

# Análisis multimétodo (petrográfico, mineralógico e isotópico) de mármoles blancos del foro romano de *Segobriga* (Cuenca): implicaciones para su procedencia

Javier Martínez-Martínez (1\*), Ramón Jiménez-Martínez (2), Javier Luengo (2), Rosario Cebrián (3)

(1) Instituto Geológico y Minero de España (CN IGME-CSIC), 28760, Tres Cantos (Madrid, España)

(2) Instituto Geológico y Minero de España (CN IGME-CSIC), 28003, Madrid (España)

(3) Universidad Complutense de Madrid, 28040, Madrid (España)

\* corresponding author: [javier.martinez@igme.es](mailto:javier.martinez@igme.es)

**Palabras Clave:** Arqueometría, Petrografía, Mineralogía, Isótopos, Catodoluminiscencia, Procedencia de mármoles. **Key**

**Words:** Archaeometry, Petrography, Mineralogy, Isotopes, Cathodoluminescence, Marble provenance.

## INTRODUCCIÓN

La determinación de la procedencia de mármoles blancos en contextos arqueológicos constituye una herramienta fundamental para reconstruir circuitos de abastecimiento y dinámicas constructivas en época romana. La elevada homogeneidad composicional de estos materiales y el solapamiento de sus características entre distintas áreas extractivas a lo largo de todo el Mediterráneo hacen necesario el empleo de enfoques arqueométricos integrados. En este trabajo se analizan cuatro muestras de mármol blanco procedentes del foro de *Segobriga* con el objetivo de establecer su procedencia mediante la combinación de datos petrográficos, mineralógicos e isotópicos y su comparación con bases de datos de referencia.

## METODOLOGÍA

Se ha aplicado un protocolo multimétodo que integra microscopía óptica petrográfica, microscopía electrónica de barrido con microanálisis EDS, catodoluminiscencia, difracción y fluorescencia de rayos X y análisis isotópico de carbono y oxígeno ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) mediante espectrometría de masas. Los resultados obtenidos se han comparado con bases de datos publicadas para mármoles antiguos del ámbito mediterráneo.

## RESULTADOS

El estudio multimétodo realizado pone de manifiesto una elevada homogeneidad composicional entre las muestras. No obstante, la integración de los datos texturales, mineralógicos e isotópicos permite diferenciar dos grupos. Desde el punto de vista petrográfico, las muestras BASIL22, CURIA13 y PSUR16 presentan fábricas granoblásticas poligonales, con texturas en mosaico bien desarrolladas, tamaños de grano medio entre 0,25 y 0,45 mm y uniones triples próximas a  $120^\circ$ , indicativas de un elevado grado de reajuste textural y predominio de recristalización estática. La deformación es débil y no se observa orientación preferente significativa. Por el contrario, BASIL27 muestra un tamaño de grano más fino (AGS 0,10–0,20 mm), con textura heteroblástica, foliación incipiente, bandeado y desarrollo incompleto de uniones triples, reflejando recristalización dinámica asociada a deformación localizada. Las observaciones en microscopio electrónico confirman la presencia de asociaciones minerales accesorias diferenciadas. Mientras que BASIL22, CURIA13 y PSUR16 presentan combinaciones de cuarzo, feldespatos, apatito, titanita y, localmente, dolomita, la muestra BASIL27 se caracteriza por la presencia de pirita, plagioclasa y rutilo, junto con apatito y zircón.

La catodoluminiscencia muestra luminiscencia naranja heterogénea en todas las muestras, si bien en BASIL27 se reconoce una distribución más compleja, asociada a bandeado y variaciones composicionales, coherente con su mayor grado de deformación.

Los análisis isotópicos refuerzan esta diferenciación. BASIL22, CURIA13 y PSUR16 presentan valores muy homogéneos ( $\delta^{13}\text{C} \approx 1,38\text{--}1,63\text{‰}$ ;  $\delta^{18}\text{O} \approx -5,77$  a  $-6,32\text{‰}$ ), mientras que BASIL27 muestra una señal claramente distinta, especialmente en  $\delta^{18}\text{O}$  ( $-1,80\text{‰}$ ), indicando condiciones de formación o evolución diferentes.

## DISCUSIÓN

La comparación con bases de datos de referencia (Savin et al., 2024) permite proponer una alta compatibilidad isotópica de BASIL22, CURIA13 y PSUR16 con los mármoles del anticlinal de Estremoz, una compatibilidad moderada con Pentelikon y marginal con Dokymeion. Sin embargo, la integración de criterios petrográficos y mineralógicos permite discriminar entre estas opciones. En el caso de Dokymeion, aunque existe cierto solapamiento isotópico, el tamaño de grano descrito es generalmente superior al observado, y la ausencia de clorita (mineral accesorio característico del mármol de Dokymeion) en las muestras analizadas descarta razonablemente esta procedencia. Respecto a los mármoles pentélicos, aunque el tamaño de grano es compatible, su mineralogía accesorio típica (mica, clorita y epidota; Antonelli y Lazzarini, 2015; Prochaska y Attanasio, 2022) no ha sido identificada mediante SEM ni DRX. Por el contrario, los mármoles del anticlinal de Estremoz muestran una elevada coherencia con las muestras BASIL22, CURIA13 y PSUR16 en términos de tamaño de grano, textura y mineralogía (Lapuente, 1995), incluyendo la posible presencia de dolomita como fase accesorio. Esta compatibilidad es especialmente significativa con las áreas de Pardais y Vila Viçosa.

En cuanto a BASIL27, sus valores isotópicos indican alta compatibilidad con Carrara e Hymettos, y marginal con Paros. La procedencia de Paros puede descartarse por su mayor tamaño de cristal, mientras que la ausencia de mica (Hymettos) y de serpentina y anfíboles (Paros) no apoya estas asignaciones (Antonelli y Lazzarini, 2015). Por el contrario, la asociación mineral identificada en BASIL27 (pirita, plagioclasa, rutilo) es coherente con la descrita para Carrara (Prochaska y Attanasio, 2022). Asimismo, la luminiscencia naranja observada concuerda con la descrita para los mármoles de Carrara, frente a la luminiscencia azul típica de Hymettos (Mrozek-Wysocka, 2014). Desde el punto de vista textural, BASIL27 no presenta el aspecto clásico de los mármoles de Carrara; sin embargo, la existencia de facies deformadas con foliación y bandeado ha sido ampliamente documentada (Molli et al., 2000), lo que permite mantener esta asignación.

La convergencia de los datos isotópicos, petrográficos y mineralógicos permite proponer como procedencia más probable el anticlinal de Estremoz (especialmente las áreas de Pardais y Vila Viçosa) para BASIL22, CURIA13 y PSUR16, y el distrito de Carrara para BASIL27.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos PID2022-137051NB-I00 (PI: R. Cebrián) y PID2020-116896RB-C21 (PI: J. Martínez-Martínez) financiados por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, EU.

## REFERENCIAS

- Antonelli, F., Lazzarini, L. (2015): An updated petrographic and isotopic reference database for white marbles used in Antiquity. *Rend. Lincei*, **26**, 399–413.
- Lapuente, P. (1995): Mineralogical, petrographical and geochemical characterization of white marbles from Hispania. in “The study of marble and other stones used in antiquity”, Y., Maniatis, N., Herz, Y., Basiakos, eds. Archetype publications, London, 151-160.
- Molli, G., Conti, P., Giorgetti, G., Meccheri, M., Oesterling, N. (2000): Microfabric study on the deformational and thermal history of the Alpi Apuane marbles (Carrara marbles), Italy. *J. Structural Geol.*, **22**: 1809-1825.
- Mrozek-Wysocka, M. (2014): Ancient marbles: provenance determination by archaeometric study. in “Geosciences in Archaeometry”, D. Michalska, M. Szczepaniak, eds. UNI-DRUK, Poznan (Polonia), 91-118.
- Prochaska, W., Attanasio, D. (2022): The challenge of a successful discrimination of ancient marbles (part III): A databank for Aphrodisias, Carrara, Dokymeion, Hymettos, Parian and Pentelikon. *J. Archaeol. Sci. Rep.*, **45**: 103582.
- Savin, M.C., Gutiérrez García-M, A., García-Entero, V., Lapuente, P. (2024): Identificación de mármoles blancos, grises y blancos y grises empleados en la decoración de la arquitectura de Complutum. *CuPAUAM*, **50**, 203–221.