

Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena. III: Microfacies y Diagénesis

Por E. MORENO EIRIS (*)

RESUMEN

Los montículos arrecifales del Cámbrico Inferior de Sierra Morena presentan características muy diferentes entre sí, relacionadas con la posición que ocuparían en la plataforma carbonatada, la distribución de facies en su entorno y la propia estructura interna. En general estos montículos están constituidos fundamentalmente por estructuras algales y de forma accesoria se encuentran los arqueociatos. En otros casos son los cálices de arqueociatos los que constituyen colonias ramificadas de gran densidad, y originan una estructura rígida resistente, denominada *framework*, con algas asociadas.

En el estudio petrológico se han identificado numerosos componentes esqueléticos y no esqueléticos, así como diferentes generaciones de cementos. Los procesos diagenéticos más frecuentes son cementación, recristalización, dolomitización, dedolomitización, silicificación, estilolitización y karstificación.

ABSTRACT

The reef mounds of the Lower Cambrian from Sierra Morena have different characteristics between them, related to the position in the carbonate shelf, the distribution of facies and the inner structure. The majority of these mounds are mainly built by algal structures and the archaeocyathans are accessories elements. In other mounds we have colonies of archaeocyathans surrounded by skeletal algae, which form an archaeocyathan algal *framework*.

The petrological study we have identified numerous skeletal and non skeletal components, and different generations of cements. Cementation, recrystallization, dolomitization, dedolomitization, silicification, stylolitization and karstification are the more frequent diagenetic processes.

INTRODUCCION

El estudio y reconocimiento de un arrecife fósil, y en concreto del Cámbrico, presenta una serie de dificultades, originadas fundamentalmente por la compleja historia diagenética que han sufrido, la cual influye en el estado de preservación e impide reconocer las características deposicionales de las diferentes facies, las etapas de desarrollo del arrecife y la identificación taxonómica precisa de los organismos constructores.

Con el estudio de los arrecifes del Cámbrico Inferior de Sierra Morena hemos pretendido obtener todos aquellos datos relacionados con aspectos se-

dimentológicos y petrológicos, para conseguir información acerca de los procesos diagenéticos, de la evolución de la plataforma, de la distribución de facies, así como de las características deposicionales de las calizas arrecifales.

Los datos obtenidos los hemos agrupado en los apartados de microfacies y diagénesis, para cada uno de los yacimientos estudiados, relacionándolos con cada una de las litofacies descritas (MORENO-EIRIS, en prensa).

Para elaborar el análisis de las microfacies hemos seguido los trabajos de WILSON (1975) y FLÜGEL (1982) fundamentalmente, aplicando la clasificación de DUNHAM (1962).

En la descripción detallada de las características de las diferentes microfacies hemos diseñado dis-

(*) Departamento de Paleontología. Universidad Complutense. Instituto de Geología Económica. CSIC. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid.

tintos apartados, relacionados con los componentes deposicionales, aspectos diagenéticos y estructuras asociadas.

Entre los componentes deposicionales hemos distinguido los de naturaleza orgánica e inorgánica. Los aspectos diagenéticos se refieren principalmente a los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia diagenética del sedimento, tales como cementación, en donde podemos distinguir diferentes tipos de cementos que se forman en etapas sucesivas. Recristalización, con la formación de cristales neomórficos. Reemplazamiento, en donde incluimos los procesos de dolomitización y dedolomitización. Autigénesis, referido fundamentalmente a la formación de cuarzo autígeno; esta silicificación se presenta originando cristales aislados de cuarzo, sin llegar a afectar a la totalidad de la roca, y aunque se trate de un proceso de reemplazamiento, hemos creído oportuno tratar este proceso dentro del apartado denominado como autigénesis.

Con respecto a las estructuras asociadas hemos señalado la existencia de sedimentos geopetales, estromatactis, laminaciones, estilolitos y venas de calcita.

ARRECIFES DE ALCONERA: MICROFACIES Y DIAGENESIS

En este capítulo contemplamos los aspectos petrológicos de las facies carbonatadas y se describen los diferentes tipos de microfacies que caracterizan a estos materiales, además de los procesos diagenéticos que los han afectado.

Las microfacies identificadas se relacionan con las litofacies descritas en MORENO-EIRIS (en prensa):

— Calizas biogénicas violáceas:

Boundstones.

Wackestones bioclásticos.

— Calizas grises algales:

Boundstones cryptalgales.

— Calizas laminadas algales:

Wackestones con laminaciones algales.

— Calcilitas nodulosas y lutitas con nódulos calcáreos:

Mudstones-Wackestones.

Boundstones

Este tipo de facies constituye junto con los *wackestones* bioclásticos la mayor parte de los montículos arrecifales, y ambos pertenecen a la litofacies denominada calizas biogénicas del Miembro La Hoya.

Los componentes que la caracterizan son:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica y microesparítica muy abundante en la que se encuentran dispersos los demás componentes.
- Terrígenos. Aparecen granos de cuarzo detrítico de muy diversos tamaños dispersos en la matriz o aglutinados sobre los restos de las algas calcáreas (lám. I, figs. 1 y 4).

El material lutítico que se acumula en pequeños niveles (lám. I, fig. 1) contiene también abundantes granos de cuarzo y pequeños cristales de mica.

— Componentes deposicionales orgánicos:

- Las algas calcáreas, en su mayoría constituidas por arbustos de *Epiphyton* (lám. I, figuras 1, 2, 3), son los organismos principales en la formación de estas bioconstrucciones. Estas algas con su propia actividad han aglutinado partículas carbonatadas, y en algunos casos terrígenas (granos de cuarzo). 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 (lám. I, figs. 2, 3, 4), o dispersos en la matriz. Las estructuras esqueléticas de los organismos están formadas por microesparita en el mejor de los casos, cuando no han sufrido un proceso de recristalización intenso.

En la interacción y desarrollo de estos bioconstructores se originan numerosas cavidades de crecimiento, rellenas por sedimento interno y/o diferentes generaciones de cementos, que más adelante describiremos (lám. I, figs. 3, 4).

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Las cavidades de crecimiento y orgánicas se encuentran cementadas por

cristales de calcita; tapizando los bordes del poro se disponen perpendicular a las paredes los cristales prismáticos («bladed»), seguidos por los grandes cristales de calcita en mosaico («blocky»). Excepcionalmente encontramos cristales de cuarzo que actúan como la última fase de cementación en algunas cavidades (lám. I, figs. 3 y 4).

- Recristalización. Algunas zonas presentan grandes cristales de pseudoesparita en mosaico originados por neomorfismo. Asociados a éstos se encuentran frecuentes cristales de calcita producto de procesos de dedolomitización.
- Reemplazamiento. Los cristales de dolomita aparecen esporádicamente, y se encuentran dedolomitizados.
- Autigénesis. Los cristales de cuarzo euhedrales con inclusiones de cuarzo se presentan relacionados a algunos cálices de arqueociatos, pero son mucho más frecuentes en las estructuras estromatactis (lám. I, fig. 5).

— Estructuras asociadas:

- Relleno geopetal. Este tipo de estructura se encuentra en las cavidades de crecimiento y en las cavidades orgánicas, tales como la cavidad central de los cálices de arqueociatos (lám. I, fig. 3). El sedimento interno ocupa la parte inferior del hueco, y cementos de diferentes generaciones rellenan el último episodio de estas cavidades.
- Estromatactis. Aparecen en la base de algunos montículos, esta estructura alcanza hasta 60 cm. de anchura. Se trata de una textura bandeada con láminas horizontales denominadas por algunos autores como «zebra limestones», en las que se diferencia claramente el sedimento primario alternando con una lámina de base generalmente plana u ondulada y el techo muy irregular (lámina I, fig. 5). 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.

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 calcita fibrosa (BATHURST, 1980) o calcita 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 (lámina I, fig. 5).

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.

- Estilolitos. Tanto de pequeña como de gran escala, se han originado por fenómenos de presión-disolución, concentrándose los materiales insolubles en estas superficies estilolíticas.
- Venas de calcita que rellenan pequeñas fisuras y atraviesan los demás componentes.

Wackestones bioclásticos

Estos se encuentran relacionados a las calizas biogénicas del Miembro La Hoya. Forman parte de los montículos arrecifales y están caracterizados por los siguientes componentes:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz micrítica fundamentalmente, con zonas recristalizadas a microesparita.
- Terrígenos. Son frecuentes los granos de cuarzo, cuya naturaleza detrítica se diferencia netamente de los cristales autigénicos de cuarzo. Estos granos están dispersos en la matriz y presentan una gran variedad en el tamaño y en la morfología.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los bioclastos que caracterizan esta facies son

fundamentalmente arqueociatos junto a abundantes restos de *Chancelloria* y otras espículas (lám. I, figs. 6 y 7); sólo en ocasiones existen también secciones de hyolithidos y trilobites.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Los cristales de calcita prismática se encuentran tapizando las cavidades intrapartículas, como las cavidades orgánicas de los arqueociatos, pero son mucho más abundantes los cristales en mosaico de calcita, que rellenan la mayoría de los espacios vacíos de estas cavidades (lám. I, figura 6).

Excepcionalmente encontramos cristales de cuarzo que actúan como la última fase de cementación de un hueco, y están asociados a otros cementos diagenéticos de calcita (lám. II, fig. 1).

- Recristalización. Este proceso neomórfico de bastante intensidad, se hace patente en estos materiales por la existencia de gran cantidad de cristales de pseudoesparita prismática que sustituyen a grandes áreas de la matriz (lám. I, fig. 6). En algunas ocasiones estos cristales de pseudoesparita presentan una disposición en mosaico (lám. I, fig. 7).

- Reemplazamiento. Los cristales de dolomita con abundantes inclusiones de hierro se presentan asociados a la calcita neomórfica en mosaico (lám. I, fig. 7); lo que parece indicar que el proceso de dolomitización se produce en un estado diagenético avanzado.

- Autigénesis. Hemos observado anteriormente la existencia de cristales de cuarzo autigénico que actúan como un cemento, en la última fase de relleno de una cavidad. Estos cristales son claramente idiomorfos, de grandes dimensiones y sin ningún tipo de inclusión (lám. II, fig. 1). No obstante se observan también pequeños cristales con inclusiones de carbonato asociadas a cementos diagenéticos (lám. II, figs. 1 y 2), que corresponden a puntos de nucleación dispersos.

— Estructuras asociadas:

- Rellenos geopetales. Ocupan fundamentalmente las cavidades orgánicas de los cálices de arqueociatos, además de la cavidad central, cuya parte basal está ocupada por sedimento interno y la parte superior está cementada por cristales calcíticos como resultado de una precipitación química.
- Estilolitos. Las superficies estilolíticas se encuentran rellenas por materiales lutíticos,

LAMINA I

Figura 1.—*Boundstone*. Algas calcáreas formando pequeños arbustos, la mayoría de *Epiphyton*. Las cavidades de crecimiento están rellenas por cementos calcíticos de varias generaciones, así como por sedimento interno (A₂-113).

Figura 2.—*Boundstone*. Arqueociato Irregular rodeado por estructuras algales. Granos de cuarzo detrítico disperso en la matriz y aglutinado por algas. Cristales de pseudoesparita en mosaico (M) y rombos de dolomita (d) dedolomitizados (A₂-118).

Figura 3.—*Boundstone*. Cavidades centrales de los arqueociatos con diferentes generaciones de cementos; la pared está tapizada por calcita prismática, y en el interior se encuentran cristales de calcita (M) y cuarzo (Q) en mosaico (A_{1B}-317).

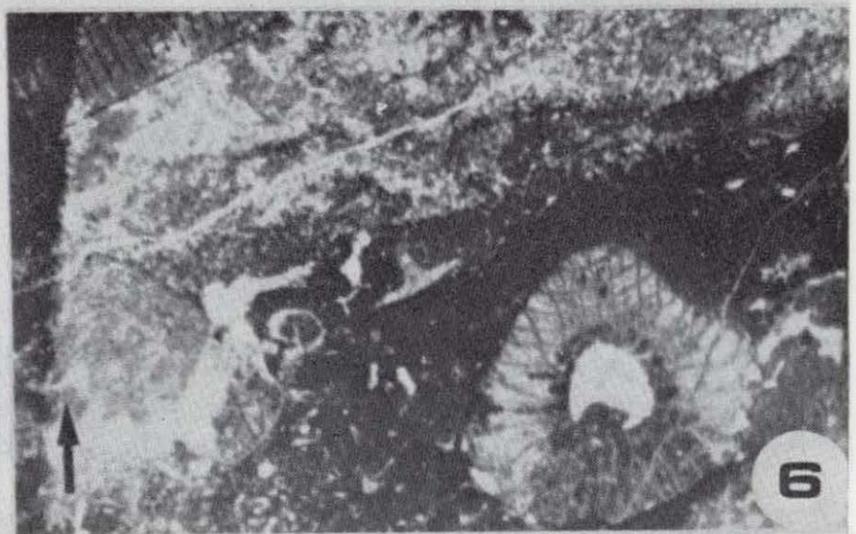
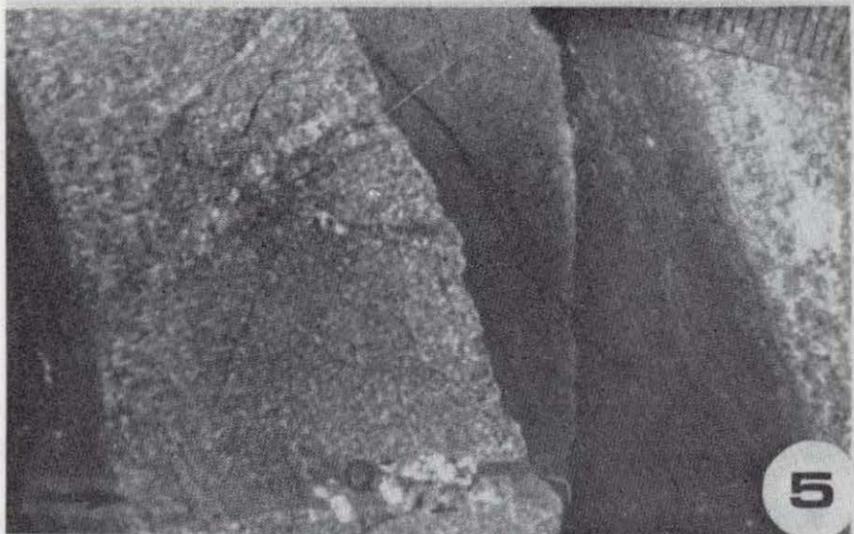
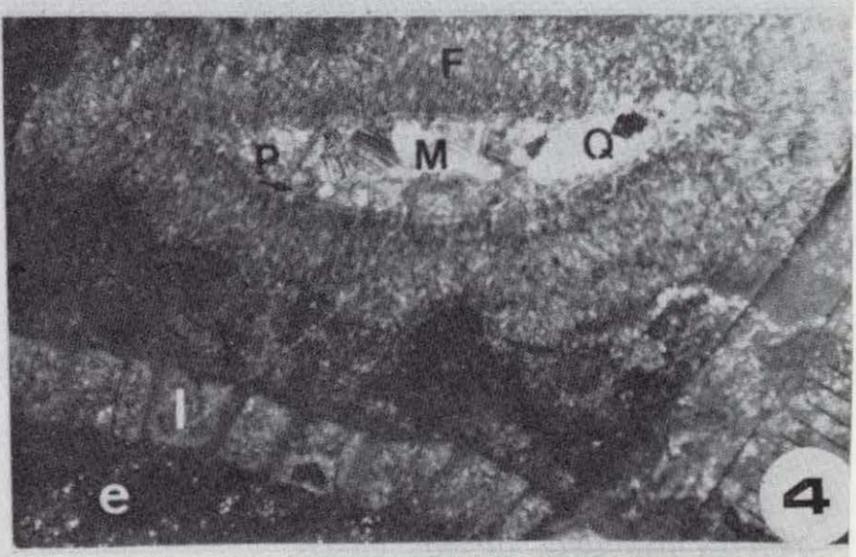
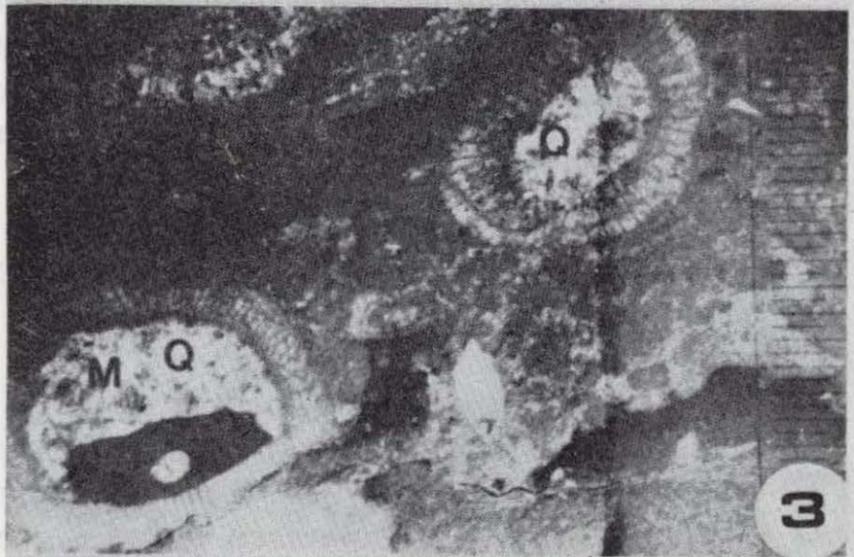
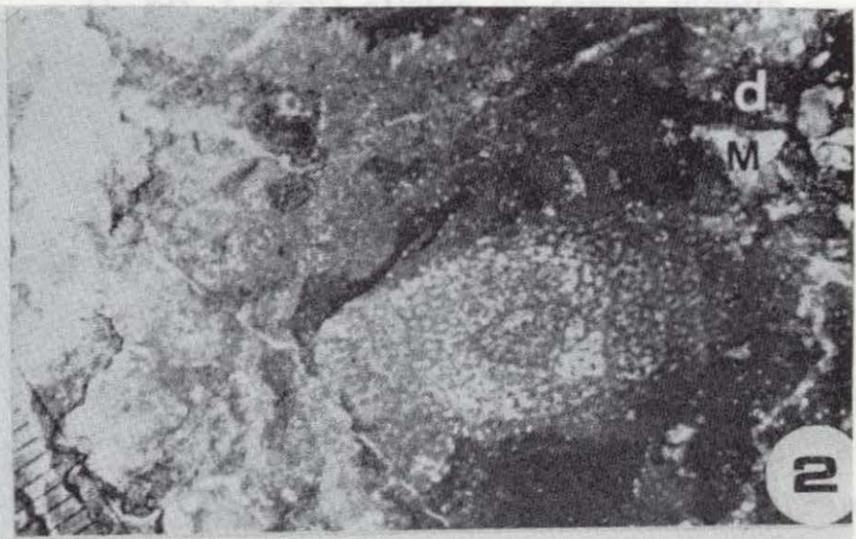
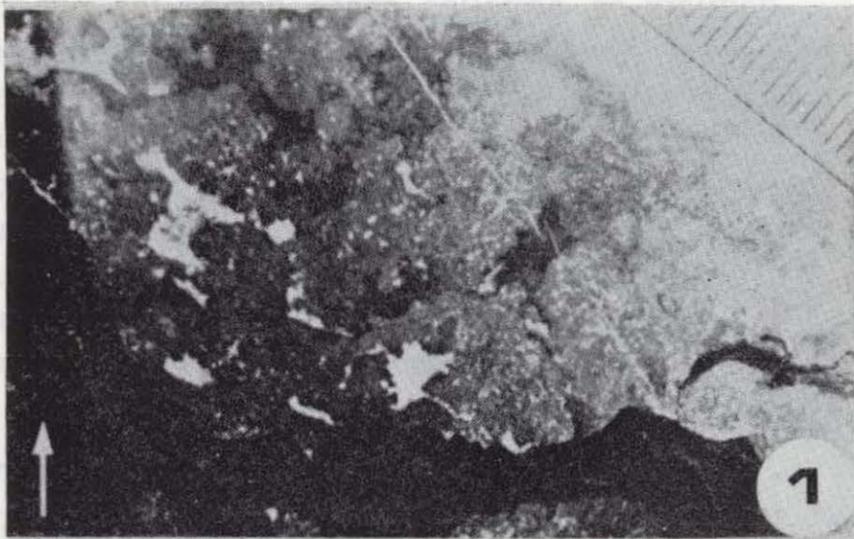
Figura 4.—*Boundstone*. Intervalo de un cáliz (I) rodeado de algas, con arbustos de *Epiphyton* creciendo desde la muralla interna. Cavidad con diferentes generaciones de cementos calcíticos prismáticos (P) y en mosaico (M) y cuarzo (Q) en mosaico (A_{1B}-319).

Figura 5.—*Boundstone*. Estromatactis con cristales de calcita relleno de estas cavidades. Son frecuentes los cristales de cuarzo autigénico (Q) (A_{1B}-321).

Figura 6.—*Wackestone bioclástico*. En la matriz se hallan dispersos los componentes bioclásticos, tales como arqueociatos, *Chancelloria*, espículas, trilobites e hyolithidos. Los cementos de calcita esparítica rellenan cavidades orgánicas, mientras los cristales prismáticos de pseudoesparita son producto de procesos neomórficos (A₂-118).

Figura 7.—*Wackestone bioclástico*, con arqueociatos y espículas. Cristales de pseudoesparita en mosaico (M) como resultado de una recristalización, se encuentran sustituyendo a rombos de dolomita (d) ricos en hierro (A_{1B}-313).

Figura 8.—Cemento de esparita en mosaico que rellena las cavidades orgánicas de la sección transversal de un cáliz de arqueociato, cuyas estructuras esqueléticas son de microesparita. Nícoles cruzados (A_{1B}-320). Escala con divisiones de medio milímetro.



y atravesadas perpendicularmente por pequeñas venas de calcita (lám. I, fig. 7).

- Venas de calcita. Son de tamaño y morfología variada, y en algunos casos constituyen redes anastomosadas.

El material lutítico concentrado en niveles, por efectos de los procesos de presión-disolución presentan numerosas venas de calcita dispuestas perpendicularmente a estos niveles (lám. I, fig. 7), y están rellenas de calcita en «chevron».

Boundstones cryptalgales

Estos corresponden a la litofacies descrita anteriormente como caliza gris algal, y que constituyen la mayor parte de los carbonatos del Miembro Sierra Gorda, en la Formación Alconera. Presentan los caracteres que a continuación detallamos:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Es generalmente una microesparita; el grado de recristalización de estos materiales es muy elevado, y la matriz está intensamente recristalizada a pseudoesparita en la mayoría de los casos.
- Terrígenos. Excepcionalmente aparecen granos de cuarzo detrítico, concentrados en algunas áreas de la matriz recristalizada.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Las estructuras cryptalgales sólo se pueden deducir en aquellos casos donde los procesos neomórficos no han afectado intensamente a las texturas originales (lám. II, fig. 3). Estas estructuras se presentan en microesparita, con un aspecto moteado característico y una porosidad fenestral originada por las formas ramificadas y anastomosadas de contorno irregular de los restos cryptalgales que constituyen la textura reticulada característica de los thrombolitos (AITKEN, 1967).

Dentro de estas calizas cryptalgales aparece un único nivel con arqueociatos (lám. II, fig 4), cuyos cálices también presentan un alto grado de neomorfismo, lo que dificulta su identificación sistemática, si bien es posible deducir que en general pertenecen a la Clase Regulares.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Los cristales de calcita fibrosa y prismática se encuentran tapizando cavidades intra e interpartículas, como las cavidades entre las estructuras algales y las orgánicas de los arqueociatos (lám. II, figs. 3 y 4). Como último episodio de la cementación de los poros, aparecen grandes cristales de calcita en mosaico.
- Recristalización. Debido a los procesos de neomorfismo (FOLK, 1965) son muy frecuentes los cristales de pseudoesparita en mosaico que sustituyen, en algunos casos, gran

LAMINA II

Figura 1.—Cavidad cementada por cristales de calcita prismática y en mosaico y grandes cristales de cuarzo (Q), como última fase de la cementación. Asociados a estos cementos diagenéticos se observan pequeños cristales de cuarzo autigénico (q) (A₂-107).

Figura 2.—Cementos de posible origen freático meteórico, con calcita prismática (P), rombos de dolomita posteriormente dedolomitizados (d) y calcita en mosaico (M). Aparecen también cristales idiomorfos de cuarzo autigénico (Q) con inclusiones de carbonato (A_{1A}-600).

Figura 3.—*Boundstone* cryptalgal, con algunas formas de posibles *Renalcis*, presenta una textura reticulada y porosidad fenestral característica de los thrombolitos (A_{1C}-103).

Figura 4.—*Boundstone* cryptalgal con arqueociatos, las cavidades orgánicas de los cálices se encuentran cementadas, y en algunas cavidades centrales se puede observar un relleno geopetal (A_{1C}-302).

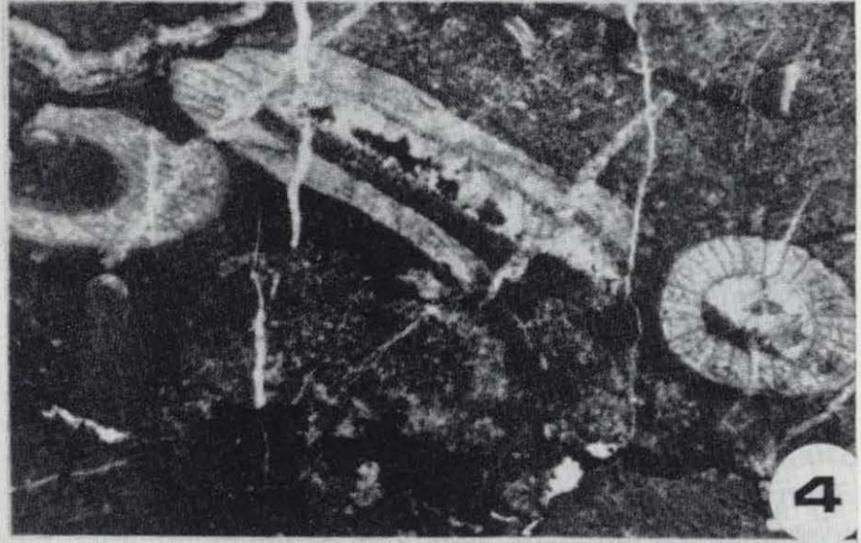
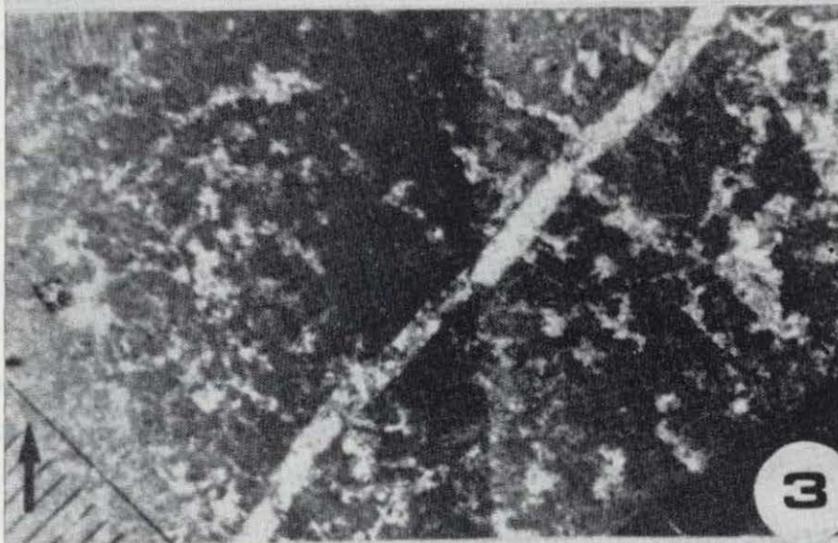
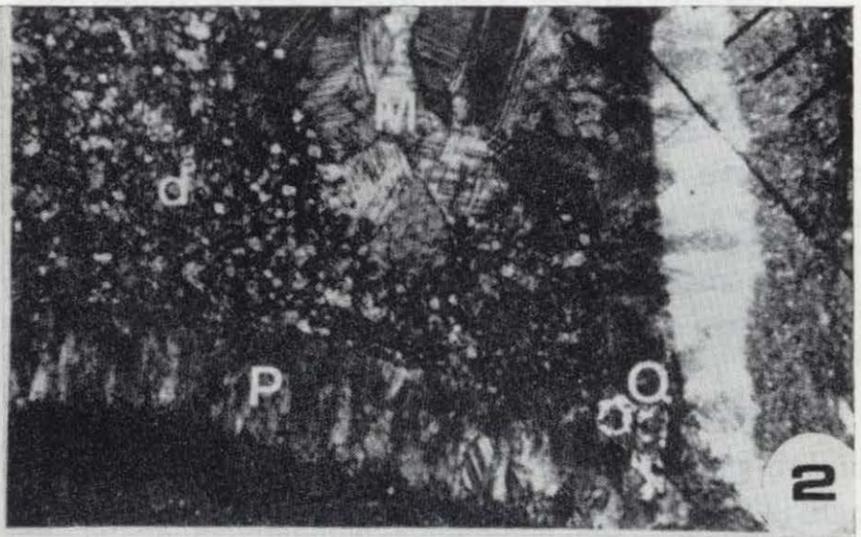
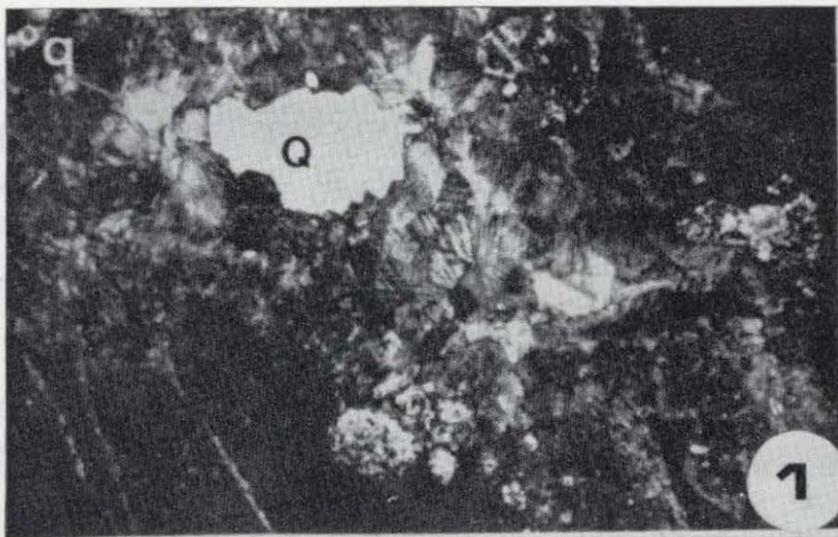
Figura 5.—*Boundstone* cryptalgal en donde una cavidad de disolución se ha cementado con cristales de diferente naturaleza, los bordes están tapizados por dolomita (D), y en el interior del hueco se encuentran grandes cristales de calcita (C). Sobre estos últimos se observan pequeños cristales de cuarzo autigénico (Q) (A_{1C}-305).

Figura 6.—*Wackestone* con laminaciones algales. La dolomitización selectiva se hace patente por la alternancia de láminas dolomitizadas y no dolomitizadas, relacionada con la textura original (A_{1C}-307).

Figura 7.—*Mudstones-Wackestones*. Nódulos calcáreos con abundantes secciones de *Chancelloria*, hyolítidos y trilobites (A₂-107).

Figura 8.—*Mudstones-Wackestones*. Abundantes secciones de *Cancelloria* dispersas en los nódulos calcáreos rodeados de material lutítico (A₂-108).

Escala con divisiones de medio milímetro.



parte de la matriz. Excepcionalmente aparecen cristales prismáticos, cuyo origen neomórfico lo deducimos por presentar una disposición de crecimiento centrífuga, y tener restos de la matriz microesparítica, entre ellos.

- Reemplazamiento. La dolomitización afecta de modo irregular a estos materiales, actúa como un frente de dolomitización que afecta total o parcialmente las texturas originales.

Como caso excepcional hemos observado cristales de dolomita, que actúa como cemento, tapizando una cavidad, posiblemente de disolución, que en un primer episodio se cementa con dolomita (lám. II, fig. 5) y en una fase posterior se rellena con grandes cristales de calcita en mosaico.

- Autigénesis. Únicamente se ha encontrado cuarzo autigénico (lám. II, fig. 5) asociado a cementos diagenéticos. Estos cristales son idiomorfos y presentan inclusiones de carbonato en su interior.

— Estructuras asociadas:

- Relleno geopetal. Este tipo de sedimento aparece rellenando las cavidades centrales de algunos arqueociatos, con sedimento interno en la parte inferior y calcita esparítica en la última fase de relleno.
- Estilolitos. En general se trata de microestilolitos con disposición tanto inter, intra y circumpartícula.
- Venas de calcita. Presentan una gran variedad de dimensiones y atraviesan los demás componentes.

Wackestones con laminaciones algales

Se encuentran en las calizas laminadas que forman parte del Miembro Sierra Gorda. A pesar de que dicho miembro presenta algunos materiales con un grado de recristalización bastante elevado, en algunos casos, podemos deducir la textura original y los procesos diagenéticos que han sufrido.

Los componentes de esta facies son:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Microesparítica fundamentalmente por efecto de la recristalización, con zonas más micríticas.

— Componentes deposicionales orgánicos:

La textura laminada característica de esta facies está originada por el desarrollo de mallas cryptalgales, que los procesos diagenéticos posteriores van a resaltar, al actuar de forma selectiva. Esta textura laminada podría tratarse en algunos casos de incipientes *bindstones*.

— Aspectos diagenéticos:

- Reemplazamiento. Los cristales de dolomita, con algunas inclusiones de hierro, aparecen distribuidos en niveles que se alternan con material microesparítico no dolomitizado, por lo que se trata de una dolomitización selectiva relacionada fundamentalmente con la textura original de la roca (lám. II, fig. 6).

— Estructuras asociadas:

- Laminaciones. Formadas por las mallas de algas con una dolomitización posterior.
- Venas de calcita de pequeña dimensión que atraviesan perpendicularmente la estructura laminada.

Mudstones-Wackestones

Este tipo de textura deposicional se presenta en las facies de calcilitas nodulosas y en los nódulos calcáreos de las facies de lutitas. Se caracterizan por los siguientes aspectos:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica fundamentalmente y zonas de microesparita por efecto de la recristalización.
- Terrígenos. Son muy frecuentes los granos de cuarzo detrítico, dispersos en la matriz (lámina II, figs. 7 y 8).

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los restos orgánicos en esta facies los constituyen principalmente los diferentes tipos de secciones de *Chancelloria* (lám. II, figs. 7 y 8), junto a otras espículas, que aparecen dispersas en el interior de los nódulos calcáreos. Además existen algunas secciones de trilobites, hyolithidos y arqueociatos (lám. II, fig. 7).

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Algunas cavidades intra e in-

terpartículas se encuentran cementadas por cristales de calcita prismática y en mosaico.

- Recristalización. Como consecuencia de este proceso aparecen zonas de la matriz micrítica como microesparita, así como las secciones de los organismos que se encuentran recristalizados total o parcialmente a pseudoesparita.

— Estructuras asociadas:

- Venas de calcita. Atraviesan los demás componentes y están relacionadas con los procesos de diagénesis tardía.

ARRECIFES DE LA SIERRA DE CORDOBA:
MICROFACIES Y DIAGENESIS

Dentro de la Sierra de Córdoba se sitúan los dos yacimientos seleccionados para este estudio: las canteras del Arroyo Pedroche y el Cerro de Las Ermitas, los cuales presentan características propias que nos obligan a considerarlos por separado.

Canteras del Arroyo Pedroche:
Microfacies y diagénesis

Del estudio petrológico de las láminas delgadas hemos podido identificar distintos tipos de microfacies características de las litofacies descritas en MORENO-EIRIS (en prensa), y que se relacionan de la siguiente forma:

— Calizas algales:

Boundstone.
Bafflestone.
Wackestone-Packstone peloidal.

— Calizas bioclásticas:

Packstone bioclástico con terrígenos.
Grainstone bioclástico peloidal.

— Calizas oolíticas:

Grainstone oolítico.

Boundstones

Este tipo de textura se presenta en las calizas algales, con un neto predominio de restos de algas

calcáreas, muy frecuentes en estos materiales, en relación con cualquier otro componente.

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica homogénea con zonas de microesparita como resultado de procesos de recristalización. En esta matriz se encuentran englobados los granos esqueléticos, fundamentalmente algales, los cuales en su propia actividad atraparón y fijaron las partículas carbonatadas de tamaño micrita.
- Terrígenos. Los granos de cuarzo detrítico son muy abundantes; se encuentran dispersos en la matriz deposicional, y también en los niveles estilolíticos donde se concentran materiales insolubles.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los restos algales son muy abundantes y presentan una gran variedad de morfologías. 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 (lám. III, fig. 1), de las formas camaradas de *Renalcis*. Estas últimas se encuentran relacionadas a *Epiphyton* (lám. III, fig. 1) o son las únicas que, en un alto porcentaje, se encuentran constituyendo este tipo de facies (lámina III, fig. 2). 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*.

Los filamentos de *Girvanella* son muy raros; se encuentran dispersos junto a otras formas algales, o se presentan concentrados en niveles (lámina III, fig. 3), originando una textura que podríamos denominar *bindstone*, ésta sólo se presenta de un modo excepcional en el conjunto de la caliza algal.

Otros bioclastos identificados son los restos de trilobites e hyolithidos (lám. III, fig. 2) que se encuentran dispersos en la matriz deposicio-

nal, además de alguna espícula del tipo *Chancelloria*.

En general las algas se encuentran con su estructura esquelética bien preservada, ramificadas y en posición de vida. Estos organismos sésiles, en su actividad metabólica atrapan y aglutinan las partículas de carbonato e incluso los granos detríticos de cuarzo (lám. III, fig. 3).

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Son frecuentes los cementos de calcita prismática y en mosaico rellenando cavidades inter e intrapartículas. La calcita prismática tapiza las paredes de las cavidades en cuyo interior precipitan los cristales de calcita en mosaico (lám. III, figura 1).
- Recristalización. La matriz presenta en ocasiones procesos de recristalización a microesparita, sin embargo en determinadas zonas se han observado grandes cristales de calcita en mosaico (pseudoesparita) (lámina III, fig. 2); estos cristales crecen sobre zonas originales de micrita, microesparita o dolomita, en este último caso algunos romboedros de dolomita quedan como inclusiones dentro de los grandes cristales de pseudoesparita.

- Reemplazamiento. El proceso de dolomitización afecta a los materiales de manera no selectiva, así se observan parches irregulares formados por rombos de dolomita con un tamaño medio de 5 micras, actuando como frentes de dolomitización, y donde se reemplazan todos los materiales preexistentes. Otro tipo de cristales de dolomita con tamaños de unas 30 micras, se encuentran dispersos ocupando zonas reducidas (lámina III, fig. 2). Estos cristales grandes de dolomita ferrosa se presentan relacionados a cementos calcíticos (lám. III, fig. 1), siendo claramente la dolomitización posterior a la cementación.

En general, tanto un tipo como otro de dolomita, están afectados por un proceso de calcificación o dedolomitización, en el cual el hierro que contenían los cristales ha sido expulsado de la red y se acumula en los bordes de los cristales pseudomorfs.

— Estructuras asociadas:

- Estilolitos. La presencia de microestilolitos configura una textura nodulosa diagenética, ya que a favor de estas superficies de presión-disolución, se concentran materiales insolubles que rodean y aíslan «nódulos» de la caliza algal.

LAMINA III

Figura 1.—*Boundstone*. Arbustos con ramificación dicotómica del género *Epiphyton* (E) y formas cameradas de *Renalcis* (R). Cavidades cementadas por calcita esparítica primática (P) y en mosaico (M) (CP₁-1307).

Figura 2.—*Boundstone*. *Renalcis* (R) con paredes en calcita microcristalina (opaca). El interior de las lúnulas está ocupado por matriz o por cemento esparítico. Aparecen también fragmentos de trilobites e hyolíthidos. Cuarzo detrítico disperso en la matriz. Procesos de recristalización a microesparita (Mi) y calcita en mosaico (Ps) (CP₁-1503).

Figura 3.—*Bindstone*. Filamentos de *Girvanella* (G) dispuestos en niveles que se alternan con el material deposicional tanto carbonatado como terrígeno (CP₁-1604).

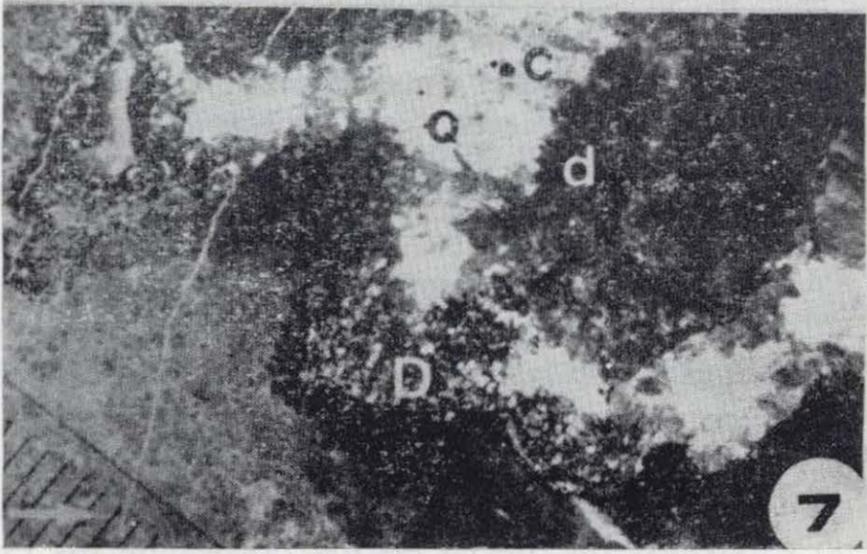
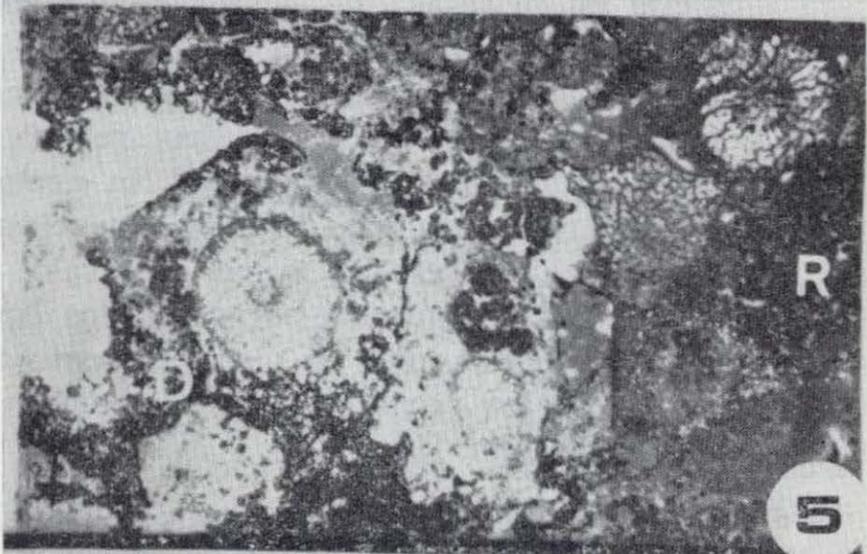
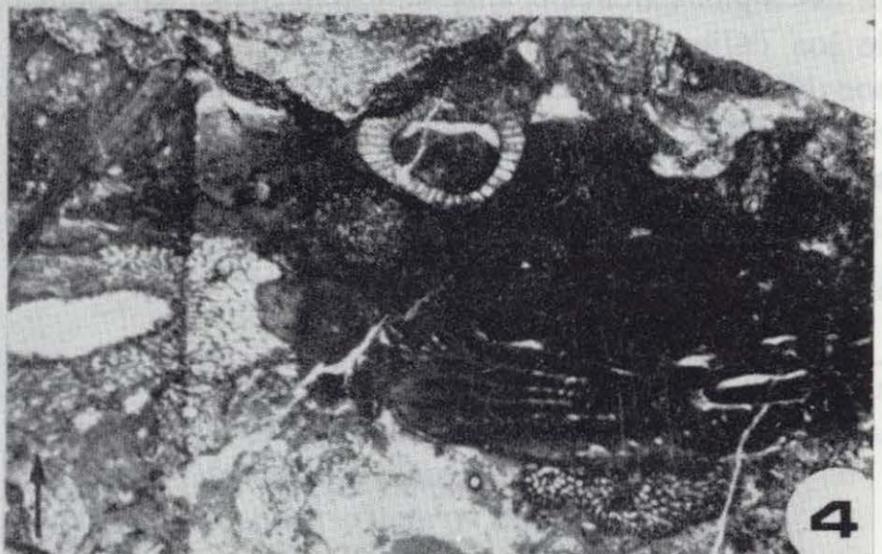
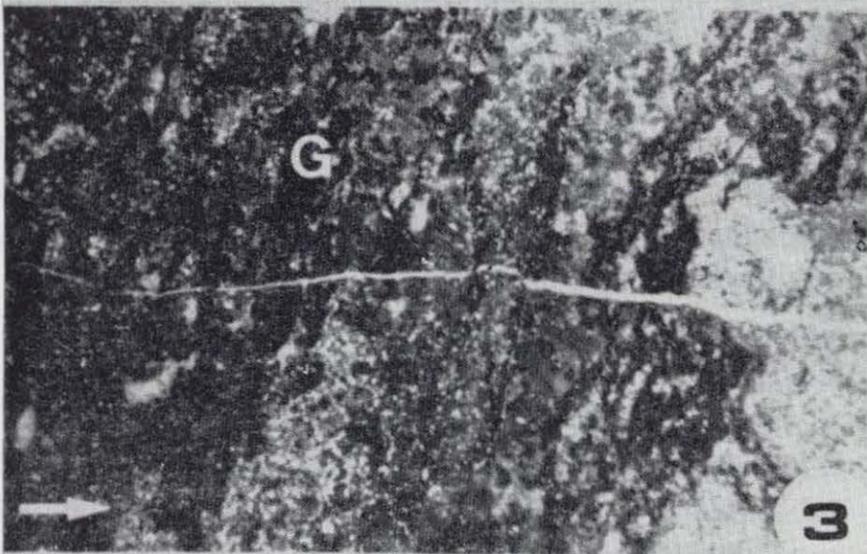
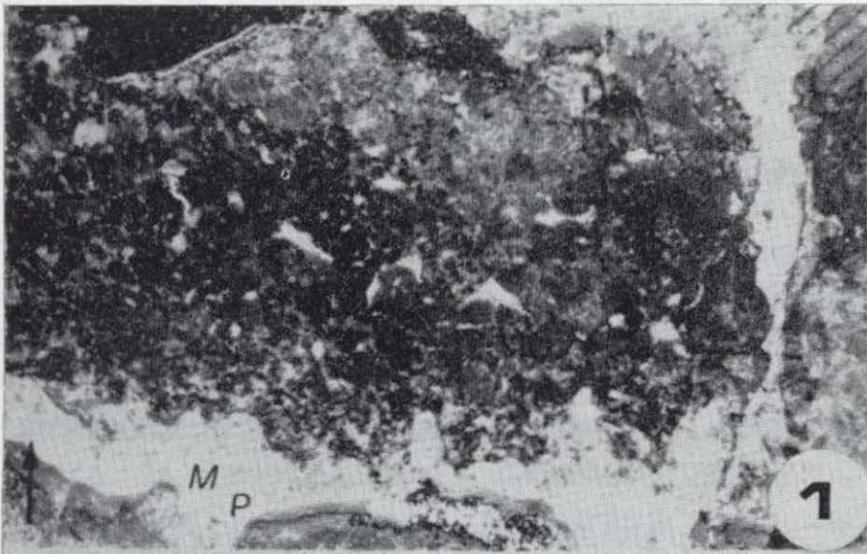
Figura 4.—*Bafflestone*. Abundantes arqueociatos Irregulares y algunos Regulares. Las cavidades orgánicas están ocupadas por sedimento interno y/o cementos, configurando en algunas ocasiones un relleno geopetal (CP₁-1904).

Figura 5.—*Bafflestone*. Gran cantidad de cálices adultos y juveniles que crecen rodeados de *Epiphyton* y *Renalcis* (R). Las cavidades están rellenas por sedimento interno y/o cementos. Son frecuentes los rombos de dolomita (D), dedolomitizados, a modo de parches irregulares (CP₁-2006).

Figura 6.—*Bafflestone*. Rombos de dolomita (D) actuando como un frente de dolomitización, afectando a la matriz y a los bioclastos (CP₁-1900).

Figura 7.—Cavidad diagenética relacionada con el proceso de dolomitización. Los rombos de pequeño tamaño (D) se encuentran alrededor de la cavidad. Tapizando las paredes de ésta existen grandes rombos (d), que crecen perpendicularmente a la superficie de la pared. El interior de la cavidad está rellena por grandes cristales de calcita en mosaico, y excepcionalmente algunos cristales idiomorfos de cuarzo (Q) (CP₁-1902).

Figura 8.—Cristales autigénicos idiomorfos de cuarzo (Q) con abundantes inclusiones de carbonato (y aspecto idiomorfo). Estos cristales crecen sobre restos de *Epiphyton* (CP₁-1903). Escala con divisiones de medio milímetro.



- Venas de calcita atraviesan los demás componentes de la roca.

Bafflestones

Este tipo de microfacies se encuentra localizado en los montículos laterales que afloran en la parte oeste de la cantera CP₁. De las muestras seriadas que hemos obtenido en estas dos construcciones orgánicas, podemos observar cómo el porcentaje de sus componentes es muy diferente de los *boundstones* anteriormente descritos, ya que los arqueociatos, fundamentalmente de la Clase Irregulares, constituyen el 30-40 por 100; los restos de las algas calcáreas que se encuentran alrededor de los cálices forman el 40-50 por 100, y el 10-20 por 100 restante, lo constituyen la matriz deposicional y los cristales originados por los procesos neomórficos (lám. III, fig. 4).

A continuación detallamos los caracteres que presentan este tipo de microfacies:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. De naturaleza micrítica y homogénea; en algunas áreas por efecto de la recristalización se transforman en microesparita.
- Terrígenos. Los granos de cuarzo detrítico se encuentran dispersos en la matriz deposicional. Son muy frecuentes, junto a las micas, en la matriz terrígena que rellena las superficies estilolíticas.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los cálices de los arqueociatos presentan una serie de características que nos definen claramente una textura de caliza arrecifal autóctona, y que denominamos *bafflestone*, siguiendo la clasificación de EMBRY & KLOVAN (1971). En este caso la relación que existe tanto en 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 (lámina III, figs. 4 y 5).

Alrededor de estos organismos se desarrollan

gran cantidad de formas algales de *Epiphyton*, con pequeños arbustos que crecen sobre la muralla externa de los cálices, o colgando de la interna dentro de la cavidad central (lám. III, figuras 5, 6).

También existen frecuentes formas de *Renalcis* y *Girvanella*, y algunos peloides algales (lámina III, fig. 5). Otros componentes bioclásticos son los restos de trilobites e hyolífidos, poco frecuentes y que se encuentran dispersos y fragmentados.

La actividad del conjunto de estos organismos ha originado por el efecto pantalla («baffling») la sedimentación de las partículas carbonatadas tamaño micrita, y a su vez estos quedan atrapados en el sedimento; de este modo se preserva la bioconstrucción, con sus organismos constructores, y el sistema de cavidades deposicionales y orgánicas.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. En general las cavidades se encuentran rellenas de sedimento interno y/o de cementos. Estos cementos se presentan, fundamentalmente, en cristales de calcita en prismas que hemos denominado cemento prismático, que a su vez tapiza las paredes de los poros. Un segundo tipo con cristales de calcita en mosaico, rellena el último episodio de la cavidad. En general las cámaras orgánicas de los arqueociatos, tanto cavidad central, como intervalo, se encuentran cementadas por estos dos tipos de generaciones, con un claro aumento del tamaño de los cristales hacia el interior de la cavidad (lám. III, fig. 4).
- Recristalización. Aparecen grandes cristales de pseudoesparita afectando a zonas de la matriz, con un neto aumento del tamaño de los cristales en este proceso neomórfico.
- Reemplazamiento. El proceso de dolomitización aparece bastante extendido en estas microfacies, pero sólo afecta a determinadas áreas y ocupando zonas reducidas. La dolomita se presenta en dos tipos diferentes, tanto por las características de los cristales como por su ubicación. El primer tipo lo constituyen pequeños rombos de dolomita, de 5 a 10 micras, con un aspecto sacaroideo, óxidos de hierro en los bordes de los cris-

tales. Estos rombos de dolomita, actualmente dedolomitizados, son el resultado de un reemplazamiento no selectivo. Actúan como un frente de dolomitización, afectando tanto a la matriz como a los otros componentes de la roca (lám. III, fig. 6). Estos parches irregulares de dolomita rica en hierro se han desarrollado reemplazando un material preexistente, en general a la matriz micrítica. Posiblemente el contenido en hierro y otros materiales insolubles esté relacionado con la nuclearización y el crecimiento de los rombos de dolomita concentrándose en sus bordes externos. También es posible que durante el proceso de dedolomitización los óxidos de hierro hayan sido expulsados de la red de la calcita neomórfica.

El segundo tipo de dolomita que hemos diferenciado lo constituyen grandes cristales, de hasta 60 micras de tamaño, con una coloración parda, lo que nos indica su alto contenido en hierro. Estos grandes rombos crecen tapizando cavidades (lám. II, fig. 7); en este caso se trata de cavidades diagenéticas producidas por disolución (porosidad secundaria) en las que se desarrollan y crecen los rombos de dolomita. Actualmente estos rombos se presentan dedolomitizados, son de calcita y conservan el hierro de la primitiva dolomita ferrosa en su red cristalina. Algunos rombos se presentan zonados y los bordes no están dedolomitizados. Este tipo de dolomita actúa como un cemento que rellena poros secundarios que puede estar o no relacionado con el primer tipo descrito, dolomita sacaroidea (lám. III, figs. 6 y 7). Correspondería con la primera fase de cementación de estas cavidades diagenéticas, en cuyo interior encontramos otros tipos de cementos posteriores que rellenan el resto de esta porosidad secundaria, ya sean mosaicos de cristales equigranulares de calcita (lám. III, fig. 7), o grandes cristales calcíticos.

- Autigénesis. Existen dos tipos de cristales de cuarzo autigénico; el primero de ellos se encuentra relacionado con restos algales, *Epiphyton* (lám. III, fig. 8), son pequeños cristales idiomorfos, con abundantes inclusiones de carbonato. El segundo tipo es algo excepcional, ya que se trata de cristales de

cuarzo idiomorfos, con inclusiones de carbonato en su interior y que actúan como una fase tardía de cementos (lám. III, fig. 7) junto a los cristales de calcita en mosaico que rellenan el interior de algunas cavidades diagenéticas.

— Estructuras asociadas:

- Relleno geopetal. Este tipo de sedimento geopetal se encuentra en el interior de las cavidades deposicionales, tanto de crecimiento, como en las orgánicas, siendo muy frecuente en las cavidades centrales de los arqueociatos (lám. III, fig. 4).
- Estilolitos. En general se trata de microestilolitos en posición inter, intra o circumpartícula. Estas superficies estilolíticas están rellenas por la matriz terrígena, caracterizada por un alto contenido en materiales insolubles.
- Venas de calcita. Son abundantes, atraviesan los demás componentes, y desplazan las partículas o las distorsionan.

Wackestones-Packstones peloidales

Este tipo de textura deposicional lo presentan algunas muestras de las calizas algales, fundamentalmente en la cantera CP₁.

Su naturaleza algal está marcada por la gran cantidad de peloides algales que caracterizan esta microfacies.

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica o microesparítica en algunas zonas por efecto de una recristalización.
- Terrígenos. Los granos de cuarzo y micas se encuentran dispersos en la matriz deposicional; pero son muy abundantes, junto a los óxidos, en la matriz terrígena que marca las superficies estilolíticas (lám. IV, fig. 1).

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los restos algales que caracterizan esta facies se presentan como peloides algales de muy diversos tamaños, desde 5 micras hasta alcanzar las 100 micras (lám. IV, figs. 1 y 2). En algunos casos están asociados a restos de algas identificables, *Renalcis* (lám. IV, fig. 2).

Estos peloides algales están constituidos por micrita-microesparita con un aspecto grumelar, y una morfología muy variada. Algunos de ellos están dolomitizados (lám. IV, fig. 1).

Asociados a los peloides se encuentran esporádicamente restos bioclásticos, tales como trilobites, hyolithidos, excepcionalmente arqueogasterópodos (lám. IV, fig. 1) y fragmentos de braquiópodos (lám. IV, fig. 3).

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. En general las cavidades deposicionales están ocupadas por cementos de los tipos prismático y mosaico calcítico, siendo este último el más frecuente.
- Recristalización. Este proceso neomórfico afecta principalmente a la matriz; los cristales de pseudoesparita son de gran tamaño, hasta 200 micras, y presentan las típicas líneas de exfoliación de la calcita (lám. IV, figura 2). Entre estos cristales permanecen sin recristalizar los peloides algales, rombos de dolomita y algunos relictos de matriz microesparítica, los cuales no están afectados por este neomorfismo.
- Reemplazamiento. La dolomitización es selectiva, ya que sólo se encuentra reemplazando a algunos peloides algales, pero no afecta a ningún otro componente orgánico

(lámina IV, figs. 1 y 2). Los rombos de dolomita de 10 a 20 micras de tamaño, se presentan en general dedolomitizados, y con bordes cristalinos enfatizados por gran cantidad de óxidos de hierro.

— Estructuras asociadas:

- Estilolitos. Los microestilolitos se encuentran en relación con las partículas en posiciones tanto inter, intra, como circungranular. A favor de las superficies estilolíticas aparece la matriz terrígena.
- Venas de calcita. Presentan una gran variabilidad en tamaño y disposición espacial. Su origen diagenético muy tardío se manifiesta por atravesar el total de los componentes de la roca.

Packstones bioclásticos con terrígenos

Este tipo de microfacies pertenece a las calizas bioclásticas que afloran en el techo de la cantera CP₁ y que pasan lateralmente a facies arcósicas, por lo que el porcentaje de granos terrígenos es muy elevado.

Está caracterizado por los componentes que detallamos a continuación.

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica-microesparítica presentán-

LAMINA IV

Figura 1. *Wackestone-Packstone*. Los peloides algales presentan gran variedad morfológica y de tamaño, y algunos de ellos están dolomitizados (D). Hay restos de hyolithidos (H) y excepcionalmente un arqueogasterópodo (A) (CP₁-1405).

Figura 2.—*Wackestone-Packstone*. *Renalcis* (R) y peloides algales, dolomitizados (D) o no, dispersos en una matriz intensamente recristalizada, con cristales neomórficos de tamaño microesparítico, y grandes cristales calcíticos (RC) (CP₁-1603).

Figura 3.—*Wackestone*. Fragmentos de braquiópodos (B) dispersos en una matriz micrítica-microesparítica con abundantes granos de cuarzo detrítico y peloides algales (CP₁-1608).

Figura 4.—*Packstone*, matriz terrígena-carbonatada con abundantes secciones de trilobites, arqueociatos Irregulares y ooides. La cavidad central del arqueociato está ocupada por un relleno geopetal (G) (CP₁-1404).

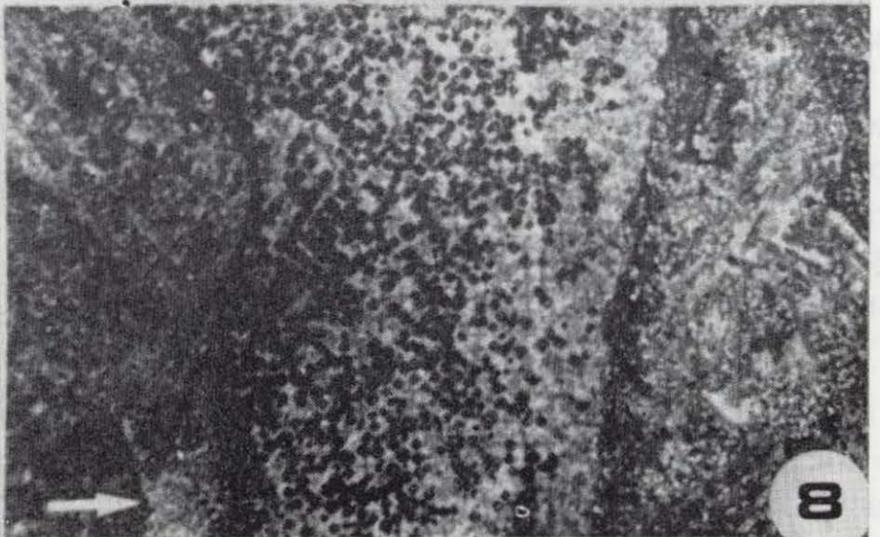
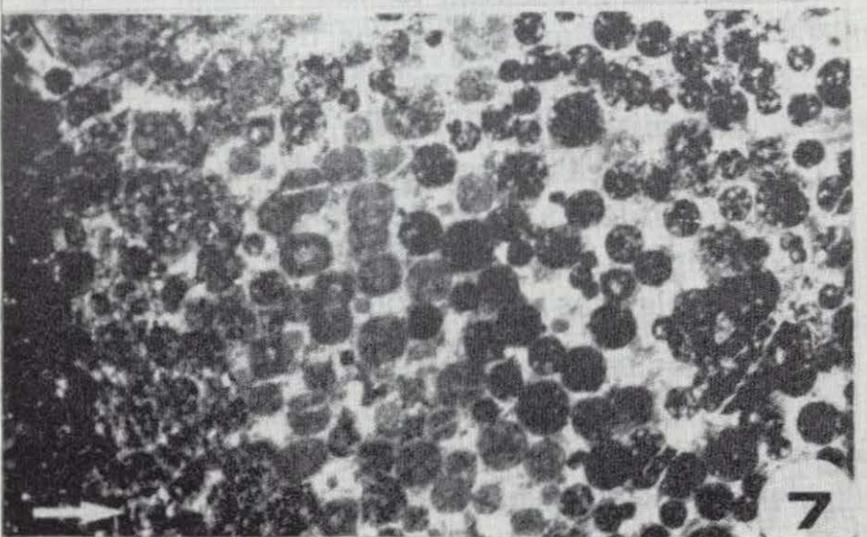
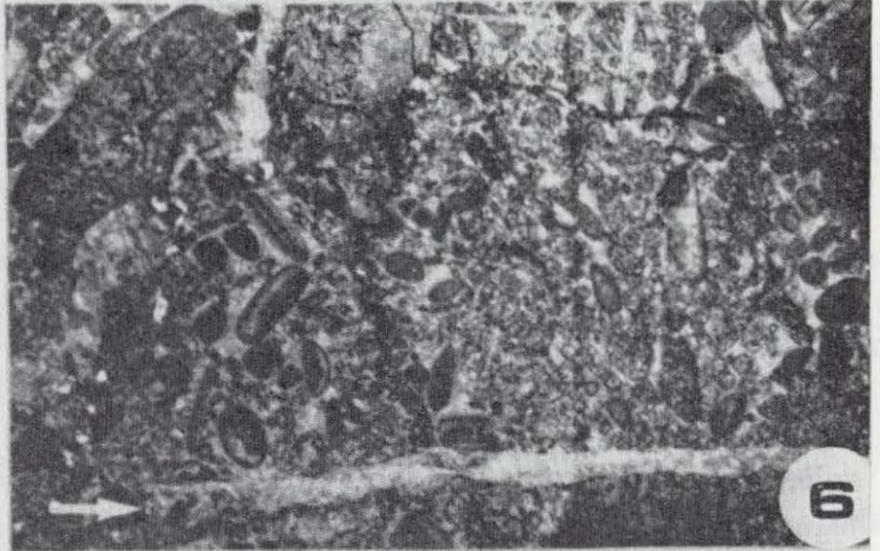
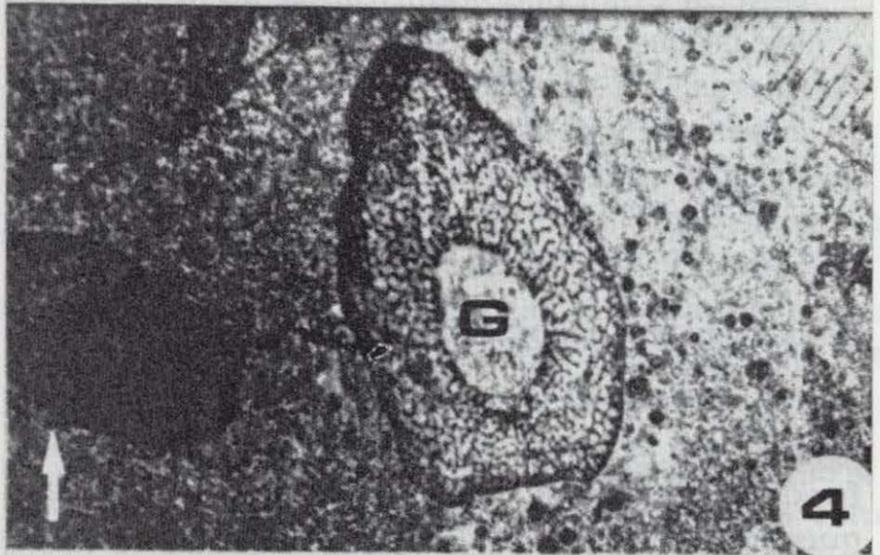
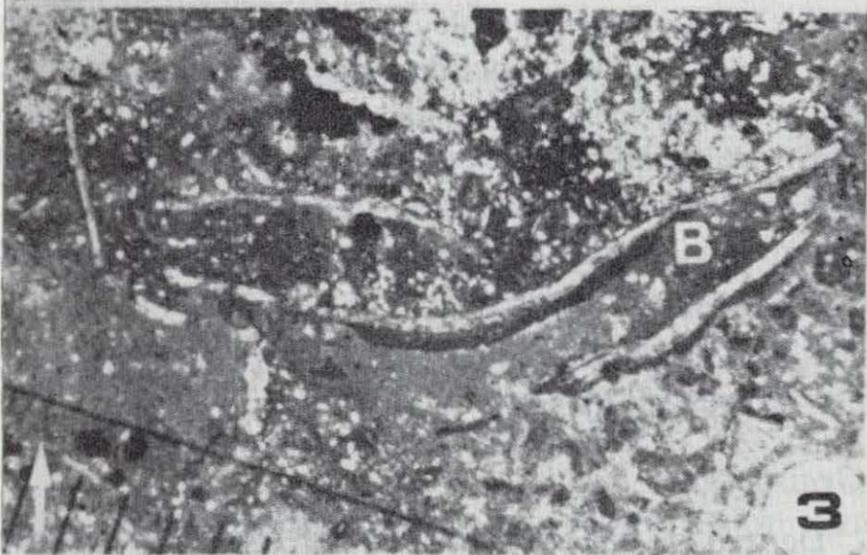
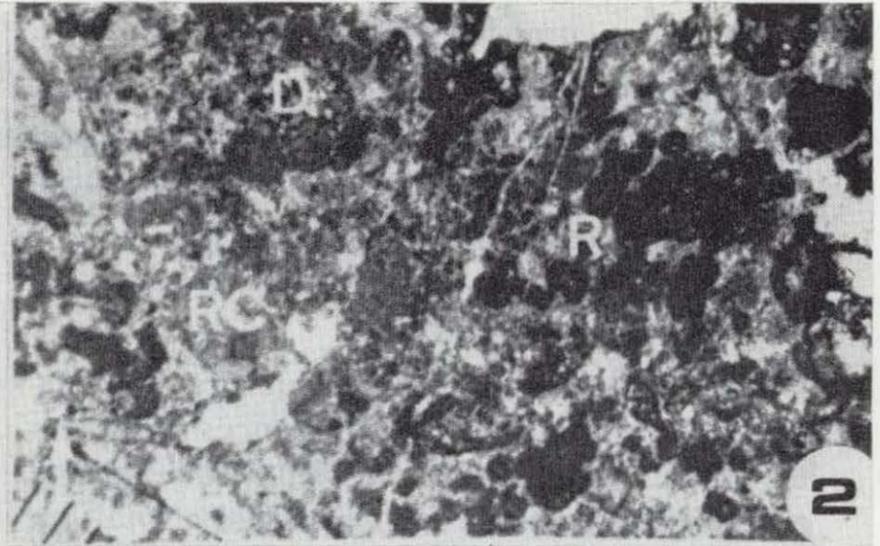
Figura 5.—*Packstone*. Calcita fibrosa cementando la oquedad originada por «efecto paraguas» bajo las secciones de trilobites (T). Estas secciones están constituidas por microesparita en los bordes y en el interior calcita prismática (CP₁-1800).

Figura 6.—*Grainstone*, de ooides y oncolitos, algunos de ellos dolomitizados. También se encuentran fragmentos de cálices de arqueociatos Irregulares (CP₁-2000).

Figura 7.—*Grainstone*, los ooides presentan una estructura concéntrica-radial en algunos casos, y en otros están afectados por una intensa dolomitización selectiva. Cemento fibroso de calcita, Nícoles cruzados (CP₁-1200).

Figura 8.—*Grainstone-Packstone*. *Grainstone* formado por ooides, algunos de ellos dolomitizados. *Packstone* constituido por bioclastos, algunos ooides y abundante cuarzo terrígeno. El contacto entre ambas texturas está acentuado por los estilolitos (CP₁-1404).

Escala con divisiones de medio milímetro.



dose en porcentajes muy bajos en relación a los otros componentes inorgánicos.

- Terrígenos. Los granos de cuarzo y micas son muy abundantes. Constituyen la matriz deposicional, en este caso de naturaleza mixta terrígeno-carbonatada (lám. IV, figs. 4 y 5) en la que se encuentran dispersos el resto de los componentes.
- Ooides. Presentan una estructura fibrosa-radial, y algunas envueltas concéntricas externas. La dolomitización afecta únicamente a estas partículas de forma parcial o total; en general están dedolomitizados. El tamaño de los ooides varía en un intervalo de 30 a 100 micras. En algunas zonas los ooides se encuentran constituyendo *grainstones*. En general el paso de una microfacies a otra está acentuada por superficies estilolíticas (lámina IV, fig. 8).

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los elementos características de esta microfacies son la gran abundancia de bioclastos, fundamentalmente trilobites, además de arqueociatos y fragmentos de braquiópodos. La microestructura de cada uno de estos bioclastos presenta una serie de peculiaridades que los diferencian, pero es común a todos ellos la ausencia de procesos de dolomitización.

Las secciones de trilobites tienen los bordes nítidos de microesparita, y el interior lo ocupan los cristales de calcita prismática (lám. IV, figura 5). Los elementos esqueléticos de los arqueociatos están formados por microesparita equigranular y las cavidades orgánicas están rellenas por la matriz deposicional o por cristales de calcita pertenecientes a posteriores fases de cementación (lám. IV, fig. 4).

Los bioclastos se encuentran dispersos en la matriz terrígeno-carbonatada, consistentes en general en fragmentos, lo que nos indica su carácter detrítico.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Los cristales de calcita prismática y en mosaico tapizan y rellenan las cavidades orgánicas de los bioclastos. En algunas secciones de trilobites se observa el «efecto paraguas» con la cementación de calcita prismática en poros primarios y pro-

tegidos por el propio bioclasto (lám. IV, figura 5). Además, en torno a algunos ooides y trilobites, aparece cemento fibroso.

- Reemplazamiento. Los procesos de dolomitización y dedolomitización afectan exclusivamente a los ooides, de un modo total o parcial. En este último caso los cristales ocupan la parte central del oide. Como en otros procesos de reemplazamiento descritos, los bordes de los cristales tienen gran cantidad de óxidos de hierro.

— Estructuras asociadas:

- Relleno geopetal. Las cavidades centrales de los arqueociatos presentan sedimentos geopetales, formados por matriz terrígeno-carbonatada y cemento calcítico en mosaico (lám. IV, fig. 4).
- Estilolitos. Son frecuentes los microestilolitos.
- Venas de calcita. Atraviesan los demás componentes.

Grainstones

Dentro de los *grainstones* distinguimos aquellos que están formados fundamentalmente por ooides (lámina IV, fig. 7) y que constituyen las calizas oolíticas que se sitúan en posición infrayacente a las calizas biogénicas, en la cantera CP₁. El otro tipo está constituido por peloides algales y algunos ooides, afectados por una dolomitización selectiva intensa, que constituyen las calizas bioclásticas de la cantera CP₂ (lám. IV, fig. 6).

En conjunto presentan los caracteres que a continuación detallamos:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Ooides. Presentan tamaños desde 300-800 micras de diámetro; unos tienen una estructura concéntrica y radial, mientras otros están dolomitizados (lám. IV, fig. 7), e incluso en algunos casos han sufrido una dedolomitización intensa. Son más abundantes los ooides simples, pero también hay, con frecuencia en algunas zonas, ooides compuestos.

Los ooides son los elementos fundamentales en el caso de los *grainstones* oolíticos, y aparecen de un modo esporádico en los *grainstones* peloidales.

- Terrígenos. Los granos de cuarzo se encuen-

tran dispersos, y únicamente son abundantes en el caso de los *grainstones* peloidales.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Los peloides algales son el componente principal de los denominados *grainstones* peloidales. Estos peloides se presentan en microesparita o frecuentemente dolomitizados y dedolomitizados (lám. IV, fig. 6); están asociados a restos de trilobites, hyolithidos, y algunos cálices de arqueociatos; estos bioclastos no están afectados por la dolomitización, y se presentan en calcita microcristalina.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Se observan diferentes fases de cementación dependiendo de su morfología: fibrosa, cuya génesis es submarina y se forma en la diagénesis temprana, se sitúa alrededor de los componentes deposicionales; y prismática y en mosaico, que rellenan los huecos preexistentes.

- Reemplazamiento. El proceso de dolomitización afecta de un modo selectivo a los componentes, siendo los ooides y peloides los únicos reemplazados. Los cristales de dolomita, ricos en óxidos de hierro, sustituyen parcial o totalmente los citados componentes de estos *grainstones* (lám. IV, figs. 6 y 7). En algunos casos estos elementos dolomitizados han sufrido una dedolomitización, reemplazándose la dolomita por calcita, donde las inclusiones de hierro se expulsan de la red cristalina de la calcita y quedan en los bordes de los cristales. También se han observado procesos de dolomitización no selectivos, reemplazando tanto partículas como cementos calcíticos y asimilando los granos de cuarzo detrítico que se encontraban dispersos.

— Estructuras asociadas:

- Estilolitos. Son muy frecuentes tanto en posición inter, intra como circungranular.
- Venas de calcita. En general se trata de venas de reducido espesor, que atraviesan los demás componentes de la roca.

**Cerro de Las Ermitas:
Microfacies y diagénesis**

Los diferentes tipos de microfacies identificadas en esta localidad se relacionan con las litofacies descritas anteriormente del siguiente modo:

— Calizas arrecifales:

Boundstone.

— Calizas perirrecifales y brechoides:

Wackestone-Packstone.

— Calizas micríticas y lutitas con nódulos calcáreos:

Mudstone.

Boundstones

Constituyen los materiales carbonatados de los edificios arrecifales, con un claro predominio de la flora algal sobre la fauna. Corresponden a la litofacies denominada calizas arrecifales. Estas calizas presentan una diagénesis intensa que dificulta considerablemente la identificación de los caracteres deposicionales en algunos casos.

Este tipo de *boundstone* presenta una serie de caracteres que a continuación pasamos a comentar detalladamente:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica y fundamentalmente microesparítica ya que el grado de recristalización es alto.
- Terrígenos. Los granos de cuarzo y mica se encuentran únicamente en el material lutítico insoluble de las superficies estilolíticas.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Las algas son el elemento más abundante de estos *boundstone*. En los casos en que el estado de preservación es bueno, se observan las estructuras ramificadas características del género *Epiphyton* (lám. V, fig. 1). En general las estructuras algales se presentan difusas, como consecuencia de los procesos diagenéticos, que han afectado de forma intensa este material. También se encuentran filamentos de *Girvanella* alrededor de algunos cálices de arqueociatos (lám. V, fig. 2).

Los arqueociatos se encuentran dispersos en la matriz, con un claro predominio de los cálices de la Clase Irregulares, con ejemplares tan en estado adulto como juvenil, y con abun-

dantes estolones (lám. V, fig. 3). En general los cálices son de pequeño tamaño y presentan las estructuras esqueléticas en microesparita, mientras la cavidad central e intervalo están rellenos de forma parcial o total, o de sedimento interno, o de cemento esparítico (lám. V, figura 2) con diferentes fases de cementación.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. Este proceso afecta fundamentalmente a las cavidades inter e intra-partículas, con la precipitación directa de calcita tanto en cristales prismáticos como en mosaico en aquellos espacios porosos entre las estructuras algales y las cavidades orgánicas de los arqueociatos.
- Recristalización. Este proceso neomórfico afecta intensamente tanto a la matriz como a los bioclastos (lám. V, fig. 3). Los cristales presentan una morfología muy característica: son prismáticos de 40 a 100 micras de tamaño, y crecen en posición generalmente perpendicular a superficies de naturaleza desconocida. Presentan líneas de exfoliación netas, el interior es oscuro y los bordes claros; la disposición de los cristales según la dirección de los ejes cristalinos configuran un mosaico.

Estos cristales se han interpretado como resultado de un proceso de recristalización, con una serie de características comunes a las descritas por FLÜGEL (1982, p. 85) en el caso de esparita neomórfica.

Como indicábamos anteriormente, se encuentran relleno cavidades orgánicas, lo que podría interpretarse como un cemento, pero la inclusión de impurezas de la matriz dentro de estos cristales y el conjunto de sus características, nos habla de un proceso neomórfico que parece más evidente cuando estos cristales están afectando a la matriz micrítica (lám. V, fig. 3) o alrededor de pequeños arqueociatos o estolones, con los bordes difusos y los cristales orientados preferentemente.

- Autigénesis. De un modo esporádico se encuentran cristales de cuarzo autigénico dispersos en la matriz, con inclusiones de carbonato en su interior.

— Estructuras asociadas:

- Estilolitos. Estas estructuras presentan una escala muy variada, desde tamaños milimétricos, con una disposición en red anastomosada irregular (lám. V, fig. 2) a escala micrométrica, como microestilolitos con picos de baja amplitud. Su relación con las partículas es tanto inter, intra como circungranular.

A favor de estas superficies de presión-disolución encontramos un material lutítico, compuesto fundamentalmente por detriticos finos, cuarzo y micas que constituyen el material insoluble concentrado en estas juntas estilolíticas.

LAMINA V

Figura 1. *Boundstone*. De arbustos ramificados de *Epiphyton* (CE-2401).

Figura 2.—*Boundstone*. Filamentos de *Girvanella* rodeando un arqueociato. Estructuras algales difusas e intensa estilolitización (CE-2405).

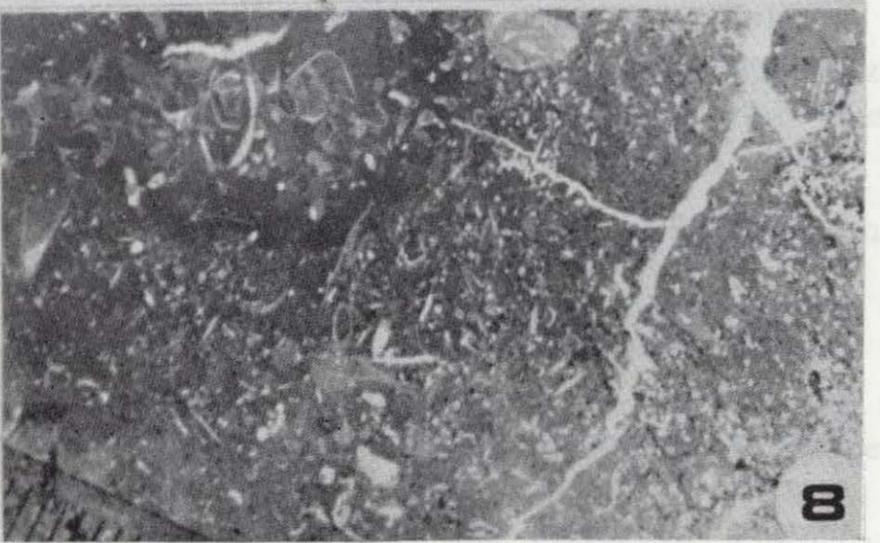
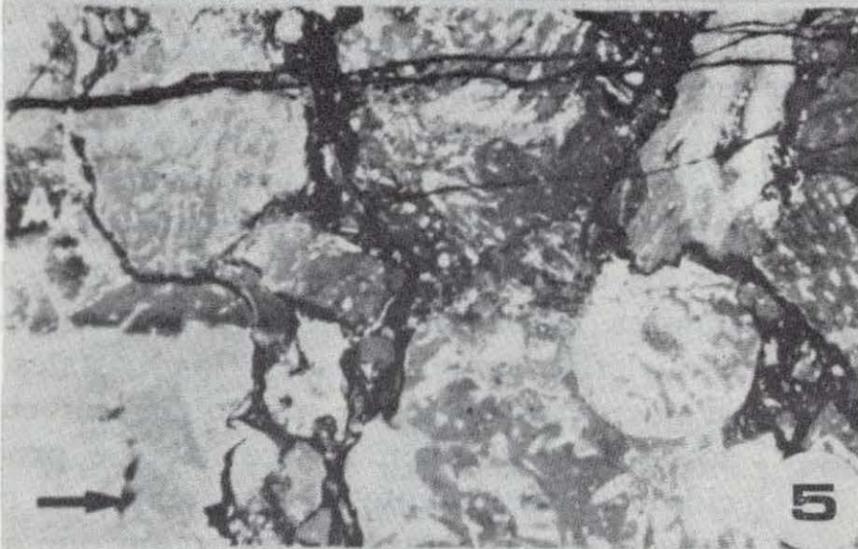
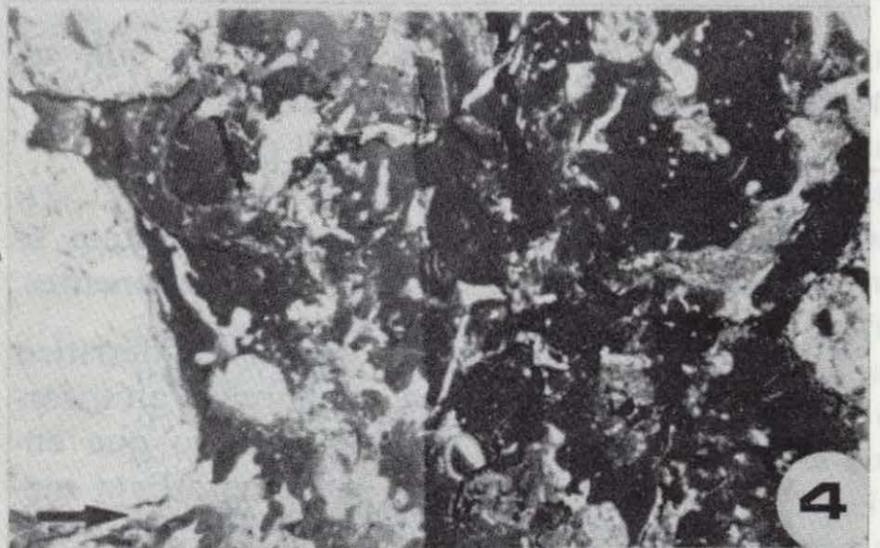
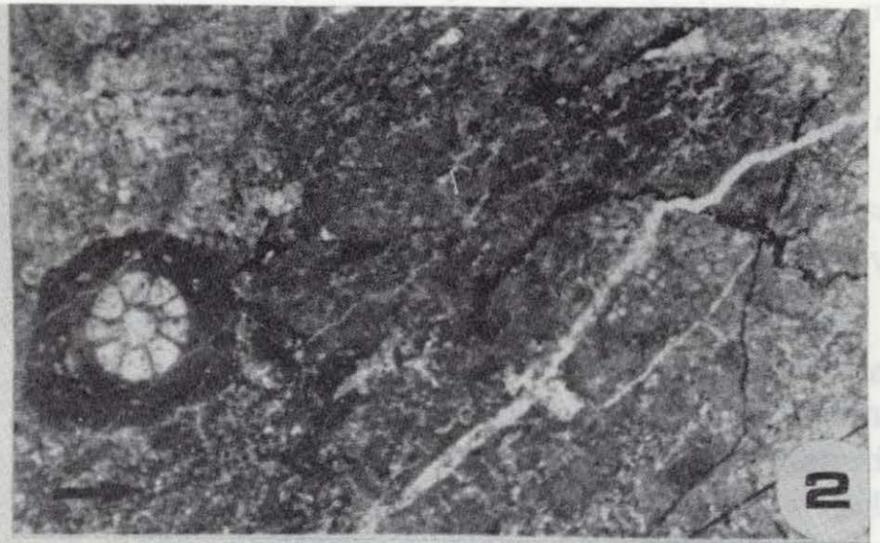
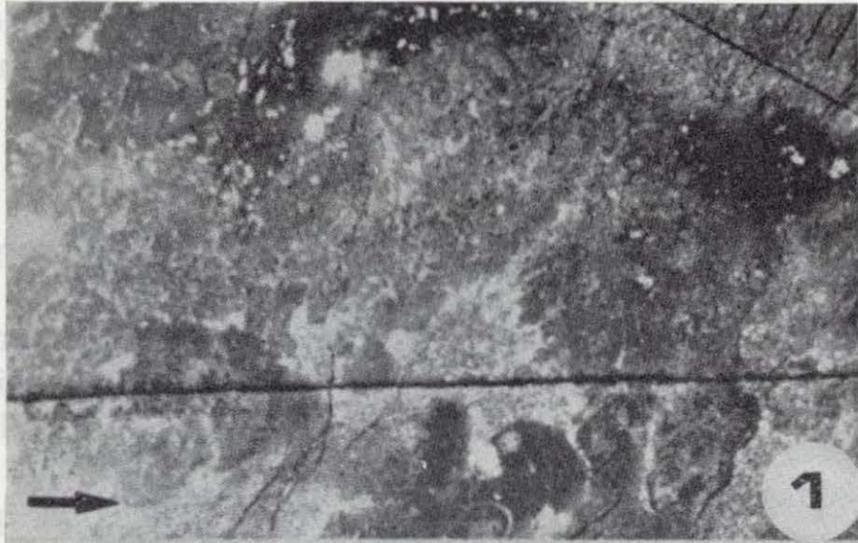
Figura 3.—*Boundstone*. Detalle de la matriz microesparítica con secciones de estolones de arqueociatos agrupados en la parte central. Obsérvense los grandes cristales prismáticos de calcita como resultado de procesos neomórficos (CE-2404).

Figura 4.—*Packstone*. De bioclastos de diversos tamaños dispersos en la matriz micrítica; cálices de arqueociatos Regulares e Irregulares con abundantes estolones, y fragmentos de estructuras porosas. Las cavidades orgánicas están cementadas por calcita en mosaico y en algunos casos con relleno geopetal. Caliza perirrecifal (CE-2304).

Figuras 5 y 6.—*Packstone*. Fenómenos de truncamiento e interpenetración de los granos esqueléticos de los nodulos. Cálices silicificados, con cristales de cuarzo autigénico (A) formando parte de las estructuras esqueléticas de forma parcial o total. Caliza brechoide (CE-2603).

Figura 7.—*Mudstone-Wackestone*, micrita homogénea con gran cantidad de granos de cuarzo detrítico y óxido de hierro. Arqueociato fragmentado e intensamente silicificado. Caliza micrítica (CE-2500).

Figura 8.—*Wackestone*, con gran cantidad de espículas de esponjas, *Chancelloria* e hyolithidos dispersos en la matriz micrítica, con abundantes granos de cuarzo detrítico (CE-2501). Escala con divisiones de medio milímetro.



- Venas de calcita. Estas venas rellenas de calcita en mosaico tienen tamaños muy variables y atraviesan el resto de los componentes de la roca. Su génesis está relacionada con los procesos de diagénesis tardía.

Wackestones-Packstones

Este tipo de microfacies es característico de las calizas perirrecifales y brechoides; ambas facies presentan aspectos texturales comunes, tales como abundancia de bioclastos con tamaños muy variables y dispersos en una matriz micrítica; y la textura nodulosa de origen diagenético.

En conjunto presentan los caracteres que comentamos a continuación:

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica homogénea en la que se encuentran dispersos los otros componentes.
- Terrígenos. Los granos de cuarzo detrítico se encuentran en una proporción alta, formando parte del material lutítico que envuelve a los «nódulos» calcáreos. Esta matriz terrígena, de color y composición muy diferente a la matriz deposicional, presenta además abundantes micas y óxidos de hierro.

— Componentes deposicionales orgánicos:

En esta facies encontramos la mayor diversidad de organismos. Son muy abundantes los cálices de arqueociatos de gran tamaño, con un claro predominio de los de la Clase Regulares, aunque también encontramos de pequeña talla, y formas de Irregulares (lám. V, figs. 4 y 5). En las brechas próximas al arrecife son más frecuentes los cálices de Irregulares, junto a estolones y estructuras algales no identificables por estar recristalizadas, además de espículas de esponjas y rosetas de *Chancelloria* (lámina V, fig. 6).

En general los bioclastos no están muy fragmentados, lo que indica que el grado de transporte es bajo, ya que los organismos se desarrollan en este ambiente perirrecifal. Sin embargo los procesos de compactación y presión-disolución han afectado intensamente al sedimento, originando lo que hemos denominado como textura nodulosa. Así observamos cómo los bioclastos se encuentran rotos, truncados, y en

algunos casos se produce una interpenetración de granos alyacentes (lám. V, figs. 5 y 6), además de la presencia de microestilolitos circungranulares.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. En general las cavidades orgánicas de los arqueociatos se encuentran rellenas de sedimento interno y/o de cemento de calcita prismática y en mosaico, originando en algunos casos rellenos geopetales. El cemento calcítico contrasta con las estructuras esqueléticas de los cálices, ya que los cristales del cemento son de mayor tamaño y más claros.
- Recristalización. Por efecto de este proceso algunas zonas de la matriz micrítica se encuentran en microesparita, generalmente relacionadas con estructuras algales, que no podemos identificar por estar recristalizadas. Las estructuras esqueléticas de los arqueociatos se presentan generalmente en microesparita equigranular, y en algunos casos, de un modo total o parcial, han sufrido una silicificación.
- Autigénesis. Como caso aislado en esta facies se observa que algunos arqueociatos presentan las murallas y septos total o parcialmente silicificados. Esta silicificación se traduce en cristales idiomorfos de cuarzo que se encuentran generalmente formando parte de los cálices pertenecientes a la Clase Regulares. Estos cálices tienen sus estructuras esqueléticas muy porosas y los cristales de la microesparita están sustituidos por cuarzo; esta sustitución parece haberse producido centrípetamente ya que afecta a la muralla externa en mayor proporción que a la interna, e incluso los septos se encuentran silicificados en las zonas más próximas a la muralla externa.

En el caso de los arqueociatos de la Clase Irregulares, presentan estructuras esqueléticas más masivas, y en general los cristales de cuarzo no sustituyen totalmente los elementos esqueléticos, y por ello coexiste la microesparita que forma la muralla, con los cristales idiomorfos de cuarzo. Este fenómeno de silicificación ha sido interpretado por otros autores (MINGARRO & LÓPEZ AZCONA, 1969 y 1973) como un «proceso sin-

genético, con la formación de cristales de cuarzo por una precipitación lenta de la sílice bajo unas condiciones hidroquímicas y fisicoquímicas muy especiales». Estos cristales de cuarzo presentan una serie de características que hemos interpretado como propias de un mineral autigénico, tales como: la forma euédral del cristal, abundantes inclusiones de carbonato dentro del cristal de cuarzo que hacen que sea fácilmente diferenciables de los granos de cuarzo detrítico. Además el tamaño de los cristales de cuarzo autigénico son considerablemente mayores que los de calcita microcristalina a la que han sustituido, formando parte de los elementos esqueléticos de los cálices.

La presencia de cristales de cuarzo en la matriz deposicional, podría interpretarse como granos detríticos, ya que se trata de cuarzoes limpios, de tamaño variado y asociado a micas; pero en otros casos la mayoría de los cristales se presentan en grupos o alineados, y no dispersos como es propio de los terrígenos; en estos casos los cristales presentan inclusiones de carbonato, bordes corroídos y en algunos, forma euédral; su disposición en grupos, y una posible relación con estructuras algales, parece indicar que se trata de zonas donde se favorece la nucleación y el crecimiento de los cristales, y por tanto se trataría de cuarzo autigénico.

El origen de la sílice implicada en estos reemplazamientos, no es fácil de determinar, podría estar relacionado con la naturaleza silíceas de espículas de esponjas, por otra parte totalmente disueltas, ya que sólo se observan espículas calcáreas. O tratarse de un proceso de silicificación cuyas condiciones favorables se dan durante la diagénesis, en un ambiente de mezcla de aguas continentales y marinas (KNAUTH, 1979).

— Estructuras asociadas:

- Estilolitos. Estos son muy frecuentes, con una disposición tanto intra, inter y circungranular. A favor de estas superficies de presión-disolución se concentra el material insoluble diferenciándose claramente de la matriz deposicional por su alto porcentaje en óxidos de hierro, cuarzo y micas. Esta

matriz terrígena rodea y envuelve a las zonas calcáreas de la roca huésped y que hemos denominado como nódulos.

La estructura nodulosa característica de estas facies perirrecifales y brechoides, es posible denominarla como «estilonodulosa» si aplicamos la nomenclatura de LOGAN & SEMENIUK (1976).

El origen de esta «textura nodulosa» es fundamentalmente diagenético, tal y como ha sido interpretada por otros autores en materiales cámbricos carbonatados de Cerdeña (GANDIN, 1979).

Así, durante la diagénesis tendríamos una superposición de dos procesos: uno tendría lugar en la diagénesis temprana con la compactación diferencial y reorganización del sedimento (KENNEDY & GARRISON, 1975), por la que se originan los nódulos. Durante un estadio diagenético más avanzado sufren una intensa modificación por los procesos de presión-disolución, con la formación de estilolitos en el material litificado y la concentración de material residual que envuelve a los nódulos con una disposición anastomosada. Esta secuencia de procesos la aceptamos para el caso de la facies de caliza perirrecifal, ya que en la brechoide, la formación de los «nódulos» sería deposicional. En este último caso se trata de brechas intraformacionales con fragmentos calcáreos angulosos, que son también afectados por los procesos diagenéticos posteriores; como los fenómenos de truncamiento e interpenetración que afectan a los granos esqueléticos (lám. V, figs. 5 y 6) y que acentúan esta textura.

Mudstones - Wackestones

Este tipo de microfacies lo presentan las calizas micríticas y los fragmentos calcáreos que se encuentran rodeados de material lutítico.

Los caracteres que los identifican se describen a continuación detalladamente.

— Componentes deposicionales inorgánicos:

- Matriz. Micrítica homogénea en la que se encuentran dispersos los demás componentes.
- Terrígenos. Los granos de cuarzo detrítico

son muy abundantes en las calizas micríticas, se presentan dispersos en la matriz, con una gran diversidad de tamaños. También se encuentran pequeños cristales de mica.

— Componentes deposicionales orgánicos:

Para el caso de las lutitas con fragmentos calcáreos, dichos fragmentos están constituidos fundamentalmente por cálices de arqueociatos, con un predominio de las formas pertenecientes a la Clase Regulares, y una gran variedad de tamaños. Estos nódulos o fragmentos presentan un alto grado de retrabajamiento, siendo frecuentes los cálices rotos y truncados.

En las calizas micríticas encontramos una gran diversidad de bioclastos. Son muy frecuentes las espículas de esponjas, rosetas de *Chancelloria*, hyolítidos y algunos arqueociatos Regulares (lám. V, figs. 7 y 8). Los restos esqueléticos de espículas e hyolítidos se encuentran en calcita, mientras que los cálices de arqueociatos presentan una silicificación total o parcial de sus estructuras esqueléticas.

— Aspectos diagenéticos:

- Cementación. En general, las cavidades orgánicas están ocupadas por sedimento interno, y sólo de un modo esporádico encontramos cementos de calcita en mosaico y prismática.
- Autigénesis. Sólo se ha observado que afecte la silicificación a los cálices de arqueociatos que se encuentran en las calizas micríticas. En la lám. V, fig. 7, los cristales de cuarzo autígeno sustituyen los elementos esqueléticos del fragmento del cáliz.

— Estructuras asociadas:

- Estilolitos. Son de pequeño tamaño. La estilolitización es más intensa en el caso de las lutitas con fragmentos calcáreos.
- Venas de calcita. Son frecuentes en los dos tipos de facies, y están claramente relacionadas con los procesos de fracturación durante la diagénesis tardía.

SINTESIS PETROLOGICA
Y SEDIMENTOLOGICA

Resumen e interpretación de los caracteres petrológicos y sedimentológicos de las canteras de Alconera

Del análisis de los diferentes tipos de facies y microfacies que encontramos en la Formación Alconera y de su distribución espacial podemos interpretar el ambiente deposicional, una vez que hemos reconocido los procesos diagenéticos que han afectado a estos materiales (MORENO-EIRIS, 1985), y expresar de un modo gráfico la historia geológica que ha transcurrido hasta nuestros días.

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 de la Formación Torreárboles.

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

En la parte inferior de este miembro se encuentran frecuentes estromatolitos, mientras que en la parte superior, donde se sitúa la cantera A_{1c}, las calizas masivas presentan estructuras algales, con una textura reticulada característica (PRATT, 1982), que le da un aspecto moteado a la roca. En las capas suprayacentes a estas calizas masivas afloran tramos de calizas laminadas, laminación originada por mallas de algas. Estos tres tipos de carbonatos diferenciados, tienen todos ellos un mismo origen cryptalgal, cuya variación estructural y textural está influenciada 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 (AITKEN, 1967) (fig. 1, 1). Estos thrombolitos están constituidos por las estructuras cryptalgales que se ramifican y anastomosan formando columnas de tamaño reducido y contorno irregular. Son estromatolitos no laminados.

La ausencia de laminación en su estructura interna no es debida a las alteraciones diagenéticas

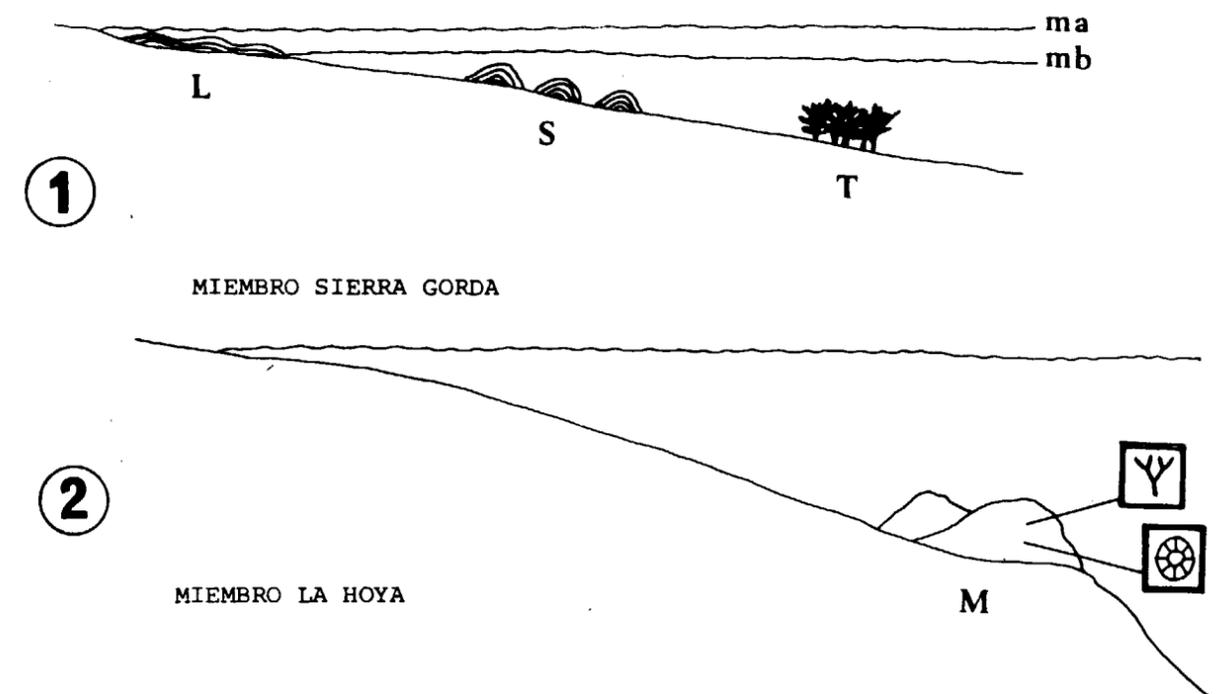


Figura 1.—Reconstrucción de la plataforma carbonatada durante la Formación Alconera.

- 1: Desarrollo de las facies algales en el Miembro Sierra Gorda. L - laminaciones cryptalgales. S - estromatolitos. T - thrombolitos.
2: Desarrollo de los montículos arrecifales en el Miembro La Hoya. M - montículos arrecifales formados principalmente por algas calcáreas y arqueociatos como elementos accesorios.

como parece indicar HOWE (1966), sino a su origen, en un ambiente submareal somero (PRATT, 1982).

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

Todos estos criterios parecen indicar que las calizas grises algales, formadas por *boundstones* cryptalgales con una textura reticulada típica de los thrombolitos que 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 iden-

tificado ejemplares pertenecientes a los géneros *Coscinocyathus*, *Aldanocyathus* y *Taylorcyathus*.

Los procesos diagenéticos que han afectado a estos materiales podemos resumirlos en:

- a) Cementación. Se inicia sobre el mismo fondo marino; esta cementación tiene como consecuencia la litificación temprana tan importante y necesaria para la formación y preservación de la textura reticulada de los thrombolitos. Esta litificación consiste en el relleno de la porosidad fenestral por sedimento interno y/o por cristales de calcita fibrosa, cuyo estado de preservación no es bueno, debido a los procesos de diagénesis posteriores que han sufrido.

En fases de cementación más tardía es posible distinguir dos generaciones: la primera de calcita prismática, y una segunda de calcita en mosaico, cuyos cristales rellenan las ca-

vidades en las últimas fases de cementación, en un ambiente freático.

- b) Reemplazamiento. El proceso de dolomitización, en general, tiene un carácter selectivo, acentuando, según los casos, la textura reticulada o laminada original. También se observa en algunas zonas procesos de dedolomitización, donde los rombos de dolomita son sustituidos por grandes cristales de calcita.
- c) Autigénesis. Los cristales de cuarzo autigénico se encuentran asociados a la matriz microesparítica, y en algunos casos están relacionados con zonas dolomitizadas, conservando en el interior de los cristales idiomorfos la dolomita, que ha sido protegida por la sílice de una dedolomitización posterior.
- d) Neomorfismo. Término que incluye los procesos de recristalización que afectan tanto a la matriz como a los componentes, llegando en algunos casos a tratarse de un proceso de gran intensidad, lo que dificulta reconocer los caracteres deposicionales del sedimento.
- e) Estilolitización y fractura. Como consecuencia de los procesos de presión-disolución de una diagénesis tardía en un ambiente de enterramiento. Las fracturas que afectan a los demás componentes se rellenan de cristales translúcidos de calcita en mosaico, en etapas más tardías (telodiagénesis).
- f) Karstificación actual. Puesta de manifiesto por la morfología de las superficies expuestas a la meteorización.

Los procesos diagenéticos enunciados se han producido en diferentes ambientes que se sucedieron a lo largo del tiempo geológico sobre estos materiales carbonatados, y cuya sedimentación se produce en un ambiente marino somero, presentan una secuencia de estadios diagenéticos caracterizados por los tipos de cementos y las texturas reconocibles (LONGMAN, 1980).

Las calizas cryptalgales del Miembro Sierra Gorda, según los datos expuestos, presentan la siguiente historia diagenética:

- Ambiente submarino, durante el cual se produce el sedimento interno y la precipitación de los cementos fibrosos que origina su litificación.
- Ambiente freático meteórico, en el que se cementan las cavidades con cristales de calcita prismática en mosaico. El proceso de dolomitización, de carácter selectivo, parece haber tenido lugar en la zona freática de mezcla de aguas dulces y marinas (FOLK & LAND, 1975).
- Ambiente de enterramiento, donde los procesos de presión-disolución actúan intensamente, como es evidente por la estilolitización y fracturación que presenta la roca, además de los procesos neomórficos con zonas de recristalización intensa.
- Exposición sub-aérea por el actual afloramiento de estas rocas, en las cuales se produce una ligera karstificación.

La sedimentación de los carbonatos del Miembro La Hoya, tuvo lugar en una plataforma en la que 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 (figura 1, 2), con una localización similar a los «fore-slope mud mounds» (WILSON, 1975).

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

En resumen, podemos enunciar la serie de caracteres que identifican a estos montículos individualmente:

- Forma externa en domo.
- Capas adyacentes de calizas de grano fino con estratificación nodular.
- Sedimento primario fundamentalmente micrítico (*mudstone*).
- Reducido número de organismos constructores.

- Bioclastos sin fragmentar ni erosionar.
- Dominio de organismos epibentónicos.
- Ausencia de bioturbación y perforación.
- Bajo contenido en terrígenos.
- Cementación temprana submarina.
- Presencia de estromatactis.
- Textura interna reticulada o laminada, reflejo de las estructuras algales.
- Porosidad fenestral, desde pequeñas cavidades hasta el desarrollo de grandes estromatactis laminados.

Los procesos diagenéticos que han afectado a los sedimentos carbonatados del Miembro La Hoya, y en especial a los montículos arrecifales, pueden resumirse en:

- a) Cementación. Con diferentes generaciones de cementos, entre los que señalamos los cristales de calcita fibrosa, prismática y en mosaico, precipitados bajo condiciones diagenéticas distintas. Asimismo, existen cristales de cuarzo autigénico que se presentan como cemento formando la última fase de cementación de las cavidades.
- b) Karstificación. Originada durante los episodios de exposición sub-aérea que tuvieron lugar durante el Cámbrico Inferior. Los montículos inferiores en la serie presentan frecuentes estructuras laminadas que rellenan grietas o cavidades de disolución cuyo origen kárstico es evidente.
- c) Dolomitización. Que afecta principalmente a la matriz y que por efecto de la dedolomitización, actualmente se presentan los rombos de dolomita reemplazados por calcita. También se encuentran rombos de dolomita dedolomitizados actuando como cemento de cavidades.
- d) Silicificación. Cristales de tamaño reducido que reemplazan y crecen sobre cristales de calcita micrítica o esparítica. Durante su desarrollo quedan incluidos residuos de carbonatos en el interior del cristal idiomorfo de cuarzo.
- e) Neomorfismo. En el que se incluyen los procesos de recristalización que afectan a la matriz micrítica, transformándose en microesparita o pseudoesparita.

- f) Estilolitización. Forma parte de los procesos de presión-disolución durante la diagénesis de enterramiento que originan un tipo de estructuras diagenéticas que hemos denominado estilolaminada y estilonodular.
- g) Karstificación actual. A causa de la exposición sub-aérea de las calizas, los montículos se encuentran colapsados y los intersticios entre los bloques están rellenos de material no consolidado.

Los ambientes diagenéticos en los que han tenido lugar los procesos anteriormente citados, se suceden en diversas etapas a lo largo de la historia diagenética. El orden que hemos establecido para enumerar los diferentes ambientes no pretende ser totalmente cronológico, aunque puede tener un cierto carácter secuencial.

- Ambiente submarino con sedimentación de limo carbonatado y precipitación de cemento fibroso en las cavidades de crecimiento y orgánicas, originando la litificación temprana del sedimento.
- Ambiente freático meteórico, con el que se podría relacionar los cementos de calcita prismática y en mosaico en sucesivas etapas de cementación. También en este ambiente y debido a un mecanismo dinámico de mezcla de aguas marinas y meteóricas, se originarían los procesos de dolomitización y silicificación (FOLK & LAND, 1975; KNAUTH, 1979). Por último, se podrían también relacionar algunos procesos de neomorfismo.
- Ambiente vadoso meteórico, en el que hemos identificado principalmente los efectos de una karstificación intracámbrica, ya que existen dichos procesos en los montículos de la parte inferior de la sucesión.
- Ambiente de enterramiento profundo, en el que las condiciones de presión-disolución van a originar una serie de estructuras diagenéticas, antes citadas, y que afectan a la textura deposicional. Otro proceso que se produce en la mesodiagénesis sería la recristalización intensa.
- Ambiente vadoso actual con fenómenos de karstificación que se manifiesta fundamentalmente en los montículos arrecifales.

Resumen e interpretación de los caracteres petrológicos y sedimentológicos de las canteras del Arroyo Pedroche

Del análisis de los diferentes tipos de facies y microfacies que aparecen en las canteras del Arroyo Pedroche se deduce que estos depósitos corresponden a ambientes de plataforma somera, con episodios de sedimentación carbonatada y terrígena, y donde se desarrollan también términos híbridos, generalmente calizas con terrígenos. Los términos terrígenos puros llegan a constituir importantes niveles de arcosas.

La sucesión, en las canteras que hemos estudiado, se inicia con lutitas aleuríticas con ripples, entre las que se intercalan algunos lentejones de calizas oolíticas. La turbulencia en el medio sedimentario aumenta y se depositan los *grainstones* oolíticos, los cuales alcanzan una gran extensión lateral y constituyen barras oolíticas («shoals»). Las condiciones del medio cambian y se desarrollan las calizas algales, formadas fundamentalmente por *boundstones* de *Renalcis* y *Epiphyton* y *Wackestones-packstones* peloidales. Estas últimas facies corresponden a zonas restringidas donde

la energía hidrodinámica es menor, lo que hace posible el desarrollo de formas ramificadas de algas calcáreas. En algunos puntos encontramos *grainstones* oolíticos relacionados con *packstones*, los cuales constituirían pequeñas barras en la zona de transición (fig. 2, 1).

El aporte de los materiales siliciclásticos, que durante la sedimentación de los carbonatos ya había sido importante, aumenta considerablemente, lo que origina el depósito de arcosas calcáreas que alternan con capas calcáreas lenticulares o de menor potencia. Estas calizas intercaladas presentan una matriz terrígeno-carbonatada con frecuentes bioclastos y algunos ooides con una textura deposicional de *grainstone*, lo que nos indica un medio de elevada turbulencia.

El porcentaje de siliciclastos sigue aumentando hacia el techo de la serie, estando los últimos términos de la parte superior formados exclusivamente por arcosas.

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 resistente al oleaje (fig. 2,2; fig. 3).

Dentro de la sucesión que aflora en el Arroyo Pedroche, también hemos identificado este tipo de textura en la base del nivel 8 (LIÑÁN et al., 1981), lo que nos indica que su formación no era un caso aislado, sino que se desarrollaban en una amplia zona.

Este tipo de textura, denominada *framework*, ha sido descrita en el Cámbrico Inferior únicamente en la Formación Poleta, Nevada (ROWLAND, 1984) y en la Formación Nebida, Cerdeña (BECHSTÄDT et al., 1985).

Los procesos diagenéticos que han afectado a los sedimentos carbonatados pueden resumirse en:

- a) Cementación. Con cristales fibrosos que rodean las partículas en los *grainstones* fundamente...

mentalmente, y cristales de calcita prismática y en mosaico que rellenan las cavidades en fases de cementación posterior.

- b) Dolomitización. Este proceso presenta en algunos casos un carácter selectivo, ya que afecta exclusivamente a ciertas partículas de forma total o parcial, como los ooides y peloides. No obstante, y en otros casos actúa como un frente de dolomitización en el que se reemplazan todos los componentes, asimilando los granos de cuarzo, que se encuentran dispersos. También se han observado cristales de dolomita que tapizan las paredes de cavidades diagenéticas, actuando por tanto como cemento.
- c) Silicificación. Los pequeños cristales idiomorfos de cuarzo sólo se encuentran relacionados con las estructuras algales esqueléticas en los *boundstones*. También se presenta el cuarzo como grandes cristales granulares que cementan algunas cavidades en la última fase de cementación.
- d) Neomorfismo. Por este proceso una gran proporción de la matriz micrítica ha recrystalizado a microesparita, así como a pseudoesparita...

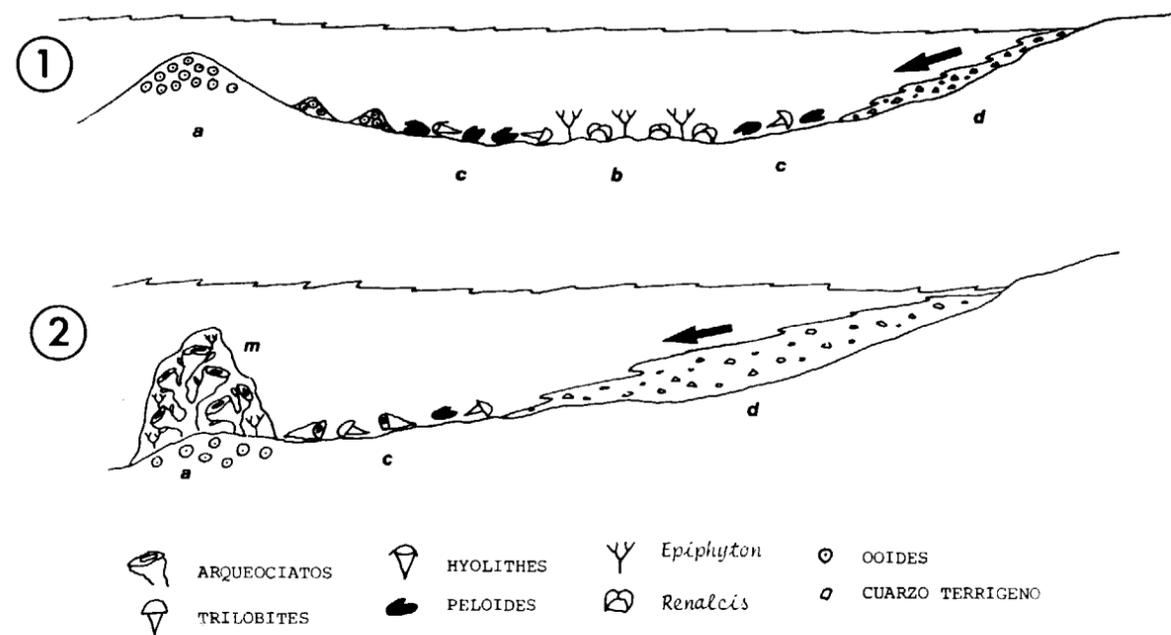


Figura 2.—Reconstrucción de la plataforma terrígeno-carbonatada en el Miembro I de la Formación Pedroche. 1: Desarrollo de barras oolíticas (a), algas calcáreas (b) y peloides algales y bioclastos (c) con aportes de terrígenos (d). 2: Desarrollo de pequeños montículos arrecifales (m) asentados sobre barras oolíticas (a) con bioclastos y peloides asociados (c) y gran aporte de terrígenos (d). Canteras del Arroyo Pedroche.

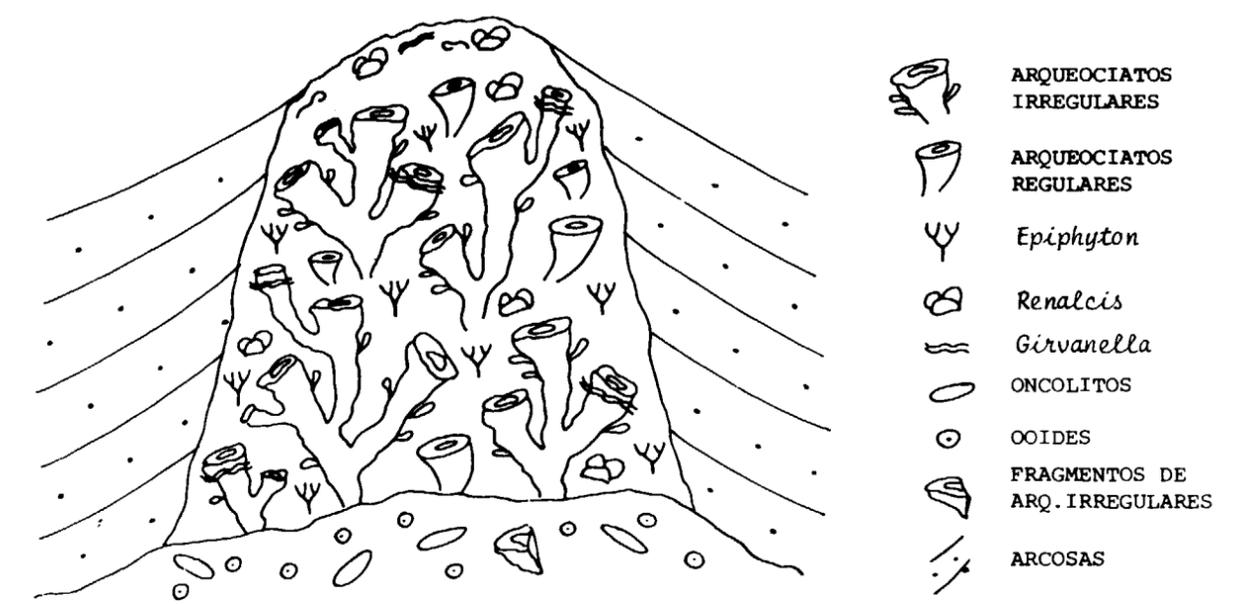


Figura 3.—Reconstrucción de los montículos arrecifales con textura *framework*, que se encuentran en el Miembro I de la Formación Pedroche en la serie del Arroyo Pedroche.

ta junto con algunos bioclastos formando grandes cristales en mosaico.

- e) Estilolitización. Este fenómeno bajo condiciones de presión-disolución sobre el material ha originado lo que en algunos casos se ha denominado textura nodulosa, ya que las superficies estilolíticas con abundantes materiales insolubles llegan a rodear porciones de carbonato.

Los procesos descritos se han producido en diferentes momentos de la diagénesis, estrechamente relacionados con los distintos ambientes en los que se han encontrado estos materiales a lo largo de su historia geológica y cuyas etapas resumimos a continuación:

- Ambiente submarino, en el que tiene lugar la diagénesis temprana, con cementación de la calcita fibrosa alrededor de las partículas de ooides y peloides que constituyen los *grainstones*, además de ocupar algunas cavidades de crecimiento de los *boundstones* junto al sedimento interno.
- Ambiente freático meteórico que se denota en todas las facies con precipitación de la calcita prismática en la porosidad primaria y la originada por la disolución de algunas partículas (porosidad móldica), como es el caso de algunas secciones de trilobites. La siguiente fase sería la cementación en mosaicos calcíticos con una morfología en drusa.

Los procesos de dolomitización y silicificación podrían haberse producido en la zona de interacción de las aguas meteóricas y marinas. En general, la dolomitización es selectiva para las facies de los *grainstones*, mientras que actúa con una textura de reemplazamiento irregular en los *boundstones*. La silicificación sólo se produce en casos muy concretos en los *boundstones*.

- Ambiente de enterramiento, bajo las condiciones de presión-disolución, tendría lugar una intensa estilolitización y fracturación (venas de calcita), y procesos de neomorfismo, en concreto la recristalización que afecta generalmente a la matriz y algunos bioclastos.

Resumen e interpretación de los caracteres petrológicos y sedimentológicos del Cerro de Las Ermitas

La gran variedad de facies que llegan a caracterizar a un complejo arrecifal es posible identificarlas en los afloramientos del Cerro de Las Ermitas. Esta diversidad de facies puede estar relacionada con el medio deposicional, que al ser somero, cualquier pequeña oscilación del nivel del mar cambia considerablemente las condiciones ambientales. Asimismo, la influencia de los edificios orgánicos en los medios sedimentarios de su entorno es también notoria.

Sobre el paleorrelieve de las andesitas de la Formación San Jerónimo (Precámbrico) se implanta una plataforma carbonatada cámbrica, con la sedimentación de depósitos carbonatados fundamentalmente de origen orgánico y episodios de terrígenos intercalados. Estos materiales cámbricos se encuentran en clara discordancia cartográfica y erosiva sobre las andesitas (LIÑÁN, 1978), por tanto se trata de una inconformidad. En esta localidad no aflora la Formación Torreárboles de naturaleza terrígena con materiales arenosos-conglomeráticos y concordantes con los depósitos de la base de la Formación Pedroche, de la que aquí trataremos.

La sucesión se inicia con el depósito de materiales terrígenos finos, lutitas con niveles conglomeráticos intercalados. Los clastos de los conglomerados provienen del substrato andesítico parcialmente erosionado (andesitas), así como de otros tipos de litologías (lutitas y cuarcitas), posiblemente procedentes de la erosión de la Formación Torreárboles infrayacente.

En este trabajo no se aborda la interpretación sedimentológica de los materiales terrígenos, no obstante por la presencia de microfósiles en los niveles lutíticos de la base de la Formación Pedroche, podemos suponer que se depositaron en un medio marino.

Los materiales calcáreos aumentan su desarrollo hacia el techo de la sucesión, y en algunos entornos se observa claramente cómo la constitución de los montículos arrecifales origina un subambiente sedimentario «sui generis», con el desarrollo de facies perirrecifales y brechoides, relacionadas íntimamente con los edificios.

Hacia el oeste del Cerro se formaron sedimentos con cierta proporción de terrígenos finos, repre-

sentados por lutitas que engloban fragmentos calcáreos, y con la presencia de abundante cuarzo terrígeno en la matriz micrítica de estos nódulos y en las calizas micríticas. La existencia de nódulos calcáreos con tamaños muy diversos de bordes angulosos y la gran cantidad de bioclastos incluidos en las lutitas, se interpreta como facies de talud, en cuyo fondo se depositan junto a los terrígenos finos, los fragmentos bioclásticos procedentes de la parte alta del talud. Estos fragmentos contienen fundamentalmente cálices de arqueociatos a veces de gran tamaño, incluidos en una matriz micrítica homogénea. Los cálices presentan las cavidades rellenas de sedimento interno o de cemento calcítico, y es muy común que estén fragmentados. Todo esto nos induce a pensar que cuando dichos clastos calcáreos se redepusieron en el fondo del talud, ya tenían un cierto grado de litificación. Por las características de los componentes bioclásticos es posible deducir su procedencia de las facies perirrecifales, donde los arqueociatos de gran tamaño son muy frecuentes.

En la sucesión encontramos calizas micríticas con abundantes restos fósiles (espículas, hyolítidos y algunos arqueociatos) interestratificados con lutitas con nódulos calcáreos. Estos dos tipos de litofacies se depositaron en el fondo del talud.

Considerando la distribución de las diferentes

facies que se suceden en el tiempo y en el espacio, hemos elaborado una reconstrucción (fig. 4), de la que se deduce que se han producido una serie de oscilaciones del nivel del mar con diferentes etapas de desarrollo arrecifal, que han determinado y caracterizado la evolución de la plataforma carbonatada. Por tanto en el área estudiada podemos detectar, al menos, tres episodios arrecifales sucesivos, con el desarrollo de cada una de sus facies adyacentes. Las líneas isócronas son difíciles de establecer, pero la ubicación de las facies del fondo del talud en posición infra y suprayacente al montículo arrecifal, nos indican oscilaciones del nivel del mar en episodios sucesivos. Los edificios coetáneos a estas facies de talud, que se deberían situar hacia el Este, no afloran actualmente.

Los procesos diagenéticos que han afectado a estos materiales presentan caracteres peculiares; algunos son procesos generalizados, mientras otros son exclusivos de un tipo de facies determinado.

- a) Cementación. Únicamente se han preservado los cementos de calcita prismática y en mosaico, que rellenan, principalmente, las cavidades orgánicas.
- b) Silicificación. Este proceso afecta exclusivamente a los cálices de los arqueociatos en las facies perirrecifal y brechoide. El cuarzo sus-

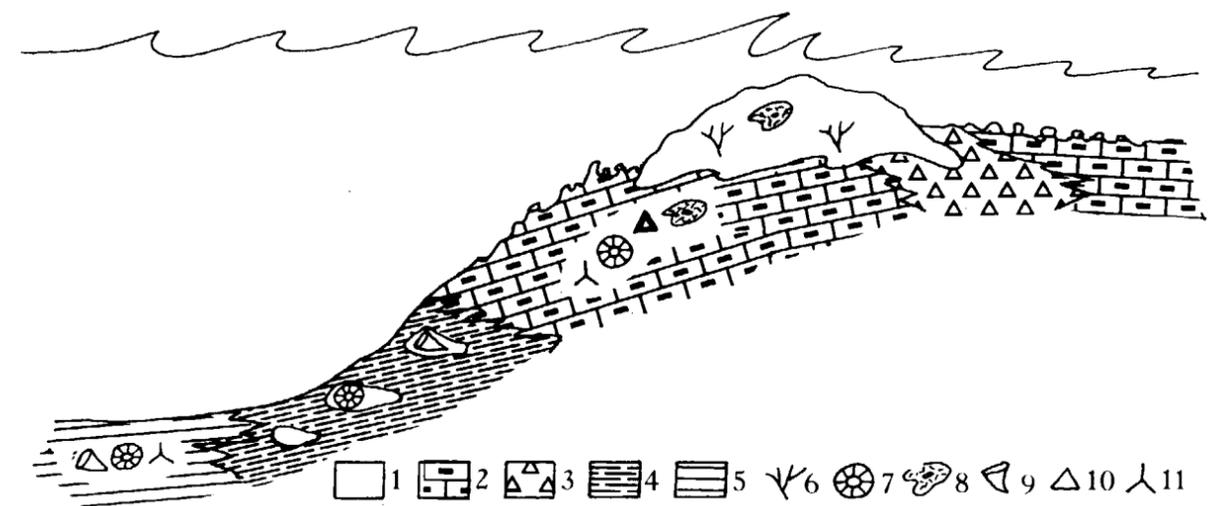


Figura 4.—Reconstrucción de la distribución de facies en el complejo arrecifal del Cerro de Las Ermitas. 1: Caliza arrecifal. 2: Caliza perirrecifal. 3: Caliza brechoide. 4: Lutitas con nódulos calcáreos. 5: Caliza micrítica. 6: Algas. 7: Arqueociatos Regulares. 8: Arqueociatos Irregulares. 9: Hyolítidos. 10: Chancellorias. 11: Espículas.

tituye de forma parcial o total las estructuras esqueléticas de los arqueociatos. De un modo esporádico se encuentran cristales idiomorfos agrupados en zonas de la matriz.

- c) Neomorfismo. Los procesos de recristalización afectan en general a todos los materiales, pero especialmente a las calizas arrecifales en donde son muy frecuentes los cristales de pseudoesparita prismática, que crecen en áreas de la matriz micrítica y también relacionados con las estructuras esqueléticas de los arqueociatos.
- d) Estilolitización. En conjunto, los procesos de presión-disolución originan una intensa estilolitización, que en algunos casos acentúa la textura nodulosa original del sedimento, como ocurre en la caliza brechoide, donde se puede observar fenómenos de truncamiento e interpenetración de los granos esqueléticos. También puede producirse una textura nodulosa diagenética, en la cual se combinen la compactación diferencial producida durante la diagénesis temprana y la formación de superficies estilolíticas marcadas por un importante residuo insoluble.

Los ambientes diagenéticos en los que se han desarrollado estos procesos son:

- Ambiente submarino, donde se produciría la litificación temprana de los sedimentos, si bien los cementos fibrosos no se han preservado.
- Ambiente freático meteórico, donde se podrían asociar los cementos de calcita prismática y en mosaico. Estos cementos generalmente ocupan las cavidades orgánicas de los arqueociatos y cavidades de crecimiento entre las estructuras algales.

El proceso de silicificación podría darse por un mecanismo de mezcla de aguas marinas y meteóricas. En este caso el proceso tiene un carácter muy selectivo ya que afecta fundamentalmente a las estructuras esqueléticas de los arqueociatos; y las condiciones favorables para la nucleación y crecimiento del cuarzo autigénico sobre estos organismos será el tema de un futuro estudio monográfico.

- Ambiente de enterramiento profundo, donde los materiales bajo condiciones de presión-

disolución se encontraron afectados por una intensa estilolitización y recristalización.

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 inestimable ayuda, así como la colaboración del Dr. J. Arribas por la lectura crítica del manuscrito. La elaboración del material fotográfico fue realizada por D. E. Martín y la mecanografía por D.^a I. Corchón.

BIBLIOGRAFIA

- AITKEN, J. D. (1967): *Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of South-western Alberta*. J. Sed. Petrology, 37, 1163-1178.
- BATHURST, R. G. C. (1980): «Stromatactis»-origin related to submarine-cemented crust in Paleozoic mud mounds. Geology, 8, 131-134.
- BECHSTÄDT, T.; BONI, M. & SELG, M. (1985): *The Lower Cambrian of SW Sardinia: From a Clastic Tidal shelf to an Isolated Carbonate Platform*. Facies, 12, 113-140.
- DUNHAM, R. J. (1962): *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol., 1, 108-121.
- EMBRY, A. F. & KLOVAN, J. E. (1971): *A Late Devonian reef tract on northeastern Banks island, N.W.T.* Bull. Can. Petrol. Geol., 19, 730-781.
- FLÜGEL, E. (1982): *Microfacies Analysis of Limestones*. Springer Verlag, 1-610.
- FOLK, R. L. (1965): *Some aspects of recrystallization in ancient limestones*. Soc. Econ. Paleont. Min. Sphec. Publ., 13, 14-48.
- FOLK, R. L. & LAND, L. L. (1975): *Mg/Ca ratio and salinity: Two controls over crystallization of dolomite*. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 59 (1), 60-68.
- GANDIN, A. (1979): *Analisi sedimentologica preliminare della parte superiore della Formazione di Gonnese e della parte inferiore della Formazione di Cabitza (Cambriano inferiore e medio della Sardegna)*. Mem. Soc. Geol. It., 20, 395-404.
- HOWE, W. B. (1966): *Digitate algal stromatolite structures from the Cambrian and Ordovician of Missouri*. J. Paleont., 40, 64-77.

- JAMES, N. P. (1978): *Facies Models 10. Reefs*. Geoscience Canada, 5 (1), 16-26.
- KENNEDY, W. J. & GARRISON, R. E. (1975): *Morphology and genesis of nodular chalks and hardgrounds in the Upper Cretaceous of Southern England*. Sedimentology, 22, 311-386.
- KNAUTH, L. P. (1979): *A model for the origin of chert in limestones*. Geology, 7, 274-277.
- LIÑÁN, E. (1978): *Bioestratigrafía de la Sierra de Córdoba*. Tesis doct. Univ. Granada, 191, 1-212.
- LIÑÁN, E.; MORENO-EIRIS, E.; PEREJÓN, A. & SCHMITT, M. (1981): *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.
- LOGAN, B. W. & SEMENIUK, V. (1976): *Dynamic metamorphism; processes and products in Devonian carbonate rocks, Canning Basin, Western Australia*. Geol. Soc. Australia Spec. Publ., 6, 1-138.
- LONGMAN, N. W. (1980): *Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments*. Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., 64, 461-487.
- MINGARRO, F. & LÓPEZ AZCONA, M. C. (1969): *Estudio pe-*

- trogénico de las calizas biohermales de Arqueociátidos*. Estudios geol., 25 (1-2), 107-112.
- MINGARRO, F. & LÓPEZ AZCONA, M. C. (1973): *Estudio por microsonda electrónica de Arqueociátidos de las «Ermitas de Córdoba» y su evolución petrogenética*. Estudios geol., 29 (5), 457-465.
- MORENO-EIRIS, E. (1985): *Internal structures of Lower Cambrian Algae-Achaeocyathid Reefs: Alconera Formation, Sierra Morena, Spain*. I. A. S. 6th Eur. Reg. Mtg. Lleida abstr., 615-617.
- MORENO-EIRIS, E. (en prensa): *Los montículos arrecifales de Algas y Arqueociatos del Cámbrico Inferior de Sierra Morena: Estratigrafía y Facies*. Bol. Geol y Min.
- PRATT, B. R. (1982b): *Stromatolitic framework of carbonate mud-mounds*. J. Sed. Petrology, 52 (4), 1203-1227.
- PRATT, B. R. & JAMES, N. P. (1982b): *Cryptalgal-metazoan bioherms of Early Ordovician age in the St. George Group, western Newfoundland*. Sedimentology, 29 (4), 543-569.
- ROWLAND, S. M. (1984): *Were there framework reefs in the Cambrian?* Geology, 12, 181-183.
- WILSON, J. L. (1975): *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer Verlag, 1-471.

Recibido: Enero 1987.