

Desarrollo del karst *versus* litoestratigrafía en los bordes norte y sur del Sistema Central español

J. Barea⁽¹⁾, J. López-Martínez⁽¹⁾ y J.J. Durán⁽²⁾

(1) Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

(2) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

RESUMEN

En las rocas carbonáticas cretácicas que constituyen los macizos kársticos situados en los bordes norte y sur del Sistema Central español existen dos conjuntos litológicos bien diferenciados por sus características petrológicas y mineralógicas. El conjunto inferior está formado principalmente por calizas, siendo el superior de carácter dolomítico. En este trabajo se analizan las relaciones entre las características litoestratigráficas de ambos conjuntos y el desarrollo de la karstificación. Las formas exokársticas están muy poco desarrolladas o ausentes en el conjunto inferior, mientras que son relativamente abundantes en el conjunto superior. El endokarst también se presenta mejor desarrollado en el último tramo citado, concentrándose en él la mayor parte de las cavidades kársticas de la región. En definitiva, la karstificación se encuentra más desarrollada en los términos dolomíticos de la serie cretácica.

Palabras clave: Karst, litoestratigrafía, petrología, rocas carbonáticas, Sistema Central

Karst development versus lithostratigraphy in the northern and southern margins of the Spanish Central Range

ABSTRACT

Two units have been differentiated by their petrological and mineralogical characteristics in the Cretaceous carbonatic rocks of the karstic massifs existing in the northern and southern sides of the Spanish Central Range. The lower unit includes mainly limestone and the upper one is dolomitic. In this work the relationships are analyzed between the lithostratigraphical characteristics of both units and the karst development. Exokarstic landform are very poor developed or even are not present in the lower unit, meanwhile they are relatively abundant in the upper unit. The endokarst is more developed also in the upper unit where most of the caves existing in the region are located. In definitive, karst is more developed in the dolomitics terms of the cretacic series.

Key words: Carbonatic rocks, karst, lithostratigraphy, petrology, Spanish Central Range

Introducción

En las vertientes norte y sur del Sistema Central español, en las provincias de Segovia, Madrid y Guadalajara, existen materiales carbonáticos que albergan morfologías kársticas tanto superficiales como subterráneas. La edad de estas rocas, que conforman una serie de macizos kársticos aislados de pequeña extensión, abarca desde el Turoniense hasta el Campaniense (Alonso, 1981; Gil y García, 1996). Se trata principalmente de calizas, calizas dolomíticas y dolomías calcáreas. Dichas rocas afloran en bandas estrechas y alargadas, con dirección aproximadamente NE-SO, paralelas a las sierras de Guadarrama, Somosierra y Ayllón (Fig. 1). Estos materiales forman parte de las antiguas plataformas carbonatadas del Cretácico superior de la Cordillera Ibérica (Surco

Ibérico, García *et al.*, 1996), teniendo su terminación sobre los materiales paleozoicos del Macizo Hespérico. Se trata de series de escasa potencia y de carácter predominantemente dolomítico-terígeno.

El estudio geomorfológico de los macizos kársticos situados en las vertientes norte y sur del Sistema Central pone de manifiesto el escaso desarrollo y la poca variedad de las formas exokársticas, siendo éstas casi inexistentes en los macizos más occidentales (Barea, 2001). Sin embargo, abundan las morfologías endokársticas, en su mayoría cavidades de dimensiones moderadas, de desarrollo subhorizontal, que formaron parte de antiguas redes de conductos kársticos mayores de funcionamiento freático. Como fruto de las exploraciones espeleológicas realizadas en la región, se han explorado y topografiado 180 cavidades que suman más de 28 km de conduc-

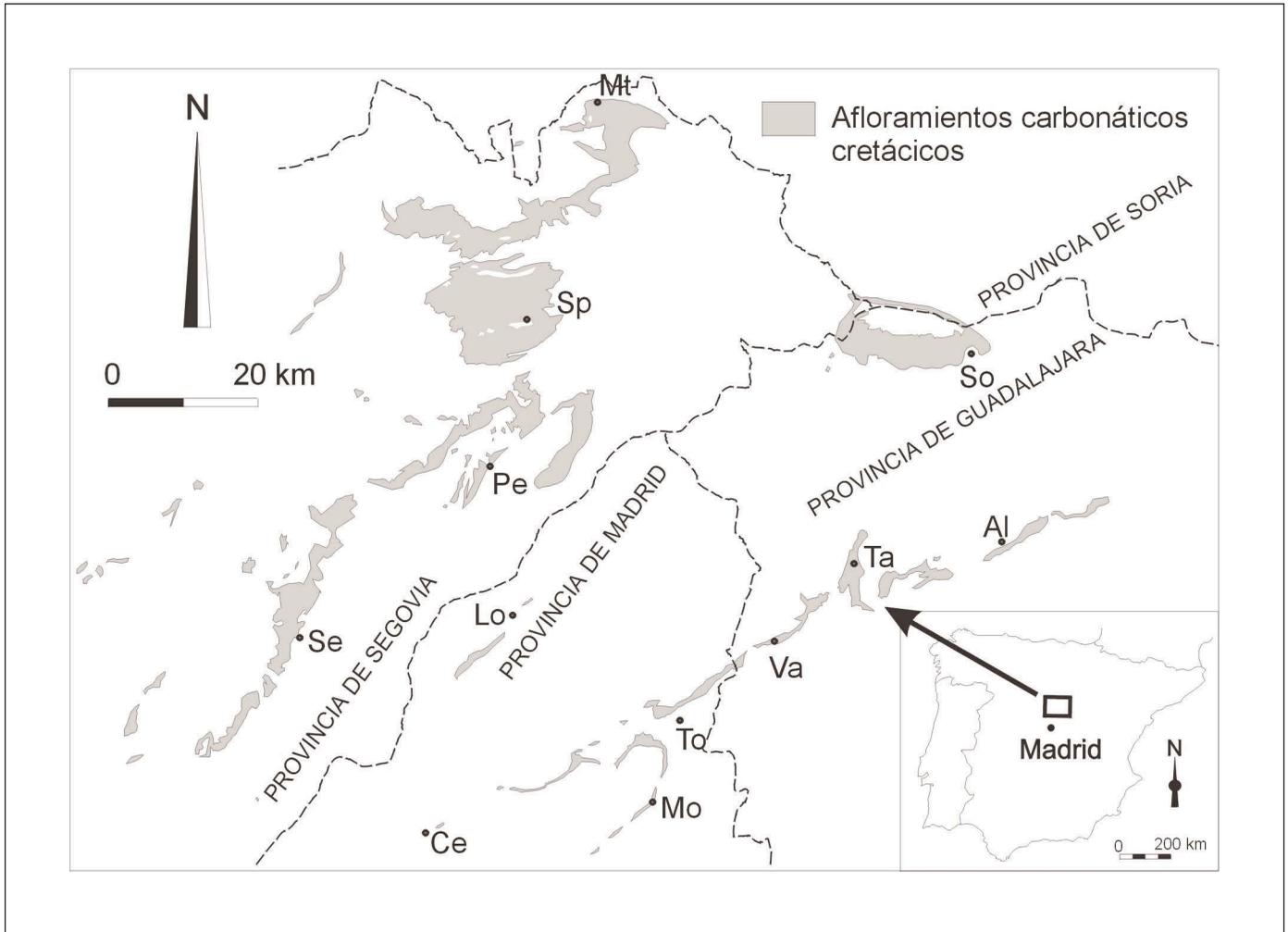


Fig 1. Situación de los macizos kársticos de los bordes norte y sur del Sistema Central. M: Madrid, G: Guadalajara, Al: Alcorlo, Ce: Cerceda, Lo: Lozoya, Mo: El Molar, Mt: Montejo de la Vega, Pe: Pedraza, Se: Segovia, So: Somolinos, Sp: Sepúlveda, Ta: Tamajón, To: Torrelaguna, Va: Valdepeñas de la Sierra

Fig. 1. Location of the karstic massifs in the northern and southern sides of the Spanish Central Range. M: Madrid, G: Guadalajara, Al: Alcorlo, Ce: Cerceda, Lo: Lozoya, Mo: El Molar, Mt: Montejo de la Vega, Pe: Pedraza, Se: Segovia, So: Somolinos, Sp: Sepúlveda, Ta: Tamajón, To: Torrelaguna, Va: Valdepeñas de la Sierra

tos subterráneos. En la actualidad se encuentran parcialmente dismanteladas por la erosión y la incisión fluvial pliocuaternarias. Después de la estructuración alpina del Sistema Central, tienen lugar las primeras fases de karstificación, en el Plioceno (Barea *et al.*, 1997). Durante ese período los macizos kársticos se encuentran bajo una delgada cobertera sedimentaria. La entrada de agua al karst se produce entonces por infiltración difusa, lo que provoca una distribución homogénea de los procesos de karstificación.

Objetivo y metodología

La finalidad del presente trabajo es caracterizar los materiales sobre los que se desarrollan los fenóme-

nos kársticos en los macizos situados en las vertientes norte y sur del Sistema Central español, y tratar de poner de manifiesto a qué tramos litológicos y cronoestratigráficos están ligados las morfologías kársticas. El objetivo es determinar la influencia de la litoestratigrafía en el desarrollo y la tipología del karst regional. Para ello, se han estudiado las características petrológicas de las rocas karstificables, que constituyen los macizos kársticos, muestreando las diferentes formaciones carbonatadas que conforman dichos macizos. En total hemos analizado 55 muestras, de las que 18 corresponden a rocas tomadas en el interior de cavidades. Posteriormente, en el laboratorio se cortan las rocas y obtienen láminas delgadas de las mismas, tiñéndolas para su estudio con el microscopio petrográfico. La tinción empleada ha

sido la de Evamy, realizada siguiendo los procedimientos existentes en la bibliografía (norma UNE 22-181-85, Adams *et al.*, 1984).

Para determinar el contenido en carbonato de las rocas se utilizó un calcímetro de Bernard. Previamente fue necesario triturar las muestras en un mortero de ágata. Las calcimetrías se basan en la descomposición de los carbonatos por la asociación del ácido clorhídrico (HCl), con desprendimiento de CO₂ gaseoso, según la siguiente reacción: CO₃ M + 2 HCl = Cl₂ M + CO₂ + H₂O; donde M corresponde a cationes divalentes (Ca²⁺, Mg²⁺). Con este método se puede alcanzar un error máximo en la determinación del contenido en carbonato cálcico del 2% (López Azcona y Mingarro, 1967).

Litoestratigrafía de los macizos kársticos

Para el estudio petrológico se han tenido en cuenta los trabajos previos realizados sobre las rocas carbonáticas de los afloramientos cretácicos de la provincia de Segovia (Mingarro y López Azcona, 1974, 1975; Alonso, 1981), así como los estudios de carácter litoestratigráfico llevados a cabo por Gil (1993) y Gil y García (1996) en las provincias de Madrid y Guadalajara, complementándolos con observaciones propias de los materiales que conforman los macizos kársticos del borde sur del Sistema Central. Actualmente, sin embargo, existe una dualidad terminológica entre los materiales que conforman la serie Cretácica de la vertiente norte y sur del Sistema Central. Aunque se han efectuado trabajos de síntesis (Alonso y Mas, 1982), nuevos estudios litoestratigráficos de la serie mesozoica del borde sur de la sierra llevados a cabo por Gil (1993) reorganizan, en gran medida, la terminología empleada para describir las formaciones que conforman los materiales cretácicos de la vertiente meridional del Sistema Central.

Macizos del borde norte

Los estudios petrológicos y geoquímicos realizados en los materiales carbonáticos cretácicos de la provincia de Segovia por Mingarro y López Azcona (1974) evidencian la existencia de dos conjuntos: uno basal, constituido principalmente por calizas, y otro, superior, de carácter dolomítico. Según la descripción realizada por Alonso (1981) de estos mismos materiales, el primero de ellos incluiría a la Formación Dolomías tableadas Caballar y a la Formación Areniscas dolomíticas de Hontoria, con una edad para el conjunto Coniaciense-Santoniense. El conjun-

to superior estaría constituido por la Formación Dolomías de Montejo y la Formación Dolomías de Valle de Tabladillo, con una edad Santoniense superior-Campaniense. Las 135 muestras consideradas en el estudio de Mingarro y López Azcona (1974) ponen de manifiesto que el conjunto basal comprende calizas puras y calizas poco dolomíticas, con menos del 25% de dolomita y más del 75% de calcita, mientras que en el tramo superior aparecen dolomías y dolomías poco calcáreas con más del 75% de dolomita y menos del 25% de calcita. En cuanto a la distribución geográfica de estas rocas, puede decirse que las dolomías son más abundantes hacia el NE de la provincia (alrededores de Segovia, Pedraza, Sepúlveda y Pradales).

El contenido en minerales insolubles de dichas rocas es estudiado también por Mingarro y López Azcona (1974). Estos autores determinan que en el 90% de las muestras el residuo insoluble es inferior al 25%. Dichos insolubles están constituidos principalmente por cuarzo, minerales de la arcilla y óxidos ferruginosos.

En un trabajo posterior, Mingarro y López Azcona (1975) estudiaron la fracción arcillosa presente en las rocas cretácicas de la provincia de Segovia. Así, determinan que en el conjunto basal la paragénesis de los minerales de la arcilla está compuesta por mica, montmorillonita y sepiolita, mientras que en el conjunto superior la constituyen caolinita, mica, montmorillonita e illita. Los análisis mineralógicos y sedimentológicos efectuados sobre los depósitos detríticos endokársticos de las cavidades de la zona, desarrolladas fundamentalmente en el conjunto superior, ponen de manifiesto igualmente el predominio de illita y caolinita en dichos depósitos (Barea *et al.*, 2000). Estos minerales procederían, en gran medida, de la fracción insoluble de las rocas que constituyen los macizos kársticos.

Macizos del borde sur

Para el estudio petrológico de los macizos kársticos del borde sur del Sistema Central se han tomado 55 muestras de roca, en diferentes lugares y posiciones estratigráficas, abarcando los principales macizos kársticos existentes (Fig. 2). Tras su estudio mediante microscopio petrográfico, hemos podido diferenciar, según las características texturales y composicionales, dos conjuntos litológicos en la serie carbonática cretácica. Un conjunto inferior, y otro superior, más potente. La edad de los mismos, basándose en los estudios estratigráficos de Gil (1993) y Gil y García (1996), es del Turoniense medio al Santoniense, para

el conjunto inferior, y Santoniense superior-Campaniense, para el conjunto superior.

Conjunto inferior

El conjunto inferior está constituido, de base a techo, por la Formación Calizas dolomíticas de la Tranquera y la Formación Calizas nodulares de Hortezuolos. Los primeros tramos de la Formación Calizas dolomíticas de la Tranquera son materiales calcareníticos con cuarzo detrítico y cemento carbonático (muestras 24 y 25) (Tabla 1). La parte superior la constituyen rocas de facies tipo *wackestone* a *mudstone* (muestras 8, 10, 13, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28). Estas rocas contienen abundantes fragmentos de conchas de bivalvos y otros fósiles (ostrácodos, gasterópodos, braquiópodos, placas de equinodermos), además de restos de oolitos y peloides. El contenido en barro micrítico va en aumento hacia el techo de la Formación Calizas dolomíticas de la Tranquera, siendo éste el componente mayoritario en la muestra 28. Dicha formación se presenta en los afloramientos como rocas de color claro (amarillento a blanco crema) que son fácilmente reconocibles por su aspecto de calizas litográficas.

Sobre la anterior formación se sitúan las Calizas nodulares de Hortezuolos. Estas comienzan por términos calcareníticos (muestra 29) con abundante cuarzo. Sin embargo, el resto de la formación presenta características más homogéneas, con facies tipo *mudstone*, donde el barro micrítico es el constituyente predominante (muestras 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37 y 55), siendo los niveles calcareníticos menos abundantes que en la Formación Calizas dolomíticas de la Tranquera.

En general, dentro del conjunto inferior, y de base a techo, se puede apreciar cómo el ambiente de sedimentación evoluciona gradualmente desde medios próximos a zonas emergidas con aporte de terrígenos (cuarzo), pasando por una fase de sedimentación en condiciones de alta energía correspondiente a ambientes cercanos a playas o de plataforma somera (oolitos y restos de bioclastos), para finalizar en un medio más tranquilo, tipo *lagoon* o de plataforma más profunda (deposición del barro micrítico).

Los resultados de las calcimetrías realizadas (Tabla 1) muestran que el conjunto inferior está constituido fundamentalmente por calizas, cuyo contenido en carbonato cálcico oscila entre el 79,7% y el 100%. Únicamente las muestras 8, 13, 29, 33 y 59 tienen una composición más dolomítica, que oscila entre el 69,5% y el 80% de CaMg (CO₃)₂.

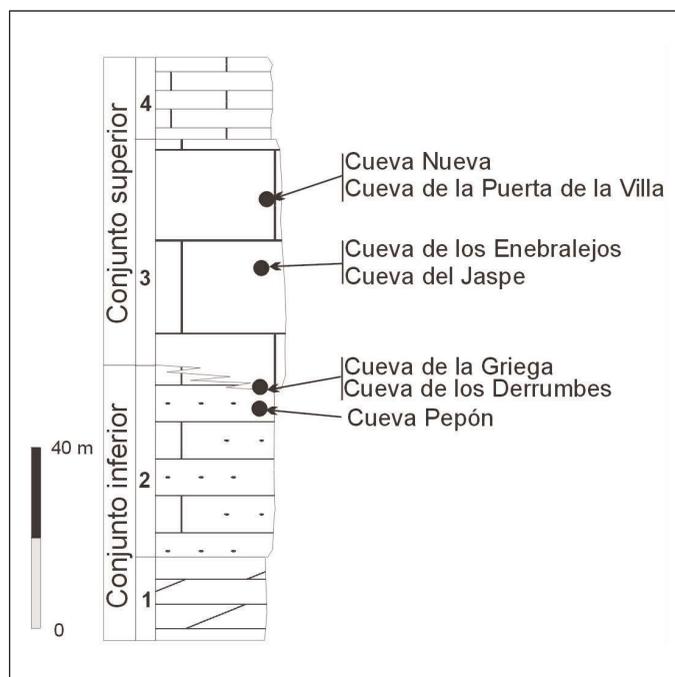


Fig. 2. Situación de las rocas muestreadas para el estudio petrológico en los afloramientos carbonatados cretácicos del borde sur del Sistema Central

Fig. 2. Location of the sampled rocks for the petrologic study in the Cretaceous carbonatic outcrops of the southern side of the Spanish Central Range

Conjunto superior

El conjunto superior está constituido, de base a techo, por la Formación Calizas de Hontoria del Pinar y la Formación Calizas del Burgo de Osma. Sobre el terreno se presenta en forma de escarpes que, en ocasiones, pueden tener varias decenas de metros de altura (Patones, Retiendas y Tamajón). Las características petrológicas de los materiales que constituyen ambas formaciones son muy similares y su composición es predominantemente dolomítica. Se trata de rocas de tipo *grainstone*, con fantasmas de cristales de calcita sustituidos por dolomita y sin fósiles. Estas han evolucionado desde facies tipo *mudstone*, por procesos de recristalización y dolomitización secundaria, pasando a dolomías y calizas recristalizadas en las que han desaparecido las estructuras sedimentarias y los restos de organismos marinos que las constituían.

Pertencen a la Formación Calizas de Hontoria del Pinar las muestras 1, 5, 14, 15, 16, 17, 38, 40, 41, 47, 50, 52, 60 y 61 (Tabla 2). La Formación Calizas del Burgo de Osma está representada, a su vez, por las muestras 4, 7, 18, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 51, 53, 54, 56, 57 y 58.

Desde el punto de vista petrográfico cabe destacar

que el tamaño de los cristales de la Formación Calizas de Hontoria del Pinar es mayor que en la Formación Calizas del Burgo de Osma. Las calcimetrías realizadas (Tabla 2) también revelan un contenido medio en carbonato cálcico superior en la primera de las dos formaciones citadas (un 23% frente a un 12,5%). Es decir, que las rocas de la Formación Calizas del Burgo de Osma tienen un carácter más dolomítico que las de la Formación Calizas de Hontoria del Pinar.

Relación entre karstificación y litoestratigrafía

Las formas kársticas son el resultado de interacciones físico-químicas sobre rocas de carácter soluble (p. ej. calizas, dolomías y yesos), donde los procesos de disolución tienen un papel preponderante. Ensayos realizados en laboratorio muestran que la disolución de las rocas carbonáticas va siempre acompañada de una disgregación mecánica de los agregados cristalinos (Roques y Ek, 1973). Esta disgregación es función de las características petrológicas (tamaño de los cristales, tipo de cemento, porosidad, porcentaje de aloquímicos e insolubles, entre otras). En el caso de las

rocas de composición dolomítica, la citada disgregación se produce en mayor grado, dando lugar a una erosión por disolución del cemento y liberación de granos (Dodge, 1979).

El análisis microscópico de las rocas afectadas por procesos de disolución pone en evidencia el carácter selectivo de dichos procesos. Roques y Ek (1973) observan que los cementos de tipo micrítico (< 4 µm) se disuelven mejor que los de carácter esparítico (20 a 100 µm), así como que los aloquímicos quedan en relieve respecto al cemento micrítico al sufrir disolución.

Para rocas de carácter dolomítico la disolución es teóricamente más lenta. Las experiencias en laboratorio de Rauch y White (1977) así parecen confirmarlo. Sin embargo, el mayor grado de porosidad secundaria que presentan puede llegar a contrarrestar este efecto, haciéndolas en ocasiones, sobre el terreno, más solubles que las calizas (Nicod, 1971). En rocas doloesparíticas (cristales de 50 a 100 µm), la disolución provoca una disgregación de cristales importante, que caen por gravedad formando arenas dolomíticas siendo, por lo tanto, las dolomías más sensibles a la erosión mecánica que las calizas (Corbel, 1959).

Muestra	CaCO ₃ (%)	Otros carbonatos (%)	Formación
8	19	80	Calizas de la Tranquera
10	92,2	1,1	Calizas de la Tranquera
13*	18,9	75,5	Calizas de la Tranquera
19*	79,7	18,3	Calizas de la Tranquera
20*	99,7		Calizas de la Tranquera
21*	93,3		Calizas de la Tranquera
22*	87,1		Calizas de la Tranquera
23*	99		Calizas de la Tranquera
24	85,2	1,4	Calizas de la Tranquera
25	95		Calizas de la Tranquera
26	92,5	1,6	Calizas de la Tranquera
27	92,5	4,9	Calizas de la Tranquera
28	92,3		Calizas de la Tranquera
29	8	73,7	Calizas de Hortezielos
30	97,2		Calizas de Hortezielos
31	95,6		Calizas de Hortezielos
32	100		Calizas de Hortezielos
33	29,5	69,5	Calizas de la Tranquera
34	94	5	Calizas de Hortezielos
35	96	4	Calizas de Hortezielos
37	91,2	7	Calizas de Hortezielos
55	51,8	49	Calizas de Hortezielos
59*	24,5	70,8	Calizas de la Tranquera
62*	91,3	8,6	Calizas de la Tranquera

Tabla 1. Resultado de las calcimetrías realizadas en rocas del conjunto inferior. Situación de las muestras indicada en la Fig. 2. (*): muestra tomada en el interior de una cavidad

Table 1. Results of the calcimetries made on the rocks of the lower unit. Samples location is shown in the Fig. 2. (*): samples from caves

Muestra	CaCO ₃ (%)	Otros carbonatos (%)	Formación
1	25,2	74	Calizas de Hontoria del Pinar
4	6,6	92,4	Calizas del Burgo de Osma
5	18	80,4	Calizas de Hontoria del Pinar
7	14,1	85,4	Calizas del Burgo de Osma
14	20,4	78,8	Calizas de Hontoria del Pinar
15	9,6	90	Calizas de Hontoria del Pinar
16	15,8	84	Calizas de Hontoria del Pinar
17	13	85,6	Calizas de Hontoria del Pinar
18	19,2	80	Calizas del Burgo de Osma
36	10	89,3	Calizas del Burgo de Osma
38*	45,8	54,7	Calizas de Hontoria del Pinar
40*	24,7	75	Calizas de Hontoria del Pinar
41*	19,9	79	Calizas de Hontoria del Pinar
42	15,4	83,5	Calizas del Burgo de Osma
43*	13,1	84,1	Calizas del Burgo de Osma
44	16	82,9	Calizas del Burgo de Osma
45	16	83,4	Calizas del Burgo de Osma
46	7,2	91,9	Calizas del Burgo de Osma
47	43,3	55,4	Calizas de Hontoria del Pinar
48*	12	83,9	Calizas de Hontoria del Pinar
49*	9,2	90	Calizas del Burgo de Osma
50	35,5	64	Calizas de Hontoria del Pinar
51*	13,6	86	Calizas del Burgo de Osma
52	18	80,7	Calizas de Hontoria del Pinar
53*	14	85,3	Calizas del Burgo de Osma
54	17,6	81,7	Calizas del Burgo de Osma
56*	13,2	85,9	Calizas del Burgo de Osma
57	13,4	86	Calizas del Burgo de Osma
58*	23,7	75,8	Calizas del Burgo de Osma
60	60,6	38,7	Calizas de Hontoria del Pinar
61	5,9	58,8	Calizas de Hontoria del Pinar

Tabla 2. Resultado de las calcimetrías realizadas en las rocas del conjunto superior. Situación de las muestras indicada en la Fig. 2. (*): muestra tomada en el interior de una cavidad

Table 2. Results of the calcimetries made on the rocks of the upper unit. Samples location is shown in the Fig. 2. (): samples from caves*

Este fenómeno es reconocible tanto en superficie como en el endokarst en toda la zona estudiada.

Un aspecto singular de los procesos de dolomitización es el de no afectar por igual a los sedimentos en los que se produce, debido, entre otras variables, a las condiciones ambientales diferenciales presentes con anterioridad a los procesos de diagénesis (sedimentación, disposición y naturaleza de los materiales afectados, entre otras). Este hecho provoca que existan en una misma formación rocosa diferentes grados de dolomitización y, por lo tanto, de porosidad primaria. Así, es posible explicar, en parte, los fenómenos de disolución diferencial y la distribución desigual de la karstificación observada en los diferentes macizos kársticos de los bordes norte y sur del Sistema Central.

Las observaciones realizadas en el campo, refe-

rente a la distribución de las formas kársticas, ponen en evidencia notables diferencias entre el grado de karstificación del conjunto inferior (calizo) y del conjunto superior (dolomítico) en los macizos kársticos del borde sur del Sistema Central. Los fenómenos kársticos superficiales en el conjunto inferior están muy poco desarrollados o ausentes. En el conjunto superior existen, sin embargo, numerosas formas exokársticas de tipologías variadas (lapiaces, relieves ruiformes entre otros).

Los fenómenos endokársticos son, igualmente, más abundantes y de mayor desarrollo en el conjunto superior, como lo demuestra la existencia de múltiples cavidades (Cueva de la Bruja, Sima Fliper, Cueva del Reguerillo, Cueva de la Escarihuela, entre otras) (Fig. 3). Sin embargo, en el conjunto inferior existen menos cavidades, aunque se conocen algu-

nas en el área de Tamajón (Sima de los Enebrales y Cueva de Santiago, por ejemplo) (Fig. 3). Los estudios realizados sobre la fracturación y los lineamientos en el karst de la región, ponen de manifiesto que el desarrollo del endokarst, en los dos conjuntos litológicos, tiene un marcado condicionamiento estructural (Barea *et al.*, 2002), no existiendo diferencias apreciables entre ambos. Por otra parte, se aprecian ciertas diferencias morfológicas entre las cuevas desarrolladas en cada uno de los dos conjuntos citados. Las cavidades formadas en los materiales dolomíticos son generalmente más extensas y con galerías y salas más amplias que las formadas en el conjunto inferior calizo. Según Choppy (1987), la mayor poro-

sidad de las dolomías favorecería el desarrollo de amplias redes kársticas de régimen freático, cuando la disposición estructural es favorable.

En los macizos kársticos del borde norte del Sistema Central se produce una situación similar a la de vertiente meridional en lo que se refiere a la distribución de las cavidades. La mayor parte de las formas exokársticas se concentran igualmente en el tramo superior, de carácter dolomítico. Asimismo, las cavidades más importantes del área (p. ej. Cueva de los Enebrales, Cueva del Jaspe y Cueva Nueva), se encuentran desarrolladas en los niveles superiores, de composición dolomítica, de la serie cretácica (Fig. 4).

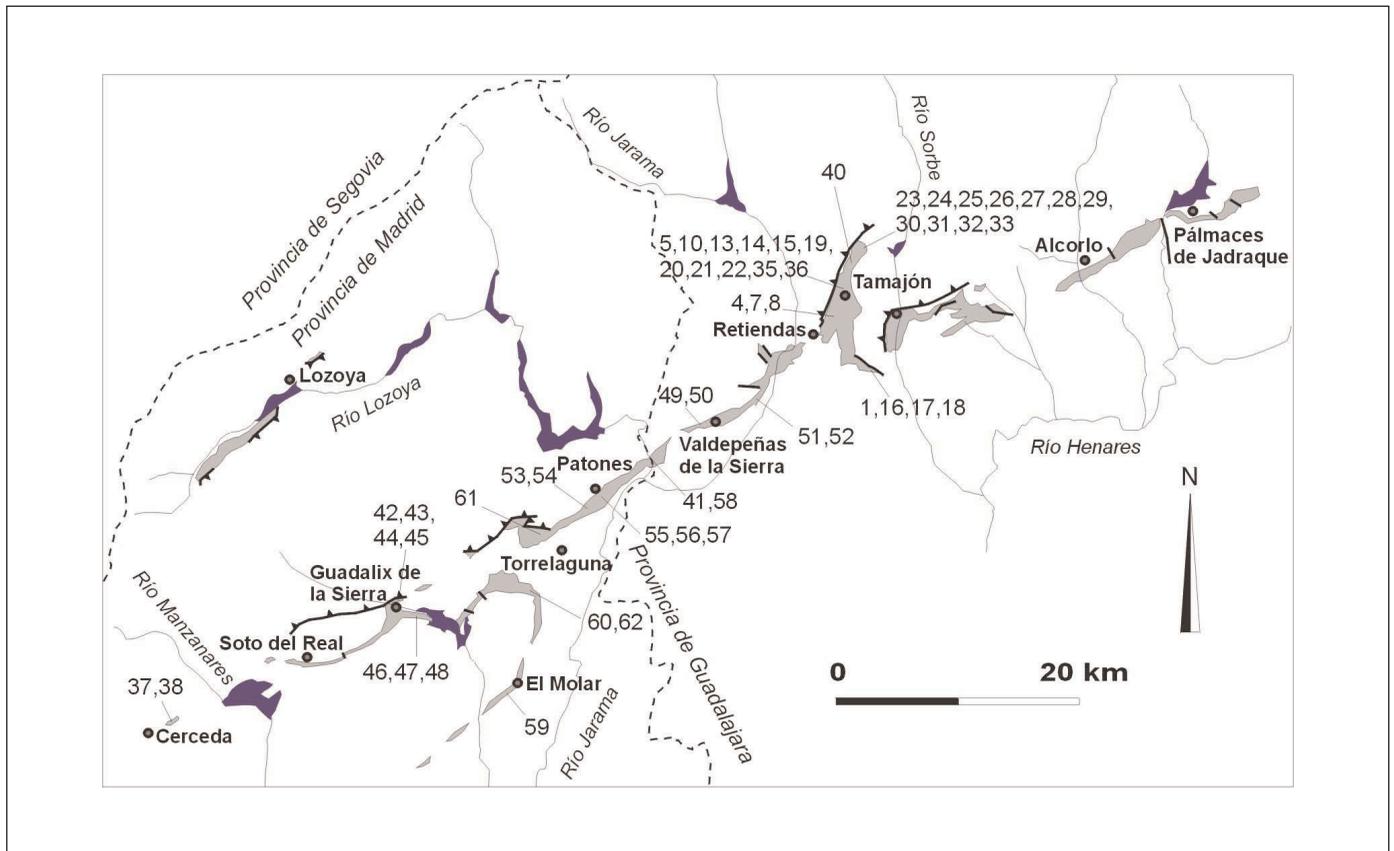


Fig. 3. Situación de las principales cavidades del borde sur del Sistema Central en relación con las unidades litoestratigráficas cretácicas definidas por Gil y García (1996). La figura representa una correlación de las series estratigráficas en las diferentes localidades citadas en la parte superior del perfil. Las escalas vertical y horizontal son aproximadas. 1, cuevas de El Molar; 2, surgencia de El Espartal; 3, Cueva de Peñarrubias y Cueva ESP1; 4, Cueva de los Alcores; 5, Cueva del Lobo; 6, Cueva de San Román; 7, Cueva de los Retamales y Cueva de la Escarihuela; 8, Cueva del Reguerillo y Cueva de la Campana; 9, Sima del Caballo; 10, Cueva de la Bruja; 11, Cueva de la Cabra; 12, Sima Fliper; 13, Cueva Remigín y Cueva del Chorrillo; 14, Cueva Vial; 15, Sima de los Enebrales y Cueva de la Salamandra; 16, Cueva de Santiago; 17, Cueva del Gorgocil; 18, Cueva del Congosto y Cueva de las Pinturas

Fig. 3. Location of the main caves in the southern side of the Spanish Central Range in relation to the Cretaceous lithostratigraphic units which were established by Gil and García (1996). The figure shows a correlation of the stratigraphic profiles existing in the places mentioned in the upper part. Vertical and horizontal scales are approximate. 1, caves of El Molar; 2, El Espartal spring; 3, Peñarrubias cave and ESP1 cave; 4, Los Alcores cave; 5, Del Lobo cave; 6, San Román cave; 7, Los Retamales cave and La Escarihuela cave; 8, El Reguerillo cave and La Campana cave; 9, El Caballo cave; 10, La Bruja cave; 11, La Cabra cave; 12, Fliper cave; 13, Remigín cave and El Chorrillo cave; 14, Vial cave; 15, Los Enebrales and Salamandra caves; 16, Santiago cave; 17, Gorgocil cave; 18, El Congosto and Las Pinturas caves

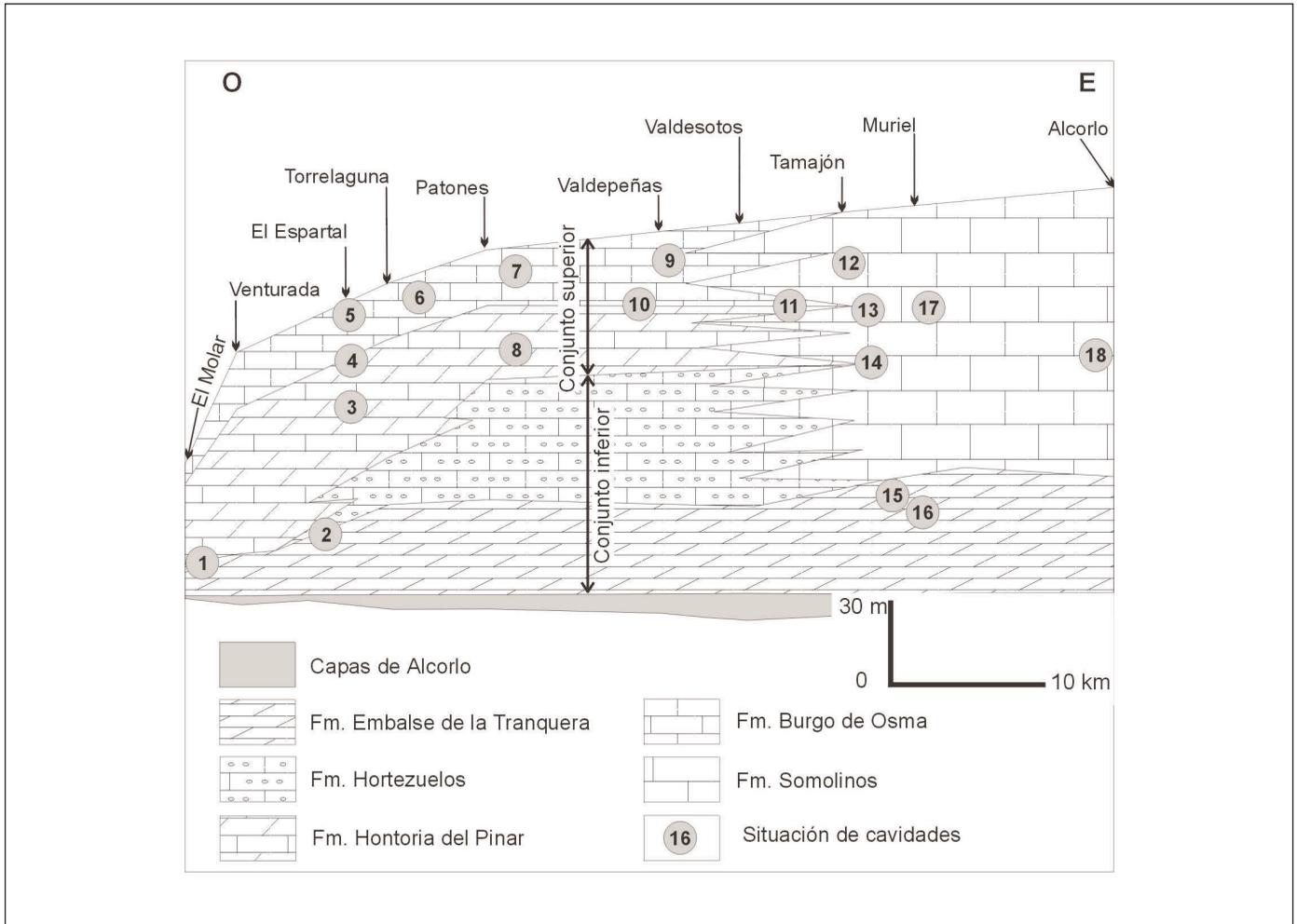


Fig. 4. Situación de las principales cavidades del área de Prádena-Pedraza dentro de las unidades litoestratigráficas definidas por Alonso (1981) y Floquet *et al.* (1982). 1, Dolomías tableadas Caballar (Coniaciense); 2, Areniscas dolomíticas de Hontoria (Santonienne); 3, Dolomías de Montejo (Santonienne superior); 4, Dolomías de Valle de Tabladillo (Campanienne)

Fig. 4. Location of the main caves in Prádena-Pedraza area relative to the lithostratigraphic units established by Alonso (1981) and Floquet *et al.* (1982). 1, Dolomías tableadas Caballar (Coniacian); 2, Areniscas dolomíticas de Hontoria (Santonian); 3, Dolomías de Montejo (Upper Santonian); 4, Dolomías de Valle de Tabladillo (Campanian)

Conclusiones

En las rocas carbonáticas cretácicas situadas en las vertientes norte y sur de las sierras de Guadarrama, Somosierra y Ayllón, se han distinguido dos conjuntos litológicos, uno inferior constituido predominantemente por calizas con un contenido en carbonato cálcico entre 79,7% y 100%, y otro superior, de carácter dolomítico, con rocas cuyos contenidos medios en carbonato cálcico varían entre 13,8% y 24,5%. En general, se trata de afloramientos cuya extensión raramente sobrepasan los 120 km² y en los que los procesos de karstogénesis llevan actuando desde el Plioceno (Barea *et al.*, 1997), lo que ha favorecido el desarrollo desigual de morfología endo y exokárstica.

Las diferencias petrológicas y composicionales de los materiales cretácicos condicionan la distribución espacial de las morfologías kársticas. Se aprecia que las formas exokársticas son más abundantes y variadas en el conjunto superior constituido por términos más dolomíticos (p. ej. dolinas, bogaces, relieves ruñiformes), estando prácticamente ausentes en el conjunto inferior calcáreo. Este hecho es especialmente notable en los macizos kársticos situados más hacia el oeste, constituidos principalmente por calizas, donde apenas existen formas exokársticas.

Algo similar a lo anteriormente indicado ocurre con la geomorfología endokárstica. Las cavidades más importantes se han formado en los términos dolomíticos de la serie cretácica (Cueva del Reguerillo, Cueva de la Bruja y Cueva de los

Enebralejos, entre otras) (Figs. 3 y 4). También se conocen cavidades desarrolladas en el conjunto inferior, de composición caliza. Éstas presentan galerías estrechas y volúmenes subterráneos relativamente pequeños y menores que los existentes en el conjunto superior.

En general, se aprecia que el desarrollo del karst está en relación con las características petrológicas de los materiales, que constituyen los macizos kársticos situados en los bordes norte y sur del Sistema Central. La karstificación se encuentra más desarrollada en los términos dolomíticos de la serie cretácica.

Este hecho, en aparente contradicción con trabajos experimentales, apunta en el sentido de la existencia de dos términos litológicos de la serie caliza-dolomía más favorables a la karstificación.

Por un lado, las calizas con un contenido bajo en MgO (entre 1 y 2,5 %, según los datos de Rauch y White, 1977) constituyen un tipo litológico muy favorable a los procesos de karstificación. Por otro, cuando la dolomitización es prácticamente total (menos de un 20% de Co_3Ca), la pérdida de aptitud frente a la karstificación relacionada con el incremento del contenido en magnesio se ve anulada por otros factores. En consecuencia, calizas con bajo contenido en magnesio y dolomías prácticamente puras son los términos litológicos más karstificables. En el caso aquí estudiado, la presencia de calizas ricas en magnesio en el conjunto litológico inferior inhibe prácticamente los procesos de karstificación, limitándolos a las dolomías muy puras del conjunto superior.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado en el marco del proyecto PB97-1267-CO3-02 de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica. Es también una contribución del Grupo Español de Trabajo del Proyecto 448 del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP). Agradecemos los comentarios efectuados por el Dr. Rodríguez Vidal y otro revisor anónimo, así como la colaboración del grupo de Espeleología SECJA de Alcobendas en la toma de muestras en el interior de cavidades.

Referencias

Adams, A.E., Mac Kenzie, W.S. y Guilford, C. (1984). *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Longman. 104 p.
Alonso, A. (1981). El Cretácico de la provincia de Segovia

(borde norte del Sistema Central). *Seminarios de Estratigrafía*, 7, 320 p. Ediciones de la Universidad Complutense de Madrid.
Alonso, A y Mas, J.R. (1982). Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al norte y al sur del Sistema Central. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8, 145-166. Madrid.
Barea, J. (2001). *Geomorfología y evolución paleoclimática durante el Cuaternario a partir del estudio de los macizos kársticos de los bordes del Sistema Central y de Valporquero, León*. Tesis Doctoral (Inédita). Universidad Complutense de Madrid. 267 p.
Barea, J., Casas, J., Durán, J.J., López-Martínez, J. y Martín de Vidales, J.L. (2000). Interés paleoambiental del estudio de sedimentos detríticos endokársticos. Aplicación a cavidades del centro de la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, 111(2-3), 17-32.
Barea, J., López Martínez, J. y Durán, J.J. (2002). Condicionantes estructurales para el desarrollo del karst en los alrededores del Sistema Central español. *Geogaceta*, 31, 51-53.
Barea, J., López-Martínez, J. y Torres, T. (1997). Geología y evolución del karst del Cerro de La Oliva (Patones, Madrid). En C. Fierro (Coord.). *La Cueva del Reguerillo y su entorno: un estudio multidisciplinar*, 19-24. Comisión de Conservación de Cavidades, Federación Madrileña de Espeleología.
Choppy, J. (1987). Roches carbonatées et karstification. *Phénomènes karstiques- Serie 41: Le facteur lithologiques*. 75 p. Spéléo-Club de Paris. Paris.
Corbel, J. (1959). Érosion en terrain calcaire. *Annales de Géographie*, 366, 97-120.
Dodge, G. (1979). Microfacies carbonatés et karstification du Causse Comtal (Aveyron, France). *Actes du Symposium international sur l'érosion karstique*. pp. 191-197. Aix en Provence-Marseille-Nimes.
Floquet, M., Alonso, A. y Meléndez, A. (1982). Cameros-Castilla. El Cretácico superior. En A. García (Coord.): *El Cretácico de España*. pp. 387-453. Universidad Complutense de Madrid.
García, A., Gil, J. y Segura, M. (1996). La terminación sobre el Macizo Hespérico de las plataformas sedimentarias cretácicas del Surco Ibérico, a lo largo del flanco meridional de la Cordillera Carpetana (Guadalajara y Madrid). En M. Segura, I. Bustamante y T. Bardaji (Eds.). *Itinerarios geológicos desde Alcalá de Henares*. pp. 247-269. Universidad de Alcalá de Henares.
Gil, J. (1993). *Estratigrafía secuencial del cretácico del borde meridional del Sistema Central en el sector de San Agustín de Guadalix-Pálmaces de Jadraque (provincias de Madrid y Guadalajara)*. Tesis de Licenciatura. Universidad Complutense de Madrid. 241 p.
Gil, J. y García, A. (1996). El Cretácico del borde meridional del Sistema Central: unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estudios Geológicos*, 52, 37-49.
López Azcona, M.C. y Mingarro, F. (1967). Determinación del CO_2 en rocas sedimentarias: carbometrías. *Estudios Geológicos*, 23, 257-262.
Mingarro, F. y López Azcona, M.C. (1974). Petrogénesis de

- las rocas carbonáticas de la provincia de Segovia. *Estudios Geológicos*, 30 (4-5-6), 569-578.
- Mingarro, F. y López Azcona, M.C. (1975). Estudio de la fracción arcillosa contenida en las rocas carbonáticas del Cretácico superior de la provincia de Segovia. *Estudios Geológicos*, 31 (5-6), 531-542.
- Nicod, J. (1971). Quelques remarques sur la dissolution des dolomies. *Bulletin Association Géographe Français*, (389-390), 247-261.
- Rauch, H. y White, W. (1977). Dissolution kinetics of carbonate rocks. 1. Effects of lithology on dissolution rate. *Water Resources Research*, 13 (2), 381-394.
- Roques, H y Ek, C. (1973). Étude expérimentale de la dissolution des calcaires pour une eau chargée en CO₂. *Annales de Spéléologie*, 28, 549-563.

Recibido: Diciembre 2001

Aceptado: Junio 2002