

Sedimentación de plataforma interna-externa con desarrollo de montículos en el Visense del sector central de la Sierra de la Estrella (Carbonífero, Córdoba)

Internal to external platform sedimentation with development of mud-mounds during Viséan from the central area of the Sierra de la Estrella (Carboniferous, Córdoba, Spain)

Marta RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ¹, Iván MORENO-GONZÁLEZ¹,
Sergio RODRÍGUEZ¹ y Ramón MAS²

RESUMEN

En la Sierra de la Estrella (Área del Guadiato, Córdoba) se localiza una sucesión del Visense superior, principalmente carbonatada, con desarrollo de montículos tipo *mud-mound*. En esta zona predominan calizas bioclásticas, brechoideas y bioconstruidas, aunque también se localizan niveles de areniscas y conglomerados. Se han identificado un total de 7 litofacies que agrupan a su vez a 9 microfacies tipo: 1.–*Mudstone-wackestone* con cavidades estromatactoideas y fábricas fenestrales, 2.–*Wackestone-packstone* con algas y bioclastos, 3.1.–*Packstone* de pseudopeloides, 3.2.–*Packstone* con algas, pseudopeloides y litoclastos, 4.1.–*Packstone* de briozoos y crinoideos, 4.2.–*Packstone* con algas y espículas, 5.–*Packstone-rudstone* de litoclastos, 6.–*Grainstone* de cortoides y litoclastos, 7.–Arenitas híbridas. El ambiente de sedimentación se interpreta como una zona de transición entre rampa interna y externa carbonática con influencia de terrígenos y desarrollo de montículos microbianos.

Palabras clave: Sierra Morena, Córdoba, Sedimentología, Paleontología, Montículos, Análisis Microfacial.

ABSTRACT

Late Viséan calcareous rocks containing buildups occur in the Sierra de la Estrella, Guadiato Valley. Bioclastic, breccioid and biohermal limestones as well as sandstones

¹ Depto y UEI de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas e Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

² Depto de Estratigrafía y UEI de Correlaciones Estratigráficas y Paleogeografía, Facultad de Ciencias Geológicas e Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM). Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

and conglomerates occur. Lithofacies analysis allow to identify 7 types, with 9 characteristic microfacies: 1.–Micropeloidal mudstone-wackestone with stromatactoid cavities and fenestral fabrics, 2.–Algal-bioclastic wackestone-packstone, 3.1.–Pseudopeloidal packstone, 3.2.–Packstone with algae, pseudopeloids and lithoclast, 4.1.–Bryozoal-crinoidal packstone, 4.2.–Packstone with algae and sponge spiculae, 5.–Packstone-rudstone with lithoclasts, 6.–Cortoid-lithoclasts grainstone, 7.–Hybrid sandstones. Sediments are attributed to a inner to outer carbonate ramp with sporadic terrigenous influence. Some microbial mounds developed in such environment.

Key words: Sierra Morena, Córdoba, Sedimentology, Paleontology, Mounds, Microfacies Analysis.

INTRODUCCIÓN

La Sierra de la Estrella está situada en el borde septentrional del embalse de Puentenuevo, próximo a la localidad de Espiel, en la provincia de Córdoba (Fig. 1). Se trata de uno de los numerosos bloques alóctonos de naturaleza calcárea que afloran en el Área del Guadiato (Fig. 2), y forma parte de

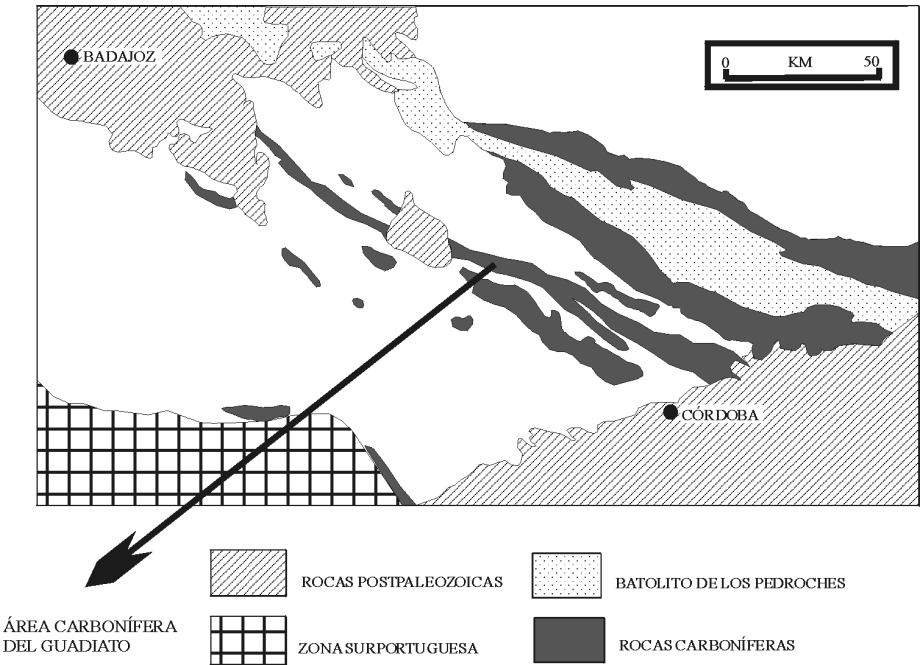


Figura 1.–Distribución general de los afloramientos del Carbonífero en Ossa Morena.
Figure 1.–Carboniferous outcrops at Ossa Morena.

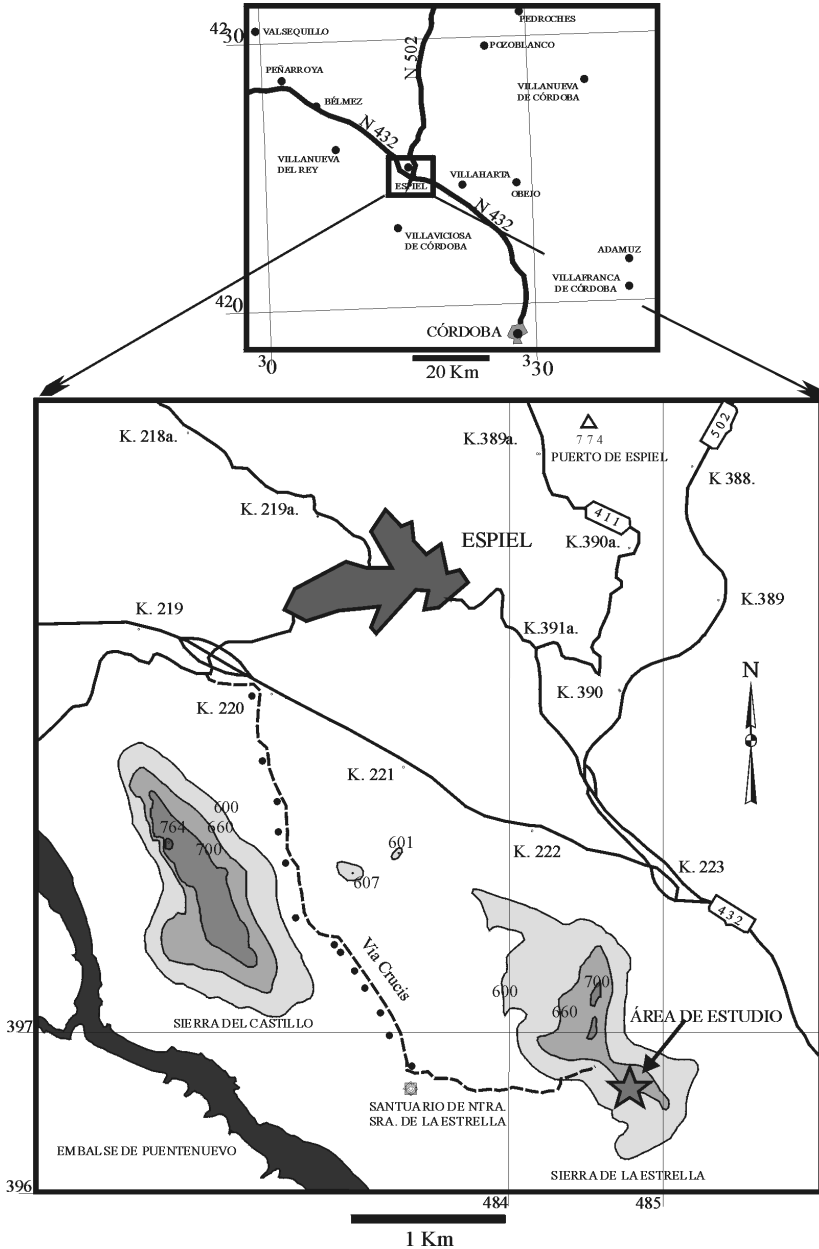


Figura 2.—Localización geográfica del área de estudio (se han representado únicamente las isolíneas de 600, 660 y 700 m en la Sierra del Castillo y en de la Estrella).
Figure 2.—Location map of the Sierra de la Estrella.

la Unidad de la Sierra del Castillo propuesta por CÓZAR & RODRÍGUEZ (1999). En la Sierra de la Estrella se encuentra una sucesión predominantemente carbonática, de edad Viseense superior, con desarrollo de bioconstrucciones de tipo *mud-mound*.

El objetivo de este trabajo es la descripción e interpretación de las principales litofacies presentes en dicha sucesión. Para ello se ha levantado una sección general (SSE 1B', Figs. 4 y 5) y tres parciales (SSE 1C', SSE 1A'a y SSE 1A'b, Figs. 4 y 6), y se ha realizado sobre un total de 134 láminas delgadas, el análisis microfacial de las muestras (siguiendo las clasificaciones de carbonatos de DUNHAM, 1962 y EMBRY & KLOVAN, 1971 y la de arenitas híbridas de ZUFFA, 1980). A partir de los foraminíferos determinados, se han podido datar las secciones como zona 15, según la escala propuesta por MAMET, 1974 (CÓZAR, *com. per.*).

El espesor de la serie en este área corresponde a unos 110 m. Las capas discurren según una dirección general E-O, y describen una ligera inflexión hacia el ENE en el sector más oriental. Los buzamientos varían entre los 70° N en la base de la ladera y los 40°-30° N hacia el techo. La sucesión, en líneas generales, está constituida por las siguientes litologías: calizas bioclásticas, calizas masivas con cavidades estromatactoideas, brechas calcáreas y conglomerados. Estas litologías aparecen interestratificadas entre amplios tramos de margas (Fig. 3).

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS FACIES

Desde el punto de vista sedimentológico, los materiales estudiados pueden agruparse en dos grandes conjuntos: **facies de naturaleza carbonática** (Facies nº 1-6) y **facies de naturaleza mixta** (Facies nº 7). La distribución de las diferentes facies puede verse en las Figs. 4-6.

A. FACIES DE NATURALEZA CARBONÁTICA

A.1. Facies nº 1

Corresponden a estratos tabulares con bases y techos generalmente planos, y con potencias que oscilan entre los 5 y los 25 cm, sin tendencia en la estratificación, en los que no se observan estructuras sedimentarias primarias de ningún tipo. Microfacialmente corresponden a *wackestone-packstone* micropeloidales con algas y bioclastos. Son bastante heterogéneas composi-

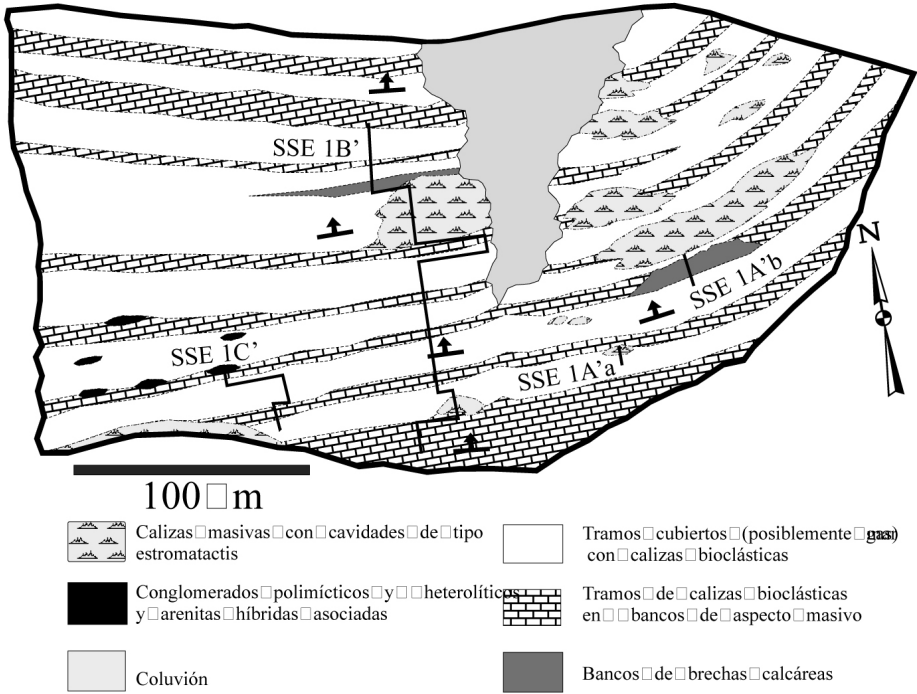


Figura 3.—Cartografía y localización de las secciones del sector estudiado en la vertiente meridional en la Sierra de la Estrella.

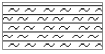
Figure 3.—Geological map and location of the sections in the southern sector of the Sierra de la Estrella.

cionalmente y muestran una relación pasta/esqueléticos variable entre 1:8 y 1:3. Las algas son el constituyente más importante, (15%-2%), siendo *Fasciella* el género más abundante (Lám. 1, Fig. 1), y presentando el resto (*Koninckopora*, *Girvanella* y *Paleoberesella*) una distribución menos generalizada. En algunas muestras hay siringopóridos con envueltas micríticas algales, corales con desarrollos incrustantes laminares de *Girvanella* y *Aphralysia*, (Lám. 1, Fig. 2). Otros constituyentes secundarios son los briozoos (1%-10%), crinoideos (1%-5%), ostrácodos (1%-2%), y braquiópodos (0%-2%), siendo los terrígenos accesorios. La matriz es micropeloidal, aunque de manera local puede existir micrita más o menos recristalizada distribuida irregularmente en parches. La microfacies, por lo general, no presenta fábricas orientadas ni granoclasificaciones y el grado de fragmentación de los esqueléticos aunque variable, es normalmente escaso.

L E Y E N D A

LITOLÓGÍA-TEXTURA

ESTRUCTURAS



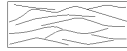
MARGAS



CAVIDADES ESTROMATACTOIDEAS



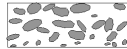
MUDSTONE



ESTRATIFICACIÓN CRUZADA TIPO HUMMOCKY



WACKESTONE



CONGLOMERADO MATRIZ-SOPORTADO



PACKSTONE

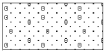


CONGLOMERADO CLASTO-SOPORTADO

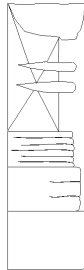


GRAINSTONE

MORFOLOGÍA-RELIEVE



ARENISCAS HÍBRIDAS



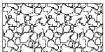
CANALES

NIVELES LENTICULARES

NIVELES TABLEADOS

BANCOS

MASIVAS



CONGLOMERADO



BRECHA CALCÁREA

Figura 4.-Leyenda de los símbolos utilizados en la representación de las columnas.
 Figure 4.-Symbols used in the profiles.

Son producto de una sedimentación tranquila, en ambiente submareal por debajo del nivel de base del oleaje, en zona fótica y salinidad normal. La presencia de bioturbación indicaría bajas tasas de sedimentación. Éstas condiciones son favorables para el desarrollo de algas calcáreas, y esporádicamente, se produciría la llegada de bioclastos procedentes de zonas próximas (bajo grado de fragmentación).

A.2. Facies nº 2

Consisten en estratos tabulares de centimétricos a decimétricos, sin tendencia en la estratificación ni relaciones erosivas entre los contactos, con ausencia de estructuras internas y por tanto de aspecto masivo. Texturalmen-

te se reconocen dos microfacies tipo: *packstone* de pseudopeloides y *packstone* con algas, pseudopeloides y litoclastos.

En la primera, el principal constituyente (30%-15%) son los pseudopeloides micríticos (FLÜGEL, 1982), con un grado de redondez variable, siendo por lo general subredondeados. Entre los fragmentos bioclásticos reconocibles, aparecen crinoideos, briozoos y ostrácodos. Los foraminíferos accesorios en otras microfacies pueden presentar valores próximos al 3%. Las algas no representan más del 6%, (talos de *Koninckopora* orientados –Lám. 1, Fig. 3, *Fasciella* y algunas masas de *Girvanella*). En algunas muestras hay cortoides y los ooides oscilan entre el 1%-10%, con morfologías irregulares, núcleos bioclásticos y microestructura radial. La presencia de terrígenos es igualmente variable (2%-12%). La microfacies presenta una fábrica finamente laminada, aunque en ocasiones puede estar truncada por bioturbación (Lám. 1, Fig. 4), siendo la selección de los componentes de buena a muy buena.

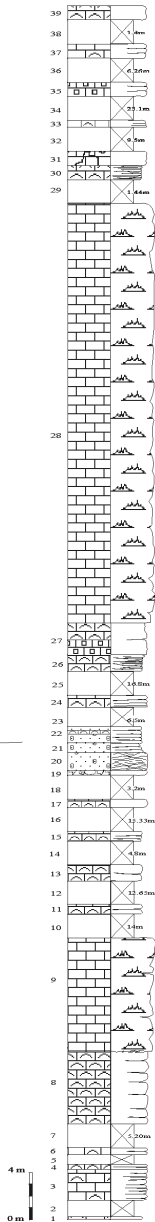
La microfacies tipo *packstone* con algas, pseudopeloides y litoclastos (Lám. 1, Fig. 4), presenta mayores porcentajes de algas (hasta un 25%). De todos los géneros presentes, *Fasciella* es el más abundante, acompañada de grandes fragmentos de *Koninckopora*, y de manera accesorias aparecen masas aisladas de *Girvanella* y *Paleoberesella* y solenoporáceas. El contenido en pseudopeloides oscila entre el 10%-25%, y presentan una abundancia inversa a la de los ooides (valor máximo del 30% y mínimo del 5%). Éstos tienen microestructura radial, con morfologías variadas, y son tanto simples como complejos. Las algas son más abundantes en la base de los estratos, mientras que los ooides lo son hacia el techo. Los cortoides no superan nunca el 5%, al igual que los granos de cuarzo que se encuentran dispersos, aunque en algunos casos se observa que disminuyen hacia el techo. Tienen hasta un 7% de litoclastos carbonáticos subangulosos (*mudstone* y *wackestone*). Entre los bioclastos, los artejos de crinoideos son los más abundantes, sin sobrepasar nunca el 10%. Las secciones longitudinales de tallos de crinoideos, *Koninckopora*, valvas de ostrácodos y de braquiópodos y el *Incertae sedis Gigasbia* (cuando aparece) están orientados (Lám. 1, Fig. 6). En ocasiones algunos bioclastos presentan micritización incipiente y algunos artejos sobrecrecimientos sintaxiales puntuales. La matriz es micrítica y está en algunos puntos parcialmente recristalizada. La relación matriz/esqueléticos puede llegar a ser de 1:4. La selección de los componentes es de moderada a buena y el empaquetamiento de normal a moderado.

La presencia de cortoides y la matriz micrítica parecen indicar un ambiente sedimentario tranquilo. La abundancia de algas y la alta diversidad hacen pensar que la sedimentación se realiza en la zona fótica y en condiciones de salinidad normal; además, la entrada esporádica de granos de cuarzo sugiere

SSE 1B'

SECCIÓN PRINCIPAL DE LA SIERRA DE LA ESTRELLA (SSE 1B')

Nivel de correlación con tramo SSE 1C' / 11



- F 1 • alternancia de facies carbonáticas alóctonas y de autóctonas de baja energía.
- F 6 • facies con evidencias de selección y clasif. hidráulica.
- F 5b • facies carbonáticas procedentes del retrabajamiento por corrientes del montículo.
- F 4 • aumento del gradiente hidrodinámico hacia el techo.
- F 3 • montículo microbiano con *Saccaminopsis* y esponjas.
desarrollo de organomicritas y de la sedimentación por decantación (tramos cubiertos margosos?).
- F 4 • alternancia de margas y facies carbonáticas autóctonas y alóctonas.
- F 7 • facies de N mixta correlacionable con Tormenta. SSE 1A'b/3
- F 4 • alternancia de margas (sedimentación normal) y facies alóctonas de naturaleza carbonática.
- F 3 • montículo microbiano con esponjas. correlacionable con SSE 1A' a
- F 2 • facies autóctonas de naturaleza carbonática.
- F 1

Figura 5.—Distribución de las facies en la sección SSE1B'.

Figure 5.—Facies distribution in the section SSE1B'.

también un ambiente abierto, próximo al litoral. La buena selección, alta fragmentación y la abundancia de pseudopeloides, presencia de intraclastos y de componentes orientados, permiten interpretarla dentro de la llanura mareal, en condiciones submareales, próximas al nivel de base del oleaje.

A.3. Facies nº 3

Litosomas métricos, con morfología biohérmica y aspecto masivo, aunque localmente pueden tener aspecto brechoideo, y con desarrollo de cavidades estomatactoides (Lám. 1, Figs. 7 y 8). Texturalmente corresponden a la microfacies tipo caracterizada como *mudstone-wackestone* micropeloidal con cavidades estromatactoides y fábricas fenestrales. La matriz micropeloidal es el componente fundamental o roca-caja (*host-rock*), siendo el resto de componentes secundarios o incluso accesorios, con una relación matriz/esqueléticos de 8:1. La matriz a menudo está perturbada por procesos de bioturbación (los *burrows* pueden representar hasta el 3%). Entre los bioclastos presentes los mayores porcentajes corresponden a briozoos, con el 5%; otros, como los crinoideos, ostrácodos, braquiópodos, espículas de esponja y foraminíferos, rara vez superan el 1%. Las algas pueden ser minoritarias o accesorias con porcentajes máximos del 4%, siendo el género *Fasciella* el más representativo y en ocasiones el único, sobre todo en los *mudstones*. Sólo aparece acompañada por fragmentos de *Koninckopora*, *Paleoberesella* y *Girvanella* en aquellas muestras con más del 13% en restos esqueléticos, en las que además, hay cantidades mínimas de terrígenos (del 1%-2% en granos de cuarzo). Otro constituyente de distribución heterogénea es el *Incertae sedis Saccaminopsis* (con valores que oscilan entre el 2%-7%, si bien, en algunas muestras pueden alcanzar rangos del 40% al 50%). Existe una serie de componentes específicos de estas microfacies que no lo son en el resto: los *pellets* fecales y los *lumps* micropeloidales. Los primeros se dan sobre todo en «*wackestone*» (aunque en pequeños porcentajes: 1%); y normalmente aparecen agrupados en puntos concretos (Lám. 1, Fig. 8). Los *lumps* micropeloidales (intraclastos subredondeados con contorno micrítico oscuro y textura interna micropeloidal, idéntica a la de la roca caja), tienen una distribución compleja: ser minoritarios con valores del 2%-5%, excepcionalmente, alcanzar rangos del 25% (en este caso la microfacies ha sido denominada como *packstone* con *lumps* micropeloidales), o pueden no estar presentes. Uno de los caracteres más llamativos en esta microfacies es el desarrollo de fábricas fenestrales configurando una red de microcavidades submilimétricas de morfologías variadas, distribuidas por la matriz micropeloidal y con la componente horizontal más desarrollada que la ver-

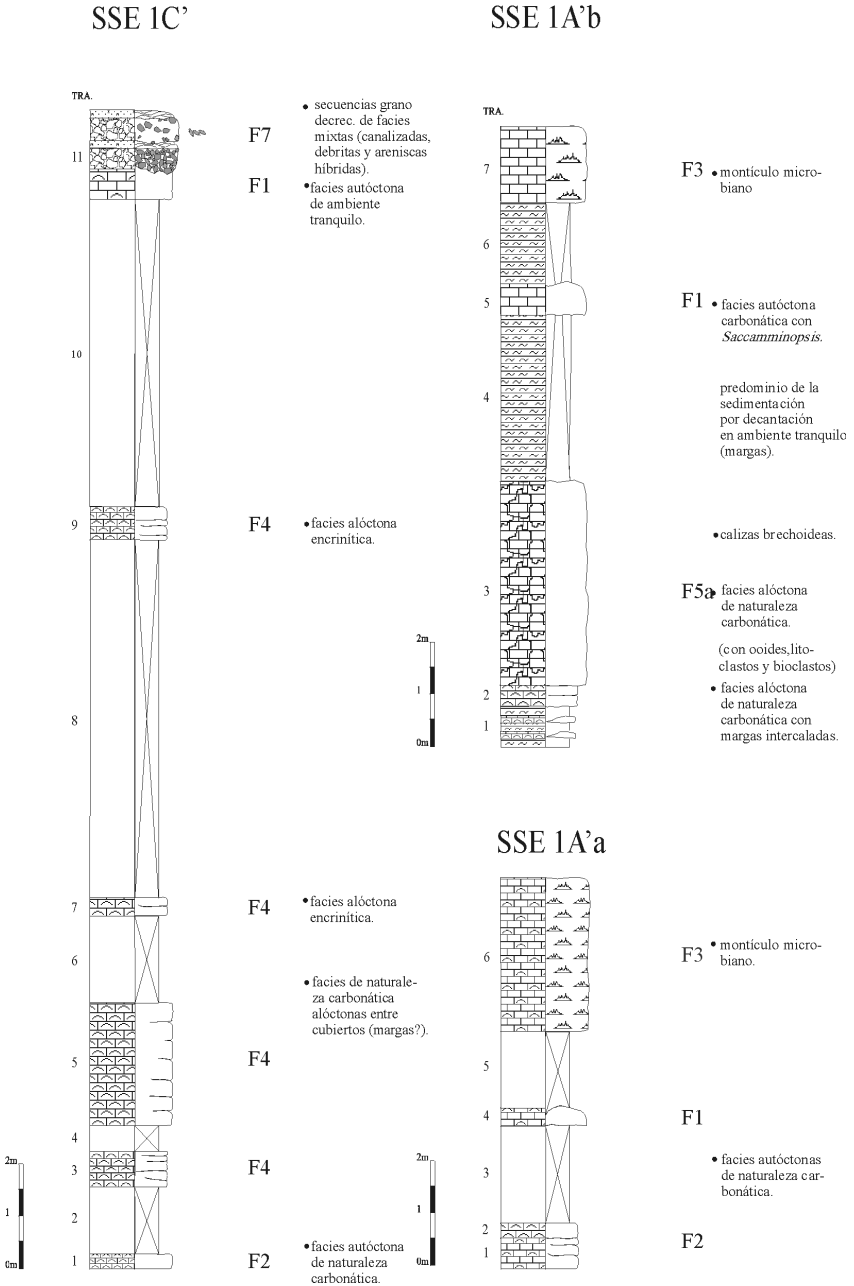


Figura 6.—Distribución de las facies en las secciones SSE1C', SSE1A'b y SSE1A'a.
 Figure 6.—Facies distribution in the sections SSE1C', SSE1A'b and SSE1A'a.

tical (Lám. 2, Fig. 1), aunque hay ocasiones en las que no se observa un patrón definido. Su orientación coincide con la superficie de acreción o de crecimiento del montículo y cuando las fenestras tienen una geometría más o menos laminar es posible determinar la polaridad a partir de ellas, si bien resulta imposible cuando son irregulares. Estas porosidades fenestroides suelen estar cerradas por mosaicos de esparita.

La estructura más característica y por la cual recibe el nombre esta modalidad tipo, es el desarrollo de cavidades de milimétricas a centimétricas de tipo estromatactis –Lám. 1, Figs. 7 y 8, (DUPONT, 1963, 1981 y 1983; LECOMPTE, 1937, y HECKEL, 1972). Estas cavidades presentan morfologías diversas, por lo general son irregulares, sin embargo, algunas de ellas, tienen una base más o menos plana, ondulada y un techo interdigitado. Pueden presentar varias fases cementantes (cementos fibroso-radiados o RFC de origen controvertido –ORME & BROWN 1963; BLACK, 1952; LEES, 1964; KENDALL & TUCKER, 1973; LOHMAN & MEYERS, 1977; KENDALL, 1985– y/o mosaicos de calcita) y tener en la base distintos tipos de relleno en relación geopetal (micrítico, peloidal, *crystal-silt*). El relleno micrítico puede presentar una fábrica completamente homogénea o, por el contrario, una finamente laminada, que a veces sólo es evidente por pequeñas variaciones en el tamaño y en las coloraciones. En algunos casos aparecen dispersos pequeños fragmentos bioclásticos (como valvas de ostrácodos –Lám. 2, Fig. 2), lo que pone de manifiesto su carácter como sedimento interno (WALLACE, 1987). Cuando el relleno es peloidal, los peloides pueden o no guardar una distribución de tamaños uniforme y en ocasiones se observan tránsitos graduales entre rellenos micríticos y peloidales.

Se interpreta como un ambiente sedimentario muy tranquilo, submareal por debajo del nivel de base del oleaje, próximo a el límite disfótico. La escasa fauna y baja diversidad puede ser indicativo de condiciones ambientales restrictivas, que unido a una baja tasa de sedimentación, favorecería el asentamiento y expansión de comunidades bentónicas microbianas, que inducirían la producción de organomicritas y darían lugar al desarrollo de montículos microbianos, con geometrías de crecimiento de biohermales a dómicas.

A.4. Facies nº 4

Calizas dispuestas en estratos tabulares, con potencias de centimétricas a decimétricas, intercalados entre amplios tramos margosos poco visibles. Generalmente no presentan estructuras internas evidentes a mesoescala, aunque pueden tener cierto bandeado producto de la concentración de bioclastos, o aparecer los niveles amalgamados y truncados unos con otros. Pueden agru-

LÁMINA 1

- Fig. 1.— *Wackestone-packstone* micropeloidal con algas; se observa la sección longitudinal de una *Fasciella* «ramificada» con envuelta externa micrítica. La matriz es heterogénea, con parches de matriz peloidal (margen inferior izquierdo) y de matriz micrítica con bioclastos.
- Fig. 2.— Muralla de un coral (margen inferior derecho) con desarrollos algales incrustantes, primero de *Aphralysia* y sobre ella de *Girvanella*.
- Fig. 3.— *Packstone* de pseudopeloides, con una sección longitudinal del talo de una *Koninckopora* bilaminada.
- Fig. 4.— *Packstone* de pseudopeloides, en el que la fábrica laminar ha sido truncada por bioturbación.
- Fig. 5.— *Packstone* con algas, pseudopeloides y litoclastos; se observan fragmentos de *Koninckopora*; las masas irregulares claras, corresponden a algas del género *Fasciella*. A la derecha aparece un ejemplar de *Tetrataxis*.
- Fig. 6.— *Packstone* con algas, pseudopeloides y litoclastos, con ejemplares de *Gigasbia* orientados y secciones transversales de talos de *Koninckopora*.
- Fig. 7.— Cuidad estromatactóidea, matriz-soportada, afectada por estilolitización. La micrita que rellena la base está recristalizada y dolomitizada parcialmente desde el estilolito hacia el techo de la cuidad. Hacia el techo, la cuidad está cerrada por mosaicos de calcita. Nótese cómo una *Fasciella* (margen superior derecho de la cuidad) condiciona la morfología del techo, que hacia la izquierda se ramifica y llega a conectarse con una cuidad adyacente.
- Fig. 8.— Estromatactis con base plana y techo interdigitado, con importante desarrollo del cemento FRC (*fibrous-radial-calcite*) en el techo. Bajo la cuidad aparecen pellets fecales concentrados y encima de éstos, pequeñas masas dispersas de sílice criptocrystalina.

Las escalas gráficas son 2 mm.

PLATE 1

- Fig. 1.— Miropeloidal wackestone-packstone with algae. Note the development of micritic coating around *Fasciella*. The matrix is heterogeneous, peloidal and micritic.
- Fig. 2.— Coral wall (right, below) consecutively encrusted by *Aphralysia* and *Girvanella*.
- Fig. 3.— Pseudopeloidal packstone with longitudinal section of bilayered *Koninckopora*.
- Fig. 4.— Pseudopeloidal packstone. The primary laminar fabric has been modified by bioturbation.
- Fig. 5.— Packstone with algae, pseudopeloids and lithoclasts. Note the fragments of *Koninckopora*, *Fasciella* and a specimen of *Tetrataxis* (right).
- Fig. 6.— Packstone with algae, pseudopeloids and lithoclasts, with oriented specimens of *Gigasbia* and cross sections of *Koninckopora*.
- Fig. 7.— Matrix-supported stromatactoid cavity, partially stylolitized. The filling is partially neomorphosed and dolomitized. The cavity is closed by calcite mosaics. Note a *Fasciella* (upper right margin) supporting partially the cavity roof and connexion of the cavity with adyacent one.
- Fig. 8.— Stromatactis with smooth floor, interdigitated roof and development of fibrous-radial calcite. Faecal pellets and dispersal masses of cryptocrystaline quartz occur below the cavity.

Scale bars are 2 mm.

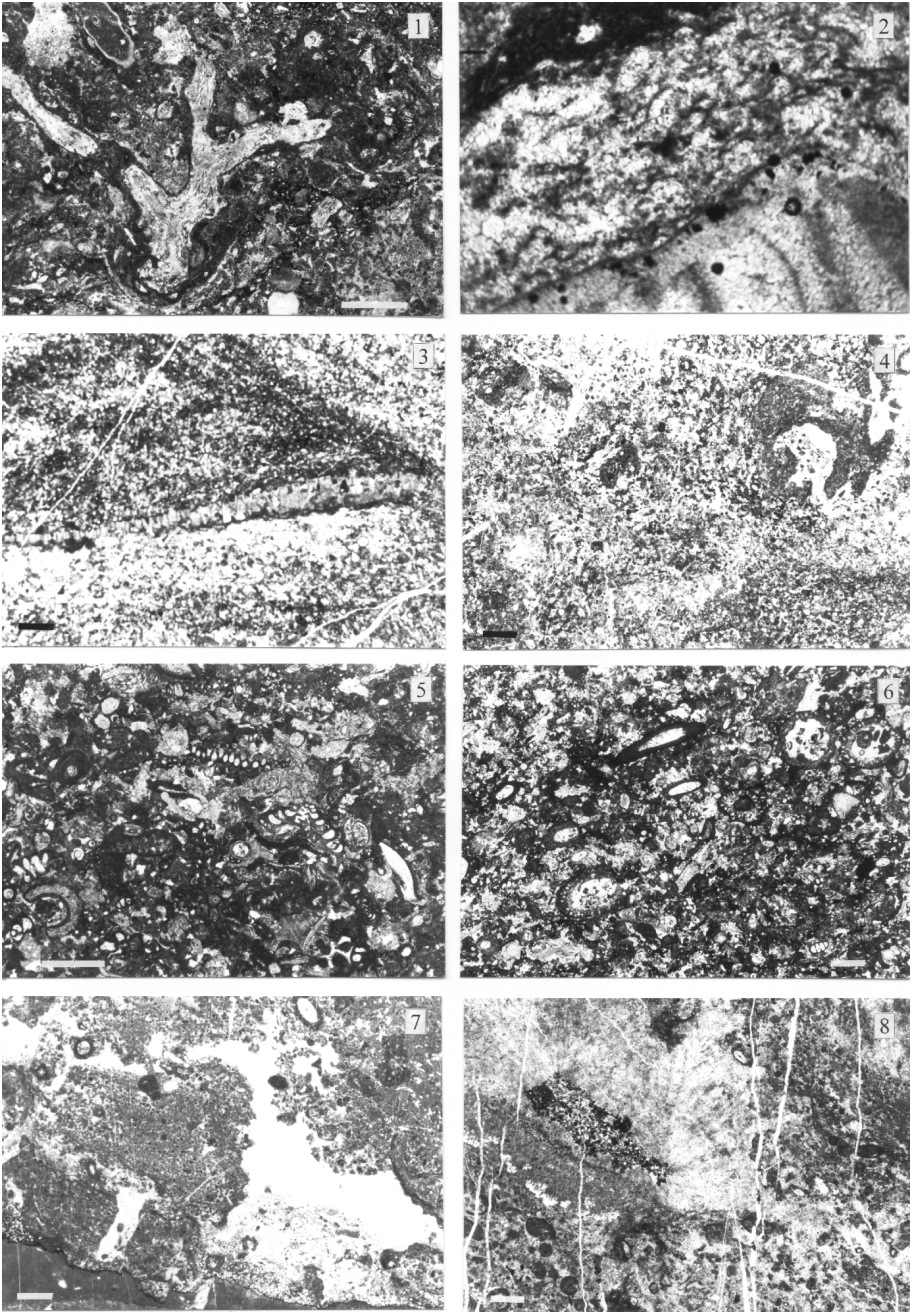


LÁMINA 1

parse en dos de las microfacies tipo establecidas: *packstone* con algas y espículas y *packstone* de crinoideos y briozoos.

La primera se caracteriza por la alternancia de bandas o láminas micríticas y otras bioclásticas (Lám. 2, Figs. 3, 5 y 6), en las que las espículas y algas calcáreas presentan porcentajes mínimos del 10% (el alga mayoritaria es *Fasciella*; las ungdarelláceas son también abundantes, mientras que *Paleoberesella* es esporádica. En el resto de componentes esqueléticos los porcentajes son más aleatorios: briozoos y crinoideos (5%-20%), braquiópodos y ostrácodos (de accesorios hasta el 5%), y los bivalvos, gasterópodos y foraminíferos aparecen siempre de forma accesoria. Un aspecto muy significativo es la casi total ausencia de terrígenos, que nunca sobrepasan el 2%, e igualmente, el contenido en litoclastos carbonáticos no llega al 2%.

En las muestras sucesivas tomadas dentro de un mismo tramo e incluso dentro de cada nivel se observa que la relación pasta/esqueléticos varía de base a techo en términos de 1:3, 1:1, 2: 1. La secuencia general es granodecreciente, comienza con una base bioclástica (Lám. 2, Fig. 4), con fábrica caótica y empaquetamiento denso, que da paso de forma gradual a una alternancia de bandas micríticas con fragmentos bioclásticos pequeños y láminas con bioclastos orientados (espículas –Lám. 2, Fig. 6, algas, braquiópodos bivalvos, ostrácodos –Lám. 2, Fig. 5, trilobites). Hacia el techo las bandas micríticas van siendo cada vez más abundantes, llegando a desarrollarse texturas micropeloidales con bioclastos dispersos y bioturbación de tipo *burrows* (Lám. 2, Fig. 4).

Esta microfacies presenta una asociación de faunas típica de ambiente marino abierto, con circulación y salinidad normal. La mezcla heterogénea de componentes (espículas, algas, crinoideos, trilobites, etc.), así como la naturaleza fragmentada de los mismos, unido a la presencia de litoclastos carbonáticos producto del retrabajamiento del sustrato, y a la disposición en bandas alternas bioclásticas y micríticas, hacen pensar que se trate de una sedimentación en condiciones energéticas alternantes que provocan la fracturación y redeposición de los bioclastos y posterior infiltración-decantación de la micrita, por el retrabajamiento de tormentas. La ausencia de *ripples* de oscilación, así como de estratificaciones cruzadas de tipo *hummocky*, la escasa potencia de las capas, así como el hecho de que éstas aparezcan intercaladas en tramos de margas y la presencia de bioturbación en los términos micríticos (*post-event colonisation*), permite interpretarlas como facies retrabajadas por flujos relacionados con tormentas (*distal storm flows*).

En la microfacies *packstone* de crinoideos y briozoos, las proporciones de ambos componentes son variables; predominando los briozoos en unos casos (56%-25%, Lám. 2, Fig. 7) y los artejos de crinoideos en otros (70%-20%, Lám. 2, Fig. 8). La fábrica es caótica sin granoclasificaciones ni orientacio-

nes de ningún tipo, y con marcada bimodalidad, superando la fracción gruesa los 2 mm. La fracción fina está formada por una mezcla de zoecias, fragmentos pequeños de crinoideos y otros bioclastos (braquiópodos, ostrácodos, foraminíferos, radiolas, trilobites, etc.), granos de cuarzo dispersos (con valores medios del 5% y excepcionalmente del 15%), pseudopeloides e intraclastos (1%-2%). Los artejos de crinoideos generalmente están «limpios», aunque ocasionalmente pueden tener *microborings*, sobrecrecimientos sintaxiales, o halos externos de alteración por compactación. Las algas más comunes son las ungdarelláceas (rara vez aparece *Fasciella*), representando porcentualmente el 1%-3% del contenido total.

Se han descrito depósitos similares constituyendo las facies de flanco de montículos de distintas clases, pero en la zona de estudio, no están relacionados con los *mud-mounds* y en ocasiones ni tan siquiera están próximos a ellos. También han sido interpretados como barras submareales, depositadas en «altos relativos», en aguas someras agitadas (HAGDORN 1978, en AIGNER 1985), pero en la litofacies no hay evidencias de que la sedimentación se realizara próxima al nivel de base del oleaje, ni presentan las estructuras, geometrías, ni las secuencias típicas de este tipo de depósitos. Por su organización caótica, y alto grado de fragmentación, constituirían facies resedimentadas bioclásticas procedentes de la destrucción de depósitos autóctonos (praderas de crinoideos) de zonas próximas.

A.5. Facies nº 5

Corresponden a brechas calcáreas dispuestas en bancos tabulares con bases y techos de morfología irregular, potencia variable (de 1-4m), y escasa continuidad lateral. Se trata de depósitos caóticos, sin organización interna alguna, constituidos por litoclastos heterométricos (de centimétricos a decimétricos), y por bioclastos (fragmentos de esponja, corales, tallos de crinoideos...). Esta litofacies aflora en dos puntos concretos dentro de la sucesión estratigráfica (facies F5a y F5b de las secciones SSE 1A' y SSE 1B' respectivamente, Figs. 5 y 6). La litofacies F5a se relaciona lateralmente con la litofacies F7 (Fig. 3), mientras que F5b corresponde a un tramo suprayacente al mayor de los montículos de la sección SSE 1B'. Texturalmente se engloban dentro de la microfacies tipo *packstone-rudstone* de litoclastos (Lám. 3, Figs. 1-4). En F5b, los litoclastos poseen la microfacies tipo *mudstone-wackestone* micropeloidal (Lám. 3, Figs. 3 y 4), mientras que en F5a, presentan una amplia variación tanto textural, como composicional. El porcentaje de litoclastos puede superar el 30%. Los ooides (1%-5%) sólo están presentes en F5a, formando también parte de litoclastos (*packstone* con ooli-

LÁMINA 2

- Fig. 1.—Matriz peloidal fina con desarrollo de fábrica fenestral laminar y fenestral irregular.
- Fig. 2.— Cavity rellena con sedimento interno, de naturaleza micrítica, con pequeños fragmentos bioclásticos entre los que se reconocen valvas de pequeños ostrácodos.
- Fig. 3.— Banda bioclástica con secciones longitudinales, transversales y oblicuas de espículas de esponja. Éstas aparecen irregularmente distribuidas por toda la banda.
- Fig. 4.— *Packstone* con crinoideos, algas y otros bioclastos, obsérvese el tránsito gradual desde la base bioclástica gruesa, que va pasando hacia el techo a una zona con mayor contenido en micrita y en donde los fragmentos bioclásticos son de menor tamaño.
- Fig. 5.— Alternancia de bandas micrítico-bioclásticas. En la central se concentran valvas desarticuladas de braquiópodos, ostrácodos y hacia el margen superior izquierdo, aparecen gasterópodos.
- Fig. 6.— *Packstone* con algas y espículas de esponjas. Puede verse una banda en la que se concentran las espículas. Sobre dicha banda, la matriz pasa a ser peloidal y la fábrica ha sido parcialmente destruida por procesos de bioturbación.
- Fig. 7.— *Packstone* de briozoos y crinoideos, prácticamente constituida por fragmentos de briozoos fenestéllidos. Los fragmentos grandes de briozoos están parcialmente silicificados.
- Fig. 8.— *Packstone* de crinoideos y briozoos con grandes tallos todavía articulados de crinoideos. Obsérvese la fábrica caótica y el elevado empaquetamiento.
- Las escalas gráficas son 2 mm.

PLATE 2

- Fig. 1.— Laminar and irregular fenestral fabric developed in a fine peloidal matrix.
- Fig. 2.— Cavity with internal sediment filling containing broken ostracods.
- Fig. 3.— Bioclastic band with sections of sponge spiculae irregularly distributed.
- Fig. 4.— Packstone with crinoids, algae and bioclasts. Note the gradual reduction of bioclasts.
- Fig. 5.— Alternating micritic-bioclastic layers with brachiopods, ostracods and gastropods.
- Fig. 6.— Packstone with algae and sponge spiculae. Note the layer having densely packed sponge spiculae and micritic matrix changes to peloidal matrix with bioturbation.
- Fig. 7.— Bryozoan-crinoidal packstone mainly composed of fenestellid bryozoans. Some bryozoan are partially silicified.
- Fig. 8.— Bryozoan-crinoidal packstone with large crinoidal stem fragments. Note the chaotic fabric and dense packing.
- Scale bars are 2 mm.

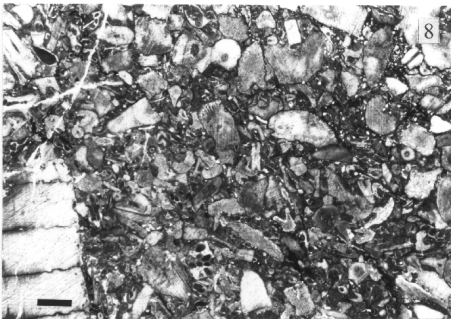
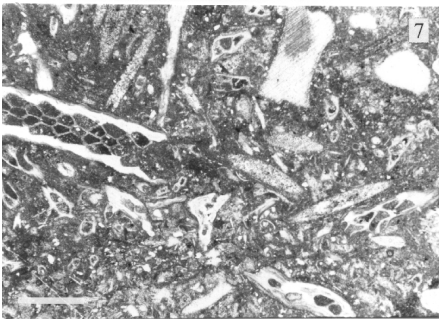
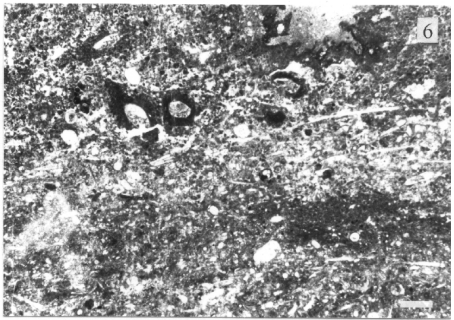
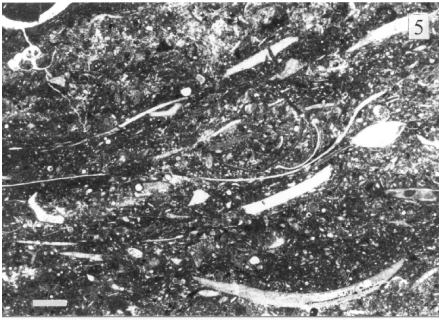
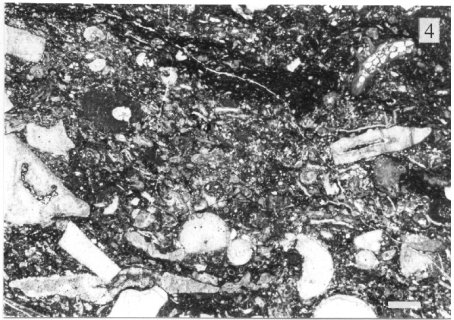
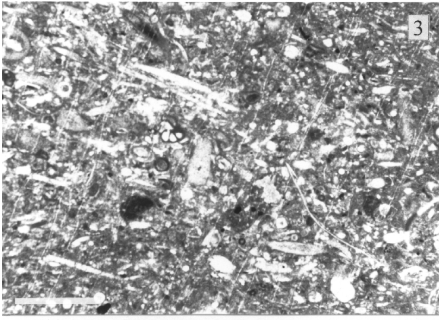
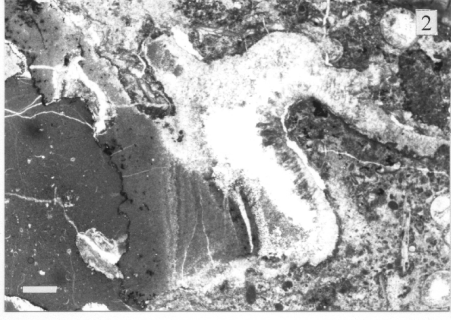
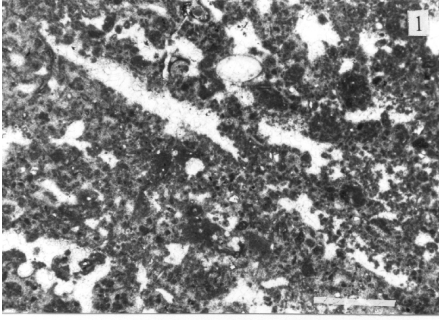


LÁMINA 2

tos, Lám. 3, Fig. 2). Los bioclastos tienen una distribución heterogénea: briozoos (2%-6%), crinoideos (30%-5%). Los braquiópodos, ostrácodos y foraminíferos son secundarios e incluso accesorios en alguno de los casos, con valores máximos del 5%, 2% y del 3%, respectivamente. Las espículas al igual que los fragmentos de trilobites, son accesorios. Las algas en general ocupan el tercer y cuarto lugar en abundancia, tras los litoclastos, crinoideos y briozoos, alcanzando a veces hasta el 12%, y por término medio el 5-6%. De todas es *Fasciella* la más abundante, seguida de las ungdarelláceas, mientras que *Girvanella* y *Paleoberesella* son raras. El contenido en granos de cuarzo no es significativo, con valores máximos del 5%, aunque lo normal es que oscile entre el 1%-2%.

Las litofacies F5a, son facies de resedimentación, producto del retrabajamiento de depósitos autóctonos de procedencia y localización diversa en la plataforma (como se ve por la variación textural de los litoclastos), que son transportados por flujos de alta densidad (tipo *debris*) e interestratificados en margas. Esto, unido a la ausencia de estructuras debidas a oleaje, permite interpretar que el depósito se produce por debajo del nivel de base del oleaje, en ambiente submareal.

En las litofacies F5b, los litoclastos proceden de la erosión superficial del montículo (SSE 1B'28) por corrientes durante periodos relacionados con tormentas. Durante el corto transporte (hacia los márgenes del montículo), se incorporarían aquellos organismos como esponjas, crinoideos, corales, que de manera puntual podían habitar en la superficie del montículo.

A.6. Facies nº 6

Aflora como estratos tabulares, centimétricos, con contactos netos, y sin tendencia en la pauta de estratificación, intercalados en tramos margosos poco visibles, y textural y composicionalmente están representados por la microfacies tipo *grainstone* de litoclastos y cortoides. El contenido en litoclastos puede llegar hasta el 40%. Los intraclastos carbonáticos con texturas *mudstone* y *wackestone* son mayoritarios, y los fragmentos de cuarzoarenita son accesorios, sin llegar nunca a superar el 1%. El segundo componente principal son los cortoides, que alcanzan porcentajes del 20% sobre el total de la muestra. Los oolitos varían entre el 1%-10%; en las muestras con un mayor porcentaje de oolitos se observa que la mayoría mantienen una relación corteza/núcleo de 1/2, es decir, que predominan los superficiales. Los núcleos de los mismos son bioclásticos (fragmentos de *Koninckopora*, briozoos, braquiópodos, crinoideos) y la microestructura radial. Los hay simples y complejos, aunque estos últimos se encuentran en bastante menor propor-

ción. El resto de los componentes son accesorios (foraminíferos, ostrácodos, trilobites, bivalvos, gasterópodos –Lám. 3, Fig. 5), a excepción de los crinoideos, con valores medios del 5%. Las algas no sobrepasan nunca el 2%, siendo *Koninckopora* el género más abundante y *Fasciella*, accesorio. La fábrica presenta una ligera laminación grosera con algún bioclasto imbricado y hacia el techo adquiere una organización en bandas oblicuas con granoclasificación, alternándose láminas de grano grueso que gradualmente pasan a grano fino (Lám. 3, Fig. 6). La selección es de moderada a buena y el empaquetamiento normal.

La mezcla de componentes de registro energético variado (cortoides, braquiópodos, fragmentos de trilobites, ostrácodos, algas), la presencia de lito-clastos procedentes de la erosión, retrabajamiento del sustrato, la buena selección y la organización o granoclasificación positiva (patente a microescala), hace pensar que se trate de depósitos bioclásticos seleccionados y organizados hidráulicamente, y transportados mediante corrientes tractivas de alta energía.

B. FACIES DE NATURALEZA MIXTA (FACIES N° 7)

Son facies heterolíticas (intraclastos carbonáticos, oolitos, fragmentos de cuarzoarenitas y micaesquistos, granos de cuarzo y bioclastos) y heterométricas (desde tamaño arena hasta conglomerático –centil 13 cm). En el sector occidental (columna SSE 1C', Fig. 6), corresponden a conglomerados polimícticos con bases erosivas canalizadas en unos casos, y planas o ligeramente onduladas en otros. Texturalmente pueden ser clasto-soportados sin organización interna o matriz-soportados con granoclasificación inversa y cantos imbricados. Aparecen interestratificados con niveles de arenitas híbridas (ZUFFA, 1980), que presentan laminaciones oblicuas truncadas. Lateralmente, en el sector central (columna SSE 1B', Fig. 5), los conglomerados desaparecen y dan paso a un potente banco de arenitas híbridas con estratificación cruzada de tipo *hummocky* (HCS), sobre el que se dispone una alternancia de niveles de arenitas y margas en una secuencia grano y estratodecreciente. El análisis petrográfico de las muestras de arenitas revela que los granos de cuarzo (1%-25%) aparecen distribuidos de forma heterogénea, dispersos o bien concentrados en láminas. Entre los fragmentos de roca, hay clastos subredondeados de cuarzoarenitas (algunos superan los 2 mm) en porcentajes máximos del 20% y mínimos del 3% (Lám. 3, Fig. 7), y de micaesquistos (del 7% al 30%, Lám. 3, Fig. 8). Debido a la intensa compactación y a su comportamiento más dúctil, lábil, algunos de éstos se encuentran totalmente deshechos, constituyendo una pseudomatriz grosera. Los oolitos alcan-

LÁMINA 3

- Fig. 1.— *Packstone* de litoclastos carbonáticos y bioclastos, la compactación dificulta el reconocimiento de los contornos originales (margen superior izquierdo).
- Fig. 2.— *Packstone* de litoclastos carbonáticos y bioclastos. En la foto aparece un gran litoclasto que texturalmente corresponde a un *packstone* con ooides y bioclastos. La matriz está parcialmente dolomitizada.
- Fig. 3.— *Rudstone* con fragmentos de caliza «bioconstruida» superiores a 2 mm, artejos de crinoideos y una gran colonia masiva de briozoos, incrustada en un bioclasto. Obsérvese el carácter micrítico-bioclastico de la matriz y la fábrica caótica.
- Fig. 4.— *Rudstone* con fragmentos de esponja (a la derecha en la foto). Se observan las espículas embebidas en una «masa esparítica» con peloides irregularmente distribuidos.
- Fig. 5.— *Grainstone* de litoclastos y cortoides. Puede verse la sección de un gran gasterópodo totalmente recrystalizado y un oide también de gran tamaño (más de 1mm) en el margen izquierdo.
- Fig. 6.— *Grainstone* de litoclastos y cortoides donde se pone de manifiesto la grano-clasificación en bandas alternas y la orientación de bioclastos y fragmentos de *Koninckopora*.
- Fig. 7.— Arenita híbrida; los fragmentos de cuarzoarenita son abundantes, algunos de ellos presentan tamaños superiores a los 2 mm, también son abundantes los granos de cuarzo y los litoclastos carbonáticos. El empaquetamiento varía de normal a denso y la selección es regular.
- Fig. 8.— Arenita híbrida con abundantes fragmentos de roca metamórfica y ooides superficiales. Los contornos de alguno de los fragmentos de roca metamórfica resultan casi irreconocibles, por el efecto de la compactación mecánica.
- Las escalas gráficas son 2 mm.

PLATE 3

- Fig. 1.— *Packstone* with lithoclasts and bioclasts. The contacts between intraclasts are diffuse as result of mechanical compactation.
- Fig. 2.— *Packstone* with lithoclasts and bioclasts. Note the large oolitic-bioclastic lithoclast (left) and the partially dolomitized matrix.
- Fig. 3.— *Rudstone* with micropeloidal lithoclasts, crinoidal plates and massive bryozoans. Note the micritic-bioclastic matrix and the chaotic fabric.
- Fig. 4.— *Rudstone* with sponge fragments (right). Note the sponge spiculae embedded in peloidal microsparitic matrix.
- Fig. 5.— Cortoid-lithoclast *grainstone*. Note presence of ooids and recrystalized gastropods.
- Fig. 6.— Cortoid-lithoclast *grainstone* with graded alternating layers. Note oriented bioclasts and *Koninckopora* sections.
- Fig. 7.— Hybrid sandstone, quartz-sandstone, quartz grains and carbonate lithoclasts are common. It shows medium to dense packing and bad to moderate selection.
- Fig. 8.— Hybrid sandstone, micaschist grains and superficial ooids are common. Mechanical compaction difficult to recognize primary contacts.
- Scale bars are 2 mm.

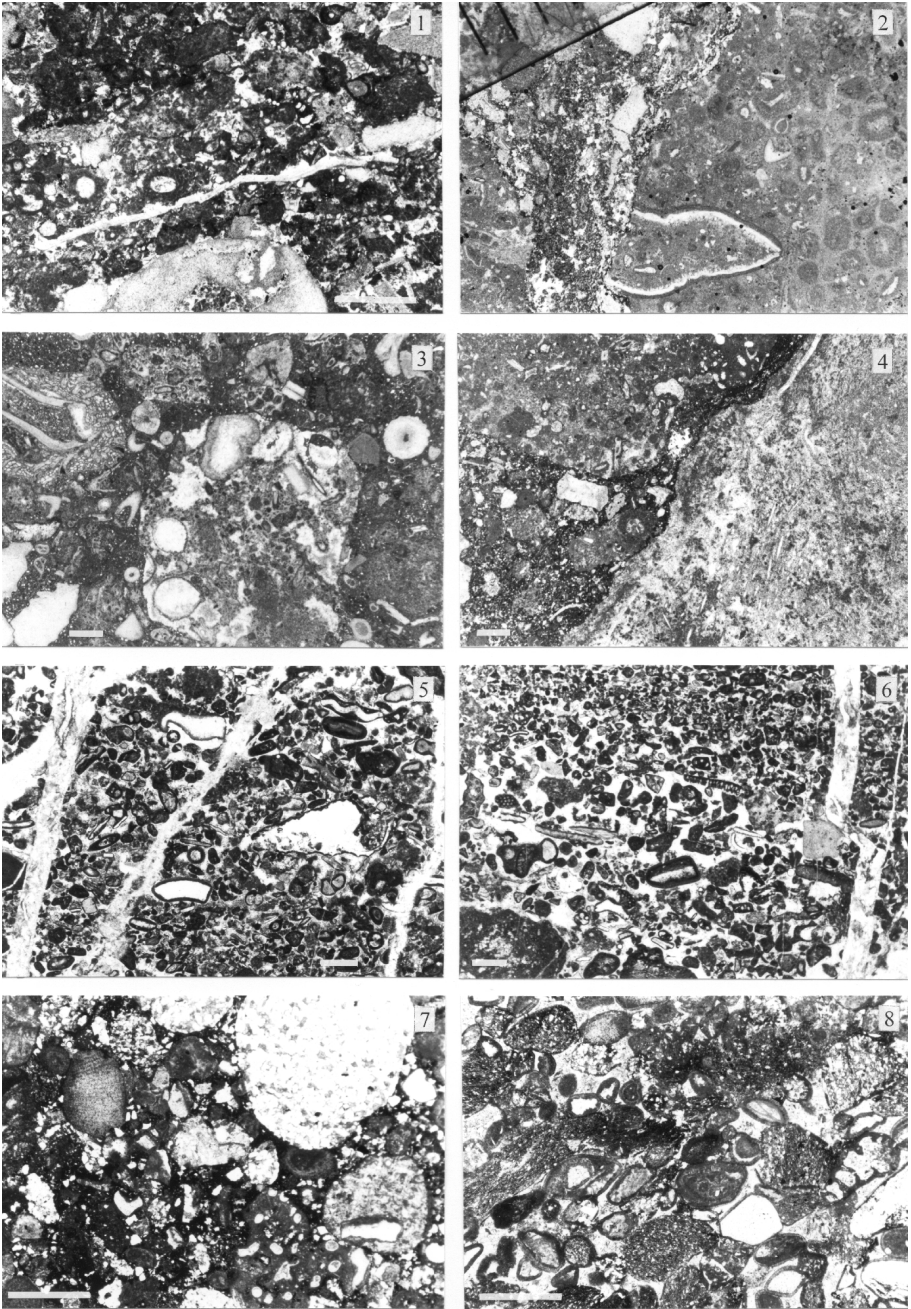


LÁMINA 3

zan valores máximos del 30% y mínimos del 25%. Aparecen tanto ooides normales como superficiales, predominando la relación corteza/núcleo de 1/1. Morfológicamente, los hay esféricos simples y compuestos o complejos con formas más irregulares. La composición de los núcleos es variada, predominan los núcleos carbonáticos (*algal-lumps* de *Girvanella*, litoclastos micríticos, algas, bioclastos –crinoideos, foraminíferos, bivalvos recristalizados, briozoos), aunque en muchos casos sólo es reconocible el carácter carbonático. Los núcleos de cuarzoarenitas y micaesquistos son menos abundantes. Los intraclastos representan hasta el 30% en alguna de las muestras, mientras que en otras son secundarios (9%). Los bioclastos y las algas son minoritarias, los primeros no sobrepasan el 8% y las algas (*Koninckopora*, solenoporáceas, *Girvanella*) sólo alcanzan el 2%.

Son facies resedimentadas producto de regímenes turbulentos con transporte en masa tipo *debris*, más o menos diluidos, que dan lugar a depósitos canalizados y en manto. Además, el hecho de que aparezcan interestratificados con arenitas híbridas con HCS, junto con las geometrías, estructuras y secuencias presentes, permite interpretar ésta litofacies como una tempestita proximal (AIGNER, 1985) cuyo depósito se produjo en condiciones submareales, por encima del nivel de base de las tormentas.

INTERPRETACIÓN AMBIENTAL

La evolución vertical de las facies refleja una alternancia de periodos de sedimentación «normal» o de fondo, con otros momentos de sedimentación de eventos. Durante la sedimentación de fondo tiene lugar el desarrollo de facies autóctonas (F1, F2, F3 y margas, Fig. 7), cuyas variaciones vienen dadas por factores autocíclicos propios del ambiente deposicional.

Cuando los factores ambientales son favorables, la producción de carbonatos es extensiva y tiene lugar en ambiente submareal por debajo del nivel de base del oleaje (F1 y margas, Fig. 7) o próximo a éste (F2). En condiciones menos favorables o restrictivas, la producción de carbonatos deja de ser extensiva y se restringe dentro de subambientes concretos: los montículos (F3). Con bajas tasas de sedimentación, las comunidades microbianas bentónicas, inducen la producción de organomicritas, dando lugar a montículos con geometrías cóncavas. Durante el desarrollo y crecimiento de estos montículos los depósitos coetáneos de *off-mound* corresponden a margas, sin que se produzcan, en ningún caso, facies de flanco asociadas, hecho este, que no implica la ausencia de pendientes sindeposicionales significativas. No hay evidencias hidrodinámicas que pongan de manifiesto que el crecimiento de estos montículos sea próximo al nivel de base del oleaje, y sólo, en algunos

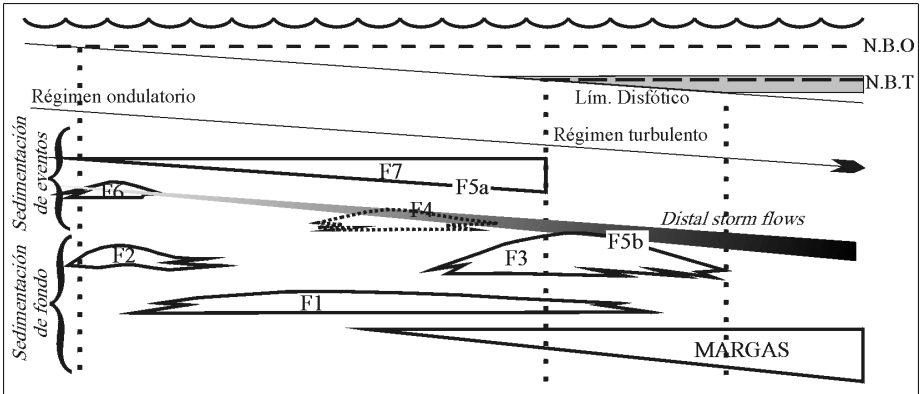


Figura 7.—Distribución de las diferentes facies en función del tipo de sedimentación.
Figure 7.—Background and event facies distribution.

casos, se ven afectados por flujos de régimen turbulento relacionados con tormentas (*distal storm flows*), que pueden erosionar la superficie del montículo (F5b, Fig. 7).

De este modo, la sedimentación de fondo (extensiva o no), sólo se interrumpe durante episodios de tormentas, en los que se produce la erosión, retrabajamiento y mezcla durante el transporte de materiales de distinta procedencia y naturaleza. Esta sedimentación de eventos produce el depósito de facies alóctonas, tanto proximales (F7 y F5a), como distales (F4, F5b y F6).

CÓZAR-MALDONADO (1998) propone un modelo de rampa mixta dominada por las tormentas, para los materiales de edad Viseense superior del Área del Guadiato. Las sucesiones del sector central de la Sierra de la Estrella estudiadas en este trabajo, representan facies de tránsito entre la rampa interna y externa, en donde lo más característico es el desarrollo de montículos con geometrías de crecimiento dómicas.

CONCLUSIONES

El estudio de las sucesiones levantadas en el sector central de la Sierra de la Estrella, ha permitido diferenciar un total de 7 litofacies (F1-F7). El análisis detallado de las mismas, y en particular, de las microfacies, ha hecho posible el agruparlas según su naturaleza carbonática o mixta (F7). En función de las geometrías, estructuras, texturas y componentes presentes, se ha podido interpretar y separar las facies producto de la sedimentación de fondo (extensiva: F1, F2, margas; y no extensiva: F3) de aquellas producidas durante la

sedimentación episódica por tormentas (F7, F5a), o por flujos inducidos durante las mismas (F4, F5b y F6).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el proyecto PB 96-0842 de la DGICYT. Los autores agradecen a todos los participantes en el proyecto su colaboración, especialmente a Pedro CÓZAR, por su ayuda desinteresada en el campo, en el laboratorio, y por la paciente revisión del manuscrito. Los autores agradecen especialmente el trabajo de los revisores, los Dres. COLMENERO y BUSQUETS, por sus aportaciones y críticas, que han permitido mejorar el manuscrito.

Recibido el día 9 de marzo de 1999

Aceptado el día 15 de noviembre de 1999

BIBLIOGRAFÍA

- AIGNER, T. 1985. *Storm depositional systems: dynamic stratigraphy in modern and ancient shallow-marine sequences*. 174 págs. Springer-Verlag. Berlin.
- BLACK, W.W. 1952. The origin of the supposed tufa bands in carboniferous reefs limestones. *Geological Magazine*, **89**: 195-200.
- CÓZAR MALDONADO, P. 1998. *Bioestratigrafía con foraminíferos del Carbonífero Inferior del sector Norte del Área del Guadiato (Córdoba)*. Tesis doctoral de la Universidad Complutense de Madrid (inérita). 590 págs.
- CÓZAR, P. & RODRÍGUEZ, S. 1999. Propuesta de nueva nomenclatura para las unidades del Carbonífero Inferior del sector Norte del Área del Guadiato (Córdoba). *Boletín Geológico y Minero*, **110**: 3-19.
- DUNHAM, R. H. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: *Classification of carbonate rocks*. W.E. HAM, Ed. American Association of Petroleum Geologists Memoires, **1**: 108-121.
- DUPONT, E. 1863. Sur le calcaire Carbonifère de la Belgique et du Hainanaut français. *Bulletin Académie Royal des Sciences de la Belgique, 2e Sér.*, **15**: 86-89.
- 1881. Sur l'origine des calcaires dévoniens de la Belgique. *Bulletin Académie Royal des Sciences de la Belgique*, **2**: 264-280.
- 1883. Sur l'origine du calcaire Carbonifère de la Belgique. *Académie Royale de Belgique Bull. Ser.*, **3** (5): 211-229.
- EMBRY, A. F. & KLOVAN, J. E. 1972. Absolute water depth limits of Late Devonian paleoecological zones. *Geologische Rundschau*, **61**: 672-686.
- FLÜGEL, E. 1982. *Microfacies analysis of limestones*. 365 págs. Springer-Verlag. Berlin.

- HECKEL, P.H. 1972. Possible inorganic origin for stromatactis in calcilitite mounds in the Tully Limestone, Devonian of New York. *Journal of Sedimentary Petrology*, **42**: 7-18.
- KENDALL, A.C. 1985. Radiaxial fibrous calcite: a reappraisal. In: *Carbonate cements*. SCHNEIDERMANN & HARRIS, Eds. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogist Special Publication*, **36**: 379 págs.
- KENDALL, A.C. & TUCKER, J. 1973. Radiaxial fibrous calcite: a replacement after acicular carbonate. *Sedimentology*, **20**: 365-389.
- LECOMPTE, M. 1937. Contribution à la connaissance des récifs du Dévonien de l'Ardenne: sur la présence de structures conservée dans des efflorescences crytallines du type «stromatactis». *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, **13**: 1-14.
- LEES, A. 1964. The structure and the origin of the Walsourtian (Lower Carboniferous) «reefs» of west-central Eire. *Philosophical transaction of the Royal Society of London, series B, Biological sciences*, **B 247**: 483-531.
- LOHMANN, K.C. & MEYERS, W.J. 1977. Microdolomite inclusion in cloudy prismatic calcite: a proposed criterion for former high-magnesium calcites. *Journal of Sedimentary Petrology*, **47**: 1078-88.
- MAMET, B.L. 1974. Une zonation par foraminifères du Carbonifère inférieur de la Thethys occidentale. *Comptes Rendus, VII Congrès International de la Stratigraphie et Geologie du Carbonifère et Permian*, **3**: 391-408.
- ORME, G.R. & BROWN, W.W.M. 1963. Diagenetic fabrics in the Avonian limestones of Derbyshire and North Wales. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, **34**: 51-66.
- WALLACE, M.W. 1987. The role of internal erosion and sedimentation in the formation of stromatactis. *Journal of Sedimentary Petrology*, **57**: 695-700.
- ZUFFA, G.G. 1980. Optical analyses of Arenites: influence of methodology on compositional results. *Journal of Sedimentary Petrology*, **50**: 21-29.

