

Sistemas travertínicos de Alhama de Almería: características petrográficas y petrofísicas

Travertine systems from Alhama de Almería: petrographic and petrophysic characteristics

M.A.García-del-Cura^{1,2}, E. Sanz-Montero^{2,3}, D. Benavente^{1,4}, J. Martínez-Martínez^{1,4},
A. Bernabéu^{1,4} y N. Cueto^{1,4}

1 Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad asociada CSIC- UA. 03080 Alicante. angecura@ua.es

2 Instituto de Geología Económica. CSIC- UCM. Facultad de Ciencias Geológicas. 28040 Madrid

3 Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. UCM. 28040 Madrid. mesanz@geo.ucm.es

4 Dpto. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Univ. Alicante. Campus San Vicente del Raspeig. 03080 Alicante.

Resumen: En Alhama de Almería se encuentran importantes yacimientos de travertino s.l. que son un importante recurso de rocas ornamentales. Presentan facies de diferentes características cromáticas asociadas a diversos medios sedimentarios: desde surgencias (depósitos de fuente, asociados a fallas) hasta medios fluvio-lacustres. Las facies más coloreadas, comercializadas como *Travertino Rojo Alhama*, están asociadas a surgencias y/o están alteradas por procesos de exposición subaérea (brechificación y karstificación). La red de fracturas y estilolitos que presenta la roca es testigo de una intensa actividad tectónica sinsedimentaria que ha afectado a estos materiales. Sus principales facies son: bandeadas, masivas y tobáceas. Las facies bandeadas, presentan una porosidad fenestral paralela al bandeo de la roca y ocasionalmente perpendicular. Las facies masivas, en general, presentan un predominio de microporos intercristalinos (entre 0,1 – 10 µm), mientras que las bandeadas pueden presentar predominio de microporos o macroporos (de 0,1 a 10 mm). Las facies tobáceas se caracterizan por una amplia macroporosidad conectada (diámetro de poros ≥ 3 mm) y son las de menor calidad como roca ornamental. El travertino Rojo Alhama, presenta buenas propiedades de resistencia mecánica (resistencia a compresión $50,0 \pm 9,4$ MPa y resistencia a flexión $7,8 \pm 1,3$ MPa).

Palabras clave: travertino, roca ornamental, petrografía, porosidad, España.

Abstract: Laterally extensive travertine deposits, located in the vicinity of Alhama de Almeria are being intensively quarried and exploited as ornamental rocks. These deposits show facies of different chromatic characteristics and were deposited in perched springline and fluvio-lacustrine environments. The very coloured facies, marketed as Red Alhama Travertine, are associated to springline and/or were affected by subaerial exposure processes (brecciation and karstification). Different tectonic structures, indicative of fault activity during the travertine deposition, have been further observed over the site, including, stylolitization, fracturation, and tilting of bed. The travertine beds mainly consist of banded, massive and tuffaceous facies. The banded facies show a fenestral porosity arranged both parallel and perpendicularly to the stratification. In the massive facies, abound the intercrystalline micropores (from 0.1 µm to 10 µm). The banded facies generally exhibit micropores to macropores (from 0.1 mm to 10 mm). The tuffaceous facies are characterized by connected macroporosity (pore size ≥ 3 mm) and are the least recommended for use as ornamental stone. The Red Alhama travertine shows good mechanical properties concerning the compressive (50.0 ± 9.4 Mpa) and flexural strength (7.8 ± 1.3 MPa).

Key words: travertine, ornamental rock, porosity, petrography, Spain.

INTRODUCCION

Los sistemas travertínicos de Alhama de Almería, se sitúan geográficamente en el borde N de una depresión que discurre de Oeste a Este, dentro de la Zona Bética, y en concreto, en las unidades al Sur de la Penibética que están constituidas por la Depresión de las Alpujarra y las Sierras Litorales (Sierra de Gádor). Por dicha depresión transcurre el río Andarax, a veces con funcionamiento de rambla.

Dentro del ámbito estructural bético existen otros sistemas travertínicos, habiendo sido estudiados los de la Sierra de Yedra (NE de la cuenca de Granada, (Martín Algarra *et al.*, 2003), Carraclaca (Alhama de

Murcia, Martínez-Díaz y Hernandez-Enrile., 2001) y Albox (García del Cura *et al.*, 2006).

MATERIALES

Los materiales travertínicos estudiados se han muestreado en las tres canteras principales de Alhama y Alicún de Almeria que se explotan en las calizas travertínicas que Voersman y Baena (1983) sitúan sobre materiales correspondientes al Pleistoceno, Plioceno y Mioceno, interpretándolas como tobas de fuente generadas por un pretérito afloramiento del acuífero de la Sierra de Gádor. Posiblemente, esta surgencia se modificó en el terremoto de 1522, del que existen

referencias de que contribuyó a secar las fuentes. Sánchez-Martos (2001) asocia estas calizas travertínicas con los materiales termales de Alhama, citando también un pequeño afloramiento en los alrededores de los baños de Sierra Alhama. Dichas surgencias estarían relacionadas con la falla existente en Alhama que actualmente suele considerarse como delimitante de la Sierra de Gádor (Sanz de Galdeano, 1983).

Los travertinos estudiados forman parte de sistemas sedimentarios, asociados posiblemente a tres niveles de surgencia. El nivel inferior, no sólo sería más extenso, sino también más complejo, mostrando, entre otras, facies características de “fuentes” (Pedley *et al.* 2003) y facies típicas de medios sedimentarios asociados a éstas (fluviales, lacustres...). Estos subambientes son paulatinamente observables en la cantera de Alicún a medida que avanzan los frentes de cantera, permitiendo nuevas observaciones sobre el terreno que nos ayudarán a completar este estudio. Estos materiales están afectados por procesos de exposición subaérea: brechificación y karstificación. En el nivel superior los procesos edáficos han generado abundantes texturas y estructuras que se superponen a las singenéticas de los travertinos.

Los materiales presentes en las canteras de Alhama y Alicún de Almería presentan una red de fracturas y estilolitos que testimonia la existencia de una intensa actividad tectónica sinsedimentaria que ha afectado a estos materiales.

Una de las explotaciones más antiguas, la cual suministró material para el solado del Aeropuerto de Barcelona, beneficia una serie de bloques que aparecen incluidos en formaciones coluviales (Fig. 1) y corresponderían a la destrucción del nivel de travertinos topográficamente superior. Es notable la variación de color dentro de estos materiales lo que ha dado lugar a la comercialización de diferentes tipos: Travertino Rojo Alhama, Travertino Madera, Travertino Gris Alhama...



FIGURA 1. Bloque de travertino de un depósito coluvial de Alhama de Almería que se explota como roca ornamental

METODOLOGÍA

La caracterización del sistema poroso se ha realizado combinando la porosimetría de mercurio y el

picnómetro de helio. Esta caracterización se ha realizado tanto sobre muestras comerciales como muestras recogidas en campo. La caracterización con porosimetría de mercurio fue realizada usando un equipo Micrometrics Autopore IV 9500. Dicha técnica proporciona información de la porosidad conectada y distribución de tamaño de poros en el rango comprendido entre 0,002 y 200 μm . Debido a que los travertinos estudiados tienen una amplia fracción de poros mayores de 200 μm , el cálculo de la porosidad se complementó con la porosidad total, P_T , obtenida a partir de la relación entre las densidades: real, ρ_r , y la de conjunto, ρ_c .

$$P_T(\%) = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_r}\right) \cdot 100$$

La densidad real fue obtenida usando un picnómetro de helio AccuPyc 1330.

El estudio petrográfico se ha realizado mediante microscopía óptica de polarización (secciones delgadas y microscopio Zeiss, Assioscop) y microscopía electrónica de barrido en modo de electrones retrodispersados trabajando a bajo vacío sin necesidad de recubrimiento de las muestras, con un microscopio electrónico de presión variable Hitachi S-3000N.

Las propiedades físicas de las rocas se han determinado según la nueva normativa UNE-EN: UNE-EN 12372: 2007 (resistencia a la flexión bajo carga concentrada), UNE-EN 1926: 2007 (resistencia a compresión uniaxial) y UNE-EN 1341:2002, Anexos C y D (resistencia al desgaste y al deslizamiento), para esta última determinación se han utilizado baldosas con acabado de corte de sierra. Las velocidades ultrasónicas (V_p) han sido medidas mediante el método de transmisión-recepción usando transductores polarizados Panametric (1 MHz), sobre las mismas probetas que posteriormente han sido rotas a compresión. Todas estas propiedades se han determinado sobre material Rojo Alhama comercializado en 2007 por la empresa Travertino Antic S.L.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

La observación petrográfica ha permitido establecer la existencia de tres facies principales: bandeadas, masivas y tobáceas. Las facies bandeadas, son las que tradicionalmente se asocian a los travertinos. Las bandas, en general, vienen dadas por diferencias del tamaño de cristal. Las facies masivas pueden ser: “cristalinas” (cuando éste es su componente textural fundamental), o micríticas e incluso micríticas fosilíferas (constituidas ambas fundamentalmente por cristales de calcita menores de 2 μm). Las facies tobáceas son principalmente facies de tallos, los cuales a veces se presentan como moldes definidos por micrita (Fig. 2A) y otras los tallos sirvieron de soporte a cristales, en general, de tendencia fibrorradiada (Fig. 2B). Frecuentemente texturas consideradas clásicamente

como asociadas a cianobacterias están presentes en estas facies.

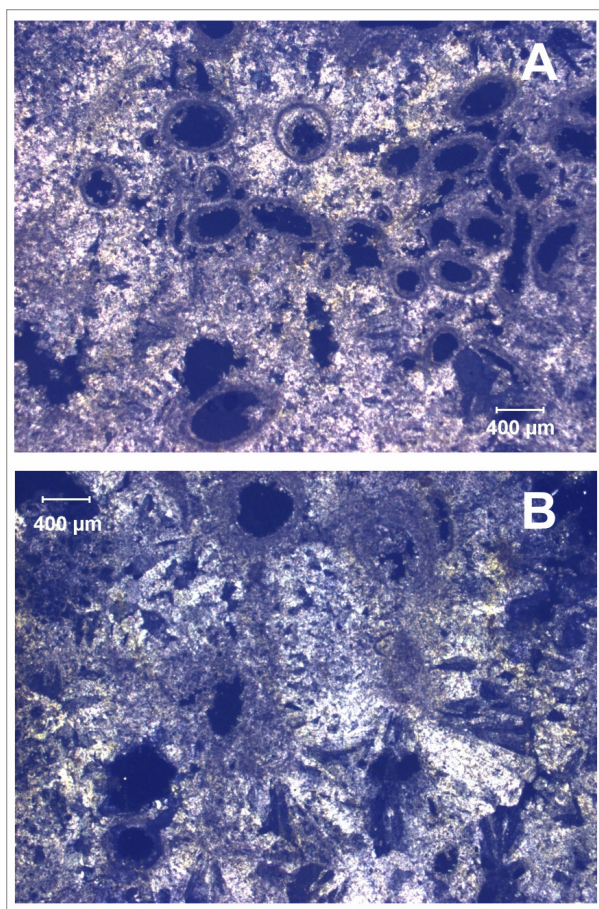


FIGURA 2. Fotomicrografías (MOP) con nícoles cruzados de facies tobáceas de travertinos de Alhama: A) Con moldes micríticos; B) Cristales fibrorradiados sobre moldes de vegetales.

Las propiedades físicas, cuyos resultados se exponen en la Tabla I, se han determinado sobre roca con un claro predominio de facies bandeada.

Las facies bandeadas, presentan una porosidad fenestral paralela al bandeado de la roca y ocasionalmente una porosidad perpendicular al bandeado (Fig. 3) asociada al crecimiento de organismos relacionados con la génesis de travertinos. Las facies masivas, en general, presentan un predominio de microporos intercristalinos (entre 0,1 – 10 µm) (Fig. 4A), mientras que las bandeadas pueden presentar predominio de poros de mayor tamaño (de 0,1 a 100 µm) (Fig. 4B). Las facies tobáceas se caracterizan por una importante macroporosidad conectada (tamaño de poro \geq 3 mm, según determinaciones por análisis digital de imagen).

La comparación entre la porosidad total y la porosidad conectada (obtenida con porosimetría de mercurio) refleja el volumen de macroporosidad que presentan los travertinos de Alhama. Así, para las facies masivas y bandeadas, la porosidad total oscila entre 7,90-11,84%, y la porosidad conectada entre 6,52-7,68%. En la facies tobáceas, la porosidad total oscila

entre 11,84-31,14%, y la porosidad conectada entre 7,01-10,80%.

PROPIEDADES	TRAVERTINO ROJO
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa). UNE-EN 1926:2007	50,0 \pm 9,4
Resistencia a la flexión bajo carga concentrada (MPa). UNE-EN 12372: 2007	7,8 \pm 1,3
Resistencia a la abrasión (mm). UNE-EN 1341: 2002 Anexo C	27,6 \pm 0,1
R. deslizamiento mediante el péndulo de fricción. Corte de sierra. (USRV) UNE-EN 1341: 2002. Anexo D.	100 \pm 5
Velocidad propagación ultrasonidos Vp (m/s)	4.430 \pm 130
Microdureza Knoop (MPa) UNE-EN 14205: 2004.	1.306,7 \pm 50,4

TABLA I. Propiedades físicas del Travertino Rojo Alhama (facies bandeada)

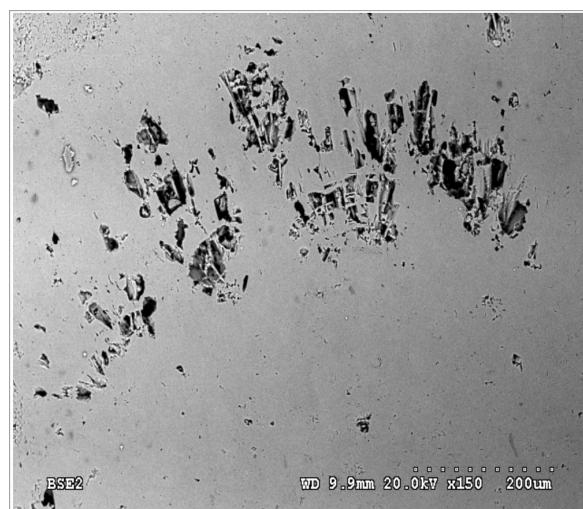


FIGURA 3. Fotomicrografía de MEB en modo de electrones retrodispersados mostrando poros perpendiculares al bandeado de la roca.

CONCLUSIONES

Las formaciones travertínicas de Alhama y Alicún de Almería son un importante litotecto de roca ornamental, sedimentológicamente complejo. En ellas predominan las facies bandeadas y masivas con porosidades relativamente bajas para este tipo de rocas y propiedades físicas aceptables, especialmente para aplacados. Con el grosor conveniente también pueden ser aptos para pavimentos de bajas prestaciones (García del Cura *et al.* 2008). Las facies tobáceas, con porosidad conectada algo mayor y porosidad total que puede alcanzar valores del 30%, son relativamente escasas.

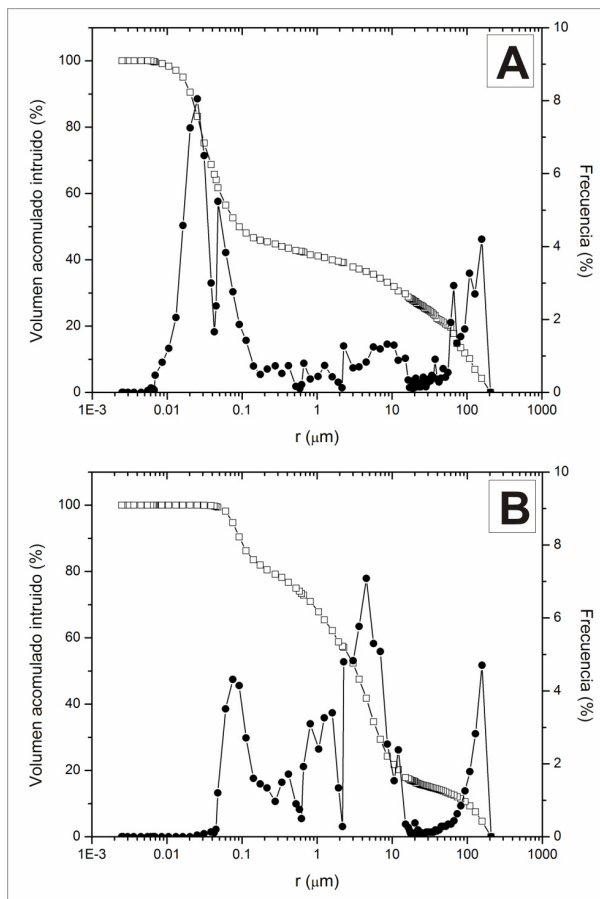


FIGURA 4. Distribución de tamaño de poros: A) de facies masivas; B) de facies bandeadas..

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el MEC: Proyecto CGL2006-05027/BTE "Travertinos del SE español utilizables como piedra de construcción en obra nueva y restauración arquitectónica. Propiedades físicas y durabilidad". J. Martínez-Martínez ha contado con una beca de formación de doctores en Unidades Asociadas Universidades – CSIC, y N. Cueto con una beca del MEC.

REFERENCIAS

- García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Bernabéu, A., González-Martín, J. A., Martínez-Martínez, J., Rodríguez, M. A. y Sanz-Montero, M. E. (2007): Porosity features of travertines from SE Spain used as building stone in construction and architectural restoration. Preliminary report. En: EGU General Assembly (European Geosciences Union), *Geophysical Research Abstracts*, EGU2007-J-04039-1.
- García-del-Cura, M.A., Benavente, D., Bernabéu, A y Martínez-Martínez, J. (2008): Study of the effect of surface finishes on granites and limestone to be used as external paving stone slabs. *Materiales de Construcción* (En prensa), 58: 289-290.
- Martín-Algarra, A., Martín-Martín, M, Andreo, B., Juliá, R. y González-Gómez, C. (2003): Sedimentary patterns in perched spring travertines near Granada (Spain) as indicators of the paleohydrological and paleoclimatological evolution of a karst massif. *Sedimentary Geology*, 161: 217- 228.
- Martínez-Díaz, J.J. y Hernandez-Enrile, J.L. (2001): Using travertine deformation to characterice paleosismic activity along an active oblique-slip fault, the Alhama de Murcia fault, Betic Corillera, Spain. *Acta Geologica Hispanica*, 36: 297-3133.
- Pedley, M., González Martín, J.A., Ordóñez Delgado, S. y García-del-Cura, M.A. (2003): Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain. *Sedimentology*, 50: 23-44.
- Sánchez-Martos, F. (2001): *Las aguas subterráneas en el Bajo Andarax (Almería)*. Monografías Ciencia y Tecnología 12. 278 pags. Universidad de Almería.Sanz de Galdeano, A. (1983). Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios Geológico*, 39: 157-165.
- UNE-EN 1341(2002): *Baldosas de piedra natural para uso como pavimento exterior. Requisitos y métodos de ensayo: Anexo C: Determinación de la resistencia al desgaste. Anexo D: Determinación de la resistencia al deslizamiento*. AENOR. Madrid. 38 p.
- UNE-EN 14205 (2004). *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la dureza Knoop*. AENOR. Madrid. 12 p.
- UNE-EN 1926 (2007): *Métodos de ensayo para la piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial*. AENOR. Madrid. 21 p.
- UNE-EN 12372: (2007): *Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la flexión bajo carga concentrada*. AENOR. Madrid. 19 p.
- Voersman, F. y Baena, J. (1983): *Mapa geológico de España escala 1:50.000. Hoja 1.044 Alhama de Almería*. Mapa y Memoria. 40 p. IGME Madrid.