Boletín de Geología
Vol. 29, No. 2, julio - diciembre de 2007

AMBIENTES DE ACUMULACION Y FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS DE LA FORMACIÓN TUBARÁ (PLIOCENO DEL VALLE INFERIOR DEL MAGDALENA)

Molinares, C. E. [1,2]; Martinez, J. I. [2]; Fiorini, F. [3]; Jaramillo, C. [4]

RESUMEN

La Formación Tubará en el Arroyo Piedras (169 m) es dividida en tres segmentos: 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. 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 obliquus, Globigerinoides ruber* y *Truncorotalia* aff *crassaformis* s.l. permite precisar su edad como Plioceno Temprano.

Palabras Clave: Foraminíferos Bentónicos, Formación Tubará, Paleoecología, Paleoambientes, Valle Inferior del Magdalena.

DEPOSICIONAL ENVIRONMENTS AND BENTHONIC FORAMINIFERA FROM TUBARA FORMATION (PLIOCENE FROM LOWER MAGDALENA VALLEY)

ABSTRACT

The Tubara Formation in the arroyo Piedras Creek (169 m) is divided in three segments: The lower 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. 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 obliquus, Globigerinoides ruber and Truncorotalia aff crassaformis s.l. allows us to precise the age of the Tubara Formation as Early Pliocene.

Key works: Benthonic foraminifera, Tubara Formation, Paleoecology, Paleoenvironments. Lower Magdalena Valley.

[1] Departamento de Geología, Universidad Eafit, Medellín, Colombia. cmolinar@eafit.edu.co
[2] Departamento de Geología, Universidad Eafit, Medellín, Colombia. jimartinez@eafit.edu.co
[3] CTPA, Smithsonian Tropical Research Institute (STRI), Ancon, Panamá - ECOPETROL - ICP, flavia.fiorini@dal.ca
[4] CTPA, Smithsonian Tropical Research Institute (STRI), Ancon, Panamá. jaramilloc@si.edu

INTRODUCCIÓN

Los ambientes marinos marginales son aquellos que se sitúan desde los pantanos costeros hasta las partes internas de las plataformas continentales (Sen Gupta, 1999). Estos ambientes, caracterizados por una alta productividad orgánica, son considerados muy atractivos por su potencial tanto para la generación como para la acumulación de hidrocarburos (e.g., Risk & Rhodes, 1985). Las asociaciones de foraminíferos bentónicos en los ambientes marino marginales son tan amplias como sus diversos tipos de ambientes (e.g., Culver, 1990) y en general se caracterizan por presentar un incremento en la diversidad y en el contenido de especies de caparazón calcáreo a medida que la salinidad se aproxima a la de los ambientes marino normales (Sen Gupta, 1999).
La Formación Tubará es una de las unidades geológicas más estudiadas de la costa norte de Colombia (e.g., Anderson 1927; 1929; Redmond, 1953; Van den Bold, 1966; Bordine, 1974) y el conocimiento de su sucesión estratigráfica reviste de gran interés pues ha sido considerada como reservorio potencial de hidrocarburos (Bordine, 1974).

El objetivo de este trabajo es presentar una re-evaluación paleoambiental y paleoecológica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras. Estas asociaciones re-interpretadas aquí como de ambientes marinos marginales, habían sido asociadas con ambientes neríticos de mar abierto, en aguas de moderada profundidad (Redmond, 1953).

ANTECEDENTES

Los primeros trabajos estratigráficos sobre la Formación Tubará, en particular sobre la sucesión del Arroyo Piedras, se remontan a comienzos del siglo pasado. El término Tubará aparece por vez primera en Anderson (1926), y luego como descripción formal en Anderson (1927). La unidad, expuesta en los alrededores de Tubará, tiene un espesor de 2800' y consta de ocho (8) horizontes con base en su contenido de moluscos (Anderson, 1927). Estos horizontes denominados en orden ascendente con las letras M hasta T, fueron posteriormente redefinidos (Anderson 1929) y reducidos a 2650', al reajustar los espesores de las unidades y excluir el horizonte T de este conjunto. Redmond (1953) reconoce ochenta y tres (83) especies de foraminíferos, de las cuales quince (15) fueron reportadas como nuevas especies, y establece dos zonas informales (FIGURA 1) que corresponderían a los horizontes O al S de Anderson (1929) y cuyas edades serían Mioceno Medio Tardío (Zona I) a Mioceno Tardío (Zona II). Las sucesiones de la Formación Tubará fueron estudiadas luego con respecto a su contenido de ostrácodos (Van den Bold, 1966) y evolución paleoambiental (Bordine, 1974). Las secciones de Bordine (1974) evidencian sucesiones regresivas, de plataforma externa a marino marginales grueso-granulares cuya edad sería Mioceno Tardío a Plioceno Temprano

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 (FIGURA 1), equivalentes a un espesor estratigráfico real de 169,78 m.

Para la descripción de la columna estratigráfica, los diferentes estratos se delimitaron principalmente en base a las litofacies, teniendo en cuenta su geometría externa, forma, color, tamaño de grano, matriz, contenido fosilífero y de materia orgánica. En total, 35 muestras de 200 a 500 g. 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.)

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, verificando su homogeneidad. De las sub-muestras, producto del cuarteo, se extrajeron los especímenes de foraminíferos que luego se organizaron por sus características morfológicas en placas porta-foraminíferos utilizando un estereoscopio de 50X.

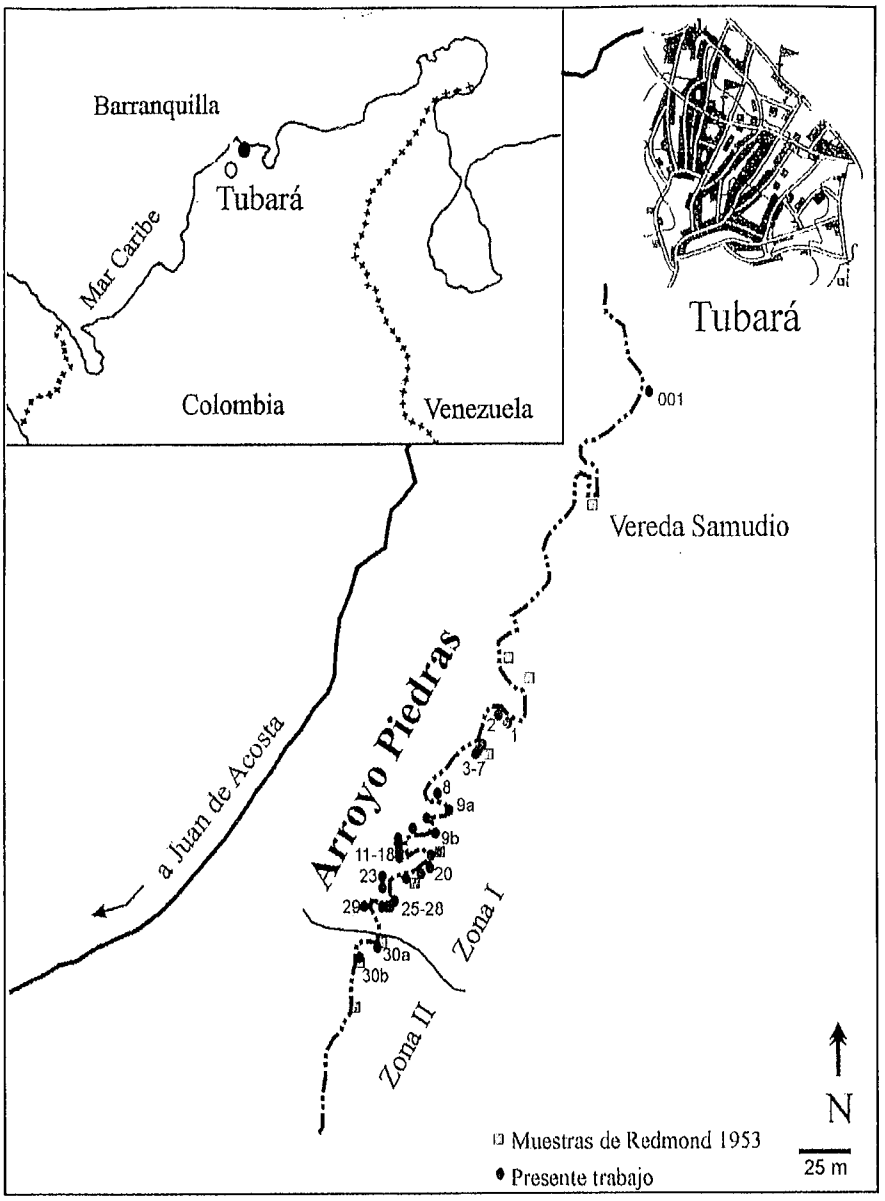

FIGURA 1. Ubicación de las muestras de la Formación Tubará analizadas en este trabajo, comparado con la ubicación de las muestras y zonas reportadas por Redmond (1953).

La clasificación genérica adoptada se baso en Loeblich & Tappan (1987), mientras que las determinaciones de especies 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; Coryell & Rivero, 1940; Renz, 1948; Redmond, 1953; Bermudez, 1949; Phleger & Parker, 1951; Smith, 1964; Poag, 1981; Bolli et al., 1984; Casell & Sen Gupta, 1989; Collins, 1993; Javaux & Scott, 2003).

Las interpretaciones paleoecológicas se basan principalmente en reportes de dichas asociaciones en el Caribe y el Golfo de México (e.g., Javaux & Scott, 2003; Murray 1991; Culver & Buzas 1982). En aquellas muestras

TABLA 1. Listado de especies de foraminíferos bentónicos identificados en la Formación Tubará.

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

Los asteriscos indican las especies descritas en Redmond 1953, reconocidas en este trabajo. Entre corchetes, nombres originales de especies cuya designación ha cambiado.

cuyo recobro superó los 300 individuos, las frecuencias de los foraminíferos bentónicos, fueron expresadas como porcentajes del total de la población y utilizadas para realizar un análisis de agrupamiento (cluster) sin restricción *(un-contrained)* utilizando el programa MVSP® (http://www.kovcomp.com/), escogiendo la distancia Euclidiana como medida de similitud y como algoritmo de agrupamiento el de similitud media no ponderada (UPGMA, *unwheighted pair group average; Sneath & Sokal*, 1973).

RESULTADOS

Asociaciones de foraminíferos bentónicos y paleoambientes

En las treinta y cinco (35) muestras recolectadas en la sección arroyo Piedras, se identificaron sesenta y ocho (68) especies de foraminíferos bentónicos, treinta y cinco (35) de las cuales habían sido reportadas por Redmond en 1953 (TABLA 1). En total, fueron discriminadas cuatro asociaciones de foraminíferos (FIGURA 2),

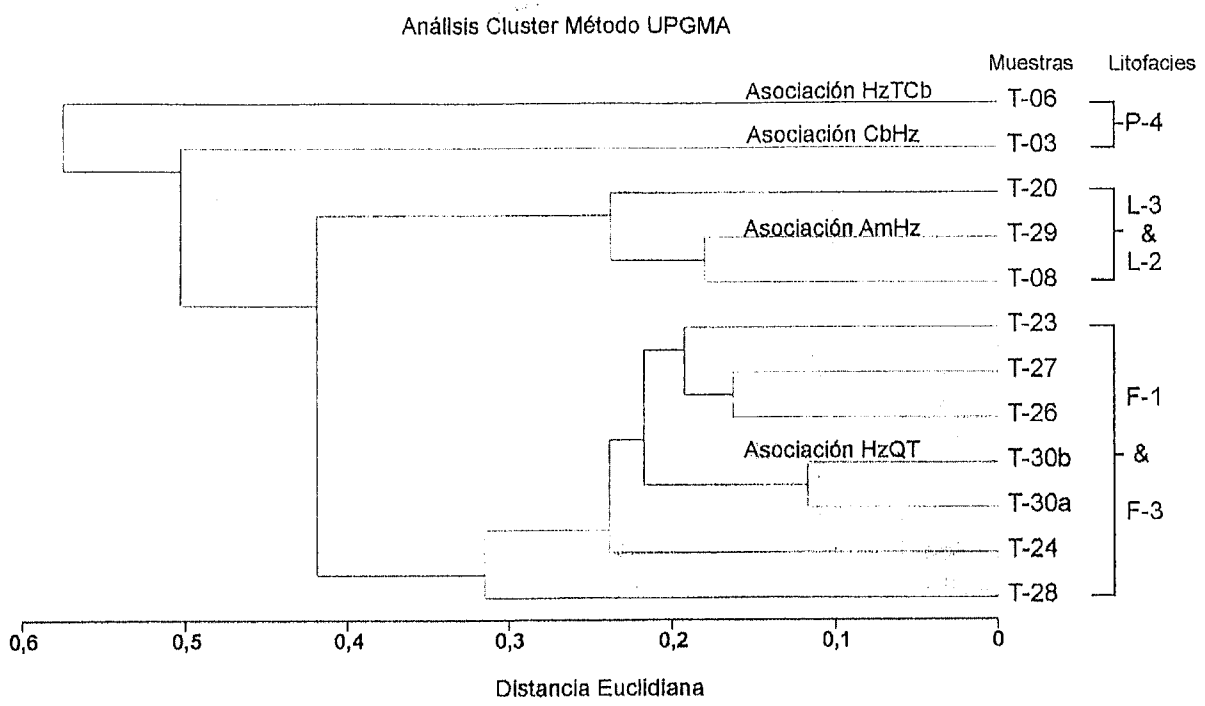

FIGURA 2. Dendrograma del análisis de agrupamiento (un-constrained cluster) realizado a las 12 muestras de la Formación Tubará, cuyo recobro supero los trescientos (300) individuos. Se evidencian las cuatro asociaciones de Foraminíferos bentónicos discriminadas y sus respectivas litofacies asociadas

diferenciadas por su contenido micropaleontológico (FIGURA 3).

La primera asociación, **Asociación CbHz** (Muestra T-03), se caracteriza por un alto contenido de *Criboelphidium poeyanum* (41%), *Hanzawaia concentrica* (14%) y en menor proporción *Quinqueloculina* spp (6%) y *Triloculina tricarinata* (3%) (FIGURA 3).

Esta asociación, se encontró en litoarenitas lodosas, fosilíferas, granodecrecientes, en capas de 5 a 60 cm de espesor, identificadas como la litofacies P-4 (FIGURA 3). La segunda asociación discriminada fue la **Asociación HzTCb**, (Muestra T-06) caracterizada por una alta proporción *Hz. concentrica* (72%), y en menor proporción (2%) por *Textularia lateralis y Cb. poeyanum*. Esta asociación se presenta hacia el tope de los estratos de las litofacies P4 (FIGURA 3). La tercera asociación, **Asociación AmHz** (Muestras T-29, T-20, T-08), se caracteriza por una baja diversidad y altos porcentajes de *Ammonia parkinsoniana* (35 – 50%), y en menor proporción por las especies *Hz. concentrica* (10 – 20%) y *Cb. poeyanum* (2 – 5%).

La asociación AmHz se presenta en la parte media de la sección, caracterizada por el predominio de arcillolitas grises, con laminación plano-paralela continua (litofacies L3), en ocasiones con niveles de arenitas fosilíferas con laminación ondulosa (litofacies L2) y en medio de dicha asociación un intervalo estéril, caracterizado por un alto contenido de materia orgánica y de hojas fosilizadas (FIGURA 3).

La cuarta asociación reconocida, **HzQT**, está constituida en su mayoría por muestras de la parte superior de la sección y caracterizada por la presencia de *Hz. concentrica* (20 – 40%), *Tx. lateralis* (10 - 25%), *Quinqueloculina* spp. (9 – 15%) y T. *tricarinata* (3 – 5%); A su vez, respecto a las asociaciones anteriormente descritas, la asociación HzQT presenta un mayor contenido de *Cymbaloporetta bradyi y Amphistegina lessoni* y una menor proporción de *A. parkinsoniana* (FIGURA 3.).

Esta última asociación se ubica en la parte superior de la columna estratigráfica y se caracteriza por la presencia de litoarenitas, lodosas, fosilíferas, que gradan a lodolitas arenosas grises (litofacies F1); suprayacidas por una sucesión de cuarzo arenitas de grano medio, muy limpia, deleznable, bien seleccionadas, con excelente calibrado y estratificación cruzada plano paralela (litofacies F2), y litoarenitas lodosas, grises, de grano fino, con laminación ondulosa continua, que gradan a litoarenitas más limpias, mejor seleccionadas, en capas de mayor espesor, más frecuentes y continuas (litofacies F3; FIGURA 3).

Foraminíferos Planctónicos y Edad

Todos los foraminíferos planctónicos fueron seleccionados y utilizados para determinar la edad. El listado de especies y abundancias absolutas en 20 g de sedimento se presenta a continuación (TABLA 2).

El recobro de foraminíferos planctónicos es muy pobre y no llega a superar el 10% del total de las asociaciones. La tendencia al incremento solo es conspicua hacia la parte superior de la sección.

DISCUSIÓN

Interpretación paleoambiental de las asociaciones de foraminíferos bentónicos

La **Asociación CbHz**, está caracterizada por un alto contenido de C. *poeyanum*, *H. concentrica* y en menor proporción *Quinqueloculina* spp. y *T. tricarinata*. Especies de los géneros *Criboelphidium* o *Elphidium* no quillados, son considerados como morfotipos infaunales, en general, asociados a áreas de fuerte stress en salinidad en plataformas internas, ciénagas y/o pantanos (Murray, 1991). C. *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).

La *Hanzawaia concentrica* ha sido reportada en ambientes litorales y pantanos costeros de Belice, y asociada a arrecifes coralinos de la plataforma interna a externa en Trinidad & Tobago y Venezuela (Javaux & Scout, 2003). Las especies del género *Hanzawaia,* opuesto a las de *Criboelphidium*, se consideran un morfotipo epifaunal, que prefiere substratos duros y condiciones normales de salinidad (Murray, 1991). Las especies menor representadas, *Triloculina tricarina* y la *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 depositación 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. Esta asociación, se encontró en litofacies P4 (FIGURA 3) interpretadas como depósitos subacuosos de desborde de canal sobre una laguna y/o pantano costero.

La **Asociación HzTCb**, se caracteriza por una alta proporción de *H. concentrica*, y en menor proporción *P.*

TABLA 2. Foraminíferos Planctónicos identificados en las muestras del Arroyo Piedras, Fm. Tubará

	T-03	T-04	T-06	T-08	T-20	T-23	T-24	T-25	T-26	T-27	T-28	T-29	T-30a	T-30b
Globigerina spp	4						1		9	3	3			1
Globigerinoides immatura	1				1		3				5	5	1	3
Globigerinoides obliquus obliquus	12				1		14		14	2	6	10	3	7
Globigerinoides sacculifer													7	
Globigerinoides ruber													2	
Globigerinoides sp			3	5	8	2	16		10	21	17	5		11
Truncorotalia aff crassaformis s.l.												1		
Total Foraminíferos Planctónicos	17	0	3	5	10	2	34	0	33	26	31	21	13	22

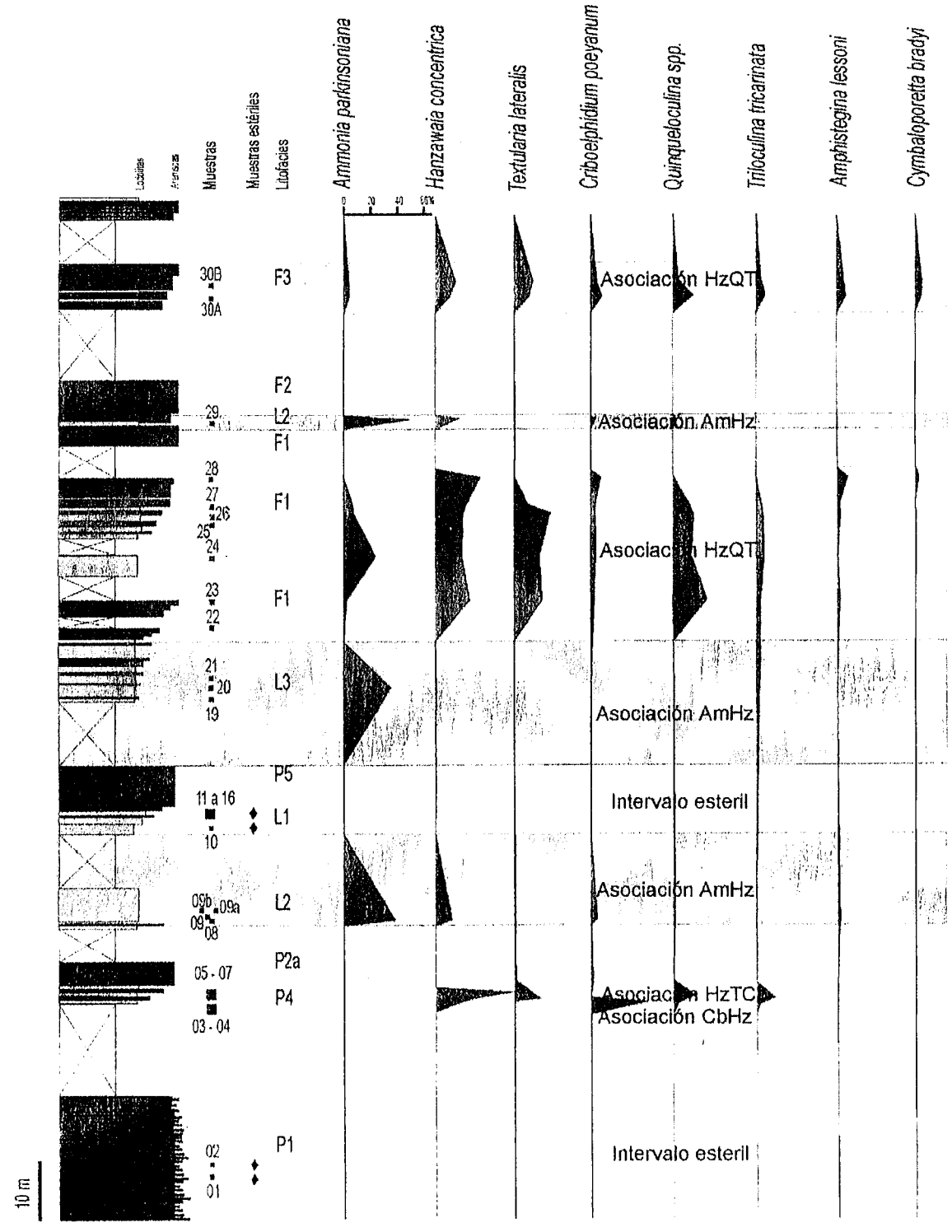

FIGURA 3. Distribución estratigráfica de las asociaciones de foraminíferos bentónicos identificadas en la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras. Las principales especies que caracterizan dichas asociaciones son incluidas; además de las litofacies relacionadas con dichas asociaciones.
Litofacies P = Planicie deltaica/aluvial; L = Laguna/Pantano costero; F = Transición Anteplaya frente de Playa.

sarmientoi, T. lateralis y *C. poeyanum*. El ambiente de acumulación de esta asociación, está estrechamente relacionado con el de la asociación descrita anteriormente; sin embargo, el dominio marcado de *H. concentrica* (72%) manifiesta un cambio hacia condiciones más normales en salinidad, menor aporte de detritos y un substrato diferente (duro). Esta asociación se presenta hacia el tope de los estratos de la litofacies P4 (FIGURA 3) y estaría relacionada a episodios durante los cual el aporte de sedimentos continentales se habría interrumpido o disminuido significativamente sobre la laguna costera.

La **Asociación AmHz**, está caracterizada por una baja diversidad y altos porcentajes de *A. parkinsoniana* y en menor proporción por *Textularia* laterales, *H. concentrica, C. 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* de 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 como *A. parkinsoniana* forma *tepida* Cushman.

En general, el género *Ammonia* se restringe a la plataforma interna (Murray 1991) y en particular la *A. parkinsoniana* forma *typica* es una especie que puede soportar grandes variaciones en la salinidad (Sen Gupta et al. 1986). Ejemplos modernos de asociaciones con una baja diversidad y un alto porcentaje de *A. parkinsoniana* en especial de la forma *typica* han sido reportadas en el Caribe en asociaciones de lagunas y bahías costeras de Puerto Rico (Seigle, 1975) y Santa Lucía (Sen Gupta & Schafer, 1973). La asociación AmHz, fue identificada en las litofacies *L1* y *L3* (FIGURA 3), consideradas producto de la acumulación en lagunas y/o pantanos costeros y corresponderían con la interpretación dada a la asociación.

Finalmente, la **Asociación HzQT**, representada por *H. concentrica, Textularia* spp, *Quinqueloculina* spp. y *Triloculina tricarinata*, se caracteriza por porcentajes mas bajos de *A. parkinsoniana* a despensas 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 (Murray, 1991). A su vez, **la asociación HzQT** en las muestras estratigráficamente más superiores, está caracterizada por un mayor contenido de *A. lessoni* y *C. bradyi* (FIGURA 3). Estas especies y en general sus géneros, están relacionadas a sustratos con un mayor contenido de carbonato de calcio y un menor aporte de sedimentos terrígenos (Murray, 1991). La asociación HzQT, se encontró en sedimentos descritos como las litofacies *F1* y *F3* (FIGURA 2), las cuales se interpretaron como el registro de la transición entre una anteplaya/bahía y un frente de playa, con salinidad más cercana a la marina normal y el aporte de siliciclásticos habría sido significativamente reducido.

Edad de la Formación Tubará, sección Arroyo Piedras.

La co-ocurrencia de especímenes de *Globigerinoides ruber* con algunos individuos identificados como *Globigerinoides obliquus* y un ejemplar relacionado morfológicamente con *Truncorotalia crassaformis* s.l., ubicarían a la sección en el Plioceno Inferior, entre la parte superior de la Zona N-18 y la Zona N- 19 (*Sensu* Bolli & Saunders 1985). Esta determinación está acorde con la interpretación dada a la parte inferior de esta unidad considerada por Bordine (1974) como Mioceno Superior a Plioceno Inferior, basado principalmente en la presencia de *Globigerina nepenthes*.

CONCLUSIONES

La sección Arroyo Piedras de la Formación Tubará, se divide con base en sus características litológicas y micropaleontológicas en tres segmentos, relacionados a ambientes marinos marginales y no a condiciones marinas normales de moderada profundidad.

La secuencia inferior, fue interpretada con 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, fue asociada con lagunas (*lagoons*) y/o pantanos costeros (*Swamps*), caracterizados por una alta proporción de individuos de la especie *A. parkinsoniana*. Finalmente, el segmento superior, fue interpretado como la transición

entre ambientes de anteplaya/bahía (foreshore/bay) y el frente de playa (shoreface); el cual, se caracteriza por un menor contenido de *A. parkinsoniana* y a su vez una mayor proporción de las especies relacionadas con ambientes marinos normales, en el cual el aporte de sedimentos terrígenos pudo haberse reducido significativamente.

La presencia de los foraminíferos planctónicos *Globigerinoides obliquus, Globigerinoides ruber y Truncorotalia* aff *crassaformis* s.l. permite precisar la edad de la Formación Tubará en la sección Arroyo Piedras como Plioceno Temprano.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al convenio de cooperación entre el Smithsonian Tropical Research Institue (STRI) y el Instituto Colombiano del Petróleo (ECOPETROL-ICP). Los resultados aquí expuestos hácen parte de la Tesis de MSc en Ciencias de la Tierra de C.M.

C.M. expresa sus agradecimientos a la Universidad EAFIT; a todo el equipo de trabajo del grupo de Bioestratigrafía de ECOPETROL –ICP; al Doctor Hermann Duque-Caro por sus comentarios y valiosas discusiones; al Geólogo José Saavedra por su colaboración en la fase de Campo; finalmente a María Camila Molinares y Liliana León por el continuo soporte e inspiración.

REFERENCIAS

Anderson, F. M. (1926). Original source of oil in Colombia. AAPG Bulletin, Vol.10, pp. 382-404.

Anderson, F. M. (1927). The marine Miocene deposits of North Colombia. Proc. Calif. Ac. Sc, (4ª ser.), Vol. 16, pp. 87-95.
Anderson, F. M. (1929). Marine Miocene and related deposits of North Colombia. Proc. Calif. Ac. Sc, (4ª ser.), Vol. 18, pp. 73-213.

Barbat, W. F., and Johnson, F. L. (1934). Stratigraphy and Foraminifera of the Reef Ridge shale, Upper Miocene, California. Journal of Paleontology, Vol. 8, pp. 3-17.

Bermudez, P. J. (1949). Tertiary Smaller Foraminifera of the Dominican Republic. Cushman Lab. Foram. Research Special Pub, No 25, pp. 1-322.

Bolli, H. M., Beckmann, J. P., and Saunders, J. B. (1984). Benthic Foraminiferal Bioestratigraphy of the South Caribbean Region, Cambridge University Press. Cambridge, 408 p.

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

Bordine, B. W. (1974). Neogene Biostratigraphy and Paleoenvironments Lower Magdalena Basin, Colombia. A non-published Ph.D Dissertation. Lousiana State University and Agricultural and Mecanichal College, Department of Geology.

Casell, D. T., and Sen Gupta, B. K. (1989). Pliocene Foraminifera and Environments, Limon Basin of Costa Rica. Journal of Paleontology, Vol. 63, pp. 146-157.

Collins, L.S. (1993). Neogene paleoenvironments of the Bocas del Toro Basin, Panama. Journal of Paleontology, Vol. 67, pp. 699-710.

Coryell, H. N., and Rivero, F. C., (1940). A Miocene microfauna of Haiti. Journal of Paleontology, Vol. 14, pp. 324-344.

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

Culver, S. J. (1990). Benthic Foraminifera of Puerto Rican Mangrove-Lagoon Systems: Potential for Paleoenvironmental Interpretations. Palaios, Vol. 5, No 1, pp. 34 – 51.

Cushman, J. A., and Jarvis, P. W. (1930). Miocene Foraminifera from Buff Bay, Jamaica. Journal of Paleontology, Vol. 4, pp. 353-368.

Javaux, E. J., and Scott, D. B. (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.

Murray, J. W. (1991). Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. Longman Scientific & Technical. London, 397 p.

Phleger, F. B, and Parker, F. L. (1951). Ecology of Foraminifera of northwest Gulf of Mexico. Geological Society of America, Memoirs No 46, 64 p.

Poag, C. W. (1978). Paired Foraminiferal Ecophenotypes in Gulf Coast Estuaries: Ecological and Paleoecological Implications. Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, Vol. 28, pp. 395-420.

Poag, C. W. (1981). Ecologic Atlas of benthic foraminifera of the Gulf of Mexico. Hutchinson Ross Publ. Co., 174 p.

Redmond, C. D. (1953). Miocene Foraminifera from the Tubara beds of Northern Colombia. Journal of Paleontology, Vol. 27, pp. 708–733.

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

Risk, M. J., and Rhodes, E. G. (1985). From Mangroves to Petroleum precursors: An example from tropical northeast Australia: AAPG bulletin, Vol. 69, pp. 1230-1240.

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

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

Sen Gupta, B. K; Malavassi. L.R, and Malavassi, E. (1986). Late Mioceno Shore in northern Costa Rica: Benthic Foraminiferal Record. Geology, Vol. 14, pp. 218–220.

Sen Gupta, B. K. (1999). Foraminifera in Marginal Marine Enviroments. In: Modern Foraminifera (Sen Gupta, B. K. Ed)., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 141-160.

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

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

Van den Bold, W. A. (1966). Upper Miocene Ostracoda from de Tubara Formation Northern Colombia. Micropaleontology, Vol. 12, pp. 360-364.

Trabajo recibido: marzo 30 de 2007
Trabajo aceptado: junio 23 de 2007