

EVOLUCIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA FORMACIÓN CUBAGUA (PENÍNSULA DE ARAYA) A PARTIR DE PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE MORFOGRUPOS DE FORAMINÍFEROS BÉNTICOS

JOHANN FERNANDES

Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica,
Los Chaguaramos, Caracas, Venezuela. email: johann_fernandes@cantv.net

Recibido: octubre de 2005

Recibido en forma final revisado: noviembre de 2006

RESUMEN

El objetivo de este trabajo, consistió en la definición de biofacies del estudio de la distribución morfológica de foraminíferos béticos de la Formación Cubagua, determinando un total de ocho morfogrupos a partir de la forma de la concha: plano-convexo y biumbilicado redondeado, adaptado a ambientes de alta oxigenación y energía; endémicos de profundidades neríticas; Morfogrupo Cilíndrico, adaptados a condiciones de baja energía y oxigenación (profundidades batiales); Esférico/Ovoidal y miliolina, con un dominio variable que oscila entre ambientes disóxicos a óxicos relacionados desde ambientes batial a nerítico externo; Biconvexo, relacionado a sustratos blandos y condiciones euribáticas; Cónico y Cónico-aplanado, asociado a condiciones de baja oxigenación e igualmente profundidades diversas. A partir del análisis Q, se observaron tres conjuntos morfológicos. Biofacies (I), constituido por una máxima abundancia de los morfogrupos Biconvexo, esférico/ovoidal y cilíndrico, con la asociación *Cyclammina cancellata*, *Chillostomela ovoidea*, *Sphaeroidina bulloides* y *Rectuvigerina lamellata*. Biofacies (II), Se delimita por el morfogrupo esférico/ovoidal y la máxima abundancia del morfogrupo biumbilicado redondeado, y desaparición de los morfogrupos, esférico/ovoidal y cónico-aplanado, dada por la asociación *Globocassidulina subglobosa*, *Bulimina marginata* y *Plectofrondicularia floridana*. Biofacies (III), se define por una mayor abundancia del morfogrupos plano-convexo y cónico-aplanado y al conjunto *Hanzawaia concentrica*, *Amphistegina lessonii*, *Elphidium poeyanum* y *Buliminella elegantissima*. La secuencia perteneciente a la Formación Cubagua se inicia en el Mioceno Tardío con una depositación en ambientes batial superior definido por una quietud tectónica, en un medio subóxico y de temperaturas oscilantes de 5°C en promedio. Posteriormente una somerización de ambientes pertenecientes a la plataforma externa con rangos de temperaturas entre 15 y 22°C para culminar la depositación en el Pleistoceno Temprano con ambientes de plataforma interna a arrecifales, en las que las temperaturas oscilaban entre los 25 y 31°C.

Palabras clave: Foraminíferos Béticos, Morfogrupos, Cluster, Biofacies, Formación Cubagua.

PALEOENVIRONMENT EVOLUTION OF CUBAGUA FORMATION (ARAYA PENINSULA) BY DISTRIBUTION PATTERNS OF MORPHOGROUPS OF BENTHIC FORAMINIFERA

ABSTRACT

The objective of this work is to define the morphologic distribution of the benthic foraminifera of the Cubagua Formation, Araya peninsula (Eastern Venezuela). Within the paleoecologic study, a total of eight morphogroups were determined by the shape of the test: plano-convex and round biumbilicate, adapted to high O₂ and energy environments belonging to a neritic depth; Cylindrical, adapted to conditions of low energy and oxygenation (bathyal environments); Spherical/Ovoid and miliolina, with a variable dominion that oscillates between disoxic and oxic environments between bathyal to external neritic depths; Biconvex, related to a softer substrates and euribatic conditions; Conical and Conical-flattened, associated to conditions of low oxygenation and diverse depths like the previous one. From the analysis Q, three morphologic assemblages were observed: Biofacies (I), determined by the dominion of the morphogroups Biconvex, spherical/ovoid and cylindrical, next to the association *Cyclammina cancellata*, *Chillostomela ovoidea*, *Sphaeroidina bulloides* and *Rectuvigerina lamellata*. Biofacies (II), corresponding to a greater abundance of the spherical/ovoid and round biumbilicate group and the disappearance of spherical/ovoid and conical-flattened morphogroups, the fossil assemblage of these biofacies are *Globocassidulina subglobosa*, *Bulimina marginata* and *Plectofrondicularia floridana*. Biofacies (III),

responds to the greater abundance of plano-convex and round biumbilicade morphogroups and to the set *Hanzawaia concentrica*, *Amphistegina lesonii*, *Elphidium poeyanum* and *Buliminella elegantissima*. The Cubagua Formation sequence begins in the late Miocene in bathyal environments defined by a tectonic calm, suboxic conditions and temperatures of 5°C in average. Later, a bathymetry change to a external shelf environment showed temperatures between 15 and 22°C. The final sedimentation of this formation took place in the Early Pleistocene with sedimentation between internal shelf to reef environments, with temperatures between 25 and 31°C.

Keywords: Benthic Foraminifera, Morphogroups, Cluster, Biofacies, Cubagua.

INTRODUCCIÓN

Las asociaciones de foraminíferos bénticos, han sido el principal lineamiento en la definición y estudio de biofacies. Estos han demostrado que, independientemente del nivel taxonómico, la forma externa que exhiben depende directamente del ambiente de depositación, por lo que patrones de distribución de los distintos morfotipos pueden servir como determinantes de ambientes de depositación a través de biofacies.

El estudio de morfogrupos de foraminíferos bénticos no depende de subjetividades definidas por diferentes autores para niveles taxonómicos particulares. Estos son los reflejos naturales de las condiciones paleoambientales regionales y globales que afectaron indistintamente a toda la comunidad viviente. El objetivo de este estudio es discriminar posibles biofacies dentro de la secuencia de las secciones Cerro El Macho y Cerro Guaranache (zona nor-occidental de la península de Araya) de la Formación Cubagua en base al análisis de la distribución de los morfotipos de foraminíferos bénticos.

La Formación Cubagua es la unidad litoestratigráfica más representativa del Neógeno tardío, el cual varía desde el Mioceno Tardío – Pleistoceno Temprano (Padrón, 1991 y Fernandes, 2004), en el noreste de Venezuela. Esta unidad contiene abundante fauna, que ha aportado información sobre los ambientes imperantes durante el período de depositación de esta unidad litoestratigráfica. La litología de esta unidad corresponde inicialmente a depósitos Batial superior que pasan transicionalmente a depósitos de ambientes más someros hasta Nerítico Interno.

ÁREA DE ESTUDIO

Se estudiaron un total de dos secciones expuestas: las localidades Cerro El Macho y Cerro Guaranache, ubicadas en la parte occidental de la península de Araya, (estado Sucre, noreste de Venezuela)(Figura 1). En ellas aflora la secuencia correspondiente a los miembros Cerro Verde y Cerro Negro de la Formación Cubagua en la Península de

Araya.

Los afloramientos estudiados se representan en dos secciones estratigráficas. Ambos se constituyen por una sección basal de arcilitas con un contenido alto de vetas de yeso, seguido de una transición granulométrica hacia areniscas de grano muy fino, donde en la parte superior de la secuencia se reportan bioestructuras del tipo *Gyrolithes*. Suprayacente a esta serie de rocas, se observa una secuencia carbonática representada por areniscas micríticas intercaladas con micritas arenosas hasta culminar en un intervalo conformado por calizas arenosas de aloquímicos.

TRABAJOS PREVIOS

La relación directa entre la forma externa de la concha de los foraminíferos y su ambiente, fue propuesta inicialmente en los trabajos de Bandy (1960) y Chamney (1976). Bajo esa premisa, Severin (1983) define seis grupos morfológicos (morfogrupos), en base al estudio de la geometría y simetría de los morfotipos que exhibían las especies de foraminíferos bénticos identificados en sedimentos recientes de la costa de Texas. Las variaciones en la ocurrencia de los grupos con respecto a la profundidad del muestreo distinguen cuatro biofacies, que coinciden con las definidas previamente en trabajos realizados. Además, propone que las formas de los foraminíferos bénticos tienden a ser más angulares y asimétricas cuando se incrementa la profundidad de sus hábitats y atribuye la causa de esta tendencia a la disminución natural de la turbulencia que experimentan los sedimentos de fondo en aguas profundas.

Severin (1983) igualmente define un primer grupo plano-convexo con una disminución general en abundancia desde somero a aguas profundas. Presenta un segundo grupo cilíndrico abundante en bahías (ambientes de baja energía), pero escaso en océano abierto. Otro tercer grupo biconvexo y cónico que aumenta de 10-40% a mayor profundidad; mientras que un cuarto grupo cónico es notablemente incrementado, hasta casi 40% en zonas profundas. Y por último, un quinto grupo aplanado-elongado que muestra un incremento similar en abundancia relativa con el aumento de la profundidad.

Corlis y Chen (1988) en sus trabajos sobre nuevas especies, llevados a cabo en el mar de Noruega, hablan de morfotipos cónicos, cilíndricos y planispiral redondeado dominantes en aguas profundas (800 y 1500 m), conchas ovoidales-aplanadas y plano-convexas desde los 200 a 500 m de profundidad, formas biconvexas desde los 1500 a 4000 m y formas miliolinas desde los 3000 a 4000 m, y también nos dicen que las especies aplanadas están presentes a 600 m de profundidad, mientras que las formas esféricas son encontradas entre 200 y 1600 m.

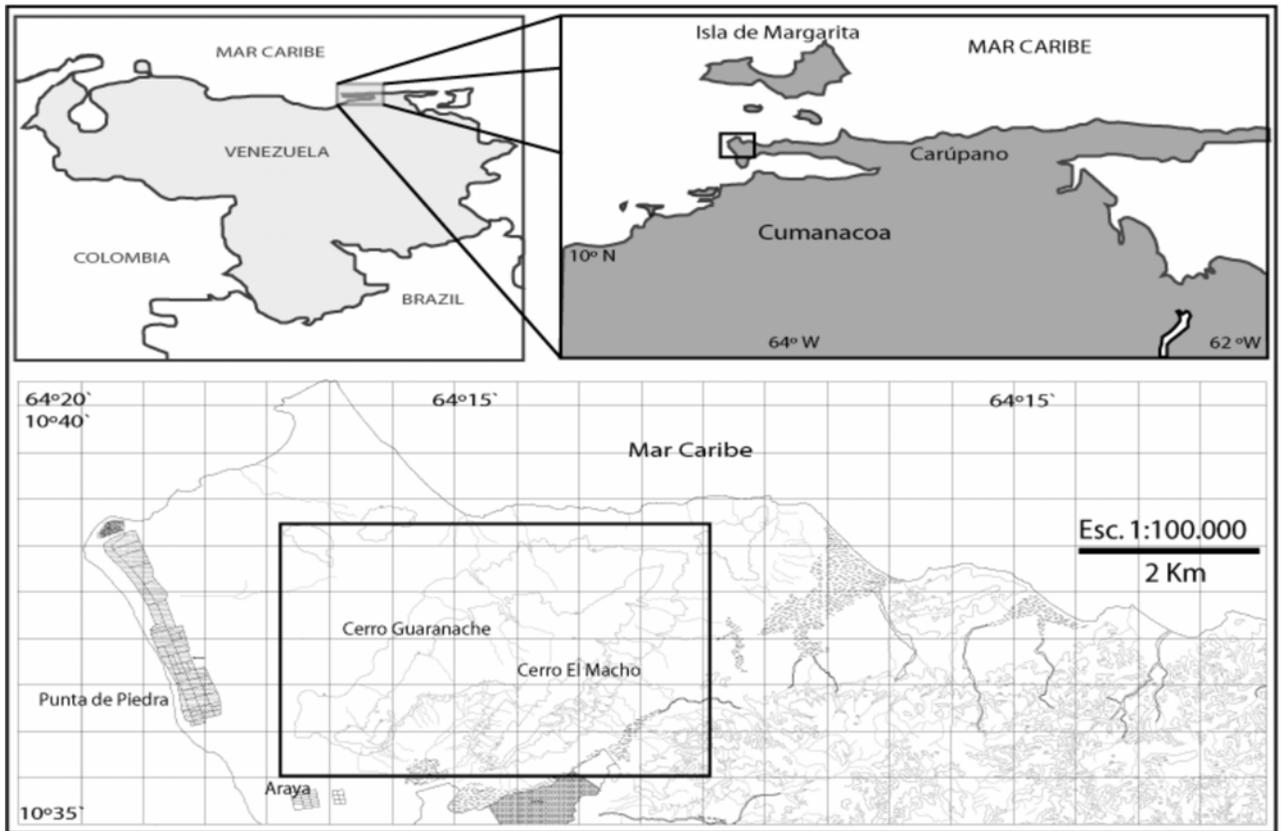


Figura 1. Área de estudio. Ubicación relativa de las secciones: Cerro El Macho y Cerro Guaranache, extremo noroccidental de la península de Araya, estado Sucre, noreste de Venezuela

El estudio de Corlis y Fois (1991), realizado en el golfo de México, muestra un dominio de los morfotipos cónicos, cilíndricos, planispiral redondeado y ovoidal aplanado en aguas someras, mientras que los morfotipos plano-convexo, biconvexo y miliolino son dominantes en aguas profundas.

METODOLOGÍA

Setenta muestras fueron recolectadas a nivel de afloramiento, para el respectivo estudio micropaleontológico y granulométrico. El primero estuvo dirigido a la clasificación, conteo y registro de los especímenes de foraminíferos bénticos, presentes en cada muestra, según sus morfotipos y la identificación a nivel genérico de los mismos, mientras que el estudio granulométrico consistió en la medición de la fracción tamaño arena (partículas > 0,074mm) presente en muestras, a partir del cálculo de la diferencia entre el peso del material seco antes de ser sometido al lavado y el residuo lavado seco obtenido.

Se realizó la recolección sistemática de las muestras a intervalos fijos cada 3m en las secciones Cerro El Macho y Cerro Guaranache. La preparación de las muestras para su estudio micropaleontológico bajo luz reflejada, consistió en la selección y montaje por conteo modal de 300 especímenes de foraminíferos bénticos por muestra.

Ocho morfogrupos (Fig. 2), se definieron en base al estudio de la forma externa de los foraminíferos bénticos identificados. Dichas agrupaciones responden principalmente al reconocimiento visual de características sobre la geometría y simetría de la concha de los especímenes recolectados, por lo que, las especies que conforman estos morfogrupos pueden o no estar relacionadas taxonómicamente (Tabla 1).

Estos grupos morfológicos están definidos de la siguiente manera: plano-convexo, cilíndrico, biconvexo, biumbilicado redondeado, esférico/ovoidal, miliolina, cónico y cónico-aplanado. El grupo cónico-aplanado, se observa ovalado a comprimido en vista apertural y posee lados paralelos a subparalelos. El grupo cónico, se diferencia por ser circular en vista apertural y lados paralelos. Diversas formas triseriales y biseriales están incluidas en este grupo. El grupo cilíndrico, incluye formas circulares en vista apertural y lados paralelos. Ambas formas rectilíneas y uniseriales están incluidas. El grupo biumbilicado redondeado incluye formas planispirales con cámaras generalmente infladas, más acentuadamente en las últimas que en las primeras. El grupo biconvexo posee una morfología biconvexa con periferias carinadas o agudas e incluye algunas especies planispirales. El grupo plano-convexo incluye formas trocospirales umbilico-convexos y espiroconvexos con un lado profundamente convexo y otro planar o con cierto grado de concavidad.

El grupo esférico/ovoidal está constituido por conchas multiloculares o uniloculares, aproximándose a esféricas y/ o ovoidales. En éste, las formas mencionadas se agruparon debido a la escasa abundancia de especies. El grupo miliolina aglomera aquellos organismos representantes del suborden miliolina en cualquiera de sus familias.

La mayoría de las especies fueron fácilmente colocadas dentro de las ocho categorías, sin embargo, algunas de ellas fueron difíciles de clasificar. Por ejemplo, el género *Nonionella* es débilmente trocospiral, pero su forma se asocia a las formas biumbilicadas. La especie *Elphidium poeyanum*, posee un enrollamiento planispiral, pero fue colocado en el grupo biconvexo debido a su mayor semejanza hacia este morfogrupo. El género *Saracenaria* presenta inicialmente un enrollamiento planispiral para posteriormente desenvolverse con un arreglo uniserial. Dichos organismos se asignaron al grupo Biumbilicado redondeado debido a la predominancia del enrollamiento inicial. El género *Gyroidinoides* posee un enrollamiento trocospiral, pero fue ubicado en el grupo plano-convexo debido a su morfología externa, donde su lado ventral es totalmente aplanado.

RESULTADOS

A partir del conteo modal de trescientos organismos por muestra, un total de 64 especies bénticas fueron reconocidas. El análisis de agrupación o cluster, demostró la existencia de un patrón de distribución común de los morfogrupos sobre las tres secciones estudiadas, el cual puede observarse en los dendogramas resultantes para cada una de las secciones (Fig. 3). Dicho patrón, permite discriminar tres Biofacies o agrupaciones faunales en la secuencia de la Formación Cubagua, los mismos se denominaron B1, B2 y B3. Adicionalmente, la distribución de frecuencia por morfogrupo muestra la ocurrencia de los morfotipos a lo largo de las dos secciones estudiadas (Fig. 4). En estos, se exhiben los morfogrupos Cónico, Biconvexo y Aplanado-elongado como formas predominantes dentro del conjunto fósil reconocido, en el que la abundancia es constantemente alta, mientras que el morfotipo Miliolino es escasamente reconocido. Particularmente, una mayor ocurrencia de los morfogrupos Biumbilicado Redondeado y Plano convexo, parece delimitar las unidades B2 y B3, mientras que las formas Cilíndricas y Esférico/Ovoidales, alcanzan sus máximos porcentajes en la unidad B1.

Definición de Biofacies

Biofacies I (B1):

Delimitada por una máxima abundancia de los morfogrupos Biconvexo, esférico/ovoidal y cilíndrico. Las especies

bénticas que definen esta Biofacies son: *Sphaeroidina bulloides*, *Cyclamina cancellata*, *Rectuvigerina lamellata* y *Chilostomella oolina*.

Otros miembros importantes y abundantes que caracterizan este conjunto son: *Chilostomella oolina*, *Uvigerina peregrina*, *Lenticulina iota*, *Lenticulina calcar* y *Sigmoilopsis schlumbergeri*. La fracción arena promedio es de 0,60%, mientras que el porcentaje promedio de especies plánticas es de 69,2 %. Las especies dominantes son de ambientes Batial superior a medio (181 - 1417m.) (Murray, 1991; Morkhoven *et al.*, 1986).

Biofacies II (B2):

Se delimita por el morfogrupo esférico/ovoidal y la máxima abundancia del morfogrupo biumbilicado redondeado, y desaparición de los morfogrupos esférico/ovoidal y cónico-aplanado. Las especies características de esta biofacies son *Plectofrondicularia floridana*, *Bulimina marginata* y *Globocassidulina subglobosa*, mientras que las especies con mayor abundancia son: *Brizalina subaenariensis*, *Globobulimina sp.*, *Uvigerina peregrina*, *Lenticulina iota* y *Cibicides miocenica*.

La fracción arena promedio de esta biofacies varía entre 0,72% hasta 22% hacia el tope de este conjunto, mientras que el porcentaje de especies plánticas disminuye de 26% (promedio Biofacies I) a 20%, culminando en el tope con un 9%. Las especies bénticas dominantes ubican ambientes desde nerítico medio hasta batial superior (105 a 1109 m) (Murray, 1991; Morkhoven *et al.*, 1986).

La descripción de este intervalo indica un período de transición, el cual debido a la presencia de fauna característica de distintas profundidades y al aumento de la fracción clástica, infiere una somerización abrupta en la secuencia o la presencia de corrientes de surgencia que alteran los patrones de microhábitats observados.

Biofacies III (B3):

Definida por una mayor abundancia de los morfogrupos plano-convexo y cónico-aplanado. Las especies determinantes de esta Biofacies son: *Hanzawaia concentrica*, *Planulina marialana*, *Buliminella elegantissima*, *Fursenkoina pontoni*, *Elphidium poeyanum*, *Amphistegina lessonii*, y *Nonion sp.*; mientras que otros miembros importantes de esta biofacies son: *Uvigerina peregrina*, *Lenticulina iota*, *Lenticulina calcar*, *Ammonia becarii*, *Brizalina subaenariensis*, y *Hanzawaia cf. ammophila*.

Hacia el tope se observa una abundancia del conjunto conformado por las especies *Buliminella elegantissima* y

Tabla 1. Agrupación de especies de foraminíferos béticos de acuerdo al aspecto geométrico de la concha.

Plano convexo	Biconvexo	Biumbilicado redondeado	Cilíndrico
Hanzawaia concentrica Planulina ariminensis Cibicoides sp. Ammonia tépida Hanzawaia cf. ammophila Planulina mexicana Gyroidinoides altiformis Cibicorbis herricky Gyroidinoides sp. Gyroidinoides cf. Venezuelana	Lenticulina iota Lenticulina calcar Lenticulina cf. americana Amphistegina lesonii Cibicoides robertsonianus Cibicides floridanus Cibicides umbonatus Cyclamina cancellata Cibicides miocénica Elphidium poeyanum	Nonion sp. Nonionella opima Saracenaria itálica Saracenaria toddae Saracenaria latifrons	Rectuvigerina lamellata Dentalina cf. communis Marginulinopsis nana Clavulina difformis Amphycorina sublineata
Cónico	Cónico-aplanado	Esférico/ovoidal	Miliolina
Gaudryna sp. Uvigerina peregrina Bulimina marginata Bulimina striata Bulimina aculeata Bulimina alazanensis Fursenkoina pontoni Buliminella elegantissima	Textularia bermudezi Textularia pseudogramen Bolivina imporcata Plectofrondicularia floridanus Brizalina subaenariensis Brizalina cf. furcata Bolivina spathulata Brizalina barbata Textularia aglutinans	Sphaeroidina bulloides Globobulimina sp. Chilostomella ovoidea Lernela inflata Globocassidulina subglobosa	Pyrgo lucernula Sigmoidopsis schlumbergeri

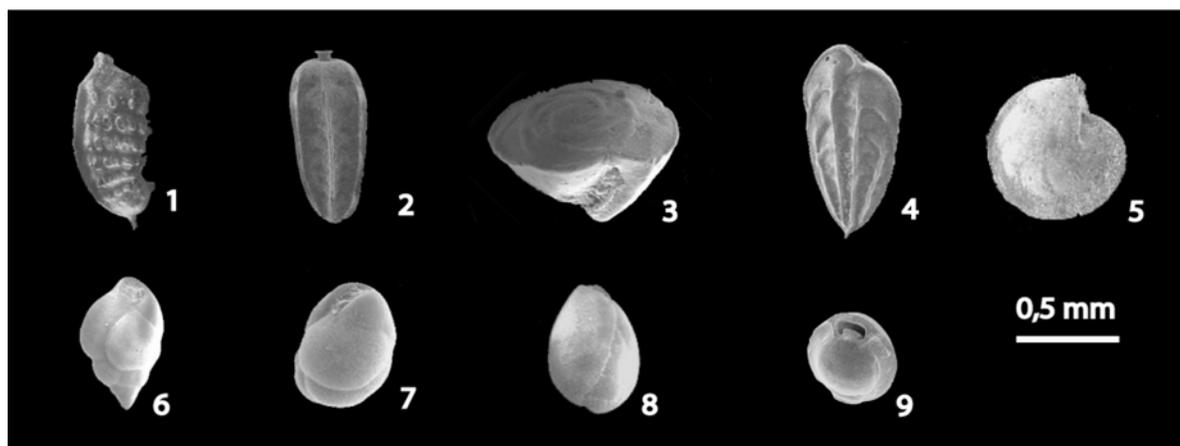


Figura 2. 1. Morfogruppo biumbilicado redondeado: *Marginulinopsis* sp. (A.)
2. Morfogruppo cilíndrico: *Rectuvigerina lamellata* (Cushman)
3. Morfogruppo Plano-convexo: *Gyroidina altiformis* (Stewart and Stewart)
4. Morfogruppo Aplanado-elongado: *Brizalina subaenariensis* (Cushman)
5. Morfogruppo Biconvexo: *Lenticulina iota* (Cushman)
6. Morfogruppo Cónico: *Bulimina marginata* (d'Orbigny)
7. Morfogruppo esférico/ovoidal: *Globocassidulina subglobosa* (Brady)
8. Morfogruppo esférico/ovoidal: *Globobulimina cf. pacifica* (Cushman)
9. Morfogruppo Miliolino: *Pyrgo* sp. (A.).
(Cortesía de Pérez)

Amphistegina lesonii, el cual se asocia a ambientes arrecifales (Javaux *et al.*, 2003).

Los datos obtenidos exhiben una fracción arena promedio para esta biofacies de 17% aproximadamente, y el porcentaje de especies pláncicas es de 7%. Los ambientes de esta biofacies, en base a las especies dominantes, se encuentran estrictamente en la plataforma interna (0 a 60 m. de profundidad) (Murray, 1991; Morkhoven *et al.*, 1986).

Marco Diagénético Ambiental

La secuencia ambiental diagenética se describe partiendo de condiciones marino-freáticas, con poca circulación, en el cual el movimiento del agua es relativamente bajo y la cementación raramente ocurre debido a la ausencia de oleaje y mareas que la restringen y favorecen los procesos de micritización. Esta ausencia de energía se debe posiblemente al margen de arrecife, donde estos actúan como una obstrucción vertical (Longman, 1982).

Al subir en secuencia, se observa un cambio a condiciones freático-meteoricas, donde una posterior circulación activa del agua (Longman, 1982), determina lixiviación de conchas de moluscos principalmente con la consecuente saturación de los fluidos en calcita. En ésta se evidencia la precipitación de cementos calcíticos con desarrollo desde el borde de la cavidad poral hacia el centro (desarrollo de cementos isópacos, radiaxiales y equigranulares), además de la aparición de neomorfismos de inversión homo y heteroaxial rellenando el espacio ocupado por el agua saturada en calcita. Igualmente se produce abundante recristalización de la matriz micrítica adquiriendo una estructura de pseudoespato.

El alto porcentaje de porosidad móldica observado hacia el tope de la secuencia, se debe a fluidos sobre la mesa de agua (zona vadosa), donde estos siguen actuando como factor de disolución hasta su posterior saturación en calcita. Longman (1982) puntualiza que estos fluidos insaturados pueden generar este tipo de porosidad asociada a la zona vadosa en condiciones freáticas meteoricas cercanas a la mesa de agua. Es importante denotar la ausencia de cementos típicos de ambientes vadados, pero la precipitación de facies «hard pand» (caliche) observada en campo, define la culminación de la secuencia en un ambiente expuesto de tipo vadoso.

Modelo Ambiental de Mezcla

La secuencia asociada al miembro superior, se relaciona a dos tipos distintos de procesos de mezclas establecidas por Mount (1984): proceso de mezcla puntual e «in situ», siendo estos modificados para así adecuarlos al contexto tectónico de la península de Araya para el Neógeno.

El proceso de mezcla puntual, el cual Mount (1984) lo define como caracterizado por influjo de sedimentos siliciclásticos eventuales asociado a tormentas y oleaje, que en el caso de la península de Araya se relaciona conjuntamente a procesos tectónicos eventuales que según Giraldo & Beltrán (1988) y Pindell & Kennan (2001) son considerados como un desencadenamiento compresivo Plioceno ocurrido a lo largo de la península.

Este modelo asocia dos fuentes, la primera de ellas relacionada a la presencia de una fuente carbonática, la cual puede ubicarse en el cerro Barrigón. La segunda, se constituye por el basamento metamórfico alóctono, observado actualmente como el macizo adyacente a la zona de estudio. Esto se evidencia por la abundancia de fragmentos de rocas y cuarzos mono y policristalinos metamórficos (Figs. 5A y 5B), que asocian a este macizo como la fuente siliciclástica.

La creación de estos sedimentos de mezcla, se asocia a la erosión de cinturones costeros y llanuras de mareas, los cuales son depositados en ambientes de marea baja, inferior al tren de olas (Figs. 5A y 5B). Según este modelo, las comunidades bénticas pueden llegar a ser estables, debido a los eventos esporádicos de deposición de siliciclásticos, recuperándose esta contaminación en los períodos de quietud.

En el marco de la península de Araya, la presencia de algas observadas (*Lytrophyllum*) (Figs. 5C y 5D) favorecen la mezcla con sedimentos siliciclásticos finos, ya que poseen cierta habilidad de atrapar material clástico, conduciendo a la formación de carbonatos de mezcla.

Este proceso según Mount (1984) se asocia a zonas de marea baja, ambientes dominados por lodos terrígenos y de alta productividad orgánica, donde las algas coralináceas pueden atrapar sedimentos y producir carbonato de calcio de precipitación (Zapata, 1998). En concordancia con Zapata el proceso de mezcla «in situ», se propone como segundo proceso de mezcla ocurrido simultáneamente al anterior, en que los carbonatos pertenecientes a estas asociaciones son representados por organismos autóctonos y parautóctonos, los cuales se mezclan a través de organismos bioturbadores o por débiles mareas.

A lo largo de la secuencia de la Formación Cubagua, se evidencia la actuación de ambos procesos de mezcla, que exhibe una mayor actuación de la mezcla «in situ» hacia el tope a diferencia de la mezcla puntual, la cual predomina hacia la base del miembro superior.

DISCUSIÓN

Las características del medio en que habitan los organismos descritos anteriormente, son derivadas de la interacción

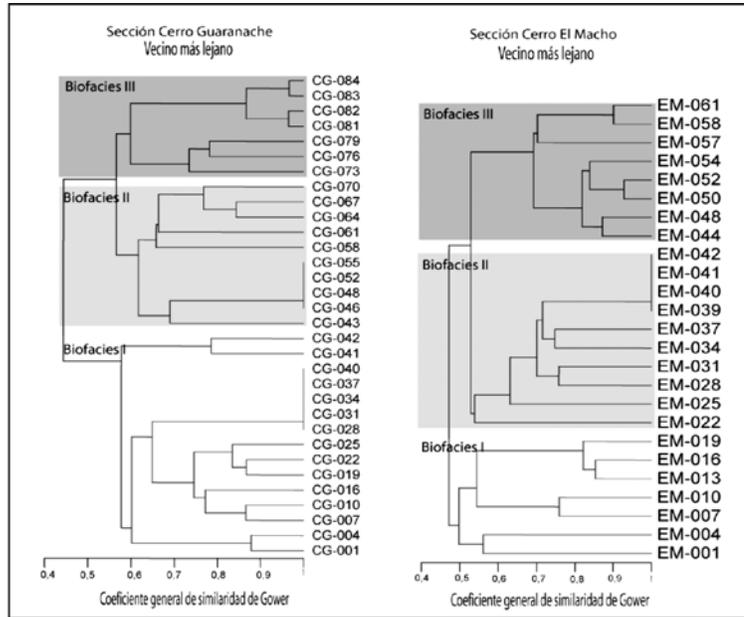


Figura 3. Dendrogramas resultantes del análisis de agrupación basado en los datos de distribución de frecuencia de los morfotipos identificados en las secciones: Cerro El Macho y Cerro Guaranache.

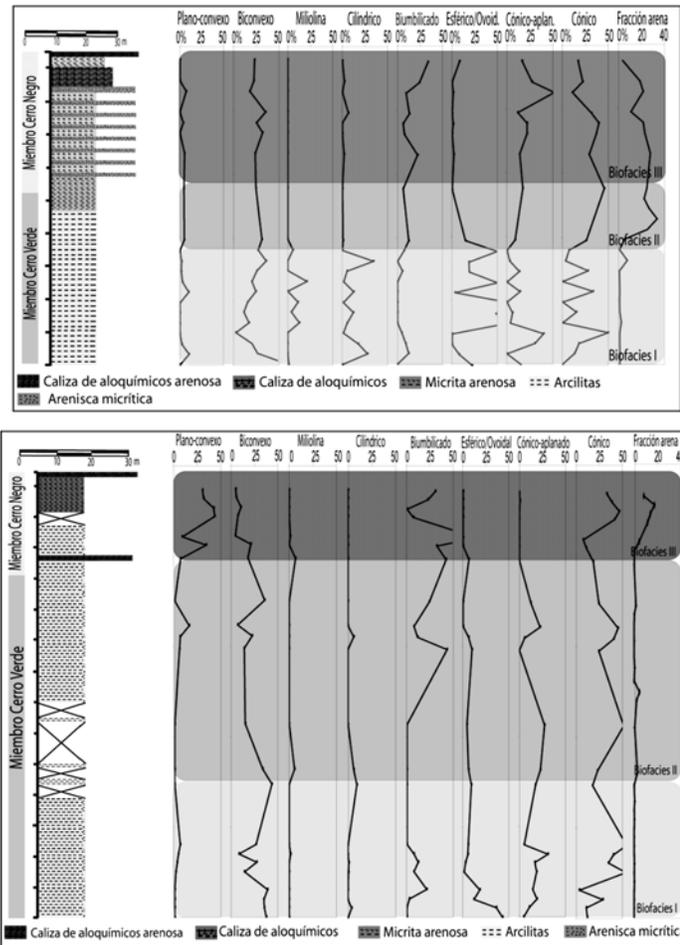


Figura 4. Extensión de los tres intervalos estratigráficos correlacionables definidos por el análisis cluster en las secciones de Cerro El Macho y Cerro Guaranache junto a la abundancia de los morfogrupos en cada uno de ellos.

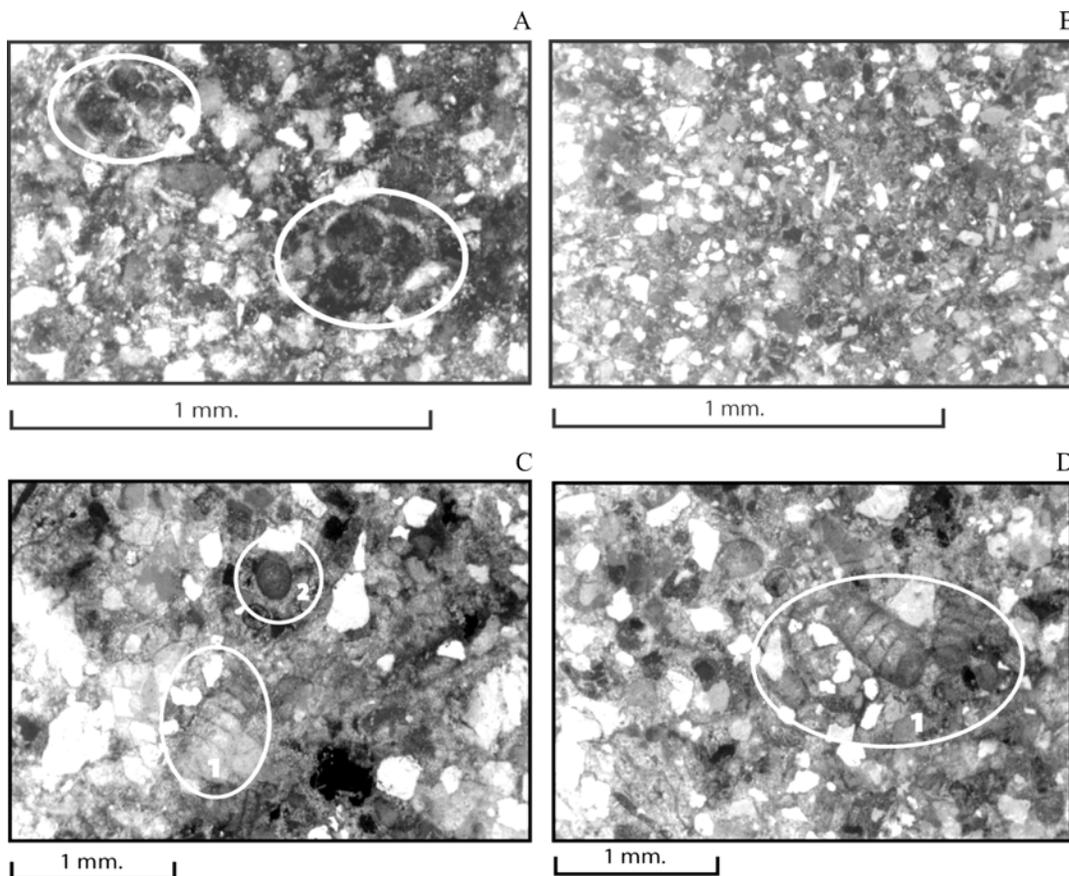


Figura 5. A y B: Presencia de una matriz micrítica, con abundante fauna de foraminíferos y una predominancia de cuarzos metamórficos monocristalinos con un escogimiento muy pobre y un grado de redondez subangular. Ocular 12,5x, objetivo 4/_{0,25}, nícoles cruzados, muestras EM- 049 (izquierda) y EM-055 (derecha). C y D: abundantes algas rojas (*Litophyllum*) (1) y bioturbaciones de organismos (2), ambos micritizados. Ocular 12,5x, objetivo 10/_{0,25}, nícoles cruzados, muestras EM- 049 (izquierda) y EM-060 (derecha).

entre las condiciones particulares que requiere cada especie. Por consiguiente, cada organismo se adapta a distintas condiciones. Siendo éstas las mismas que controlan la depositación de la Formación Cubagua.

La termoclina puede llegar a mayor o menor profundidad dependiendo de los procesos de surgencia «*upwelling*», los cuales son causantes de la variación en la profundidad de esta capa y por consiguiente, de la abundancia de vida en el medio. Kameo (2002), puntualiza que para el sur del Caribe en el Plioceno (3,1 millones de años), la termoclina disminuyó y las condiciones de las aguas más superficiales comenzaron a ser oligotróficas, ocurriendo como resultado del cierre del istmo de Panamá. Estévez *et al.*, (2003) evidencian este cambio a partir de variaciones estacionales de los isótopos de O₁₈ a partir de cambios en los patrones de circulación oceánica producto de la corriente nor-ecuatorial hacia la región sureste del Caribe.

En la zona de estudio, este fenómeno se evidencia a partir de la aparición de morfotipos típicos de aguas profundas presentes en aguas plataformales, además del reporte de la especie *Globigerina bulloides* a lo largo de la secuencia

Plio-Pleistocena (Padrón, 1991 y Fernandes, 2004). Esta especie según Keller (1978) y Black *et al.*, (1999), es un índice eficiente de bajas temperaturas. La *Globigerina bulloides*, junto a especies pláncicas de aguas cálidas (*Gr. menardii menardii*) certifican la actuación de corrientes de surgencia en el Neógeno de la península de Araya (Fernandes, 2004.).

Biofacies I (B1):

El morfogrupo biconvexo, en las dos secciones estudiadas, posee una abundancia relativa a lo largo de toda la sección. Corliss y Foiss (1991) y Corliss y Chen (1988), dentro de sus estudios en el Golfo de México y mar de Noruega, respectivamente, definen a los morfogrupos biconvexos como dominantes en aguas profundas. Corliss y Chen (1988); Corliss y Foiss (1991) y Corliss (1985), plantean que las formas biconvexas y plano-convexas, son inferidas como ventajosas para adherirse sobre la interfase agua-sedimento o para la estabilidad en el viaje sobre o cerca de la superficie.

Severin (1983), observó integrantes del morfogrupo cilíndrico con relativa abundancia en ambientes de bahías (ambiente de baja energía). Corliss y Foiss (1991) reportan

valores altos de este morfogrupo a altas profundidades. Douglas (1981) en Bernhard (1986) y Kaiho (1991) definen que esta clase de morfología es típica de sedimentos anóxicos laminados ($<0,1 \text{ ml/L O}_2$). Lipps (1975) en Haynes (1981) plantea un grupo de alimentadores en suspensión, caracterizados por caracteres morfológicos tubulares y erectos, encajados al piso oceánico o embebidos al substrato, desprendiendo sus pseudópodos en la columna de agua. Dichos organismos son caracterizados como comunes en condiciones tranquilas, como en las llanuras abisales.

Bernhard (1986), define las formas esférico/ovoidales con suficientes poros y paredes delgadas sin ornamentación, como pertenecientes a condiciones normales de conjuntos anaeróbicos, debido al escaso aporte de carbonato. Estas condiciones son explicadas por estudios realizados a géneros (*Chilostomella*) representantes de este morfogrupo. Mullineaux y Lohmann (1981), definen su abundancia con la culminación de las condiciones anóxicas. Taxas que se incluyen en este morfogrupo, fueron usados como indicadores de antiguos fondos que reflejan una proporcionalidad con el contenido de carbón orgánico de los sedimentos (Rathburn y Corliss, 1994; Kaiho 1991 y Kaiho, 1999).

Biofacies II (B2):

El morfogrupo biumbilicado redondeado es reportado por Corliss y Chen (1988), en el mar de Noruega, con alta abundancia en los primeros 100 m de profundidad. Mientras que Corliss y Fois (1991) lo definen en el golfo de México con un gran dominio en aguas someras. En concordancia con lo antes expuesto, Severin (1983) plantea que las formas simétricas redondeadas tienden a encontrarse en aguas salobres, además de que Bernhard (1986) lo asocia con condiciones de alta oxigenación. Este morfogrupo es típico de condiciones de alta energía. Por consiguiente, la presencia de este grupo está relacionado con una alta oxigenación y baja profundidad, posiblemente perteneciente a ambientes de plataforma.

Biofacies III (B3):

El grupo plano-convexo se adapta a condiciones someras con alta energía. Severin (1983); Corliss y Chen (1988) y Corliss y Foiss, (1991) plantean un morfogrupo plano-convexo, con una disminución en la abundancia hacia la base, donde son ventajosas para adherirse a la interfase agua-sedimento durante momentos de turbulencia de fondo, por lo tanto el lado adherente de la concha adopta la forma del fondo. Hallock y Glen (1986) plantean un grado de aplanamiento bajo el nivel de las olas como indicativo de turbidez del agua. Por lo tanto, son comunes en microhabitats protegidos por el margen de arrecife. Severin (op. cit.) define que el incremento en la asimetría de la concha en aguas profundas, puede estar relacionado con la turbulencia del medio, al igual que factores bióticos como la bioturbación.

Bernhard (1986) en Kaiho (1991), define el conjunto plano-convexo como representante de condiciones oxigenadas ($>0,5 \text{ ml/L O}_2$).

El morfogrupo Cónico, se observa como representativo de ambientes con bajas condiciones de oxigenación, baja temperatura y por consiguiente baja energía, correspondiendo con ambientes de altas profundidades, a diferencia de lo observado en los datos obtenidos de este estudio. Severin (1983) y Corliss y Foiss (1991) plantean que el grupo Cónico muestra un incremento proporcional de la abundancia con la profundidad, definiéndolo como ausente en bahías y abundante a profundidades mayores. Bernhard, (1986) y Douglas, (1981) en Kaiho (1991) exponen que sedimentos de baja oxigenación laminados ($<0,1 \text{ ml/L O}_2$) son habitados en parte por esta morfología de alta porosidad.

Kitazato (1984) establece dos capas en los sedimentos, una floculante definida por Sander (1960) en Kitazato (1984), con partículas constituidas por otras partículas dispersas a lo largo de la capa. La cantidad de detrito y bacterias decrece infrayacentemente hasta una capa llamada «capa histórica». Por lo general, especies de foraminíferos béticos viven en la capa flocular, pero ciertos individuos se mueven libremente hasta la capa inferior. En concordancia, Rathburn y Corliss (1994) en sus estudios en el mar de Sulu, observan que los valores de carbón orgánico aumentan con la profundidad en el substrato. Dicho patrón de valores en los sedimentos puede ser esperado por un rápido enterramiento preservando una matriz orgánica a profundidad.

Los mismos autores, a partir de estudios de especies representativas de este morfogrupo, ubican estas formas como típicas de profundidades mayores a los 5 cm de sedimento (Infaunales profundos). Mendes *et al.*, 2004 estudian diversas especies tolerantes a deficiencia de oxígeno asociado al alto contenido de carbón orgánico en la plataforma portuguesa (Van der Zwaan *et al.*, 1999 en Mendes *et al.*, 2004). Dichos autores observaron los géneros relacionados al morfotipo cónico y cónico-aplanado, ubicados en la plataforma continental. La presencia de ciertos géneros adaptados a sedimentos ricos en materia orgánica y baja oxigenación en la plataforma media-externa de sedimentos lodosos, puede estar influenciada por intrusiones periódicas de aguas frías relacionadas a la surgencia de corrientes oceánicas (Estévez, 2003, Kameo, 2002 y Mathieu, 1986 en Mendes *et al.*, 2004). Estas surgencias están ligadas en la Formación Cubagua al tope de la secuencia.

Por lo tanto, la distribución de morfogrupos en la plataforma continental está fuertemente influenciado por condiciones hidrodinámicas, como la cubierta vegetal, la salinidad, la temperatura, la cantidad de oxígeno y la matriz orgánica, los cuales son de importancia en la disposición batimétrica de los distintos morfogrupos. Corliss y Chen (1988); Corliss y

Foiss (1991) y Severin (1983) plantean, al igual que el morfogrupo anterior, un incremento de la abundancia proporcional a la profundidad. En concordancia, Preece *et al.*, (1999) notaron en su estudio de ambientes modernos disaeróbicos, que los conjuntos de foraminíferos aglutinados son dominados en parte por morfologías elongadas.

Bernhard (1986) plantea que el aplanamiento de la concha de las cámaras, provee mayor superficie de pared o superficie para los simbioses. De este modo, conchas delgadas y aplanadas de foraminíferos, pueden vivir a grandes profundidades que las formas gruesas y más esferoidales. De manera que para evitar el hundimiento, los foraminíferos requieren un incremento en calcio a profundidades donde este aporte es escaso, por lo cual, podría resultar una secreción de concha con un máximo de área de superficie, suficientes poros y paredes delgadas y sin ornamentación; ésta es la condición normal de conjuntos anaeróbicos. A su vez, maximiza la obtención de oxígeno con conchas ampliamente perforadas, con gran superficie área-volumen que pueden proveer una gran área para la toma de oxígeno mitocondrial, ideal para ambientes de baja oxigenación (Corliss, 1985, en Preece *et al.*, 1999; Kahio, 1991 y Corliss 1985). La abundancia de oxígeno en el tope de la secuencia, se asocia a corrientes de surgencia, a la presencia de una capa histórica favorable para la proliferación de organismos de baja oxigenación o por condiciones topográficas del substrato.

CONCLUSIONES

En el muestreo realizado en las dos secciones pertenecientes a la Formación Cubagua en la península de Araya, se obtuvieron un total de 114 especies de foraminíferos que llevaron a la determinación de biofacies, las cuales permitieron dilucidar los factores que influenciaron la

evolución paleoambiental de la Formación Cubagua al noroeste de la península de Araya (Fig. 6).

En el Mioceno Tardío (zona *Gr. acostaensis* y *Gr. humerosa*) la sedimentación del Miembro Cerro Verde se caracteriza por espesores considerables de arcilitas que indican ambientes de baja energía evidenciado por la definición de BI, la cual está compuesta principalmente por morfologías cilíndricas y esféricas/ovoidales, características de baja energía. La asociación faunal representante de estos grupos, se define principalmente por las especies *Cyclammina cancellata*, *Sphaeroidina bulloides* y *Rectuvigerina lamellata* que establecen profundidades de entre 180 a 400 m, los cuales definen la correspondencia al talud oceánico en un ambiente batial superior, cuyos rangos de salinidad oscilan en el orden de 35‰ y temperaturas entre los 6 y 14°C.

Para explicar la repentina profundización de las áreas positivas pre-Mesozoicas, se considera un importante incremento en la subsidencia. Un aumento en el nivel del mar en el orden de 100 m, que es consistente con el levantamiento mundial de este nivel registrado para comienzos del Mioceno medio (Haq *et al.* en Ysaccis, 1997), pero no puede adecuarse para explicar la repentina profundización de la cuenca a profundidades batiales. La quietud tectónica de esa época, se evidencia igualmente por la falta de deformación en los sedimentos pertenecientes al Miembro Cerro Verde de la Formación Cubagua, y por la uniformidad en los estratos para finales del Mioceno.

Para comienzos del Plioceno (zona de *Gr. margaritae margaritae*), ocurre un cambio litológico evidenciado por la B2, la cual consiste en una transición evidenciada por un aumento granulométrico hacia el tope «coarsening up» caracterizada por arcilitas con una influencia terrígena,

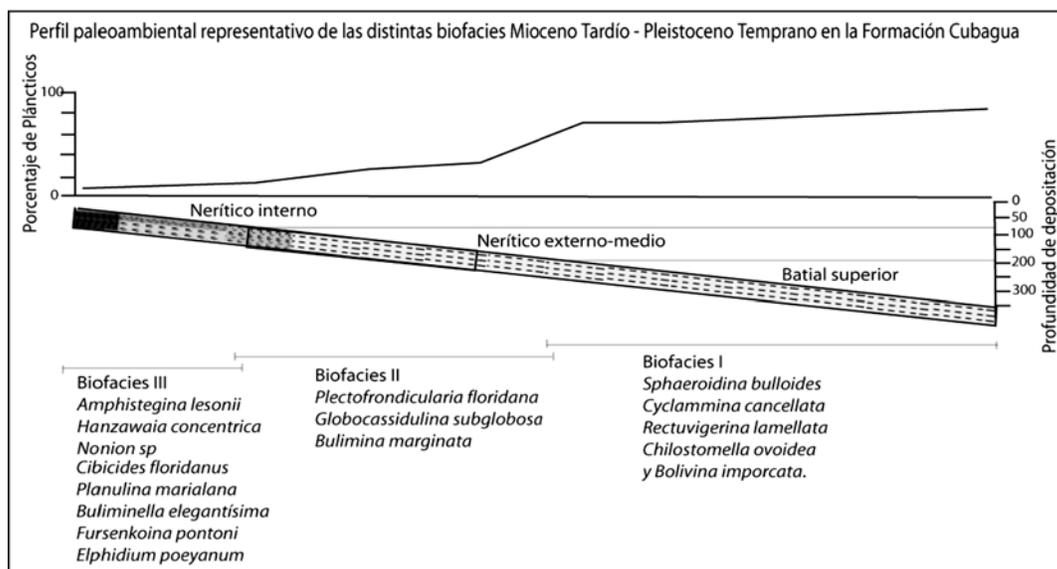


Figura 6. Perfil paleoambiental representativo de las distintas biofacies a lo largo de la secuencia de la Formación Cubagua del Mioceno Tardío-Pleistoceno Temprano.

indicando un aumento en la energía del medio pero aún perteneciente a ambientes marinos profundos. La biofacies determinada en este intervalo, indica la desaparición del morfogrupo cilíndrico y el dominio del morfogrupo esférico/ovoidal. En este conjunto se observa la desaparición de especies estenobáticas y la preservación de las euribáticas, las cuales indican una somerización de la cuenca hacia profundidades plataformales. La asociación dominante, está dada por las especies *Globocassidulina subglobosa* y *Bulimina marginata* asociadas a ambientes de plataforma externa (80 a 130 m de prof.).

Posteriormente, en el Plioceno medio- Tardío (Zona *Gr. miocenica* a *Gr. tosaensis tosaensis* Bolli *et al.*, 1985), se inicia la depositación del Miembro Cerro Negro, identificado por la aparición de intervalos carbonáticos identificados como B3. En concordancia, el estudio de Icnofósiles, permite adjudicar la presencia de *Gyrolithes* isp. (facies Skolitos), como característico de ambientes plataformales internos (Padrón *et al.*, 2000). La secuencia suprayacente, correspondiente a la zona de *Gr. truncatulinoides*, determinada por la presencia de calizas arenosas de aloquímicos. Éstas junto a las microfacies anteriores indican un proceso de mezcla simultáneo del tipo puntual e «in situ» (Mount, 1984), con ambientes diagenéticos que oscilan entre marino freático, freático meteórico y vadoso.

La abundancia de organismos constituidos principalmente por *Amphistegina lesonii* y *Buliminella elegantissima*, denota un dominio de ambiente arrecifal, el cual se adjudica a profundidades de 0 a 20 m. Es importante denotar a partir del Plioceno temprano-medio, la presencia de morfogrupos típicos de ambientes batiales en profundidades plataformales (0 a 200 m), como es el caso del principal representante del morfogrupo cónico-aplanado «flattened-tapered»: *Brizalina subaenariensis*. En concordancia, la presencia de la especie *Globigerina bulloides*, la cual según Keller (1978) y Black *et al.*, (1999) es un indicador de ambientes fríos, asociado a corrientes de surgencia en la costa nororiental de Venezuela. Kameo (2002) y Estévez *et al.*, (2003), plantean este fenómeno de surgencia al cierre del istmo de Panamá y al posterior reacomodo de las corrientes oceánicas imperantes en el Caribe, atribuyendo estos últimos a la surgencia de la corriente Nor-Ecuatorial.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo del presente trabajo fue gracias a la contribución de las siguientes instituciones: Universidad Central de Venezuela, quién cofinanció el desarrollo de esta investigación, PDVSA quién contribuyó en la elaboración de los análisis de laboratorio. Igualmente se agradece a los profesores Victor Padrón y Eglee Zapata por la ayuda prestada a este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- BANDY, O.L. (1960). General correlation of foraminiferal structure with environment. Int. Geol. Congress, 21°, Copenhagen, (22), p.p. 7-19.
- BERNHARD, J. (1986). Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic organic rich deposits: Jurassic through Holocene. Journal of Foraminiferal Research, 16(3), p.p. 207-215.
- BLACK, D.E., PETERSON, L.C., OVERPECK, J.T., KAPLAN, A., EVANS, M.N. Y KASHGARIAN, M. (1999). Eight centuries of North Atlantic Ocean atmosphere variability, Science. (8). 286, p.p. 1709-1713.
- BOLLI, H. M., SAUNDERS, J. B. Y PERCH-NIELSEN, K. (1985). Plankton stratigraphy, Vol I, Cambridge university press. Inglaterra, p. 590.
- CHAMMEY, T.P., 1976. Foraminiferal morphogroup symbol for paleoenvironmental interpretation of drill cutting samples: Artic America, Albian continental margin: Maritime Sediments, Special Publication 1B, p. 585-624.
- CORLISS, B. (1985). Microhábitat of benthic foraminifera within deep-sea sediments. Nature, Vol. 314, p. 435-438.
- CORLISS, B. & CHEN, C. (1988). Morphotype patterns of Norwegian sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. Geology, 16, p.p 716-719.
- CORLISS, B.H. & FOIS, E. (1991). Morphotype analysis of deep-sea benthic foraminifera from the north-west atlantic ocean. Marine micropaleontology, (17), p.p .195-236.
- DOUGLAS, R.G. (1981). Paleocology of continental margin basins. A modern case history from the borderland of southern california, in: R.G. Douglas, I.P. Colburn and D.S. Corsline (editores). Depositional systems of active continental margins basins. Short courses notes, S.E.P.M., Pac. Sct., San Francisco, p.p.321-331.
- ESTÉVEZ, J., VONHOF, H. B., VAN HINTE, J. E., TROELSTRA S. R. & KRON D. (2003). Late Cenozoic seasonal circulation patterns in the caribbean sea. EGS - AGU - EUG Joint Assembly. Geophysical Research Abstracts, Vol. 5: EAE03-A-05526.
- FERNANDES, J. (2004). Estratigrafía de la Formación Cubagua en la zona noroccidental de la península de Araya.. Trabajo especial de grado, no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, p.134.
- GIRALDO, C. Y BELTRAN, C. (1988). Tectónica Cuaternaria asociada a la falla de Laguna Grande, península de Araya

- (Edo. Sucre) y campo de esfuerzo. *Geos*, Num. 29, p.p. 195-204.
- HALLOCK, P. & GLENN, C. (1986). Larger foraminifera: A tool for palaeoenvironmental análisis of Cenozoic carbonate depositional facies. *Palaios*, Vol. 1, p. 55-64.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R., (1986). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, Num. 235, p.p. 1156-1167.
- HAYNES, R. (1981). *Foraminifera*. 1era edic. Academic press, London. 870 p.
- KAIHO, K. (1991). Global changes of Paleogene aerobic/ anaerobic benthic foraminifera and deep sea circulation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Num. 83, p.p. 65-83.
- KAIHO, K. (1999). Effect of organic carbon flux and dissolved oxygen on the benthic foraminiferal oxygen index (BFOI). *Marine micropaleontology*, Num. 37, p.p. 67-76.
- KAMEO, K. (2002). Late Pliocene Caribbean surface water dynamics and climatic changes based on calcareous nannofossil records. *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, Num. 179, p.p. 211-226.
- KELLER, G. (1978). Late Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironment of the northeastern pacific evidence from D.S.D.P. sites 173 and 310 at the north pacific front. *Journal of Foraminiferal Research*, Vol. 8, Num. 4, p.p. 332-349.
- KITAZATO, H. (1984). Microhabitats of benthic foraminifera and their application to fossil assemblages. *Benthos '83*, Sec. int. Symp. Benthic Foraminifera, p.p. 339-344.
- LIPPS, J. H. (1975). The year in review. *Micropaleontology*, *Geotimes*, Num. 23, p. 39-40.
- LONGMAN, MARK. (1982). Carbonate diagenesis as a control on stratigraphic traps (with examples from the Williston basin). AAPG Educ course note series #21. Colorado, p. 159.
- MATHIEU, R., (1986). *Sédiments et Foraminifères actuels de la marge continentale Atlantique du Maroc*. Thèse de Doctorat d'Etat des Sciences Naturelles. Université Pierre et Marie Curie, p. 420.
- MENDES, I, GONZALEZ, J. M., DIAS, F., LOBO, V. & MARTINS, C. (2004). Factors influencing recent benthic foraminifera distribution on the Guadiana shelf (southwestern Iberia). *Marine Micropaleontology*, (51), p.p. 171-192.
- MORKHOVEN, F., BERGGREN, W. & EDWARDS, A. (1986). Cenozoic cosmopolitan deep-water benthic foraminifera. *Elf-Aquitaine*, p. 421.
- MOUNT, J. (1984). Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. *Sedimentology*, (32), p.p. 435-442.
- MULLINEAUX, L. & LOHMAN, G. (1981). Late Quaternary stagnations and recirculation of the eastern mediterranean: changes in the deep water recorded by fossil benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 11(1), p.p. 20-39.
- MURRAY, J. (1991). Ecology and Paleocology of benthic foraminifera. 1^{era} Edic., Longman scientific and technical, New Cork, p. 289.
- PINDELL, J. & KENNAN, L. (2001). Processes and events in the terrane assembly of Trinidad and Eastern Venezuela. [Resumen en línea]. Disponible. Tectonicanalysis.com [Consulta: 2004, Mayo12].
- PREECE, R. C., KAMISNKI, M. A., DIGNES, T. W. (1999). Miocene benthonic foraminiferal morphogroups in an oxygen minimum zone, offshore Cabinda. The oil and gas habitats of the south atlantic. *Geolog. Soc., Spec. Pub.*, (153), p.p. 267-282.
- RATHBURN, A. & CORLISS, B. (1994). The ecology of living (stained) deep sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. *Paleoenvironment*, 9(11), p.p. 87-150.
- SANDERS (1960). Benthic studies in Buzzards Bay III, the structure of the soft-bottom. *Community-limnology and Oceanography*, (5), p.p. 138-153.
- SEVERIN, K. (1983). Test morphology of benthic foraminifera as a discriminator of biofacies. *Marine Micropaleontology*, (8), p.p. 65-76.
- VAN DER ZWAAN, G. L., DULINSTE, I. A., DULIK, M., ERNS, S. R., JAMNIK, N. T. & KOUWENHOVEN, T. J. (1999). Benthic foraminifera proxies or problems?. A review of paleoecological concepts. *Earth-sciences. Review* 45, p.p. 213-236.
- YACCIS, R. (1997). Tertiary evolution of the northeastern Venezuela offshore. *Univ. Rice, Texas*. p. 285.
- ZAPATA, E. (1998). Definición de facies petrográficas en litotipos de mezcla de las formaciones Cubagua y Tortuga, Araya Edo. Sucre. Aplicación de un sistema de clasificación. Trabajo de Acenso. no publicado. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. p. 66.