

# Análisis petrológico y geoquímico de la cantera histórica de Ortigosa del Monte (Segovia) y avances sobre su compatibilidad como cantera histórica del acueducto de Segovia.

## *Petrological and geochemical characterization of the historical quarry of Ortigosa del Monte (Segovia) and analysis of its compatibility as historical quarry of the Segovia aqueduct.*

J. Martínez-Martínez<sup>1</sup>, C. Martín García<sup>2</sup>, E. Álvarez Areces<sup>1</sup>, J. Fernández Suárez<sup>3</sup> y J.M. Baltuille Martín<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003. Madrid. [e.alvarez@igme.es](mailto:e.alvarez@igme.es); [jm.baltuille@igme.es](mailto:jm.baltuille@igme.es); [j.martinez@igme.es](mailto:j.martinez@igme.es)

<sup>2</sup> Arqueóloga profesional

<sup>3</sup> Dpto. de Investigación en Recursos Geológicos, Instituto Geológico y Minero de España. Matemático Pedrayes, 25. 33005. Oviedo. [j.fernandez@igme.es](mailto:j.fernandez@igme.es)

**Resumen:** El Berrocal de Ortigosa del Monte (Segovia) constituye un afloramiento de rocas plutónicas con una superficie de 2,5 km<sup>2</sup> y en el que es posible encontrar infinidad de marcas y vestigios de actividad extractiva en toda su extensión. Petrologicamente, las rocas de El Berrocal muestran una baja variabilidad litológica, clasificándose según su composición química como Granitos con tendencia a composición Adamellítica. Las muestras estudiadas son de color gris claro (anaranjado en superficies alteradas) y textura heterogranular e hipidiomorfa, con tamaño de cristal medio-grueso (5-9 mm) y muy ocasionalmente puede mostrar texturas porfídicas con grandes fenocristales de feldespato potásico de hasta 3 cm de longitud. A mesoescala se pueden apreciar xenolitos de hasta 10 cm de diámetro, así como agregados biotíticos y vénulas de aplita.

En este trabajo se plantea un estudio comparativo entre la composición geoquímica de las muestras de El Berrocal de Ortigosa del Monte y los datos bibliográficos existentes de los análisis de Fluorescencia de Rayos X realizados sobre muestras directamente obtenidas de los sillares del acueducto durante la última intervención (década de 1990). Los resultados verifican la compatibilidad geoquímica entre las rocas de la cantera y el acueducto, aunque estas correlaciones deberán ser corroboradas con futuros análisis.

**Palabras clave:** canteras históricas, Acueducto, Berrocal, Granito, Adamellita.

**Abstract:** *El Berrocal of Ortigosa del Monte (Segovia) constitutes an outcrop of plutonic rocks with an area of 2.5 km<sup>2</sup>. There is it possible to find countless marks of extractive activity in all its extension. Petrologically, the rock of El Berrocal show a low lithological variability, being classified according to their chemical composition as Granites (Granites-Adamellites). The samples studied are light gray (orange on altered surfaces) and heterogranular and hypidiomorphic texture, with medium-coarse crystal size (from 5 to 9 mm). Occasionally, these rocks can show porphyry textures with large phenocrystals of K-feldspar up to 3 cm in length. A mesoscale, there are disperse xenoliths, up to 10 cm in diameter, as well as biotitic aggregates and aplite veins.*

*This paper presents a comparative study between the geochemical composition of El Berrocal samples and the existing bibliographic data of the chemical composition of the ashlars of the roman aqueduct. The results verify the geochemical compatibility between the rocks from the quarry and the aqueduct. However, all these correlations should be corroborated with future analysis.*

**Key words:** *historic quarry, architectural heritage, Granada, tuff, travertine*

## INTRODUCCIÓN

La determinación de las canteras históricas concretas de las que se obtuvieron los sillares empleados en la construcción del Acueducto de Segovia es una tarea compleja debido a la similitud de las diferentes variedades de roca empleadas (diferentes subvariedades de granito) y a la multitud de afloramientos de esta litología en el entorno inmediato de Segovia (figura 1).

Los objetivos de este trabajo se centran en el estudio y caracterización petrológica y geoquímica de las canteras de El Berrocal de Ortigosa del Monte, consideradas por Martín de Frutos (2008) como una de

las principales fuentes de suministro de material para el acueducto.

La justificación de este trabajo se ciñe, por lo tanto, a la aportación de nuevos datos (geoquímicos, mineralógicos y petrológicos) al estudio de las rocas explotadas en las citadas canteras históricas y al análisis de la compatibilidad petrológica entre el material de cantera y el de construcción del acueducto. Para ello, se tiene en cuenta el estudio de la variabilidad de facies dentro del afloramiento de El Berrocal y los datos bibliográficos disponibles sobre las rocas que conforman los sillares del acueducto.

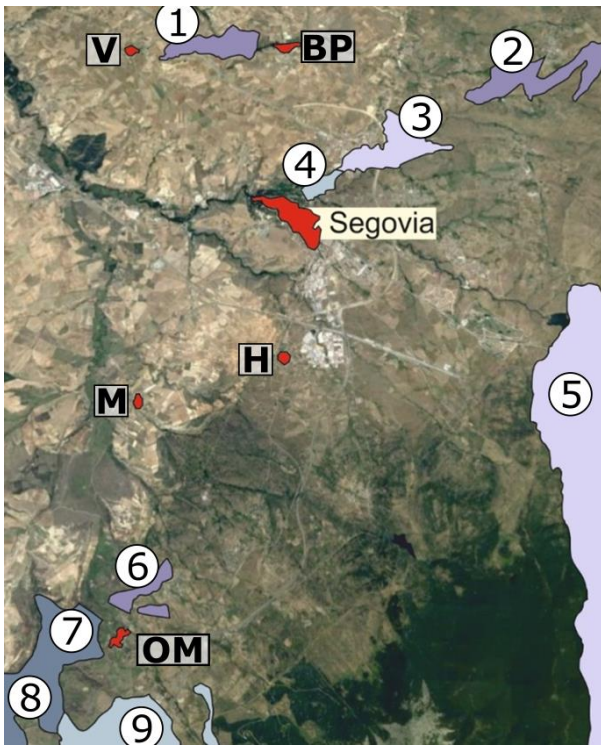


FIGURA 1. Localización de los principales afloramientos graníticos en el entorno de Segovia. Afloramientos graníticos: (1) Berrocal de Valseca-Bernuy de los Porreros; (2) Torrecaballeros; (3) afloramiento de El Sotillo y del Ciguñuela; (4) afloramientos del entorno de Segovia capital; (5) La Granja-Valsaín; (6) La Losa; (7) Berrocal de Ortigosa del Monte; (8) Otero de los Herreros; (9) Peña del Hombre. Núcleos urbanos: [V] Valseca; [BP] Bernuy de los Porreros; [H] Hontoria; [M] Madrona; [OM] Ortigosa del Monte).

## ANTECEDENTES

Existe una extensa bibliografía escrita entorno a las características constructivas, artísticas e históricas del Acueducto. Más limitada, sin embargo, es la bibliografía geológica centrada en el material de construcción y las canteras históricas de donde se extrajo. En este sentido, destacan tres informes emitidos por diferentes autores: Geocisa (1994), Martín de Frutos (2008) e Iñigo Iñigo et al. (2008). Todos estos estudios realizan importantísimas aportaciones al estudio de los materiales y a la localización de las canteras históricas de procedencia.

En la década de 1990 se llevó a cabo una importante intervención en el Acueducto, acompañada de un estudio exhaustivo de la piedra del monumento (Geocisa, 1994). Este es el único estudio conocido en el que se extrajeron muestras directamente de los sillares del propio Acueducto. Sobre estas muestras se realizó un estudio petrográfico, geoquímico y mineralógico. De forma paralela, se estudiaron las rocas de los afloramientos más próximos a la ciudad de Segovia, El Sotillo y la Granja (números 3, 4 y 5, figura 1).

En el informe de Martín de Frutos (2008), se identificaban inicialmente 9 afloramientos graníticos próximos a la ciudad de Segovia de los que se podría haber extraído el material de construcción del acueducto (figura 1). En dicho informe, se lleva a cabo la comparación cualitativa de los sillares del acueducto y de las rocas explotadas en cada uno de los afloramientos. Se seleccionaron finalmente 4 zonas como las más compatibles con los tipos petrológicos del monumento.

Dichas zonas principales son: Segovia capital, canteras de El Sotillo, canteras del Berrocal de Ortigosa del Monte, y canteras de La Granja-Valsaín. Las conclusiones obtenidas por Martín de Frutos se basan en la observación de muestra de mano y descripción cualitativa de las muestras.

La caracterización geológica de las canteras llevado a cabo en el estudio de Iñigo Iñigo et al. (2008) se centró en la caracterización petrofísica de los materiales de las canteras de Ortigosa del Monte, Magullo, La Granja y El Sotillo.

## METODOLOGÍA

Este trabajo presenta dos partes metodológicas. En primer lugar, se llevó a cabo una caracterización in situ del afloramiento, localizando las principales áreas extractivas, y analizando la variabilidad petrológica de El Berrocal. En segundo lugar, se seleccionaron 8 muestras representativas de las facies observadas y se analizaron en laboratorio mediante microscopio óptico petrográfico, Difracción de rayos X y Fluorescencia de rayos X.

## RESULTADOS

Prácticamente toda la superficie de El Berrocal de Ortigosa del Monte muestra signos y vestigios de actividad extractiva, sin embargo, se han identificado tres áreas en las que la densidad y concentración de signos de explotación es mucho más elevada y donde se localizan los ejemplos más interesantes (figura 2).

En muestra de mano, las rocas de El Berrocal corresponden a granitos (*sensu lato*), de color gris claro (en muestra fresca) (figura 3), adquiriendo coloraciones anaranjadas al aumentar el grado de alteración. La textura es heterogranular e hipidiomorfa, con tamaño de grano



FIGURA 2. Arriba: superficie del afloramiento granítico de El Berrocal de Ortigosa del Monte, en el que se señalan las tres principales zonas de extracción. Abajo: ejemplo de bolo granítico de El Berrocal parcialmente explotado.

medio-groeso (diámetro de cristal medio entre 5 y 9 mm), y muy ocasionalmente puede mostrar texturas porfídicas con grandes fenocristales de feldespato potásico de hasta 3 cm de longitud. En el afloramiento de El Berrocal pueden aparecer pequeños xenolitos (gabarros) de hasta 10 cm de diámetro, dispersos, así como agregados biotíticos y vénulas de aplita.

La mineralogía principal es cuarzo, plagioclasa, microclina y biotita. Se han observado apatito, circón y minerales opacos como minerales accesorios. El cuarzo se presenta en cristales intensamente fracturados, con extinción ondulante y en ocasiones también en borde de subgrano y con subgranos individualizados. Los cristales de feldespato potásico son, en general, de gruesos a muy gruesos (frecuentemente los feldespatos son los que muestran el mayor tamaño de cristal en la roca, llegando a constituir grandes fenocristales en las texturas porfídicas). No suelen presentar maclado, aunque en algunos casos puntuales se puede observar macla simple de Carlsbad y/o macla en enrejado. Presentan una intensa fracturación, ligera alteración en los bordes y textura perfitica. La plagioclasa aparece en cristales subidiomorfos de menor tamaño que el cuarzo y el feldespato. Frecuentemente se encuentra maclada con macla polisintética, y suele estar zonada. Muestra una intensa alteración zonal (sericitización) concentrada en el interior del cristal. En ocasiones aparece como inclusiones subidiomorfas pequeñas en feldespato potásico. La biotita forma cristales subidiomorfos con pleocroísmo de castaño rojizo oscuro a castaño amarillento muy claro. Suele estar flexionada y deflecada, mostrando bandas de extinción. La alteración de los cristales de biotita es de moderada a alta, desarrollándose preferentemente en el contorno del grano y progresando hacia el interior por las superficies de exfoliación. En el interior suele presentar pequeños halos metamórficos.

La variabilidad litológica del afloramiento es baja, no mostrando grandes dispersiones ni texturales ni composicionales. Únicamente se puede apreciar una ligera variación en la proporción relativa del contenido de minerales máficos y cuarzo (figura 3), no identificando una zonación de facies neta en el afloramiento.

La tabla 1 muestra la composición geoquímica de las ocho muestras analizadas mediante Fluorescencia de Rayos X.

## DISCUSIÓN

A partir de los resultados geoquímicos obtenidos, se han representado las muestras en los diagramas P-Q (clasificación de rocas plutónicas) y A-B (clasificación peraluminica) de Debon y Le Fort (1983).

La figura 4 muestra la representación de los datos de El Berrocal (símbolos morados) en los diagramas P-Q y A-B. Según la proporción en cuarzo, feldespato y plagioclasas (diagrama P-Q), las muestras son de tipo granítico con tendencia a composición adamellítica. Atendiendo a la clasificación dentro del diagrama A-B, las muestras corresponden a rocas peraluminicas y se encuentran todas definidas dentro del campo de predominio de la biotita.

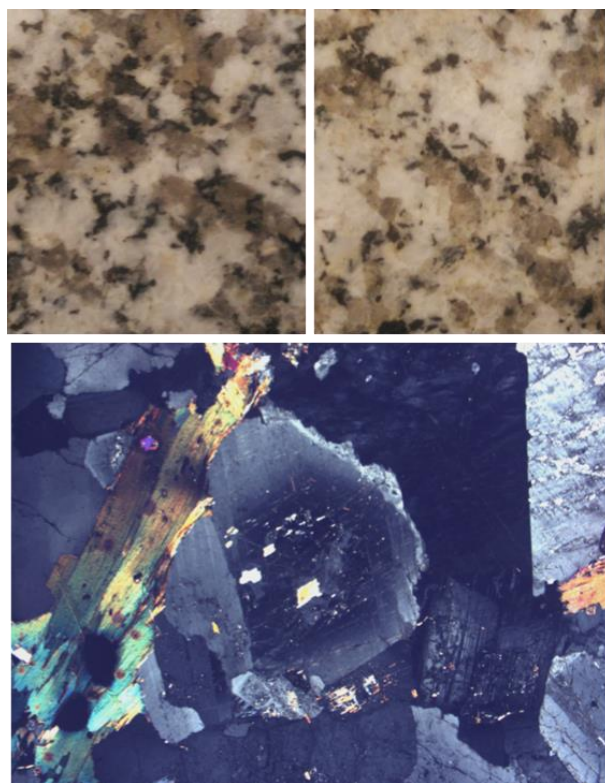


FIGURA 3. Aspecto del granito de El Berrocal de Ortigosa del Monte (arriba) y fotomicrografía obtenida en Microscopio Óptico Petrográfico (abajo).

TABLA 1. Composición geoquímica (Fluorescencia de Rayos X) de las ocho muestras analizadas de El Berrocal.

muestra	contenido en óxidos (%)									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	69.4	15.4	1.47	0.694	3.49	4.62	2.64	0.282	<0.050	0.207
2	69.4	15.2	1.48	0.657	3.01	5.33	2.92	0.344	<0.050	0.194
3	68	15.6	2.04	0.783	3.19	4.35	3.63	0.477	<0.050	0.257
4	63.2	16.7	2.41	1.292	3.14	3.91	5.57	0.696	0.083	0.404
5	71.4	14.7	1.13	0.426	3.17	5.56	2.15	0.237	<0.050	0.164
6	65.1	18.7	0.692	0.374	4.55	5.43	2.19	0.155	<0.050	0.448
7	71.4	14.3	1.31	0.524	3.06	4.91	2.58	0.282	<0.050	0.191
8	67.3	16	1.96	0.791	3.16	5.27	3.27	0.432	<0.050	0.243

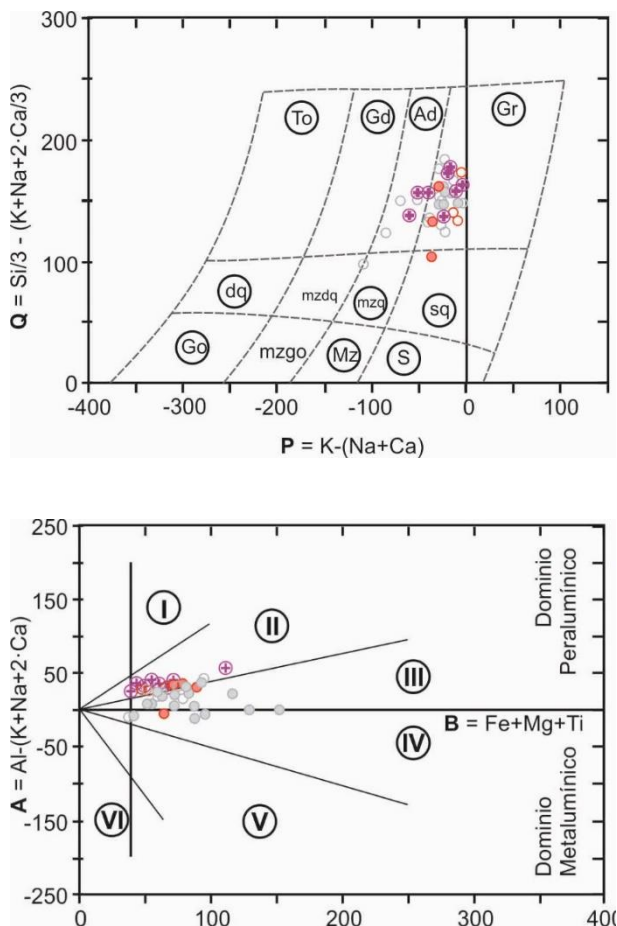


FIGURA 4. Diagramas P-Q (arriba) y A-B (abajo) de Debon y Le Fort (1983).

En la figura 4 también se ha incluido la representación de los datos geoquímico incluidos en el informe de Geocisa (1994) (símbolos rojos y grises). Estos análisis, realizados directamente sobre muestras obtenidas de los sillares del acueducto, se han dividido en dos grupos, según correspondan a sillares de las fases iniciales de construcción del acueducto (símbolos rojos), o bien a fases de reconstrucción posterior (símbolos grises).

Según la distribución de la nube de puntos dentro de los diagramas P-Q y A-B, existe compatibilidad petrológica entre las muestras de Ortigosa del Monte y las rocas de construcción del Acueducto. Además, atendiendo a la distribución de puntos en el diagrama A-B, existe mayor compatibilidad con los datos obtenidos de los sillares de las fases iniciales de construcción, mientras que los datos geoquímicos de sillares de fases de reconstrucción difieren en mayor grado de la composición de las rocas de El Berrocal. Este resultado podría apuntar a que las canteras de El Berrocal de Ortigosa del Monte sirvieron de punto de suministro para las fases más antiguas del acueducto, mientras que en fases posteriores de reconstrucción se emplearon materiales con otras procedencias. Estos interesantes resultados, sin embargo, deberán ser corroborados con la incorporación de más análisis y el muestreo de otras áreas de explotación.

## CONCLUSIONES

El Berrocal de Ortigosa del Monte constituye un interesante entorno de cantería histórica con evidencias de una intensa explotación. El afloramiento granítico está formado por granitos y adamellitas de tamaño de cristal medio-grueso (5-9 mm), de color gris claro (anaranjado en superficies alteradas) con textura heterogranular e hipidiomorfa, aunque muy ocasionalmente puede mostrar texturas porfídicas. En el afloramiento pueden aparecer pequeños xenolitos de hasta 10 cm de diámetro, dispersos, así como agregados biotíticos y vénulas de aplita. La variabilidad litológica del afloramiento es baja.

La comparación de los resultados geoquímicos de las muestras de cantera (obtenidos mediante Difracción de Rayos X) y los datos bibliográficos disponibles en el informe de Geocisa (1994) (obtenidos de muestras extraídas de sillares del acueducto), muestran una notable compatibilidad petrológica, apuntando a una corroboración del origen de los sillares de la cantera de Ortigosa. Además, atendiendo al carácter peraluminico de las muestras, y diferenciando las muestras procedentes del acueducto en las distintas fases de construcción y reconstrucción del mismo, parece existir una mayor afinidad entre los datos de la cantera y los de los sillares de las primeras fases de construcción. Estos resultados preliminares podrían apuntar a que las canteras de El Berrocal sirvieron de suministro para las fases más antiguas del acueducto, mientras que en fases posteriores de reconstrucción el material también se suministró de otras canteras del entorno de Segovia.

## REFERENCIAS

- Debon, F., Le Fort, P. (1983): A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh Earth Sciences*, 73: 135-149.
- Geocisa (1994): Acueducto de Segovia. Estudio de la piedra. Memoria y Anexos. 351 pp.
- Íñigo Íñigo, A.C., García Talegón, J., Rives Arnau, V., Molina Ballesteros, E., Vicente Tavera, S. (2008): Estudio sobre la caracterización de la piedra y tratamientos a realizar en el tramo elevado del Acueducto de Segovia. IRNASA-CSIC. 329 pp.
- Martín de Frutos, L.A. (2008): Reconocimiento geológico de los afloramientos graníticos en el entorno de Segovia capital. Selección de las canteras de extracción de los sillares del acueducto. Memoria del proyecto: Plan integral de conservación del acueducto de Segovia. Ayuntamiento de Segovia (Concejalía de Patrimonio). 124 pp.