

Cuadernos Geología Ibérica	Vol. 10	Págs. 295-334	Madrid 1986
----------------------------	---------	---------------	-------------

PETROLOGIA Y ANALISIS SECUENCIAL  
DE LOS CARBONATOS LACUSTRES  
DEL PALEOGENO DEL SECTOR N  
DE LA CUENCA TERCIARIA DEL TAJO  
(PROVINCIA DE GUADALAJARA)

POR  
MARÍA EUGENIA ARRIBAS \*

RESUMEN

En el NW de la Cuenca Terciaria del Tajo existe una potente sucesión carbonático-detrítica de edad paleógena que presenta una gran diversidad de facies carbonáticas. A partir del estudio detallado de 12 secciones estratigráficas (ARRIBAS, 1985), dichas facies han sido agrupadas en dos familias litológicas, carbonatos consolidados y carbonatos no consolidados. Dentro del grupo de carbonatos consolidados se han diferenciado: *calizas homogéneas* (calizas fosilíferas, calizas intraclásticas, calizas laminadas y calizas dolomíticas-dolomías) y *calizas alteradas* (calizas nodulosas, calizas nodulosas con terrigenos, calizas bioturbadas, calizas con estructuras prismáticas verticales, calizas oquerosas y calizas con laminación deformada y porosidad fenestral). A su vez, se han distinguido cuatro facies petrológicas dentro de los carbonatos no consolidados: margas, margas dolomíticas, «chalks» y «chalks» dolomíticos.

En general, las calizas homogéneas son interpretadas como sedimentadas en ambientes lacustres de mayor o menor profundidad y las calizas alteradas como el resultado de una pedogénesis, tanto en las orlas palustres de los sistemas lacustres, como en las áreas de encharcamientos dentro de los sistemas aluviales asociados.

Las facies carbonáticas se relacionan entre sí en determinadas asociaciones de facies litológicas y, en ocasiones, van asociadas a facies detríticas también en determinadas asociaciones de facies litológicas.

---

\* Dpto. de Petrología. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

El análisis secuencial vertical de las asociaciones de facies permite establecer unas pautas en la evolución de la sedimentación a lo largo de la sucesión carbonático-detritica paleógena, desde ambientes de sedimentación lacustres y palustres a lo largo de la mitad inferior de la sucesión, hacia ambientes de sedimentación de abanicos aluviales en la mitad superior de ésta, debido a una progradación general de los sistemas de abanicos aluviales.

## ABSTRACT

In the NW sector of the Tertiary Tajo Basin (Fig. 1-2) a carbonate and detrital succession of paleogene age, showing many carbonate facies is found. Starting from a detailed study of twelve stratigraphic sections (ARRIBAS, 1985 y 1986), these carbonate facies and been assembled in two principal groups: hard carbonates and powdery carbonates (Fig. 3). Within the hard carbonate facies two groups of limestones are distinguished: *homogeneous limestones* (fossiliferous limestones, intraclastic limestones, limestones with oncolites and/or algues, limestones with terrigenous, laminated limestones and dolomitic limestones-dolostones) and *disturbed limestones* (nodular limestones, nodular sandy limestones, bioturbated limestones, limestones with vertical prismatic structures, vuggy limestones, and limestones with deformed lamination and fenestral porosity). Within powdery carbonate facies four petrological facies are distinguished: marls, dolomitic marls, chalks and dolomitic chalks.

Homogeneous limestones are generally interpreted as littoral lacustrine sediments and disturbed limestones are interpreted as the result of several pedogenetic processes both in the palustrine zone (depositional lacustrine systems) and in the flood-plain zone (depositional aluvial and fluvial systems) (Fig. 4).

Carbonate facies are related with other lithological facies (carbonate or detrital) in facies associations can show different sedimentological evolutions of the lacustrine basin as expansions or retractions (Fig. 5).

The sequential analysis of these facies associations allow to establish an evolution of the sedimentation along the carbonate-detrital paleogene succession from lacustrine carbonate facies at the bottom up to aluvial —fan terrigenous facies at the top.

## 1. INTRODUCCION

En la zona NW de la Cuenca Terciaria del Tajo (Fig. 1) aflora una potente sucesión carbonático-detritica de edad paleógena, que ha sido

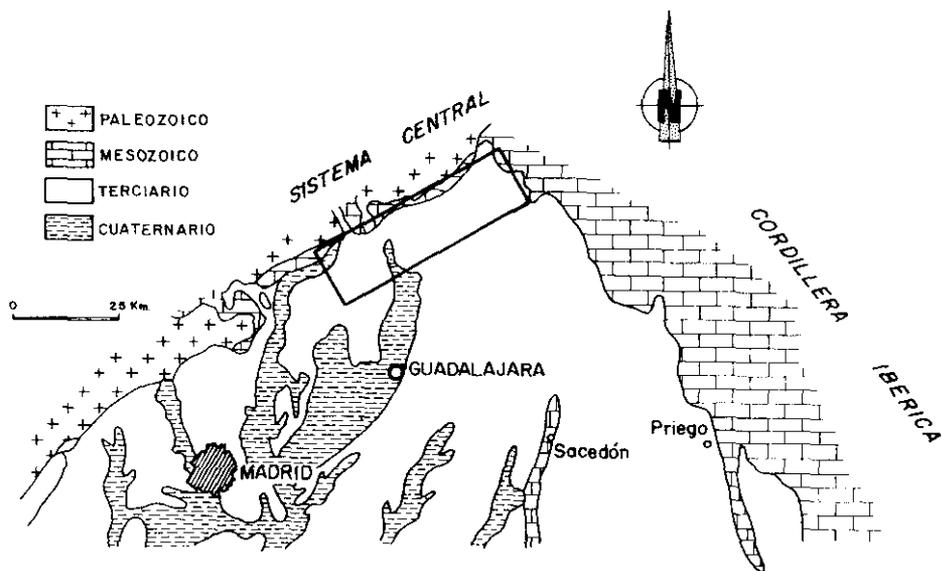


FIG. 1.—*Situación geográfica y geológica*

FIG. 1.—*Geological setting.*

motivo de estudio en estos últimos años, tanto desde un punto de vista petrológico como sedimentológico (ARRIBAS, 1982; ARIBAS et al., 1983; ARIBAS y BUSTILLO, 1985; ARIBAS, 1985). Dicha sucesión presenta una gran variedad de facies litológicas.

Las facies carbonáticas se encuentran preferentemente en la mitad inferior de la sucesión (unidad carbonática de ARIBAS, 1986), aunque también pueden localizarse en la mitad superior de ésta (unidad detrítica de ARIBAS, 1986), pero de manera esporádica. Asimismo, las facies carbonáticas parecen tener una variación litológica lateral, siendo fundamentalmente margosas en el sector de Beleña de Sorbe y carbonáticas en los sectores de Torremocha de Jadraque y Huérmeles del Cerro (Fig. 2).

La diversidad de facies carbonáticas encontradas en la sucesión refleja, asimismo, una amplia variedad de los subambientes de sedimentación donde se generaron, dentro de un modelo o sistema deposicional lacustre.

Las facies carbonáticas se relacionan entre sí y también con determinadas facies detríticas en asociaciones de facies litológicas, que marcarán evoluciones diferentes en la sedimentación en cada caso.



El estudio en detalle de las asociaciones de facies carbonáticas permite establecer un modelo sedimentológico de evolución lateral y vertical para la sucesión paleógena en esta zona.

## 2. PETROLOGIA Y SEDIMENTOLOGIA DE LAS FACIES CARBONATICAS

Con el fin de realizar un estudio de detalle de las facies carbonáticas de la sucesión carbonático-detritica, se ha llevado a cabo un muestreo representativo en 12 secciones estratigráficas dentro de los sectores de Beleña de Sorbe, Torremocha de Jadraque y Huérmeces del Cerro.

A partir de los datos de campo que recogen diversos aspectos generales de los sedimentos carbonáticos como: morfología de las capas, estructuras sedimentarias, tipos de contactos entre las capas, composición, presencia de componentes, competencia, etc., se han diferenciado varias facies de campo, que hemos agrupado en dos familias principales: *a)* carbonatos consolidados y *b)* carbonatos no consolidados. Dichas facies están ordenadas en determinadas asociaciones litológicas (ARRIBAS, 1986).

### 2.1. CARBONATOS CONSOLIDADOS

Se caracterizan por formar niveles o capas continuas, duras y competentes. A su vez se han distinguido diversas facies agrupadas en: calizas homogéneas y calizas alteradas, con significados genéticos distintos.

#### 2.1.1. *Calizas homogéneas*

Se presentan en capas bien estratificadas y lateralmente continuas. En ocasiones se han observado estructuras internas, así como superficies erosivas. Los colores que dominan son grises y amarillos, y la textura interna, por lo general, es micrítica. Son facies que no presentan procesos diagenéticos tempranos de tipo subaéreo, quedando prácticamente intacta la textura inicial del sedimento carbonático. Por ello hemos elegido el calificativo de «homogénea» para destacar este as-

---

FIG. 2.—*Secciones estratigráficas tipo de los sectores geográficos diferenciados.*  
FIG. 2.—*Type stratigraphic sections corresponding to the differentiated geographic sectors.*

pecto común de una textura sin alterar y masiva. No obstante, se han observado algunos procesos diagenéticos tales como: recristalización leve de la matriz micrítica a microesparita, cementación esparítica tardía rellenando porosidad de disolución y procesos de silicificación. Los procesos de silicificación se manifiestan como nódulos y niveles nodulares de sílex en las secciones de Baides II (sector de Huérmeces del Cerro) y Torremocha de Jadraque (sector de Torremocha de Jadraque), y han sido interpretadas como un proceso diagenético temprano producido bajo la lámina de agua (ARRIBAS y BUSTILLO, 1985).

En función de los diferentes componentes deposicionales (esqueléticos y no esqueléticos) que contienen, así como de las estructuras sedimentarias observadas, se han distinguido seis tipos de facies de calizas homogéneas: calizas fosilíferas, calizas con oncolitos y/o algas, calizas con terrígenos, calizas intraclásticas, calizas laminadas y calizas dolomíticas (Fig. 3).

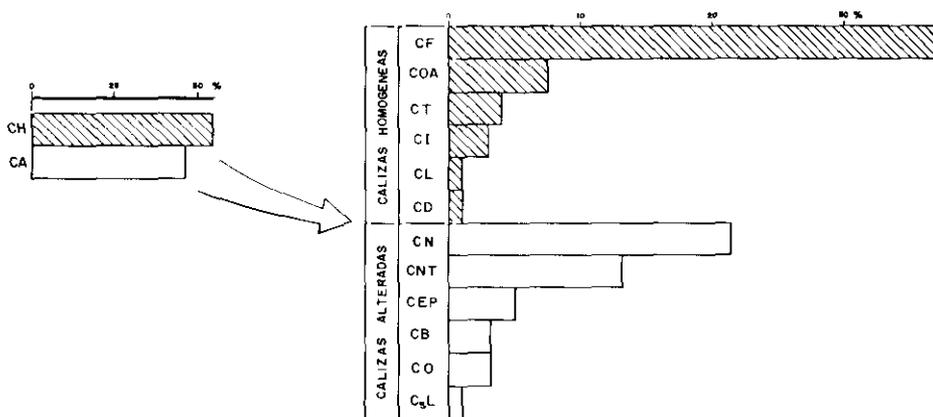


FIG. 3.—Porcentaje de las distintas facies de carbonatos consolidados.

FIG. 3.—Percentage of the different carbonate consolidated facies.

a) *Calizas fosilíferas*.—Corresponden a microfacies, donde los componentes principales son fósiles límnicos: gasterópodos, ostrácodos, caráceas, etc. (Lám. I,1). En función de la proporción en que se encuentren podemos diferenciar: biomicritas, biointramicritas e intrabiomicritas (Lám. I,2), según los criterios de FOLK (1962). La matriz es micrítica, generalmente oscura y, en ocasiones, se encuentra levemente recristalizada a microesparita. Cuando la proporción en bioclastos es alta presenta una textura peletífera-grumelar. Las microfacies con menor proporción en bioclastos corresponden a las microfacies del

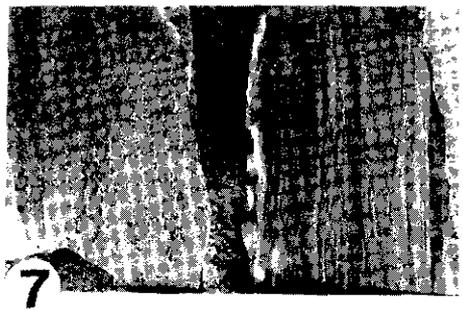
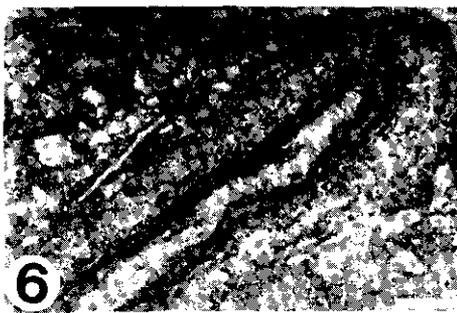
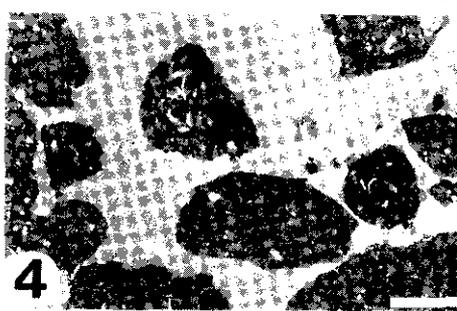
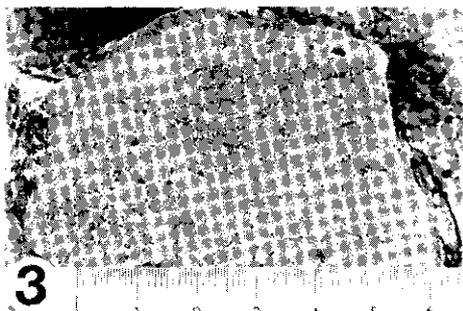
sector de Beleña de Sorbe (5 y 20 por 100). Sin embargo, en los sectores de Torremocha de Jadraque y Huérmeces del Cerro las proporciones medias varían entre 10 y 30 por 100. Están relacionadas a otras facies carbonáticas en asociaciones de facies litológicas: 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9 (ARRIBAS, 1986). Presentan un desarrollo máximo en los sectores de Torremocha de Jadraque y Huérmeces del Cerro, siendo escasas en el sector de Beleña de Sorbe.

Estas microfacies denotan condiciones tranquilas de sedimentación micrítica por debajo de la lámina de agua (medio lacustre) y sin exposición subaérea. El proceso de sedimentación se realizaría a lo largo de períodos de baja tasa de sedimentación detrítica, produciéndose así una sedimentación de tipo bioquímico a partir de la actividad de los distintos organismos límnicos, dentro de las zonas litorales de la cuenca lacustre. Se interpretan como facies lacustres litorales.

b) *Calizas intraclásticas*.—Petrográficamente son intramicritas, donde los componentes principales son intraclastos y peloides (Lám. I,3 y 4). Sin embargo, se han localizado otros tipos de componentes asociados a estas microfacies como: bioclastos (caráceas, ostrácodos, gasterópodos, etc.) y terrígenos. Entre los intraclastos o granos carbonáticos no esqueléticos se han diferenciado: intraclastos micríticos, agregados compuestos, agregados peletoidales y peloides. Los intraclastos micríticos y agregados compuestos han sido interpretados como producto del retrabajamiento de sedimentos carbonáticos no litificados relacionados a las orlas palustres de los sistemas lacustres, según un modelo similar al propuesto por FREYTET y PLAZIAT (1982) para explicar la génesis de las facies de «carbonate gravels». Por otra parte, los agregados peletoidales y peloides pueden generarse por la actividad orgánica de determinados organismos (crustáceos, gasterópodos, anélidos, etc.) en zonas lacustres restringidas de baja energía. Las calizas intraclásticas están relacionadas con otros tipos de facies carbonáticas en asociaciones de facies litológicas: 2, 4, 6, 7 y 9, y están presentes en los tres sectores.

Las facies de calizas intraclásticas son interpretadas como facies lacustres litorales, si bien pueden llegar a denotar condiciones de mayor agitación en relación a otras facies litorales (calizas fosilíferas).

c) *Calizas con oncolitos y/o algas*.—Contienen abundantes bioconstrucciones algales, así como fragmentos de algas (Lám. I,5). Asimismo, se han observado: moluscos, ostrácodos e intraclastos. Petrográficamente son: biomicríticas e intrabiomicríticas. Las bioconstrucciones más características son los oncolitos, a veces con morfologías cilíndricas («encapsuladas») (Lám. I,6). Dentro de los tipos de algas observados se han reconocido morfologías semejantes a las descritas



por SCHÄFER y STAPF (1978): *a*) algas tipo «fan-Like» debidas a «Rivularea»; *b*) algas filamentosas, cuyos filamentos pueden crecer en sentido vertical y perpendicular a las envueltas de crecimiento o bien crecen entrecruzadas y sin orientación preferente, dando texturas tipo «Calothrix» y/o «Dichothrix» y «Phormidium», respectivamente, y *c*) algas con textura densa, cuyos filamentos son de tamaño submicroscópico en lámina delgada, tipo «Schizothrix».

Son facies características del sector de Huérmeces del Cerro y se asocian a otras facies carbonáticas en asociaciones litológicas: 2, 3, 5 y 10.

Las facies de calizas con oncolitos y/o algas han sido interpretadas como facies lacustres litorales. La presencia de morfologías cilíndricas («encapsuladas») pueden indicar condiciones palustres en la sedimentación, si bien la presencia de morfologías bien seleccionadas y superficies erosivas pueden denotar condiciones de mayor agitación, ligadas a desembocaduras de canales en las cuencas de sedimentación lacustre.

*d*) *Calizas con terrígenos*.—Son micritas e intramicritas con terrígenos. Los terrígenos representan entre el 3 y el 10 por 100 de estas microfacies, siendo fundamentalmente siliciclásticos (cuarzo monocristalino y policristalino, feldespato-k, micas, etc.). Asimismo, se han observado fragmentos de rocas carbonáticas (extraclastos) y fragmentos de bioclastos límnicos. Los terrígenos y extraclastos se presentan dispersos en la matriz micrítica sin un orden concreto. Son facies características del sector de Beleña de Sorbe y se asocian a otros tipos de facies carbonáticas en asociaciones de facies litológicas 1 y 13. En estos dos tipos de asociaciones las facies de calizas homogéneas con terrígenos no presentan procesos diagenéticos tempranos de tipo subaéreo, observándose en algunos casos fragmentos de bioclastos límnicos que corroboran el carácter lacustre de estas facies.

---

LÁMINA I.—1. Secciones pulidas de calizas fosilíferas. 2. Biomicrita con gasterópodos. Muestra G4. N.P. Escala=0,25 mm. 3. Sección pulida de caliza intraclástica. 4. Intramicrita-Intraesparita. Muestra Bi-11. N.P. Escala=0,25 mm. 5. Secciones pulidas de calizas con oncolitos y/o algas. 6. Biomicrita con oncolitos y/o algas. Morfología «encapsulada». Muestra C-11. N.P. Escala=0,25 mm. 7. Secciones pulidas de calizas laminadas. 8. Microfacies laminada. Micritas con intraclastos, peloides y terrígenos/Biomicritas. Gasterópodo paralelo a la laminación. Muestra E-28-A. N.P. Escala=0,25 mm.

PLATE I.—1. Polished slabs of fosiliferous limestones. 2. Biomicrite with gastropods. Example G-4 P.N. Scale bar=0,25 mm. 3. Polished slab of intraclastic limestone. 4. Intramicrite-Intraesparite. Example Bi-11 P.N. Scale bar=0,25 mm. 5. Polished slabs of limestones with oncolites and/or algues. 6. Biomicrite with oncolites and/or algues. Encapsulated morphologie. Example V-11 P.N. Scale bar=0,25 mm. 7. Polished slab of laminated limestones. 8. Laminated microfacies. Micrites with intraclasts, peloids and terrigenous/Biomicrites. Gastropod parallel to lamination. Example E-28-A P.N. Scale bar=0,25 mm.

Las facies de calizas con terrígenos estarían relacionadas a reactivaciones de los abanicos aluviales adyacentes, reflejando períodos de expansión lacustre con aportes de material terrígeno. Se interpretan como facies lacustres litorales.

e) *Calizas laminadas*.—Petrográficamente están formadas por láminas de biomicritas y láminas de micritas con intraclastos, peloides y terrígenos. La laminación que caracteriza estas microfacies es milimétrica y plano-paralela (Lám. I,7). Los bioclastos identificados (fragmentos de gasterópodos, ostrácodos, etc.) se disponen con cierta orientación según la laminación (Lám. I,8). Las facies de calizas laminadas sólo están presentes en el sector de Beleña de Sorbe y se relacionan con otros tipos de facies carbonáticas, margas laminadas y capas de areniscas de grano fino en asociaciones de facies litológicas 1.

Las láminas que forman estas facies corresponderían a depósitos de «sheet-flood» dentro de la cuenca lacustre, reflejando, asimismo, reactivaciones aluviales de los abanicos adyacentes, si bien denotan condiciones de mayor tranquilidad con respecto a las facies anteriores (calizas con terrígenos).

f) *Calizas dolomíticas-dolomías*.—Petrográficamente son micritas dolomíticas y dolomicritas. La dolomita está en proporciones que oscila entre el 28 y el 100 por 100. Son microfacies de baja cristalinidad sin presentar frentes de dolomitización, siendo en este sentido microfacies homogéneas. Las calizas dolomíticas son poco frecuentes y se presentan en los sectores de Torremocha de Jadraque y Huérmeces del Cerro. Suelen ir asociadas a facies de calizas homogéneas con nódulos de sílex (ARRIBAS y BUSTILLO, 1985), pero nunca se llegan a encontrar estos dos procesos (dolomitización y silicificación) en el mismo estrato.

Las calizas dolomíticas y dolomías son la excepción del grupo de calizas homogéneas en cuanto a su génesis, ya que se interpretan como relacionadas a ambientes vadosos a partir de evaporación intensa en las zonas expuestas del «mud-flat» adyacentes al lago, según modelos semejantes a los propuestos por WOLFBAUER y SURDAM (1974) y SURDAM y STANLEY (1979).

### 2.1.2. *Calizas alteradas*

Es un grupo de facies que se caracteriza por presentar diferentes estructuras postsedimentarias producidas por una alteración diagenética temprana del sedimento carbonático inicial. Debido a que la mayoría de las estructuras que caracterizan las calizas alteradas se pro-

ducen en el medio vadoso y son el resultado de procesos pedogenéticos, es frecuente encontrar en ellas la superposición de más de un proceso pedogenético y como resultado la superposición de más de un tipo de estructuras diagenéticas. Dentro de este grupo de facies se han observado diversos componentes deposicionales tales como: bioclastos, intraclastos, terrígenos, etc.). Los componentes más característicos y abundantes son los «intraclastos». En este sentido, y en relación al grupo de calizas alteradas, al referirnos a los «intraclastos» lo hacemos en un sentido estrictamente textural y no genético tal y como propone FOLK (1962), debido a que su génesis, en general, no va en relación a un retrabajamiento del sedimento carbonático previo, sino a procesos diagenéticos tempranos de pedogénesis en el sedimento.

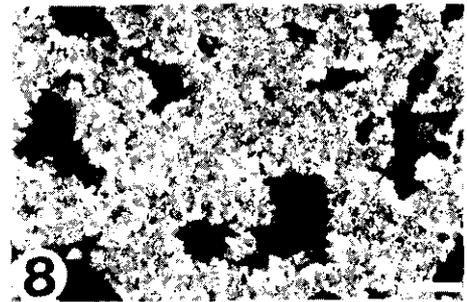
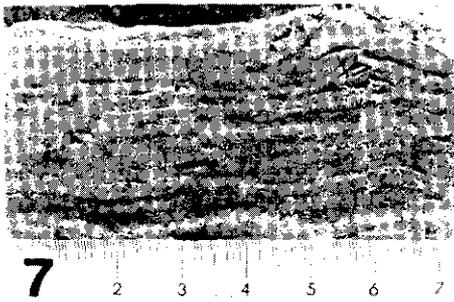
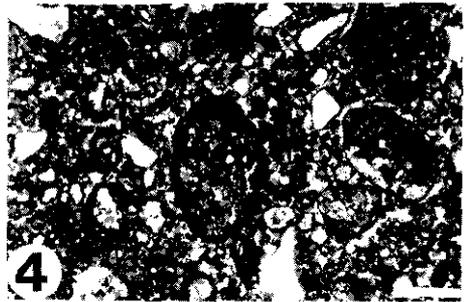
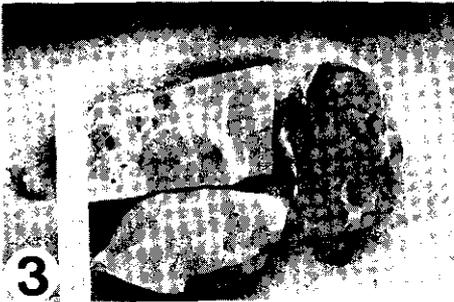
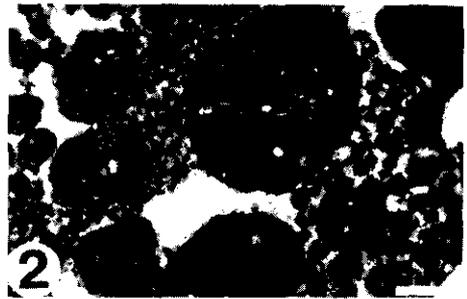
Dentro de los procesos diagenéticos tempranos de tipo subaéreo caben destacar: nodulización, tanto a escala de «visu» como microscópica, con formación de texturas «clotted» y grumelar; brechificación de la matriz, generando «intraclastos» angulosos; recristalización de la matriz; formación de cristales lenticulares de yeso; disolución con formación de diversos tipos de cavidades («vug», caverna, etc.), las cuales a su vez presentan rellenos de sedimento interno y cemento esparítico que reflejan condiciones vadasas; bioturbación debida a raíces, etc. Además de todos estos procesos diagenéticos tempranos debidos a pedogénesis, se han observado otros procesos diagenéticos tempranos: marmorización, formación de cantos negros y silicificación.

En función de los procesos pedogenéticos identificados se han diferenciado seis facies de calizas alteradas que hemos denominado como: calizas nodulosas, calizas nodulosas con terrígenos, calizas bioturbadas, calizas con estructuras prismáticas verticales, calizas oquerosas y calizas con laminación deformada y porosidad fenestral (Fig. 3).

#### a) *Calizas nodulosas*

La estructura nodulosa se caracteriza por una disyunción en agregados nodulares que compartimenta el sedimento carbonático. En sección pulida presentan texturas muy variadas, dando una gran diversidad de tipos (Lám. II,1). Dentro de estas facies se han diferenciado varias microfacies que hemos agrupado en dos familias fundamentales: microfacies fosilíferas y microfacies intraclásticas.

*Microfacies fosilíferas.*—Son biomicrocritas, biointramicritas e intra-biomicrocritas. Entre los bioclastos encontrados destacan: ostrácodos, gasterópodos, algas con morfología de roseta, caráceas, fragmentos de bivalvos, etc. Son microfacies afectadas por procesos importantes de



cementación esparítica que rellenan un entramado de cavidades secundarias. Dichas cavidades tienen diferentes morfologías («vugs», canales, cavernas, etc.). Asimismo, se han observado asociados a estas microfacies pseudomorfo lenticulares de yeso, que se distribuyen homogéneamente en la matriz. Existe una relación estrecha entre la formación de cristales lenticulares de yeso y la presencia de ciertos componentes orgánicos en el sedimento (CODY, 1979). La zona de producción serán las orlas marginales lacustres, pudiéndose desarrollar incluso por debajo de la lámina de agua.

*Microfacies «intraclásticas».*—Reúne a todas aquellas microfacies que presentan granos carbonáticos no esqueléticos, de morfologías variadas. Estas microfacies pueden presentar bioclastos y otros componentes deposicionales, pero en proporciones muy bajas (<1 por 100). Además, existe una gran variedad de granos carbonáticos no esqueléticos (Lám. II,2), y en función de sus morfologías, así como de los procesos diagenéticos sufridos hemos diferenciado tres familias: intramicritas-intramicrocritas grumelares esparíticas, microcritas con intraclastos angulosos e intramicritas recristalizadas.

1) Intramicritas-intramicrocritas grumelares esparíticas.—Esta familia se caracteriza por presentar granos esqueléticos de varios tipos: elementos grumelares, peletoidales y tipo «oid-crack», siendo el tipo grumeral el más abundante (Lám. II,2). Tienen tamaños comprendidos entre 0,075 y 5 mm, son redondeados y parecen formarse a partir de una diferenciación puntual de la matriz (nodulización). Suelen encontrarse teñidos por óxidos de hierro debido a procesos de marmorización. A favor de la nodulización y sobre la superficie de despegue del nódulo, precipita un cemento esparítico, originando elementos de tipo «oid-crack». Elementos micríticos semejantes a los descritos son citados por numerosos autores en caliches, como producto de pedogénesis (ESTEBAN, 1974, 1975; BRAITHWAITE, 1975; CALVET y JULIA,

---

LÁMINA II.—1. Secciones pulidas de calizas nodulosas. 2. Intramicrita grumelar esparítica. Muestra Bi-17.N.P. Escala=0,25 mm. 3. Secciones pulidas de calizas nodulosas con terrígenos. 4. Intraesparita con terrígenos. Granos de terrígenos e intraclastos con envueltas micríticas. Muestra T-112.N.P. Escala=0,25 mm. 5. Secciones pulidas de calizas con estructuras prismáticas verticales. 6. Secciones pulidas de calizas oquerosas. 7. Sección pulida de caliza con laminación deformada y porosidad fenestral. 8. Pseudoesparita laminada. Moldes de cristales de evaporitas. Muestra N-5b.N.X. Escala=0,25 mm.

PLATE II.—1. Polished slabs of nodular limestones. 2. Grumelar sparitic intramicrite. Example Bi-17 P.N. Scale bar=0,25 mm. 3. Polished slabs of nodular sandy limestones. 4. Intrasparite with terrigenous and coated grains. Example T-112 P.N. Scale bar=0,25 mm. 5. Polished slabs of limestones with vertical prismatic structures. 6. Polished slabs of vuggy limestones. 7. Polished slab of limestones with deformed lamination and fenestral porosity. 8. Laminated pseudosparite. Molds of evaporite crystals. Example N-5b C.N. Scale bar=0,25 mm.

1983). Estos mismos autores proponen para su formación un proceso de secado, «shrinkage» y «cracking» (ESTEBAN, 1974, 1975), así como una acreción mecánica de partículas fundamentalmente clásticas (BRAITHWAITE, 1975). Por otra parte, CALVET y JULIA (1983) sugieren para la génesis de pisoides la acción de filamentos fúngicos, los cuales serían los responsables de la precipitación indirecta de cristales de calcita.

En función de la relación matriz/cemento se ha podido establecer una secuencia evolutiva desde microfacies de intramicritas con poco desarrollo de cemento esparítico y elementos micríticos tipo «ooid-crack», hasta microfacies grumelares esparíticas, donde la pasta está formada exclusivamente por cemento esparítico.

2) Micritas con intraclastos angulosos.—Se caracterizan por tener en su interior elementos micríticos angulosos, que en general están rellenando varios tipos de porosidad (cavernas y canales). Además se han observado pseudomorfos lenticulares de yeso que se disponen o bien agrupados más o menos concéntricos a un punto o bien repartidos homogéneamente en la matriz o en los intraclastos. Las cavidades encontradas en estas microfacies son producto de la fracturación de la matriz por la actividad de raíces en el sustrato (ARRIBAS, 1985).

3) Intramicritas recrystalizadas.—Están formadas por una matriz micrítica fuertemente brechificada. La brechificación parece ser producto de recrystalización. Los elementos micríticos así diferenciados se encuentran desplazados entre ellos, dando cavidades de límites rectos y netos. Según FREYTET (1973) la brechificación producida por recrystalización ocurre bajo las mismas condiciones que favorecen la nodulización, pero tiende a desarrollarse considerablemente en las zonas más superiores del suelo.

Las facies de calizas nodulosas se encuentran relacionadas a otros tipos de facies carbonáticas en asociaciones de facies litológicas: 6, 7, 8, 9 y 16. Se presentan en casi la totalidad de las secciones estratigráficas, con un gran desarrollo en las secciones correspondientes al sector de Huérmeces del Cerro.

En resumen, las facies de calizas nodulosas son el resultado de la actuación de procesos pedogénicos sobre un sustrato más o menos consolidado, por lo que la diversificación de texturas es muy amplia. Se interpretan como formadas a partir de largos períodos de exposición subaérea en las orlas palustres de las cuencas lacustres.

#### b) *Calizas nodulosas con terrígenos*

La estructura nodular presenta caracteres muy semejantes a los ya descritos para las facies de calizas nodulosas (Lám. II,3). Se en-

cuentran presentes en casi todas las secciones estratigráficas, sobre todo en el tramo superior de la unidad carbonática y a lo largo de la unidad detrítica. Petrográficamente son: micritas con terrígenos, intramicritas con terrígenos e intraesparitas con terrígenos (Lám. II,4). No contienen fósiles y los componentes fundamentales son: terrígenos y granos carbonáticos no esqueléticos. Los terrígenos son fundamentalmente siliciclásticos (cuarzos, feldespatos-K, biotita, moscovita, minerales pesados, etc.), aunque también se han observado extraclastos dolomíticos y calcíticos. Junto a estos componentes detríticos suelen aparecer fragmentos de fósiles marinos re TRABAJADOS y heredados de las áreas fuentes (Cretácico). Los granos carbonáticos no esqueléticos («intraclastos» s.l.) pueden ser muy diferentes, formados en ocasiones por re TRABAJAMIENTO de un sedimento inicial (intraclastos s.s) o bien formados «in situ» (elementos angulosos, «ooid-crack», «glaebulos», elementos grumelares y elementos peletoidales) por procesos pedogenéticos (brechificación, recristalización, desecación, nodulización). Los procesos diagenéticos que presentan estas facies son muy semejantes a los descritos en las facies de calizas nodulosas, entre los que cabe destacar: cementación calcítica, disolución, sedimentación interna, formación de cristales de evaporitas, marmorización, nodulización, etc.

Las facies de calizas nodulosas con terrígenos reflejan una pedogénesis generalizada con desarrollo de diversos tipos de procesos diagenéticos tempranos implicados en el desarrollo de suelos calcimorfos, en este caso desarrollados sobre un sustrato detrítico. Dichas facies se presentan en asociaciones de facies litológicas: 5, 8, 13 y 14. Cuando se encuentran apoyadas sobre cuerpos detríticos (lóbulos, canales o capas), son interpretadas como el resultado del abandono de los aparatos o sistemas detríticos, tanto dentro de las llanuras de inundación de los sistemas de abanicos aluviales, como en las orlas marginales de las cuencas lacustres. Asimismo, cuando estas facies se presentan sobre cuerpos carbonáticos, se interpretan como contaminaciones detríticas de los sistemas de abanicos aluviales adyacentes, tanto dentro de la llanura de inundación, como dentro de la cuenca lacustre.

### c) *Calizas bioturbadas*

En este grupo integramos todas aquellas calizas con diversos procesos de bioturbación, que dan lugar a tubos perpendiculares y no perpendiculares a la estratificación (textura acanalada) y removilización del sedimento (textura masiva). Son muy poco abundantes, pero se encuentran representadas en los sectores de Beleña de Sorbe y Torremocha de Jadraque. Se relacionan a otras facies carbonáticas en

asociaciones de facies 2 y 4. Petrográficamente son muy variadas y se han observado: biomicritas, intrabiomicritas, micritas con terrígenos y dolomicritas. El principal proceso diagenético que afecta a estas facies es la bioturbación, la cual puede originar penetración («burrows») o removilización del sedimento, debido a la actividad de organismos animales o vegetales, tanto en las orlas marginales lacustres como en las zonas profundas lacustres (FREYTET y PLAZIAT, 1982).

#### d) *Calizas con estructuras prismáticas verticales*

Se caracterizan por presentar en campo una disyunción columnar a techo de determinados niveles de calizas. Las calizas con estructuras prismáticas verticales están relacionadas a otros tipos de facies carbonáticas en asociaciones litológicas: 8, 9, 10, 13, 14, 15 y 16. Se encuentran presentes en casi todas las secciones estratigráficas, no obstante están ausentes en varias secciones del sector de Beleña de Sorbe. La disyunción compartimenta a las calizas en prismas perpendiculares a la estratificación y crea superficies de separación entre dichos prismas que, en ocasiones, se ven agrandados por disolución formando cavidades acanaladas en el mismo sentido (Lám. II,5). Estas cavidades se presentan rellenas por un sedimento interno y esparita. La estructuración prismática vertical parece desarrollarse sobre diferentes microfacies (micritas, biomicritas, intramicritas, etc.), debido a que el desarrollo de estructuras prismáticas verticales se realiza sobre varias facies carbonáticas consolidadas. No parece existir, por lo tanto, una relación estrecha entre el proceso de estructuración y las microfacies. Han sido varios los procesos diagenéticos tempranos observados en estas facies y muy semejantes a los encontrados en otras. Entre ellos caben destacarse: fracturación, disolución, sedimentación interna y cementación calcítica. El proceso de fracturación es el más característico. Un proceso de disolución posterior puede agrandar estas fracturas iniciales, las cuales son rellenas por sedimento interno y esparita. Esto puede corresponder al inicio de un proceso de «microkarstificación» (PLAZIAT y FREYTET, 1978) a favor de pequeños planos de despegue producidos por la penetración en el sedimento de raíces y/o rizomas correspondientes a una cubierta vegetal, que se instalaría encima del sedimento lacustre. COHEN (1982) estudia un conjunto de huellas fósiles debidas a raíces en la formación «Koobi Fora» en Kenya (Africa), intentando establecer variaciones ambientales a partir de la morfología de las huellas de raíces fósiles. En conjunto da una relación entre las morfologías de las raíces y el medio de sedimentación. Si las morfologías son verticales serán características de zonas vadosas, y si las morfologías son horizontales con un gran desarrollo lateral de sus

terminaciones, serán características de zonas freáticas, dentro de un contexto lacustre. Según las ideas de COHEN (1982), dada la morfología vertical de las huellas fósiles y su desarrollo en profundidad, las facies de calizas con estructuras prismáticas verticales pueden reflejar condiciones vadosas en su formación. Enlazando estas ideas con las ya expuestas por PLAZIAT y FREYTET (1978) sobre la formación del «pseudomicrokarst», la desaparición de la materia orgánica que compone la raíz formaría una pequeña cavidad que con el tiempo podría agrandarse por disolución. El proceso de disolución y «microkarstificación» serían posteriores al proceso de disyunción columnar y formación de estructuras prismáticas verticales. Dependiendo de la duración del período de pedogénesis (deseccación de la cuenca lacustre y exposición del sedimento lacustre) la disyunción columnar puede evolucionar con la formación de un «pseudomicrokarst», si la pedogénesis se continúa en el tiempo. En este caso, los procesos diagenéticos tempranos implicados son cada vez más numerosos (disolución, sedimento interno, nodulización, etc.). Por ello, cuando tenemos varios procesos sobreimpuestos (estructuras prismáticas verticales + nodulización, por ejemplo) la estructuración prismática se borra, quedando difusa por la coexistencia con el resto de los procesos. Esto denotaría períodos de exposición subaérea muy prolongados en el tiempo.

El proceso de disyunción columnar, debido a implantación de una cubierta vegetal, se puede desarrollar tanto sobre facies lacustres (calizas) como sobre facies fluviales (areniscas), reflejando en cualquier caso actividad de raíces en zonas vadosas.

Las facies de calizas con estructuras prismáticas verticales se interpretan como un tipo más de calizas palustres, siendo el resultado de la implantación de una cubierta vegetal sobre un barro carbonático inicial. Así pues, pensamos que la disyunción columnar y la formación de estructuras prismáticas verticales se debe a un proceso de implantación de una cubierta vegetal sobre los sedimentos de los márgenes litóral de la cuenca lacustre.

#### e) *Calizas oquerosas*

Se caracterizan por presentar una marcada porosidad cavernosa, que da a las calizas aspecto oqueroso (Lám. II,6). Forman niveles masivos, y cuando hay buenos afloramientos se observa un acuñamiento lateral de estos niveles. Se relacionan a otras facies carbonáticas en asociaciones de facies 12. Se encuentran representadas en los sectores de Torremocha de Jadraque y Huérmeces del Cerro. Petrográficamente son pseudoesparitas. El proceso de recristalización es muy intenso y borra en la mayoría de los casos la textura inicial de la roca, pero

cuando se conserva ésta, se observa un sedimento micrítico laminado de posible origen algal. En relación a estas facies se han observado, en algunos casos, pequeños nódulos de anhidrita silicificados de 1-2 cm de diámetro. Un estudio en detalle de los nódulos de sílex («en coliflor») revelan medios vadosos de formación (ARRIBAS y BUSTILLO, 1985), a partir de variaciones verticales del nivel freático en etapas áridas. Esta asociación mineralógica parece indicar condiciones de mayor aridez, así como un ambiente geoquímico evaporítico.

f) *Calizas con laminación deformada y porosidad fenestral*

Se caracterizan por presentar una laminación paralela milimétrica deformada (Lám. II,7), dando en ocasiones límites tanto a techo como a muro bastante alabeados. En su interior se reconoce un importante desarrollo de porosidad fenestral. Se relacionan a otros tipos de facies carbonáticas en asociaciones de facies 11 y se presentan de manera casual en el sector de Beleña de Sorbe. Petrográficamente son pseudoesparitas. El proceso de recristalización es más o menos intenso, borrando en ocasiones la textura inicial de la roca y preservando otras veces antiguos componentes de la primitiva microfacies, como fragmentos algales, intraclastos, peloides, etc. La laminación milimétrica paralela corresponde a una alternancia de láminas de pseudoesparita fina y láminas de pseudoesparita de cristales mayores. Estas últimas láminas presentan una alta porosidad móldica de cristales de evaporitas y en su interior se observan óxidos de hierro. Las morfologías, que corresponden a moldes de evaporitas, son cúbicas y rectangulares (Lám. II,8), y los tamaños de los moldes llegan a alcanzar 1 cm. Se encuentran cementados por esparita y se disponen paralelos a la estratificación. Otras veces los poros son de tipo «vugs», cavernas, canales, mostrando cementos de tipo «dog-tooth» tapizando las paredes de las cavidades que reflejan ambientes de formación vadosos (JAMES, 1972). Niveles calcáreos muy similares han sido descritos por TRUC (1978) y definidos como «convoluted sheets». Para dicho autor representarían facies de costras laminadas. Por otra parte, STRASSER y DAVAUD (1982), en sedimentos correspondientes al Purbeckiense del Mont-Salève, describen niveles de costras calcáreas (calcretas) muy parecidos a nuestros niveles calcáreos, destacando en ellas una laminación ondulosa a veces interrumpida por microdiscordancias, que puede llegar a desaparecer lateralmente. Describen también en estas facies texturas alveolares, restos de raíces, pseudomorfo de evaporitas, etc., al igual que ocurre en nuestro caso. El fenómeno de encostramiento o calcretización se realizaría en medio vadoso a partir de la migración por ascensión de las aguas freáticas, debido a una

evaporación por bombeo. Como consecuencia se produce la concentración por evaporización de las soluciones calcetizantes. La laminación de estas facies sería el resultado de la acreción vertical por micritización del sustrato (STRASSER y DAVAUD, 1982), estando su desarrollo en función de la duración de los periodos de desecación, así como de las precipitaciones dentro de la zona de sedimentación. Al fenómeno de evaporación estaría asociada la formación de minerales evaporíticos, que queda reflejado por la presencia de pseudomorfos de cristales cúbicos rectangulares y lenticulares. La disolución de dichos pseudomorfos parece que es la responsable de la formación de porosidad fenestral, así como de algunos poros con morfología alveolar.

Para otros autores (FREYTET y PLAZIAT, 1982) costras calcáreas semejantes a las aquí descritas pueden tener un origen algal a partir de crecimientos criptalgales y en relación en algunos casos con paligorskita. El resultado puede llegar a ser semejante y son las «costras lamelares» o «costras zonares» descritas en la literatura francesa. En nuestro caso no se observa un desarrollo claro de láminas criptalgales como en las costras zonares («croute zonaire»). Únicamente se observan restos de filamentos correspondientes a raíces, que, junto a la presencia de pseudomorfos de evaporitas, nos hace pensar en un modelo similar al propuesto por STRASSER y DAVAUD (1982) de acreción vertical. Por otra parte, ESTEBAN (1974) designa como caliche a «aquellas acumulaciones diagenéticas (es decir, "secundarias", epigenéticas) de calcita desarrolladas tanto en sedimentos blandos como en rocas consolidadas, sin estructuras sedimentarias propias y que se presentan en masas blancas pulimentadas y/o nodulosas (más o menos cementadas), y/o en costras duras bandeadas y/o pisolíticas». Por ello pensamos que facies de calizas con laminación deformada y porosidad fenestral corresponden a un tipo de caliche o costra según la definición propuesta por ESTEBAN (1974).

Por todo ello pensamos que se tratan de facies calcáreas formadas en medios palustres a partir de procesos de precipitación de carbonato (acreción vertical y formación de sedimento carbonatado laminado) por evaporación y concentración de las aguas freáticas en medio vadoso. La formación de un cemento de esparita, tapizando los poros, de tipo «dog-tooth» o «flower spar» (JAMES, 1972) corroboraría las condiciones vadosas sufridas por el sedimento.

## 2.2. CARBONATOS NO CONSOLIDADOS

Se caracterizan por no tener sus constituyentes cohesión, presentándose los sedimentos sueltos, sin cementar y con un aspecto pulve-

ruento. La clasificación, en diferentes facies, surgió con motivo de los análisis petrológicos y mineralógicos realizados posteriormente a su muestreo, ya que se observó la existencia de diversos minerales implicados en las composiciones de las muestras. Por ello hemos clasificado los carbonatos no consolidados en cuatro tipos petrológicos fundamentales: margas, margas dolomíticas, «chalks» y «chalks» dolomíticos. En general, las facies de carbonatos no consolidados se presentan en todas las secciones estratigráficas, si bien es de destacar su mayor desarrollo en los sectores de Beleña de Sorbe y Torremocha de Jadraque. Dentro de la tipología de estas facies debemos hacer notar que la presencia de «chalks», «chalks» dolomíticos y margas dolomíticas se restringe a unos pocos niveles dentro de las secciones de Torremocha de Jadraque y Baidés II, siendo las margas el tipo de facies más abundante en el área de estudio. Los estudios de mineralogía de arcillas (mediante difracción de rayos X), realizados sobre los residuos insolubles, determinaron la presencia frecuente de la asociación esmectita-paligorskita-mica. Estos carbonatos son de colores claros blancos y beige.

### 2.2.1. «Chalks»-«chalks» dolomíticos

La presencia de «chalks» en formaciones lacustres recientes es muy frecuente tanto en pequeñas cuencas lacustres como en lagos de menos de 30 m de profundidad (KELTS y HSÜ, 1978). Las algas caráceas son las algas dominantes de ambientes litorales produciendo una facies pulverulenta de micrita algal («chalk»). Los cristales individuales de calcita son extremadamente pequeños y juntos forman un agregado cristalino poroso. Son depósitos masivos que se forman en áreas sin influencia clástica y su producción queda limitada a zonas litorales. Estos sedimentos carbonáticos formarían un conjunto de litologías carbonáticas no consolidadas donde el mineral fundamental es la calcita.

Dentro del grupo de los «chalks», existe un tipo particular, los «chalks» dolomíticos, semejante a las facies de «chalks» puros, pero con la diferencia de que aquéllos presentan dolomita en su composición. La formación de dolomita dentro de un modelo lacustre con tendencia regresiva, es frecuentemente explicada en ambientes de «playa-lake». La dolomita se encontraría junto con otros minerales evaporíticos (sulfatos), formando los términos finales de secuencias de sedimentación regresiva (WOLFBAUER y SURDAM, 1974; SURDAM y STANLEY, 1979). En nuestro caso, sobre los sedimentos dolomíticos de carbonatos no consolidados, se pueden apoyar tanto términos dolo-

míticos como calcíticos. En algunos casos puede explicarse la formación de dolomita en el medio vadoso, cuando el término superior de la asociación de facies es dolomía (carbonato consolidado). En este caso el término inferior dolomítico se podría interpretar como el resultado de la erosión de los sedimentos dolomíticos de las orlas lacustres (WOLFBAUER y SURDAM, 1974), explicándose la secuencia dentro de un contexto regresivo. Pero en ocasiones encontramos un término superior calcítico sobre unos sedimentos no consolidados dolomíticos culminando una etapa o fase regresiva. En este caso no podemos pensar en un modelo de formación de dolomita a partir de ambientes vadosos, ya que los sedimentos dolomíticos representan facies más profundas en relación a los sedimentos calcíticos superiores. Por ello se puede pensar en otra alternativa, un modelo de génesis de dolomita penecontemporánea bajo la lámina de agua, dentro de un ambiente lacustre. En este sentido MULLER et al. (1972), establecen diferentes parámetros geoquímicos que gobiernan la formación de dolomita en ambiente lacustre.

### 2.2.2. *Margas-margas dolomíticas*

Las margas son facies carbonáticas muy frecuentes en todas las secciones realizadas, y están asociadas fundamentalmente a otras facies carbonáticas, tanto consolidadas como no consolidadas, aunque también pueden presentarse asociadas a facies detríticas. Se observan en campo dos estructuras básicas: estructura interna masiva y estructura laminada, dando dos facies: margas masivas y margas laminadas.

Las margas masivas son las más abundantes, presentándose relacionadas a facies de calizas consolidadas en los sectores más orientales de la zona de estudio. Sus colores son variados: grises, beige, amarillos, verdes, blancos, etc. Cuando presentan colores grises y pardos suelen contener gran cantidad de materia orgánica, así como un alto contenido fosilífero. Estos niveles han sido muestreados para levigados con la finalidad de reconocer las diferentes especies fósiles. Los fósiles identificados son: gasterópodos, caráceas, peces holósteos, reptiles y mamíferos. Pueden presentar también restos vegetales, oncolitos y terrígenos gruesos dispersos (arena). A veces, cuando se localizan grandes concentraciones de gasterópodos, éstos se encuentran orientados dentro del sedimento.

En algunos niveles de margas masivas de la sección de Torremocha de Jadraque se han observado «debris-flow» en los cuales se diferencian fragmentos de niveles de areniscas carbonáticas y de calizas. Estos niveles creemos que pueden ser «slumps», debido a que los frag-

mentos de niveles de rocas se presentan deformados. Los niveles de «slumps» dan importantes concentraciones de fósiles (yacimiento de Torremocha de Jadraque).

En general, las facies de margas masivas son interpretadas como sedimentadas en cuencas lacustres por debajo de la lámina de agua. Sin embargo, también están relacionadas a sedimentación en las áreas de las llanuras de inundación por desbordamiento de los canales de los sistemas deposicionales. El material arcilloso que entra a formar parte de estas facies es tanto de neoformación (smectita-paligorskita como de origen heredado (ilita-caolinita).

Las margas laminadas son un tipo especial de facies, presentándose localizadas en los sectores de Beleña de Sorbe y Torremocha de Jadraque. Se caracterizan por una marcada laminación (milimétrica-centimétrica) paralela de tipo varvado. En los niveles basales de las secciones correspondientes al sector de Beleña de Sorbe se observa cómo estos niveles de margas están formados por una sucesión alternante de capas milimétricas de margas, margas con terrígenos (arena) y caliza margosa. Las facies de margas laminadas se encuentran mejor representadas en el sector de Beleña de Sorbe donde aparece en relación a los niveles basales de las secciones. Entre las láminas, únicamente se han reconocido restos vegetales fósiles carbonizados, no observándose otro tipo de restos orgánicos. La composición de los minerales arcillosos que componen estas facies corresponde fundamentalmente a la asociación esmectita-paligorskita, de origen neoformado, corroborando por lo tanto el carácter lacustre de dichas facies. Sin embargo, también se han detectado pequeñas cantidades de ilita y caolinita. Facies de margas laminadas son citadas por distintos autores en diferentes tipos de lagos, tanto actuales como fósiles. DEAN y FOUCH (1983) consideran estas facies como un tipo de sedimento carbonático depositado en las zonas profundas de los lagos, resultado de una redeposición de carbonatos litorales junto a material terrígeno que de manera periódica entraría en la cuenca lacustre.

### 3. ANALISIS SECUENCIAL. TIPOS DE SECUENCIAS

Como ya ha sido expuesto anteriormente, la sucesión paleógena muestra una gran diversidad de facies litológicas tanto carbonáticas como detríticas, que se encuentran relacionadas entre sí en determinadas asociaciones de facies litológicas (ARRIBAS, 1986). Estas suelen estar constituidas por secuencias únicas de sedimentación, pero en ocasiones en una misma asociación litológica se distingue más de una secuencia.

Nuestro fin primordial en este trabajo ha sido el estudio de las tendencias evolutivas de los distintos ambientes de sedimentación, dentro de un modelo deposicional lacustre a partir del análisis secuencial de los diversos tipos de facies carbonáticas y litológicas asociadas. Para ello nos hemos basado en los trabajos que sobre sedimentología lacustre existen en la actualidad, si bien los trabajos sobre análisis secuencial de facies carbonáticas lacustres son muy escasos.

Han sido muchos los autores que han estudiado las cuencas de sedimentación lacustre desde diversos puntos de vista: geomorfológico, sedimentológico, geoquímico, etc. Trabajos clásicos de limnología, como los estudios de HUTCHINSON (1957) y REEVES (1968), ponen de manifiesto la gran variedad de cuencas lacustres y los diversos factores (físicos, químicos y biológicos) que controlan la sedimentación de éstas. A principios de la década de los setenta se empieza a desarrollar más el campo de investigación en sedimentos lacustres desde un punto de vista tanto sedimentológico como geoquímico. De esta manera surge una gran cantidad de trabajos en dichos campos en EE.UU. y fundamentalmente en relación con la formación Green River (PICARD y HIGH, 1968 y 1972; EUGSTER y SURDAM, 1973; WILLIAMSON y PICARD, 1974; WOLFBAUER y SURDAM, 1984, y SURDAM y STANLEY, 1979). Asimismo, merecen la pena destacarse los trabajos posteriores realizados por MURPHY y WILKINSON (1980), y TREESE y WILKINSON (1982), en los que se describen secuencias de sedimentación lacustre en sedimentos carbonáticos actuales de Michigan, dando en general tendencias regresivas en la sedimentación.

El análisis secuencial de las facies carbonáticas dentro de la sucesión paleógena, no ha sido un objetivo fácil de alcanzar, debido a la interrelación de los sistemas deposicionales implicados en la sedimentación; por ejemplo, en un período de sedimentación química, dentro de un sistema de sedimentación lacustre, la producción de barros carbonáticos micríticos es el principal proceso de sedimentación a partir de actividad orgánica y bioquímica, pero esta sedimentación química-bioquímica puede verse alterada o interrumpida por la interacción de otros sistemas deposicionales (sedimentación fluvial o aluvial), coincidiendo así y en un mismo punto diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Por ello, lo que puede ser una secuencia simple de sedimentación lacustre carbonática formada por tres términos, margascaliza homogénea-caliza nodulosa, que reflejan una tendencia en la sedimentación continua, puede llegar a complicarse enormemente con la entrada y sedimentación de materiales detríticos relacionados con sistemas fluviales. Esta es la razón principal por la cual hemos distinguido asociaciones de facies formadas por una secuencia única que refleja una evolución continua en sentido vertical, y asociaciones de facies formadas por más de una secuencia, que reflejan a su vez una

historia en la sedimentación compleja, pudiendo mostrar tendencias diferentes y superpuestas en el tiempo.

Las asociaciones litológicas están formadas por términos que se corresponden con etapas diferentes en la evolución sedimentológica del sistema deposicional lacustre. Los contactos entre los términos suelen ser graduales cuando tratamos con sedimentos carbonáticos (químicos), y netos en aquellas secuencias compuestas por términos detríticos, debido esto último a la ruptura en el tipo de sedimentación (química → detrítica) por la interacción con otros sistemas deposicionales. En asociaciones litológicas que se corresponden con secuencias se puede diferenciar en sentido vertical el inicio de las primeras fases de sedimentación y el final de éstas. Para la interpretación paleoambiental de los diversos tipos de facies carbonáticas y su evolución vertical, hemos definido cuatro subambientes deposicionales dentro de un sistema de sedimentación lacustre, basándonos en trabajos recientes de sedimentología de carbonatos lacustres (MURPHY y WILKINSON, 1980; NICKEL, 1982; DEAN y FOUCH, 1983; EUGSTER y KELTS, 1983), siendo dichos subambientes: 1) llanura de inundación-encharcamiento, 2) palustre (supralitoral), 2) lacustre (litoral) y 4) lacustre profundo. En la Fig. 4 podemos ver la relación de los ambientes deposicionales y los tipos de facies diferenciadas.

A partir de los diferentes tipos de asociaciones de facies encontradas en las secciones estratigráficas estudiadas, hemos resumido en

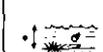
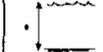
AMBIENTES DE SEDIMENTACION	FACIES CARBONATICAS CARACTERISTICAS	MICROFACIES	CARACTERISTICAS GENERALES	PROCESOS DIAGENETICOS
 LLANURA DE INUNDACION	CNT	MT - INT I E T	- ESTRUCTURA HETEROGENEA (ALTERNADA)	MODULIZACION RECHIFICACION RECRISTALIZACION DISOLUCION
 PALUSTRE (SUPRALITORAL)	CN CNT CEP CO CL CG CB	BM - BIM IM IE IPM PS DM - DPM MT	- PRESENCIA O NO DE FAUNA LIMNICA  - ESTRATIFICACION IRREGULAR  - PRESENCIA DE PROCESOS PEDOGENETICOS	CEMENTACION CALCITICA FORMACION EVAPORITAS SEDIMENTO INTERNO BIOTURBACION EDIFICA (RAICES) MARMORIZACION SILICIFICACION DOLOMITIZACION
 LACUSTRE (LITORAL)	CF CDA CI CL CT CD(?)	BM BIM IBM IM/IMC MT IMT MO/DM	- ESTRUCTURA HOMOGENEA  - FAUNA LIMNICA  - BUENA ESTRATIFICACION  - MATRIZ MICRITICA - AUSENCIA DE PROCESOS PEDOGENETICOS	DISOLUCION  NEOMORFISMO  CEMENTACION CALCITICA  SILICIFICACION
 LACUSTRE (PROFUNDO)	MARGAS LAMINADAS	---	- FAUNA LIMNICA - LAMINACION PARALELA - NIVELES DE SLUMPS ?	---

FIG. 4.—Relación entre las distintas facies carbonáticas y sus ambientes de sedimentación.

FIG. 4.—Table summarizing the different carbonate facies in relation with several sedimentation environments.

16 tipos principales dichas asociaciones de facies (Fig. 5), habiendo realizado un análisis secuencial en cada una de ellas, con la finalidad de poder interpretar los distintos subambientes de sedimentación, dentro de un sistema deposicional lacustre, así como la evolución de los sistemas deposicionales implicados.

### 3.1. SEDIMENTACIÓN LACUSTRE PROFUNDA (S.S)

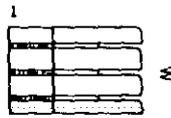
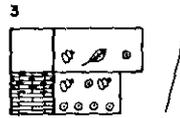
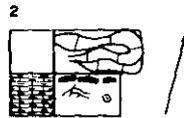
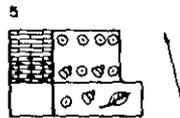
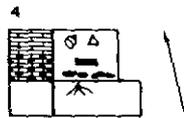
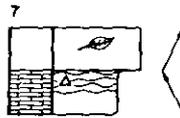
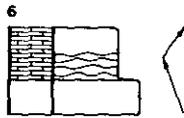
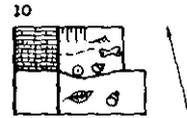
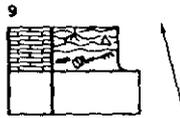
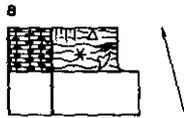
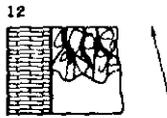
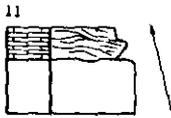
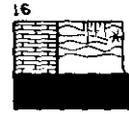
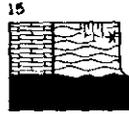
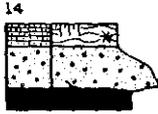
Está caracterizada por la asociación de facies 1 (Fig. 5). Únicamente se encuentra representada en los sectores de Beleña de Sorbe y Torremocha de Jadraque, estando ausente en el sector de Huérmeces del Cerro (ARRIBAS, 1986). Es una asociación característica del tramo inferior correspondiente a la unidad carbonática. La asociación de facies 1, caracterizada por una alternancia litológica caliza margosa-marga (Lám. III,1), a veces con niveles de material terrígeno, es interpretada como una asociación de facies que refleja la sedimentación en zonas lacustres profundas (Fig. 6). La superposición de estas secuencias alcanza un espesor de hasta 40 m e indicaría condiciones relativamente estacionarias en la cuenca. De acuerdo con DEAN y FOUCH (1983), esta asociación de facies podría ser el resultado de una resedimentación de carbonatos litorales, junto a material terrígeno, que de manera periódica entraría en la cuenca lacustre. Los sedimentos litorales serían depositados en el centro del lago. El resultado, por lo tanto, es una alternancia litológica (asociación de facies 1) con una marcada laminación milimétrica y centimétrica, dentro de la cual se puede llegar a reconocer en ocasiones restos vegetales, ya carbonizados, orientados según la dirección del flujo.

### 3.2. SEDIMENTACIÓN LACUSTRE-PALUSTRE. TIPOS DE SECUENCIAS

La sedimentación se caracteriza por ser un tipo mixto, en el cual tanto la sedimentación lacustre como la palustre se suceden. Las asociaciones de facies características de la sedimentación lacustre-palustre se resumen en 12 tipos (Fig. 5). Las 12 asociaciones de facies se ordenan, en general, en secuencias de sedimentación con una única evolución litológica vertical, pero en ocasiones pueden llegar a estar constituidas por más de una secuencia, como vemos que ocurre en las asociaciones 6, 7 y 13. En estos casos las asociaciones de facies muestran en sentido vertical dos tendencias evolutivas distintas. Dentro del ambiente de sedimentación lacustre-palustre se han diferenciado: secuencias de expansión, secuencias de retracción sin exposición subaérea, secuencias de retracción-expansión y secuencias de retracción con exposición subaérea.

# ASOCIACIONES DE FACIES

INTERPRETACION			
LACUSTRE PROFUNDO	LACUSTRE - PALUSTRE	LLANURA DE INUNDACION	
SEDIMENTACION ESTACIONARIA	EXPANSION	RETRACCION SIN EXPOSICION SUBAEREA	ENCHARCAMIENTO CON EXPOSICION SUBAEREA
	RETRACCION - EXPANSION	RETRACCION CON EXPOSICION SUBAEREA	RETRACCION CON EXPOSICION SUBAEREA



M

### 3.2.1. Secuencias de expansión

Están representadas por las secuencias 2 y 3 (Fig. 5). Son poco frecuentes a lo largo de la sucesión paleógena, presentándose primordialmente en el tramo inferior de ésta. Asimismo, se han detectado de manera ocasional en el tramo superior. Las secuencias expansivas tienen una evolución similar, si bien cada una de ellas caracteriza zonas concretas dentro de la cuenca lacustre. Suelen estar formadas por dos términos que se disponen en la vertical desde el más somero en la base, hasta el más profundo a techo (Fig. 7). En conjunto, las secuencias de expansión se caracterizan por tener una evolución en sentido vertical desde facies palustres o lacustres litorales (calizas, margas, etcétera) en la base, a facies lacustres más profundas a techo (margas, margas con «slumps», areniscas y conglomerados). Se puede observar un aumento en la proporción de material terrígeno (arcillas) en los términos finales de las secuencias. Este enriquecimiento en terrígenos es debido a entradas de dicho material en la cuenca lacustre acompañada de una subida del nivel de agua (expansión). Las expansiones la-

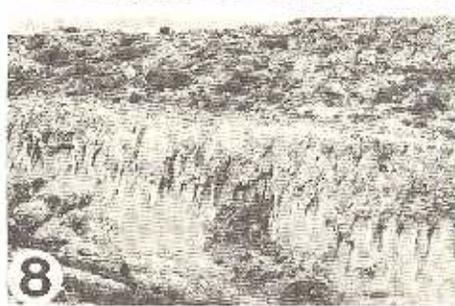
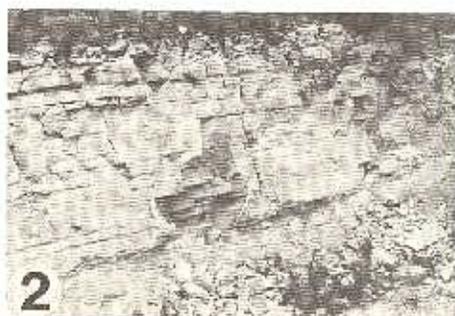
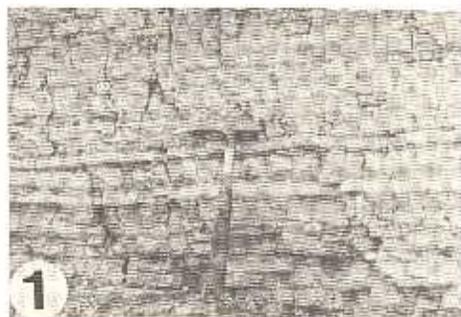
COMPONENTES	ESTRUCTURAS	MICROFACIES
FOSILES	E. OQUEROSA	M MICRITAS
ONCOLITOS	RIPPLES	MT MICRITAS CON TERRIGENOS
RESTOS VEGETALES	LAMINACION PARALELA	IMT INTRAMICRITA CON TERRIGENOS
VERTEBRADOS	CICATRIZ	IET INTRAESPARITA CON TERRIGENOS
RAICES	GRANOSELECCION -	BM BIOMICRITA
POROSIDAD MOLDICA	GRANOSELECCION +	BIM BIOINTRAMICRITA
INTRACLASTOS	E. PRISMATICAS VERTICALES	IM INTRAMICRITA
CANTOS NEGROS		IE INTRAESPARITA
		IPM INTRAPELMICRITA
		DM DOLOMICRITA
		DIPM DOLOINTRAPELMICRITA
		MD MICRITA DOLOMITICA

PROCESOS	CONTACTOS	SECUENCIAS
SILICIFICACION	GRADUAL	RETRACCION
NODULIZACION	NETO	EXPANSION
BIOTURBACION	EROSIVO	ALTERNANCIA LITOLOGICA
SLUMP		
MARMORIZACION		
ENCOSTRAMIENTO		

FIG. 5.—Cuadro síntesis de las asociaciones de facies carbonáticas más características e interpretación.

FIG. 5.—Synthesis table summarizing the most important carbonate facies associations.



custres no son muy frecuentes y su presencia indica una subida del nivel del agua, así como una evolución a facies más profundas.

### 3.2.2. *Secuencias de retracción sin exposición subaérea*

Están representadas por las secuencias 4 y 5 (Fig. 5; Lám. III,2), las cuales son prácticamente iguales, ya que los términos petrológicos son los mismos, si bien varían los tipos de componentes. La secuencia 4, aun teniendo fauna límnic, no tiene niveles tan ricos en fósiles lacustres y oncolitos como los encontrados en la secuencia 5. La secuencia 5 se localiza fundamentalmente a techo de la sección de Viana de Jadraque (río Salado). Tanto la secuencia 4 como la 5 no presentan procesos pedogenéticos, por lo tanto, las retracciones no llegan a una situación de exposición subaérea del sedimento. Las margas correspondientes a los términos basales de las secuencias son interpretadas como facies lacustres relativamente más profundas, con respecto a los términos superiores de calizas homogéneas, que han sido ya interpre-

---

LÁMINA III.—1. Asociación de facies 1. Margas laminadas. Sedimentación lacustre profunda (estacionaria). Sección de Espinosa de Henares. 2. Asociación de facies 4. Margas-calizas homogéneas. Sedimentación lacustre. Secuencia de retracción sin exposición subaérea. Sección de Torremocha de Jadraque. 3. Asociación de facies 7. Calizas homogéneas-calizas con estructuras prismáticas verticales-margas. Sedimentación lacustre-palustre. Secuencia mixta de retracción-expansión. Sección de Torrebeleña. 4. Asociación de facies 8. Término superior de calizas con estructuras prismáticas verticales. Sedimentación lacustre-palustre. Secuencia de retracción con exposición subaérea. Sección de Baides II. 5. Asociación de facies 9. Términos superiores, caliza homogénea y caliza nodulosa. Sedimentación lacustre-palustre. Secuencia de retracción con exposición subaérea. Sección de Baides I. 6. Asociación de facies 13. Marga-conglomerado carbonático. Sedimentación lacustre-palustre. Secuencia mixta de expansión-retracción. Sección de Torrebeleña. 7. Asociación de facies 11. Término superior (caliza con laminación deformada y porosidad fenestral). Secuencia de retracción con exposición subaérea en ambiente evaporítico-carbonático. 8. Asociación de facies 15. Caliza nodulosa con terrígenos. Paleosuelo desarrollado en las áreas intercanales (llanura de inundación). Sección de Espinosa de Henares.

PLATE III.—Facies Association 1. Laminated marls. Steady lacustrine sedimentation. Espinosa de Henares section. 2. Facies association 4. Marls-homogeneous limestones. Lacustrine sedimentation. Sequence of retraction without subaerial exposure. Torremocha de Jadraque section. 3. Facies association 7. Homogeneous limestones-limestones with vertical prismatic structures-marls. Lacustrine-palustrine sedimentation. Sequence of retraction-expansion. Torrebeleña section. 4. Facies association 8. Upper term of limestones with vertical prismatic structures. Lacustrine-palustrine sedimentation. Sequence of retraction with subaerial exposure. Baides-II section. 5. Facies association 9. Nodular limestones overlying homogeneous limestones. Lacustrine-palustrine sedimentation. Sequence of retraction with subaerial exposure. Baides-I section. 6. Facies association 13. Marls-calcareous carbonate. Lacustrine-palustrine sedimentation. Sequence of expansion-retraction. Torrebeleña section. 7. Facies association 11. Upper term of limestone with deformed lamination and fenestral porosity. Sequence of retraction with subaerial exposure in evaporitic-carbonate environmental. 8. Facies association 15. Nodular sandy limestones (paleosol). Espinosa de Henares section.

## SEDIMENTACION LACUSTRE PROFUNDA

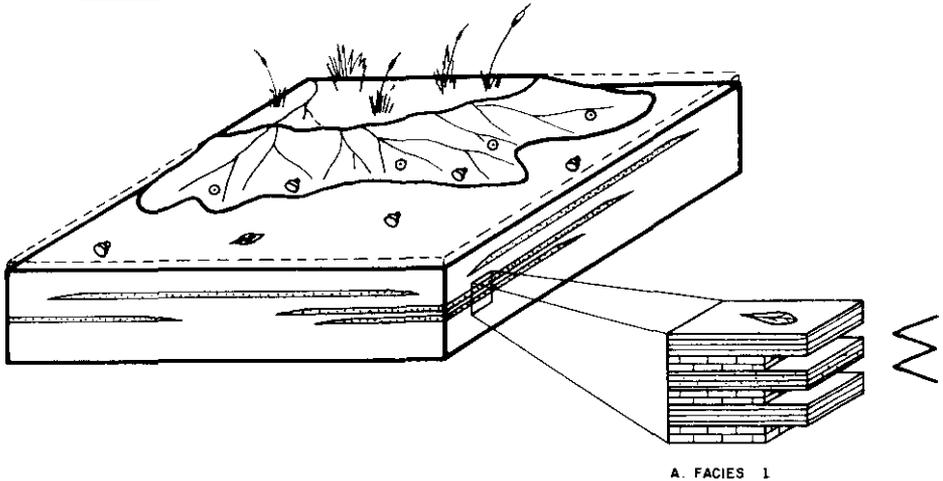


FIG. 6.—Esquema de sedimentación lacustre profunda. Asociaciones de facies características.

FIG. 6.—Model of steady lacustrine sedimentation and characteristic facies associations.

tadas como facies lacustres litorales. Al sufrir una desecación la cuenca lacustre, sobre los sedimentos de margas masivas se formarían las calizas. Pero el proceso de desecación no llega a ser total, pues no presentan rasgos de exposición subaérea, volviendo posiblemente a una nueva sedimentación margosa con la repetición de esta secuencia o de cualquier otra.

### 3.2.3. Secuencias de retracción-expansión

Son un grupo de secuencias que se caracterizan por presentar un episodio de retracción formado por el término basal y el término intermedio, y un episodio expansivo formado por el término final de la asociación. Las únicas secuencias encontradas son la 6 y 7 (Fig. 5; Lám. III,3). Se localizan en la unidad carbonática, tanto dentro del tramo inferior como en el superior. Estas asociaciones de facies no se corresponden con secuencias únicas, sino que están formadas por dos secuencias o evoluciones sedimentarias que se suceden en el tiempo de forma gradual, ya que los contactos entre los términos son graduales. El episodio inferior de retracción está formado por dos términos: el basal (margas, calizas homogéneas), que señala ambientes lacustres

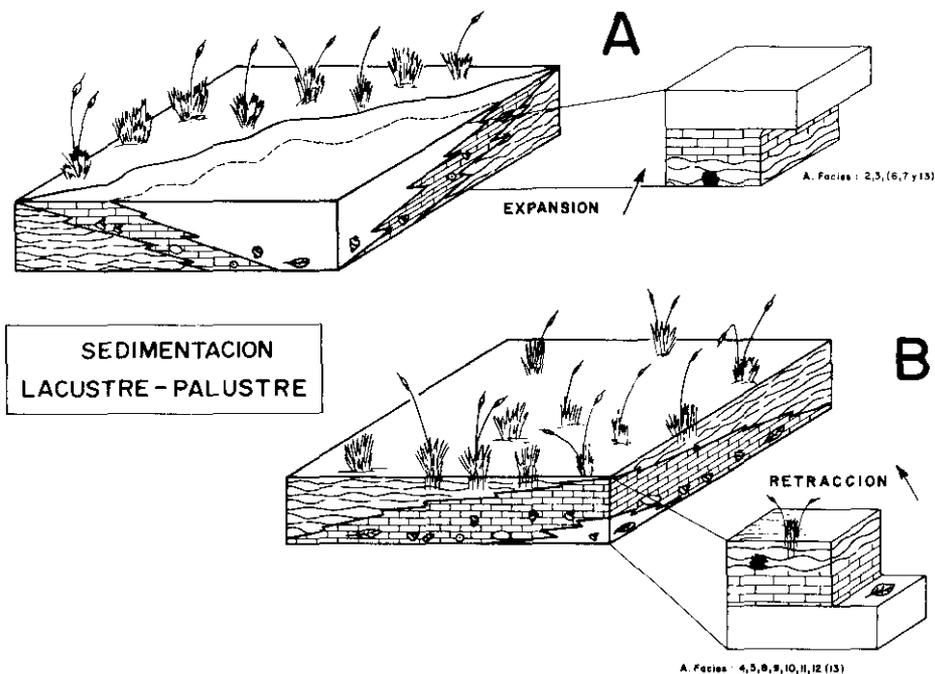


FIG. 7.—Esquema de sedimentación lacustre-palustre. Secuencias de retracción y expansión.

FIG. 7.—Model of lacustrine-palustrine sedimentation. Retraction and expansion sequences.

más o menos profundos, y el intermedio (calizas nodulosas, calizas con estructuras prismáticas verticales), que refleja en su interior procesos de pedogénesis con desarrollo de estructuras prismáticas verticales, nodulización, etc. Inmediatamente después de esta secuencia de retracción, vendría un impulso expansivo, el cual indicaría condiciones de mayor profundidad con respecto a las facies anteriores de calizas alteradas. Las margas pueden corresponder tanto a ambientes de sedimentación lacustre litoral como a ambientes de sedimentación lacustre profunda, pero en este caso parece lógico pensar que se trate de facies más someras, debido a su relación espacial con el término subyacente (calizas alteradas palustres).

### 3.2.4. Secuencias de retracción con exposición subaérea

Están representadas por las secuencias 8, 9, 10, 11, 12 y 13 (Fig. 5; Lám. II,3, 4, 5 y 6). Todas ellas tienen un rasgo común, y es que pre-

sentan procesos de exposición subaérea (pedogénesis) en el término final de las secuencias (Fig. 7.B). En función de los tipos petrológicos encontrados hemos diferenciado dos ambientes geoquímicos de sedimentación distintos dentro de estos tipos de secuencias: ambiente carbonático y ambiente evaporítico-carbonático.

- Las secuencias de retracción con exposición subaérea en ambiente carbonático son la 8, 9, 10 y 13 (Fig. 5). Dichas secuencias se encuentran formadas por dos o tres términos, reflejando en conjunto la misma tendencia vertical evolutiva según una desecación progresiva de la cuenca lacustre. Son las secuencias más abundantes dentro de la unidad carbonática. La secuencia 8 (Lám. III,4) es semejante a la 9, si bien esta última presenta un término intermedio, calizas homogéneas, sobre el cual se desarrolla la exposición subaérea y pedogénesis formando el término superior (Lám. III,5). El término superior de la secuencia 8 se desarrollaría directamente sobre las margas. Los contactos dentro de estas dos secuencias son graduales. Las secuencias 8 y 9 representan una evolución de facies, desde facies lacustres relativamente profundas (margas masivas) a facies lacustres litorales (calizas homogéneas), con la formación de facies palustres (calizas nodulosas) a techo de la secuencia. La secuencia 10 es semejante a la 9, pero en la secuencia 10 el término intermedio presenta una base canalizada que interpretamos como canales lacustres con oncolitos, gasterópodos y algas, que posteriormente fueron abandonados. La estructura nodulosa y las estructuras prismáticas verticales, que se presentan a techo del nivel de calizas homogéneas, indican además una exposición subaérea de estos canales. Al igual que en las secuencias 8 y 9, en la secuencia 10 quedan reflejados tanto el ambiente de sedimentación lacustre (margas lacustres de relativa profundidad; calizas lacustres litorales de base canalizada o no canalizada) como el ambiente de sedimentación palustre (calizas con estructuras prismáticas verticales). Por último, la asociación 13 (Lám. III,6) es una pequeña excepción dentro de este grupo. Está formada por tres términos: margas, conglomerados y/o areniscas (lóbulos y/o capas) y calizas nodulosas con terrígenos. *Refleja, primeramente, una expansión lacustre con entrada de material terrígeno (conglomerado y/o areniscas) y posteriormente una retracción (calizas nodulosas con terrígenos) con desarrollo de diversos procesos pedogenéticos.*
- Las secuencias de retracción con exposición subaérea en ambiente evaporítico-carbonático son la 11 y 12 (Fig. 5). Se caracterizarán por una sedimentación mixta evaporítica-carbonática.

Están formadas por dos términos: uno inferior margoso, común para las dos secuencias y uno superior de calizas con laminación deformada y porosidad fenestral, en el caso de la secuencia 11 (Lám. III,7), y de calizas oquerosas en el caso de la secuencia 12. Ambos casos representan secuencias de retracción lacustre con exposición subaérea, dentro de un ambiente geoquímico evaporítico en los que los términos finales presentan costras características. Dentro de estas costras (calizas con laminación deformada y porosidad fenestral, y calizas oquerosas) se reconocen minerales evaporíticos (yeso-anhidrita, fundamentalmente). Los minerales evaporíticos muestran diversos tipos de morfologías: en nódulos, pseudomorfos lenticulares, formas cúbicas y rectangulares. El ambiente geoquímico evaporítico-carbonático no es muy frecuente a lo largo de la sucesión paleógena, pero sí es muy característico en los niveles basales del tramo inferior de la unidad carbonática, sobre todo en el sector de Huérmeces del Cerro y en el sector de Torremocha de Jdraque.

### 3.3. SEDIMENTACIÓN EN LAS ÁREAS DE LLANURA DE INUNDACIÓN-ENCHARCAMIENTOS

En este apartado tratamos las secuencias o asociaciones de facies desarrolladas en las áreas de la llanura de inundación de los sistemas aluviales asociados. Son las secuencias 14, 15 y 16 (Fig. 5; Lám. III,8). Se encuentran desarrolladas principalmente en la unidad detrítica, aunque también se localizan en la unidad carbonática y en particular en el tramo superior de ésta. No representan secuencias de sedimentación lacustre bien desarrolladas. En conjunto, se puede hablar de facies palustres alteradas, formadas a partir del encharcamiento de agua en determinadas áreas de la llanura de inundación o en las áreas intercanales o interlobulares. Dependiendo de la magnitud del estancamiento, podemos tener mejor o peor desarrollada la cuenca lacustre, que rápidamente evolucionará según una retracción a ambientes palustres, tal y como ocurre a techo de la secuencia 16, donde las calizas homogéneas lacustres evolucionan rápidamente a calizas alteradas palustres, con desarrollo de pedogénesis y exposición subaérea. La secuencia 15 es muy semejante a la 16, pero se deducen condiciones más someras y directamente se desarrollan las calizas alteradas palustres (Lám. III,8). Sin embargo, en la secuencia 14 los carbonatos se desarrollan sobre cuerpos de detríticos gruesos (lóbulos y canales, fundamentalmente) (Fig. 8). Estos carbonatos también son interpretados como el resultado del encharcamiento de determinadas áreas (in-

tercanales e interlobulares) con la posterior desecación de las charcas, producidas (Fig. 8). El límite inferior de las calizas está controlado por la topografía de los cuerpos conglomeráticos subyacentes (lóbulo, canal, etc.).

En conjunto, las facies de calizas nodulosas con o sin terrígenos de las asociaciones de facies antes citadas (14, 15 y 16), se interpretan como asociadas a encharcamientos controlados por la topografía del sistema deposicional.

### SEDIMENTACION EN LAS AREAS DE LLANURA DE INUNDACION (ENCHARCAMIENTOS)

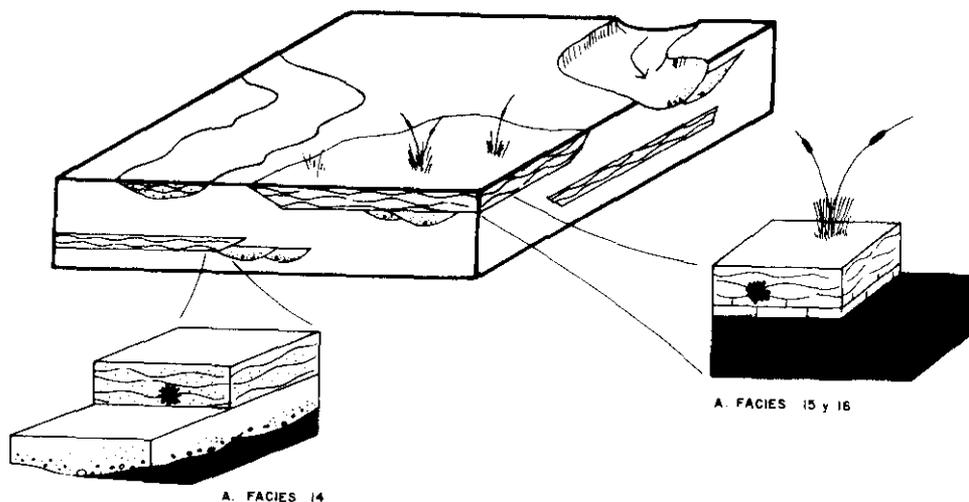


FIG. 8.—Esquema de sedimentación en las áreas de llanura de inundación-encharcamientos. Asociaciones de facies características.

FIG. 8.—Model of sedimentation in flood-plain zones and characteristic facies associations.

#### 4. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS FACIES CARBONATICAS

A partir del estudio de la evolución vertical y del análisis de facies se han inferido las pautas evolutivas en la sedimentación a lo largo de la sucesión carbonática-detritica.

La sucesión se caracteriza por presentar una evolución en sentido vertical. Aproximadamente la mitad inferior (unidad carbonática) es

de composición calcárea y sus facies se corresponden con medios de sedimentación lacustre, mientras que la mitad superior (unidad detrítica) es fundamentalmente terrígena y sus facies se corresponden con medios de sedimentación de abanicos aluviales y fluviales, con pequeñas intercalaciones de episodios lacustres-palustres.

En todos los sectores de la zona estudiada la sedimentación comienza con la presencia de facies evaporítico-carbonáticas (calizas oquerosas) que reflejan períodos de encostramiento en etapas áridas (asociación de facies 12), pero no alcanzan un desarrollo importante en sentido vertical, presentándose de manera local en la base de la sucesión en los tres sectores. Después de estos episodios de encostramiento, la sedimentación cambia bruscamente a medios carbonáticos lacustres, dominando a lo largo de la mitad inferior de la sucesión (unidad carbonática).

En el sector de Torremocha de Jadraque es donde la unidad carbonática alcanza un desarrollo considerable, presentando las potencias máximas. Las facies carbonáticas lacustres (calizas homogéneas, margas masivas y margas laminadas) se presentan en dicho sector en secuencias de expansión y retracción sin exposición subaérea (asociaciones de facies 1 → 5), reflejando fundamentalmente condiciones de sedimentación lacustre profunda y sedimentación lacustre litoral. En el sector de Huérmeces del Cerro el espesor de las facies carbonáticas lacustres no es tan grande, predominando principalmente facies palustres, las cuales se asocian a facies lacustres en secuencias de retracción con exposición subaérea (asociaciones de facies 6 → 13). Es en este sector donde existe un desarrollo máximo de procesos pedogenéticos (nodulización, marmorización, bioturbación edáfica, etc.).

En el sector de Beleña de Sorbe la sedimentación lacustre que caracteriza la unidad carbonática es más detrítica (margas laminadas con terrígenos, calizas margosas y areniscas) en relación con los demás sectores, debido a la gran influencia clástica de los sistemas de abanicos aluviales próximos. En este sector, en los sedimentos lacustres se intercalan secuencias de areniscas de tipo «thickening upward» con tránsito gradual desde los sedimentos más finos (lutitas), que han sido interpretadas como pequeños deltas lacustres (asociación de facies 13). El espesor que alcanza la superposición vertical de la asociación de facies 1 indicaría una permanencia en las condiciones ambientales (lacustre profundo) en este área.

De manera paulatina la sedimentación sufre un cambio en los tres sectores geográficos según un enriquecimiento de material terrígeno, relacionado con una progradación de los abanicos aluviales adyacentes (unidad detrítica). La presencia de facies carbonáticas es escasa, sin embargo, se observan pequeños episodios de sedimentación lacustre-palustre, debidos a encharcamientos de agua en la llanura de inunda-

ción de los abanicos aluviales adyacentes, con desarrollo de paleosuelos (calizas nodulosas con terrígenos) y procesos pedogenéticos (asociaciones de facies 14 → 16) en los sectores de Torremocha de Jadraque y Huérmeces del Cerro.

## 5. CONCLUSIONES

A partir del estudio petrológico y sedimentológico de los materiales carbonáticos paleógenos del sector NW de la cuenca terciaria del Tajo han sido definidos 16 tipos genéticos de facies, agrupados en dos familias: carbonatos consolidados y carbonatos no consolidados.

Dentro de los carbonatos consolidados se han diferenciado, a su vez: facies de calizas homogéneas (calizas fosilíferas, calizas intraclásticas, calizas con oncolitos y/o algas, calizas con terrígenos, calizas laminadas y calizas dolomíticas-dolomías) y facies de calizas alteradas (calizas nodulosas, calizas nodulosas con terrígenos, calizas bioturbadas, calizas con estructuras prismáticas verticales, calizas oquerosas y calizas con laminación deformada y porosidad fenestral.

Las facies de calizas homogéneas se corresponden con niveles continuos, bien estratificados y contienen en su interior diferentes tipos de componentes (bioclastos, intraclastos, oncolitos, algas, terrígenos, etcétera). No presentan procesos diagenéticos tempranos de tipo pedogenético, siendo la característica fundamental que las diferencia de otros tipos de facies. No obstante se han localizado procesos de silicificación y de dolomitización cuya génesis es interpretada en ambientes eodiagenéticos. Se ha definido un conjunto de microfacies dentro de las facies de calizas homogéneas, siendo las más características: biomicritas, biointramicritas, intrabiomicritas, intramicritas y micritas con terrígenos. En conjunto las facies de calizas homogéneas han sido interpretadas como sedimentadas en ambientes lacustres litorales, de mayor o menor profundidad, a excepción de las facies de calizas dolomíticas-dolomías formadas en ambientes supralitorales.

Las facies de calizas alteradas presentan en su interior diversas estructuras de alteración debidas a la actuación de procesos diagenéticos tempranos como: nodulización, brechificación, recristalización, disolución, cementación calcítica, formación de cristales lenticulares de yeso, bioturbación edáfica (raíces), marmorización, silicificación y dolomitización. Las microfacies más características de este grupo son: intramicritas, intraesparitas, intrapelmicritas, intraesparitas e intramicritas con terrígenos y pseudoesparitas. Las facies de calizas alteradas han sido interpretadas, en general, como el resultado de una pedogénesis más o menos desarrollada en ambientes de sedimentación palustre a excepción de las facies de calizas bioturbadas formadas en am-

bientes de sedimentación lacustre y cuya «alteración» es debida a la actividad orgánica.

Dentro de la familia de carbonatos no consolidados se han diferenciado cuatro tipos de facies petrológicas en función de la composición de sus constituyentes: «chalks», «chalks» dolomíticos, margas y margas dolomíticas, abundando de manera considerable las margas con respecto al resto de las facies. En general, la familia de carbonatos no consolidados se interpreta como el resultado de una sedimentación lacustre de mayor o menor profundidad.

Todas las facies aquí definidas (facies carbonáticas y facies detríticas) se ordenan en asociaciones de facies a lo largo de la sucesión paleógena, reconociéndose 16 asociaciones de facies principales, con pautas de evolución sedimentológica diferentes (sedimentación estacionaria, expansiones, retracciones y encharcamientos en la llanura de inundación). Dichas asociaciones de facies suelen estar constituidas por secuencias únicas de sedimentación, pero en ocasiones pueden llegar a estar formadas por más de una secuencia, en asociaciones de facies más complejas.

Se han definido cuatro ambientes de sedimentación en relación con los tipos de facies carbonáticas definidas: sedimentación lacustre profunda (estacionaria), sedimentación lacustre (litoral), sedimentación palustre (supralitoral) y sedimentación en la llanura de inundación (encharcamientos). Dichos ambientes de sedimentación están caracterizados por sus correspondientes asociaciones de facies o secuencias.

La sedimentación lacustre profunda se define por la presencia de margas laminadas, reflejando condiciones estacionarias en la sedimentación, siendo característica tanto en el sector de Beleña de Sorbe como en el sector de Torremocha de Jadraque.

La sedimentación lacustre y palustre se define por una serie de secuencias sedimentológicas que reflejan diferentes pautas evolutivas en la sedimentación en cada caso, diferenciándose secuencias de expansión, secuencias de retracción y secuencias de retracción-expansión.

Las secuencias de expansión se caracterizan porque hacia el techo existe un aumento gradual en las condiciones lacustres, siendo los términos finales de estas secuencias términos más lacustres que los términos basales de éstas. Son un reflejo de la subida del nivel del agua con o sin aportes de material terrígeno. No son muy abundantes en la unidad carbonática.

Las secuencias de retracción son las secuencias más típicas de la unidad carbonática y se caracterizan por presentar condiciones más palustres en los términos finales y lacustres en los basales, reflejando una desecación paulatina de la cuenca lacustre. A su vez, las secuencias de retracción pueden mostrar en los términos finales procesos de ex-

posición subaérea con desarrollo de pedogénesis (nodulización, brechificación, marmorización, actividad de raíces, etc.) o no.

Se han caracterizado dos ambientes geoquímicos de sedimentación en las secuencias de retracción: ambiente carbonático y ambiente evaporítico-carbonático, reflejando este último condiciones de mayor aridez (formación de costras evaporíticas, yeso, etc.), siendo característico en los niveles basales del tramo inferior de la unidad carbonática, en los tres sectores.

Las secuencias de retracción-expansión se definen como consecuencias de retracción con un impulso expansivo a techo de éstas. Son poco frecuentes en la unidad carbonática, pero pueden presentarse tanto en el tramo inferior como en el superior.

La sedimentación en las llanuras de inundación de los sistemas de abanicos aluviales asociados se define por asociaciones de facies mixtas (carbonáticas-detríticas), que reflejan encharcamientos en las áreas interlóbulos o intercanales de las llanuras de inundación, estando muy desarrolladas en la unidad detrítica.

Existe una evolución, en sentido espacial y temporal, en la sedimentación a lo largo del Paleógeno, reflejado en el cambio paulatino de las asociaciones de facies.

## BIBLIOGRAFIA

- ARRIBAS, M. E. (1982): «Petrología y Sedimentología de las facies carbonáticas del Paleógeno de la Alcarria (Sector NW)». *Estudios Geol.*, 38:27-41.
- ARRIBAS, M. E. (1984): «Facies and sequences in lacustrine carbonates: Paleogene of NE sector of the Tertiary Tajo Basin (Spain). *5eme Congrès Européen de Sédimentologie* (Marseille).
- ARRIBAS, M. E. (1985): «Sedimentología y diagénesis de las facies carbonáticas del Paleógeno del Sector NW de la Cuenca del Tajo». Tesis doctoral.
- ARRIBAS, M. E. (1986): «Estudio litoestratigráfico de una unidad de edad paleógena. Sector N de la Cuenca Terciaria del Tajo (prov. de Guadalajara)». *Estudios Geol.* (en pre.).
- ARRIBAS, M. E.; DÍAZ, M.; LÓPEZ, N., y PORTERO, J. (1983): «El abanico aluvial Paleógeno de Beleña de Sorbe (Cuenca del Tajo): Facies, relaciones espaciales y evolución». *X Congreso Nacional de Sedimentología*. Menorca. 134-139.
- ARRIBAS, M. E., y BUSTILLO, M. A. (1985): «Modelos de silicificación en los carbonatos lacustres-palustres del Paleógeno del borde NE de la Cuenca del Tajo». *Bol. Geol. y Min.*, 96 (3):325-343.
- BRAITHWAITE, C. J. R. (1975): «Petrology of Paleosols and other terrestrial sediments on Aldabra, Western Indian Ocean». *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B, 273:1-32.
- CALVET, F., y JULIA, R. (1983): «Pisoids in the Caliche Profiles of Tarragona (NE Spain)». En: *Coated Grains*. (Ed. T. M. Peryt). Springer-Verlag-Berlin Heidelberg.
- CODY, R. D. (1979): «Lenticular Gypsum: occurrences in nature, and experimental determinations of effects of soluble green plant material on its formation». *Jour. Sed. Petrology*, 49, n.º 3: 1015-1028.

- COHEN, A. (1982): «Paleoenvironments of root casts from the Koobi Fora formation, Kenya». *Jour. Sed. Petrology.*, 52, n.º 2:401-414.
- DEAN, W. E., y FOUCH, T. D. (1983): «Lacustrine environment». Cap. 2. En: *Carbonate depositional environments*. AAPG Memoir, 33.
- DONOVAN, R. N. (1975): «Devonian lacustrine limestones at the margin of the Orcadian Basin, Scotland». *Jl. Geol. Lond.*, 131:489-510.
- ESTEBAN, M. (1974): «Caliche textures and "Microcodium"». *Suppl. Boll. Soc. Geol. It.*, 92:105-125.
- ESTEBAN, M. (1975): «Características de los suelos carbonatados semiáridos: El problema del caliche y sus productos semiáridos». *Actas Semin. Int. Evaluación Tierras Zonas Áridas y Semi-áridas. América Latina*. Roma, 317-327.
- EUGSTER, H. P., y SURDAM, R. C. (1973): «Depositional environment of the Green River formation of Wyoming: A preliminary report». *Geol. Soc. América. Bull.*, 84:1115-1120.
- EUGSTER, H. P., y KELTS, K. (1983): «Lacustrine chemical sediments». En: *Chemical sediments and geomorphology* (Ed. A. Goudie y K. Pye). Academic Press, 321-368.
- FOLK, R. L. (1962): «Spectral subdivision of limestone types». En: *Classification of carbonate rocks a Symposium* (Ed. W. E. Ham). *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Mem.*, 1:62-84.
- FREYET, P. (1973): «Caracteres distinctifs et essai de classification des carbonates fluvialites, lacustres et palustres». *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276:1937-1940.
- HUTCHINSON, G. (1957): «A Treatise on Limnology» (Ed. Wiley). *New York, N.Y.*, 1:1015 pp.
- JAMES, N. P. (1972): «Holocene and Pleistocene calcareous crust (caliche) profiles: Criteria for subaerial exposure». *Jour. Sed. Petrology*, 42:817-836.
- KELTS, K., y HSÜ, K. J. (1978): «Freshwater Carbonate Sedimentation». En: *Lakes: Chemistry, geology, physics*. Cap. 9 (Ed. A. Lerman). Springer-Verlag, New York, 295-323.
- LERMAN, A. (1978): *Lakes: Chemistry, geology, physics* (Ed. A. Lerman). Springer-Verlag).
- MATTER, A., y TUCKER, M. (1978): *Modern and ancient lake sediments* (Ed. A. Matter y M. Tucker). Spec. Publi. I.A.S., n.º 2.
- MURPHY, D. H., y WILKINSON, B. H. (1980): «Carbonate deposition and facies distribution in a central Michigan marl lake». *Sedimentology*, 27:123-135.
- MULLER, G.; IRION, G., y FORSTNER, V. (1972): «Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment». *Naturwissenschaften*, 59:158-164.
- NICKEL, E. (1982): «Alluvial-fan-carbonate facies with evaporites, Eocene Guarga Formation, Suthern Pyrennees, Spain». *Sedimentology*, 29:761-796.
- PICARD, M. D., y HIGH, L. R. Jr. (1968): «Sedimentary cycles in the Green River Formation (Eocene), Uinta Basin, Utah». *Sediment. Petrol.*, 38:378-383.
- PICARD, M. D., y HIGH, L. R. (1972): «Criteria for recognizing lacustrine rocks». En: *Recognition of acidents* (Ed. Rigby, R. R., y Hamblin, W. K.). *Sedimentary Environments. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogist. Specs. Publ.*, 16:108-145.
- PLAZIAT, J. C., y FREYET, P. (1978): «Le pseudo-microkarst: Un aspect particulier des paléopédogénèses développées sur le dépôts calcaires lacustres dans le Tertiaire du Languedoc». *C. R. Acad. Sci. Paris*, 286:1661-1664.
- REEVES, C. C. (1968): «Introduction to paleolimnology». En: *Developments in sedimentology*, 11. Elsevier Publishing Company.

- SCHÄFFER, A., y STAPF, K. (1978): «Permian Saar-Nahe basin and recent lake Constance (Germany): Two environments of lacustrine algal carbonates». *Spec. Publs. I.A.S.*, 2:83-103.
- SCHÖLLE, P. A.; DEBOUT, G., y MOORE, C. (1983): *Carbonate depositional environments* (Ed.: P. A. Schölle, D. D. Bebout y C. H. Moore). A.A.P.G. Memoir, n.º 33, Cap. n.º 2.
- STRASSER, A., y DAVAUD, E. (1982): «Les croûtes calcaires (calcretes) du Purbeckien du Montt-Salève (Haut-Savoie, France)». *Eclogae Geol. Helv.*, 75/2:287-301.
- SURDAM, R., y STANLEY, K. (1979): «Lacustrine sedimentation during the culminating phase of Eocene Lake Gosiute, Wyoming (Green River Formation)». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 90:93-110.
- TREESE, K. L., y WILKINSON, Br. H. (1982): «Peat-marl deposition in a Holocene paludal-lacustrine basin-Sucker lake, Michigan». *Sedimentology*, 29:375-390.
- TRUC, G. (1978): «Lacustrine sedimentation in an evaporitic environment: The Ludian (Paleogene) of the Mormoiron Basin, Southeastern France». *Spec. Publs. I.A.S.*, 2:109-127.
- WILLIAMSON, Ch., y PICARD, M. D. (1974): «Petrology of carbonate rocks of the Green River Formation (Eocene)». *Jour. Sed. Petrology*, 44:738-759.
- WOLFBAÜER, L., y SURDAM, R. (1974): «Origin of Nonmarinedolomite in Eocene lake Gosiute, Green River Basin, Wyoming». *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85:1733-1740.