

LAS MICROFACIES CARBONATADAS NEOGENAS EN UN SECTOR OCCIDENTAL DE LA DEPRESION DEL BAJO GUADALQUIVIR

F. L. Clauss *

RESUMEN

Se establecen las microfacies carbonatadas (microfacies A a G), de los materiales calcareníticos neógenos de Carmona, Alcalá de Guadaira y Arcos de la Frontera-Bornos, situados en el extremo occidental de la Depresión del Guadalquivir. Su estudio ha permitido caracterizar la implantación en dichos sectores de una plataforma mixta detrítica carbonatada tipo rampa en un medio marino abierto, durante el Mioceno superior y el Plioceno Inferior.

Las asociaciones bióticas determinadas pertenecen al tipo «Foramol». Concretamente se trata de la asociación «molechfor» (Carmona-Alcalá de Guadaira) y «bryomol» (Arcos de la Frontera-Bornos).

Las temperaturas del agua, mínima y media eran inferiores a los 15 y 18° C, respectivamente.

La salinidad oscilaba entre 30 y 40 ‰ aproximadamente (salinidad marina normal).

En la plataforma del área de Carmona se han diferenciado los tipos estándar de microfacies SMF 9 y SMF 11, y las zonas de facies FZ 2 y FZ 6, aguas poco profundas con circulación abierta en o justamente por debajo del nivel de base y bordes de la plataforma agitada con acción constante del oleaje en o por encima de dicho nivel. La energía del medio varía entre intermitente (microfacies A) y moderada (microfacies B-C).

En Alcalá de Guadaira y Arcos de la Frontera-Bornos se han establecido igualmente los tipos SMF 11 y 12 (Borde de la plataforma), y la zona FZ 6. La agitación de las aguas oscila entre moderada (microfacies D,E,F) y fuerte (microfacies G).

Se han delimitado dos zonas submareales de poca profundidad con límite inferior a los 30 m (microfacies B-C y F-G).

Se trata de carbonatos templados-polares. Más específicamente, la plataforma carbonatada es templada-fría.

Palabras clave: *Microfacies, Plataforma mixta, Paleoecología, Neógeno, Cuenca del Guadalquivir.*

ABSTRACT

It sets up limestone microfacies (microfacies A to G) in the neogene calcarenitic materials of Carmona, Alcalá de Guadaira and Arcos de la Frontera-Bornos, localized in the occidental sector of the Guadalquivir Basin. Their analysis allow to define the implantation of a mixed shelf environment, a carbonate ramp in a open marine ambient, during Upper Miocene-Lower Pliocene, in such sectors.

The composition of these limestones represents the «Foramol» lithofacies. More closely, «molechfor» (Carmona-Alcalá de Guadaira) and «bryomol» (Arcos de la Frontera-Bornos).

Minimum and medium temperature were <15 and <18° C.

Salinity varied between 30-40 ‰ (marine normal salinity).

It differentiates the standard microfacies types SMF 9 and SMF 11 and the facies zone FZ 2 and FZ 6 that respond to shallow waters with open circulation in (or below) wave base and winnowed shelf edges with constant wave action in (or above) wave base, in the Carmona area platform. Ambient energy varied between intermitent (microfacies A) and moderated (microfacies B-C).

* Departamento de Geología y Minería. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Sevilla. 21819 La Rábida. Palos de la Frontera (Huelva).

In Alcalá de Guadaira and Arcos de la Frontera-Bornos sectors have been established SMF 11, SMF 12 (Shelf edges) and FZ 6. These microfacies are deposited in moderated (microfacies D,E,F) and strongly agitated water (microfacies G).

Two shallow subtidal zones with lower boundary at about 30 m (microfacies B-C and F-G) have been delimited.

Limestones are temperate-polar carbonates. Exactly, the carbonate platform is «cold temperate».

Key words: *Microfacies, Mixed Shelf Environment, Paleoecology, Neogene, Guadalquivir Basin.*

Introducción

Se estudian en detalle las microfacies carbonatadas de las formaciones calcareníticas neógenas de Carmona, Alcalá de Guadaira y Arcos de la Frontera-Bornos, en el sector occidental de la Depresión del Guadalquivir.

Han sido numerosos los autores que han realizado estudios en estos materiales, tanto estratigráficos como paleontológicos, mientras que la información de índole sedimentológica (y en concreto sobre las microfacies carbonatadas), es puntual y dispersa.

Verdenius (1970) menciona dentro de las formaciones neógenas del sector occidental de la Depresión del Guadalquivir a la Formación Guadaira, constituida por sedimentos de edad Plioceno Medio, totalmente marinos y con microfauna propia de aguas poco profundas.

Perconig y Granados (1973) al estudiar los foraminíferos planctónicos en los materiales calcareníticos de la sección de Arcos de la Frontera, distinguen un conjunto integrado por calizas arenosas de aspecto litoral, datadas como Tortoniense-Andaluciense.

Es Viguié (1973) quien caracteriza el medio de sedimentación de las calcarenitas de Carmona-Alcalá de Guadaira («Formación del Alcor») y de Arcos de la Frontera-Bornos. Afirma que dichos conjuntos marcan un episodio regresivo que aconteció durante el Mioceno Superior-Plioceno Inferior, con depósitos de plataforma cada vez más próximos al litoral. En concreto, desde el punto de vista de las microfacies carbonatadas hace una serie de observaciones en láminas delgadas, así en muestras correspondientes a la «Formación del Alcor», distingue un «grainstone» de restos fósiles marinos fragmentados, con foraminíferos bentónicos y planctónicos. Como elementos terrígenos cita la existencia de cuarzo, feldspatos (Plagioclasas y Feldspato potásico) y de glauconita en pequeña proporción. La recristalización es de esparita, con indicios de micrita.

En cambio, sus observaciones a escala microscópica en la calcarenita de Arcos de la Frontera-Bornos, condujo al reconocimiento de un grainstone, caracterizado por briozoos, algas, foraminíferos bentóni-

cos e intraclastos; el cemento es esparítico y la porosidad del sedimento es buena.

Para Benkhelil (1976), este conjunto litológico en la localidad de Arcos de la Frontera presenta facies muy litorales, atribuyéndolas a un medio relativamente agitado.

Berggren y Haq (1976), en cambio, al estudiar los rasgos paleoecológicos de la microfauna, afirman que las calcarenitas de Carmona se depositaron en aguas cuya profundidad no era superior a los 20-30 m.

Posteriormente, Gutiérrez *et al.* (1982) indican que estos tramos calcareníticos en Arcos de la Frontera, están constituidos por bivalvos, foraminíferos bentónicos, briozoos y algas rojas. El depósito tuvo lugar en un ambiente de plataforma muy somero y fótico, con intervención de corrientes muy energéticas.

Finalmente, Sierro *et al.* (1990) identifican en las calcarenitas de Carmona restos de bivalvos y foraminíferos e indican que dichos materiales registran la progradación de un talud carbonatado.

En este trabajo se describen las microfacies carbonatadas de las formaciones neógenas presentes en un sector occidental de la depresión del bajo Guadalquivir. Se establecen las asociaciones faunísticas y de componentes no esqueléticos presentes y se delimita la paleosalinidad y la paleotemperatura de las aguas. A continuación se procede a la caracterización del ambiente (subambientes) de sedimentación en que se depositaron tales materiales calcareníticos mediante la determinación de los tipos estándar de microfacies (SMF) y de las zonas de facies (FZ). Se incide finalmente en el índice de energía del medio y en la agitación de las aguas, para las diferentes microfacies analizadas.

Descripción del área estudiada

Las muestras analizadas proceden de las formaciones neógenas, calcarenitas de Carmona-Alcalá de Guadaira y Arcos de la Frontera-Bornos, presentes en la zona occidental de la depresión del Guadalquivir (fig. 1).

Los diferentes tramos estudiados correspondientes a las series estratigráficas locales representativas de Carmona, Alcalá de Guadaira y Arcos-Bornos (fig. 2) se componen de calcarenitas bioclásticas estratificadas, con gradaciones en sus tamaños de grano, va-

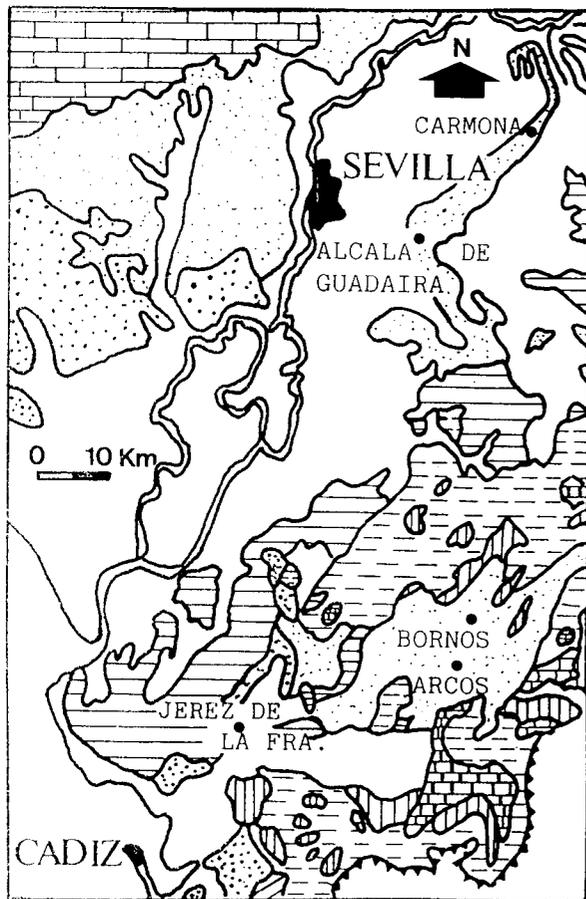


Fig. 1.—Localización geográfica y geológica de la zona de estudio, basado en IGME (1981).



riando desde arena media a muy gruesa fundamentalmente. La macrofauna se compone de bivalvos (pectínidos y ostreídos) y se desarrolla una intensa bioturbación.

Métodos

Se procedió a la realización de un muestreo en la vertical en los tramos calcareníticos para cada una de las secciones estratigráficas obteniéndose un total de 12 muestras. Se realizaron láminas delgadas pulidas de cada una de ellas, efectuándose el análisis de microfacies según Flügel. Se determinaron los diferentes componentes de las rocas carbonatadas (ortoquímicos, aloquímicos y terrígenos), su porcentaje, así como determinados parámetros texturales con objeto de analizar los índices de energía de Plumley *et al.* (1962). La clasificación textural se ha llevado a cabo de acuerdo con la terminología de Folk (1962), Folk (1974) y Dunham (1962) con modificaciones de Embry y Klovan (1971). Para el reconocimiento de los diversos constituyentes de las rocas carbonatadas, así como para el establecimiento del grado de redondeamiento del cuarzo, se han utilizado los atlas y guías de Horowitz y Potter (1971), Sholle (1978), Adams, MacKenzie y Guilford (1984) y Castro (1989). Se ha realizado un conteo de 300 granos por lámina utilizando el contador de puntos. La abundancia relativa de los diversos tipos de componentes se ha determinado calculando el número de granos por lámina, según los criterios siguientes: más de 50 = muy abundante; 50-25 = abundante; 24-16 = frecuente; 15-11 = escaso; 10-6 = raro, y 5-1 = muy raro. Se han diferenciado varios tipos de microfacies en las diversas unidades litoestratigráficas, utilizando los criterios siguientes: 1. El tipo de textura; 2. Diferencias entre matriz (microesparita) y cemento (esparita), y 3. Presencia y abundancia relativa de los restos fósiles esqueléticos.

Descripción de las microfacies

1. Sector de Carmona

Microfacies A (C-4; tabla 1). Comprende calcarenitas con una potencia de unos 3 m, dispuestas en estratos de espesor de 5 cm. El material siliciclástico está caracterizado por abundantes granos de cuarzo de angulosos o subangulosos. El material bioclástico consiste en fragmentos de bivalvos los más frecuentes junto con foraminíferos bentónicos y planctónicos en una pequeña proporción, habiéndose detectado la existencia de briozoos, equinodermos y gasterópodos. Entre los minerales autógenos citar la rara presencia de glauconita en forma de granos subredondeados. Texturalmente se trata de un wackestone-biomicroesparita (fig. 3), con un sorting bueno.

Microfacies B (C-8). Esta microfacies es de unos 14 m de potencia aproximadamente. Incluye calcarenitas estratificadas en bancos y estratos de espesor 1,5 m y 5 cm, respectivamente. Desde un punto de vista textural corresponde a una bioesparita grainstone de sorting moderado a bueno. Los aloquímicos esqueléticos más abundantes incluyen fragmentos de bivalvos (ostreídos, gri-feídos y pectínidos). Otros componentes fósiles bastante raros son briozoos, equinodermos, foraminíferos bentónicos, escafópodos, gasterópodos y algas rojas coralíneas. Los constituyentes terrígenos constan únicamente de abundantes granos de cuarzo que varían desde subangulosos a subredondeados. La glauconita aparece muy raramente.

Microfacies C (C-12, C-13; tabla 1). Presenta similares características litológicas al anterior, con unos 22 m de espesor. Esta microfacies representa calcarenitas esqueléticas, de sorting moderado a bueno, y con un contenido en elementos detríticos de granos de cuarzo muy abundantes. El cuarzo varía desde subredondeado a redondeado. Se ha detectado algún fragmento de roca (muy escaso). Los elementos esqueléticos constituyen el elemento dominante de la trama, y se presentan fragmentos de bivalvos muy abundantes, así como foraminíferos bentónicos, escafópodos,

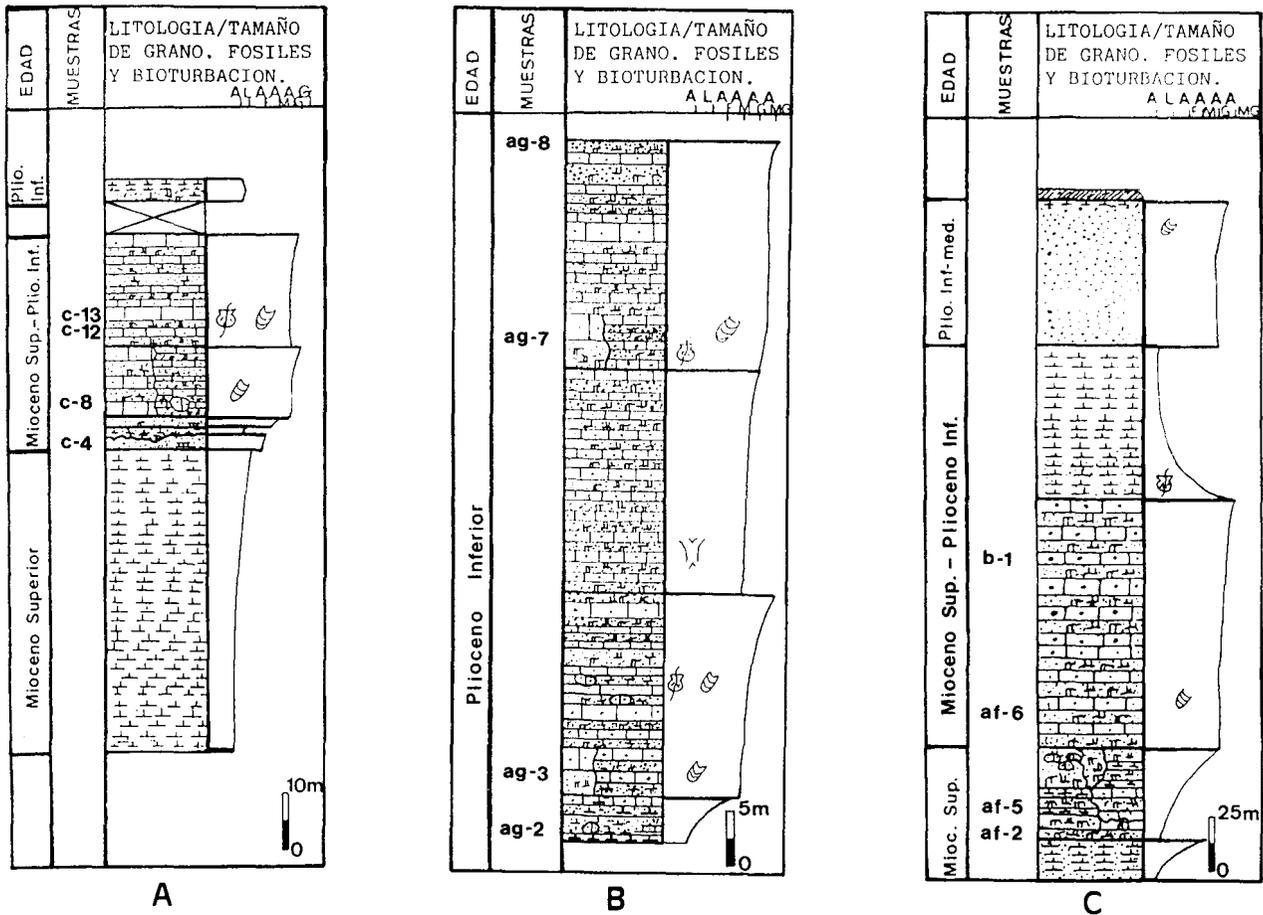


Fig. 2.—Columnas estratigráficas representativas para las localidades de Carmona (A), Alcalá de Guadaira (B) y Arcos de la Frontera-Bornos (C), con situación de las muestras estudiadas, presencia de restos fósiles y bioturbación.

- Margas
- Margas arenosas
- Alternancia de margas arenosas y estratos margo-calcareníicos
- Arenas bioclásticas con algunos niveles de calcarenitas cementadas
- Arenas bioclásticas con estratos y bloques de calcarenitas cementadas
- Bloques de calcarenitas cementadas incluidos en calcarenitas no cementadas
- Alternancias de margas arenosas con arenas y calcarenitas bioclásticas
- Margas arenosas con bloques de calcarenitas cementadas
- Calcarenitas masivas y calcarenitas estratificadas
- Arenas y areniscas

- Restos fragmentados de bivalvos
- Briozoos
- Bioturbación

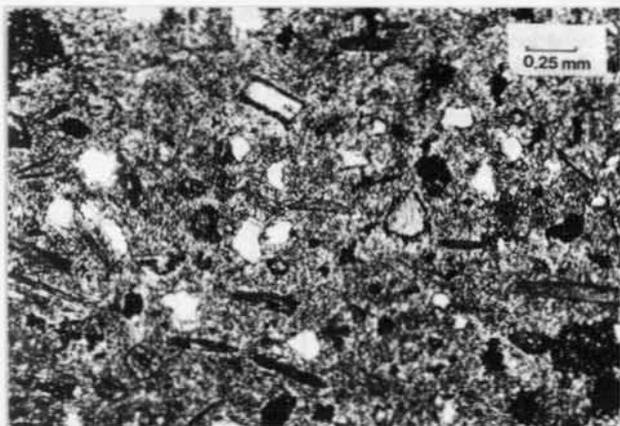


Fig. 3.—Wackestone bioclástico del Mioceno superior-Plioceno inferior. Matriz microesparítica. Restos de bivalvos delgados y finos. Foraminíferos bentónicos muy escasos y granos de cuarzo angulosos como constituyentes terrígenos.



Fig. 4.—Grainstone bioclástico del Mioceno superior-Plioceno inferior. Se observan los restos de bivalvos (algunos de gran tamaño) y de briozoos muy escasos. Presencia de cemento esparítico entre los constituyentes fósiles y de cuarzo como componente terrígeno.

briozoos y equinodermos, estos últimos en un porcentaje muy reducido. El cemento es esparítico. La glauconita es un componente muy raro, presentándose redondeada. Se observan indicios de esparita recristalizada. Texturalmente bioesparita fosilífera grainstone (fig. 4).

2. Sector de Alcalá de Guadaíra

Microfacies D (AG-2). Este intervalo comprende el depósito de unos 2 m de margas grises arenosas que incluyen a bloques de calcarenitas con una alta cementación. Incluye un packstone-grainstone/biomicroesparita-bioesparita. El material bioclástico consiste en restos de abundantes bivalvos, asociados con foraminíferos planctónicos, foraminíferos bentónicos, briozoos, equinodermos y gasterópodos, todos ellos muy raros. Los terrígenos son granos de cuarzo muy abundantes, subangulosos fundamentalmente, presentando un buen sorting. La glauconita es redondeada, apareciendo

muy raramente. La recristalización es de esparita, y se detectan nódulos de material arcilloso.

Microfacies E (AG-3, AG-7, AG-8; tabla 1). Potencia de 60 m. Predomina el componente orgánico. Hacia la base los bioclastos consisten en bivalvos muy abundantes, abundantes foraminíferos bentónicos y foraminíferos planctónicos, escafofóodos, briozoos, equinodermos y gasterópodos en muy baja proporción. El cuarzo llega a ser abundante y oscila entre subanguloso y subredondeado, con predominio de subanguloso. La textura responde a un armazón de bioclastos con cemento esparítico, grainstone-bioesparita, y un sorting de bueno a muy bueno. La glauconita es muy redondeada y aparece muy raramente. Se ha identificado una porosidad intragranular (gasterópodo). Hacia techo el material siliciclástico consiste en abundantes granos de cuarzo, que varían desde subangulosos hasta llegar a ser redondeados. El material bioclástico consiste en restos de bivalvos muy abundantes (ostreídos de gran tamaño), foraminíferos planctónicos, foraminíferos bentónicos y equinodermos muy raramente representados. Los briozoos en cambio, llegan a ser frecuentes hacia la parte superior de la sección estudiada. No se han llegado a identificar algas rojas coralíneas dentro del componente fósil. La glauconita redondeada es un componente muy raro y está escasamente representada. La textura varía desde un grainstone-bioesparita en la base a un rudstone-bioesparita en el techo (fig. 5).

C. Sector Arcos de la Frontera-Bornos

Microfacies F (AF-2, AF-5). Incluye areniscas y calcarenitas bioclásticas alternando con margas arenosas. La potencia aproximada es de unos 40 m. Hacia la parte inferior de la sección estratigráfica (AF-2) la composición del material bioclástico de las calcarenitas está integrada por frecuentes foraminíferos planctónicos, los briozoos aparecen raramente. Bivalvos, foraminíferos, bentónicos, equinodermos, gasterópodos y algas rojas coralinas son componentes muy raros. La matriz es carbonatada (micrita) y se clasifica como grauvasca. Se presentan dos poblaciones de granos de cuarzo, muy abundantes, subangulosos los de un diámetro menor y redondeados los de mayor tamaño. Hay que citar la presencia de glauconita —frecuente— y de material arcilloso en la matriz. La parte media del tramo en cambio (AF-5) se caracteriza por tratarse de un grainstone/bioesparita. El componente fósil está formado por abundantes briozoos, foraminíferos bentónicos frecuentes, bivalvos escasos y más raramente foraminíferos planctónicos, equinodermos, algas rojas coralinas y gasterópodos. Granos de cuarzo redondeados son muy abundantes. La glauconita se da con cierta frecuencia. El sorting del material clástico varía entre moderado y bueno. Se ha detectado un ooide (aloquímico no esquelético).

Microfacies G (AF-6, B-1; tabla 1). Calcarenitas bioclásticas estratificadas, con un espesor que supera los 160 m. En los niveles más inferiores (AF-6) la mayor parte del material aloquímico esquelético está caracterizada por briozoos muy abundantes, bivalvos (pectínidos) abundantes, y foraminíferos bentónicos, algas rojas coralinas, y equinodermos muy raramente representados. Entre los terrígenos el cuarzo redondeado es escaso, apareciendo fragmentos de roca muy raramente. Texturalmente corresponde a un grainstone bioesparítico con un buen sorting. Hacia la parte superior (B-1) son muy abundantes los briozoos, escasos los bivalvos y más raros foraminíferos bentónicos, equinodermos y gasterópodos. El cuarzo redondeado es muy abundante, y está acompañado de feldspatos y fragmentos de roca. Desde el punto textural se trata de un grainstone-rudstone/bioesparita, de sorting pobre a moderado.

Asociaciones faunísticas

Se identifica una asociación faunística integrada por bivalvos, foraminíferos bentónicos y briozoos como constituyentes más abundantes, y en una pro-

Tabla 1.—Microfacies carbonatadas de los sectores de Carmona, Alcalá de Guadaíra y Arcos de la Frontera-Bornos. Matr.: matriz; R. Aloq.: roca aloquímica; R. Aloq. imp.: roca aloquímica impura; Bi: Bivalvos; FB: foraminíferos bentónicos; FP: Foraminíferos planctónicos; Es: Escafópodos; BR: Briozos; Eq: Equinodermos; AR: Algas rojas; GS: Gasterópodos; O: Ostrácodos; TS: Tubos de serpúlidos; Oo: ooides; Fd: Feldespatos; FR: Fragmentos de roca; MR: Muy redondeado; R: Redondeado; SR: Subredondeado; SA: Subanguloso; A: Anguloso; MA: Muy anguloso; G: Glauconita; GR: Glauconita redondeada; GSR: Glauconita subredondeada; PIG: Porosidad intragranular; PIP: Porosidad intrapartícula; RE: Recristalización de esparita; N: Nódulo arcilloso; Ma: Material arcilloso.

| L.D. | TIPO DE ROCA | | | ALOQUÍMICOS | | | | | | | | | | | | | TERRÍGENOS | | | | | CLASIFICACION | Otras Caracter. | | | | | | | |
|------|--------------|-------|---------------|--------------|--------|------|------------|----|----|----|----|----|---|----|----|---|------------|---|----|--------|--|---------------|-----------------|---|---|--|----------------------------------|------------------------|------------------------------|------|
| | Aren. Grav. | Matr. | R. Aloq. imp. | ORTOQUÍMICOS | | | BIOCLASTOS | | | | | | | | | | | | | Cuarzo | | | | | | | | | | |
| | | | | Mic. | MICRO. | ESP. | Bi | FB | FP | Eq | AR | GS | O | TS | MR | R | SR | A | MA | | | | | | | | | | | |
| A | | | - | | | * | 32 | ● | □ | □ | □ | | | | | | | | ● | | | | | | | | FOLK DUNHAM | Minerales Autígenos | | |
| | | | - | | | * | 53 | ● | □ | | □ | □ | | | | | | | ● | | | | | □ | | | BIOESPARITA GRAINSTONE | GR □ | | |
| | | | - | | | * | 37 | ● | □ | □ | □ | □ | | | | | | | ● | | | | | | | | BIOESPARITA GRAINSTONE | G □ PIG | | |
| | | | + | | * | | 11 | ● | ■ | ■ | □ | □ | | | | | | | ● | | | | | | | | DIONICROESP. WACKSTONE | GSN ■ | | |
| B | | | - | | * | * | 46 | ● | ■ | □ | □ | □ | | | | | | | ● | | | | | | | | BIO/MICRO./BIOE. FALKS-GRAINSTON | GR □ Na, RE | | |
| | | | - | | * | | 52 | ● | ● | □ | □ | □ | | | | | | | ○ | | | | | | | | | BIOESPARITA GRAINSTONE | GR □ PIG | |
| | | | + | | * | | 70 | ● | □ | □ | ■ | □ | | | | | | | ○ | | | | | | | | | BIOESPARITA GRAINSTONE | GR □ Na | |
| | | | + | | * | | 66 | ● | □ | | ● | □ | | | | | | | ○ | | | | | | | | | BIOESPARITA RUDESTONE | GR □ PIP | |
| C | | | | | | | 8 | □ | □ | ● | ■ | □ | | | | | | | ● | | | | □ | | | | | | G ● R. | |
| | | | - | | * | | 23 | ◁ | ● | □ | ○ | ■ | □ | | | | | | ● | | | | | | | | | | BIOESPARITA GRAINSTONE | GR ● |
| | | | + | | * | | 80 | ○ | □ | | ● | □ | | | | | | | ◁ | | | | | | | | | | BIOESPARITA GRAINSTONE | |
| | | | - | | * | | 31 | ◁ | □ | | ● | □ | | | | | | | ● | | | | | □ | □ | | | | BIOESPARITA GRAINS/RUDESTONE | |

● → Muy Abundante ○ → Abundante ● → Frecuente ◁ → Escaso ■ → Raro □ → Muy raro

porción inferior equinodermos, algas rojas coralíneas, foraminíferos planctónicos, escafópodos y gasterópodos. Esporádicamente aparecen tubos de serpúlidos y ostrácodos (tabla 1). Esta asociación se corresponde con la denominada por Lees (1975) como FORAMOL.

La fracción carbonatada menor de 60 μ procede de la fragmentación de los componentes de la asociación «Foramol» (restos fósiles que no corresponden a corales y algas rojas calcáreas), Lees, 1975.

La ausencia de componentes no esqueléticos ha permitido diferenciar la asociación de granos no esqueléticos ausentes de Lees (1975).

Las litofacies carbonatadas de Carmona y Alcalá de Guadaíra se agrupan bajo la denominación «Molechfor» de Caranante *et al.* (1988) en base a la mayor abundancia de moluscos (bivalvos) y foraminíferos bentónicos en relación a equinodermos y briozos.

Los depósitos carbonatados esqueléticos de Arcos de la Frontera-Bornos se clasifican en el subtipo «Bryomol» de Nelson, Keane y Head (1988) debido

a la abundancia de briozos y moluscos (bivalvos) en relación a los foraminíferos.

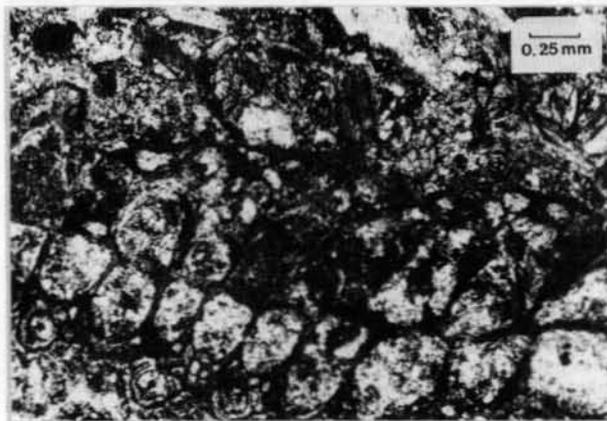


Fig. 5.—Rudstone bioclástico del Plioceno inferior. Entre los constituyentes bioclásticos se observa un fragmento de briozoo de gran tamaño (>2 mm), con recristalización a base de esparita y porosidad intrapartícula.

Tabla 2.—Microfacies, tipos estándar de microfacies (SMF), características y zonas de facies (FZ), para las rocas carbonatadas en Carmona, Alcalá de Guadaíra y Arcos de la Frontera-Bornos.

| Microfacies | Tipo estándar de microfacies (SMF) | Características | Zona de facies (FZ) |
|-------------|------------------------------------|---|--|
| B,C,D,E,F,G | SMF 11 | Grainstones con bioclastos. Cemento esparítico. | FZ 6. Calcarenitas de borde de plataforma. Acción constante del oleaje, en/o por encima del nivel de base. |
| D,E,F,G | SMF 12 | Packestone bioclástico, Grainstone, Rudstone. | FZ 6. Bordes de plataforma. |
| A | SMF 9 | Wackestone bioclástico. | FZ 2. Aguas poco profundas con circulación abierta, en/o justo por debajo del nivel de base. |

Parámetros paleoecológicos

Puesto que los granos no esqueléticos están ausentes en la mayor parte de las muestras analizadas (tabla 1) es posible afirmar de acuerdo con Lees (1975) que la temperatura mínima en la superficie del agua era inferior a los 15° C y la temperatura media menor de 18° C.

La distribución de la fauna en función de los rangos de salinidad, Flügel (1982), ha permitido definir de forma aproximada en base a *escafópodos* sobre todo, algas coralíneas y equinodermos una salinidad marina normal, variable desde un 30 a un 40 ‰.

La asociación de granos no esqueléticos ausentes (diagramas STAR, Lees 1975), teniendo en cuenta la temperatura mínima del agua, inferior a los 15° C, posibilita definir una salinidad máxima que oscila entre 35 y 39 ‰ aproximadamente.

La asociación «Foramol» anteriormente definida se corresponde con unos valores de salinidad máxima variable aproximadamente desde el 35 al 40 ‰ (diagramas STAR, Lees 1975) al analizar la temperatura mínima del agua (<15° C).

Ambiente deposicional

El contenido fósil, la abundancia de carbonatos, la presencia de texturas diferentes asociadas con altos niveles de energía fundamentalmente, y la falta de bioconstrucciones (estructuras arrecifales, framestones) en las secciones estratigráficas, pone de manifiesto la implantación de una plataforma carbonatada tipo rampa en un ambiente marino abierto.

Según el rango de profundidad en el que habitan determinados grupos de organismos actuales, Flügel 1982, la existencia de algas coralíneas (tabla 1) permite identificar un medio marino abierto poco profundo de plataforma carbonatada (área de Carmona

y Arcos de la Frontera-Bornos), con un límite inferior 150-200, máximo 250 m, «Rhodoclina», Liebau 1980, debido a la presencia de este componente fósil.

1. Sector de Carmona

Microfacies A. Se asocia con el tipo estándar de microfacies SMF 9 (wackestone bioclástico) y con la zona de facies FZ 2 (aguas poco profundas con circulación abierta en/o justamente por debajo del nivel de base) de Wilson (1975) y Flügel (1982), tabla 2.

Índice de energía: tipo II (II₁). Aguas intermitentemente agitadas.

Microfacies B-C (tabla 2). Se corresponde con el tipo SMF 11 (Grainstone con bioclastos en cemento esparítico) y con la zona de facies FZ 6 (calcarenitas de borde de plataforma, con acción constante del oleaje, en o por encima del nivel de base).

Índice de energía: tipo IV (IV₂, IV₃), moderadamente agitado.

Profundidad del medio: la asociación de algas con foraminíferos, briozoos y serpulidos permite diferenciar una zona submareal poco profunda (Flügel, 1982) con límite inferior aproximado a los 30 m.

2. Sector Alcalá de Guadaíra

Microfacies D-E. SMF 12 (packstone bioclástico, grainstone, rudstone con concentraciones de organismos y predominio de bivalvos) y SMF 11 (grainstone con bioclastos en cemento esparítico). Se ha determinado la zona de facies FZ 6 (bordes de plataforma agitadas, con acción constante del oleaje en o por encima del nivel de base, tabla 2).

Índice de energía: tipo IV (IV₂, IV₃). Aguas moderadamente agitadas.

Tabla 3.—Parámetros ambientales y de facies de los carbonatos de Carmona, Alcalá de Guadaira y Arcos de la Frontera-Bornos, característicos de plataformas templadas-polares.

| Parámetros ambientales y de facies | Carbonatos templados - polares |
|--|--|
| Ambiente de depósito | Plataforma abierta-Rampa. |
| Marco tectónico | Inestable. |
| Aporte de terrígenos | Alto (tabla 1). |
| <i>Propiedades del agua</i> | |
| Temperatura media | Por debajo de 18° C. |
| Temperatura mínima | Por debajo de 15° C. |
| Salinidad | Normal (~30-40 ‰). |
| Circulación | Abierta. |
| <i>Bioconstrucciones</i> | |
| Arrecifes, mallas de algas (estromatolitos) | Ausentes. |
| <i>Contenido en carbonato</i> | Alto. |
| <i>Propiedades del sedimento</i> | |
| Textura | Calcarenitas. |
| <i>Componentes carbonatados no esqueléticos</i> | |
| Ooides | Muy raros - ausentes. |
| Agregados | Ausentes. |
| Peloides | Ausentes. |
| <i>Principales componentes carbonatados esqueléticos</i> | |
| Flora | Algas rojas. |
| Fauna | Briozoos, bivalvos, equinodermos, foraminíferos bentónicos, escafópodos, gasterópodos, serpulidos, foraminíferos plancton. |
| <i>Componentes no carbonatados</i> | |
| Material terrígeno | Abundante. |
| Glauconita | Común. |
| <i>Clasificación. Petrografía de carbonatos</i> | Rudstone, Grainstone, Packstone, Wackestone. |
| Asociación de granos esqueléticos | Foramol, Molechfor, Bryomol. |

3. Sector Arcos de la Frontera-Bornos

Microfacies F-G (tabla 2). Incluye los tipos estándar de microfacies SMF 11/SMF 12 (grainstone con bioclastos en cemento esparítico; packstone bioclástico, grainstone, rudstone) y la zona de facies FZ 6.

Índice de energía: tipo IV (IV₂, IV₃), moderadamente agitado, microfacies F. Tipo V (V₁), fuertemente agitado, microfacies G.

Profundidad del medio: zona submareal de poca profundidad con límite inferior a los 30 m (Flügel, 1982) debido a la asociación de algas, foraminíferos y briozoos.

Los carbonatos de Carmona-Alcalá de Guadaira y Arcos de la Frontera-Bornos se atribuyen a la asociación de carbonatos templados-polares (tabla 3) de Lees (1975), Leonard *et al.* (1981), Brookfield (1988), Nelson (1978) y Nelson *et al.* (1988) si se tie-

nen en cuenta los siguientes parámetros ambientales y de facies: ambiente de depósito, marco tectónico, aporte de terrígenos, determinadas propiedades físico-químicas del agua (temperatura, salinidad), bioconstrucciones, textura del sedimento, componentes carbonatados no esqueléticos (ooides, peloides, etc.), componentes carbonatados esqueléticos (flora y fauna), componentes no carbonatados (material terrígeno, glauconita), petrografía de carbonatos y asociación de granos esqueléticos. Se trata de una plataforma templada «fría», con temperatura variable 5-10° C (Brookfield, 1988), al analizar la taxonomía del componente fósil (bivalvos, foraminíferos bentónicos, briozoos), ecología (epifauna/infauna, sésiles, móviles, suspensívoros, sedimentívoros), asociaciones típicas [bivalvos, foraminíferos bentónicos, briozoos, equinodermos, (algas rojas coralíneas)], diversidad de grupos (moderada), constituyentes (bioclastos) y tamaño de grano (arena).

Conclusiones

Las microfacies calcareníticas determinadas en el extremo occidental de la depresión del Guadalquivir permiten caracterizar la instauración de una plataforma mixta detrítico-carbonatada, tipo rampa, durante el Mioceno superior-Plioceno inferior en los sectores de Carmona y Arcos de la Frontera-Bornos, y durante el Plioceno inferior para el área de Alcalá de Guadaíra.

Se han identificado las asociaciones faunísticas «Foramol» (Carmona, Alcalá de Guadaíra, Arcos de la Frontera-Bornos). Concretamente se ha determinado la asociación *Molechfor* (Carmona-Alcalá de Guadaíra) y *Bryomol* (Arcos de la Frontera-Bornos).

Con referencia a los parámetros paleoecológicos la temperatura mínima en la superficie del agua era inferior a los 15° C y la temperatura media menor de 18° C. La salinidad está comprendida aproximadamente entre 30-40 ‰ (salinidad marina normal).

En las calcarenitas de Carmona se han diferenciado los tipos estándar de microfacies SMF 9, SMF 11 y las zonas de facies FZ 2 y FZ 6 respectivamente, (aguas poco profundas con circulación abierta en/o justamente por debajo del nivel de base; calcarenitas de borde de plataforma agitada con acción constante del oleaje en/o por encima del nivel de base). La energía del medio se relaciona con aguas intermitentes (microfacies A) y moderadamente agitadas (microfacies B-C). Se ha delimitado igualmente una zona submareal de poca profundidad, con límite inferior a los 30 m (microfacies B-C; SMF 11).

En las áreas de Alcalá de Guadaíra y Arcos de la Frontera-Bornos se han establecido los tipos SMF 11 y 12, la zona de facies FZ 6, y una zona submareal

poco profunda con 30 m como límite inferior (microfacies F-G; SMF 11/12). La agitación de las aguas pasa de ser moderada (microfacies D-E) a fuerte (microfacies G).

Finalmente se asignan los carbonatos objeto de análisis al grupo de los carbonatos templados-polares. En detalle, la plataforma carbonatada es «templada fría» (temperatura: 5-10° C).

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. Eduardo Mayoral Alfaro por su inestimable ayuda en el estudio de las microfacies carbonatadas del sector considerado.

Referencias

- Adams, A. E.; MacKenzie, W. S. y Guilford, C. (1984). *Atlas of Sedimentary Rocks under the Microscope*. Longman, Nueva York, 102 págs.
- Benkhelil, J. (1976). *Etude néotectonique de la terminaison occidentale des Cordillères Bétiques (Espagne)*. Thèse 3c, Univ. de Niza, 180 págs.
- Berggren, W. A. y Haq, B. U. (1976). The Andalousian stage (Late Miocene). *Biostratigraphy, Biochronology and Paleogeology*. *Paleogeog., Paleoclimatol., Paleocol.*, 20, 67-129.
- Brookfield, M. E. (1988). A mid ordovician temperate carbonate shelf- the Black River and Trenton Limestone Groups of Southern Ontario, Canada. *Sedimentary Geology*, 60, 137-153.
- Carannante, G.; Esteban, M.; Milliman, J. D. y Simone, L. (1988). Carbonate lithofacies as paleolatitude indicators: problems and limitations. En: C. S. Nelson (ed.), *Non Tropical Shelf Carbonates - Modern and Ancient*. *Sediment. Geol.*, 60, 333-346.
- Castro, A. (1989). *Petrografía básica. Texturas, clasificación y nomenclatura de rocas*. Paraninfo, Madrid, 144 págs.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: W. E. Ham (ed.), *Classification of carbonate rocks*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 1, Tulsa, 108-121.
- Embry, A. F. y Klovan, E. J. (1972). Absolute water depth limits of late Devonian paleoecological zones. *Geol. Rudsch*, 61-62.
- Flügel, E. (1982). *Microfacies Analysis of Limestone*. Springer-Verlag, Nueva York, 633 págs.
- Folk, R. L. (1962). *Spectral subdivisions of limestones types*. En: W. E. Ham (ed.), *Classification of Carbonate rocks*. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Memoir 1, Tulsa, 62-84.
- Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphills, Austin Texas, 159 págs.
- Gutiérrez, J. M.; Martín, A. y Navarrete, S. *Itinerarios geológicos por la provincia de Cádiz*. I.C.E. Univ. de Cádiz, 202 págs.
- Horowitz, A. S. y Potter, P.E. (1971). *Introductory Petrography of Fossils*. Springer-Verlag, Berlín, 302 págs.
- IGME (1981). Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias, escala 1:1.000.000.

- Lees, A. y Buller, A. T. (1972). Modern temperate-water and warm-water shelf carbonate sediments contrasted. *Mar. Geol.*, 13, 67-73.
- Lees, A. (1975). Possible influence of salinity and temperature on modern shelf carbonate sedimentation. *Mar. Geol.*, 19, 159-198.
- Leonard, J. E.; Cameron, B.; Pilkey, O. H. y Friedman, G. M. (1981). Evaluation of cold-water carbonates as a possible paleoclimatic indicator. *Sediment. Geol.*, 28, 1-28.
- Liebau, A. (1980). Palaobathymetrie und okofaktoren. *Neues Jahrbuch. Geol. Palaont Abhandlungen*, 160, 173-216.
- Nelson, C. S. (1978). Temperate shelf carbonate sediments in the Cenozoic of New Zealand. *Sedimentology*, 25, 737-771.
- Nelson, C. S.; Keane, S. L. y Head, P. S. (1988). Non tropical carbonate deposits on the modern New Zealand shelf. En: C. S. Nelson (ed.), *Non Tropical Shelf Carbonates - Modern and Ancient*. *Sediment. Geol.*, 60, 71-94.
- Perconig, E. y Granados, L. (1973). La caliza tosca de Arcos de la Frontera. *XIII Coloquio Europeo de Micropaleontología*, España, 55-58.
- Plumley, W. J.; Rislely, G. A.; Graves, R. W. y Kaley, M. E. (1962). Energy Index for Limestone interpretation and classification. En: *Mem A.A.P.G.*, Tulsa, 1, 85-107.
- Sholle, P. A. (1978). *A color illustrated Guide to carbonate rock constituents cements and porosities*. A.A.P.G., Tulsa, 27, 241 págs.
- Sierro, F. J.; González Delgado, J. A.; Dabrio, C. J.; Flores, J. A. y Civis, J. (1990). The Neogene of the Guadalquivir basin (SW, Spain). En: *Iberian Neogene basins. Field guidebook. Paleontologia i Evolució*. Mem. Esp., Institut Paleontologic Dr. M. Crusafont, Sabadell, 2, 209-250.
- Verdenius, J. G. (1970). Neogene Stratigraphy of the Western Guadalquivir Basin (Southern Spain). *Utr. Microp. Bull.*, 3, 1-109.
- Viguié (1974). *Le Néogène de l'Andalousie Nord-occidentale (Espagne). Histoire géologique du bassin du bas Guadalquivir*. Thése. Univ. Bourdeaux, 449 págs.
- Wilson, J. L. (1975). *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer-Verlag, Nueva York, 471 págs.

Recibido el 3 de abril de 1991

Aceptado el 5 de septiembre de 1991