

base amplia y esbeltas y están formadas por la conjugación de estalactitas y sedimentos parietales.

### Discusión

La presencia de depósitos fluviales (barras) mostrando etapas de actividad y cierta complejidad en su construcción y su localización en varios niveles topográficos permite establecer la hipótesis de la existencia de una arteria de agua constante moviéndose por el interior del karst.

La existencia y gran predominio de estalactitas implica una circulación y precipitación lenta del agua desde la bóveda, adaptándose el depósito a la forma de la fisura, razón por la cual la mayoría de los depósitos son cortinas y estalactitas conjugadas. La ausencia de estalagmitas aisladas, corrobora al idea de la existencia de un curso de agua subterráneo sobre el que se realizaba un rezume vertical de relativa importancia con una actividad lateral muy precaria en régimen laminar, dada la abundancia e importancia de las coladas botroidales.

Mientras esto sucede en los niveles inferiores a medida que ascendemos

comienzan a aparecer en mayor proporción los depósitos de colapsamiento (derrumbes) del karst con mayor desarrollo de las formas pavimentarias y laterales como resultado del aumento del rezume lateral al acercarse a la superficie topográfica, y un aumento en la velocidad de la circulación del agua de goteo favorecida por el diaclasado y pedotúbulos de los sedimentos miocenos; que constituyen los puntos de mayor debilidad a través de los cuales progresa la percolación del agua del sistema kárstico.

Finalmente, se produce la estalagmitización de la cavidad, con el desarrollo masivo de cortezas sobre los sedimentos alóctonos y litoquímicos caídos, sobre los que se desarrollan macizos estalagmíticos que van cegando la cavidad, la cual no se colmató completamente antes de producirse el último derrumbe.

### Conclusiones

En consecuencia, la distribución y el tipo de sedimentos dentro del paleokarst permite concluir que la vida del karst estuvo condicionada por el

aumento progresivo las infiltraciones a través de la bóveda y por una disminución de la actividad de la arteria de agua que circulaba por su interior, de tal suerte que cuando las primeras se hacen muy intensas ocasionan el colapsamiento del karst.

En cuanto a la edad probable del paleokarst será como mínimo plio-pleistocena, puesto que está asociado a una superficie de arrasamiento denominada «superficie inferior» por Molina y Armenteros (1986), y que tiene gran desarrollo regional, extendiéndose desde Almazán (zona SE de Soria) hasta Valladolid y dada por estos autores como Plioceno-Pleistoceno.

### Referencias

- Llopis, N. (1970): *Fundamentos de hidrogeología cárstica*. Ed Blume. 269 págs.  
 Molina, E y Armenteros I. (1986): *Stvd. Geol. Salamant.*, 22, 293-309.  
 Ramos Martín, M. C. y Alonso Gavilán (1990): *Rev. Soc. Geol. España*, 3, 167-179.  
 Wright, V. P. (1982): *Jour. Sed. Petrol.*, 52, 83-94.

Recibido el 1 de octubre de 1990  
 Aceptado el 26 de octubre de 1990

## Estudio previo de las «costras negras» desarrolladas sobre rocas graníticas en la catedral de Toledo

### *Preliminary study of the «black crusts» developed on granitic rocks of the Toledo Cathedral*

A. M. Alonso Zarza, M. A. García del Cura, M. C. López de Azcona y F. Mingarro Martín\*

\* Instituto Geología Económica. U.E.I. Petrología. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

### ABSTRACT

*Black crusts are typical chemical weathering features of different building materials. In this paper we present the preliminary results obtained through the study of the black crusts developed on some of the building materials of the Toledo Cathedral. These crusts (0.5-1.8 mm. thick) are mainly developed on fine-grained granites. They consist mainly of fine gypsum crystals however minor amounts of carbonates and fired carbonaceous particles are also present. As an hypothesis, weathering of the plagioclases and atmospheric SO<sub>2</sub> are considered to be the sources of the gypsum crusts.*

**Key words:** Toledo Cathedral, Black-crusts, weathering building granite rocks, gypsum.

*Geogaceta*, 9 (1991), 79-81.

### Introducción

La Catedral de Toledo fue construida en el período 1227-1498, realizándose sobre ella una importante

restauración a finales del siglo XIX. Para su construcción se utilizaron fundamentalmente dos tipos de materiales naturales: granitos s.l. y calizas s.l. Se observan dos tipos diferencia-

dos de granitos s.l.: monzogranitos-granodioritas de grano grueso y textura más o menos porfídica y monzogranito más homogéneo de grano medio. En la última restauración im-

portante se utilizó leucogranito fino. Las calizas más utilizadas han sido calizas microcristalinas y dolomicritas más o menos dedolomitizadas. Las calizas fosilíferas de charáceas se han utilizado principalmente en estatuas y otros elementos decorativos de la zona exterior de la catedral. La distribución de los diferentes tipos petrológicos en las principales fachadas de la Catedral puede verse en López de Azcona, *et al.* (1989).

Las formas de alteración superficial que predominan en el exterior de la Catedral son: desplazado de sillares en las zonas bajas, desagregación (arenización) que afecta fundamentalmente al granito de grano grueso. Indicios de erosión alveolar en los niveles medio-altos. Pátinas biológicas asociadas a marquesinas, arbotantes, caídas de canalones... Escoriaciones en las zonas bajas próximas a las puertas. Se observan indicios de eflorescencias asociados a humedades y es común el desprendimiento de los diferentes enfoscados realizados en las restauraciones. En las paredes orientadas al N son frecuentes las colonias de plantas inferiores, en las zonas altas llegan a desarrollarse algunas plantas superiores.

Toledo presenta un clima continental con temperaturas extremas de  $-14,4^{\circ}\text{C}$  y  $42^{\circ}\text{C}$ , precipitaciones medias de  $388,5 \text{ l./m}^2$ ,  $2.802$  horas de insolación al año y  $30,5$  días con temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ . El valor medio de la humedad relativa es del  $62\%$ . Los valores de  $\text{SO}_2$  atmosférico dan una media, para el período junio 1984-julio 1990 de  $15,54 \mu\text{g./m}^3$ , con máxima de  $30,42 \mu\text{g./m}^3$  en diciembre y mínima de  $9,16 \mu\text{g./m}^3$  en octubre.

Las «costras negras» de la Catedral de Toledo aparecen muy localmente desarrolladas, en zonas de baja aireación, preferentemente sobre rocas graníticas. Las aguas de lixiviado de los granitos utilizados en la última restauración, después de 4 meses de sequía nos dan un contenido en  $\text{SO}_2$  que varía desde  $10 \text{ ppm}$  en el granito fresco hasta  $100 \text{ ppm}$  e incluso  $545 \text{ ppm}$  para aquel granito sobre el que se habían desarrollado costras negras.

### Características de las «costras negras»

Las muestras de costras estudiadas fueron recogidas: a) en la fachada

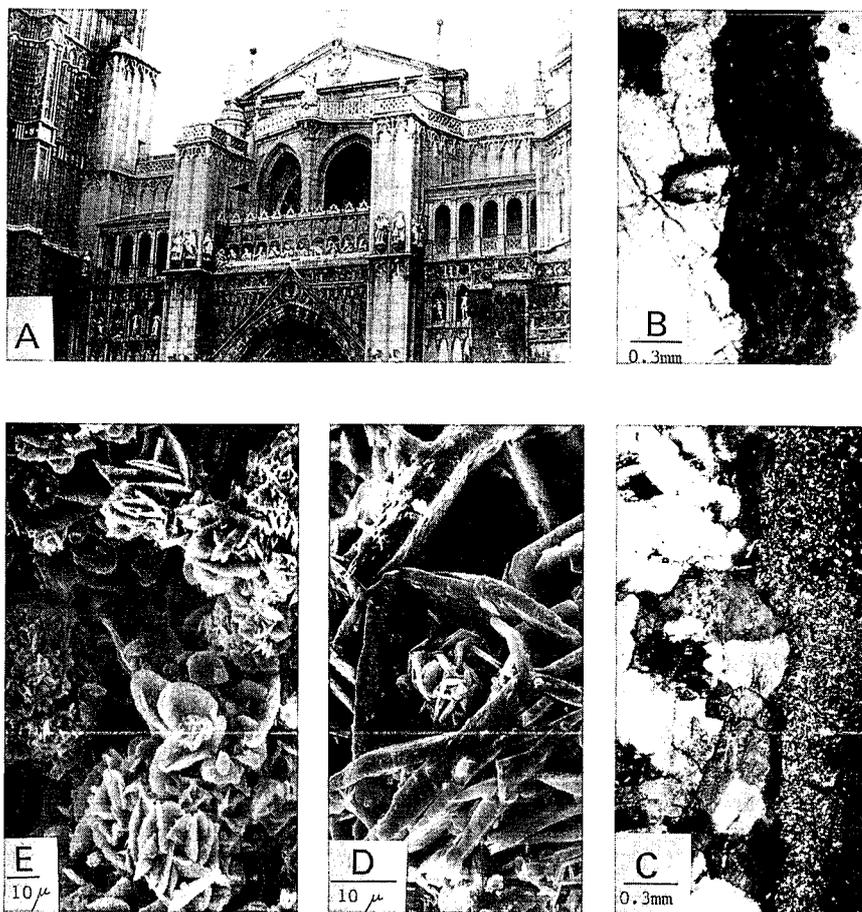


Fig. 1.—A: Fachada principal de la Catedral de Toledo. La flecha indica una de las zonas de «costras negras» muestreada. B: Sección delgada de una muestra de «costra negra» de la Puerta de los Leones. Se observa el criptobandeado de morfología estromatolítica, así como la superficie irregular del borde externo de la costra N.C: Idem mostrando la textura afieltrada del yeso, así como su presencia en planos de discontinuidad de la roca granítica. N X. D: Microfotografía (MEB) de una muestra de costras de la fachada principal. Se observan distintos tamaños de cristales lenticulares idiomorfos de yeso. E: Microfotografía (MEB) de una muestra de «costra negra» de la Puerta de los Leones, mostrando agregados de cristales de yeso tipo «rosa del desierto».

Fig. 1.—A: Front door of the Toledo Cathedral. Arrow indicates one of the zones where the «black crusts» have been sampled. B: Thin section of the «black crust» from Puerta de los Leones showing stromatolitic criptolaminas as well as the irregular surface that forms the external part of the crust. P.N. C: Thin-section showing felty textures of gypsum as well as its occurrence within discontinuities of the granitic rock. C.N. D: SEM microphotography of a crust from the front door of the Cathedral showing unequal crystal sizes of idiomorphic lenticular gypsum. E: SEM microphotography of a «black crust» from Puerta de los Leones showing crystalline aggregates of lenticular gypsum.

principal, orientada al oeste, a la altura del Triforio alto ( $20,5 \text{ m}$ . sobre el nivel del suelo) (fig. 1); b) en la Puerta de los Leones (cara septentrional por detrás del tímpano), a la altura del Triforio alto, a similar altura que las costras anteriores. Ambas zonas corresponden a la restauración de 1783 realizada con granitos de Ventas con Peña Aguilera.

Las «costras negras» desarrolladas sobre rocas graníticas en la Catedral de Toledo presentan un grosor que varía de  $1,8 \text{ mm}$ . a unos  $5 \text{ mm}$ . La superficie exterior es, en general irregu-

lar, con tendencia a mostrarse festoneada (figs. 2 y 3), su zona más externa es más pobre en opacos y más rica en yeso. El contacto de la costra con el granito aparece en unos puntos, especialmente en el contacto con fessapatos, a modo de corrosión de la zona externa de los cristales, en otros puntos aparece un plano de despegue entre la costra y el granito, y en otros, dicho plano aparece relleno de yeso. Es muy frecuente encontrar cristales de yeso en las grietas de granito. En algunas superficies intergranulares y en algunas grietas del granito se ob-

servan cristales de carbonato, que también se reconocen dispersos en la costra, su tamaño medio es de 2-4 micras, aunque también se han llegado a detectar agregados de cristales idiomorfos de 70 micras.

Localmente en la costra se observa un criptobandeado de morfología estromatolítica (fig. 2) dado por láminas algo más ricas en yeso, pero sin que llegue a presentarse una estructura claramente diferenciada en capas como la estudiada por Sáiz-Jiménez y García del Cura (1989) en la Catedral de Sevilla. En algunos puntos del granito próximos a la costra se reconocen restos de filamentos, en general, con disposición oblicua a la pared.

Los cristales de yeso que aparecen en la costra apenas son observables con el microscopio petrográfico, siendo su tamaño máximo de 0,07 mm. El yeso, en conjunto, presenta una textura afieltrada (fig. 3). En la costra aparecen algunos huecos y grietas rellenos de yeso microlenticular, en los que los cristales tienen tendencia a crecer perpendicularmente a las paredes. Al MEB se observan cristales idiomorfos y lenticulares de yeso (figs. 4 y 5) que constituyen frecuentemente agregados en forma de «rosas del desierto» (fig. 5).

La costra contiene además, algunos granos de cuarzo y minerales opacos del orden de 0,02 mm., así como algunas micas (moscovitas y biotitas de mayor tamaño). Las partículas esféricas

opacas (supuestos restos de combustión) presentan tamaños que oscilan entre 8 y 16  $\mu$ , son más abundantes en las proximidades del granito y allí donde la costra presenta menor espesor.

### Discusión y conclusiones

Los procesos de sulfatación que afectan esencialmente a las fachadas de diferentes edificios se han estudiado, sobre todo, en materiales carbonáticos (Esbert y Marcos, 1983; Del Monte *et al.*, 1984; Lazzarini y Tabasso, 1984; Del Monte y Sabbioni, 1986; Aires-Barros y Alves, 1988; Sáiz-Jiménez y García del Cura, 1989).

La peculiaridad de las costras negras de la Catedral de Toledo, aún siendo éstas escasas, radica en que se desarrollan sobre material granítico. El hecho de que se precise una cierta humedad sobre la roca para que se generen «costras negras» podría explicar su escasez en las zonas con buena insolación. Dado que los lugares concretos donde se desarrollan las «costras negras» en la Catedral de Toledo no están relacionados con presencia de calizas, cabe pensar que el calcio que forma parte del yeso procede de la alteración de las plagioclasas, las cuales presentan un notable grado de alteración, incluso antes de su puesta en obra, tal como puede observarse en

muestras frescas procedentes de cantera. Respecto a la cuantificación del papel desempeñado por los procesos biológicos y por la contaminación atmosférica en la dinámica del azufre que constituye el yeso de las «costras negras», esperamos que los datos correspondientes a la composición isotópica de dicho azufre nos ayuden a realizarla.

### Referencias

- Aire-Barros, L. y Alves, L. M. (1988): *Geosciences*, Aveiro, 3, 217-221.
- Del Monte, M.; Sabbioni, C. y Vittori, O. (1984): *The Science of the Total Environment*, 36, 369-376.
- Del Monte, M. y Sabbioni, C. (1986): *The Science of the Total Environment*, 50, 165-182.
- Esbert, R. y Marcos, R. (1983): *Las piedras de la Catedral de Oviedo y su deterioración*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias. Oviedo, 147 pp.
- Lazzarini, C. y Tabasso, M. C. (1986): *Il Restauro della Pietra*. CEDAM, Padova, 317 pp.
- López de Azcona, M. C. *et al.* (1989): *European Symposium «Science, Technology and European Cultural Heritage»*. Bologna, 13-16 Jun. (en prensa).
- Sáiz-Jiménez, C. y García del Cura, M. A. (1989): *European Symposium «Science, Technology and European Cultural Heritage»*. Bologna, 13-16 Jun. (en prensa).

Recibido el 1 de octubre de 1990  
Aceptado el 26 de octubre de 1990

## Las secuencias deposicionales del Eoceno medio y superior de las Sierras exteriores (Prepirineo meridional aragonés)

### *Middle and Upper Eocene depositional sequences in the Sierras 'Exteriores' (Southern Prepyrene of Aragón)*

J. I. Canudo\*, J. Malagón\*\*, A. Meléndez\*\*, H. Millán\*\*\*, E. Molina\* y J. J. Navarro\*\*\*

Dept. de Ciencias de la Tierra (\* Paleontología, \*\* Estratigrafía, \*\*\* Geodinámica). Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

#### ABSTRACT

*The middle and upper Eocene marine sediments in the Sierras exteriores (Prepyrenes) are studied. Several depositional sequences are recognized: Calizas de Guara Formation (SD1, SD2 and SD3), Margas de Arguis Formation (SD4, SD5 and lower part of SD6) and Belsue-Atares Formation (SD6). Tentatively these sequences are correlated with the eustatic global cycles and their tectonic influence are analyzed.*

**Key words:** depositional sequences, Eocene, Pyrenees.

*Geogaceta*, 9 (1991), 81-84.