

Los Foraminíferos y Minerales autigénicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una Laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano)

NADEJDA TCHEGLIAKOVA

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 14490, Bogotá, Colombia

TCHEGLIAKOVA, N. (1993): Los Foraminíferos y Minerales autigénicos de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena): Registro de una Laguna costera a finales del Cretácico Superior (Maestrichtiano).- *Geología Colombiana*, 18, pp. 107 - 117, 6 figs., 1 Plancha, Bogotá.

RESUMEN

El hallazgo de una abundante asociación microfaunística representada principalmente por foraminíferos y en menor proporción por ostrácodos, algas calcáreas y dientes de peces junto con un rico y variado conjunto de minerales autigénicos a lo largo de la secuencia sedimentaria de la Formación Umir (Sección Quebrada La Julia, Valle Medio del Magdalena) permitió establecer un ecosistema con un fuerte "stress" ambiental, reflejado en las fuertes fluctuaciones en el grado de oxigenación de los fondos de sedimentación, pH bajos, un desequilibrio en la productividad orgánica primaria versus el consumo y en la notable presencia de formas oportunistas durante la época en que se depositó dicha unidad (Maestrichtiano). Estas características tienen estrechas similitudes con las que presenta un ambiente de laguna costera.

Se concluye que la Formación Umir representa el registro final del gran ciclo sedimentario marino (por lo menos en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena), iniciado a principios del Cretácico en la Gran Cuenca del Oriente Colombiano, reflejado en el solapamiento gradual de facies desarrolladas en ámbitos fuertemente transicionales sobre facies de origen marino, todo lo cual permite pronosticar la llegada de condiciones totalmente continentales, ámbitos que habrían de prevalecer durante todo el Terciario en la zona de estudio.

SUMMARY

The fact of finding a plenty microfaunistic assemblage that is represented chiefly by foraminifera and ostracodes, calcareous algae and fish's teeth in smaller number with a rich and diverse association of authigenic minerals that are along the Umir Formation (Quebrada La Julia Section, Middle Magdalena Valley, Colombia) allowed the establishment of an unstable ecosystem. It is characterized by environmental stress which is reflected on the strong fluctuations of the oxygenation

of sedimentation's bottoms, low pH, an unstable equilibrium in the primary organic productivity and the remarkable presence of opportunistic forms during the whole time this unit was deposited (Maestrichtian). These features resemble an environment of coastal lagoon.

In conclusion, the Umir Formation represents the final record of great cretaceous depositional marine cycle (at least in the basin of Middle Magdalena Valley). This is reflected in the overlapping of the continental facies over marine facies. These facts, allowing the continental environments to be predicted, would predominate during the Tertiary in the study zone.

INTRODUCCION

La porción norte del Valle Medio del Magdalena representa un sitio clave para el esclarecimiento del desarrollo de la dinámica paleoambiental relacionada con la gran regresión marina sucedida en la Gran Cuenca del oriente colombiano durante el Cretácico Superior cuspidal (Maestrichtiano), ya que separó dominios de sedimentación fuertemente transicionales a continentales (ubicados en el Valle Superior del Magdalena: Petters, 1955); con ámbitos de sedimentación de mar abierto en la Cuenca del Cesar-Ranchería (Martínez, 1987; 1989).

Si bien es cierto que en los últimos años se han realizado estudios en cuencas aledañas a este sector (Cuenca del Cocuy: Fabre, 1984; norte del Valle Superior del Magdalena: Gómez & Pedraza, 1993) donde se plantean características paleoambientales e implicaciones tectosedimentológicas del Valle Medio del Magdalena, también es cierto que prácticamente ningún trabajo ha encaminado el análisis paleoecológico - paleoambiental basado en la documentación micropaleontológica y en las variaciones cuantitativas y cualitativas de los minerales autigénicos presentes en la secuencias sedimentarias desarrolladas en este sector.

Este modesto aporte pretende llevar este último enfoque, basado en la microfauna (principalmente foraminíferos) y minerales autigénicos recuperados en la Formación Umir,

que aflora en la sección Quebrada La Julia (Valle Medio del Magdalena).

LOCALIZACION Y LITOESTRATIGRAFIA

La secuencia sedimentaria correspondiente a la Formación Umir, que aflora en la Quebrada La Julia se encuentra localizada al nororiente del Valle Medio del Magdalena y al oeste del Macizo de Santander dentro del área denominada La Tigra (Fig. 1).

A lo largo de la Quebrada La Julia aflora una espesa secuencia de sedimentitas cretáceas cuya unidad litoestratigráfica más antigua corresponde a la Formación La Luna (Fig. 2), la cual está constituida principalmente por una alternancia de shales negros con laminación plano-paralela y sin fauna bentónica. Superpuesta a esta unidad se encuentra la Formación Umir, objeto del presente estudio, expuesta principalmente en el flanco oriental del anticlinal de La Tigra.

La Formación Umir, con un espesor de 255 metros en la Quebrada La Julia consiste en su parte inferior de una alternancia rítmica de arenitas de grano fino a medio, limolitas y arcillolitas de colores negros y grises, fuertemente fósiles. Es común observar intercalaciones locales de shale carbonoso y arenitas de grano medio con abundante materia orgánica (Fig. 2). En su parte superior la Formación Umir consiste de una alternancia de limolitas grises y arenitas de grano fino con shales grises oscuros; es frecuente la presencia de laminación ondulada y flaser como estructura física predominante. En la parte más superior de la secuencia se observaron cintas de carbón.

METODOLOGIA Y TRATAMIENTO

Un total de veinte muestras fueron colectadas en la sección de la Quebrada La Julia. En ocho de ellas no se encontró ningún tipo de microfauna por lo cual no se tomaron en cuenta como referencia de la sección.

La ubicación geográfica de las muestras se observa en la Fig. 1, mientras que su posición estratigráfica, las variaciones cualitativas y cuantitativas tanto de la microfauna como de los minerales autigénicos a lo largo de la secuencia sedimentaria de la Formación Umir se esquematizan en la Fig. 3.

El proceso de recuperación de la microfauna, utilizado en este estudio, fue la técnica de varsol-agua, la cual consiste *modo grosso* en los siguientes pasos:

- Después de calentar la muestra por alrededor de una hora se le vierte varsol;
- Una vez la muestra se encuentra impregnada, el varsol sobrante se drena;
- Luego la muestra se calienta a una temperatura de 100°C por cerca de 5 horas en agua con un potente detergente;
- Bajo un fuerte chorro de agua la muestra se lava en un tamiz número 200;
- La muestra se seca completamente y es tamizada en tres fracciones (tamices 80, 120 y 160).

Todas las muestras fueron observadas bajo un estereoscopio (x 150), donde se entresacó la totalidad de la microfauna encontrada junto con los minerales autigénicos más representativos.

Para la estimación de los porcentajes de los minerales autigénicos se siguieron los siguientes pasos:

- Después de haber entresacado la totalidad de la microfauna se regó el residuo en cada muestra sobre una bandeja con un área aproximada de 30 cm².
- De esta área se contó el número de granos de cada uno de los principales tipos de minerales autigénicos.
- Una vez sumados la totalidad de los granos de los diferentes tipos de minerales autigénicos se calculó el porcentaje correspondiente a cada uno de ellos.

RESULTADOS

Un total de 1918 ejemplares de foraminíferos fueron entresacados de las doce muestras provenientes de la Formación Umir, los cuales comprenden 17 diferentes especies entre foraminíferos planctónicos y bentónicos. *Haplophragmoides walteri* (Grzybowski) es la especie más abundante a través de toda la sección, representando más del 58% del total de la fauna recuperada.

Especies también dominantes, pero en mucha menor proporción que *H. walteri* (Grzybowski) son: *Bathisiphon alexandri* Cushman (9.9%), *Cyclammina elegans* Cushman & Jarvis (7.6%), *Ammobaculites colombianus* Cushman & Hedberg (4.8%) y *Haplophragmoides rugosus*, Cushman & Waters (3.4%).

De la Fig. 3 claramente se observa el predominio de las formas aglutinadas, las cuales cobijan casi el 99% del total de la fauna, mientras que los foraminíferos de concha calcárea secretada se encuentran notablemente subordinados con apenas un 1%, y dentro de estos, apenas la mitad son formas planctónicas (10 ejemplares). La única especie presente en todas las muestras recogidas en la sección de la Formación Umir es *Bathisiphon alexandri* Cushman (ver Fig. 3).

De forma general, la fauna de foraminíferos se caracteriza por su casi total composición de ejemplares de conchilla aglutinada, una bajísima diversidad y un alto dominio faunístico.

También se reporta una gran cantidad de algas calcáreas en la base de la secuencia sedimentaria (Plancha 1, Fig. 1.).

De otro lado, a lo largo de la secuencia es recurrente la relativa alta proporción de materia orgánica amorfa, restos de plantas (testas de semillas, hojas, tallos carbonizados, etc.) y carbón, lo cual presenta un significativo aumento en las últimas seis muestras: 52g, 52b, 52i, 52ja, 52jb, y 52k (ver Fig. 3). La siderita, también presente en toda la sección, muestra un comportamiento muy similar, aunque con valores relativos proporcionalmente mucho más bajos. La inspección bajo el estereoscopio mostró que se presenta como agregados no muy compactos de granos elongados de carbonatos sin ninguna orientación preferencial. El tamaño de estos agregados varía entre

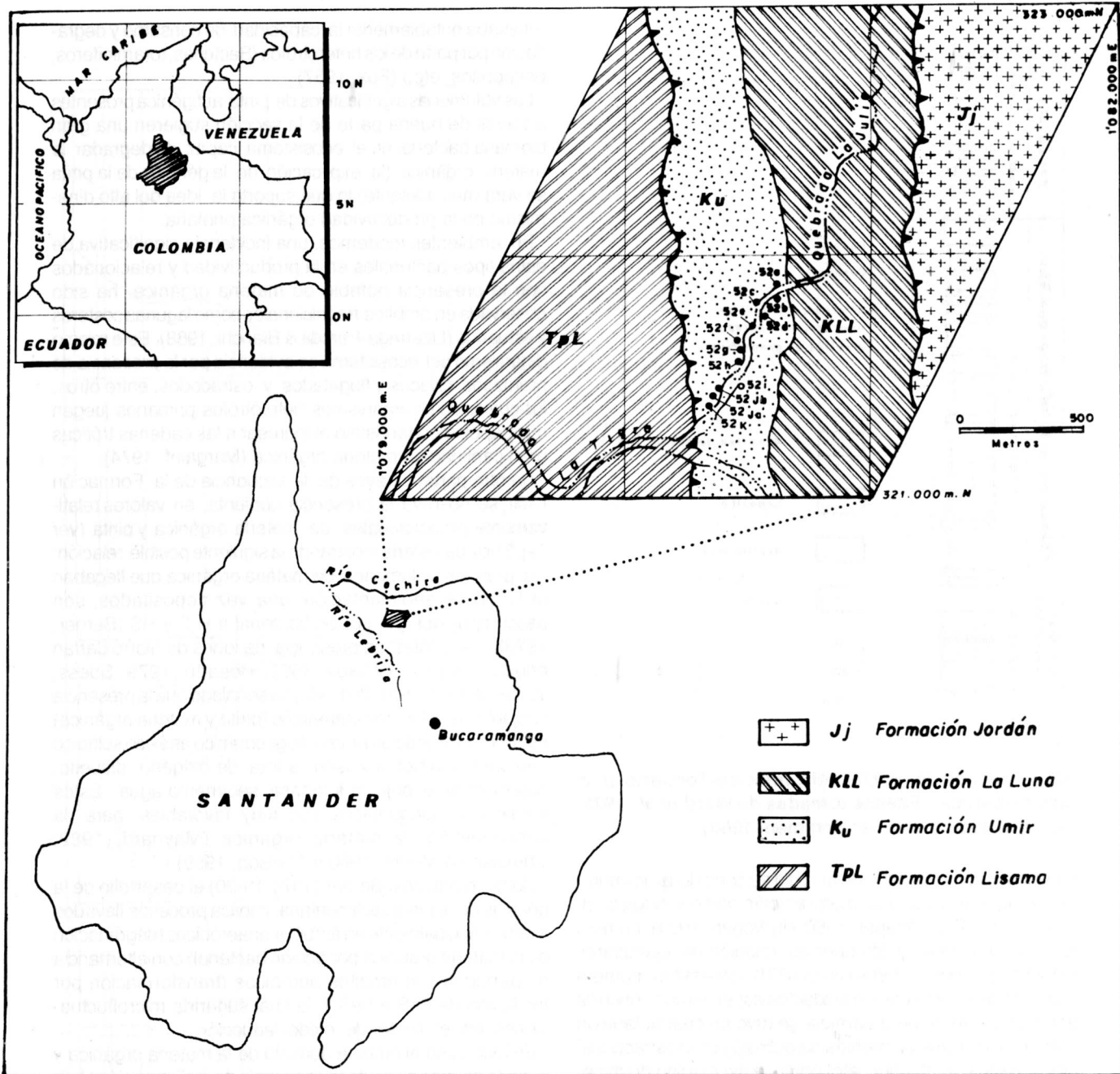


Fig. 1. Localización geográfica de la sección Quebrada La Julia y ubicación de las muestras (Cartografía geológica tomada de Beltrán & Romero, 1992).

0.09 y 0.25 mm.

La pirita se presenta en las siete primeras muestras con valores que oscilan entre el 18 al 30%, mientras que en las últimas cinco muestras no fue observada. Contrasta la ausencia de la pirita en la parte terminal de la secuencia con el aumento significativo de la siderita y la materia orgánica.

La pirita se encuentra predominantemente en formas discoidales y subesféricas de agregados de pirita framboidal

(ver Plancha 1, figs. 2a y 2b). Estos agregados varían entre 0.05 a 0.25 mm de diámetro y presentan una matriz de color oscuro, semejante a la reportada por Scheihing *et al* (1978).

La pirita framboidal muestra un hábito preferencialmente octaédrico aunque también se observó cúbico.

PALEOECOLOGIA Y PALEOAMBIENTE

Diferentes características de las poblaciones de fora-

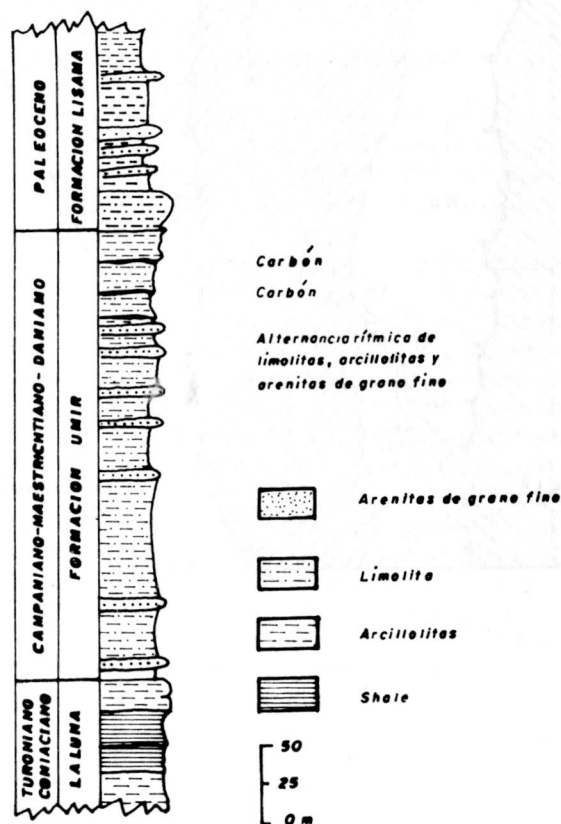


Fig. 2. Secuencia parcial del Cretácico-Terciario en el área de estudio (Edades tomadas de Ward *et al.*, 1973; Morales, 1958 y Van der Hammen, 1960).

miníferos discutidas en este artículo se consideraron importantes para realizar una interpretación paleoecológica (cf. Dolitskaya, 1972; Phleger, 1960; en Nogan, 1974); número total de ejemplares y de especies, relación de ejemplares planctónicos versus bentónicos (P/B), diversidad, número de especies bentónicas y cantidad de especies con conchilla aglutinada. De manera paralela se tuvo en cuenta tanto la presencia de otros elementos paleobiológicos (ostrácodos, algas, restos de plantas, etc.) como la asociación de minerales autígenicos, todo ésto encaminado a determinar el ámbito ecológico-sedimentario donde probablemente vivieron las asociaciones de microfósiles recuperados.

La gran abundancia de materia orgánica amorfa, restos de plantas (testas de semillas, palinomorfos, hojas, tallos de plantas, etc.) junto con la moderada presencia de algas calcáreas, diatomeas y dinoflagelados sugieren una alta productividad orgánica primaria (cf. Tappan, 1968; Margalef, 1974, Hernández, 1986; Michaels & Silver, 1988).

Probablemente el hecho de encontrar esta gran cantidad de materia orgánica dentro del registro sedimentario, además de señalar un ambiente geoquímico favorable para su conservación, sugiere que la producción orgánica primaria

rebasaba notablemente la capacidad de consumo y degradación por parte de los heterótrofos (Bacterias, foraminíferos, ostrácodos, etc.) (Fox, 1957).

Los volúmenes significativos de pirita autígena presentes a través de buena parte de la sección sugieren una gran biomasa bacteriana en el ecosistema capaz de degradar la materia orgánica (la explicación de la génesis de la pirita se verá más adelante) lo que soporta la idea del alto dinamismo en la productividad orgánica primaria.

En ambientes modernos, una incidencia significativa de estos tipos bacteriales en la productividad y relacionados con la presencia notable de materia orgánica, ha sido observada en ámbitos transicionales como lagunas costeras y estuarios (Lizarraga-Partida & Bianchi, 1988). Este mismo dinamismo del ecosistema se evidencia por la presencia de protozoos ciliados y flagelados y ostrácodos, entre otros, los cuales como organismos heterótrofos primarios juegan un papel importantísimo al ingresar a las cadenas tróficas gran cantidad de materia orgánica (Margalef, 1974).

De otra parte, a través de la secuencia de la Formación Umir, se observó la presencia conjunta, en valores relativamente proporcionales, de materia orgánica y pirita (ver Fig. 3) lo cual estaría mostrando la siguiente posible relación: los grandes volúmenes de materia orgánica que llegaban al fondo de sedimentación, una vez depositados, son descompuestos por acción bacteriana a H_2S y HS^- (Berner, 1970), los cuales en presencia de iones de hierro darían origen a la pirita (Volkov, 1961; Hoeath, 1979; Suess, 1979). Berner (1981: 361-362) ha señalado que la presencia conjunta de estos dos elementos (pirita y materia orgánica) estaría mostrando un ambiente geoquímico anóxico sulfídico caracterizado por la ausencia total de oxígeno disuelto, especialmente bajo la interfase sedimento-agua. Estos ambientes geoquímicos son muy favorables para la conservación de materia orgánica (Maynard, 1982; Demaison & Moore, 1980 y Abelson, 1959).

Como puntualizó Berner (1970:19-20) el desarrollo de la génesis de la pirita sedimentaria implica procesos llevados a cabo principalmente en ámbitos anaeróbicos (degradación de la materia orgánica por acción bacteriana) con alternancia de períodos con ámbitos aeróbicos (transformación por oxidación de FeS a FeS_2) lo cual sugeriría microfluctuaciones en el límite de óxido-reducción.

En todo caso el notable dominio de la materia orgánica y la pirita en gran parte de la secuencia de la Formación Umir señalan que las condiciones geoquímicas para la génesis de la pirita y la conservación de la materia orgánica prevalecieron mientras que la presencia de óxidos de hierro (hematita) en valores claramente subordinados sugeriría que las condiciones óxicas fueron menos continuas y dominantes.

Un soporte adicional, pero de fundamental importancia, a la idea de que los fondos debieron tener características óxicas (por lo menos en ciertos intervalos de tiempo) es la abundante presencia de microfauna bentónica (foraminíferos y ostrácodos). Cabe resaltar que cerca del 99% de la fauna de foraminíferos recuperada tenía un modo de vida bentónico y algunos de ellos han sido reportados con

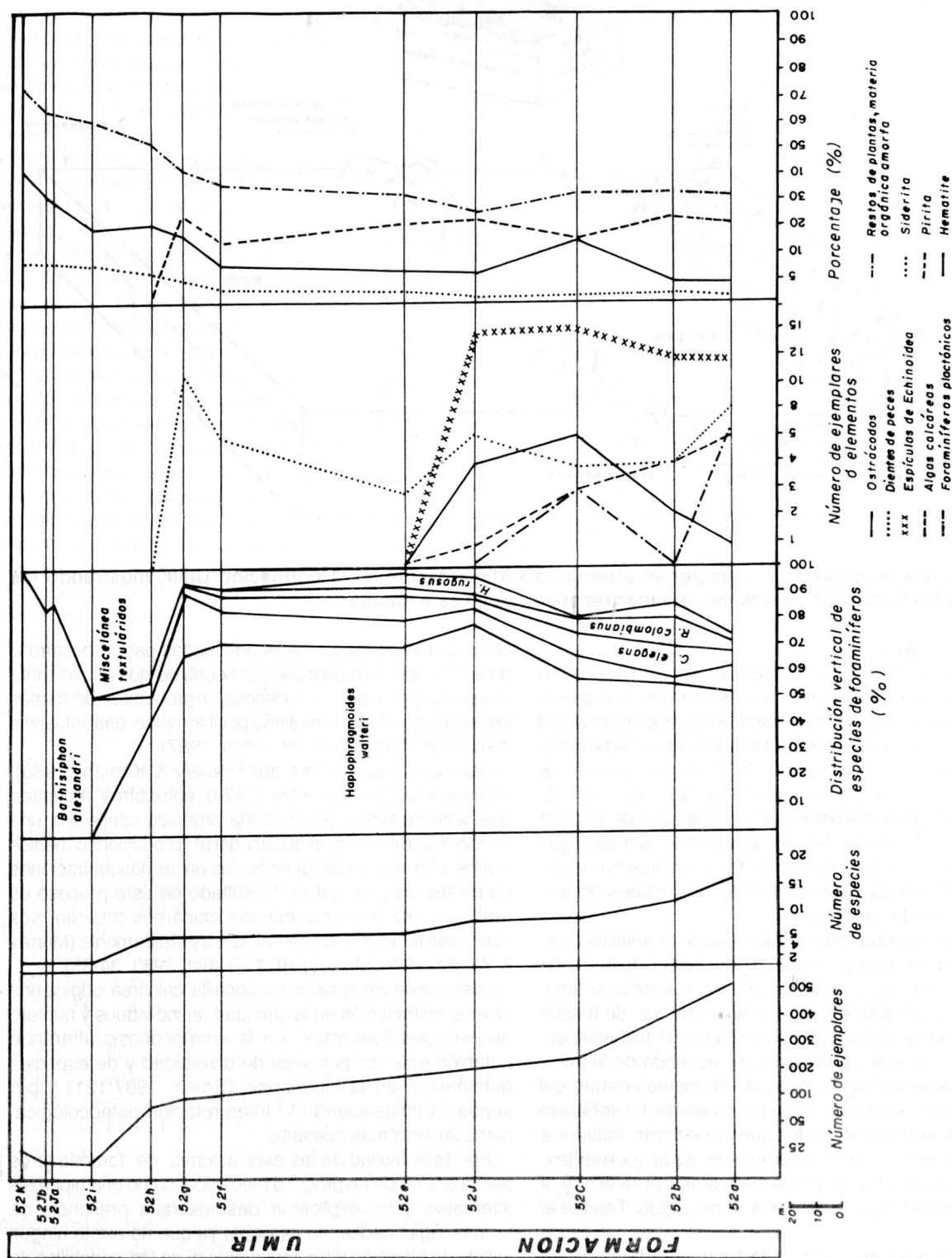


Fig. 3. Principales parámetros de la microfauna y de los minerales autigénicos a través de la Formación Umir.

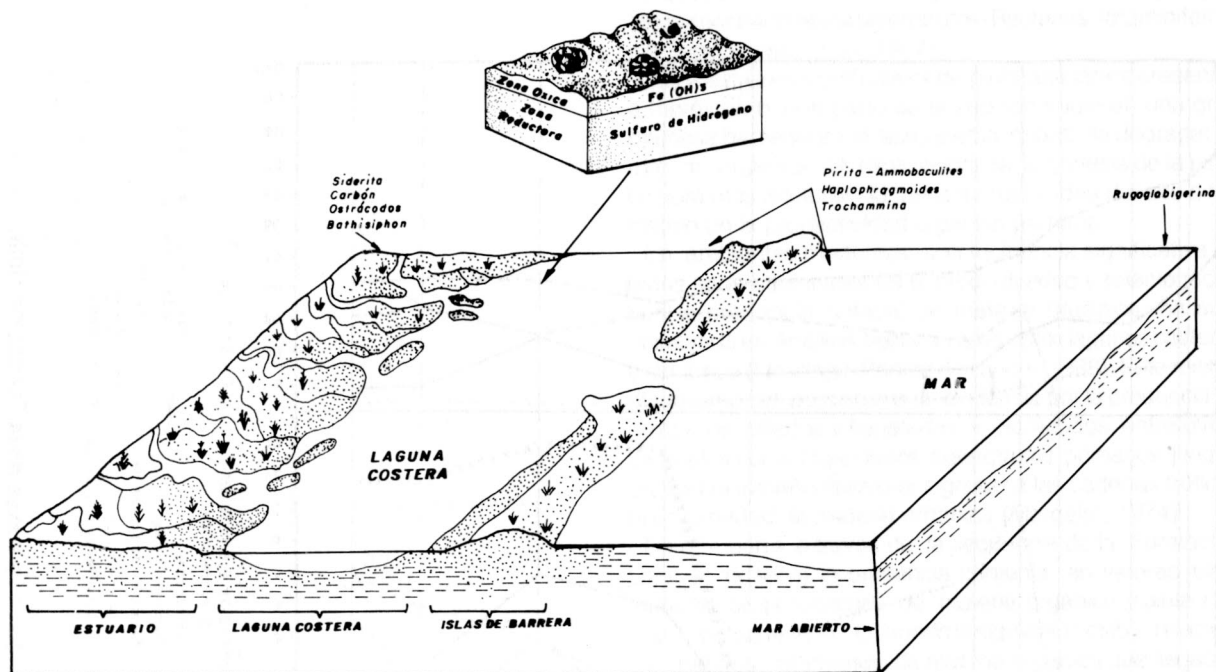


Fig. 4. Posible reconstrucción ambiental durante la sedimentación de la Formación Umir, mostrando los subambientes habitados por las microfaunas reconocidas en este trabajo.

hábitos infaunales.

En ámbitos sedimentarios modernos, especialmente en estuarios y lagunas costeras, representantes de géneros como *Ammobaculites* y *Trochammina* han sido observados vivos bajo varios centímetros de la interfase sedimento-agua (Boltovskoy, 1966; Ellison, 1972; Buzas, 1974) y es muy claro que su profundización dentro del sustrato dependió en gran medida de sus demandas de oxígeno (Langer *et al.*, 1989). No es arriesgado señalar que representantes de los mismos géneros en nuestra oritocenosis tuvieran los mismos hábitos y similares dependencias del medio (ver Fig. 4).

De manera general toda la información y análisis anteriores sugieren que el límite anóxico-óxico tuvo claras fluctuaciones en su posición, tanto en la columna de agua como dentro del sustrato, generando períodos de fondos no oxigenados alternando con períodos de oxigenación. Este comportamiento podría ser el resultado de la interacción de una gran variedad de elementos dentro del dominio de sedimentación entre los cuales se ha señalado que los más relevantes son los que tienen gran influencia sobre la dinámica de la columna de agua (corrientes, vientos, mareas, etc), el aporte de materia orgánica y la acción bacteriana (Hope *et al.*, 1983; Grant, 1986; Teague *et al.*, 1988).

La presencia de ejemplares de foraminíferos tanto de pared aglutinada como de pared calcárea secretada (aunque claramente subordinados en número) sugieren que exis-

tieron condiciones ecológicas adecuadas para el desarrollo de ambos tipos de población y el hecho de que actualmente tengamos en nuestra oritocenosis un predominio de formas aglutinadas estaría indicando posiblemente una influencia de carácter tafonómico (cf. Smith, 1987).

Observaciones hechas por Presley & Kaplan (1968), Gardner (1973) y Beck *et al.* (1974), entre otros, muestran que la degradación de la materia orgánica conlleva a una sensible disminución en el valor del pH produciendo medios ácidos con marcadas deficiencias en las concentraciones de bicarbonato de calcio. Resultado de este proceso es que, una vez los foraminíferos calcáreos mueren, sus conchillas tienden a ser disueltas muy rápidamente (Murray & Wright, 1970; Murray, 1971; Yanin, 1983: 34-35). La pérdida de ejemplares de conchilla calcárea origina una severa disminución en la cantidad de individuos y número de especies presentes en la tanatocenosis alterando notablemente los patrones de diversidad y de especies dominantes en la biocenosis (Smith, 1987:121) y por supuesto influenciando la interpretación paleocológica, como se verá más adelante.

Una selectividad de las asociaciones de foraminíferos por la acción de un proceso mecánico, como una hipótesis alternativa para explicar la desmesurada presencia de formas aglutinadas, no es viable ya que no existe ningún indicio de abrasión y/o rompimiento ni en las conchillas de foraminíferos y ostrácodos ni en los granos de los sedimentos.

Ámbitos sedimentario-ecológicos con fluctuaciones en el grado de oxigenación de sus fondos (óxico-anóxico), pH bajos y un desequilibrio en la productividad orgánica versus el consumo, estarían mostrando un ecosistema con un fuerte "stress" ambiental (Tappan & Loeblich, 1973; Le Furgey & Jean, 1976; Leckie, 1989).

Estos ecosistemas que están controlados físicamente reflejan sus constrictores en las poblaciones que los habitan. Un notable predominio de formas oportunistas (cf. Margalef, 1974) sugieren condiciones ambientales muy particulares. La desmesurada abundancia de *Haplophragmoides walteri* (Grzybowski) a lo largo de gran parte de la secuencia, recrea con gran similitud el concepto de forma oportunista, lo cual indica que durante el desarrollo de los procesos sedimentarios que dieron origen a la Formación Umir las condiciones ecológicas fueron extremas y cambiantes permitiendo que únicamente unas pocas especies se adaptaran a este medio tan inestable.

Asociaciones faunísticas de foraminíferos, tanto fósiles como actuales, caracterizadas por unas pocas especies, especialmente de conchillas aglutinadas, con un enorme número de ejemplares, han sido interpretadas como desarrolladas en ámbitos fuertemente transicionales, como estuarios, lagunas costeras y deltas (Ronai, 1955; Bandy, 1956; Tood & Bronnimann, 1957; Neagu, 1968; Murray, 1968; 1971; Scott & Leckie, 1990, entre otros). El carácter tan particular de las condiciones ambientales está también soportado por la presencia de ostrácodos que señalan la influencia de aguas salobres a dulces.

Todas las asociaciones faunísticas y mineralógicas, lo mismo que los procesos arriba mencionados tienen estrechas similitudes con los que se desarrollan en ámbitos transicionales con excesivo "stress" ambiental, tales como ecosistemas lagunares costeros (cf. Ward & Ashley, 1989; Kirschbaum, 1989) donde es relevante la alta productividad orgánica, la complejidad ecológica y la gran variabilidad de los límites físico-químicos, producto de la dinámica que ejercen conjuntamente tanto el dominio marino (agua salada, mareas, etc) como el dominio continental (agua dulce, vegetación, etc) (cf. Kjerfve & Magill, 1989; Moreno, 1990).

La presencia de foraminíferos planctónicos en un ámbito lagunar costero puede atribuirse a la acción de mareas y/o corrientes marinas, las cuales transportaron las conchillas desde mar abierto, lugar donde sí existen condiciones apropiadas para su desarrollo.

En la Fig. 4 se presenta un bloquediagrama donde se

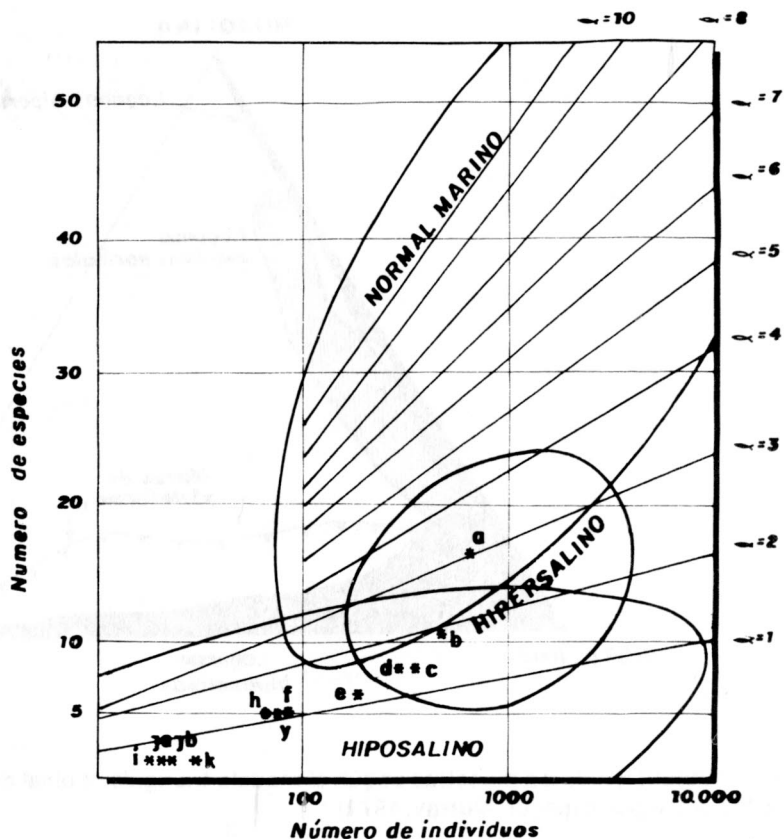


Fig. 5. Posición de las muestras de acuerdo al modelo de distribución de ámbitos ecológicos propuestos por Murray (1971; 1973).

* Posición de cada muestra.

indican los posibles ámbitos ecológico-sedimentarios donde vivieron las asociaciones microfaunísticas recuperadas.

DIVERSIDAD DE LAS ASOCIACIONES DE ESPECIES

La gráfica de las muestras sobre el diagrama de Murray (1973) nos permite evaluar el rango de variación del índice de diversidad de las asociaciones.

Murray (1971;1973) señala que en ámbitos bajo una fuerte influencia marina el índice de diversidad (α) es mayor de cinco, mientras que si esta influencia se ve atenuada, comienza a disminuir, mostrando ambientes más restringidos (ver Fig. 5). Ya que este diagrama se fundamenta en biocenosis actuales, es viable compararlo con cierto grado de seguridad con nuestras orictocenosis.

De acuerdo con el diagrama de Murray (ver Fig. 5) es posible distinguir tres tipos de ámbitos: marino, hipersalino e hiposalino. Cabe anotar que los ámbitos delimitados en la Fig. 6 abarcan zonas de diferentes rangos de diversidad, siendo este último carácter definido por el grado de "stress" ambiental. La mayoría de las doce muestras que fueron ubicadas en el diagrama de Murray sugieren ámbitos hipo-

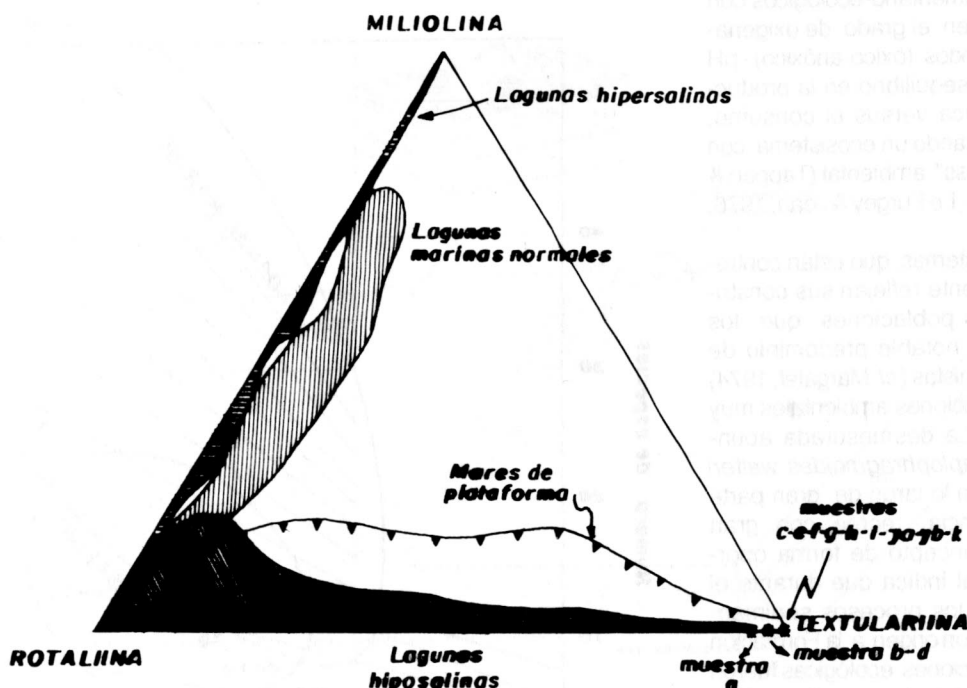


Fig. 6. Distribución de las muestras según el modelo triangular a nivel de subórdenes donde se superponen los ámbitos ecológicos (según Murray, 1971).

* Posición de cada muestra

salinos (ver Fig. 5). Apenas la asociación recuperada de la muestra 52a (muestra estratigráficamente más baja) indica condiciones marinas normales a hipersalinas. Sin embargo, como se planteó arriba, probablemente existió una severa pérdida tafonómica por la disolución de las conchillas calcáreas lo que disminuyó el índice de diversidad de las asociaciones en cada muestra.

Si se tiene en cuenta este efecto es probable que las biocenosis originales tuvieran mayor cantidad de individuos y de especies lo que desplazaría la ubicación de cada muestra hacia arriba y hacia la derecha señalando posiblemente ámbitos marinos normales a hipersalinos. Vale la pena señalar que con la información disponible es difícil evaluar la incidencia de esta pérdida tafonómica. De todas formas si nos atenemos a la ubicación de nuestras oritocenosis en los esquemas de Murray (figs. 5 y 6) ambos sugieren ambientes dominados por aguas hiposalinas. De la Fig. 6 se puede concluir que estos ámbitos tienen una tendencia a tener menor número de especies y de individuos indicando un fuerte "stress".

Debido a que los foraminíferos son básicamente organismos marinos ellos pueden resistir mejor las restricciones de un ámbito hipersalino a uno hiposalino (Debenay, 1990: 227) fundamentando aún más las condiciones de "stress" para este último tipo de ambiente. Soporte adicional a que existió una fuerte influencia de masas de agua con

carácter hiposalino es la presencia de ostrácodos que indican condiciones de masas de aguas salobres a dulces; también se ha señalado que la presencia conjunta de siderita y pirita muestra ambientes que tuvieron una notoria injerencia de aguas salobres (Postma, 1981; 1982).

Por último cabe mencionar el comportamiento general que presenta el gráfico de las muestras en el diagrama de Murray, el cual señala una marcada influencia marina sobre las asociaciones microfaunísticas recuperadas en las muestras recogidas estratigráficamente más abajo (Muestras 52a, 52b, 52c) mientras que a medida que se sube a lo largo de la secuencia (muestras 52d, 52e, 52f, 52g, 52h, 52i, 52ja, 52jb y 52k) las asociaciones reflejan cada vez más una influencia de aguas salobres a dulces. De hecho la presencia de carbón y shales carbonosos en la parte superior de la secuencia sugieren el desarrollo de turberas ("peat swamps") indicando condiciones necesariamente de aguas dulces para la acumulación de carbón, ámbitos que usualmente se localizan tierra adentro fuera de la influencia de las aguas salobres (Frazier & Osanik, 1964; Kirschbaum, 1989: 355).

Todo lo expuesto anteriormente lleva a formular de nuevo la idea antiguamente planteada de que la secuencia de la Formación Umir representa el registro final del gran ciclo sedimentario marino, iniciado a principios del Cretácico en la Gran Cuenca del Oriente Colombiano, reflejado en el

solapamiento gradual de facies desarrolladas en ámbitos fuertemente transicionales sobre facies de origen marino, todo lo cual permite pronosticar la llegada de condiciones totalmente continentales, ámbitos que habrían de prevalecer durante todo el Terciario en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar sus agradecimientos al Profesor Fernando Etayo-Serna por la lectura crítica de este trabajo y al Geólogo Vladimir Pérez por las observaciones y discusiones planteadas durante el desarrollo de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

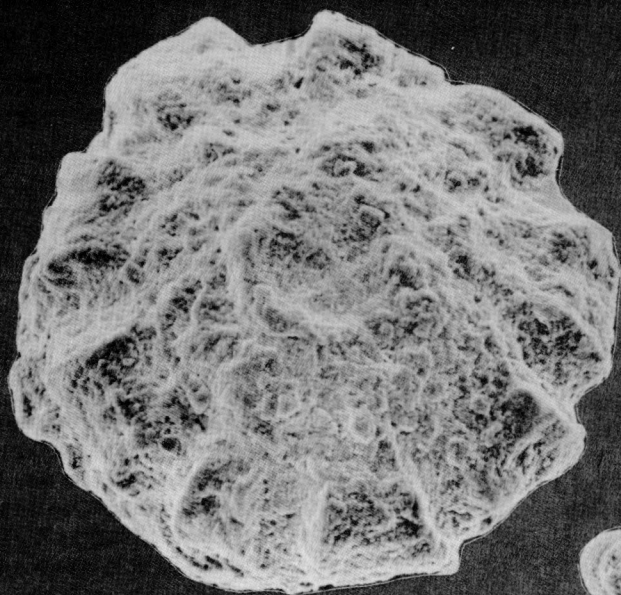
- ABELSON, P.H. (1959): Paleobiochemistry and Organic Geochemistry.- En: Sonderbrück aus Fortschritte der Chemie Organischen Naturstoffe, Band XVII: 379-403.
- BANDY, O. (1956): Ecology of Foraminifera in Northeastern Gulf of Mexico.- Geol. Surv. Prof. Paper 274-G: 179-204.
- BECK, K.C. & REUTER, J.H. (1974): Organic and inorganic geochemistry of some coastal plain rivers of southern United States.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 38: 341-364.
- BERNER, R.A. (1970): Sedimentary pyrite formation.- *American Journal of Science*, v. 268:1-23.
- BERNER, R.A. (1981): A new geochemical classification of sedimentary environments.- *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 51, no. 2:359-265.
- BOLTOVSKOY, E. (1966): Depth at which foraminifera can survive in sediment.- *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, V. 17:43-45.
- BUZAS, M. (1974): Vertical distribution of *Ammobaculites* in the Rhode River, Maryland.- *Journal of Foraminiferal Research*, v. 4, no. 3:144-147.
- DEBENAY, J.P. (1990): Recent foraminiferal assemblages and their distribution relative to environmental stress in the paralic environments of West Africa (Cape Timiris to Ebrie Lagoon).- *Journal of Foraminiferal Research*, v. 20, no. 3:267-282.
- DEMAISON, G.J. & MOORE, T. (1980): Anoxic environments and oil source bed genesis.- *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 64(8): 1179-1209.
- DOLITSKAYA, I.V. (1972): Dependencia de la diversidad específica en los foraminíferos según las condiciones ambientales.- *Paleontolog Zhurnal*, no. 2:3-9 (en ruso).
- ELLISON, R.L. (1972): *Ammobaculites*, foraminiferal propietor of Chesapeake bay estuaries.- *Memoir of Geological Society of America*, no. 133:247-262.
- FABRE, A. (1984): La subsidencia de la cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario. Primera parte: Estudio cuantitativo de la Subsidencia. Segunda parte: Esquema de evolución tectónica.- *Geologa Norandina*, 8:21-27 y 49-62, Bogotá.
- FOX, D. (1957): Particulate Organic Detritus.- En: *Treatise on Marine Ecology and Paleocology*. (Ed. by T. Hedgpeth), v. 1: 383-390. Memoir no. 67 of the Geological Society of America.
- FRAZIER, D.E. & OSANIK, A. (1964): Recent Peat Deposits - Louisiana Coastal Plain. En: Dapples, E.C. and Hopkins, M.E. (Editors). *Environments of coal Deposit*, Special Paper of the Geological Society of America, no. 114:63-85.
- GARDNER, L.R. (1973): Chemical models for sulfate reduction in closed anaerobic marine environments.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 37:53-68.
- GOMEZ, E. & PEDRAZA, P. (1993): Análisis Estratigráfico del Cretáceo Superior terminal en el extremo sur del Valle Medio del Magdalena.- Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia (Inédito).
- GRANT, J. (1986): Sensitivity of benthic community respiration and primary production to changes in temperature and light.- *Marine Biology*, v. 90:299-306.
- HERNANDEZ, C.A. (1986): Producción primaria y dinámica del fitoplancton en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia.- Tesis M.Sc. Biol. Mar. Univ. Nac. Col., Bogotá, 177 p.
- HOPPE, H.G., GÖCKE, K., ZAMORANO, D. & ZIMMERMANN, R. (1983): Degradation of macromolecular organic compounds in a tropical lagoon (Ciénaga Grande de Santa Marta), and its ecological significance.- *Int. Revue Hydrobiol.*, 68(6):811-824.
- HOWARTH, R.W. (1979): Pyrite: its rapid formation in a salt marsh and its importance in ecosystem metabolism.- *Science*, v. 203:49-51.
- KIRSCHBAUM, M.A. (1989): Lagoonal deposits in the Upper Cretaceous Rock Springs Formation (Mesaverde Group), southwest Wyoming.- En: L.G. Ward and G.M. Ashley (Editors), *Physical Processes and Sedimentology of Siliciclastic Dominated Lagoonal System*.- *Marine Geology*, v. 88:349-364.
- KJERFVE, B. & MAGILL, K.E. (1989): Geographic and Hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons.- En: L.G. Ward and G.M. Ashley (Editors), *Physical Processes and Sedimentology of Siliciclastic-Dominated Lagoonal Systems*.- *Marine Geology*, v. 88:187-199.
- LANGER, M., HOTTINGER, L. & HUBERT, B. (1989): Functional morphology in low-diverse benthic foraminiferal assemblages from tidal flats of the North Sea.- *Senckenbergiana maritima*, 20(3-4):81-99.
- LE FURGEY, A. & JEAN, J., Jr. (1976): Foraminifera in brackish water ponds designed for waste control and aquaculture studies in North Carolina.- *Journal of Foraminiferal Research*, v. 6, no. 4:274-294.
- LECKIE, M. (1989): A paleoceanographic model for the early evolutionary history of planktonic foraminifera.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 73:107-138.
- LIZARRAGA-PARTIDA, L. & Bianchi, A. (1999): Dinámica y caracterización de las bacterias heterótrofas en la Laguna de Términos, 259-276.- En: Yañez-Arancibia, A., et al. (Editors). *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México*. UNAM-OEA.

- MARGALEF, R. (1974): Ecología.- Ed. Omega, Barcelona, 951 p.
- MARTINEZ, J.I. (1987): Foraminiferal biostratigraphy and sea level changes of the Maastrichtian Colon mudstones of Northern South America (Molino River Section, Colombia). M.Sc. thesis, Hull University, England, 98p.
- MARTINEZ, J.I. (1989): Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Maastrichtian Colon mudstones of Northern South America.- *Micropaleontology*, v.35, no. 2:97-113.
- MAYNARD, J.B. (1982): Extension of Berner's "New Geochemical clasification of sedimentary environments" to ancient sediments.- *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 52(4):1324-1331.
- MICHAELS, A.F. & Silver, M.W. (1988): Primary production, sinking and the microbial food web.- *Deep Sea Research*, 35(4A):473-491.
- MORENO, O.R. (1990): Caracterización ecológica: estructura y función de fondos blandos en el complejo Lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano.- Tesis M. Sci., Universidad Nacional de Colombia, 98 p.
- MURRAY, J.W. (1968): Living foraminifers of lagoons and estuaries.- *Micropaleontology*, v. 14. no. 4:435-455.
- ____ (1971): Living foraminiferids of tidal marshes: A review.- *Journal of Foraminiferal Research*, v. 1. no. 4:153-161.
- ____ (1973): Distribution and ecology of living benthic foraminiferids.- Heinemann Educational Books Ltd., London, 273 p.
- MURRAY, J.W. & WRIGHT, C.A. (1970): Surface textures of calcareous foraminiferids.- *Paleontology*, v. 13:184-187.
- NEAGU, T. (1969): Biostratigraphy of Upper Cretaceous deposits in the southern Eastern Carpathians near Brasov.- *Micropaleontology*, v. 14, no. 2:225-241.
- NOGAN, D. (1964): Foraminifera, stratigraphy, and paleoecology of the Aquia Formation of Maryland and Virginia.- Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication no. 7, 50p.
- PETTERS, V. (1955): Development of Upper Cretaceous foraminiferal faunas in Colombia.- *Journal of Paleontology*, v. 29, no. 2:212-225.
- POSTMA, D. (1981): Formation of siderite and vivianite and the porewater composition of recent bag sediment in Denmark.- *Chemical Geology*, v. 32:225-244.
- ____ (1982): Pyrite and siderite formation in brackish and freshwater swamp sediments.- *American Journal of Science*, v. 282:1151-1183.
- PRESLEY, B.J. & KAPLAN, I.R. (1968): Changes in dissolved sulfate, calcium and carbonate from interstitial water of near-shore sediments.- *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 32:1037-1048
- RONAI, P. (1955): Brackish-water foraminifera of the New York Bright.- Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, v. 6, pt. 4:140-149.
- SCHEIHING, M.H., GLUSKOTER, H.J. & KINKELMAN, R.B. (1978): Interstitial networks of kaolinite within framboids in the Meigs creek coal of Ohio.- *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 48:723-732.
- SCOTT, K.D. & LECKIE, R.M. (1990): Foraminiferal zonation of Great Sippewissett Salt Marsh (Falmouth, Massachusetts).- *Journal of Foraminiferal Research*, v. 20, no. 3:248-266.
- SMITH, R.K. (1987): Fossilization potential in modern shallow water benthic foraminiferal assemblages.- *Journal of Foraminiferal Research*, v. 17, no. 2:112- 117.
- SUESS, E. (1979): Mineral phases formed in anoxic sediments by microbial decomposition of organic matter.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 43:339-352.
- TAPPAN, H. (1968): Primary production, isotopes, extinctions and the atmosphere.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 4:187-210.
- TAPPAN, H. & LOEBLICH, A.R., Jr. (1973): Evolution of oceanic plankton.- *Earth Sciences Review*, v. 9:207-240.
- TEAGUE, K.G., MADDEN, Ch. & DAY, J.W. (1988): Sediment-water oxygen and nutrient fluxes in a river dominated estuary.- *Estuaries*, v. 11(1):1-9.
- TODD, R. and BRONNIMANN, P. (1957): Recent foraminifera and thecamoebians from the eastern Gulf of Paria.- Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, no. 3, 44 p.
- VOLKOV, I.I. (1961): Iron sulfides, their independence and transformation in the Black Sea bottom sediments.- *Akad. Nauk SSSR, Inst. Okeanologii Trudy*, v. 50:68-92 (en ruso con resumen en Inglés).
- WARD, L.G. & ASHLEY, G.M. (1989): Introduction: Coastal Lagoonal systems.- En: L.G. Ward and Ashley, G.M. (Editors), *Physical processes and Sedimentology of Siliciclastic-Dominated Lagoonal Systems*. Marine Geology, v. 88:181-185.
- YANIN, B.T. (1983): Fundamentos de Tafonomía.- Ed. 'Nedra', 183 p. (en ruso).

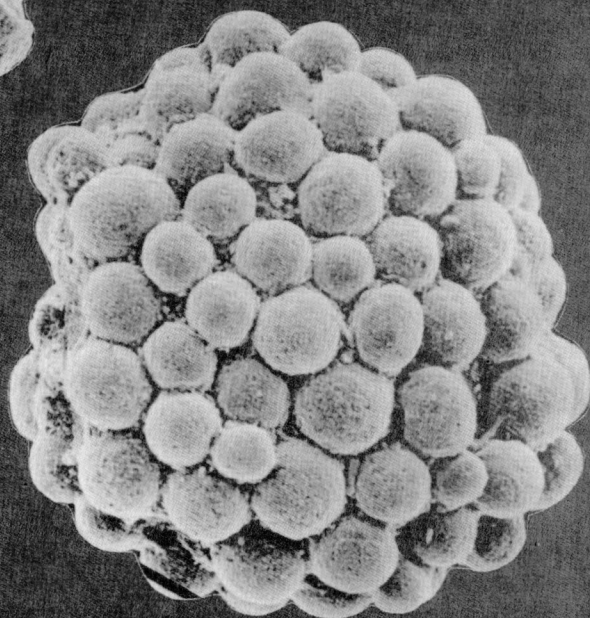
Manuscrito recibido, Abril de 1993

PLANCHA 1, Fig. 1.- Alga calcárea; muy común en la base de la Formación Umir (x 241). →

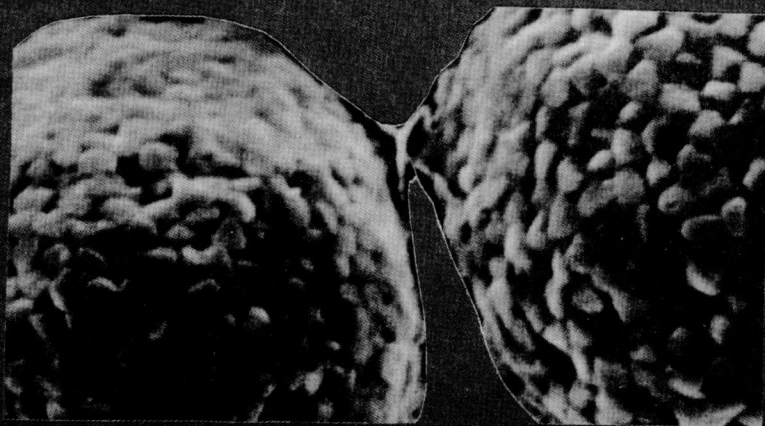
PLANCHA 1, Figs. 2a - b.- Pirita en hábito framboidal, presente en la Formación Umir (a, x 48.2; b, x 386)



1



2a



2b