neogene paleoenvironments of the Bocas del Toro Basin, Panama. *Journal of Paleontology.*, vol. 67, p. 699-710.

Collins, L.S. and A.G. Coates, Ed. 1999. A paleobiotic survey of Caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama. *Bull. Am. Paleontol.*, vol. 357, p. 1-351.

Collins, L.S., A.G. Coates, W.A. Berggren, M-P. Aubry, and J. Zhang. 1996a. The late Miocene Panama isthmian strait. *Geology.*, vol. 24, p. 687-690.

Collins, L.S., A.F. Budd, and A.G. Coates. 1996b. Earliest evolution associated with closure of the Tropical American Seaway. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, vol. 93, p. 6069 - 6072.

Coryell, H. N, and F. C., Rivero. 1940. A Miocene microfauna of Haiti. *Journal of Paleontology*, vol. 14, p 324-344.

Culver, S. J., 1990. Benthic Foraminifera of Puerto Rican Mangrove-Lagoon Systems: Potencial for Paleoenvironmental Interpretations. *Palaios*, vol. 3, p. 34 – 51.

Culver, S. J., and M. A. Buzas. 1982. Distribution of Recent Benthic Foraminifera in the Caribbean Region. *Smithsonian Contributions to the Marine Science.*, No. 14, 382 p.

Cushman, J. A., and P. W. Jarvis, 1930. Miocene Foraminifera from Buff Bay, Jamaica. *Journal of Paleontology*, vol. 4, p 353-368.

Cushman, J. A., and H. H. Renz. 1941. New Oligocene-Miocene foraminifera from Venezuela. *Contributions Cushman Lab. Foramin. Res.*, vol. 17, p. 1-27.

Davis, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology.*, John Willey and Sons, 646p.

Dobson, M. D., G. R. Dickens, and D. K. Rea, 1997. Terrigenous sedimentation at Ceara Rise, *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, vol. 154, p. 465– 473.

Duque-Caro, H. 1979. Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia. In: J. S. Watkins, L. Montadert and P. W. Dickerson, eds., *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margin*. AAPG. Mem., 29, p 329-351.

Duque-Caro, H. 1990. Neogene stratigraphy, palaeoceanography and palaeobiogeography in northwest South America and the evolution of the Panama Seaway. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 77, p. 203-234.

Elliot, T. 1986, Deltas. In: Reading, H. G., eds., *Sedimentary environments and facies*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, p. 113-154.

Duque-Caro, H. 2006. Comentario a: Quantitative biostratigraphic model for the Tertiary of the Lower Magdalena Basin, Colombian Caribbean. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, Vol. 3, p. 183-196.

Ercilla, G., Alonso, B., Estrada, F., Chiocci, F.L., Baraza, J., Farraon, M., 2000. El Sistema Turbidítico del Magdalena: Procesos geológicos recientes (Mar Caribe). In: Alonso, B., G. Ercilla, eds., *Valles Submarinos y Sistemas Turbidíticos Modernos*. CSIC, Madrid, p. 203-228.

Flinch, J. F. 2003. Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia), In: C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean. Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG. Mem.*, 79, p. 776–796.

Franklin, E. S. 1944. Microfauna from the Carapita formation of Venezuela. *Journal of Paleontology*, vol. 18, p 301-319.

Garrison, L. E. 1959. Miocene Foraminifera from the Temblor Formation North of Coalinga, California. *Journal of Paleontology.*, vol 33, p. 662-669.

Gregory-Wodzicki, K. M. 2000. Uplift history of the central and northern Andes: A review, *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 112, p. 1091– 1105.

Gussone, N., A. Eisenhauer, R. Tiedemann, G.H. Haug, A. Heuser, B. Bock, Th.F. Nagler, and A. Muller. 2004. Reconstruction of Caribbean Sea surface temperatures and salinity fluctuations in response to the Pliocene closure of the Central American Gateway and radiative forcing using  $^{44/40}\text{Ca}$ ,  $^{18}\text{O}$  and Ca/Mg ratios. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 227, p. 201-214.

Harris, S., and A. C. Mix, 2002. Climate and tectonic influences on continental erosion in tropical South America, *Geology*, vol. 30, p. 447 – 450.

Haug, G. H., and R. Tiedemann. 1998. Effect of the formation of the Isthmus of Panama on Atlantic Ocean thermohaline circulation. *Nature.*, vol. 393, p. 673-676.

Haug, G. H., R. Tiedemann, R. Zahn, A.C. Ravelo. 2001. Role of Panama uplift on oceanic freshwater balance. *Geology.*, vol. 29, p. 207–210.

Hayward, B. W., and C. J. Hollis. 1994. Brackish foraminifera in New Zealand: A Taxonomic and ecologic review. *Micropaleontology*, vol. 40, p. 185 – 222.

Hedberg, H. D. 1937. Foraminifera of the Middle Tertiary Carapita Formation of north-Eastern Venezuela. *Journal of Paleontology*, vol. 11, p 661-697.

Hoorn, C., J. Guerrero, G. A. Sarmiento, and M. A. Lorente. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene South America. *Geology*, vol. 23, p. 237– 240.

Horne, J. C., Ferm, J. C., Caruccio, F. T., and B. P: Baganz. 1978. Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region. *AAPG Bulletin*, vol. 62, p. 2379-2411.

INGEOMINAS, 2001. Geología de las Planchas 16 -17, Galerazamba y Barranquilla. Memoria Explicativa., 54 p. Bogotá, Colombia

Jackson, J.B.C., A.F. Budd, and A.G. Coates. 1996. Evolution and Environment in Tropical America. 358 p. The University of Chicago Press, Chicago.

Javaux, E. J., and D. B. Scott. 2003. Illustration of Modern Benthic Foraminifera from Bermuda and Remarks on Distribution in Other Subtropical/tropical Areas. *Palaeontologia Electronica.*, vol. 6, No 4, 29 p, 2.1MB; [http://palaeo-electronica.org/paleo/2003\\_1/benthic/issue1\\_03.htm](http://palaeo-electronica.org/paleo/2003_1/benthic/issue1_03.htm)

Keigwin, L. D. 1982a. Neogene planktonic foraminifers from Deep Sea Drilling project Sites 502 and 503. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 68: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., p. 269–277.

Keigwin, L.D. 1982b. Isotopic paleoceanography of the Caribbean and East Pacific: role of Panama uplift in late Neogene time. *Science.*, vol. 217, p. 350-352.

Keller, G., Zenker, C.E., and Stone, S.M., 1989. Late Neogene History of the Pacific-Caribbean seaway. *Journal of South American Earth Sciences.*, vol. 2, p. 73 – 108.

Kohl, B. 1985. Early Pliocene Benthic Foraminifers from the Salina Basin Southeastern Mexico. *Bulletin of American Paleontology.*, vol. 88, No 322, 173 p, 37 pl.

Loeblich, A. R., and H. Tappan. 1987. Foraminiferal Genera and their Classification. Van Nostrand Reinhold Company, 2 Vols, p 1-847. New York.

Marshall, L.G., R.F. Buttler, R.E. Drake, G.H. Curtis, and R.H.Telford. 1979. Calibration of the Great American Interchange. *Science.*, vol. 204, p. 272 – 279.

Martinez, J. I., and E. Lopez. 2005. El Sistema fluvial del Magdalena durante el Plioceno-Cuaternario: Contexto Tectónico y escenario Paleoclimático. En: Los sedimentos del río Magdalena, reflejo de la crisis ambiental. Ed. J. D. Restrepo. p. 101-110. Fondo editorial Universidad EAFIT, Medellín. Colombia.

McCourt, W. J., J. A., Aspen, and M. Brook. 1984. New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. Geological Society of London. Journal, vol, 141, p. 831 – 845.

McDougall, K., 1996, Benthic foraminiferal response to the emergence of the Isthmus of Panama and coincident paleoceanographic changes: Marine Micropaleontology., vol. 28, p.133–169.

Miall, A. D., 1992. Exxon global cycle chart: an event for every ocasión? Geology, v. 20, p. 787 – 790.

Miller, K. G., M. A. Kominz., J. V. Browning., J. D. Wright, G. S. Mountain., M.E. Katz., P. J. Sugarman., B. S. Cramer., N. Christie-Blick., and S. F. Pekar. 2005. The Phanerozoic Record of Global Sea Level. Science., vol. 310, p. 1293 – 1298.

Milliman, J. D., and R. H. Meade. 1983. Worldwide delivery of river sediment to the oceans, J. Geol., vol. 91, 1– 21.

Molina J.; Cáceres, H.; Ruge, P. ;Castillo, L. E. 1986. Análisis deposicional y geohistórico del Noroccidente Colombiano. U. Nal., Geología. Colombiana., vol. 15, p 5-33. Bogotá.

Mora G., and J. I. Martinez. 2005. Sedimentary metal ratios in the Colombia Basin as indicators for water balance change in northern South America during the past 400,000 years. Paleoceanography., vol. 20, p. 1-12.

Murray, J. W. 1991. Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific & Technical., 397 p. Longman House, England.

Parada-Ruffinatti, C. 1996. Foraminiferos del Pleistoceno-Holoceno en el Caribe Colombiano. Biblioteca José Jerónimo Triana No 14, Instituto de Ciencias Naturales, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia. 392 p. Bogotá, Colombia.

Peterson, L. C., and G. H.; Haug. 2006. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, vol. 234, p. 97– 113.

Phleger, F. B., and R. R. Lankford. 1978. Foraminifera and Ecological Processes in the Alvarado Lagoon Area, Mexico. Journal of Foraminiferal Research, vol. 8, p. 127 – 131.

Phleger, F. B., and Parker, F. L. 1951. Ecology of Foraminifera of northwest Gulf of Mexico. Geol. Soc. Am. Memoirs., No 46, 64 p. 20 pl.

Pince, J. M, C. Osorio, B. Mouly, and J. Amaral. 2003. Tertiary Depositional Environments and Reservoir Properties in the Sinu Accretionary Prism (Offshore – Colombia) VIII Simposio Bolivariano - Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas

Poag, C. W. 1978. Paired Foraminiferal Ecophenotypes in Gulf Coast Estuaries: Ecological and Paleocological Implications. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, vol 28, p. 395-420.

Poag, C. W. 1981. Ecologic Atlas of benthic foraminifera of the Gulf of Mexico. Hutchinson Ross Publ. Co., 174p, 64 pl, 1 map.

Porta, J. de, 1970. On planktonic foraminiferal zonation in the Tertiary of Colombia: Micropaleontology, v. 16, p. 216-220.

Porta, J. de. 1974. Lexique Stratigraphique International. Volume V  
Amérique Latine. Fasc. 4: 1-692 p. Centre National de la Recherche Scientifique. Paris.

Porta, J. de. 2003. La Formación del Istmo de Panamá y su incidencia en Colombia  
Revista de la Academia Colombiana de Ciencias. Vol. 27, No 103, p. 191 – 216.

Poveda, G., P. R. Waylen, and R. S. Pulwarty. 2006. Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 234, p. 3 – 27.

Peterson, L. C., and G. H. Haug. 2006. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 234, p. 97 – 113.

Ravelo, A. C., P. S. Dekens, and M., McCarthy. 2006. Evidence for el Niño like conditions during the Pliocene. GSA Today, vol 16, No. 3, p. 4 – 11.

Redmond, C. D. 1953. Miocene Foraminifera from the Tubara beds of Northern Colombia. Journal of Paleontology., vol. 27, p. 708–733.

Renz, H. H. 1948. Stratigraphy and Fauna of the Agua Salada Group, State of Falcon, Venezuela. Geol. Soc. Am. Memoirs., 32. 219p.

Restrepo, J. D., and B. Kjerfve. 2000. Magdalena River: Interannual variability. 1975 – 1995 and revised water discharge and sediment load estimates. Jour. Hydrol., vol. 235, p. 137 – 149.

Schumann, D., and U. Nage. 1982. Leg 68: Shore-Based X-ray Mineralogy. In: Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 68: U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., p. 397–402.

Seiglie, G. A. 1975. Foraminifers of Guayanilla bay and their use as environmental indicators. Revista Española de Micropaleontología., vol. 7, p. 453-487.

Sen Gupta, B. K, and C. T. Schafer. 1973 Holocene benthonic foraminifera in leeward bays of St Lucia, West Indies. Micropaleontology., vol. 19, p 341-365.

Sen Gupta, B. K.; Malavassi, L.R., and E. Malavassi. 1986. Late Miocene Shore in northern Costa Rica: Benthic Foraminiferal Record. *Geology*, vol. 14, p. 218–220.

Sen Gupta, B. K. 1999. Foraminifera in Marginal Marine Environments. In: *Modern Foraminifera*, ed., Sen Gupta, B. K. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. p. 141 -160.

Shagam, R., Kohn, B. P., Banks, P. O., Dasch, L. E., Vargas, R., Rodriguez, G. I. and Pimentel, N. 1984. Tectonic implications of Cretaceous-Pliocene fission-track ages from rocks of the circum-Maracaibo Basin region of western Venezuela and eastern Colombia, *in* Bonini, W. E., et al., eds., *The Caribbean–South American plate boundary and regional Tectonics*. Geological Society of America Memoir 162, p. 385–412.

Smith, P.B. 1964. Ecology of benthonic Species of Recent Foraminifera off Central America: U.S. Geological Survey Professional Paper 429-B, p. B1–B55.

Sneath, P. H. A., and R. R. Sokal. 1973. *Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman and Co., San Francisco, C.A., 573 p.

Stainforth, R. M. 1948. Applied Micropaleontology in coastal Ecuador. *Journal of Paleontology*, vol. 22, p 113-151.

Steph, S., R. Tiedemann, M. Prange, J. Groeneveld, D. Nurnberg, L. Reuning, M. Schulz, and G. H. Haug (2006), Changes in Caribbean surface hydrography during the Pliocene shoaling of the Central American Seaway, *Paleoceanography*, 21, p. 1 - 25.

Totto, E. A. and J. N. Kellogg. 1992. Structure of the Sinu San Jacinto Fold Belt an Active Accretionary Prism in Northern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 5, p. 211–222.

Van den Bold, W. A. 1966. Upper Miocene Ostracoda from de Tubara Formation Northern Colombia. *Micropaleontology*, vol.12, p. 360-364.

Van der Hammen, T., J. H., Werner and H. Van Dommelen. 1973. Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: A study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High-Andean biota. *Review of Palaeobotany and Palynology*, vol. 16, p. 1–122.

Van Houten, F. B. and H. E. James. 1984. Late Cenozoic Guayabo delta complex in SW Maracaibo Basin, *in* Bonini, W. E., et al., eds., *The Caribbean–South American plate boundary and regional tectonics*: Geological Society of America Memoir 162, p. 325–332.

Van Houten, F. B. and R. B., Travis. 1968. Cenozoic deposits, Upper Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, vol. 52, p. 675–702.



Wara, M.W., A. C., Ravelo, and M. L., Delaney. 2005. Permanent el Niño-like conditions during the Pliocene warm period. *Science*, vol. 309, p. 758– 761.

Webb, S.D. and A. Nancy. 1996. Late Cenozoic Evolution of the Neotropical Mammal Fauna. In: *Evolution and Environment in Tropical America*, edit. J.B.C. Jackson, A.F. Budd, and A.G. Coates, p 335-358. The University of Chicago Press, Chicago.

White, W. R. 1951. Pliocene and Miocene Foraminifera from the Capistrano Formation, Orange County, California. *Journal of Paleontology.*, vol 30, p 237 – 260.

Woodring, W. P. 1954. Caribbean Land and Sea through the Ages. *Geological Society of America Bulletin.*, vol 65, p. 719 – 732.

## **Anexo 1**

## Anexo 1. Datos de la Poligonal en la sección arroyo Piedras, Tubará, Colombia.

Punto de inicio: 10° 51' 29.77" N; 74° 59' 01.58" W

Intervalo	ang-Buz ( $\beta$ )	C_Buz	D_Polig	( $\alpha$ ) C-D	Cos ( $\alpha$ )	Sen ( $\beta$ )	Distancia	Espesor E.	Acumulado	Muestras
1	14	240	180	60	0,500	0,242	12,3	1,49	1,49	
2	14	240	280	40	0,766	0,242	28,8	5,34	6,83	T-01
3	14	240	310	70	0,342	0,242	17,5	1,45	8,28	T-02
4	14	240	35	205	-0,906	0,242	6,4	-1,39	6,88	
5	14	240	295	55	0,574	0,242	13,5	1,87	8,75	
6	14	240	316	76	0,242	0,242	15,2	0,89	9,64	
7	14	240	303	63	0,454	0,242	28,0	3,08	12,71	
8	14	240	220	20	0,940	0,242	30,1	6,84	19,56	
9	14	240	220	20	0,940	0,242	6,8	1,55	21,10	
10	12	230	210	20	0,940	0,208	30,0	5,86	26,96	
11	12	230	205	25	0,906	0,208	29,3	5,52	32,48	
12	12	230	205	25	0,906	0,208	22,4	4,21	36,70	
13	10	220	262	42	0,743	0,174	26,0	3,36	40,05	T-03 a 07
14	4	170	250	80	0,174	0,070	18,1	0,22	40,27	
15	4	170	237	67	0,391	0,070	26,8	0,73	41,00	
16	5	234	225	9	0,988	0,087	30,4	2,62	43,62	
17	5	234	228	6	0,995	0,087	30,4	2,64	46,25	
18	5	234	236	2	0,999	0,087	30,4	2,65	48,90	
19	5	234	228	6	0,995	0,087	33,5	2,90	51,80	
20	5	234	205	29	0,875	0,087	14,3	1,09	52,89	
21	5	234	122	112	-0,375	0,087	22,6	-0,74	52,16	
22	6	248	105	143	-0,799	0,105	22,6	-1,89	50,27	T-08
23	6	248	115	133	-0,682	0,105	30,0	-2,14	48,13	
24	6	248	117	131	-0,656	0,105	20,3	-1,39	46,74	
25	6	248	145	103	-0,225	0,105	22,0	-0,52	46,22	
26	6	248	255	7	0,993	0,105	30,3	3,14	49,37	
27	6	248	255	7	0,993	0,105	16,3	1,69	51,06	T-09/09a
28	6	248	315	67	0,391	0,105	21,7	0,89	51,94	
29	15	190	245	55	0,574	0,259	30,5	4,53	56,47	T-09b
30	10	190	210	20	0,940	0,174	30,6	4,99	61,46	
31	10	190	230	40	0,766	0,174	30,6	4,07	65,53	
32	10	220	255	35	0,819	0,174	22,0	3,13	68,66	T-10
33	10	220	350	130	-0,643	0,174	29,8	-3,33	65,34	T-10a
34	10	220	285	65	0,423	0,174	20,0	1,47	66,81	
35	6	240	245	5	0,996	0,105	9,6	1,00	67,81	T-11
36	6	240	220	20	0,940	0,105	8,7	0,85	68,66	T-12
37	6	240	195	45	0,707	0,105	8,6	0,64	69,30	T-13
38	6	240	180	60	0,500	0,105	9,3	0,49	69,78	T-14
39	6	240	180	60	0,500	0,105	1,0	0,05	69,83	T-15/16
										Falla
40	6	190	163	27	0,891	0,105	9,7	0,90	69,83	T-17
41	6	190	135	55	0,574	0,105	23,0	1,38	69,83	T-18
42	15	190	120	70	0,342	0,259	30,6	2,71	72,54	
43	15	190	135	55	0,574	0,259	30,5	4,53	77,07	
44	30	200	195	5	0,996	0,500	22,0	10,96	88,02	
45	30	200	270	70	0,342	0,500	6,2	1,06	89,08	T-19
46	30	200	275	75	0,259	0,500	18,2	2,36	91,44	T-20
47	30	200	290	90	0,000	0,500	18,3	0,00	91,44	T-21
48	30	200	245	45	0,707	0,500	24,9	8,80	100,24	T-22
49	5	195	275	80	0,174	0,087	23,4	0,35	100,60	
50	8	195	260	60	0,500	0,139	26,7	1,86	102,46	
51	8	200	150	50	0,643	0,139	30,6	2,74	105,19	T-23
52	8	190	180	10	0,985	0,139	30,6	4,19	109,39	
53	16	225	190	35	0,819	0,276	15,7	3,54	112,93	T-24

Anexo 1. Continuación...

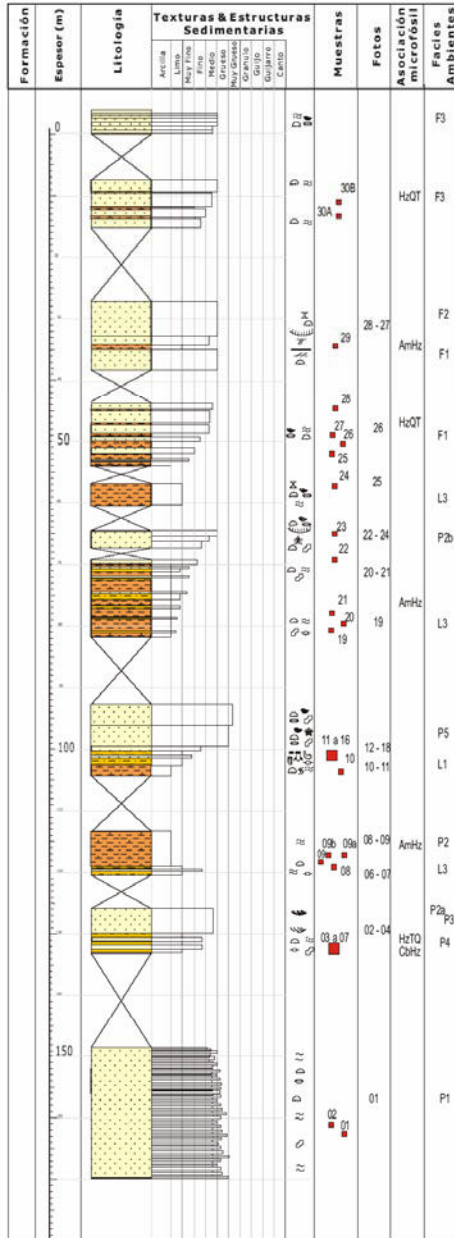
	Intervalo ang-Buz ( $\beta$ )	C_Buz	D_Polig	( $\alpha$ ) C-D	Cos ( $\alpha$ )	Sen ( $\beta$ )	Distancia	Espesor	E. Acumulado	Muestras
54	8	190	190	0	1,000	0,139	20,7	2,88	115,81	
55	25	250	285	35	0,819	0,423	5,5	1,90	117,72	
56	25	250	285	35	0,819	0,423	3,7	1,28	119,00	T-25
57	25	250	290	40	0,766	0,423	6,9	2,23	121,23	T-26
58	25	250	305	55	0,574	0,423	19,8	4,80	126,03	T-27
59	25	250	310	60	0,500	0,423	25,8	5,45	131,48	T-28
60	20	240	280	40	0,766	0,342	14,3	3,75	135,23	
61	20	240	190	50	0,643	0,342	33,6	7,39	142,62	T-29
										Falla
62	20	240	130	110	-0,342	0,342	30,5	-3,57	142,62	
63	20	240	150	90	0,000	0,342	30,6	0,00	142,62	
64	20	240	180	60	0,500	0,342	24,0	4,10	146,72	
65	20	240	245	5	0,996	0,342	22,8	7,77	154,49	
66	20	240	295	55	0,574	0,342	25,4	4,98	159,48	
67	20	240	300	60	0,500	0,342	16,4	2,80	162,28	T-30a/030b
68	20	240	245	5	0,996	0,342	22,0	7,50	169,78	

## **Anexo 2**

# COLUMNA ESTRATIGRAFICA SECCIÓN ARROYO PIEDRAS



**Sección** Arroyo Piedras **Levantada por** Carlos Molinares  
**Cuenca** Cinturón de San Jacinto **Jose Saavedra**  
**Formación** Tubará **Escala** 1 : 500  
**Fecha** Julio de 2006



### CONVENCIONES

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS FISICAS		LITOLÓGICAS	
<b>Estratificación</b>	<b>Laminación</b>	<b>Siliciclásticas</b>	<b>Limolíticas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Crizada en artes enigmática</li> <li>Crizada en artes a gran escala</li> <li>Crizada en artes con pedregos</li> <li>Crizada en artes en conglomerados</li> <li>Redes de artes</li> <li>Difusión contemporánea</li> <li>Resaca de agua</li> <li>Interruptione</li> <li>Ondulada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planos paralelos</li> <li>Planos discontinuos</li> <li>Ondulada</li> <li>Ondulada discontinua</li> <li>Rasos</li> <li>Laminar</li> <li>Irregular</li> <li>Ondulada discontinua no paralela</li> <li>Laminación ondulada no paralela (serre)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arenosa</li> <li>Arenosa lodosa</li> <li>Arenosa conglomerática</li> <li>Arenosa calcárea</li> <li>Conglomerado arenoso</li> <li>Carbón</li> <li>Limolita arenosa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limolita arcillosa</li> <li>Arcilloita limosa</li> <li>Arcilloita</li> <li>Lodolita conglomerática</li> <li>Conglomerado</li> <li>Brecha de Falla</li> <li>Arcilloita calcárea</li> <li>Limolita</li> </ul>
ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS ORGANICAS		LITOFACIES - AMBIENTES	
<b>Ichteológicas</b>	<b>Fósiles</b>	<b>Litofacies</b>	<b>Contactos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Palaeophycus</li> <li>Arenicolites</li> <li>Silicifolios</li> <li>Bergueria</li> <li>Thalassinoides</li> <li>Pelecanoides</li> <li>Macaronichnus</li> <li>Anchonicichnus</li> <li>Techichnus</li> <li>Ophiomorpha</li> <li>Glaucifungites</li> <li>Papulites</li> <li>Zoophycus</li> <li>Diplocrateron</li> <li>Madrigueras no diferenciadas</li> <li>Chondrites</li> <li>Rhizocorallium</li> <li>Conichnus</li> <li>Asterosmia</li> <li>Hemirhynchops</li> <li>Rosalia</li> <li>Terebellina</li> <li>Botrybaldia no diferenciada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tallos de Crinoides</li> <li>Restos de Pez</li> <li>Serpúlidos</li> <li>Fragmentos calcáreos</li> <li>Sanfano limo</li> <li>Foraminíferos</li> <li>Bivalvos</li> <li>Vertebrae de peces</li> <li>Fragmentos liliacos</li> <li>Algas rojas Fragmentos</li> <li>Algas rojas</li> <li>Estalactitas o estalagmitas</li> <li>Restos de hojas</li> <li>Ranices</li> <li>Ostracodo</li> <li>Discrocyclina - Lepidocyclina</li> <li>Conchas</li> <li>Fragmentos de conchas</li> <li>Espículas de esponja</li> <li>Holofitos de algas rojas</li> <li>Espículas de Equidermos</li> <li>Espinas de peces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L1 Laguna costera</li> <li>L2 Laguna/Pantano costero</li> <li>L3 Pantano costero</li> <li>R1 Antepelagos/Ranura costera</li> <li>R2 Dunas de antepelago</li> <li>R3 Frente de playa superior</li> <li>A1 Barris frías</li> <li>A2 Arenas de Canal</li> <li>A3 Ranura de inundación</li> <li>A4 Desbunde de canal</li> <li>A5 Flujos tormentales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superficie de Inconformidad</li> <li>Superficie de socavamiento (Scour)</li> <li>Nido</li> <li>Inferido</li> <li>Fallado</li> </ul>

## **Anexo 3**

Anexo 3. Foraminíferos bentónicos identificados en las muestras de la Formación Tubará, sección arroyo Piedras, Colombia.

	T-001	T-03	T-04	T-05	T-06	T-08	T-09	T-09a	T-09b	T-11	T-12	T-16	T-20	T-23	T-24	T-26	T-27	T-28	T-29	T-30a	T-30b
<i>Adelosina sp</i>														2			2		2		
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	363	3			3	135	107		126	129	4	12	166	7	109	47	44	21	217	18	23
<i>Ammonia tepida</i>	8		1			2	1	2	4				5		8		5	2	2		
<i>Amphistegina lessoni</i>		1				2								3		4	7	33	2	22	17
<i>Angulogerina cf jamaicensis</i>	16	15			3		2			4			24	2	6	1	16	3	11		1
<i>Angulogerina colombiana</i>		3			3	4	1			4				5		1	2	5			
<i>Angulogerina sp A</i>		17					3			6			22			2				1	
<i>Annulopatulina sp</i>	1																1				
<i>Asterigerina carinata</i>																				2	2
<i>Bolivina bicostata</i>			2		2				1						1		2				2
<i>Bolivina caudriae</i>	1												1				2				
<i>Bolivina cf acerosa</i>	1																1				
<i>Bolivina floridana</i>					1														1		
<i>Bolivina sp</i>	6														1						
<i>Bolivina tortuosa</i>	4												2				1				
<i>Bulimina sp</i>	3	1	2		4	7						3	2	1					1	3	
<i>Bulimina striata var mexicana</i>																					1
<i>Buliminella elegantissima</i>	15	3				2	2		8					1					1		
<i>Bulliminella cf morgani</i>																	1				
<i>Cancris sagra</i>					1												1		1		
<i>Cassidulina caribea</i>	5	2			1		1			2		1	3		1	3	1				
<i>Cibicides cf sinistralis</i>					2	2	2							2		4	11	1		2	1
<i>Cibicides perforatus</i>	2	1	1		2	5			3			12	14	4	4	1	12	48		1	8
<i>Cibicides rugosa</i>			1																		1
<i>Compressigerina coartata</i>																				1	3
<i>Criboelphidium poeyanum</i>	2	159	1		6	19	9		4	11		5	1	9	12	17	26	26	14	30	24
<i>Cymbaloporetta bradyi</i>																		2		17	21
<i>Cymbaloporetta sp A</i>																1				1	1
<i>Cymbaloporetta sp B</i>																				1	
<i>Cymbaloporetta tobagoensis</i>																		1		2	1
<i>Discorbis floridensis</i>	3									1				2	4	3	22		2		2
<i>Discorbis terquemi</i>	6	26	15	2	4	6			1	22		14	47	3	10	13	18	2	1	8	7
<i>Dyocibicides biserialis</i>																	2			2	
<i>Elphidium tubaraense</i>			5	1	1	1						1			1	1				1	
<i>Eponides antillarum</i>			5			4			1							4	5	2	10	1	1



Anexo 3. Continuación...

	T-001	T-03	T-04	T-05	T-06	T-08	T-09	T-09a	T-09b	T-11	T-12	T-16	T-20	T-23	T-24	T-26	T-27	T-28	T-29	T-30a	T-30b
<i>Eponides repandus</i>			37	3	2	14			4	1		5	9	19	4	1	1	11	17	20	14
<i>Fissurina atlantica</i>	2	17			2	2			1	1		1	4				1	1			
<i>Fissurina sp A</i>																1					
<i>Globobulimina sp</i>					1															1	
<i>Guttulina sp A.</i>																				1	1
<i>Hanzawaia concentrica</i>	10	53	145	22	228	79	3		29	26		93	52	109	89	160	178	144	119	75	116
<i>Hanzawaia deprimus</i>					6									2	15	3	2	2	3	9	8
<i>Haplofragmoides sp</i>	4				2				1		1										
<i>Lagena sp A</i>																			1		
<i>Massilina crenata</i>										1							1	3			7
<i>Miliollinella fichteliana</i>		1													1	4	4	2			5
<i>Miliollinella sp A</i>	1					1										3	4				
<i>Nodosaria sp</i>	1	1							1								1				
<i>Nonion sp A</i>	5	3																			
<i>Nonionella atlantica</i>	105	8			1	12	3			5		9	27	21	10	1	6	13	1		4
<i>Nonionoides grateloupi</i>	1																				
<i>Oolina colombiana</i>					1					2								1			
<i>Oolina scalariformis</i>			1															1			
<i>Pararotalia sarmientoi</i>	16	31	6		21		1						2		1	2					
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>			1	1					1	1			1	9	5	6	1	11	2	3	2
<i>Planulina sp</i>		3	1		2	1			1	1			1	1	1					1	1
<i>Quinqueloculina cf panamensis</i>		1																1			
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>		1	4										1	4	3	10					
<i>Quinqueloculina seminulum</i>		22	23	10					7	4			9	56	37	71	46		10	20	16
<i>Quinqueloculina sp</i>			35	6		2							2	8	4						5
<i>Quinqueloculina sp A</i>	1		17										2	51	3	1				34	8
<i>Rectobolivina hancocki</i>					3	2			2		2	15	3	1	3	1	3				
<i>Rectobolivina pacifica</i>													1				1				
<i>Reusella atlantica</i>	1	1			5		1			1			6	4	11	4	16	1	14		
<i>Reusella bordata</i>			2		1	34			12			18	2					8	2	40	56
<i>Siphonina pulchra</i>					2	1										2	1	1			
<i>Spirillina sp</i>		1											1		1	1					3
<i>Spiroloculina sp</i>	3	1	5												1						1
<i>Textularia aff lateralis</i>			2											1	2	4				2	6
<i>Textularia cf lancea</i>			3											2	1						

Anexo 3. Continuación...

	T-001	T-03	T-04	T-05	T-06	T-08	T-09	T-09a	T-09b	T-11	T-12	T-16	T-20	T-23	T-24	T-26	T-27	T-28	T-29	T-30a	T-30b	
<i>Textularia cf scrupula</i>			2											1								
<i>Textularia cf secasensis</i>														3		1				3	2	
<i>Textularia cf truncata</i>		2												8	1		1			1	1	
<i>Textularia cf vola</i>			2											2	1					3		
<i>Textularia lateralis</i>	2	2	87	2	5	5						9	34	95	93	131	56	3	3	47	74	
<i>Triloculina antillarum</i>																1	1					
<i>Triloculina tricarinata</i>	5	12	55	4					10	15		40	4	14	27	26	19		2	26	29	
<i>Uvigerina isidroensis</i>	2	1	5		5	7								6	3	3	1	3		2		
<i>Valvulineria olssoni</i>			2		1	2							1		1		1			1	5	
Suma	595	392	469	51	319	352	138	2	215	239	5	225	460	449	478	541	535	357	437	399	480	

## **Anexo 4**

# SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

Género *TEXTULARIA* DeFrance, 1824

***Textularia truncata*** Höglund

Plate 1, figs. 1 a – b.

*Textularia truncata*. Höglund, 1947, p. 166, pl. 12, figs. 8-9.

***Textularia lateralis*** Lalicker

Plate 1, figs. 2 a – b.

*Textularia lateralis*. Lalicker, 1935, p. 1 pl. 1, figs. 5 a-b;

***Textularia aff lateralis*** Lalicker

Plate 1, figs. 3 a – b.

*Textularia lateralis*. Lalicker, 1935, p. 1 pl. 1, figs. 3 a-b, 4; Bermudez, 1949, p. 62, pl. 2, figs. 45-46.

***Textularia cf scrupula*** Lalicker & McCulloch

Plate 1, figs. 4 a – b.

*Textularia scrupula*. Lalicker & McCulloch, 1940, p. 141, pl. 16, figs. 25 a-c.

***Textularia cf secasensis*** Lalicker & McCulloch

Plate 1, figs. 5 a – b.

*Textularia secasensis*. Lalicker & McCulloch, 1940, p. 141, pl. 16, figs. 24 a-c; Smith, 1964, p. 28, pl. 1, figs 5 a-b; Boltovskoy & Gualancañay, 1975, p. 47, pl. 10, fig. 3.

***Textularia cf lancea*** Lalicker & McCulloch

Plate 1, figs. 6 a – c.

*Textularia lancea*. Lalicker & McCulloch, 1940, p. 130, pl. 14, figs. 14 a-c.

***Textularia cf vola*** Lalicker & McCulloch

Plate 1, figs. 7 a – b.

*Textularia vola*. Lalicker & McCulloch, 1940, p. 142, pl. 16, figs. 27 a-c.

Género *ADELOSINA* d' Orbigny, 1826

***Adelosina sp A***

Plate 2, figs. 1 a – b.

Género *SPIROLOCULINA* d' Orbigny, 1826

***Spiroloculina sp A***

Plate 2, figs. 2 a – b.

Género *MASSILINA* Schlumberger, 1893

***Massilina crenata*** (Karrer)

Plate 2, figs. 3 a – b.

*Spiroloculina crenata*. Karrer, 1868, p. 135, pl. 1, fig. 9.

*Massilina crenata*. (Karrer), Redmond, 1953, p. 716, pl. 74, figs. 7 a-c.

Género *QUINQUELOCULINA* d' Orbigny, 1826

***Quinqueloculina lamarckiana*** d'Orbigny

Plate 2, figs. 4 a – b.

*Quinqueloculina lamarckiana*. d'Orbigny, 1839, p. 189, pl. 11, figs. 14-15; Bermudez, 1949, p. 101, pl. 6, fig. 5; Redmond, 1953, p. 715, pl. 74, figs. 3 a-c; Casell & Sen Gupta, 1989, p. 150; figs 5.7, 5.8; Collins, 1993, p. 710, fig 4.3.

***Quinqueloculina seminula*** (Linnaeus)

Plate 2, figs. 5 a – b.

*Serpula seminula*. Linne, 1758, p. 789, pl. 2, figs. 1 a-c.

*Quinqueloculina seminulum*. (Linne), Fiorini & Vaiani, 2001, p. 377; pl. 3, figs. 14-16; Javaux & Scott, 2003, p. 20, figs. 4.16 - 4.17.

***Quinqueloculina cf panamensis*** Cushman

Plate 2, figs. 6 a – b.

*Quinqueloculina panamensis*. Cushman, 1918, p. 80, pl. 31, figs. 1 a-c.

***Quinqueloculina sp A***

Plate 2, figs. 7 a – b.

Género **MILIOLINELLA** Wiesner, 1931

***Miliolinella fichteliana*** (d'Orbigny)

Plate 2, figs. 8 a – b.

*Triloculina fichteliana*. d'Orbigny, 1839, p. 171, pl. 9, figs. 8-10.

*Miliolinella fichteliana*. (d'Orbigny), Poag, 1981, p. 72, pl. 59, fig. 4; pl. 60, figs 4 a-b; Casell & Sen Gupta, 1989, p. 150; figs 5.12.

***Miliolinella sp A***

Plate 2, figs. 9 a – b.

Género **TRILOCULINA** d'Orbigny, 1826

***Triloculina tricarinata*** d'Orbigny

Plate 2, figs. 10 a – b.

*Triloculina tricarinata*. d'Orbigny, 1826, p. 299, Poag, 1981, p. 84, pl. 57, fig. 3; pl. 58, figs. 3 a-b.

***Triloculina antillarum*** (d'Orbigny)

Plate 2, figs. 11 a – c.

*Spiroloculina antillarum*. d'Orbigny, 1839, p.166, pl. 9, figs. 3-4; Poag, 1981, p. 83, pl. 53, fig. 3; pl. 54, figs. 3 a-b.

Género **NODOSARIA** Lamarck, 1812

***Nodosaria sp***

Plate 2, figs. 12 a – c.

Género **OOLINA** d'Orbigny, 1839

***Oolina hexagona*** (Williamson)

Plate 2, figs. 13 a - b.

*Entosolenia squamosa* (Montagu) var. *hexagona*. Williamson, 1948, p. 20, pl. 2, fig. 23.

*Lagenia hexagona* var. *hexagona*. (Williamson), Redmond, 1953, p. 717, pl. 74, figs. 12 a-b. *Oolina hexagona*. (Williamson), Casell & Sen Gupta, 1989, p. 150, fig. 5.20.

***Oolina colombiana*** (Redmond)

Plate 2, figs. 14 a - b.

*Lagena colombiana*. Redmond, 1953, p. 717, pl. 74, figs. 11 a-b.

Género **LAGENA** Walker & Boys, 1798

***Lagena sp A***

Plate 2, figs. 15 a - b.

Género **FISSURINA** Reuss, 1850

***Fissurina colombiana*** (Redmond)

Plate 2, figs. 16 a - b.

*Entosolenia colombiana*. Redmond, 1953, p. 719, pl. 75, figs. 5 a-b.

***Fissurina sp A***

Plate 2, figs. 17 a - b.

Género **SPIRILLINA** Ehrenberg, 1843

***Spirillina sp***

Plate 2, figs. 18 a - b.

Género **BOLIVINA** d'Orbigny, 1839

***Bolivina floridana*** Cushman

Plate 3, figs 1a – b.

*Bolivina floridana*. Cushman, 1918, p. 49, pl. 10, fig. 4; Bermudez, 1949, p. 190, pl. 12, fig. 37; Collins, 1993, p. 703, pl. 4, fig. 18.

***Bolivina interjuncta* var *bicostata*** (Cushman)

Plate 3, figs 2 a – b.

*Bolivina costata* (Cushman) var *bicostata*. Cushman, 1926, p. 42, pl. 22, fig. 23.

*Bolivina interjuncta* (Cushman) var *simplex*. Cushman and Renz, 1941, p. 20, pl. 3, fig. 15.

*Bolivina simplex* (Cushman). Renz, 1948, p. 194, pl. 7, figs 4 a – b; Bolli et al., 1984, p. 343, fig. 78.17.

*Bolivina interjuncta* (Cushman) var *bicostata*. Redmond, 1953, p. 720, pl. 75, figs. 10 a–b. (not Bermudez, 1949).

***Bolivina tortuosa*** (Brady) var *lissa* Redmond

Plate 3, figs 3 a – b.

*Bolivina tortuosa* (Brady) var *lissa*. Redmond, 1953, p. 721, pl. 75, figs. 15 a – b.

***Bolivina cf acerosa*** Cushman

Plate 3, figs 4 a – b.

*Bolivina acerosa*. Cushman, 1936, p. 54, pl. 8, fig. 1; Bermudez, 1949, p. 186, pl. 12, fig. 48; Bolli et al., 1984, p. 339, figs. 53.10-11.

***Bolivina cf caudriae*** Cushman and Renz

Plate 3, figs 5 a – b.

*Bolivina caudriae*. Cushman and Renz, 1941, p. 19, pl. 3, figs. 13 – 14; Renz, 1948, p. 194, pl. 7, figs 1 – 2; Bolli et al., 1984, p. 340, figs. 78.9 a – b, 78.10.

Género **CASSIDULINA** d'Orbigny, 1826

***Cassidulina caribea*** Redmond

Plate 3, figs 6 a – b.

*Cassidulina caribea*. Redmond, 1953, p. 729, pl. 77, figs. 6a - b.

Género **RECTOBOLIVINA** Cushman, 1927

***Rectobolivina hancocki*** (Cushman & McCulloch)

Plate 3, figs 7 a-b; 8 a-b.

*Bifarina hancocki*. Cushman & McCulloch, 1942, p.225, pl. 28, figs. 13-19; Redmond, 1953, p. 722, pl. 75, figs. 17 a-b; 18 a-b.

*Rectobolivina hancocki*.(Cushman & McCulloch), Bandy & Arnal, 1957, p. 2052.

***Rectobolivina pacifica*** (Cushman & McCulloch)

Plate 3, figs 9 a-b.

*Bifarina pacifica*. Cushman & McCulloch, 1942, p.225, pl. 28, figs. 20; Redmond, 1953, p. 722, pl. 75, figs. 19 a-b; 20 a-b.

*Rectobolivina hancocki*.(Cushman & McCulloch), Smith, 1964, p. 39, pl. 3, fig. 3.

Género **BULIMINA** d'Orbigny, 1826

***Bulimina striata*** (d'Orbigny) var *mexicana* Cushman

Plate 3, figs 10 a – b.

*Bulimina striata* (d'Orbigny) var *mexicana*. Cushman, 1922, p. 95, pl. 21, fig. 2; Phleger and Parker, 1951, p. 16, pl. 7, fig. 26, 32; Bolli et al., 1984, p. 350, fig. 53.23.

Género **BULLIMINELLA** Cushman, 1911

***Bulliminella elegantissima*** (d'Orbigny)

Plate 3, figs 11 a – b.

*Bulimina elegantissima*. d'Orbigny, 1839, p. 51, pl. 7, figs. 13 – 14; Bermudez, 1949, p. 185, p. 12, fig. 13; Redmond, 1953, p. 719, pl. 75, fig. 2.

***Bulliminella morgani*** Andersen

Plate 3, figs 12 a – b.

*Bulliminella morgani*. Andersen, 1961, p. 17, pl. 8, figs. 1 – 2; Poag, 1981, p. 51, pl. 33, fig. 1; pl. 34, figs. 1a-b.

Género **ANGULOGERINA** Cushman, 1927

***Angulogerina colombiana*** Redmond

Plate 3, figs 13 a – b.

*Angulogerina colombiana*. Redmond, 1953, p. 712, pl. 75, figs. 29 a - b.

***Angulogerina cf jamaicensis*** Cushman and Todd

Plate 3, figs 14 a – b.

*Angulogerina jamaicensis*. Redmond, 1953, p. 723, pl. 75, figs. 29 a – b; (not Cushman and Todd, 1945)

***Angulogerina sp A***

Plate 3, figs 15 a – b.

Género **UVIGERINA** d'Orbigny, 1826

***Uvigerina isidroensis*** Cushman & Renz

Plate 3, figs 16 a – b.

*Uvigerina isidroensis*. Cushman & Renz, 1941, p. 20, pl. 3, fig. 16; Redmond, 1953, p. 723, pl. 75, figs. 26 a-b.

Género **REUSELLA** Galloway, 1933

***Reusella Bordata*** Redmond

Plate 3, figs 17 a – b.

*Reusella Bordata*. Redmond, 1953, p. 722, pl. 75, figs. 22 a-b.

***Reusella atlantica*** (Cushman)

Plate 3, figs 18 a – b.

*Reusella spinulosa* (Reuss) var. *atlantica*. Cushman, 1947, p. 91, pl. 20, figs. 6-7.

*Reusella atlantica*. (Cushman), Javaux & Scott, 2003, p. 20, figs. 5.1 – 5.2.

Género **COMPRESSIGERINA** Bermudez, 1949

***Compressigerina coartata*** (Palmer)

Plate 3, figs 19 a – b.

*Uvigerina coartata*. Palmer, 1941, p. 182, pl.15, figs. 10-11 (not *Uvigerina coartata* Cushman, 1925).

*Compressigerina coartata*. (Palmer). Bermudez, 1949, p. 220, pl. 13 figs. 71-74; Redmond, 1953, p. 723-724, pl. 75, figs. 30 a-b.

Género **CANCRIS** de Montfort, 1808

***Cancris sagra*** (d'Orbigny)

Plate 3, figs 20.

*Rotalia sagra*. d'Orbigny, 1839, p. 77, pl. 5, figs. 13 – 15.

*Cancris sagra*. Bermudez, 1949, p. 256, pl. 18, figs. 28 – 30; Redmond, 1953, p. 727, pl 76, figs. 13 a – b.

Género **VALVULINERIA** Cushman, 1926

***Valvulineria olssoni*** Redmond

Plate 3, figs 21 a-b.

*Valvulineria olssoni*. Redmond, 1953, p. 725, pl. 76, figs. 5 a-c.

Género **EPONIDES** de Monfort, 1808

***Eponides repandus*** (Brady, not Fichtel & Moll)

Plate 3, figs 22 a-b.

*Pulvinulina repanda* (Fichtel & Moll), Brady, 1884, p. 684, pl. 104, figs. 18 a-c.

*Eponides repandus* (Fichtel & Moll), Bermudez, 1949, p. 248, pl. 17, figs. 13-15; Redmond, 1953, p. 726, pl. 76, figs. 8 a-c.

***Eponides antillarum*** (d'Orbigny)

Plate 3, figs 23 a-b.

*Eponides antillarum*. (d'Orbigny), Cushman & Jarvis, 1930, p. 364, pl. 33, fig. 14; pl. 34, fig. 2.

*Eponides parantillarum* (Galloway & Heminway), Bermudez, 1949, p. 247, pl. 16, figs. 49-51; Redmond, 1953, p. 725, pl. 76, figs 7 a-c.



Género **DISCORBIS** Lamarck, 1804

***Discorbis terquemi*** (Terquem)

Plate 3, figs 24 a – b.

*Rosalina orbicularis*. Terquem, 1876, p. 75, pl. 1, figs. 4 a-b (not *Rosalina orbicularis* d'Orbigny, 1850).

*Discorbis orbicularis*. (Terquem). Bermudez, 1949, p. 239, pl. 15, figs. 31-33.

*Discorbis terquemi*. (Terquem). Redmond, 1953, p. 724, pl. 76, figs. 2 a-c.

***Discorbis floridensis*** Cushman

Plate 3, figs 25.

*Discorbis bertheloti* (d'Orbigny) var *floridensis*. Cushman and Jarvis, 1930, p. 364, pl. 33, figs. 13 a-c. Cushman & Todd, 1945, p. 56, pl. 8, figs. 15 - 16.

*Discorbis floridensis* Cushman. Bermudez, 1949, p. 238, pl. 15, figs. 19-21.

Género **SIPHONINA** Reuss, 1850

***Siphonina Pulchra*** Cushman

Plate 4, figs 1 a-b.

*Siphonina Pulchra*. Cushman, 1919, p. 42, pl. 14, figs. 7 a-c; Redmond, 1953, p. 726, pl. 76, figs. 12 a-c; Phleger & Parker, 1951, p. 24, pl. 12, figs. 15 a-b; Casell & Sen Gupta, 1989, p. 150, fig. 7.11.

Género **PLANULINA** d'Orbigny, 1826

***Planulina?* sp.**

Plate 4, figs 2 a-b.

Género **CIBICIDES** de Montfort, 1808

***Cibicides perforatus*** Coryell & Rivero

Plate 4, figs 3 a–b.

*Cibicides sinistralis*. Coryell & Rivero, 1940, p. 335, pl. 44, figs. 13a-c; Bermudez, 1949, p. 305, pl. 25, figs. 19-21.

***Cibicides rugosa*** Phleger & Parker

Plate 4, figs 4 a – b.

*Cibicides rugosa*. Phleger & Parker, 1951, p. 31, pl. 17, figs. 5a-b, 6a-b.

***Cibicides cf sinistralis*** Coryell & Rivero

Plate 4, figs 5 a – b.

*Cibicides sinistralis*. Coryell & Rivero, 1940, p. 335, pl. 44, figs. 12a-c; Bermudez, 1949, p. 305, pl. 25, figs. 19-21.

Género **DYOCIBICIDES** Cushman & Valentine, 1930

***Dyocibicides biserialis*** Cushman & Valentine

Plate 4, figs 6 a-b.

*Dyocibicides biserialis*. Cushman & Valentine, 1930, p. 31, pl. 10, figs. 1, 2 a-b; Cushman & Todd, 1945, p. 72, pl. 12, fig. 10; Redmond, 1953, p. 732, pl. 77, figs 16 a-b

Género *PLANORBULINA* d'Orbigny, 1826

*Planorbulina mediterranensis* d'Orbigny

Plate 4, figs 7 a-b.

*Planorbulina mediterranensis*. d'Orbigny, 1826, p. 280, pl. 14, figs. 4-6; Redmond, 1953, p. 732, pl. 77, figs. 17 a-b.

Género *CYMBALOPORETTA* Cushman, 1928

*Cymbaloporetta tobagoensis* (Bronnimann)

Plate 4, figs 8 a – b.

*Cymbalopora tobagoensis*. Bronnimann, 1949, p. 184, fig. 1.

*Cymbaloporetta squamosa*. (d'Orbigny), Redmond, 1953, p. 728, pl. 77, figs 4 a-c. (not Cushman, 1928).

*Cymbaloporetta bradyi* (Cushman)

Plate 4, figs 9 a – b.

*Cymbalopora poeyi*. (d'Orbigny) var *bradyi*. Cushman, 1915, p. 25, pl. 10, figs 2 a-c; pl. 14, figs. 2a-c.

*Cymbaloporetta bradyi*. (Cushman). Cushman, 1931, p. 85; Redmond, 1953, p. 728, pl. 77, figs. 3 a-c.

*Cymbaloporetta* sp A

Plate 4, figs 10 a – b.

*Cymbaloporetta* sp B

Plate 4, figs 11 a – b.

Género *GLOBOBULIMINA* Cushman, 1927

*Globobulimina?* sp A

Plate 4, figs 12 a – b.

Género *GUTTULINA* d'Orbigny, 1839

*Guttulina* sp A

Plate 4, figs 13 a – b.

Género *ANNULOPATELINIDA* Parr & Collins, 1930

*Annulopatellinida* sp A

Plate 4, figs 14 a – b.

Género *GLOBIGERINOIDES* Cushman, 1927

*Globigerinoides sacculifer* (Brady)

Plate 5, figs 1 a – b.

*Globigerina sacculifera*. Brady, 1877, p. 535, no figure.

*Globigerinoides quadrilobatus* (d'Orbigny) *subsp. sacculifer* (Brady). Banner & Blow, 1970, p. 21, pl. 4, figs. 1 a-b.

*Globigerinoides trilobus* (Reuss) var. *sacculifer* (Bandy). Bolli & Saunder, 1985, p. 196, figs. 20.13.  
*Globigerinoides sacculifer*. (Brady), Kennett & Srinivasan, 1983, p. 66, pl. 14, figs. 4 – 6.

***Globigerinoides immaturus*** (Le Roy)

Plate 5, figs 2 a – b.

*Globigerinoides sacculifer*. (Brady) var. *immaturus*. Le Roy, 1939, p. 263, pl. 3, figs.19-21.

*Globigerinoides trilobus* (Reuss) var. *immaturus*. (Le Roy), Bolli & Saunder, 1985, p. 196, figs. 20.14.

***Globigerinoides rubra***(d'Orbigny)

Plate 5, figs 3 a – b.

*Globorotalia rubra*. d'Orbigny, 1839, p. 82, pl. 4, figs. 12 – 14.

*Globigerinoides ruber*. (d'Orbigny), Banner & Blow, 1960, p. 19, pl. 3, figs. 8 a-b.

*Globigerinoides ruber*. (d'Orbigny), Bolli & Saunders, 1985, p. 196, figs. 20.1, 2, 6.

***Globigerinoides obliqua*** (Bolli)

Plate 5, figs 4 a – b.

*Globigerinoides obliquus obliquus*. Bolli, 1957, p. 113, pl. 25, figs. 10 a-c; Bolli & Saunders, 1985, p. 194, figs. 20.12.

Género **TRUNCOROTALIA** Cushman & Bermudez, 1949

***Truncorotalia cf crassaformis*** (Galloway & Wissler)

Plate 5, figs 5 a – b.

*Globigerina crassaformis*. Galloway & Wissler, 1927, p. 41, pl. 7, fig. 12.

*Globorotalia crotonensis*. Conato & Follador, 1967, p. 560, tf. 4, No. 1 a - c.

*Globorotalia (Truncorotalia) crassaformis*. (Galloway & Wissler), Kennett & Srinivasan, 1983, p. 146, pl. 34, figs. 6 - 8.

Género **GLOBOROTALIA** Cushman, 1927

***Globorotalia conomiozea*** (Kennett) *subconomiozea* Bandy

Plate 5, figs 6 a – b

*Globorotalia conomiozea* (Kennett) *subconomiozea* Bandy 1975, No 1 p. 56 - 57, figs. 1 a-c.

Género **ASTERIGERINA** d'Orbigny, 1839

***Asterigerina carinata*** d'Orbigny

Plate 5, figs 7.

*Asterigerina carinata*. d'Orbigny, 1839, p. 118, pl. 5, figs. 25; pl. 6; figs. 1 – 2; Bermudez, 1949, p. 265, pl. 11, figs. 31 – 33; Redmond, 1953, p. 727, pl. 76, figs.14 a-c; Phleger & Parker, 1951, p. 26, pl. 14, figs, 2a-b.

Género **AMPHISTEGINA** d'Orbigny, 1826

***Amphistegina lessoni*** d'Orbigny

Plate 5, figs 8.

*Amphistegina lessoni*. d'Orbigny, 1826, p. 304, pl. 17, figs. 1- 4; Cushman and Todd, 1945, p. 60, pl. 10, fig. 2; Bermudez, 1949, p. 263, pl. 19, figs. 1-3; Redmond, 1953, p. 727, pl. 77, figs.1 a – c; Phleger & Parker, 1951, p. 26, pl. 14, figs, 1a-b.

Género *NONION* de Montfort, 1808

*Nonion* sp A

Plate 5, figs 9 a - b.

Género *NONIONELLA* Cushman, 1926

*Nonionella atlantica* Cushman

Plate 5, figs 10 a - b.

*Nonionella atlantica*. Cushman, 1947, p. 90, pl. 20, figs. 4-5; Phleger & Parker, 1951, p. 11, pl. 5, figs. 21 a-b; 22 a-b; 23 a-b. Redmond, 1953, p. 717-718, pl. 74, figs. 15 a-c.

Género *NONIONOIDES* Saidova, 1975

*Nonionoides grateloupii* (d'Orbigny)

Plate 5, figs 11 a – b.

*Nonionina grateloupii*. d'Orbigny, 1839, p. 46, pl. 6, figs. 6-7.

*Nonion grateloupii*. (d'Orbigny), Bermudez, 1949, p. 165, pl. 11, fig 15; Redmond, 1953, p. 717, pl. 74, figs. 14 a-b.

*Nonionoides grateloupii*.(d'Orbigny), Loeblich & Tappan, 1987, p. 618, pl. 692, figs. 7-14.

Género *HANZAWAIA* Asano, 1944

*Hanzawaia deprimus* (Phleger & Parker)

Plate 5, figs 12 a – b.

*Cibicides pseudoungeriana* (Cushman) var. *io* Cushman, 1931, p. 125, pl. 23, fig. 2; *Cibicides io* (Cushman), Redmond, 1953, p. 731, pl. 77, figs. 15 a-c; Bermudez, 1949, p. 301, pl. 24, figs. 22-24.

*Cibicides deprimus*. Phleger & Parker, 1951, p. 29, pl. 15, figs 16 a-b; 17 a-b.

*Hanzawaia concentrica* (Cushman)

Plate 5, figs 13 a – b.

*Truncatulina concentrica*. Cushman, 1918, p. 64, pl. 21, figs. 3 a-c.

*Cibicides concentricus*. (Cushman), Bermudez, 1949, p. 296, pl. 26, figs. 7 – 12; Redmond, 1953, p. 731, pl. 77, figs. 14 a-c.

*Hanzawaia concentrica*. (Cushman), Smith, 1964, p. 44, pl. 6, figs. 2 a-c; Poag, 1981, p. 68, pl. 39, fig 1; pl. 40, figs. 1 a-b; Collins, 1993, p. 709, pl. 1, fig. 7.

Género *PARAROTALIA* Y le Calvez, 1949

*Pararotalia sarmientoi* (Redmond)

Plate 5, figs 14 a – b.

*Rotalia sarmientoi*. Redmond, 1953, p. 726, pl. 76, figs. 11 a-c.

*Pararotalia sarmientoi*. (Redmond), Cassell & Sen Gupta, 1989, p. 150, figs. 8.5 – 8.6.

Género *AMMONIA* Brünnich, 1772

*Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny)

Plate 5, figs 15 a – b.

*Rosalina parkinsoniana*. d'Orbigny, 1839, p. 99, pl. 4, figs. 25 – 27.

*Ammonia parkinsoniana* forma *typica*. Poag, 1981, p.134, pl. 45, fig. 1; pl. 46, figs.1a-b.

*Ammonia parkinsoniana*. Kohl, 1985, p. 81-82, pl. 28, figs. 4a – c; Cassell and Sen Gupta, 1989, p.156, pl. 8, figs 8 – 9.

***Ammonia tepida*** (Cushman)

Plate 5, figs 16 a – b.

*Rotalia beccarii* (Linné) var *tepida*. Cushman, 1926, p. 79, pl 1.

“*Rotalia*” *beccarii* (Linné) var *tepida*. Phleger and Parker, 1951, p. 23, pl.12, figs. 7a–c.

*Ammonia parkinsoniana* forma *tepida* Poag, 1981, p. 81, pl. 45, fig. 2a-b, pl. 46, fig 2a.

*Ammonia tepida*. Kohl, 1985, p. 143, pl. 28, figs. 3a – c.

Género ***CRIBOELPHIDIUM*** Cushman and Bronnimann, 1948

***Criboelphidium poeyanum*** (d’Orbigny)

Plate 5, figs 17 a – b.

*Polystomella poeyanum*. d’Orbigny 1839, p. 55, pl. 6, figs. 25 – 26.

*Elphidium poeyanum*. (d’Orbigny). Poag, 1981, p. 62, pl. 39, fig. 3; pl. 40, figs 3 a-b; Kohl, 1985, p. 84, pl. 28, fig 7.

*Criboelphidium poeyanum*. (d’Orbigny). Bolli et al., 1984, p. 360, fig. 80.11 a-b.

Género ***ELPHIDIUM*** de Montfort, 1808

***Elphidium Tubaraensis*** (Redmond)

Plate 5, figs 18 a-b.

*Elphidium granti* (Kleinpell) var. *tubaraensis*. Redmond, 1953, p. 718, pl. 74, figs 18a - b

## **Anexo 5**

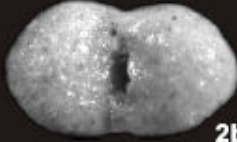
## Plate 1

1. *Textularia truncata* Höglund;  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 30B; a. vista frontal,  
100x; b. vista apertural, 100x.
2. *Textularia lateralis* Lalicker  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 26; a. vista frontal,  
100x; b. vista apertural, 100x.
3. *Textularia aff lateralis* Lalicker  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 26; a. vista frontal,  
100x; b. vista apertural, 100x.
4. *Textularia cf scrupula*  
Lalicker & McCulloch  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 30B; a. vista frontal,  
100x; b. vista apertural, 100x.
5. *Textularia cf secasensis*  
Lalicker & McCulloch  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 30B; a. vista frontal,  
100x; b. vista apertural, 100x.
6. *Textularia cf lancea*  
Lalicker & McCulloch  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 30B; a. vista frontal,  
100x; b. vista lateral, 100x; vista  
apertural, 100x.
7. *Textularia cf vola*  
Lalicker & McCulloch  
Formación Tubará, sección arroyo  
Piedras, muestra 04; a. vista frontal,  
100x; b. vista apertural, 100x.

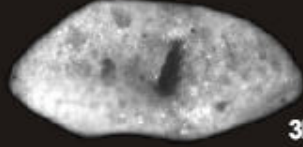
Plate 1



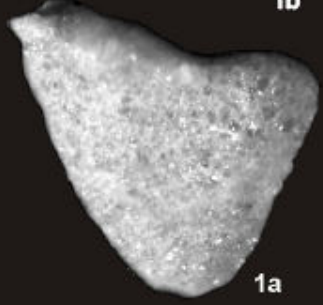
1b



2b



3b



1a



2a



3a



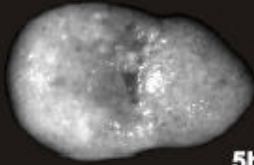
4a



4b



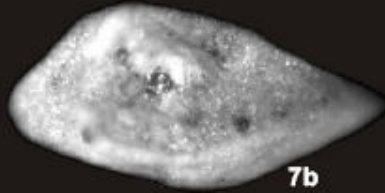
5a



5b



6c



7b



6a



6b



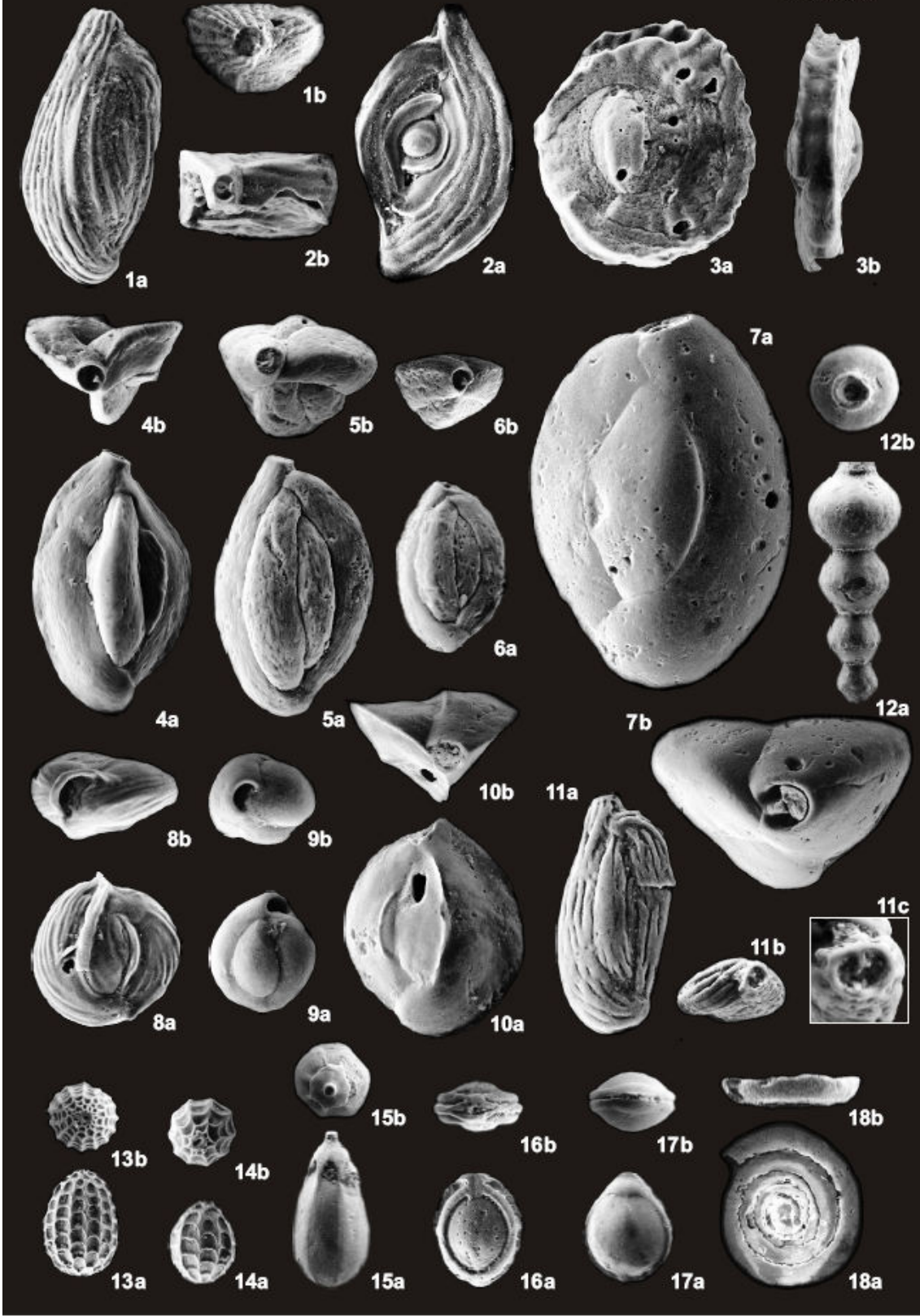
7a



## Plate 2

1. *Adelosina* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
2. *Spiroloculina* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
3. *Massilina crenata* (Karrer)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
4. *Quinqueloculina lamarckiana* d'Orbigny  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 27; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
5. *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
6. *Quinqueloculina* cf *panamensis* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 27; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
7. *Quinqueloculina* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
8. *Miliolinella fichteliana* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 23; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
9. *Miliolinella* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
10. *Triloculina tricarinata* d'Orbigny  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
11. *Triloculina antillarum* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x. c. magnificación 400x a la apertura
12. *Nodosaria* sp  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 27; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
13. *Oolina hexagona* (Williamson)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 27; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
14. *Oolina colombiana* (Redmond)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 27; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
15. *Lagena* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 28; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
16. *Fissurina colombiana* (Redmond)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 03; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x.
17. *Fissurina* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 50x; b. vista apertural, 50x.
18. *Spirillina* sp  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 100x; b. vista apertural, 100x.

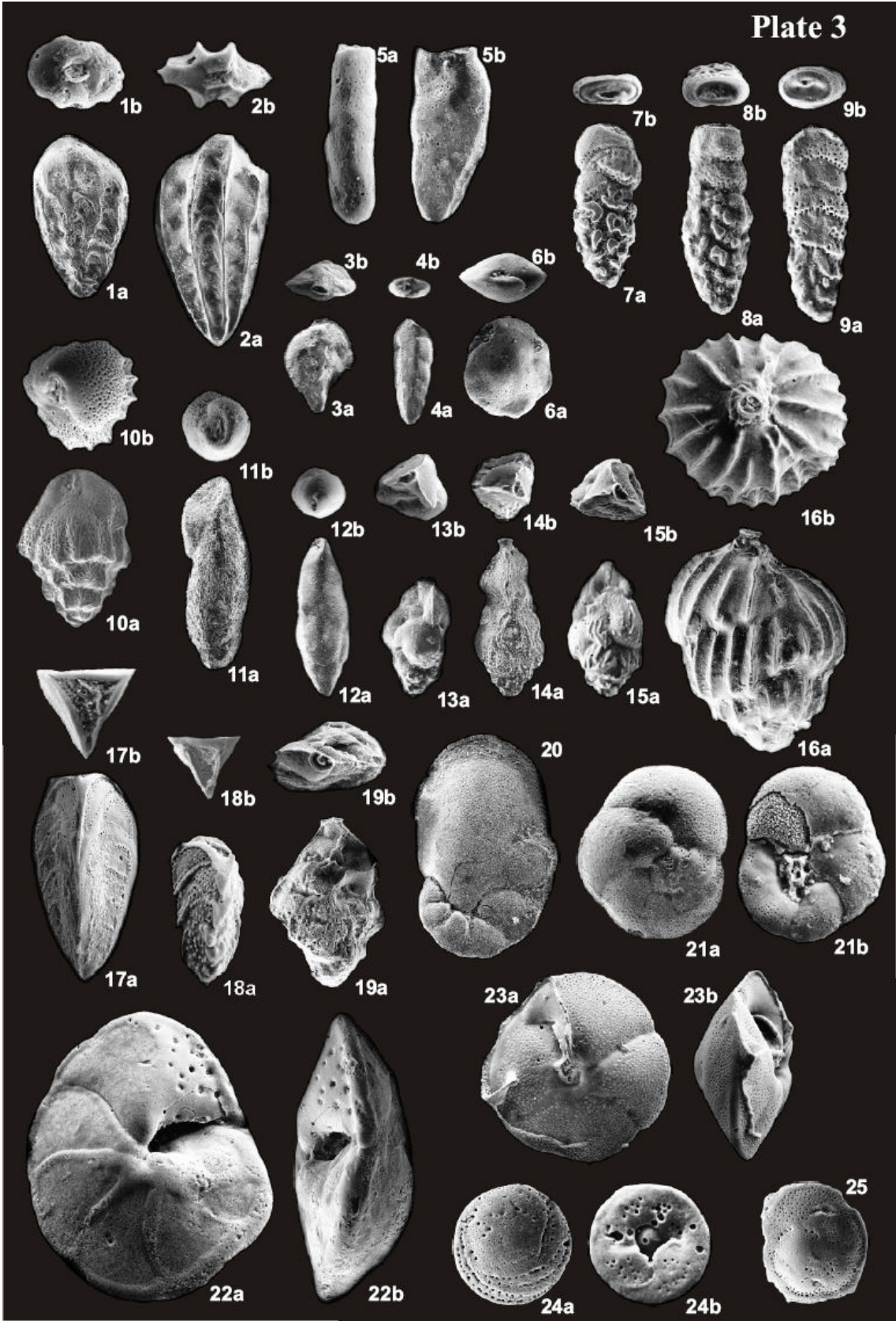
Plate 2



### Plate 3

1. *Bolivina floridana* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 28; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
2. *Bolivina interjuncta* var *bicostata*  
(Cushman)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30A; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
3. *Bolivina tortuosa* (Brady)  
var *lissa* Redmond  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 03; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
4. *Bolivina cf. acerosa* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 04; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
5. *Bolivina cf. caudriæ* Cushman and Renz  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30A; a. vista lateral, 100x;  
b. vista frontal, 100x.
6. *Cassidulina caribeana* Redmond  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 20; a. vista umbilical, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
7. *Rectobolivina hancocki*  
(Cushman & McCulloch)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30A; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
8. *Rectobolivina hancocki*  
(Cushman & McCulloch)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30A; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
9. *Rectobolivina pacifica*  
(Cushman & McCulloch)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 29; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
10. *Bulimina striata* (d'Orbigny)  
var *mexicana* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30B; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
11. *Bulliminella elegantissima* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 03; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
12. *Bulliminella morgani* Andersen  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 27; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
13. *Angulogerina colombiana* Redmond  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 20; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
14. *Angulogerina cf. jamaicensis*  
Cushman and Todd  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 03; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
15. *Angulogerina* sp. A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 03; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
16. *Uvigerina isidroensis* Cushman & Renz  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 26; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
17. *Reusella Bordata* Redmond  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30B; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
18. *Reusella atlantica* (Cushman)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 26; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
19. *Compressigerina coartata* (Palmer)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30B; a. vista frontal, 100x;  
b. vista apertural, 100x.
20. *Cancris sagra* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 28; a. vista frontal, 100x.
21. *Valvulineria olssoni* Redmond  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 27; a. vista umbilical, 100x;  
b. vista dorsal, 100x.
22. *Eponides repandus*  
(Brady, not Fichtel & Moll)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30B; a. vista frontal, 100x;  
b. vista lateral, 100x.
23. *Eponides antillarum* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 30B; a. vista frontal, 100x;  
b. vista lateral, 100x.
24. *Discorbis terquemii* (Terquem)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 27; a. vista frontal, 100x;  
b. vista dorsal, 100x.
25. *Discorbis floridensis* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras,  
muestra 27; a. vista frontal, 100x.

Plate 3



## Plate 4

1. *Siphonina pulchra* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x
2. *Planulina?* sp.  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 20; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x
3. *Cibicides perforatus* Coryell & Rivero  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
4. *Cibicides rugosa* Phleger & Parker  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x
5. *Cibicides cf sinistralis*  
Coryell & Rivero  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 20; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
6. *Dyocibicides biserialis* Cushman & Valentine  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
7. *Planorbulina mediterraneensis* d'Orbigny  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
8. *Cymbaloporetta tobagoensis* (Bronnimann)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
9. *Cymbaloporetta bradyi* (Cushman)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
10. *Cymbaloporetta* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
11. *Cymbaloporetta* sp B  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x
12. *Globobulimina?* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x
13. *Guttulina* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 26; a. vista frontal, 100x; b. vista apertural, 100x
14. *Annulopatellinida* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 27; a. vista dorsal, 100x; b. vista umbilical, 100x

Plate 4



1a



1b



2a



2b



3a



3b



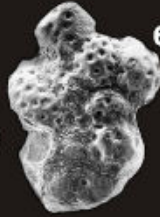
4a



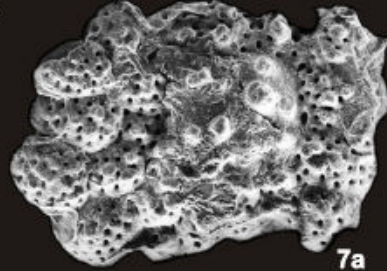
4b



6a



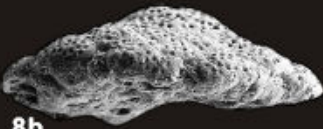
6b



7a



7b



8b



9b



8a



9a



10b



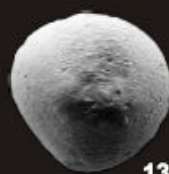
10a



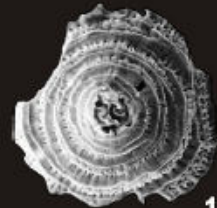
11b



12b



13b



14b



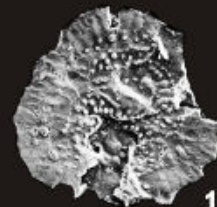
11a



12a



13a



14a

## Plate 5

1. *Globigerinoides sacculifer* (Brady)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 70x; b. vista spiral, 70x.
2. *Globigerinoides immaturus* (Le Roy)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 70x; b. vista spiral, 70x.
3. *Globigerinoides obliquus bliquus* (Bolli)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 29; a. vista umbilical, 70x; b. vista spiral, 70x.
4. *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30a; a. vista umbilical, 70x; b. vista spiral, 70x.
5. *Truncorotalia cf crassaformis* (Galloway & Wissler)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 29; a. vista lateral, 100x; b. vista umbilical, 100x.
6. *Globorotalia conomiozea* (Kennett) *subconomiozea* Bandy  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 8; a. vista umbilical, 100x; b. vista lateral, 100x.
7. *Asterigerina carinata* d'Orbigny  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 100x.
8. *Amphistegina lessoni* d'Orbigny  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30B; a. vista umbilical, 100x.
9. *Nonion* sp A  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 03; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
10. *Nonionella atlantica* Cushman  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 20; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
11. *Nonionoides grateloupii* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 001; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
12. *Hanzawaia deprimus* (Phleger & Parker)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista frontal, 70x; b. vista lateral, 70x.
13. *Hanzawaia concentrica* (Cushman)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 30A; a. vista frontal, 70x; b. vista lateral, 70x.
14. *Pararotalia sarmientoi* (Redmond)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 06; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
15. *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 29; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
16. *Ammonia tepida* (Cushman)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 24; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
17. *Criboelphidium poeyanum* (d'Orbigny)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 28; a. vista frontal, 100x; b. vista lateral, 100x.
18. *Elphidium tubaraensis* (Redmond)  
Formación Tubará, sección arroyo Piedras, muestra 29; a. vista frontal, 70x; b. vista lateral, 70x.

Plate 5

