

Información oceanográfica suministrada por los Foraminíferos del Cuaternario terminal de la plataforma del Pacífico Colombiano

Oceanographic information provided by late Quaternary foraminifers from the Colombian Pacific shelf

A. Pascual (*) y M. Pujos (**)

(*) Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias. Dpto. Estratigrafía y Paleontología. Apdo. 644, 48080 Bilbao.

(**) Université de Bordeaux I. Département de Géologie et Océanographie. Avenue des Facultés 33450 Talence.

ABSTRACT

The study of five Holocene sedimentary cores from the continental shelf of Colombia (Central East Pacific) allowed us to identify 89 species of benthic foraminifers. Two main foraminiferal assemblages have been distinguished. An assemblage, dominated by the cold-water species *Brizalina subaenariensis*, *Uvigerina peregrina*, *Globocassidulina subgobosa*, *Bolivina alata* and *Bulimina gibba* is well developed between Curiche and Cupica Bay, in a water depth less than 60 m. This assemblage is characteristic of low oxygen and high organic carbon waters, possibly caused by upwelling. Southwards, from Baudo till Buenaventura locations, a second benthic foraminiferal assemblage occurs at 20 m depth, with the species *Hanzawaia concentrica* and *Nonionella atlantica*, that appear only on core top samples of this area. The absence of microfauna, as well as the presence of abundant gypsum (desert rose) in the basal portion of these cores, suggest a change from open marine conditions to restricted lagoon paleoenvironment.

Key words: benthic foraminifera, upwelling, paleoceanography, Holocene, Pacific Continental shelf, Colombia.

Geogaceta, 29 (2001), 87-90
ISSN: 0213683X

Introducción

Colombia ocupa una situación geográfica original ligada a la convergencia de cinco placas litosféricas: Cocos, Nazca, Caribe, Sudamérica y la miniplaca continental denominada Bloque Andino. Se trata de un límite activo caracterizado por una subducción oblicua de la placa de Nazca bajo el bloque Andino, desarrollándose una importante fosa: la de Ecuador-Colombia (Pennington, 1981). La plataforma de la fachada pacífica de Colombia, se instala en un margen activo, parte del cinturón orogénico circum-Pacífico. El antepaís, dominado por la cadena de los Andes, está sometido a un clima ecuatorial extremadamente lluvioso (>8 m/año) y a elevadas temperaturas (25° C todo el año a nivel del mar). La plataforma es estrecha: su anchura es mínima en sus dos extremos (4,5 km) y máxima alrededor de la bahía de Buenaventura (40 km), con pendientes generalmente muy fuertes, del 0,25 al 5% (Pujos *et al*, 1995). Al norte de Cupica, un importante sector en subsidencia tectónica (posible prolon-

gamiento de una estructura en graben en dominio continental) alarga la plataforma, aumentando su profundidad (Mirmand, 1988). La plataforma interna es más ancha al sur del Cabo Corrientes, zona que constituye el límite entre las formaciones del arco volcánico de Baudo, al norte, y los sedimentos recientes de la plataforma costera, al Sur.

Esta plataforma está esencialmente cubierta por facies que reflejan los aportes fluviales de un antepaís andino, donde solamente la cobertera vegetal limita en gran medida la inmensa erosión (Pujos *et al*, 1995). Los limos se acumulan preferentemente en zonas paralelas a la costa, las arenas actuales en la plataforma interna y las arenas relictas en la plataforma externa (Fig.1). Las arenas limosas, muy abundantes, son el resultado de la superposición de arenas relictas y limos actuales. Las arenas y arenas limosas carbonatadas biogénicas, que cubren los altos fondos de la plataforma externa (isla Gorgona, alto fondo central y Bajo Colombia), son heredadas de una paleotanatoceosis de tipo arrecifal (Pujos *et al*, 1995).

Los elementos terrígenos suministrados por los ríos están sometidos a una dinámica costera de energía moderada, inducida por una deriva litoral dirigida hacia el norte. Los materiales más finos son expulsados hacia la plataforma y dirigidos hacia el norte por la corriente de Colombia (Pujos *et al*, 1995).

En esta plataforma marina, situada en un país intertropical donde se registra abundante erosión, se ha llevado a cabo un estudio micropaleontológico con el fin de conocer la distribución de los foraminíferos bentónicos tanto en la actualidad como a lo largo del Holoceno terminal, contribuyendo con ello al mejor conocimiento de la dinámica sedimentaria.

Antecedentes

Han sido numerosos los trabajos sobre foraminíferos llevados a cabo en áreas cercanas al Pacífico colombiano. Así Bandy y Arnal (1957) estudiaron la distribución de dichos organismos en la plataforma desde México a Panamá y Golik y Phleger (1977) los del Golfo de Pana-

má. Smith (1963, 1964), estudia la ecología de los foraminíferos recientes en El Salvador, Guzman *et al.* (1987) los asociados a arrecifes de coral del Pacífico de Costa Rica y Boltovskoy y Gulancanay (1975) los de Ecuador. Son sin embargo escasas las citas sobre el Pacífico colombiano, así Bandy y Rodolfo (1964) en un trabajo llevado a cabo sobre foraminíferos de Chile y Perú nombra algunas microfauas de Colombia y Ecuador.

Desde el punto de vista de la biogeografía, el Pacífico colombiano pertenece a la provincia Panameña (Boltovskoy y Wright, 1976; Crouch y Poag, 1987) caracterizada por microfauas de aguas cálidas. Sin embargo, se encuentra muy influenciada por la corriente fresca de Perú - Chile (corriente de Humboldt), que aporta a la zona diferente microfaua de esa provincia (Murray, 1991).

Metodología

Se han estudiado cinco testigos sedimentarios (Fig.1) de una potencia máxima de 190 cm, extraídos por la Universidad de Bordeaux I mediante un perforador modelo "Kullenberg core". Estos fueron cortados cada 2,5 cm, analizándose la fracción mayor de 63 µm, obteniéndose 300 foraminíferos bentónicos para el estudio taxonómico, o en su defecto el contenido total de la microfaua. Se calcularon además, diversos índices de riqueza y diversidad: nF (número de foraminíferos bentónicos en 1 gr de sedimento seco), S (número de especies por muestra), índice α de Fisher (relación entre el número de individuos y especies por muestra), índice de oceanidad (foraminíferos planctónicos dividido por el total de foraminíferos; Murray, 1976).

Resultados

Testigo T-2.

De 80 cm de potencia, fue extraído a 60 m de profundidad en la coordenadas 6° 55'N -77° 43'W. En él se observa un sedimento homogéneo formado por limo terrígeno de color marrón, donde han sido identificadas 51 especies de foraminíferos bentónicos, teniendo el 99% de los individuos caparazón hialino. Las especies más abundantes, a lo largo de todo el testigo, son (Tabla 1): *Bolivina alata*, *Brizalina spathulata*, *Brizalina subaenariensis*, *Bulimina gibba*, *Hanzawaia concentrica* y *Uvigerina peregrina*. Los índices de diversidad son elevados. Así el índice nF es superior a 4500 llegando a alcanzar los 103000 en el nivel de 15 cm. El número

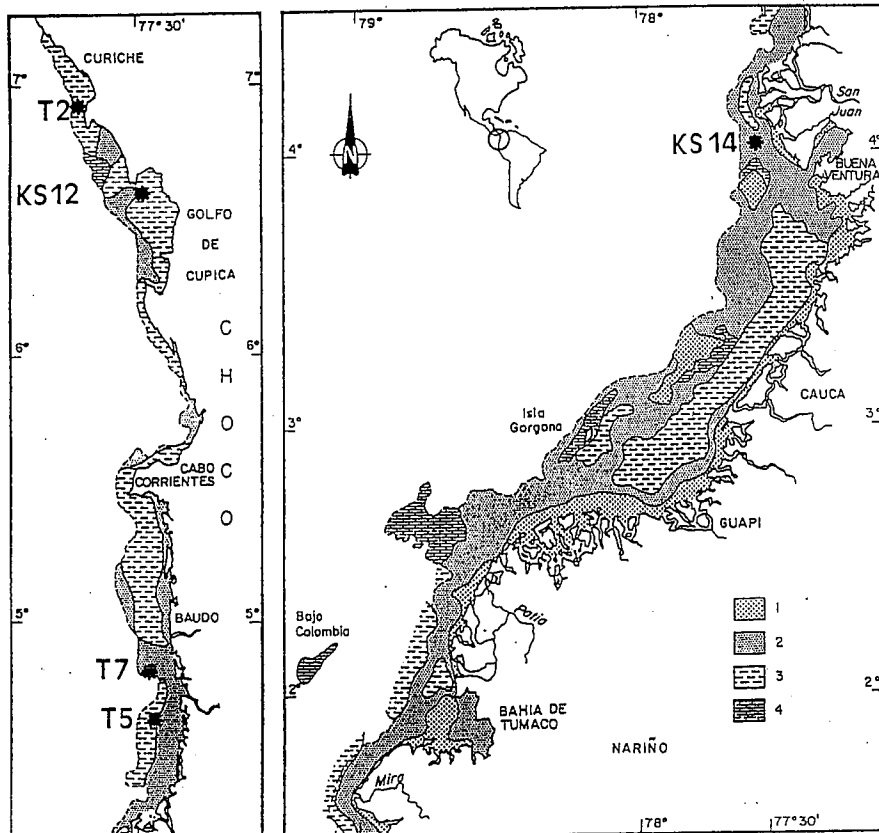


Figura 1.- Localización del área de estudio y repartición de las facies sedimentarias en la plataforma continental Pacifica. 1. Arenas terrígenas; 2. Arenas limosas terrígenas; 3. Limos; 4. Arenas carbonatadas y arenas biogénicas.

Figure 1.- Location of the studied area and sediment distribution of Colombian Pacific shelf. 1. Sands; 2. Muddy sands; 3. Muds; 4. Carbonate sands and biogenic sands.

ro de especies (S) oscila entre 26 y 33 mientras que el índice α lo hace entre 7 y 10. Son abundantes los foraminíferos planctónicos, alcanzando el índice de oceanidad el 48%.

Testigo KS 12

Un total de 28 especies de foraminíferos bentónicos, todas ellas de pared hialina, han sido extraídas de este testigo formado por limo terrígeno, de 152 cm de potencia, obtenido a 59 m de profundidad en las coordenadas 6° 37'N -77° 27'W. La especie más abundante de muro a techo es *Brizalina subaenariensis*, que supera el 42% de la muestra, y que está acompañada de *Bolivina punctata*, *Bulimina gibba*, *Globocassidulina subglobosa*, *Hanzawaia concentrica*, *Hoeglundina elegans* y *Uvigerina peregrina* (Tabla 1). El índice nF de riqueza es elevado, superando los 4000, alcanzando en la base del testigo los 23000 ejemplares por gramo de sedimento. El número de especies varía entre 14 y 25, mientras que el índice α oscila entre 3 y 5,5. Aparecen numerosos ejemplares de foraminíferos planctónicos, lo que supone un índice de oceanidad comprendido entre 14 y 30.

Testigo T-7

Fue extraído a una profundidad de 150 m en las coordenadas 4° 50'N -77° 30'W. Con una potencia de 90 cm, está formado por limo terrígeno homogéneo. En él han sido identificadas 46 especies de foraminíferos bentónicos, (el 99% con caparazón hialino), de las cuales las más abundantes, a lo largo de todo el testigo, son: *Bolivina alata*, *Bulimina gibba*, *Hanzawaia concentrica* y *Uvigerina peregrina*, acompañadas de *Gavelinopsis companulata* (Tabla 1). El índice de riqueza nF es menor de 5000, mientras que el número de especies (S) oscila entre 17 y 29 y el índice de diversidad ente 4 y 8. El índice de oceanidad está comprendido entre 27 y 48.

Testigo T-5

Este testigo, de 190 cm de longitud formado por limo homogéneo, fue obtenido a 20 m de profundidad en las coordenadas 4° 36'N -77° 25'W. En él se diferencian dos tramos:

- De la base a los 180 cm, no aparece microfaua. El sedimento contiene abundante yeso cristalizado en rosas del desierto.

ESPECIES / TESTIGOS	T-2	KS-12	T-7	T-5	KS-14
% especies hipoxia (superficie)	76	80	67	21	3
% especies hipoxia (media testigo)	73	85	70	11	4
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)					2
<i>Bolivina alata</i> (Seguenza)	15	3	13		
<i>Bolivina punctata</i> d'Orbigny	2	7			
<i>Brizalina spathulata</i> (Williamson)	6		3		
<i>Brizalina subaenariensis</i> (Cushman)	6	42			
<i>Brizalina subspinescens</i> (Cushman)	2				
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)	2				
<i>Bulimina elongata</i> d'Orbigny			2		
<i>Bulimina gibba</i> Fornasini	15	6	27	15	1
<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny	4	3		1	
<i>Cancris auricula</i> (Fichtel & Moll)		1		7	1
<i>Cancris sagra</i> (d'Orbigny)					
<i>Cassidulina crassa</i> d'Orbigny	2				
<i>Cassidulina laevigata</i> d'Orbigny		1		1	
<i>Cassidulina obtusa</i> Williamson	2				
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker & Jacob)			3		
<i>Discorbis floridensis</i> Cushman		1			
<i>Epistominella exigua</i> (Brady)	2				
<i>Fontbotia wuellerstorfi</i> (Schwager)			1		
<i>Fursenkoina compressa</i> (Bailey)				2	2
<i>Fursenkoina schreibersiana</i> (Czjzek)	2				
<i>Gavelinopsis companulata</i> (Galloway & Wissler)	1	1	6	8	
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady)	1	8	1		
<i>Hanzawaia concentrica</i> (Cushman)	9	8	15	46	69
<i>Hoeglundina elegans</i> (d'Orbigny)		6			
<i>Lagena striata</i> (d'Orbigny)				3	
<i>Lepidodeutarammina ochracea</i> (Williamson)					4
<i>Neouvigerina porrecta</i> (Brady)				1	
<i>Nonionella atlantica</i> Cushman				5	10
<i>Nonionella turgida</i> (Williamson)				3	
<i>Pullenia subcarinata</i> (d'Orbigny)	1				
<i>Quinqueloculina lamarciana</i> d'Orbigny					1
<i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny	2		2		
<i>Sagrinella lobata</i> (Brady)	3			2	
<i>Strebloides advenus</i> (Cushman)					1
<i>Textularia conica</i> d'Orbigny				2	
<i>Textularia millettii</i> Cushman					1
<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson)		2			
<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman	17	10	18	2	

Tabla 1.- Abundancia relativa de las especies de foraminíferos bentónicos presentes en la superficie de los testigos de Colombia (> 1% del total de las muestras). Géneros indicadores de hipoxia: *Bolivina*, *Brizalina*, *Bulimina*, *Globobulimina*, *Uvigerina*, *Epistominella*, *Cassidulina* y *Globocassidulina*.

Table 1.- Relative abundance of benthic foraminifera species on core-top samples from Colombia (> 1% of the total samples). Genera characteristic of hypoxia: *Bolivina*, *Brizalina*, *Bulimina*, *Globobulimina*, *Uvigerina*, *Epistominella*, *Cassidulina* and *Globocassidulina*.

- De 180 cm a techo, sobre un sedimento limoso con algunos cristales de yeso y numerosos fragmentos de moluscos, han sido identificadas 33 especies de foraminíferos bentónicos. La más abundante es *Hanzawaia concentrica* (> 46 % de la muestra), acompañada de, *Bulimina gibba*, *Cancris auricula*, *Gavelinopsis companulata* y *Nonionella atlantica* (Tabla 1). El 98% de los ejemplares poseen un caparazón hialino. El índice nF oscila entre 100 y 2300, mientras que la diversidad específica (S) lo hace entre 9 y 19 y el índice α entre 2 y 5. Son cuantiosos los foraminíferos planctónicos representado el índice de oceanidad entre 11 y 26.

Testigo KS-14

Con una longitud de 108 cm y sedimento limo arenoso, fue extraído en las coordenadas 4° 25'N -77° 30'W a 20 m de profundidad. En él se han determinado 35 especies de foraminíferos bentónicos, diferenciándose dos unidades de acuerdo a la riqueza micropaleontológica:

-De la base hasta los 25 cm, los foraminíferos son escasos (nF<18) llegando a desaparecer en un amplio tramo (92-55 cm). Los índices de diversidad son, así mismo, muy bajos (S<7; α <1,5). Los pocos individuos que están presentes en el sedimento (<9 por muestra) pertenecen sobre todo a las especies *Brizalina subaenariensis* y

Globocassidulina subglobosa, en los niveles 107-92 cm y 55-37cm. En estos niveles aparecen foraminíferos planctónicos que suponen un índice de oceanidad del 25 y 11 % respectivamente.

-De 25 cm a techo los ejemplares son más abundantes (nF>200). La especie dominante es *Hanzawaia concentrica* que supone más del 69% de la muestra, acompañada por *Nonionella atlantica* (Tabla 1). El número de especies S oscila entre 18 y 25, mientras que el índice α toma unos valores entre 4,5 y 7. Los foraminíferos presentan mayoritariamente caparazones hialinos (>91%). El índice de oceanidad asciende a 15.

Discusión y Conclusiones

Dos asociaciones de foraminíferos bentónicos se suceden de norte a sur en la plataforma interna del Pacífico de Colombia.

Asociación 1.- Está formada por las especies *Bolivina alata*, *Brizalina subaenariensis*, *Bulimina gibba*, *Globocassidulina subglobosa* y *Uvigerina peregrina*. Se encuentra entre Curiche y el Golfo de Cupica (ver Fig.1) a una profundidad menor de 60 m (Testigos T2 y KS12). También está presente en el talud superior del sur de Baudo (testigo T-7).

Asociación 2.- Está constituida por las especies *Hanzawaia concentrica* y *Nonionella atlantica*. Aparece en la plataforma interna a 20 m de profundidad, a partir de la zona anterior y hacia el sur hasta Buenaventura (Testigos T-5 y KS-14).

Brizalina subaenariensis habita tanto en la plataforma externa como en zonas batiales entre 100 y 2500 m de profundidad, en aguas con temperaturas comprendidas entre -1 y 17°C (Murray, 1991). Pujos-Lamy (1973) encuentra numerosos ejemplares de esta especie en los sedimentos de cañones del Golfo de Vizcaya, atribuyendo su presencia a condiciones de baja oxigenación. Sen Gupta y Strickert (1982) describen en Daitona Beach en Florida una asociación formada por *Brizalina subaenariensis* (11-26%) y *Globocassidulina subglobosa* (12-18%) en primavera y verano durante el upwelling. *Uvigerina peregrina* se encuentra abundantemente a profundidades entre 142 y 2134 m en el este del Pacífico, a temperaturas comprendidas entre 2 y 13 °C, apareciendo a 142 m de profundidad asociada a la corriente de Perú-Chile (Ingle *et al.*, 1980). *Globocassidulina subglobosa* es nume-

rosa en aguas de Ecuador a 1171 m de profundidad y a 8°C de temperatura, apareciendo, como hemos señalado anteriormente, junto a *Brizalina subaenariensis* en zonas de upwelling. En otras zonas del Pacífico, como en la plataforma de Java (Burke, 1981), se encuentra a 2211-2876 m asociada a la *Deep Oxygen Minimum water*. Todos estos datos confirman que las especies que constituyen la Asociación 1, pertenecen a áreas profundas, estando ligadas a zonas de upwelling.

La temperatura del mar en superficie, en esta área de la plataforma del Pacífico colombiano, está comprendida entre 26,9 y 28,1°C, siendo más elevada en el norte (Meidinger, 1991). Este esquema se reproduce a 10 y 20 m de profundidad. Sin embargo a -30m, comienzan los cambios debidos a la presencia de una termoclina situada alrededor de los -50 m (Meidinger, 1991). Esta termoclina marca el paso de un agua superficial cálida (27°C) a un agua subyacente templada (15-17°C). Por lo tanto, la presencia de la Asociación 1 de foraminíferos, propia de aguas más frías, estaría asociada a un upwelling.

En áreas de intenso upwelling, asociadas con alta productividad primaria, aparecen sedimentos de grano fino con un contenido en carbono orgánico 10 a 20 veces más elevado que lo normal y deficitarios en oxígeno. Así, en zonas donde el flujo de carbono orgánico excede de 2-3 g/m² año son abundantes *Globocassidulina subglobosa* y *Uvigerina peregrina* (Altenbach, 1988). En condiciones de baja oxigenación se registra una baja diversidad específica y la dominancia de pocas especies de foraminíferos bentónicos de pequeño tamaño, pertenecientes sobre todo a los géneros: *Bolivina*, *Brizalina*, *Bulimina*, *Globobulimina*, *Uvigerina*, *Epistominella*, *Cassidulina* y *Globocassidulina* (Sen Gupta y Machain Castillo, 1993; Kaiho, 1994). Así por ejemplo en la Baja California en agosto con una concentración de oxígeno de 0,1 ml/l y a una profundidad entre 75 y 100 m, dominaban los géneros *Bolivina*, *Uvigerina* y *Bulimina* (Phleger y Soutar, 1973). Si se calcula el porcentaje que representa en los testigos estudiados estas especies asociadas a bajas concentraciones de oxígeno (Tabla 1), se observa que la mayor proporción (80%) se encuentra en el testigo KS12, siendo también importante en los testigos T-2 y T-7, lo que parece indicar que el upwelling se registra entre Curiche y el Sur

de Baudo, con una mayor intensificación en el Golfo de Cupica. Además de estas especies mayoritarias, aparecen otras de carácter secundario también procedentes de zonas más profundas, como: *Epistominella exigua* presente en el Pacífico a profundidades comprendidas entre 1758 y 3990 m asociada a la masa de agua *Pacific Deep Water* (Ingle et al, 1980); *Pullenia subcarinata*, especie batial, presente en la placa de Nazca a 3117 m (Resig, 1981); *Fontbotia wellstorfi*, especie que habita en aguas frías a temperaturas comprendidas entre -2 y 5°C y a profundidades entre 1360 y 4280 m (Murray, 1991). Estas tres especies, entre otras secundarias, confirmarían la presencia del upwelling.

En la plataforma interna a 20 m de profundidad entre Baudo y Buenaventura, la asociación de foraminíferos dominante (Asociación 2) es diferente a la anterior, siendo las especies más abundantes: *Hanzawaia concentrica* y *Nonionella atlantica*. Estas especies habitan en aguas templadas y cálidas (10-31°C) de la plataforma interna (Murray, 1991). Así *Hanzawaia concentrica* aparece en el Golfo de California a una profundidad entre 5 y 22 m (Brenner, 1962), mientras que *Nonionella atlantica* está presente en la plataforma entre Nicaragua y Panamá (Bandy y Arnal, 1957) a una batimetría comprendida entre 9 y 200 m de profundidad. Sin embargo, la presencia de especies secundarias de aguas frías en algunos de los niveles de los testigos ahí extraídos, indicaría la proximidad del upwelling referido anteriormente. Así, *Hoeglundina elegans*, presente en Chile entre 1932 y 3142 m (Bandy y Rodolfo, 1964) aparece en la base del testigo KS-14.

Estos testigos (T-5 y T-14), presentan niveles muy pobres en microfauna e incluso otros en los que están ausentes los foraminíferos. La explicación a este fenómeno puede estar en el tipo de facies terrígenas acumuladas en esa área. Así, las arenas limosas ocupan la mayor parte de la plataforma al Sur de 5°N (Fig.1). El substrato arenoso está recubierto de un delgado depósito de limos actuales donde el débil espesor (de orden centimétrico) traduce una alimentación reducida o una erosión periódica (Meidinger, 1991). La presencia además de numerosos cristales de yeso (rosas del desierto) entremezclados con el limo del testigo T-5 indicaría ambientes someros, protegidos y cálidos, con fuerte evaporación, correspondientes a un

paisaje de marismas análogo al medio costero actual.

Referencias

- Altenbach, A.V. (1988): *Revue de Paléobiologie*, v. Spéc. 2, 719-720.
- Bandy, O.L. y Arnal, R.E. (1957): *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geologists*, 41: 2037-2053.
- Bandy, O.L. y Rodolfo, K.S. (1964): *Deep-Sea Research*, 11: 817-837.
- Boltovskoy, E. y Gualancanay, E. (1975): Publicación de la Armada de Ecuador e Instituto Oceanográfico, 56 pp.
- Boltovskoy, E. y Wrihgt, R. (1976): Ed. Junk, The Hague, 515 pp.
- Brenner, G.J.(1962): *Bull. American Museum of Natural History*, 123: 253-297.
- Burke, S.C. (1981): *Journal of Foraminiferal Research*, 11, 1-19.
- Crouch, R.W. y Poag, C.W. (1987): *Journal of Foraminiferal Research*, 17:153-176.
- Golik, A. y Phleger, F.B. (1977): *Journal of Foraminiferal Research*, 7: 83-99.
- Guzman, H.M., Obando, V.L., y Cortes, J. (1987): *Coral Reefs*, 6: 107-112.
- Ingle, J.C, Keller, G. y Kolpack, R.L. (1980): *Micropaleontology*, 26: 113-150.
- Kaiho, K. (1994): *Geology*, 22, 719-722.
- Meidinger, P. (1991): Thèse a l'Université de Bordeaux I, n° 608, 184 pp.
- Mirmand, M. (1988): Informe del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de Cartagena, 65 pp.
- Murray, J.W. (1976): *Marine Geology*, 22:103-119.
- Murray, J.W. (1991): Ed. Longman London, 397pp.
- Phleger, F.B. y Soutar, A. (1973): *Micropaleontology*, 19:110-115.
- Pennington, W. (1981). *Memoirs de Proyecto Nariño III*. Inst. Geofísico de los Andes Colombianos. *Univ. Javeriana*, 97-137.
- Pujos, M. Griboulard, R., Latouche, Cl. y Meidinger, P. (1995): *Oceanologica Acta*, 18(1):1-18.
- Pujos-Lamy, A. (1973): *Rev. Española de Micropaleontología*, 5: 213-234.
- Resig, J (1981): *Mem. Geological Society of America*, 154: 619-666.
- Sen Gupta, B.K y Machain-Castillo, M.L. (1993): *Marine Micropal.*, 20, 183-201.
- Sen Gupta, B.K y Strickert, D.P.(1982): *Bull. Geol. Society of America*, 93: 218-224.
- Smith, P.B. (1963): Professional Paper, United States Geological Survey, 429A: 1-39.
- Smith, P.B. (1964): Professional Paper, United States Geological Survey, 429B: 1-55.