

Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena.

II: Las algas calcáreas.

Por E. MORENO-EIRIS (*)

RESUMEN

En las plataformas carbonatadas de Sierra Morena se produjo una gran actividad algal durante el Cámbrico Inferior, con el desarrollo de estructuras cryptalgales de diversos tipos, mallas de algas, estromatolitos y thrombolitos; y la participación, en mayor o menor porcentaje, en la formación de montículos arrecifales con formas escleríticas calcáreas junto a los arqueociatos.

La actual situación sobre la problemática en la clasificación sistemática de las algas cámbricas conduce a que los restos hallados en nuestras áreas de estudio no se hayan considerado desde un punto de vista puramente taxonómico, si bien se ha empleado la estructura nomenclatorial que existe para los «géneros», ya que permite la descripción de estos microfósiles. Además, se ha elaborado el análisis de facies de los sedimentos que contienen dichos restos, lo que nos permite realizar una interpretación paleoecológica de las algas.

ABSTRACT

In carbonate platforms from Sierra Morena a high algal activity has taken place during the Lower Cambrian, with cryptalgal structures development of different types, algal mats, stromatolites and thrombolites; and can be found also skeletal calcareous algae forming reef mounds associated with archaeocyathans. Due to the problematic in the systematic classification of the Cambrian calcareous algae, the remains founded in our study material have not been considered in the taxonomic aspect, therefore we have only used the nomenclatorial framework for «genera» which is essential for description of these microfossils. The facies analysis of the algal sediments is used for the paleoecologic interpretation or these materials.

INTRODUCCION

La existencia de sedimentos de plataforma carbonatada con el desarrollo de construcciones orgánicas delimita nuestras áreas de estudio, dentro de la Zona de Ossa-Morena, a los yacimientos de Alconera, en la provincia de Badajoz, y a los de Arroyo Pedroche y Cerro de Las Ermitas, en la Sierra de Córdoba. Ambas áreas se encuentran situadas en el dominio de Córdoba-Alanís, y en ellas afloran sucesiones estratigráficas continuas del Cámbrico Inferior, que presentan un contenido paleontológico abundante y variado.

El material que estudiamos pertenece a los Miembros Sierra Gorda y La Hoya, ambos de la

Formación Alconera (LIÑÁN & PEREJÓN, 1981), y al Miembro I de la Formación Pedroche (LIÑÁN, 1974).

El depósito de carbonatos en las plataformas cámbricas de estas áreas, estuvo relacionado fundamentalmente con la actividad algal que en ellas se desarrolló, dando lugar a una gran variedad de facies que caracteriza a estos sedimentos de plataforma, cuya descripción detallada ha sido el tema de un trabajo precedente (MORENO-EIRIS, en prensa).

ALGAS DEL CAMBRICO

Generalidades

Las algas constituyen una parte importante de la biomasa marina y continental. Únicamente un 6 por 100 de las especies actuales tienen la capaci-

(*) Departamento de Paleontología. Universidad Complutense. Instituto de Geología Económica, C. S. I. C. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid.

dad de calcificar. El término alga se aplica en este estudio con un significado amplio, ya que engloba tanto a eucariontes como a procariontes; siendo conscientes de este hecho, lo hemos utilizado así como la mayoría de los ficólogos que estudian los restos fósiles. Se denominan algas calcáreas aquellas formas bentónicas y planctónicas que precipitan bioquímicamente un esqueleto de carbonato cálcico. Dentro de este grupo artificial de «algas calcáreas» se incluyen también aquellas formas no esqueléticas que contribuyen en la precipitación de carbonato y captura o fijación de partículas, originando estructuras laminadas, como las mallas de algas y estromatolitos, que son el resultado de la interacción de procesos físicos y biológicos.

Las algas pueden conservarse fósiles gracias al proceso de calcificación que se realiza como parte de su actividad vital, y que puede ser extracelular o intracelular. En general en Cyanophyta se produce el depósito de carbonato en las envueltas mucilaginosas, alrededor de las células y filamentos, pudiendo conservarse los moldes de las colonias, cuyas oquedades se rellenan posteriormente de calcita esparítica. En Rhodophyta, sin embargo, el carbonato se deposita en las paredes de las células, lo que facilita la conservación del talo. A pesar de estas consideraciones, el proceso de calcificación estudiado tanto por ficólogos como por paleontólogos, presenta una serie de incógnitas, tales como: ¿el proceso es continuo y constante en las diferentes partes de un mismo organismo?, ¿cuáles son las partes de un alga susceptibles de calcificarse?, ¿hay diferencia en la calcificación de un organismo joven y uno adulto?, ¿influye la composición química del agua y del substrato en el proceso de calcificación?, ¿hay un modelo de calcificación para cada tipo de algas?, entre otras innumerables cuestiones.

Problemática de la clasificación de las algas cámbricas

Las algas actuales se clasifican teniendo en cuenta los pigmentos, naturaleza de las sustancias de reserva, tipos de flagelo, estructuras vegetativas y procesos de reproducción. Estos criterios permiten asignar con bastante precisión cualquier tipo de alga en su nivel taxonómico correspondiente.

En el estudio de las algas fósiles se analizan fundamentalmente una serie de caracteres, en algunos casos excepcionalmente observables, como las estructuras internas (segmentación del talo, tipos de poros, órganos reproductores, etc.), pero en general nuestras observaciones se limitan al estudio del aspecto y forma externa, tamaño, tipos de ramificación, organización, etc., por tanto el análisis se apoya en una serie de caracteres de diagnóstico puramente morfológico. La selección de estos caracteres no siempre nos conduce a una clasificación clara de los fósiles; si además tenemos presente la existencia del paralelismo morfológico entre las algas, que dificulta aún más las posibilidades de resolución de este método.

De lo expuesto se puede deducir que el estudio comparativo entre las algas actuales y fósiles, y más concretamente las conservadas como fósiles en el Cámbrico, presenta todavía problemas sin resolver, ya que la existencia de muy pocos caracteres diagnósticos hace que su clasificación sea bastante subjetiva.

La peculiaridad que caracteriza el desarrollo de las algas en el Cámbrico Inferior consiste en que durante este intervalo de tiempo aparecen los primeros representantes de las «algas de aspecto paleozoico», es decir, aquellas que presentan esqueleto calcáreo. Los restos de las algas cámbricas, en general, no presentan el estado de preservación idóneo, o no tuvieron un proceso de calcificación adecuado para que se conservaran las estructuras celulares, lo que ha originado la indeterminación en la sistemática prácticamente de cada uno de los géneros del Cámbrico Inferior. Por ejemplo, VOLOGDIN (1962) considera a *Epiphyton*, *Renalcis*, *Chabakovia*, *Razumovskia* y *Bija* pertenecientes a Rhodophyta, mientras que LUCHININA (1975) sitúa a todos estos géneros en Cyanophyta.

Las clasificaciones elaboradas por PIA (1927), MASLOV (1956), KORDE (1961) y VOLOGDIN (1962) se apoyan principalmente en aspectos morfológicos e interpretan también criterios de afinidad, en algunos casos de afinidad incierta, que ha originado cierta inestabilidad taxonómica. JOHNSON (1966) ofrece una visión general de las estructuras básicas de las algas cámbricas, e incorpora caracteres de dudosa validez, tales como «células» y «esporangios» en Epiphytaceae.

VORONOVA (1976) agrupa las algas calcáreas del

Cámbrico Inferior, según el principio de semejanza de formas de crecimiento y de estructura general, en cinco grupos morfológicos:

- 1) Filamentos tubulares, en los que incluye *Girvanella*, *Proaulopora*, *Obruchevella*, *Botominella* y *Batenevia*.
- 2) Formas dendroides, representadas por *Botomaella*, *Rothpletzella*, *Epiphyton* y *Korilophyton*.
- 3) Formas vesiculares, en los que incluye *Renalcis* y *Chabakovia*.
- 4) Formas filamento-laminares, con *Razumovskia*.
- 5) Colonias compactas, representadas por *Bija*.

Además realiza un análisis comparativo-morfológico agrupando los restos fósiles en «formas» que presentan análogos contemporáneos, entre los que se encuentran: *Girvanella*, *Proaulopora*, *Obruchevella*, *Botominella*, *Batenevia*, *Renalcis* y *Chabakovia*.

RIDING (1977) discute la validez de las categorías mayores de las algas calcáreas del Paleozoico, establecidas convencionalmente, además del contenido de estas categorías y las formas incluidas en cada una de ellas, ya que, en innumerables casos, son consideradas como algas formas que presentan afinidades inciertas.

TAPPAN (1980), en su obra enciclopédica sobre la paleobiología de los vegetales protistas, estructura, para cada una de sus divisiones mayores de algas, una completa sistemática en la que incluye, junto a los géneros actuales, los fósiles. En el caso de algunas formas cámbricas de asignación incierta, el mismo género queda adscrito a la vez a diferentes divisiones.

RIDING & VORONOVA (1985), a partir de seis caracteres relacionados con la morfología externa e interna y con la estructura de las paredes, reconocen seis grupos morfológicos entre las algas calcáreas del Cámbrico. Tres de estos grupos, botryoidal, dendrítico y tubular, que incluyen las formas que dominaban durante el Cámbrico Inferior, presentan unas similitudes morfológicas considerables, expresadas por los autores en un diagrama compuesto por una serie anular de *Renalcis-Epiphyton*, yuxtapuestas a dos series lineales *Bo-*

tomaella-Solenopora y *Girvanella-Proaulopora*.

La similitud observada entre *Epiphyton* y *Renalcis* ha sido también puesta de manifiesto por otros autores, SALTOVSKAYA (1975) sitúa ambos géneros de la división Cyanophyta dentro de Hormogonophyceae, además de poner a *Renalcis* en sinonimia con *Epiphyton*. PRATT (1984) considera ambos géneros como «taxones diagenéticos», con una variedad morfológica camerada en *Renalcis* y otra dendroide en *Epiphyton*, e incluyen los morfotipos intermedios *Izhella*, *Chabakovia* y *Gordonophyton*, que serían el resultado de la calcificación diagenética de formas cocoides de Cyanophyta.

La continuidad morfológica existente entre los géneros tradicionales presenta problemas de definición taxonómica y también sugiere o una afinidad sistemática o una convergencia morfológica. Este fenómeno de convergencia o paralelismo morfológico es muy frecuente, en general, en las algas y motivo constante de incertidumbre en la asignación taxonómica.

Algas del Cámbrico Inferior de Sierra Morena

Las «algas calcáreas» de Sierra Morena juegan un importante papel en la evolución y desarrollo de las plataformas carbonatadas cámbricas, ya que actúan como agentes de estabilización y producción de carbonato cálcico, originando sedimentos que alcanzan un gran desarrollo en nuestra área de estudio. En Alconera encontramos calizas cryptalgales reticuladas y laminadas; en el Arroyo Pedroche y Las Ermitas calizas algales, e incluso participan de un modo más o menos exclusivo en las bioconstrucciones, junto a los arqueociatos, formando montículos.

Con el término cryptalgal se designan aquellas formas no esqueléticas calcáreas de Cyanophyta y Chlorophyta, cuya actividad origina el atrape y fijación de carbonato (AITKEN, 1967).

Dentro de los carbonatos de origen cryptalgal, en la localidad de Alconera, podemos distinguir varios tipos. Uno de ellos lo constituyen los thrombolitos, caracterizados por un aspecto moteado y una estructura cryptalgal reticulada, con desarrollo de formas ramificadas y anastomosadas que forman columnas de contorno irregular y tamaño pequeño (Lám. I, fig. 1). Son estromatolitos no la-

minados, cuya ausencia de laminación en su estructura interna no es debida a las alteraciones diagenéticas como parece indicar HOWE (1966), sino a su origen, en un ambiente submareal somero (PRATT, 1982).

Los thrombolitos constituyen en algunos casos montículos, fundamentalmente en el Paleozoico Inferior (PRATT & JAMES, 1982), cuyas características podemos observar en nuestro caso, como son: 1) micrita, en su composición. 2) cementación submarina. 3) textura fenestral. 4) microestructura cryptalgal. 5) superficies sedimentarias rugosas, originadas por la distribución irregular de las mallas de algas. 6) ausencia de bioturbación, in-crustación y perforación.

Todos estos criterios parecen indicar que las calizas cryptalgales, formadas por *boundstones* cryptalgales con una textura reticulada típica de los thrombolitos, constituyen el tramo superior del Miembro Sierra Gorda; formarían pequeños montículos, con la presencia esporádica de metazoos esqueléticos asociados. En nuestro caso, dichos metazoos serían arqueociatos cuya diversidad taxonómica es muy reducida, sólo se han identificado ejemplares pertenecientes a los géneros *Coscino-*

cyathus, *Aldanocyathus*, *Taylorcyathus* y *Retecoscinus* (Lám. I, fig. 2).

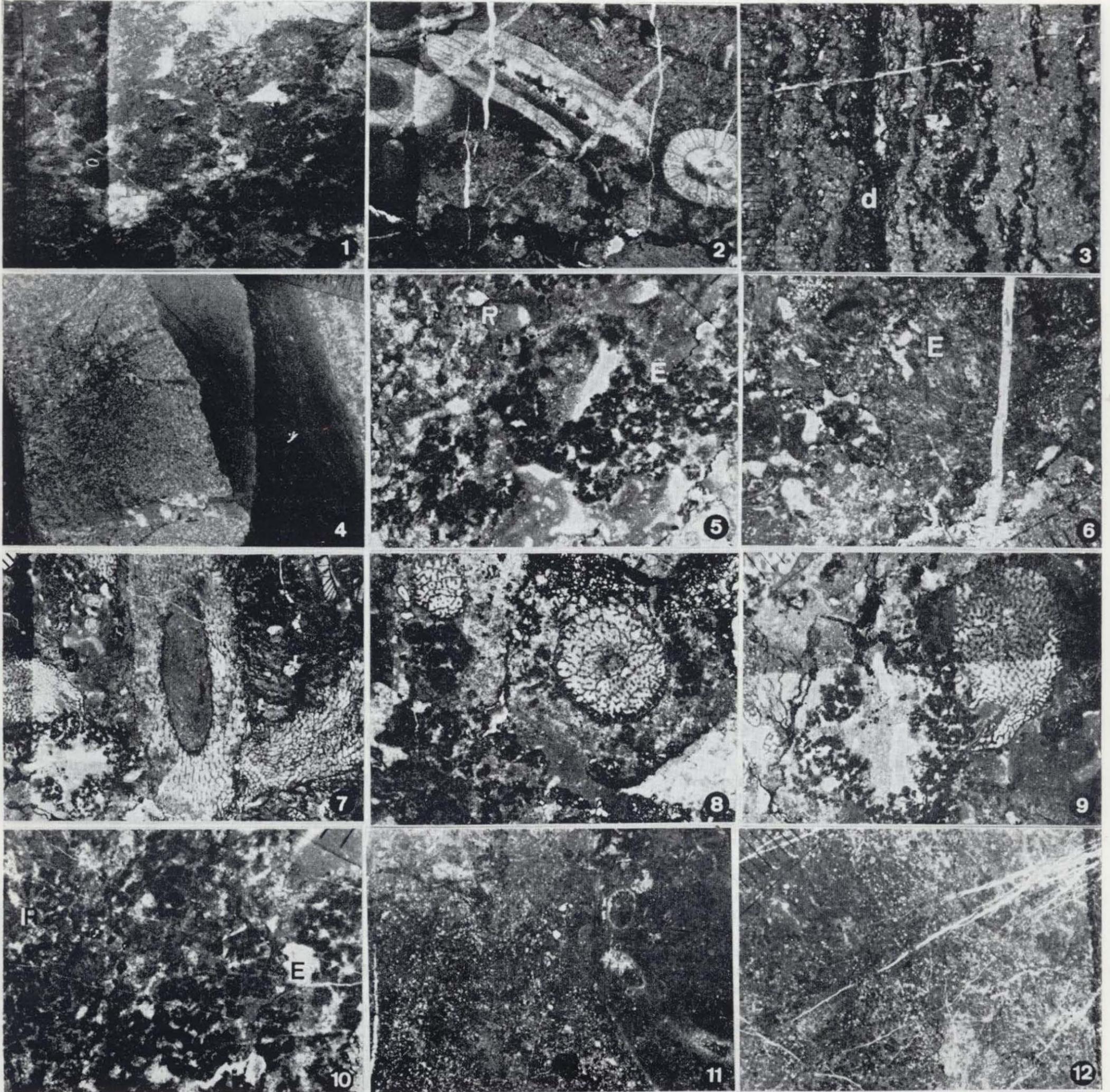
Otro tipo diferenciado son las mallas de algas, caracterizadas por la presencia de láminas más o menos planas, correspondientes a períodos sucesivos de desarrollo de mallas algales y de la sedimentación del material atrapado (Lám. I, fig. 3). Esta textura laminada podría tratarse en algunos casos de incipientes *bindstones*. La existencia de alternancia de láminas se ve acentuada, en nuestro caso, por los procesos de reemplazamiento, ya que la dolomitización actúa de un modo selectivo (Lám. I, fig. 3). Esta textura algal se origina en ambientes intermareales.

Otro tipo lo constituyen los estromatolitos; estas estructuras órgano-sedimentarias están compuestas por láminas irregulares de relieve reducido, y se encuentran restringidas a los niveles inferiores del Miembro Sierra Gorda. Al igual que las mallas de algas se interpretan de ambientes intermareales o incluso submareales poco profundos. En la Formación Pedroche, área de Córdoba, también se encuentran estromatolitos de tipo columnar en varios niveles del Miembro I (LIÑÁN *et al.*, 1981); se presentan asociados a otras formas algales, como

LAMINA I

- Figura 1.—*Boundstone* cryptalgal con una textura reticulada y porosidad fenestral característica de los thrombolitos (A_{1c}-103). Caliza cryptalgal. Alconera.
- Figura 2.—*Boundstone* cryptalgal con arqueociatos. Los cálices se encuentran intensamente recrystalizados y en algunas cavidades centrales cementadas se encuentra un relleno geopetal (A_{1c}-302). Caliza cryptalgal. Alconera.
- Figura 3.—*Wackestone* con laminaciones algales. La dolomitización selectiva se hace patente por la alternancia de láminas dolomitizadas (d) y no dolomitizadas, relacionada con la textura original (A_{1c}-107). Caliza laminada algal. Alconera.
- Figura 4.—*Wackestone*. Estromatolitos con cristales de calcita relleno de estas cavidades (A_{1b}-321). Calizas biogénicas. Alconera.
- Figura 5.—*Boundstone*. Arbustos con ramificación dicotómica del género *Epiphyton* (E) y formas cameradas de *Renalcis* (R). Cavidades cementadas por calcita espartítica prismática y en mosaico (CP₁-1307). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figura 6.—*Boundstone*, *Epiphyton* (E) con ramas delgadas dividiéndose dicotómicamente. Cavidades cementadas (CP₁-1507). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figuras 7, 8 y 9.—*Bafflestone*. Gran cantidad de cálices de arqueociatos adultos y juveniles que crecen rodeados de *Epiphyton* y *Renalcis*. Las cavidades orgánicas y de crecimiento están rellenas por sedimento interno y/o cementos (CP₁-2006). Montículos arrecifales. Arroyo Pedroche.
- Figura 10.—*Boundstone* con abundantes restos de *Epiphyton* (E) y *Renalcis* (R). (CP₁-1307). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figura 11.—*Boundstone* con formas cameradas de *Renalcis* existen además secciones de hyolítidos y trilobites. Matriz micrítica y abundante cuarzo detrítico (CP₁-1503). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figura 12.—*Wackestone* con peloides algales dispersos en una matriz micrítica-microespartítica con abundante cuarzo detrítico (CP₁-1702). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Divisiones de la escala 1/2 mm.

LAMINA I



Epiphyton y *Renalcis*, y a esporádicos cálices de arqueociatos de reducido tamaño, formando una textura *boundstone*. Los estromatolitos columnares son *Vetella nodosa*, *V. cf. sarfatiae* y *Charaulachia cordobensis* (SCHMITT, 1982).

El último tipo lo constituyen los estromatactis, cuyo origen cryptalgal puesto de manifiesto por PRATT (1982), se interpretan como cavidades deposicionales rellenas por un cemento calcítico muy temprano; estas cavidades se desarrollan cuando el sedimento no consolidado es lavado en períodos de agitación y facilita la cementación de estas cavidades estromatactoides, originadas por el desarrollo de mallas de algas, probablemente cianofíceas (Lám. I, fig. 4).

El hecho de que en nuestro caso los estromatactis se encuentren en la base de los montículos mientras en el interior de los mismos la textura no es laminar sino reticulada, parece estar relacionado con la turbulencia del medio; así, las láminas se formarían cuando el montículo tiene inicialmente poco relieve, o en aquellos flancos topográficamente más bajos donde la turbulencia es menor (PRATT, 1982).

El cemento de estas cavidades originalmente sería una calcita fibrosa (BATHURST, 1980) o una cal-

cita fibrosa radiaxial (PRATT, 1982), pero por efecto de los procesos neomórficos que han afectado a nuestros materiales, se presentan actualmente en pseudoesparita con algunos cristales de cuarzo autigénico.

Presentan una morfología muy característica, con la base lisa o algo ondulada, el techo digitado, y en su interior calcita fibrosa radiaxial; esta estructura indica que la formación de la cavidad se ha producido en el fondo marino (BATHURST, 1980), y no es el resultado de procesos de presión-disolución durante el metamorfismo como proponen LOGAN & SEMENIUK (1976). Estas estructuras se localizan fundamentalmente en la base de algunos montículos micríticos del Miembro La Hoya.

Según PRATT (1982), los estromatactis generalmente están relacionados a los «mud mounds» formados en el talud de la plataforma carbonatada hacia la cuenca, y en ocasiones en la base de bioconstrucciones de metazoos en aguas someras.

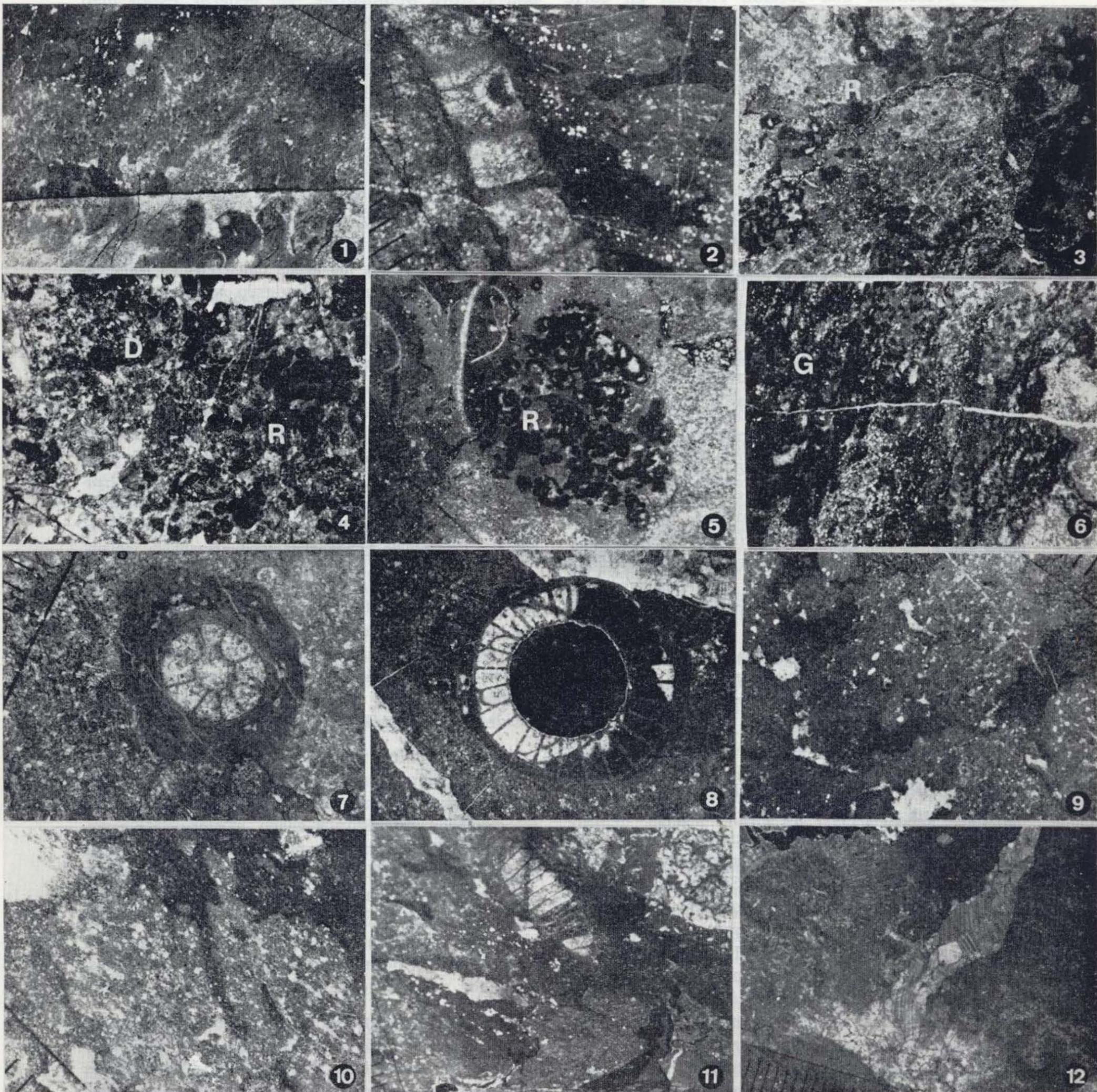
Las algas esqueléticas calcáreas se encuentran representadas en nuestros materiales por una reducida variedad de formas, atribuibles en su mayoría a *Epiphyton*, *Renalcis* y *Girvanella*.

Epiphyton BORNEMANN, 1886. Presenta una mor-

LAMINA II

- Figura 1.—*Boundstone*. Arbustos ramificados de *Epiphyton* (CE-2401). Caliza arrecifal. Las Ermitas.
- Figura 2.—*Boundstone*. Intervalo de un arqueociato rodeado de algas; los arbustos de *Epiphyton* crecen desde la muralla interna y aparecen partículas de cuarzo terrígeno aglutinado entre los arbustos (A_{1B}-319). Caliza biogénica. Alconera.
- Figura 3.—*Boundstone*. Restos algales pertenecientes a formas camaradas de *Renalcis* (R). Matriz con abundante cuarzo terrígeno. (CP₁-1400). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figura 4.—*Wackestone*. *Renalcis* (R) y peloides algales dolomitizados (D) o no, dispersos en una matriz intensamente recristalizada (CP₁-1603). Caliza bioclástica. Arroyo Pedroche.
- Figura 5.—*Boundstone*. *Renalcis* (R) con paredes de calcita microcristalina opaca. El interior de las lúnulas está ocupado por matriz o por cemento esparítico. (CP₁-1503). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figura 6.—*Bindstone*. Filamentos de *Girvanella* (G) que han atrapado partículas carbonáticas y terrígenas. (CP₁-1604). Caliza algal. Arroyo Pedroche.
- Figura 7.—*Boundstone*. Cáliz de *Aldanocyathus tkatschenkoi* (VOLOGDIN, 1937) rodeado por filamentos de *Girvanella* (CE-2405). Caliza arrecifal. Las Ermitas.
- Figura 8.—*Boundstone*. Estructuras algales difusas y filamentos de *Girvanella* rodeando la muralla externa de *Loculicyathus cf. zolaensis* (MASLOV, 1957). (CE-2203). Caliza arrecifal. Las Ermitas.
- Figura 9.—*Boundstone*. Algas calcáreas formando pequeños arbustos, la mayoría de *Epiphyton*, con partículas de cuarzo detrítico aglutinadas (A₂-113). Caliza biogénica. Alconera.
- Figura 10.—*Boundstone*. Formas dicotómicas de *Epiphyton* con partículas de cuarzo detrítico aglutinadas. (A₂-120). Lentejones calcáreos entre calculutitas nodulosas. Alconera.
- Figuras 11-12.—*Boundstone*. Cálices de arqueociatos rodeados por estructuras algales. Partículas de cuarzo detrítico se hallan aglutinadas por las algas o dispersas en la matriz. (A_{1B}-320). Caliza biogénica. Alconera.
- Divisiones de la escala 1/2 mm.

LAMINA II



fología muy característica. Se trata de arbustos ramificados dicotómicamente, con tamaños milimétricos, y cuyas ramas rectas o ligeramente curvadas presentan una sección circular en corte transversal. La variabilidad morfológica en tamaño y forma de los tipos dendríticos ha sido considerada por KORDE (1961, 1973) y otros autores como criterio taxonómico para diferenciar hasta un total de 53 especies cámbricas de *Epiphyton*, y crear nuevos géneros relacionados con éste, *Tubeomorphophyton*, *Epiphytonoides*, *Gordonophyton* y *Kordephyton*.

Las medidas que se realizan para la clasificación taxonómica están relacionadas exclusivamente con la morfología externa, como son: anchura de la rama en la base, anchura de la rama en la parte distal, anchura de la rama en el punto de ramificación, distancia entre puntos de ramificación, longitud de la rama distal y ángulo de ramificación. El conjunto de estas mediciones, representadas por valores únicos o intervalos, sería uno de los criterios taxonómicos que diferencian las especies, junto a los relacionados con la variedad morfológica. Tras la medición de numerosos ejemplares, hemos comprobado que el valor representativo de estas medidas es dudoso, ya que para una misma especie se dan valores con un amplio intervalo, que pueden solaparse con otras especies diferentes. También hemos de tener en cuenta la orientación del corte, ya que para un estudio correcto debe realizarse siempre paralelo a la dirección de crecimiento del arbusto, el cual se desarrolla ramificándose dicotómicamente. En algunos casos, las formas que se describen y figuran como de diferentes especies, pueden ser distintos tipos de cortes de un mismo arbusto. Otro aspecto a considerar es que la variación que se manifiesta entre las diferentes especies descritas pueda deberse a una respuesta a la modificación de las condiciones ambientales, es decir, que los factores ecológicos pueden ser los determinantes de estos cambios en la forma externa. Si además tenemos en cuenta los criterios aceptados actualmente que consideran a *Epiphyton* y *Renalcis* como morfotipos dentro de una serie, e incluso como «taxones diagenéticos», no parece razonable realizar un estudio taxonómico completo de las posibles «especies morfológicas» que hemos encontrado en nuestro estudio paleontológico, aunque consideramos interesante el utilizar la estructura nomenclatorial que existe para los «géneros», ya que nos permite la descripción y discusión de estos microfósiles.

En nuestro material encontramos restos de *Epiphyton* formando parte de las calizas algales (Lámina I, figs. 5, 6 y 10) del Arroyo Pedroche, con una textura *boundstone*. En general, están bien preservados en calcita microcristalina opaca, y se distinguen claramente los arbustos de *Epiphyton*, con ramas de diferente grosor y longitud que se dividen dicotómicamente, de las formas cameradas de *Renalcis*.

En los montículos arrecifales del Arroyo Pedroche la relación de los componentes orgánicos nos define una textura *bafflestone*, siguiendo la clasificación de EMBRY & KLOVAN (1971). En este caso la relación que existe tanto entre los propios cálices, como entre éstos y las algas calcáreas es muy estrecha, y en conjunto adquieren gran desarrollo. Los arqueociatos que pertenecen a la Clase Irregulares fundamentalmente, se encuentran en posición de vida, en muchos casos con formas ramificadas constituyendo colonias densas de cálices; son muy abundantes tanto los ejemplares en estado adulto como los juveniles (Lám. I, figs. 7, 8 y 9). Alrededor de estos organismos se desarrollan gran cantidad de formas algales pertenecientes a *Epiphyton*, con pequeños arbustos que crecen sobre la muralla externa de los cálices, o colgando de la interna dentro de la cavidad central.

Los restos de *Epiphyton* también constituyen una parte importante de las calizas arrecifales del Cerro de Las Ermitas; en este último caso las bioconstrucciones están constituidas fundamentalmente por «algas calcáreas», pero su grado de recristalización sólo nos permite identificar algunos restos de *Epiphyton* (Lám. II, fig. 1).

Los montículos micríticos de Alconera presentan de forma esporádica, y asociadas a cálices de arqueociatos, formas ramificadas de *Epiphyton*, relacionadas, en algunos casos, a granos de cuarzo detrítico, partículas que aglutinó el alga en su propia actividad (Lám. II, figs. 2, 9 y 12). Llegan además a colonizar los cálices de arqueociatos, tanto de la Clase Regulares como Irregulares. No obstante, los arqueociatos se encuentran como elementos secundarios en estas bioconstrucciones, rodeados generalmente por las algas.

Renalcis VOLOGDIN, 1932. Consiste en un agregado de cámaras uniformes o irregulares con paredes gruesas micríticas. Su morfología también es muy variada, con estructuras arborescentes ramificadas, masas botroydales o irregulares. Esta va-

riación morfológica, además de las mediciones que se realizan del grosor de las paredes, dimensiones de la cámara individual y del agregado de cámaras o lúnulas, han servido de criterios para definir (KORDE, 1973) 14 especies diferentes del Cámbrico. Si tenemos en cuenta lo anteriormente expuesto sobre la validez taxonómica de estas mediciones, únicamente consideramos estas formas a nivel genérico, ya que esto nos permite diferenciar los distintos morfotipos.

En la localidad del Arroyo Pedroche se encuentra *Renalcis* formando parte de las calizas algales (Lám. I, fig. 11; Lám. II, fig. 3), montículos arrecifales (Lám. I, fig. 8) y calizas bioclásticas (Lám. II, figura 4).

Se halla relacionado a *Epiphyton* (Lám. I, figs. 5, 8 y 10) o es el único que, en un alto porcentaje, se encuentra constituyendo este tipo de facies (Lámina II, figs. 3 y 5). Las paredes de *Renalcis* son de diferentes grosores, oscilando entre 5 y 40 micras y están constituidas por calcita microcristalina muy opaca, que contrasta con la calcita esparítica que rellena, de un modo parcial o total, el interior de la lúnula. Estas lúnulas se relacionan entre sí con una disposición irregular, como racimos, o se presentan alineadas, desarrollándose unas encima de otras, lo que en la literatura rusa se describen como formas del género *Chabakovia*.

Girvanella NICHOLSON & ETHRIDGEE, 1878. Definido por sus autores como un fósil tubular calcáreo, está formado por tubos que constituyen las envueltas calcáreas de filamentos, los cuales presentan una amplia variedad de formas, tamaños y densidad; son rectilíneos o ligeramente ondulados y no se ramifican.

Dentro del Miembro I de la Formación Pedroche, aparece *Girvanella* de un modo disperso en las calizas algales del Arroyo Pedroche (Lám. II, figura 6), y son frecuentes las masas filamentosas de este género envolviendo la muralla externa de algunos arqueociatos en las bioconstrucciones, tanto del Cerro de Las Ermitas como en los montículos del Arroyo Pedroche (Lám. II, figs. 7 y 8).

INTERPRETACION SEDIMENTOLOGICA Y PALEOECOLOGICA

Del análisis de los diferentes tipos de facies algales y su relación con las otras facies, podemos

interpretar el ambiente deposicional de estos sedimentos.

En Alconera el Miembro Sierra Gorda está caracterizado por carbonatos con algunas intercalaciones de terrígenos finos; estos sedimentos se depositaron en una plataforma somera, con carácter transgresivo en relación con los materiales infrayacentes en la Formación Torreárboles.

Los carbonatos presentan generalmente texturas algales, pero no en todos los casos son reconocibles, ya que los procesos diagenéticos, tales como neomorfismo y reemplazamiento, han alterado considerablemente estos sedimentos.

En la parte inferior de este miembro se encuentran frecuentemente estromatolitos, mientras que en la parte superior las calizas masivas presentan estructuras algales, con una textura reticulada característica. En las capas suprayacentes a estas calizas masivas afloran tramos de calizas laminadas, laminación originada por las mallas de algas. Estos tres tipos de carbonatados que hemos diferenciado, tienen todos ellos un mismo origen cryptalgal, cuya variación estructural y textural está influida por los factores medio-ambientales. Así, dentro de esta plataforma carbonatada somera en la zona intermareal se formaron las mallas de algas y estromatolitos, y en la zona submareal se originaron las estructuras cryptalgales reticuladas o thrombolitos.

La sedimentación de los carbonatos del Miembro La Hoya, tuvo lugar en una plataforma en donde se desarrollaron numerosos montículos arrecifales superpuestos. La composición de estos montículos originados por la acumulación de carbonato, fundamentalmente sedimento micrítico con bioclastos y en menor proporción *boundstones* orgánicos, caracterizan a los «reef mounds» descritos por JAMES (1978), o los denominados por WILSON (1975) como montículos carbonatados. Estos edificios se desarrollarían en ambiente de aguas tranquilas, situados en el talud de la plataforma con una localización similar a los «foreslope mud mounds».

Entre los componentes orgánicos de los montículos destacan en la matriz micrítica roja, las formas delicadas y ramificadas de las algas calcáreas, entre las que se identifican *Epiphyton* principalmente. Estas algas constituyen el elemento principal de la acreción biológica de estos mon-

tículos, junto a los cálices de arqueociatos, que en esta función tienen un papel secundario.

Del análisis de los diferentes tipos de facies que aparecen en Arroyo Pedroche se deduce que estos depósitos corresponden a ambientes de plataforma somera, con episodios de sedimentación carbonatada y terrígena, donde se desarrollan también términos híbridos, generalmente calizas con terrígenos.

La sedimentación de los carbonatos se produciría fundamentalmente por la actividad y acumulación biogénica de *Epiphyton*, *Renalcis* y *Girvanella*, y que constituirían lo que hemos denominado boundstones. En algunos casos la interacción de algas y arqueociatos llega a formar montículos con un relieve topográfico y una textura *bafflestone*, donde los cálices de los arqueociatos presentan una gran densidad numérica. Sus formas son ramificadas, lo que nos indica que tales organismos constituían una estructura rígida.

En la localidad del Cerro de Las Ermitas tiene lugar la sedimentación en una plataforma carbonatada, con algún episodio de terrígenos, en donde se puede observar una gran variedad de facies que caracteriza un complejo arrecifal. El desarrollo de los montículos arrecifales se realizó en etapas sucesivas, con una distribución de facies característica en cada una de ellas. Estos montículos, en general de grandes dimensiones, están constituidos fundamentalmente por algas calcáreas y en menor proporción arqueociatos de reducido tamaño. La formación de estos montículos arrecifales origina un subambiente sedimentario con el desarrollo de facies perirrecifales y brechoides, relacionadas íntimamente con los edificios.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo constituye una parte de un elaborado estudio sobre los montículos arrecifales de algas y arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena, presentado como Tesis Doctoral por la autora en la Universidad Complutense de Madrid, bajo la dirección del Dr. A. Perejón, al cual agradezco su ayuda inestimable, así como la colaboración de la Dra. M. E. Ron y la del Dr. S. Rodríguez en la lectura crítica del manuscrito. La elaboración del material fotográfico fue realizado por D. E. Martín y la mecanografía por Dña. I. Corchón.

BIBLIOGRAFIA

- AITKEN, J. D.: *Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of Southwestern Alberta*. J. Sed. Petrology, 37:1163-1178 (1967).
- BATHURST, R. G. C.: *Stromatactis-origin related to submarine-cemented crust in Paleozoic mud mounds*. Geology, 8:131-134 (1980).
- BORNEMANN, J. G.: *Die Versteinerungen des Cambrischen Schichtensystems der Insel Sardinien* (1.ª parte). Nova Acta Kais. Leop. Carol. Deut. Akad. Natur., 51:1-147 (1886).
- EMBRY, A. F. & KLOVAN, J. E.: *A Late Devonian reef tract on northeastern Banks island, N. W. T.* Bull. Can. Petrol. Geol., 19:730-781 (1971).
- HOWE, W. B.: *Digitale algal stromatolite structures from the Cambrian and Ordovician of Missouri*. J. Paleont., 40:64-77 (1966).
- IGME: *Mapa geológico de la Península Ibérica. Escala 1:1.000.000* (1.ª edición). Inst. Geol. Min. España (1980).
- JAMES, N. P.: *Facies Models 10. Reefs*. Geoscience Canada, 5(1):16-26 (1978).
- JOHNSON, J. H.: *A review of the Cambrian algae*. Colo. Sch. Mines Q, 61(1):1-162 (1966).
- KORDE, K. B.: *Algas del Cámbrico de la región suroriental de la Plataforma de Siberia*. Trudy Inst. Pal. Izd. Akad., Nauk. SSSR, 89:1-147 (en ruso) (1961).
- KORDE, K. B.: *Algas del Cámbrico*. Nauka, 1-349 (en ruso) (1973).
- LIÑÁN, E.: *Las formaciones cámbricas del norte de Córdoba*. Act. Geol. Hispánica, 9(1):15-20 (1974).
- LIÑÁN, E.; MORENO-EIRIS, E.; PEREJÓN, A. & SCHMITT, M.: *Fossils from the basal levels of the Pedroche Formation, Lower Cambrian (Sierra Morena, Córdoba, Spain)*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 79:277-286 (1981).
- LIÑÁN, E. & PEREJÓN, A.: *El Cámbrico inferior de la «Unidad de Alconera», Badajoz (SW de España)*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 79:125-148 (1981).
- LOGAN, B. W. & SEMENIUK, V.: *Dynamic metamorphism; processes and products in Devonian carbonate rocks, Canning Basin, Western Australia*. Geol. Soc. Australia Spec. Publ., 6:1-138 (1976).
- LUCHININA, V. A.: *Paleoalgología característica del Cámbrico Inferior de la Plataforma de Siberia*. Trudy Inst. Geol. Geof. Akad. Nauk. SSSR, 216:1-100 (en ruso) (1975).
- MASLOV, V. P.: *Algas calcáreas fósiles de la URSS*. Trudy Inst. Geol. Geof. Akad. Nauk. SSSR, 160:1-300 (en ruso) (1956).
- MORENO-EIRIS, E.: *Los montículos arrecifales de algas y arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. Estratigrafía y Facies*. Bol. Geol. y Min. (en prensa)
- NICHOLSON, H. A. & ETHERIDGE, R., JR.: *A monograph of*

- the Silurian fossils of the Girvan District, Ayrshire, Part I*. Scotland Geol. Surv. Mem., 23:1-341 (1878-80).
- PIA, J.: *Thallophyta*. In HIRMER, M. (ed.): *Handbuch der Paläobotanik*, I:31-136 (1927).
- PRATT, B. R.: *Stromatolitic framework of carbonate mudmounds*. J. Sed. Petrology, 52(4):1203-1227 (1982).
- PRATT, B. R.: *Epiphyton and Renalcis - Diagenetic microfossils from Calcification of Coccoid Blue-green algae*. J. Sed. Petrology, 54(3):948-971 (1984).
- PRATT, B. R. & JAMES, N. P.: *Cryptalgal-metazoan bioherms of Early Ordovician age in the St. George Group, western Newfoundland*. Sedimentology, 29(4):543-569 (1982).
- RIDING, R.: *Problems of Affinity in Palaeozoic Calcareous Algae*, en E. FLÜGEL (ed.): «Fossil Algae». Recent Results and Developments. Springer-Verlag, 202-211 (1977).
- RIGING, R. & VORONOVA, L.: *Morphological Groups and Series in Cambrian Calcareous Algae*. In TOOMEY & NITECKI (ed.): *Paleoalgology*. Springer-Verlag, 56-78 (1985).
- SALTOVSKAYA, V. D.: *Genus Epiphyton Bornemann (probable synonyms and stratigraphic significance)*. In Questions of paleontology of Tadzhikistan. Akad. Nauk. SSSR. Dush, 70-88 (en ruso) (1975).
- SCHMITT, M.: *Columnar stromatolites from the Lower Cambrian Formation Pedroche, Sierra Morena, S-Spain*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 80:5-23 (1982).
- TAPPAN, H.: *The Paleobiology of Plant Protists*. W. H. Freeman and Company, 1-1028 (1980).
- VOLOGDIN, A. G.: *Arqueociatos de Siberia*. 2.ª parte. Edic. Geol. Direcc. Princ. Prosp. Geol., 1-106 (en ruso) (1932).
- VOLOGDIN, A. G.: *Arqueociatos y Algas cámbricos de la región de Baikal*. Trudy. Inst. Paleont. Akad. Nauk. SSSR, 93:3-116 (en ruso) (1962).
- VORONOVA, L. G.: *Algas Calcáreas del Límite Precámbrico-Cámbrico de la Plataforma de Siberia*. In: VORONOVA & RADIONOVA. *Algas paleozoicas y microfilitos*. Akad. Nauk. SSSR Inst. Geol., 294:3-85, 156-183, 212-214 (en ruso) (1976).
- WILSON, J. L.: *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer-Verlag, 1-471 (1975).
- ZAMARREÑO, I.: *Early Cambrian Algal Carbonates in Southern Spain*. In: E. FLÜGEL (ed.): *Fossil Algae. Recent Results and Developments*. Springer-Verlag, 360-365 (1977).
- ZAMARREÑO, I. & DEBRENNE, F.: *Sédimentologie et biologie des constructions organogènes du Cambrien inférieur du Sud de l'Espagne*. B. R. G. M. Mém., 89:49-61 (1977).