

H. HERRERO FERNÁNDEZ

J. GARCÍA TALEGÓN

A. JUSTO

J. L. PÉREZ RODRÍGUEZ

A. C. ÍÑIGO

LA CALCARENITA DE CARMONA

Cueva de la Batida: estratigrafía, mineralogía y sistema poral

Resumen. En el presente trabajo se aborda la caracterización de la Calcarenita de Carmona desde un punto de vista composicional y estructural, ya que estos dos factores condicionan la idoneidad y durabilidad de esta roca como material de construcción. El estudio se centra en el afloramiento situado en la Cueva de la Batida, donde se realiza el levantamiento estratigráfico y muestreo. La caracterización indica que composicionalmente las muestras estudiadas guardan muchas similitudes, siendo la estructura, la presencia de cemento carbonatado y la red poral los factores que determinan las diferencias existentes.

Palabras clave. Calcarenita de Carmona / Cueva de la Batida / durabilidad / idoneidad / porosidad.

Abstract. This paper approaches the characterisation of Carmona's calcarenite according to its composition and structure, since these two aspects determine the use of this rock as building material. The study focuses on an outcrop located at the Cueva de la Batida, where the stratigraphic study and sampling was carried out. The characterisation indicates that the composition of the samples studied is similar, being the structure, the presence of calcitic cement and the porous framework the aspects that determine the existing differences.

Keywords. Calcarenite of Carmona / Cueva de la Batida / durability / porosity / suitability.

INTRODUCCIÓN

La Calcarenita de Carmona, es una roca sobre la que se sustenta gran parte del patrimonio histórico de la zona. La propia localidad de Carmona está considerada Conjunto Histórico Artístico desde 1963, y en ella se conserva un gran legado arquitectónico militar, civil y religioso, que cuenta con 18 monumentos declarados Bienes de Interés Cultural. Destacan, entre otros, los restos del anfiteatro y la necrópolis romana, los alcázares y fortificaciones de la ciudad, y las iglesias y conventos, que recorren los estilos más representativos de Andalucía (mudéjar y barroco).

De forma general, existe una relación directa entre las propiedades intrínsecas de una roca y la calidad, durabilidad e idoneidad de la misma para ser empleada como material de construcción. Para llegar a comprender las causas y mecanismos que determinan el deterioro de una roca y poder establecer así su durabilidad frente al paso del tiempo, es imprescindible tener un conocimiento exhaustivo de la composición mineralógica y de la textura, especialmente en lo referido a la estructura del sistema poroso¹.

En el deterioro de una calcarenita, el agua actúa como uno de los agentes más importantes tanto desde un punto de vista físico (disminución de la resistencia mecánica)², químico (disolución del cemento carbonatado)³ o biológico (colonización de la superficie por hongos y líquenes)⁴. La cantidad de agua que contiene una roca y su cinética de absorción, están controladas por la porosidad de la misma, y por lo tanto, la porosidad va a estar estrechamente ligada a la durabilidad de la calcarenita.

El objetivo de este trabajo es determinar la composición mineralógica y textural de la Calcarenita de Carmona, prestando especial atención a la red poral que presenta.

LOCALIZACIÓN

La Calcarenita de Carmona aflora en dos cerros; el primero es sobre el que se asienta la propia ciudad y el otro se corresponde con la Cueva de la Batida (figura 1), situada a poca distancia en dirección norte. Estos dos cerros se encuentran separados por una falla con dirección NE-SO, la cual es responsable de la diferencia en la cota de altura entre ellos.

1. RIVES, V. y GARCÍA TALEGÓN, J. (2006): Decay and Conservation of building stones on Cultural Heritage Monuments. Materials Science Forum. Vol 514-516, Part 1-2, 1689-1694.

RIVES, V. y VICENTE, M.A. (1993): Formas de alteración de la arenisca de Villamayor en distintos microambientes de edificios salmantinos. En: Alteración de granitos y rocas afines (M.A. Vicente, E. Molina y V. Rives, Eds.), CSIC. 75-82.

ESBERT, R.M.; ORDAZ, J., ALONSO, F. J. y MONTOTO, M. (1997): Manual de diagnóstico y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. 135.

2. HERRERO FERNÁNDEZ, H.; GARCÍA TALEGÓN, J.; JUSTO, A.; IÑIGO, A.C.; MOLINA, E.; ALONSO GAVILÁN, G.; DURÁN BENITO, A. y PÉREZ RODRÍGUEZ, J.L. (2006): Natural calcareous sandstones resources for conservation of El Salvador church (Sevilla, Spain). En: European Geology Union 2006, Viena, Austria.

3. ESBERT, R.M.; ORDAZ, J.; ALONSO,



F. J.; RUÍZ DE ARGANDOÑA, G.; MONTOTO, M.; MARCOS, R. y VALDEÓN, L. (1988): Caracterización petrofísica y alterabilidad de las piedras de la Catedral de Sevilla. *Materiales de Construcción*, Vol. 38 (220), 5-23.

4. ARIÑO, X. y SAÍZ JIMÉNEZ, C. (1997): Deterioration of the Elephant Tomb (Necropolis of Carmona, Seville, Spain). *International Biodeterioration & Biodegradation*, Vol. 40, 2-4, 233-239.

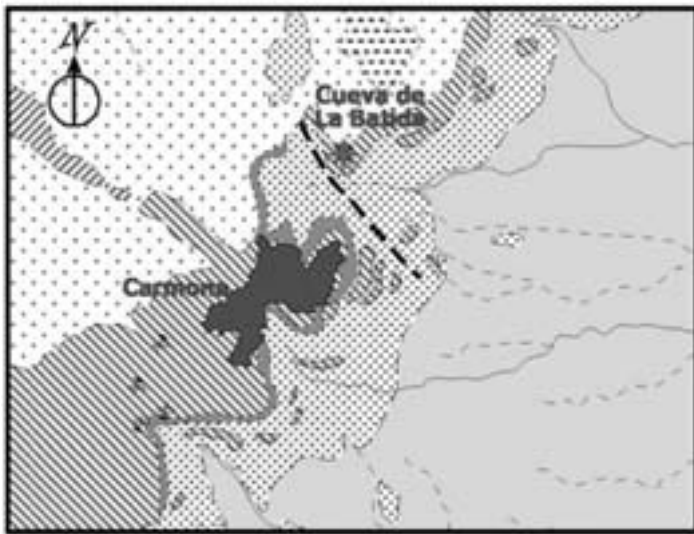
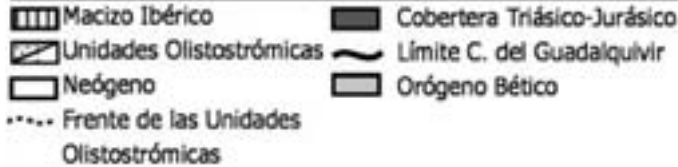
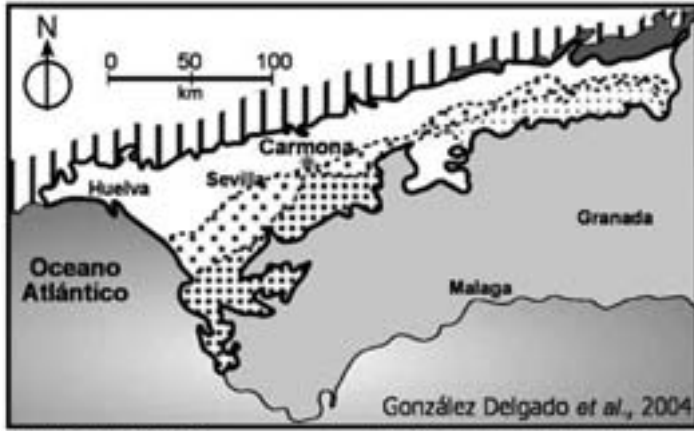


Figura 1. Localización de las canteras en la Cueva de la Batida.

5. ROLDÁN GARCÍA, F. J.; BORRERO DOMÍNGUEZ, J.; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J.; RUÍZ ORTIZ, P.A.; GONZÁLEZ DONOSO, J.M.; LINARES RODRÍGUEZ, D.; SERRANO LOZANO, F.; GALÁN HUERTOS, E.; GONZÁLEZ DÍEZ, I.; MAYORAL ALFARO, E.; RUIZ MIRAS, A.; GARRIDO MEGÍAS, A.; GARCÍA CORTES, A. y BAENA PÉREZ, A. (1988): Mapa Geológico de España, Hoja de Carmona, número 985, escala: 1/50.000. Serie Magna. IGME, Madrid.

Geológicamente, Carmona se sitúa dentro de la cuenca del Guadalquivir⁵ (figura 2). Se trata de una cuenca de tipo antepaís definida por un margen sur activo (Orógeno Bético) y un margen norte pasivo (Macizo Ibérico) y que se encuentra rellena principalmente por materiales cenozoicos. La sedimentación de la Calcarenita de Carmona tiene lugar durante el Neógeno, justo en el límite entre el Mioceno y el Plioceno (figura 3). El aporte constante de materiales a la cuenca y la actividad tectónica del Orógeno Bético provocan un cambio, pasando de una sedimentación en medios profundos (arcillas y margas azules) a una zona de plataforma, con unas condiciones someras y en las que se deposita la Calcarenita de Carmona⁶.

6. GONZÁLEZ DELGADO, J.A.; CIVIS, J.; DABRIO, C.J.; GONZÁLEZ DELGADO, J.A.; GOY, J.L.; LEDESMA, S.; PAIS, J.; SIERRA, F.J. y ZAZO, C. (2004): Cuenca del Guadalquivir. En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid, 543-550.

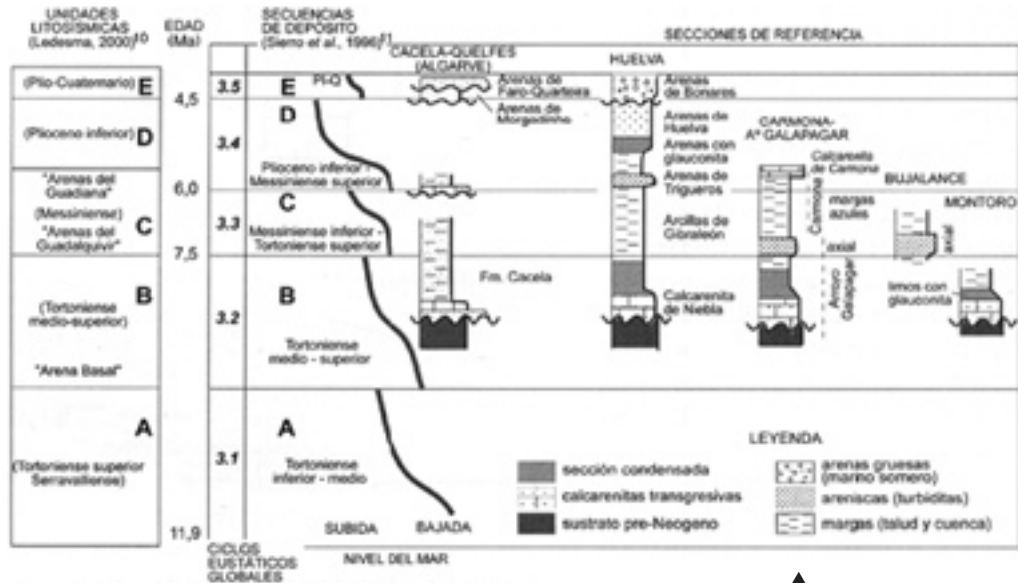


BRAGA, J.C.; MARTÍN, J.M. y AGUIRRE, J. (2002): Tertiary, Southern Spain. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.). Geological Society, London. 320-327.

SIERRO, F.J., GONZÁLEZ DELGADO, J.A., DABRIO, C.J., FLORES, J.A. y CIVIS, J. (1996): Late Neogene depositional sequences in the Foreland basin of Guadalquivir (SW Spain). En: *Tertiary basins of Spain* (P.F. Friend y C.J. Dabrio, Eds.), Cambridge Univ. Press, 329-334.

LEDESMA, S. (2000): *Astrobiocronología y estratigrafía de alta resolución del Neógeno de la cuenca del Guadalquivir-Golfo de Cádiz*. Tesis doctoral, Univ. de Salamanca, 464 p.

◀
Figura 2. Esquema de la cuenca del Guadalquivir y mapa geológico del área de Carmona.



MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo se ha realizado un estudio estratigráfico en la zona de la Cueva de la Batida. Este estudio comprende el reconocimiento de los materiales aflorantes, el levantamiento de la columna estratigráfica y la toma de una serie de muestras que pertenecían tanto a bancos de explotación abandonados, como a estratos no canterables; para su posterior caracterización en el laboratorio.

La caracterización de las muestras se centra en el estudio de su composición (química y mineralógica) y estructura, mediante fluorescencia de rayos X (Eagle III, Edax), microscopía petrográfica (Larbolux 12 Pol S, Leitz), microscopía electrónica de barrido (JSM-5400, Jeol), difracción de rayos X (D-500, Siemens) y porosimetría de mercurio (Poremaster 600, Quantachrome).

Para la caracterización petrográfica de las rocas a través de la microscopía se ha seguido la clasificación de carbonatos propuesta por Dunham⁷. La composición mineralógica se ha realizado, tanto de los componentes del esqueleto, como de los minerales de la fracción menor de 2 μm (arcilla).

La porosimetría de mercurio se basa en una intrusión-extrusión de mercurio, que permite conocer tanto el volumen total de la

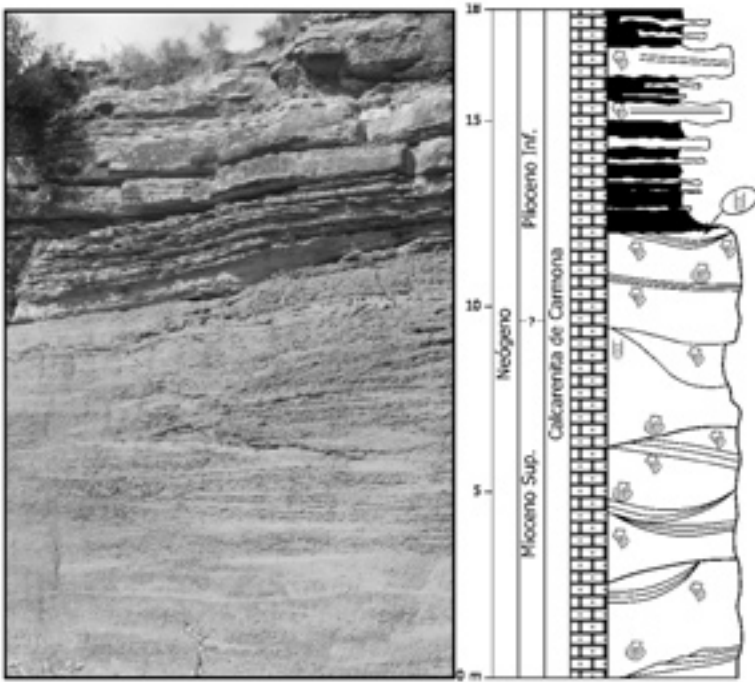
▲
Figura 3. Correlación entre las secuencias de depósito y ciclos eustáticos globales.

7. DUNHAM, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Classification of Carbonate Rocks (W.E. Ham, Ed.). Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol., Vol. 1: 108-121.

porosidad como su distribución. Para determinar el porcentaje de porosidad libre se sigue la metodología establecida por Íñigo⁸.

ESTRATIGRAFÍA DE LAS CANTERAS (CUEVA DE LA BATIDA)

En la base de la columna afloran una serie de estratos de espesor métrico (figura 4) que buzan hacia el NNE. El tamaño de grano que presentan es grueso, estando el esqueleto formado por restos de bioclastos fragmentados, entre los que se reconocen bivalvos y mallas algales, y granos de cuarzo redondeados. Estos estratos presentan una serie de estructuras sedimentarias, como son estratificación cruzada en surco, planar y *megaripples*.



◀ Figura 4. Frente de explotación de la Calcarenita de Carmona y columna estratigráfica correspondiente. Los estratos inferiores pertenecen a los bancos canterables, mientras que los superiores no se explotaban.

Cada estrato tiende a ser erosivo sobre el inferior, presentando unos límites netos. A techo del último se observan estructuras de bioturbación, originadas por la presencia de anélidos. Superiormente, se deposita una alternancia de calcarenitas de grano medio-grueso. Los 10 primeros metros presentan una tendencia grano y estratocreciente, amalgamándose algunos estratos hacia el N-NE. En los estratos de grano grueso se suelen reconocer *slumps* originados por el deslizamiento de sedimentos en la cuenca y

8. ÍÑIGO, A.C. (1995): Respuesta de rocas graníticas a procesos de envejecimiento acelerado y al tratamiento con productos básicos de conservación. Tesis doctoral. Univ. de Salamanca. 229 pp.

laminaciones de *ripples*. Sobre lo anterior se depositan 25 metros de alternancia de estratos de espesor centimétrico con tamaños de grano medio y grueso, en los que se reconocen fragmentos de bioclastos, abundante bioturbación que borra las estructuras sedimentarias anteriores, y deformaciones provocadas por el escape de fluidos del sedimento.

El medio sedimentario se corresponde con una plataforma. Los estratos inferiores, con tamaño de grano grueso, reflejan la existencia de una serie de barras litorales, mientras que las alternancias superiores, se originan en un medio con mayores fluctuaciones energéticas. La columna muestra una somerización del medio.

MICROSCOPIA PETROGRÁFICA

Las muestras recogidas se clasifican como calcarenitas bioclásticas o *grainstones*. Son rocas con una textura clástica orientada (figura 5), cuyo esqueleto esta formado por fragmentos de bioclastos carbonatados y granos de cuarzo en una proporción variable, aunque son más abundantes los primeros.

Los bioclastos están compuestos por fragmentos de distintos organismos. En general están bastante triturados, retrabajados, y

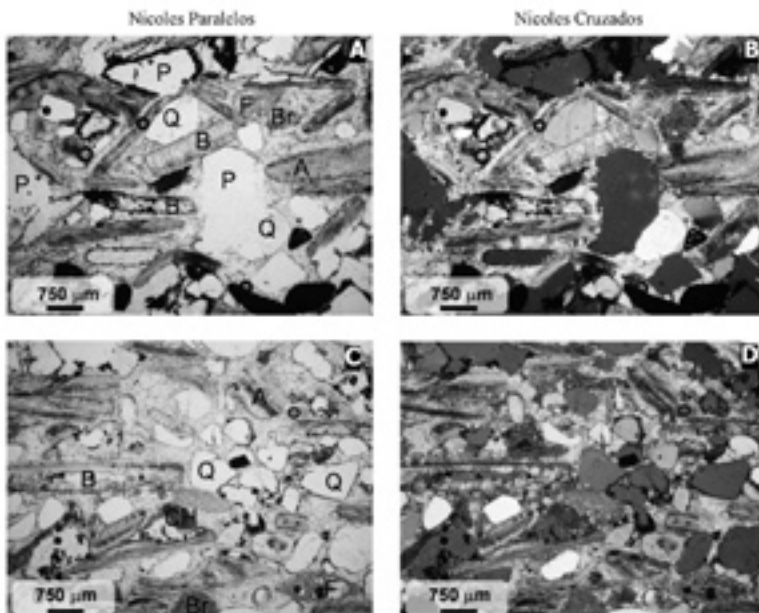


Figura 5. Microfotografías al microscopio de polarización de la variedad canterable (A y B) y de la variedad no canterable (C y D). Q-Cuarzo, A-Algas, Br-Briozoos, B-Bivalvos, F-Foraminíferos, CH-Clastos heredados y P-Porosidad.

son muy heterométricos. Los bioclastos representan alrededor del 60% del esqueleto, aunque las proporciones varían según el campo y la muestra que se observe. Estos fragmentos comprenden en su inmensa mayoría restos de algas, ostrácodos, moluscos (bivalvos y gasterópodos), foraminíferos, equinodermos y briozoos.

El resto del esqueleto, alrededor del 40%, lo constituyen granos de cuarzo detrítico, principalmente monocristalino y de extinción ondulante, aunque puntualmente pueden aparecer granos de cuarzo policristalino y extinción fuertemente ondulante. Son esféricos o subesféricos y bien redondeados, aunque los de menor tamaño son más angulosos. El tamaño de grano varía de arena fina a arena gruesa, siendo más habituales los tamaños de grano medio. Algunos de estos granos están siendo corroídos o alterados.

El resto de clastos del esqueleto, son cristales de feldspatos de tamaño de grano medio-fino y con escasa presencia. Así mismo, se identifican fragmentos de roca carbonatada micrítica, redondeados y alargados, de tamaños muy variables y con una abundancia inferior al 1%. Por lo que corresponde a la variación en la abundancia de estos elementos en unas muestras respecto a otras, cabe señalar que en general las muestras del banco canterable son las más ricas en la proporción total de bioclastos, siendo la muestra del estrato no canterable la que presenta un mayor porcentaje de cuarzo.

Se trata de unas rocas con una porosidad muy alta; principalmente de tipo interparticular (aunque también se aprecia intraparticular y móldica), siendo el estrato no canterable el más poroso. Es visible una clara disposición ordenada del esqueleto, presentando los bioclastos el eje mayor paralelo al plano de estratificación y sin que se definan láminas enriquecidas en un tipo u otro de elemento esquelético.

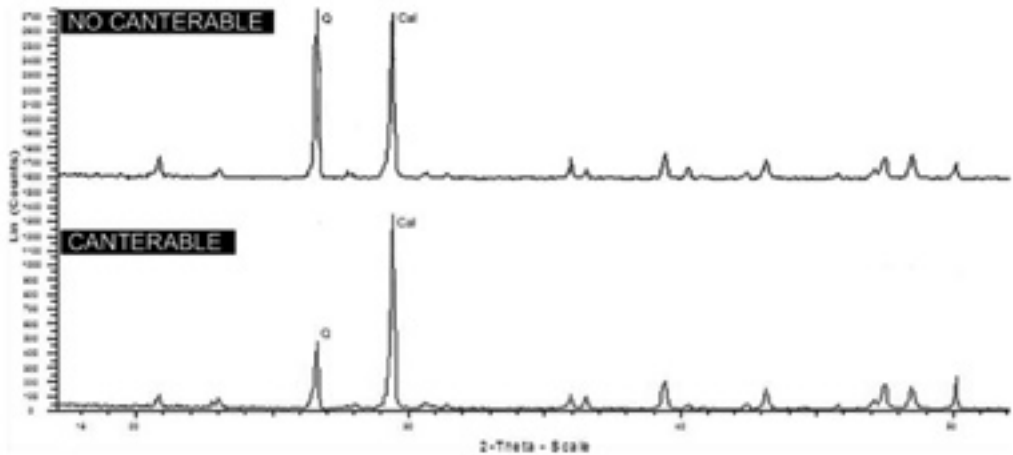
El material que sirve de unión entre los granos es un cemento esparítico, que se dispone entre los mismos formando un cemento con textura de mosaico, en ocasiones *drusy*. El tamaño de estos cristales de esparita parece similar en todas las muestras, aunque en los estratos no canterables presentan cristales más limpios.

En general se observan signos de recristalización en los bioclastos, dificultando la identificación de los mismos en algunos casos,

en otros se distingue apenas el fantasma; también son relativamente frecuentes los moldes vacíos de estos fragmentos orgánicos.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Las muestras estudiadas presentan una composición muy similar (figura 6), variando únicamente las proporciones de los minerales principales, que son el cuarzo (Q) y la calcita (Cal), siendo más abundante la presencia de cuarzo en el estrato no canterable.

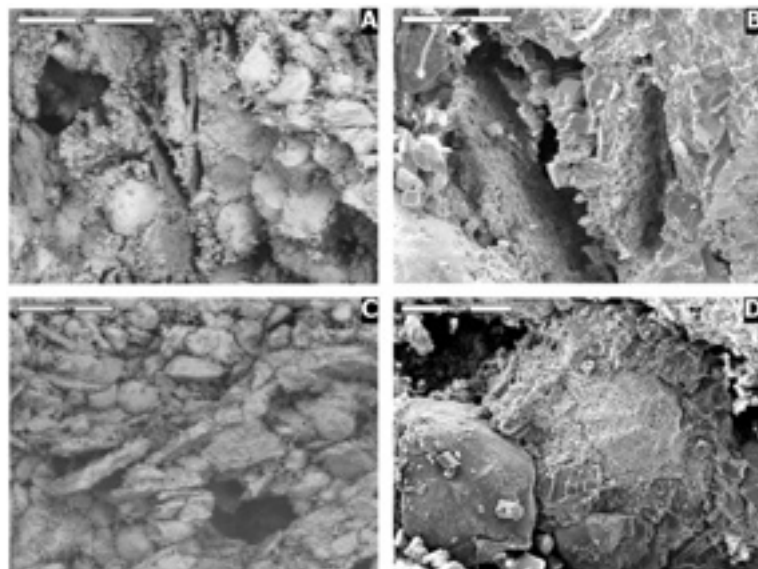


MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Las imágenes obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (figura 7) muestran la estructura de las muestras, pudiendo observarse variaciones entre ellas.

En las muestras del banco explotado, se aprecia cómo la mayor parte del esqueleto se encuentra cubierta por cristales de calcita (pequeños cristales prismáticos que aparecen entre y sobre los granos del esqueleto) que actúan como cemento, mientras en la muestra del estrato no canterable se observan los contornos de los granos del esqueleto más definidos, lo que se debe a la menor cantidad de cemento carbonatado. Al mismo tiempo, el tamaño de grano es mayor en las muestras del banco canterable, mientras que la abundancia de granos de cuarzo (granos con los contornos redondeados) es mayor en la muestra del banco no canterable.

▲
Figura 6. Difracción de rayos X sobre roca total.



◀ Figura 7. Microfotografías mediante microscopía electrónica de barrido de la variedad canterable (A y B) y de la no canterable (C y D).

En la muestra del banco canterable se aprecia un fragmento de concha de un molusco que se ha disuelto y en cuyo hueco ha vuelto a cristalizar parcialmente la calcita, dando lugar a un tipo de poro muy significativo. En la muestra del estrato no canterable se observa otro ejemplo de recrystalización de lo que podría ser un equinodermo.

FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Químicamente, las muestras analizadas presentan diferencias en el porcentaje de SiO_2 y CaO (tabla I) siendo más abundante el primero en los estratos no canterables, y el segundo en los bancos explotables. La cantidad de azufre también muestra mayor

		Canterable	No canterable
SiO_2	%	18,35	35,20
Al_2O_3	%	0,71	0,62
Fe_2O_3	%	2,61	3,60
MnO	%	0,03	0,04
MgO	%	0,35	0,38
CaO	%	51,67	37,36
Na_2O	%	0,17	0,30
K_2O	%	0,22	0,28
TiO_2	%	0,07	0,06
P_2O_5	%	0,17	0,23
S	ppm	176	468

◀ Tabla I. Composición química de la Calcarenita de Carmona.

presencia en los estratos no canterables, lo cual se relaciona con la presencia de yeso.

POROSIMETRÍA DE MERCURIO

Las muestras analizadas presentan una porosidad alta (tabla II), que oscila entre el 12 y el 20%. Esta porosidad se concentra en poros con diámetros mayores de 15 μm y con un porcentaje muy alto de porosidad libre. Los bajos valores de superficie específica y tortuosidad están en consonancia con la alta porosidad libre.

		Canterable	No canterable
Porosidad total	%	12,05	19,32
Macroporosidad ($\Phi > 15 \mu\text{m}$)	%	51,78	78,51
Porosidad libre	%	8,45	14,83
Superficie específica	m^2/g	0,25	0,31
Tortuosidad poral		2,08	2,01
Porosidad interpartícula	%	8,97	16,96
Porosidad intrapartícula	%	3,07	2,36

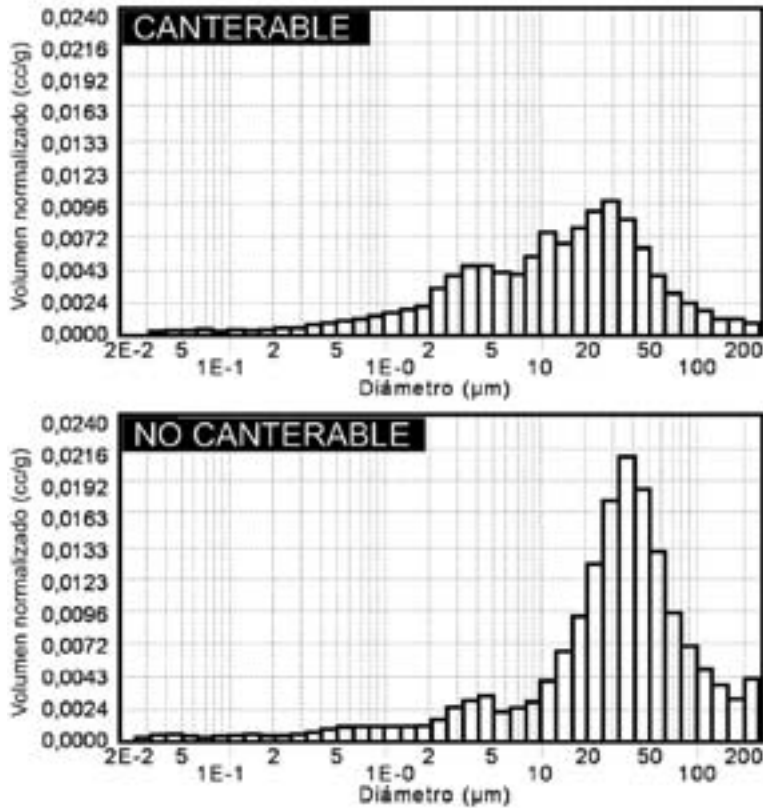
◀ Tabla II. Caracterización de la red poral de la Calcarenita de Carmona.

Los altos valores de porosidad interpartícula se deben a los procesos diagenéticos que ha sufrido la roca y que incluyen procesos de disolución y recristalización del carbonato, dificultando el reconocimiento de los restos fósiles y destruyendo la porosidad interna de estos bioclastos.

De forma general, todas las muestras estudiadas presentan una distribución bimodal (figura 8) con un máximo destacado entorno a las 20-50 μm de diámetro y otro de menor importancia entorno a 3-5 μm de diámetro.

CONCLUSIONES

La Calcarenita de Carmona es un litotipo con unas propiedades muy variables fruto de los procesos diagenéticos que la han afectado. Partiendo de su uso como material de construcción, se puede dividir en dos grupos, la variedad canterable y la no canterable. Aunque ambos grupos se originan en un medio sedimentario de plataforma, el canterable se corresponde con facies más profundas, seguramente barras litorales, mientras que el no canterable muestra una evolución hacia medios más someros y con mayores fluctuaciones en el régimen energético.



◀ Figura 8. Distribución de la porosidad en la Calcarenita de Carmona.

La presencia de fragmentos de bioclastos y la orientación preferente de los mismos condiciona la estructura y porosidad de la roca, la cual se ve modificada posteriormente por los procesos diagenéticos que sufre tras la sedimentación, entre los que destaca la disolución y precipitación del carbonato cálcico. Este proceso conlleva la desaparición parcial o total de los bioclastos que formaban originalmente la roca, pero contribuye a que exista un cemento esparítico de tipo mosaico o *drusy* que da consistencia al conjunto del esqueleto.

Si bien de forma general la Calcarenita de Carmona presentan un gran volumen de porosidad con un porcentaje de porosidad libre elevado, es la variedad no canterable la que presenta los valores más destacados. La distribución de la porosidad muestra un mayor porcentaje de macroporos ($\Phi > 15 \mu\text{m}$) en los estratos no canterables. Esto determina que el volumen de agua que puede contener la roca sea mayor en la variedad no canterable, y al mismo

tiempo la cinética de absorción de este agua se vea facilitada, lo que en conjunto contribuye a disminuir su durabilidad e idoneidad frente a la variedad canterable.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento al Excmo. Ayuntamiento de Carmona por las facilidades prestadas para realizar el presente estudio, y al mismo tiempo al Ministerio de Educación y Ciencia por el soporte económico a través del proyecto de investigación MAT2004-04498 y de la beca FPI (BES-2005-8443) que está disfrutando H. Herrero Fernández.