

LAMINACION Y BIOTURBACION EN CARBONATOS LAGUNARES: INTERPRETACION GENETICA (CUENCA DEL GUADIANA, BADAJOZ)

I. Armenteros (*), C. J. Dabrio (*), G. Alonso Gavilán (*), A. Jorquera (**) y M. Villalobos (**)

RESUMEN

El estudio sedimentológico al microscopio y en secciones pulidas de las muestras de la unidad de carbonatos laminados (1 a 2 m de espesor), situada a techo de la sucesión miocena, que rellena la cuenca neógena del Guadiana, revela que posee notables singularidades.

La laminación se aprecia en muestra de mano y resulta de una alternancia de niveles masivos y laminados. En lámina delgada los niveles masivos constan de partículas intraclásticas, ooidales y peletoidales, mientras que los laminados presentan una alternancia de láminas claras y oscuras suavemente onduladas. Dentro de éstas y, en menor medida, en los niveles masivos pueden reconocerse: (a) numerosos vestigios de filamentos algales, (b) abundantes restos de caráceas, (c) pequeñas cavidades de unas 250 micras de diámetro, generalmente agrupadas, y otras mayores que contienen pellets, apareciendo ambos tipos en relación con bioturbación; (c) prismas dispersos de calcita semejantes a *Microcodium*, y (e) agrupaciones de cristales trapezoédricos de calcita de secciones rómbicas y lenticulares que son más abundantes en los niveles masivos.

La interpretación sedimentológica de estos depósitos refiere una sedimentación en áreas encharcadas con oscilaciones periódicas del nivel del agua. Los niveles laminados, de naturaleza estromatolítica, corresponden a las etapas más secas y se forman bajo láminas de agua en ambientes tranquilos, mientras que los niveles masivos responden a un mayor influjo de agua a la cuenca que supone condiciones de energía más alta capaces de removilizar el material fragmentado por desecación en las etapas secas.

La actividad vital de insectos Quironómidos produjo dos tipos de bioturbación: pequeñas cavidades arracimadas que corresponden a las puestas y eclosión de huevos y galerías mayores parcialmente rellenas por pellets fecales que registran la actividad minadora de las larvas.

Palabras clave: Carbonatos laminados, costras, bioturbación por insectos, lagos, Cenozoico, Cuenca del Guadiana, Badajoz.

ABSTRACT

The sedimentological study of both polished and thin sections of samples taken from the 1-2 m thick unit of laminated carbonates overlying the Miocene succession infilling the Neogene Guadiana Basin (western Spain) reveals the existence of prominent features that are discussed in the paper.

The lamination visible in hand specimens is due to the alternance of massive and laminated layers. In thin sections, the massive layers are made of intraclastic, ooidal pelletal particles, whereas the laminated ones show gently undulating, alternating light and dark-coloured layers. Inside the laminated and, to a lesser extent, the massive layers it is possible to recognize: (a) abundant vestiges of algal filaments, (b) abundant remains of charophytes, (c) small, usually grouped-up, cavities (mean diameter about 250 microns) and bigger, pellet-filled cavities, both types related to burrowing; (d) sparse prisms of calcite resembling those of *Microcodium*, and (e) clusters of trapezohedral crystals of calcite with rhomboidal and lenticular sections, these being more abundant in the massive layers.

The sedimentological interpretation assumes that sedimentation took place in swamps with periodic oscillations of the water level. The laminated layers, of stromatolitic nature, correspond to quiet realms under constant water level during dry stages. The massive layers record higher environmental energy during flood stages, that is able to remobilize the cracked sediments of the former dry stages.

The vital activity of Chironomid insects lead to the two described types of burrowing: the small grape-like cavities correspond to eclosing eggs whereas the bigger pellet-filled cavities resulted from mining by larvae.

Key words: Laminated carbonates, crusts, burrowing by insects, lakes, Cainozoic, Guadiana Basin, Badajoz.

(*) Departamento de Estratigrafía. Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. 37008-Salamanca.

(**) INGENISA. Avenida Virgen de las Angustias, 16. 14006-Córdoba.

Introducción

A techo de los sedimentos atribuidos al Mioceno en la Cuenca del Guadiana se disponen unos niveles carbonatados laminados (fig. 1). Depósitos similares se han asignado tradicionalmente en el campo a costras laminadas o costras zonales por su similitud, a simple vista, con las descritas por Durand (1983) y Freytet (1965). Las interpretaciones genéticas corrientes les han conferido un origen ambiguo.

Un estudio más reciente, durante la elaboración de la cartografía del MAGNA, ha permitido caracterizar microtexturalmente estos materiales poniendo de manifiesto rasgos físicos y de origen orgánico (bioturación y fijación de carbonato), que llevan a nuevas conclusiones paleogeográficas.

Los depósitos estudiados afloran en las Hojas de Almendralejo (11-32), La Albuera (10-32) y Olivenza (09-32), con un espesor inferior al metro en la mayor parte de los casos y a techo de la serie atribuida al Mioceno por criterios regionales.

El objetivo de este trabajo es describir e interpretar los rasgos característicos de estos materiales, reconstruir la paleogeografía durante su formación y relacionarlos con los materiales infrayacentes.

Conscientemente se ha evitado el empleo del término costra (en «dalle» o zonal 1) para estos depósitos laminados, dado que su significación es muy variable según la nacionalidad y el punto de vista de los diferentes investigadores (ver al respecto Duchaufour (1975) y Vogt (1984), págs. 12 y 13). En el sen-

tido de Vogt (1981, 1984), las costras son sedimentos calcáreos depositados por aguas corrientes y en este caso hay plena identificación con los materiales que se estudian aquí.

Situación y descripción de las muestras

En la exposición más completa los carbonatos se disponen a techo de un perfil constituido por cuatro niveles: (a) sedimentos siliciclásticos aluviales parcialmente epigenizados por calcita (red de carbonatación más tupida a techo); (b) nivel arcilloso relativamente compacto con estructuras columnares, fractura concoidea y de color rojo en la base y gris-pardo a techo; (c) en contacto irregular sobre el anterior, costra pulverulenta formada por cristales trapezoédricos de calcita que incluye restos de las arcillas subyacentes, y (d) en tránsito gradual (apreciación de campo) con la costra pulverulenta se desarrolla el nivel de carbonatos laminados que centra el interés de este estudio (fig. 2).

Se han estudiado muestras de los carbonatos laminados en varias localidades (fig. 1), cuyas características permiten establecer comparaciones entre distintos puntos del ambiente sedimentario. Se han seleccionado cuatro puntos representativos que se describen a continuación de este a oeste.

Zona oriental

Muestra 1, situada junto a la carretera de Alange, 4 kilómetros al noroeste de Almendralejo.

En muestra de mano presenta una alternancia de láminas claras y oscuras onduladas que se asocian a niveles intraclásticos (fig. 3).

En lámina delgada éstas aparecen como una alternancia de (fig. 4A):

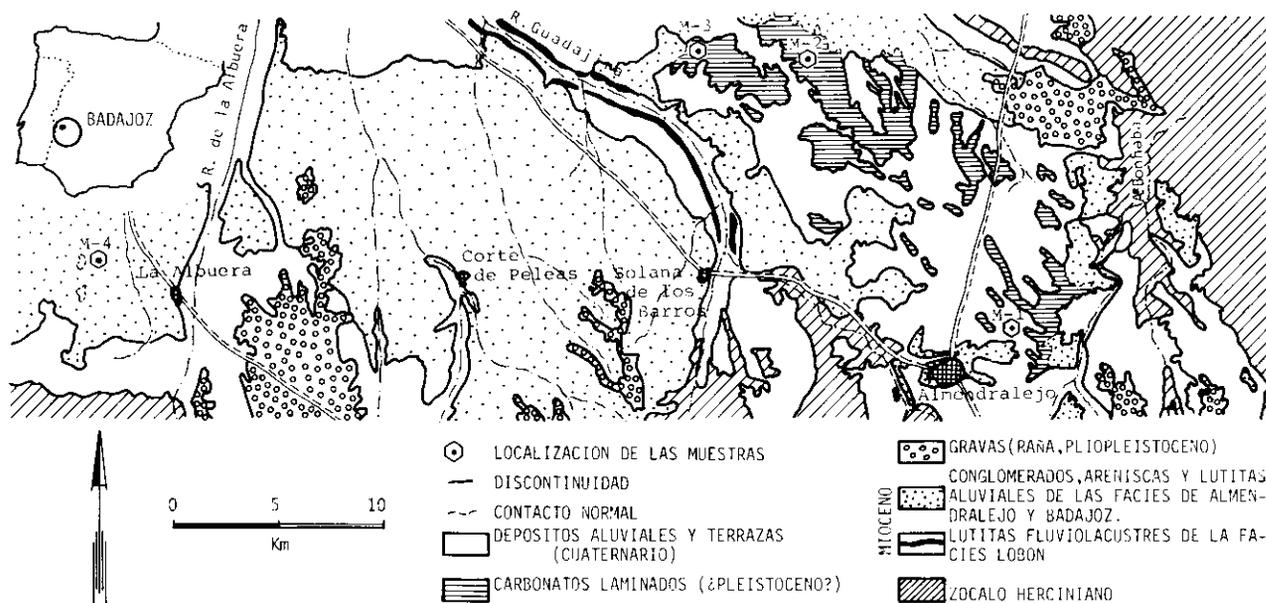


Fig. 1.—Marco geológico de la cuenca neógena del Guadiana y situación de las muestras descritas en este trabajo. Modificado de Villalobos, M., Jorquera, A., Apalategui, A. y Rodríguez Vidal, J. (com. personal 1986).

Geologic setting of the Neogene Guadiana basin with the location of the samples studied and described in this paper. Modified from Villalobos, M., Jorquera, A., Apalategui, A. y Rodríguez Vidal, J. (com. personal 1986).

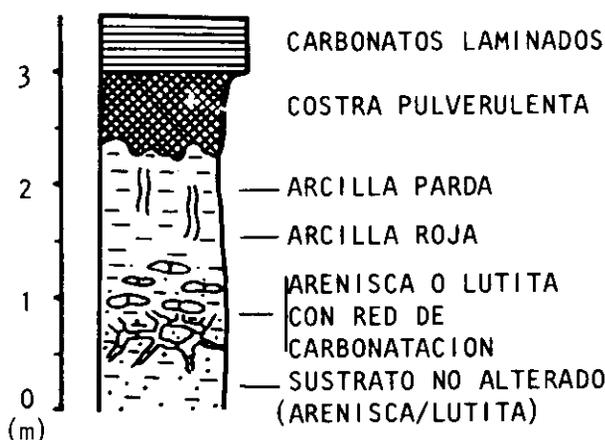


Fig. 2.—Perfil esquemático de la parte alta de la sucesión neógena de la cuenca del Guadiana ilustrando las relaciones entre la unidad carbonatada y la infrayacente.

Diagrammatic profile of the upper part of the Neogene sediments of the Guadiana basin illustrating the relationships between the carbonate and the underlying units.

(a) *Niveles intramicríticos* de 0,8 mm de espesor medio, formados por intraclastos subredondeados (diámetro entre 0,1 y 0,5 mm), ooides (diámetro 0,2 mm), peloides (0,08 a 0,1 mm) y un porcentaje inferior al 2% de materiales terrígenos finos (0,008 a 0,4 mm), entre los que predomina el cuarzo, todo ello en una matriz micrítica. En algunos niveles aparecen estructuras alargadas microspáriticas de 80×10 micras que presentan una parte central oscura de 4 a 5 micras de anchura; son similares a las de la figura 6.

Localmente existen formas lenticulares monocristalinas de calcita (de 40 a 50 micras), dispersas o formando intraclastos, que proceden de la erosión de la costra pulverulenta. Ocasionalmente se descubren estructuras anulares de 100 micras de diámetro formadas por un conjunto de cristales aciculares dispuestos perpendicularmente a la estructura (radiales) y que se atribuyen a actividad orgánica.

(b) *Niveles laminados* de 0,15 a 1 mm de espesor, constituidos por una alternancia de láminas esponjosas claras (0,3 mm de grosor) y densas oscuras (0,6 mm de grosor), suave e irregularmente onduladas, con un engrosamiento de las láminas en los senos de las ondulaciones (fig. 4B). Las láminas oscuras son micríticas y presentan grumos negros y rojizos relacionados con materia orgánica y arcillas rubificadas respectivamente. Las láminas claras, de geometría lenticular, presentan una textura de grumos micríticos en un fondo micropáritico y viceversa. Se reconocen hasta tres tipos de estructuras de origen orgánico no siempre claro: el más abundante consiste en prismas de calcita de 40 a 80 micras de longitud dispersos o en agregados, que están recorridos longitudinalmente por una traza oscura y que son semejantes a los prismas de *Microcodium* (véase al respecto, Esteban, 1974); otras son estructuras arqueadas de 0,5 mm, cuya sección muestra sucesivos ensanchamientos y estrechamientos y estructuras circulares relacionadas con fragmentos y secciones de caráceas (fig. 5); el tercer tipo es análogo al descrito en los niveles intramicríticos (fig. 6). En algunas láminas, sobre todo en las claras, existen zonas con peloides (0,08 mm de diámetro) y ooides (0,1 a 0,8 mm) dispersos en el seno del sedimento.

Zona central

Muestra 2, situada a 4,5 km al sur de Arroyo de San Serván, en la carretera a la Solana de los Barros.

En muestra de mano se observan dos niveles alternantes:

(a) *Nivel de intramicritas u oomicritas* (fig. 7) de unos 12 mm de espesor. Es un «pakestone» en el que, por orden de abundancia, se aprecian: ooides (entre 0,1 y 0,5 mm de diámetro), peloides (0,08 mm), intraclastos (0,07 a 0,8 mm), secciones lenticulares y rómbicas de calcita (diámetro 0,07 mm) y granos terrígenos de arcilla (0,15 a 0,25 mm). Los dos últimos pueden servir de núcleo a los ooides. En las envueltas de los ooides se diferencian láminas claras y oscuras y se distinguen, además, estructuras calcíticas monocristalinas (50×20 micras) que incluyen una traza oscura interior y semejan prismas de *Microcodium*, así como otras más delgadas (4 a 6 micras) muy parecidas a las de la figura 6.

(b) *Nivel laminar bioturbado* (fig. 8), de 14 mm de grosor, en el que alternan láminas micríticas oscuras (0,5 mm) y claras, también micríticas (1,5 mm), caracterizadas por su distinto contenido en materia orgánica y cuya diferenciación no es buena, mostrando contactos graduales. Contienen pellets (de 40 a 50 micras) más abundantes hacia la base. El rasgo más significativo es la presencia de bioturbación que aparece en secciones circulares y tubulares de 0,2 mm de anchura media, parcialmente ocupadas por cristales aciculares de 2 micras de grosor, que suelen estar agrupadas. Estos cristales representan la etapa actual de migración de carbonatos a lo largo de poros y su concentración en la parte inferior del perfil (E. Molina, com pers, 1986). Además aparecen otras cavidades mayores de sección enteroidal cuya anchura oscila entre 0,4 y 0,7 mm, parcialmente rellenas de material pelletoidal (fig. 8).

Toda la muestra presenta una red poligonal de cuarteamiento de 0,1 a 0,2 mm de malla.

Muestra 3, tomada en el ángulo noroeste de la Hoja de La Albuera, 6 km al oeste de la anterior (M-2).

En muestra de mano consiste en una alternancia de niveles centimétricos laminados que presentan crenulación, y de otros niveles intraclásticos que se acuñan (fig. 9). Se diferencia también otro nivel micrítico homogéneo de color crema. En los niveles laminados se presenta una alternancia de láminas milimétricas claras y oscuras, de las que son más densas las primeras.

En lámina delgada se distinguen los mismos niveles, con las siguientes características texturales:

(a) *Niveles laminados* con alternancia milimétrica a submilimétrica de láminas oscuras micríticas densas y láminas micríticas claras ligeramente onduladas. Las primeras contienen abundante materia orgánica distribuida en grumos. Se encuentran estructuras formadas por una incrustación microspáritica clara con una traza oscura central de 4 micras de grosor que, a veces, se disponen paralelas a la laminación y que son comparables a las de la muestra 1 (fig. 6). Incluyen secciones de caráceas mal conservadas (sobre todo talos), estructuras prismáticas monocristalinas similares a *Microcodium* del tipo b de Esteban (1974), algunos peloides y ooides dispersos (0,08 a 0,2 mm) y cuarzo de tamaño limo.

La parte alta de uno de los niveles laminares está muy bioturbada y se encuentran secciones de bioturbación similares a las descritas en los niveles laminares bioturbados de la Muestra 2.

(b) *Niveles intramicríticos* (fig. 10), que, otras veces, son oomicríticos (pakestone). Están formados por ooides (0,15 a 0,7 mm), intraclastos (0,1 a 1 mm), peloides (0,08 a 1 mm) y, en proporción inferior al 4%, cristales de cuarzo de tamaño

arena muy fina, que pueden servir de núcleo a los ooides, algunos de los cuales pueden presentar envueltas con alternancias de láminas claras y oscuras semejantes a las de los niveles laminares. Se encuentran también secciones de caráceas (girogonitos), estructuras prismáticas de calcita (40×20 micras) con una traza oscura longitudinal similares a los primas de *Microcodium* y, en uno de los niveles, cristales lenticulares romos de calcita, dispersos o formando agregados. La porosidad intergranular aparece parcialmente ocupada por un cemento esparítico muy fino de tamaño medio de cristales alrededor de 4 micras).

(c) *Nivel micrítico homogéneo* de unos 5 mm de espesor, que corresponde a una micrita detrítica con un 5% de granos de cuarzo de 0,04 a 0,2 mm de diámetro, posibles secciones de caráceas y fragmentos de bivalvos (com. pers. de A. González, 1985). Presenta una fuerte bioturbación horizontal de secciones alargadas de morfología enteroidal y 1 mm de grosor, que llega a destruir lateralmente la textura original (fig. 11). En su interior aparecen pellets.

Zona occidental

Muestra 4, situada en el borde oriental de la Hoja de Olivenza, 4 km al oeste-noroeste de la localidad de La Albuera.

En sección pulida presenta un nivel calizo laminado con crenulaciones que se sitúa entre un nivel intraclástico-oidal a muro y otro intraclástico-bréchico a techo.

En lámina delgada se reconocen los niveles siguientes:

(a) *Oomicrita* (pakestone a grainstone) (fig. 12), de más de 20 mm de espesor y formada básicamente por intraclastos de

contornos circulares y por ooides (0,05 a 0,5 mm de diámetro) con envueltas milimétricas finas e isopacas en las que localmente se diferencian alternancias de láminas claras y oscuras. Se reconocen secciones de caráceas mal conservadas y prismas dispersos de calcita (40×20 micras) similares a *Microcodium*, con una traza central más oscura. Los espacios intergranulares están parcialmente ocupados por un cemento esparítico fino cuyos cristales promedian 4 micras.

(b) Alternancias milimétricas de láminas claras (0,5 a 0,6 mm de espesor) y oscuras (0,05 a 0,15 mm) de naturaleza micrítica con un pronunciado ondulamiento (fig. 12). Se diferencian por el espesor, el mayor contenido en restos orgánicos de las segundas y por la inclusión de intraclastos y ooides (0,1 a 0,3 mm) dentro de las primeras. Hay estructuras alargadas (200×12 micras) formadas por una banda oscura flanqueada por dos de microesparita que se disponen paralelas a la laminación. Aparecen secciones de caráceas.

(c) Alternancias milimétricas irregulares de láminas claras y oscuras casi totalmente distorsionadas por bioturbación, que se presenta en secciones circulares, ovoidales y enteroidales cuya anchura media es de 0,25 mm y en otras secciones más irregulares de anchura media 0,5 mm, que contienen pellets (0,05 a 0,05 mm). Se distinguen, además, secciones muy deterioradas de caráceas (0,3 mm).

(d) *Niveles intraclásticos* complejos y discontinuos (0 a 1 mm) formados por intraclastas micríticos y, sobre todo, por cristales de calcita (0,06 a 0,2 mm) relacionados probablemente con la erosión de la costra pulverulenta subyacente, y que se encuentran dispersos o agrupados en intraclastos (0,4 a 0,6 mm) cuyos contornos romos sugieren cierto transporte o

Fig. 3.—Sección pulida de la muestra 1. En la base, nivel intraclástico masivo (I), que es recubierto por una alternancia de láminas claras y oscuras (L), a su vez sublaminares con suaves ondulaciones de amplitud milimétrica (O). En la parte superior, niveles intraclásticos que se ofrecen en detalle en la fig. 4. Escala 1 cm.

Polished section of sample M-1. In the lower part there is a massive intraclastic layer (I) covered by alternating light and dark coloured laminae (L) which, in their turn, show thinner laminations that are gently undulated with milimetric amplitude (O). At the top, there are intraclastic layers that are shown in detail in fig. 4. Scale 1 cm.

Fig. 4 A.—Detalle al microscopio de la parte alta de la figura anterior: alternancia de láminas claras y oscuras onduladas, entre niveles intraclásticos (I). Escala 250 micras.

Detail of a thin section of the upper part of figure 3: alternance of light and dark undulating laminae placed between two intraclastic layers (I). Same meaning as in Fig. 3. Scale 250 microns.

Fig. 4 B.—Aspecto de las láminas onduladas, con cretas agudas (s) y suaves depresiones contiguas que destacan por la rubificación de los niveles oscuros más arcillosos. Detalle al microscopio de los niveles laminados de las fig. 3. Escala 250 micras.

Undulating laminae with acute crests (s) and gentle adjacent depressions, well marked due to the rubification of the darker, more argillaceous layers. This figure correspond to a detail view of fig. 3. Scale 250 microns.

Fig. 5.—Lámina delgada del nivel laminado de la M-1, en el que se ve un talo (T) de carácea, que aún conserva uno de los sifones interiores. Escala 100 micras.

Thin section of the laminated layer of sample M-1 showing an equatorial (T) section of a charophyte stem with one of the internal syphons still in place. Scale 100 microns.

Fig. 6.—Vestigios de filamentos algales, probablemente cianofíceas, dentro de una laminilla oscura perteneciente al nivel laminado de M-1. Lámina delgada. Escala 100 micras.

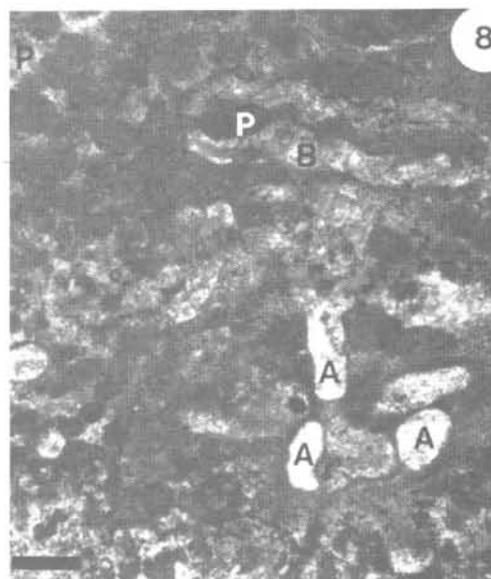
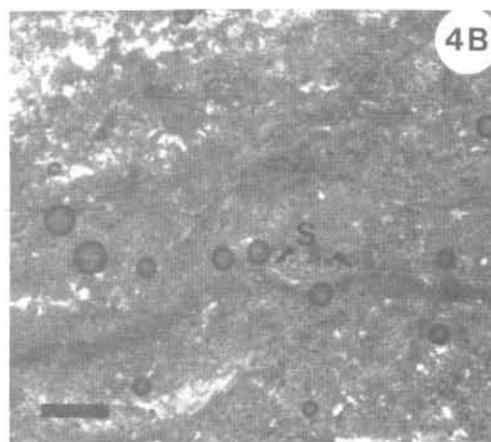
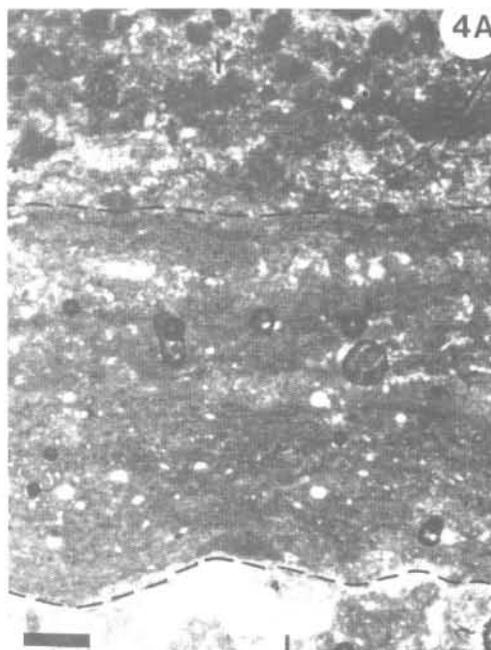
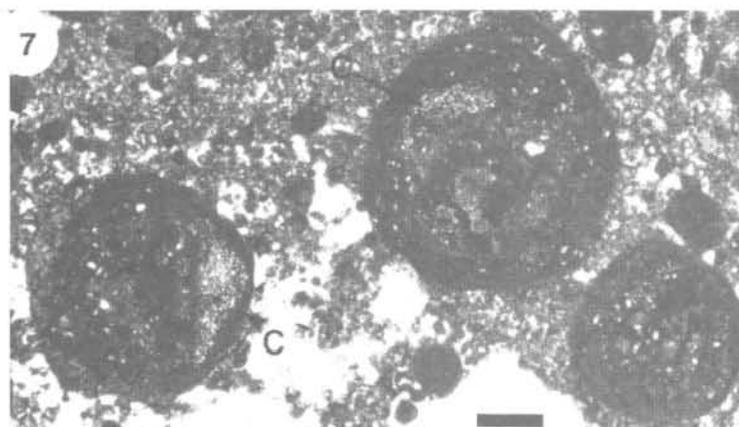
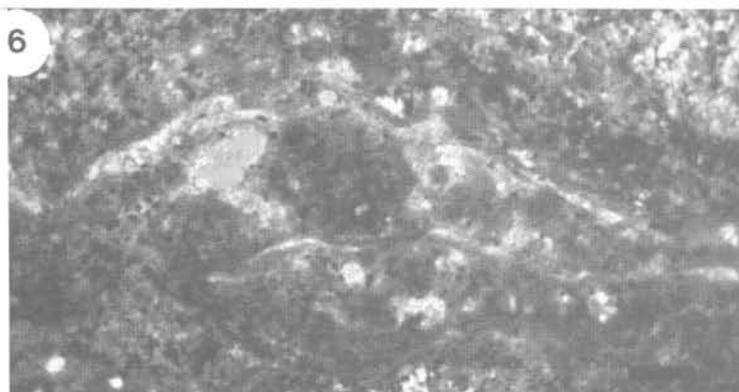
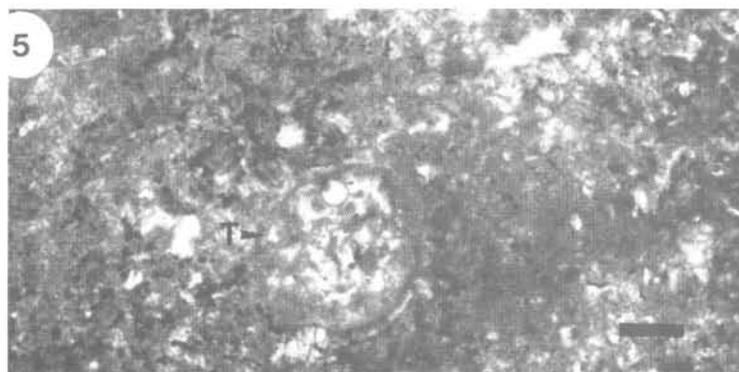
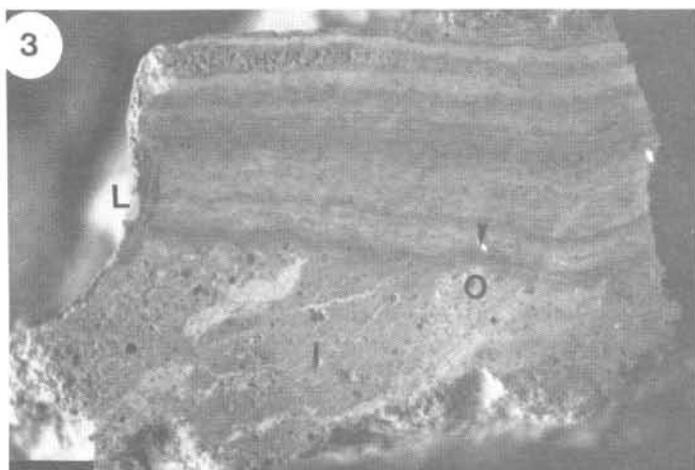
Thin section of the laminated layer of sample M-1: vestiges of algal filaments, probably due to blue-green algae. Scale 100 microns.

Fig. 7.—Textura al microscopio de un nivel intraclástico correspondiente a la muestra M-2, donde se diferencian tres ooides cuyos núcleos son cristales lenticulares de calcita (C). La matriz está formada por partículas micríticas similares a peloides más pequeñas (diámetro medio 40 micras). Escala 250 micras.

Microscopic texture of an intraclastic layer of sample M-2 with three ooids which nucleus are made of crystals of calcite (C). Matrix made of small micritic particles resembling peloids (mean diameter 40 microns). Scale 250 microns.

Fig. 8.—Aspecto al microscopio del nivel laminado de la muestra M-2, totalmente desorganizado por bioturbación. Existe una más pequeña (anchura 250 micras) cuyas cavidades suelen estar agrupadas y parcialmente ocupadas por un cemento esparítico acicular y muy fino (A), y otra de mayor tamaño (B), más irregular que suele estar rellena de material pelotoidal (P). Escala 250 micras.

This section of the laminated layer of sample M-2, wholly desorganized by burrowing. There are two types of burrows: the smaller ones (width about 250 microns) are usually grouped and partially filled with acicular very fine sparite cement (A); the bigger ones (B) are more irregularly shaped and are usually filled with peloidal sediment (P). Scale 250 microns.



retrabajado (fig. 14). También aquí existen restos de caráceas, así como intraclastos arcillosos provenientes de niveles subyacentes (ver fig. 2).

Interpretación sedimentaria

La gran similitud de las muestras permite llevar a cabo una interpretación de conjunto.

Por la presencia de caráceas se aume un origen lacustre. Las alternancias periódicas de las condiciones sedimentarias se reflejan en la sucesión de niveles laminados e intraclásticos.

Los niveles clásticos-oidales responden a etapas de erosión en zonas marginales expuestas y al subsiguiente retrabajado de los fragmentos arrancados (intraclastos y litoclastos) cuyo transporte está atestado por el redondeamiento de los clastos, su densidad (pakestone y grainstone) y selección, en algún grado. La formación de envueltas en torno a diversos núcleos se relaciona con la remoción de aquellos en aguas saturadas en CO_3 y en Ca^{+2} y (o) tal vez con la influencia de organismos procarióticos, extremo éste no confirmado. La zonación de algunas envueltas representa diversos estadios evolutivos del desarrollo de la envuelta. El carácter isopaco de las envueltas, junto a los rasgos citados, sirven para excluir el origen diagenético de estos elementos, así como el de las partículas carbonatadas acompañantes (clastos y peloides).

Los cristales romos detríticos de calcita indicarían la erosión de la costra pulverulenta subyacente en el perfil situada en zonas más someras.

Las estructuras prismáticas atribuibles a *Microcodium* se relacionan, según las investigaciones más recientes (Klappa, 1978), con la erosión de perfiles edáficos con horizontes de acumulación de carbonato cálcico (caliches en sentido amplio) en áreas emergidas con sedimentación escasa o esporádica, donde se origina el *Microcodium* por la calcificación de «mycorrhizae».

Los niveles laminados se depositan en épocas de menor energía ambiental y bajo láminas de agua permanente, como atestiguan los abundantes restos de caráceas y las estructuras alargadas microspáritas atribuidas al encostramiento de filamentosos algales siguiendo a Klappa (1979, a). La ritmicidad en la alternancia de láminas claras y oscuras, la evidencia de estructuras criptalgales, el engrosamiento laminar en los senos de algunas ondulaciones y la ausencia de rasgos edáficos permiten, en asociación, referir la laminación a una estructura organosedimentaria estromatolítica (en el sentido de Walter, 1976), construida por el crecimiento de microorganismos que, en su mayoría, son cianofíceas. La textura densa y el mayor contenido en vestigios algales y en materia orgánica de las láminas oscuras corresponden a etapas de florecimiento biológico, mientras que las claras responden a situaciones más adversas al desarrollo floral, como se desprende de la abundancia de partículas

Fig. 9.—Sección pulida de la muestra M-3 en la que se aprecia un nivel formado por una alternancia de láminas claras y oscuras onduladas (L), divididas a su vez en laminillas difusas visibles en lámina delgada. En la parte inferior hay un nivel (O) lenticular intraclástico-oidal (véase la figura 10). La parte superior es un nivel micrítico masivo afectado por brechificación y bioturbación. Escala 1 cm.

Polished section of sample M-3 where a layer of alternating light and dark coloured, wavy laminae (L) is visible. In thin section they can be seen to consist of thinner diffuse laminae. In the lower part there is an intraclastic-oidal layer (O) of lenticular shape (see also Fig. 10). The upper part consists of a massive micritic layer that has undergone brecciation and burrowing. Scale 1 cm.

Fig. 10.—Detalle de la anterior donde se aprecian ooides con envueltas laminadas (E). La matriz es un conjunto de ooides más pequeños, pellets e intraclastos. Escala 250 micras.

Detail of figure 9: ooids with laminated envelopes (E) are visible. The matrix is made up of smaller ooids, pellets and intraclasts. Scale 250 microns.

Fig. 11.—Detalle al microscopio de una galería subhorizontal con su relleno peletoidal, atribuido a la actividad minadora de un organismo en el fondo fangoso de una charca tranquila. Pertenece a la base del nivel micrítico masivo de la muestra M-3. Escala 250 micras.

Detail of the limit between the intraclastic-oidal layer (top) and the undulating alternances of light and dark laminae (internally living in the muddy bottom of a quiet swamp). Base of the massive micritic layer of sample M-3. Scale: 250 microns.

Fig. 12.—Detalle del límite entre el nivel intraclástico-oidal (parte superior) y el nivel ondulado de alternancias de láminas claras y oscuras, a su vez microondulados. Lámina delgada de M-4. Escala 250 micras.

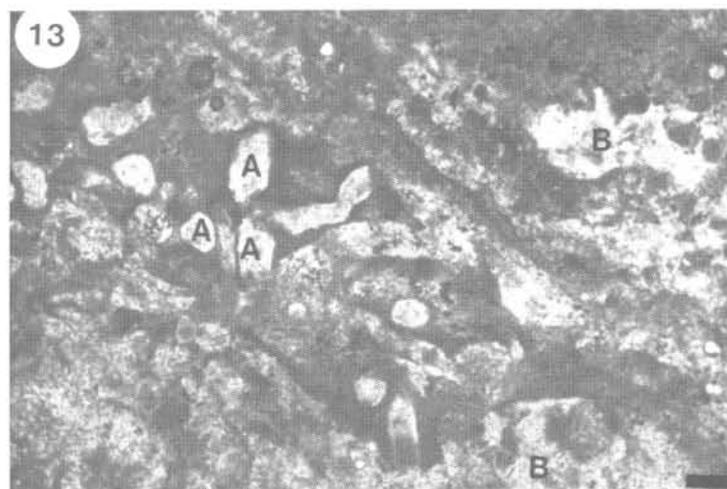
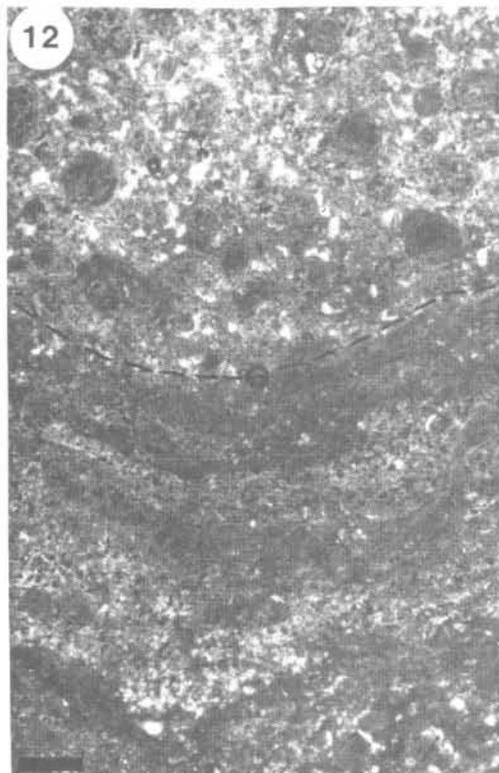
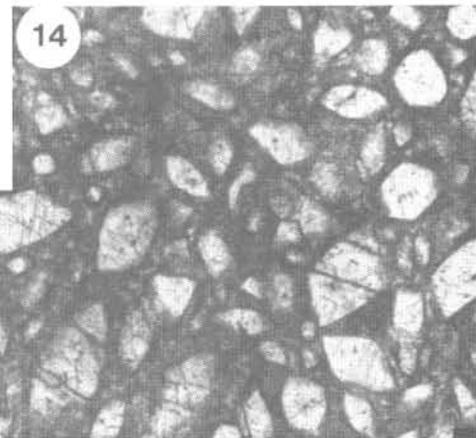
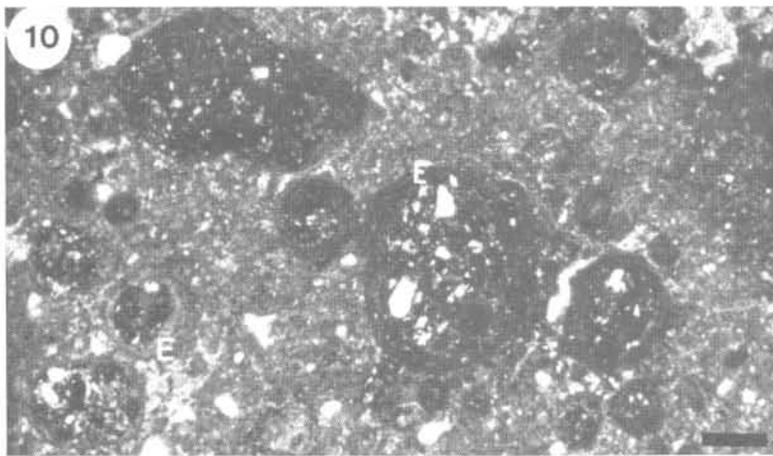
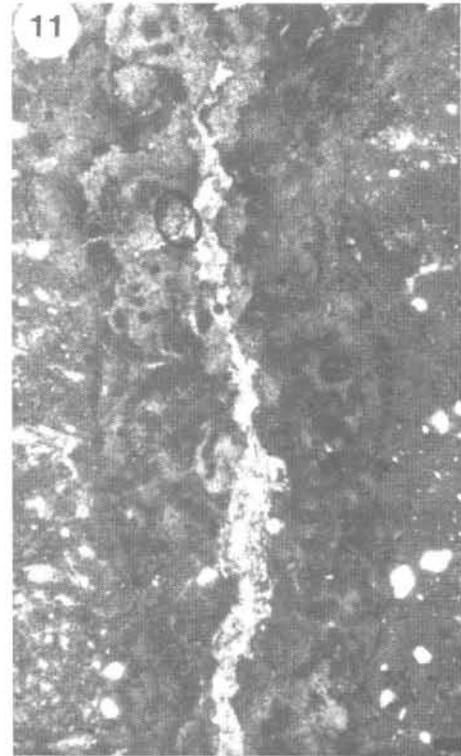
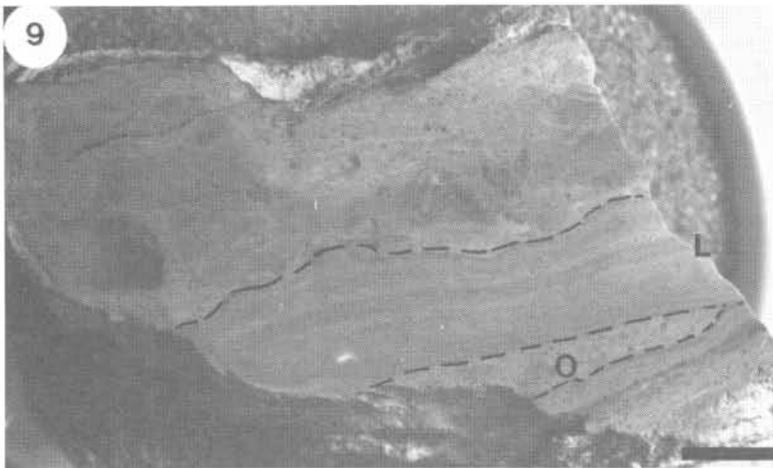
Detail of the limit between the intraclastic-oidal layer (top) and the undulating alternances of light and dark laminae (internally microwavy). Thin section of sample M-4. Scale 250 microns.

Fig. 13.—Aspecto al microscopio de la bioturbación del nivel laminado de la muestra M-4: se observa bioturbación más pequeña (A) constituida por cavidades menores agrupadas (0,2 mm de anchura), y otra mayor (B) con secciones alargadas enteroidales parcialmente rellenas por sedimento pelletoidal. Escala 250 micras.

Thin section of the burrowed laminated layer of sample M-4: there is a smaller sized type made up of clusters of cavities (.2 mm wide) (A) and a bigger type (B) with enteroidal elongated sections, partly filled with pelloid sediment. Scale 250 microns.

Fig. 14.—Agrupación de cristales romboidales y lenticulares de calcita, que suelen formar bolsadas. La matriz que los envuelve es una micrita parcialmente recristalizada a microspárita. Lámina delgada del nivel suprayacente al de la figura 13 (muestra 4). Escala 250 micras.

Group of lenticular and rhomboidal crystals of calcite that usually occur as clusters. The surrounding micritic matrix is partially recrystallized to microsparite. Thin section of the layer that overlies the one of figure 13. Scale 250 microns.



atrapadas entre las láminas, tales como peloides, ooides, prismas retrabajados de *Microcodium*, etc.

El nivel micrítico homogéneo de la Muestra 3 representa un depósito lacustre calcítico bajo lámina de agua permanente, demostrada por los fragmentos de bivalvos, restos de caráceas y la ausencia de rasgos de emersión. Se encuentra a techo de un nivel laminado, lo cual se interpreta como una consecuencia del aumento de los aportes terrígenos finos que interrumpirían el desarrollo normal de la laminación criptalgal.

Los dos tipos de bioturbación descritos están relacionados con la parte superior de los niveles laminados y con el nivel micrítico de la Muestra 3. Presentan gran parecido con las cavidades dejadas por la actividad de insectos dípteros de la familia Chironomidae en los primeros estadios de su ciclo vital, que se han citado en relación con estructuras criptalgales (Monty, 1976; Shafer y Staff, 1978; Anadon y Zamarréño, 1981; Armenteros, 1985). Es conocido que muchas especies de esta familia colocan sus huevos bajo el agua de los que nacen larvas de vida relativamente larga que pueden vivir sobre el fondo llegando, incluso, a tomar su alimento del sustrato (Seguy, 1951; Oliver, 1981).

La diferenciación de los dos tipos de bioturbación y su estrecha asociación conduce a la siguiente propuesta: la más pequeña (figs. 8 A y 13 A) se relaciona con la puestas de racimos de huevos y su eclosión, dado su menor tamaño y la forma de agruparse, mientras que las mayores (figs. 8 B y 13 B) se atribuyen a la actividad minadora de las larvas, reflejada en la irregularidad morfológica de las galerías, y a su actividad metabólica, registrada en los rellenos de pellets fecales.

En consecuencia, se postula un medio lagunar somero tendente a una progresiva desecación, que es interrumpida por condiciones de mayor energía relacionadas con épocas de máxima escorrentía hacia las zonas más deprimidas, donde, a continuación, tendrá lugar el estancamiento periódico de masas de agua. Los niveles intracásticos-ooidales corresponden a las etapas de mayor escorrentía a la cuenca, mientras que los de carácter estromatolítico representan aguas estancadas o que se mueven mansamente. En las zonas encharcadas expuestas y, sobre todo, en las zonas circundantes ocupadas por sedimentos aluviales, tiene lugar la acumulación y epigénesis calcáreas en las partes subsuperficiales del perfil (micelios, nodulaciones).

Discusión

La importancia de este estudio se centra en la caracterización ambiental de un buen número de registros carbonatados fósiles denominados corrientemente costras laminares o costras zonales y que se aparten genéticamente de los relacionados con perfiles

de caliche (Multer y Hoffmeister, 1968; Klappa, 1979 b; Steel, 1974; Read, 1974 y 1976; Reeves, 1970; Hay y Reeder, 1978; Semeniuk y Meagher, 1981; Goldhammer y Douglas, 1984...).

Los depósitos estudiados presentan rasgos lacustres y se parecen a las costras zonales descritas por Durand (1963), que las atribuye a la acción de la arroyada en manto que inunda los fondos de antiguos lagos en etapas de escasa erosión.

En conjunto, la alternancia que se ha descrito de niveles laminados e intraclásticos recuerda el registro «microciclotemático» de costras laminares de origen algal de la caliza de Beauce (Freytet, 1965) y la alternancia de niveles bréchicos y de costra zonal de los pedimentos plio-pleistocénicos de Teruel (Freytet y Moissenet, 1983). Tampoco es muy distinta de las costras calcáreas de los perfiles de glaciares cuaternarios de Argelia (Ballais y Vogt, 1981), donde alternan a nivel milimétrico la costra perlítica (en la que abundan los ooides) y la costra zonal (con restos de filamentos orgánicos), que representan, respectivamente, un medio sumergido y otro más seco controlado por el rocío y las precipitaciones episódicas (que son suficientes para que subsista la flora). Por su parte, los niveles clástico-ooidales son similares a los descritos por Elloy y Thomas (1981, ver su Pl. 6), que los insertan en corrientes fangosas propias de arroyamiento difuso o concentrado. Estos autores indican que la existencia de corrientes débiles sobre pequeñas pendientes favorecen la construcción de la costra zonal. Las dos microfacies mejor representadas (clástica-ooidal y laminada son homologables con la *croûte en dalle* y la *croûte zonaire* de Vogt (1984), atribuidas a la sedimentación en partes distales de glaciares cuaternarios en el Norte de África.

Las características texturales de los niveles intraclásticos y los restos de caráceas y otros organismos indican depósito en la interfase agua-sedimento (medios encharcados). El revestimiento total de los elementos intraclásticos y el carácter isopaco de la envuelta, el buen redondeamiento de los intraclastos, ooides y peloides y la presencia de terrígenos, sobre todo de tamaño arcilla, sugieren un lago somero y relativamente agitado. Estas condiciones pueden darse en zonas marginales de lagos mayores o con episodios de llegada masiva de agua a la cuenca.

En cuanto a los niveles laminados existen, al menos, cuatro razones para relacionarlos con medios subacuáticos: la presencia casi constante de caráceas (secciones de girogonitos y talos) indicadora de encharcamientos someros, la bioturbación atribuida a larvas de dípteros Chironómidos, la abundancia de estructuras alargadas similares a los encostramientos algales cuyo vestigio sería la línea oscura central y la aparición, aunque escasa, de restos de moluscos bivalvos. Los depósitos laminados representan, en suma, un depósito lacustre de baja energía relacionado bien

con zonas encharcadas someras en épocas de escorrentía reducida o bien con zonas sumergidas estancadas no muy profundas. Durante esta fase del depósito quedarían emergidas las zonas periféricas donde parte del fango lacustre y de los niveles subyacentes se verían sometidos a desecación y fragmentación: este material sería arrastrado luego a la cuenca durante las etapas de escorrentía activa y se acumularía formando los niveles intraclásticos. Del mismo modo, los niveles subyacentes al de carbonatos laminados (fig. 2) serían erosionados por las aguas de escorrentía y sus fragmentos transportados hacia las zonas deprimidas.

Conclusiones

1. Los carbonatos estudiados representan el depósito en una región cuya paleogeografía consiste en áreas encharcadas someras con precipitación calcítica y cierto aporte terrígeno arcilloso. Las microsecuencias de orden centimétrico reflejan las oscilaciones periódicas del régimen lacustre en respuesta al régimen hídrico. Durante los períodos de sequía se formaban los niveles laminados en las zonas con lámina de agua, mientras que en las zonas desecadas se desarrollaban perfiles con importantes procesos epigenéticos carbonatados incluyendo la formación de estructuras de tipo *Microcodium*. Los períodos lluviosos con escorrentía activa suponían una erosión parcial de las zonas que estuvieron emergidas y el depósito del material arrastrado hacia las zonas más deprimidas para formar los niveles intraclásticos.

2. Las alternancias descritas reflejan episodios acrecionales en la interfase agua-sedimento de significado genético variable, pero que no están relacionados con una dinámica edáfica subsuperficial: los rasgos sedimentológicos y paleontológicos expuestos permiten diferenciar estos materiales de los perfiles de caliche y deben servir de ayuda para la correcta interpretación de otros depósitos similares en el registro fósil.

3. Se cita por primera vez la bioturbación por larvas de insectos Chironómidos en depósitos de esta naturaleza, hecho no referido en la bibliografía consultada y conocida por los autores.

AGRADECIMIENTOS

A INGENISA e IGME por las facilidades dadas. A los doctores E. Molina, J. Civis y J. A. González (U. de Salamanca) por la crítica y las aclaraciones en diversos aspectos del trabajo.

Referencias

Anadon, P. y Zamarreño, I. (1981): Paleogene Non-marine Algal Deposits of de Ebro Basin, Northeastern Spain. In: *Phanerozoic Stromatolites* (Ed. por Cl. Monty). Springer-Verlag, Berlín, págs. 140-154.

- Armenteros, I. (1985): *Estratigrafía y Sedimentología del Neógeno del sector suroriental de la Depresión del Duero (Aranda de Duero-Peñafiel)*. Universidad de Salamanca. F. de Ciencias, 692 págs.
- Ballais, J. L. y Vogt, T. (1981): Croûtes calcaires quaternaires du piémont nord des Aures (Algérie). *Recherches Géographiques à Strasbourg*, n° 12. Croûtes calcaires: 23-24.
- Duchauffour, P. (1975): *Manual de Edafología*. Toray-Masson, Barcelona, 476 págs.
- Durand, J. H. (1963): Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie: formation et âge. *Bull. Soc. Géol. de France* (7), V: 959-968.
- Elloy, R. y Thomas, G. (1981): Dynamique de la genèse des croûtes calcaires (calcretas) développées sur séries rouges pleistocenes en Algérie nor-occidentale. Contexte géomorphologique et climatique. Pétrographie et géochimie. *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf.-Aquitaine*, 5, 1: 53-112.
- Esteban, M. (1974): Caliche textures and *Microcodium*. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 92, Suppl. 1973, 105-125.
- Freytet, P. (1965): Sedimentation microcyclothemique avec croûtes zonaires a Algues dans le calcaire de Beauce de Chauffour-Etrechy (Seine-et-Oise). *Bull. Soc. Géol. de France* (7), VII, 309-313.
- Freytet, P. y Moissenet, E. (1983): Présence de restes algaires identifiables dans des croûtes calcaires plio-quaternaires du Nord-Est de l'Espagne. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 296: 1563-1566.
- Freytet, P. y Plaziat, J. C. (1982): Continental Carbonate Sedimentation and Pedogenesis. Late Cretaceous and Early Tertiary of Southern France. *Contribution to Sedimentology*, 12, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nagel u. Obermiller). Stuttgart, 213 págs.
- Goldhammer, R. K. y Douglas Elmore, R. (1984): Paleosols capping regressive carbonate cycles in the Pennsylvanian Black Prince Limestone, Arizona. *J. Sedimentary Petrol.*, 54, 4: 1124-1137.
- Hay, R. K. y Reeder, R. J. (1978): Calcretas of Olduvai Gorge and the Ndolanya Beds of northern Tanzania. *Sedimentology*, 25: 649-673.
- Klappa, C. F. (1978): Biolithogenesis of *Microcodium*: elucidation. *Sedimentology*, 25: 489-522.
- Klappa, C. F. (1979 a): Calcified filaments in Quaternary calcretas: organo-mineral interactions in the subaerial vadose environment. *J. Sedimentary Petrol.*, 49, 3: 955-968.
- Klappa, C. F. (1979 b): Lichen stromatolites: criterion for subaerial exposure and a mechanism for the formation of laminar calcretas (caliche). *J. Sedimentary Petrol.*, 49, 2: 387-400.
- Monty, C. L. V. (1976): The origin and development of cryptalgal fabrics. In *Stromatolites*. M. R. Walter (Editor). Elsevier, Amsterdam, págs. 193-294.
- Multer, H. G. y Hoffmeister, J. E. (1968): Subaerial Laminated Crusts of the Florida Keys. *Bull. Geol. Soc. America*, 79: 183-192.
- Oliver, D. R. (1981): Chironomidae. In: *Manual of Nearctic Diptera*. McAlpine et al. (Editores). Vol. 1. Canadian Government Publishing Centre. Quebec, págs. 423-458.
- Read, J. F. (1974): Calcrete deposits and Quaternary sediments, Edel Province, Shark Bay, Western Australia. In: *Evolution and diagenesis of Quaternary carbonate sequences, Shark Bay, Western Australia*. B. W. Logan (Editor). *Mem. A.A.P.G.*, 22: 250-287.
- Read, J. F. (1976): Calcretas and their distinction from stromatolites. In: *Stromatolites*. M. R. Walter (Editor). Elsevier, Amsterdam, págs. 55-71.

- Reeves, C. C. (1970): Origin, classification and geologic history of caliche on the southern High Plains, Texas and eastern New Mexico. *J. Geo.*, 78: 352-362.
- Seguy, E. (1951): Ordre des dipteres. In: *Traité de Zoologie*. P. Grassé (Editor). Masson & Cie. T. X: 449-744.
- Schafer, A. y Stapf, K. R. G. (1978): Permian Saar-Nahe Basin and Recent Lake Constance (Germany): two environments algal carbonates. In: *Modern and Ancient Lake Sediments*. A. Matter and M. E. Tucker (Editores). Spec. Publ. Int. Ass. Sediment. 2. Blackwell Scientific Publications. Oxford, páginas 83-107.
- Semeniuk, V. y Meacher, T. D. (1981): Calcrete in Quaternary coastal dunes in Southwestern Australia: a capillary-rise phenomenon associated with plants. *J. Sedimentary Petrol.*, 51/1: 47-68.
- Steel, R. J. (1974): Cornstone (fossil caliche): its origin, stratigraphic and sedimentologic importance in the New Red Sandstone, Western Scotland. *J. Geol.*, 82: 351-369.
- Vogt, T. (1984): Croûtes calcaires: Types et génèse. *Exemples d'Afrique du nord et de France méditerranéenne*. Université Louis Pasteur-Strasbourg. Institut de Géographie. Laboratoire de Géographie Physique en Milieu Tempéré, págs. 239.
- Walter, M. R. (1976): Introduction. In: *Stromatolites*. M. R. Walter (Editor). Elsevier, Amsterdam, págs. 1-3.

Recibido el 3 de septiembre de 1986
Aceptado el 16 de septiembre de 1986