

El travertino rojo de Mula: aportaciones a su geología y minería

Mula red travertine: contribution to its geological and mining knowledge

Boluda Gutierrez, M. Grado en Recursos Minerales y Energía

Robles-Arenas, V.M. Dra. CC. Geológicas. Universidad Politécnica de Cartagena. Área de Geodinámica externa.

García-García, C. Ingeniero Técnico en Explotación de Minas y en Sondeos y Prospecciones mineras. Dr. CC. Geológicas. Universidad Politécnica de Cartagena. Área de Geodinámica externa

RESUMEN

El travertino rojo de Mula ha sido extraído desde época romana hasta principios del siglo XX en periodos intermitentes. Este material procede de dos afloramientos situados en dos cerros denominados de Alcalá y la Almagra (Mula, Región de Murcia). Su singular coloración junto con sus buenas propiedades hídricas y mecánicas, han contribuido a su uso tanto en construcción como en obra pública en la comarca del río Mula. En este trabajo se presenta una revisión del conocimiento geológico de la zona con aportaciones propias, así como la caracterización geoquímica y cristalográfica de la roca. Además, se ha realizado una estimación del material extraído (193.920 m³) y una evaluación del potencial yacimiento que permanece sin explotar (747.300 m³). Actualmente, se encuentran ambos cerros bajo figuras de protección por lo que la reactivación de la actividad minera no es posible.

ABSTRACT

The red travertine from Mula has been mined from Roman times to the early 20th century in recurrent periods. This stone comes from two outcrops located on two hills, Alcalá and la Almagra (Mula, Region of Murcia). Its special colour with its hydric and mechanical properties have contributed to its use both in construction and in public works in the region of the Mula river. This paper shows a review of the geological knowledge of the area with own contributions, as well as the geochemical and crystallographic characterization of the rock. In addition, an estimation of the extracted material (193.920 m³) and an evaluation of the potential deposit that remains in situ (747.300 m³) have been done. Currently, both hills are protected sites, so the reactivation of mining activity is not possible.

PALABRAS CLAVE: travertino rojo, minería romana, cartografía, cerros Alcalá y la Almagra, patrimonio.

KEYWORDS: red travertine, roman mining, mapping, cerros Alcalá y la Almagra, heritage.



1. INTRODUCCIÓN

El travertino o toba calcárea es una roca sedimentaria, compuesta principalmente por la precipitación de carbonato cálcico y formada en ambientes continentales, que cuenta con unas propiedades mecánicas que la han convertido desde la antigüedad en una roca muy empleada en construcción gracias a su resistencia a los impactos, a la presión y al desgaste, pero a la vez, fácil de trabajar y transportar.

Los afloramientos de este material se reconocen en dos cerros testigo localizados dentro del término municipal de Mula (Región de Murcia), denominados cerro de Alcalá y cerro de la Almagra, reconociéndose solo en el segundo marcas de perforación, evidencias de una actividad minera relativamente reciente (Figura 1). Ambos cerros han sido declarados como Bienes de Interés Cultural (BIC) a consecuencia de los restos arqueológicos aparecidos sobre ellos. Evidencias de asentamientos poblacionales de épocas pasadas, favorecidos por su valor estratégico-defensivo, dada su altitud dominando la llanura y la disponibilidad de recursos hídricos, por proximidad al río Mula.

En concreto, el travertino rojo de Mula ha sido empleado en obra civil, monumental y privada durante aproximadamente los dos últimos milenios. Los indicios remontan el comienzo de la explotación de dicha roca a época romana, por ejemplo, se identifica fácilmente en el Teatro Romano de Cartagena. Las edificaciones más modernas donde se reconoce este material fueron construidas ya en el siglo XX.

Pero el uso de esta roca se ha sucedido de modo intermitente a lo largo de este periodo, identificándose en numerosas construcciones de la comarca del río Mula datadas en diversas épocas y con finalidades dispares, desde las villae romanas, pasando por la Acequia Mayor de origen musulmán, en iglesias y conventos de Edad Moderna, hasta en puentes construidos a principios del siglo XX para facilitar el acceso rodado a Mula y para la línea de ferrocarril Murcia-Caravaca.

Es oportuno mencionar en este apartado de introducción que en el término municipal de Mula y en las áreas más próximas a este trabajo se encuentran 4 Zonas de Especial Protección de



Figura 1. Marcas de perforación en el frente de extracción del cerro de la Almagra, al fondo de la imagen se observa en cerro de Alcalá.

Aves, 2 Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), 1 Espacios Naturales Protegidos (ENP), 1 Zona de Especial protección (ZEP) y 4 Lugares de interés geológico (LIG). Incluyéndose los afloramientos de travertino dentro del LIG denominado LIGMU-32 “Cerro testigo y travertinos de Puebla de Mula” definido en 1999 y revisado en 2018 estableciéndose el nuevo LIGMU-32 con la denominación de “Geodiversidad de La Puebla y Los Baños de Mula” (www.murcianatural.carm.es).

El objetivo final, el cuarto de este trabajo, es contribuir a la puesta en valor del travertino rojo de Mula desde el punto de vista del patrimonio histórico-minero-geológico. En esta publicación se recoge parte de un trabajo fin de grado [1] y se centra en la presentación de los resultados del estudio mineralógico y químico de la roca llevado a cabo (primer objetivo), en la caracterización de los afloramientos (segundo objetivo) y en la estimación de volúmenes (tercer objetivo), tanto del travertino extraído como del que aún permanece en los afloramientos. La estimación del material extraído se ha realizado a partir de un catálogo-inventario de construcciones que emplean esta roca en la comarca del río Mula, que forma parte de este mismo trabajo fin de grado, y ha sido presentado en las XXVI Jornadas de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia [2].

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Entorno geográfico, climatología e hidrología superficial

Los cerros de Alcalá y la Almagra se encuentran a unos 5 km al este de la ciudad Mula (Figura 2), situada en el centro de la Región de Murcia, en la denominada comarca del río Mula. La superficie del término municipal es de 634 km² y sus cotas topográficas varían entre los 300 msnm y la cumbre del pico de La Selva, en la sierra de Pedro Ponce (1.525 msnm), las cotas de los cerros oscilan entre los 250 y 260 msnm para el cerro de la Almagra y 364 msnm para el cerro de la Alcalá. Mula se encuentra rodeada en gran parte por un relieve montañoso subbético.

Los materiales que predominan en el paisaje son de origen sedimentario, margas, arcillas y calizas entre otros. La gran cantidad de terrenos margosos y la ausencia de vegetación favorecen la formación de barrancos, creando un paisaje donde predominan las estepas abarrancadas, junto con secos badlands (Figura 3). Pero debido a la presencia de niveles más competentes en las partes altas de los cerros permite la formación de las “muelas”, tal y como se conocen localmente a los cerros testigo, como los de Alcalá y la Almagra.

En lo que respecta a los aspectos climáticos, mencionar que la temperatura media anual es de 16 °C aproximadamente, siendo los veranos

calurosos con medias de 27°C y los inviernos fríos donde la media de temperatura es de 7°C [3]. Las precipitaciones son bastante irregulares y se concentran en los meses de abril y octubre, siendo julio el mes más seco, el valor de precipitación media anual es de 340 mm.

Los ríos que recorren el término municipal son el río Mula y Pliego, con sus nacimientos en Sierra Espuña y Bullas respectivamente. Ambos tienen un caudal escaso, aunque son de régimen torrencial y cuentan con un embalse en su curso antes de confluir para desembocar ya juntos en el río Segura.

El manto vegetal natural es escaso debido a la baja pluviosidad, se identifican pequeños matorrales compuestos por albardín, tomillo y esparto entre otros, salvo en las zonas de ribera de los ríos Mula y Pliego donde se identifican diversas variedades de freatofitas.



Figura 3. Vista de cerro de la Almagra, desde cerro de Alcalá, rodeado de un paisaje de badlands.



Figura 2. Situación de los afloramientos de travertino rojo sobre imagen de Google Earth.

2.2. Marco geológico

En términos geológicos los afloramientos de caliza travertínica se localizan dentro de la denominada cuenca Neógeno-Cuaternaria de Archena, subcuenca de la cuenca de Fortuna. Se trata de una zona tectónicamente activa y con manifestaciones hidrotermales como las de los Baños de Mula, Archena y Fortuna. Compuesta, como se ha indicado en el apartado anterior, mayoritariamente por un relleno detrítico, inicialmente de naturaleza marina y a continuación continental.



En el Mapa Geológico 1:50.000 no aparecen cartografiados los dos cerros objeto de estudio, el de la Almagra se representa como Cuaternario indiferenciado y el del Castillo como un nivel resistente del Terciario Superior (areniscas, calizas y conglomerados) [4].

El espesor máximo del travertino en el Cerro de la Almagra se aproxima a los 15 m, siendo esta zona de mayor espesor la sometida a la extracción de roca ornamental. Sobre el travertino aparecen más de 2 m de tobas y bajo la masa de travertino el material es detrítico y con tono rojizo debido al arrastre del componente ferruginoso. Se estima una extensión de unos 60.000 m² puesto que se encuentra cubierto en un sector del cerro [5 y 6].

En ambos cerros, por debajo de los travertinos, se encuentran margas, en el cerro de la Almagra de color gris azulado (Figura 3) y más blancas en las laderas del cerro de Alcalá (Figura 4). En el cerro de la Almagra, en la parte noroeste, aparecen afloramientos de travertino muy meteorizado.

Sobre las superficies laterales de ambos cerros aparece un gran número de bloques desprendidos de los afloramientos, algunos por gravedad (incluso en algunos casos favorecido por la actividad sísmica, tal y como se describe en el siguiente apartado) y otros de manera provocada para la extracción de sillares de caliza travertínica (Figura 5).



Figura 4. Vista de la cara norte de Cerro de Alcalá, se observa su espesor y su posición sobre una gran masa de margas.

Para entender la génesis de los travertinos es oportuno conocer la evolución del relleno de la cuenca [7]. Los materiales que se encuentran a la base son del Oligoceno, se trata de material detrítico de color rojizo del complejo Maláguide (zonas internas de las Cordilleras Béticas), se encuentra deformado, de tal manera, que los siguientes materiales se depositan conformando una discordancia angular (Figura 6).

Sobre estos materiales, discordantemente, se depositaron materiales detríticos en ambientes costeros y de plataforma marina, y de ambientes marinos más profundos hacia el centro de la cuenca, dando lugar a los potentes depósitos de margas anteriormente mencionados, donde se pueden identificar intercalados depósitos turbidíticos (areniscas).



Figura 5. Bloques desprendidos del frente del cerro de Alcalá.



Figura 6. Discordancia angular entre los materiales maláguides y las margas y areniscas miocenas, con el cerro de Alcalá al fondo.

A continuación, la retirada del mar y el paso a una cuenca continental, queda registrado por la presencia de sedimentos fluvio-palustres (Plioceno-Pleistoceno), la transición la marca un nivel de margas amarillas, con conglomerados y areniscas, posiblemente ya continentales o de transición, sobre los que se depositan una importante formación detrítica de color rojo y gris, donde a techo se han encontrado afloramientos de gasterópodos lacustres. Las formaciones de travertino rojo corresponden a este episodio sedimentario.

Cubriendo todas las formaciones anteriores, incluidos los travertinos de meseta, objeto de estudio de este trabajo, se encuentran conglomerados formados por cantos de carbonatos, que pertenecen a la formación más superficial. Siendo posiblemente la última formación que cubrió esta cuenca sedimentaria. Serie que comenzó a erosionarse como resultado del encajamiento de la red fluvial, la cual permite observar todos los materiales citados, siendo la erosión diferencial la que ha permitido disponer de la formación de cerros testigos [8].



Figura 7. Travertino en cascada, imagen tomada al pie del cerro Alcalá.

Durante el Cuaternario se está produciendo una sedimentación fluvial, con la formación de terrazas fluviales, y de travertinos en cascada. Estos niveles son fácilmente identificables a los pies del cerro de la Almagra y a ambos márgenes del río Mula, el desarrollo de diferentes niveles es resultado del cambio del nivel de base de la cuenca y el consecuente encajamiento de la red fluvial, y, por tanto, del cambio de cota de surgencia de los manantiales (Figura 7).

La formación de los travertinos, tanto los de meseta como los de cascada, están íntimamente ligados a la presencia de surgencias de aguas subterránea, y en este caso concreto, las surgencias que han propiciado la formación de estos depósitos están favorecidas por la presencia de fallas.

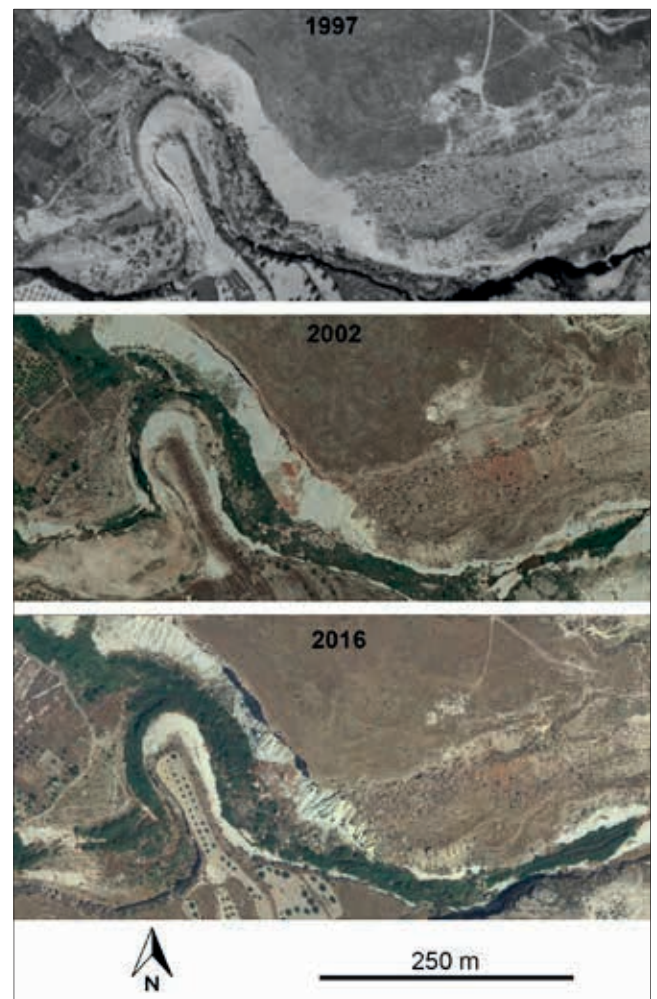


Figura 8. Secuencia de imágenes aéreas del cerro de la Almagra correspondientes a los años 1997, 2002 y 2016, en las que se puede observar la evolución del desprendimiento en la ladera oeste. (Imágenes obtenidas de SITMurcia).



Por tanto, antes de entrar a caracterizar los manantiales, hay que hacer referencia a que la cuenca de Mula se sitúa sobre el contacto entre las zonas internas y externas de la Cordillera Bética contando con una sismicidad activa, tal y como evidencian los numerosos terremotos que se suceden en la zona, la mayoría de ellos no son sentidos por la población, pero sí son percibidos y documentados por el Instituto Geográfico Nacional. El terremoto más importante de las últimas décadas es el acaecido el día 2 de febrero de 1999, de magnitud 4,8, con epicentro en La Puebla de Mula y sentido en localidades como Castellón, Jaén y Albacete. Esta actividad sísmica también contribuye a la remodelación del paisaje tal y como hizo en 1999 [9] e ilustran las imágenes de la figura 8, donde se comprueba el desprendimiento de bloques favorecido por la sacudida sísmica, junto con la continuada erosión y, por supuesto, por la gravedad.

Las surgencias de aguas termales del entorno son resultado de la circulación profunda del agua subterránea gracias a la presencia de fallas, las cuales, han generado zonas de circulación preferencial resultado de la intersección de la falla de los Baños con otras de menor entidad. En concreto, el agua que brota en Los Baños actualmente presenta una temperatura 37 °C con una fuerte mineralización [10].

3. EL TRAVERTINO ROJO DE MULA

Los ambientes fluvio-lacustres afectados por aguas termales en zonas tectónicamente activas, son ambientes singulares por lo que presentan un gran interés sedimentario, petrológico y geoquímico y en muchos casos económico, dada la potencialidad de su explotación para extracción de roca ornamental. El caso del travertino rojo es de una singularidad mayor.

3.1. Características

El travertino es una roca sedimentaria carbonatada de precipitación química o bioquímica, y en el caso que nos ocupada, su rasgo textural fundamental es el bandeado, apreciable por el cambio de coloración, de espesor y de textura. El bandeado se debe a las diferentes texturas

que presenta el carbonato que constituye cada capa. Los travertinos pueden contener los siguientes tipos de capas: capas de carbonato homogéneo de tamaño de cristal pequeño, capas micríticas; capas en las que predominan los meso y macrocristales y capas con micrita y microesparita correspondientes a estructuras biogénicas [5] y con mayor o menor presencia de otros componentes minoritarios como pueden ser los óxidos de hierro.

Esta roca tiene muy buenas propiedades mecánicas y comportamiento hídrico. La resistencia a la compresión es bastante elevada cuando la fuerza se realiza en dirección perpendicular al bandeado. Sus características texturales, muestran el predominio de niveles constituidos por cristales fibrosos y fibroso-radiados, con una fase cementante tardía de oxihidróxidos de hierro, así como morfologías micríticas del tipo de colonias bacterianas [5].

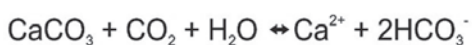


Figura 9. Izquierda: frente donde se aprecia el bandeado a pesar de la meteorización. Derecha: detalle del bandeado en corte fresco.

Los travertinos se originan por la precipitación del carbonato cálcico a partir del bicarbonato y el calcio presente en disolución en las aguas subterráneas. Cuando estas aguas brotan a la superficie se produce la liberación de CO₂, el agua pierde presión de CO₂ y se produce el cambio de bicarbonato a carbonato, que es insoluble y precipita. Por ello, los travertinos aparecen cerca de surgencias de aguas subterráneas. El

carbonato suele precipitar sobre la vegetación o sobre sus restos, conservando moldes o impresiones de los mismos (imagen típica del travertino con formas tubulares y abundantes coqueras, más típicos en travertinos en cascada), también lo hace sobre conchas de moluscos o bien favorecido por la presencia de organismos que fijan el carbonato como las cianobacterias.

En los afloramientos del travertino rojo de Mula predominan las facies bandeadas de grosores comprendidos entre 1 y 10 cm, asociadas a mineralizaciones de oxi-hidróxidos de hierro (Figura 9) y manganeso, con presencia de sulfatos de bario y estroncio (barita y celestina) e indicios de arsénico (5). Predominan las bandas con texturas meso y macrocristalinas con cristales isométricos, fibrosos y fibrosorradiados, las bandas más finas son capas micríticas con texturas que pueden ser relacionadas con bacterias. Es frecuente observar varias etapas de relleno de poros. En algunos puntos llegan a aparecer estructuras equiparables a estromatolitos (Figura 9).



La circulación del agua en el travertino viene relacionada por el bandeo, donde los valores de coeficiente capilar son menores cuando la dirección de flujo es perpendicular al bandeo, mientras que en paralelo es más favorable al desplazamiento del agua. Su porosidad es del 10%, los coeficientes de absorción capilar son relativamente bajos debido a su baja porosidad y conectividad entre poros [5 y 6]. Por tanto, su buen comportamiento frente al agua y la resistencia a la compresión son las dos características fundamentales del travertino de Baños de Mula, propiedades que la definen como una buena roca ornamental (Tabla 1).

3.2. Actividad minera

El aprovechamiento del travertino rojo de Mula, tal y como se ha indicado en apartados anteriores se remonta de tiempos de los romanos hasta el siglo XX. Es tal la importancia histórica de ambos cerros que la zona adquiere interés desde el punto de vista del patrimonio minero.

El travertino rojo sería el único material de la comarca del río Mula que compartía las características ornamentales con los materiales empleados a la ciudad de Carthago Nova. Por las características de capiteles encontrados, sometidos a análisis estilístico, el inicio de la explotación quedaba encuadrado en época augustea [11].

No hay evidencias de los inicios de la explotación debido a que las labores de extracción se han ido sucediendo por los sucesivos pobladores del entorno, pero gracias a los trabajos arqueológicos dirigidos por Rafael González Fernández entre los años 1996 y 2001 se halló la ciudad tardorromana que se sitúa en el cerro de la Almagra (Figura 10), donde se localizaron fragmentos de sillares y tambores de fuste.



Figura 10. Restos arqueológicos de la ciudad tardorromana estudiada en el cerro de la Almagra.

PROPIEDADES	FACIES BANDEADA	
	PARALELO	PERPENDICULAR
Densidad (g/cm ³)	2,33±0,05	
Porosidad (%)	10,01±1,40	
Coefficiente de absorción capilar (g/m ² *s0.5)	19,48±6,06	13,03±6,72
Resistencia a compresión (MPa)	44,64±6,09	57,24±10,51

Tabla 1. Propiedades físicas del travertino de Baños de Mula [5].



En lo que respecta a la datación del travertino en relación a las fechas de construcción de las edificaciones que los contienen, no es una herramienta fiable puesto que una parte de las piezas halladas en Mula y Cartagena se han encontrado de manera descontextualizada.

4. METODOLOGÍA

4.1. Caracterización química y mineralógica del travertino

Para llevar a cabo la caracterización del travertino dada su variabilidad a muestra de mano se tomaron cuatro muestras representativas, sobre las cuales se realizaron las siguientes determinaciones en el Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica de la Universidad Politécnica de Cartagena:

- Análisis termogravimétrico: técnica de análisis térmico que mide la masa de una muestra en función de la temperatura/tiempo, se usa principalmente para la caracterización de la composición de una muestra. El analizador empleado es del modelo «TGA/DSC 1HT» DE METTLER-TOLEDO.

El procedimiento ha consistido sobre muestras de unos 10 mg de peso, se han llevado desde los 30°C hasta cerca de los 1000°C durante un periodo de 50 minutos de manera lineal.

- Difracción de rayos X: empleada para la identificación de las fases cristalinas de una muestra, así como para su análisis cuantitativo. El difractómetro empleado es el modelo BRUKER D8 ADVANCE.

- Espectrometría de fluorescencia de rayos X: técnica basada en la detección de la radiación X emitida por átomos excitados. Los fotones fluorescentes son característicos de cada elemento en cuestión y su intensidad determina la concentración del mismo. Se utiliza con fines cualitativos y cuantitativos. La espectrometría se ha realizado con un S4 PIONEER BRUKER.

4.2. Cartografía de los afloramientos de travertino

Para llevar a cabo la cartografía de los dos afloramientos de travertino rojo se han empleado imágenes aéreas que han sido manejadas

Para llevar a cabo la cuantificación del material extraído de los aforamientos de travertino rojo empleado en la comarca del río Mula, se han catalogado la mayor parte de los edificios y construcciones de la comarca en los que se ha empleado.

mediante el software AutoCAD, siendo toda la información corroborada en campo. Las imágenes aéreas han sido descargadas del Centro Nacional de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (Ortofoto PNOA Máxima Actualidad). También se ha recurrido al geoportal de la infraestructura de datos espaciales de la región de Murcia (SitMurcia).

4.3. Inventario y cuantificación del material extraído

Para llevar a cabo la cuantificación del material extraído de los aforamientos de travertino rojo empleado en la comarca del río Mula, se han catalogado la mayor parte de los edificios y construcciones de la comarca en los que se ha empleado. La mayor parte del travertino aparece en umbrales de puertas, otra gran parte de travertino es empleado en las esquinas de los edificios, como zócalo de algunas fachadas y empleado en numerosos escalones de acceso a viviendas y gradas para salvar el desnivel entre calles (Figura 11). Son menos numerosos, pero en la construcción de puentes y portadas se empleó un gran volumen de este material.

En algunos lugares, principalmente en parques, se han reutilizado piezas de travertino con el único fin que decorar.



Figura 11. Ejemplos del uso de travertino rojo en la Comarca del río Mula.

Es muy importante indicar que parte del travertino empleado se encuentra oculto, principalmente bajo el nivel del suelo, ya que uno de sus principales usos era como cimentación. También cabe destacar que al restaurar algunas casas se han podido deshacer de algunas piezas, otras que hayan quedado enterradas, como puede ser el caso de los umbrales o como es más común, que sobre ellas se les haya aplicado una capa de pintura u otro tipo de material que dificulta su identificación, solo posible por el deterioro del revestimiento [2].

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Características físico-químicas y mineralógicas de las muestras tomadas de travertino

A pesar de ser las 4 muestras de travertino recogidas, de apariencias a simple vista netamente diferentes, se han obteniendo resultados muy similares para todas las ellas, identificadas básicamente como carbonato cálcico (análisis termogravimétrico, Figura 12), cristalizado como calcita (difracción de rayos X). De las determi-

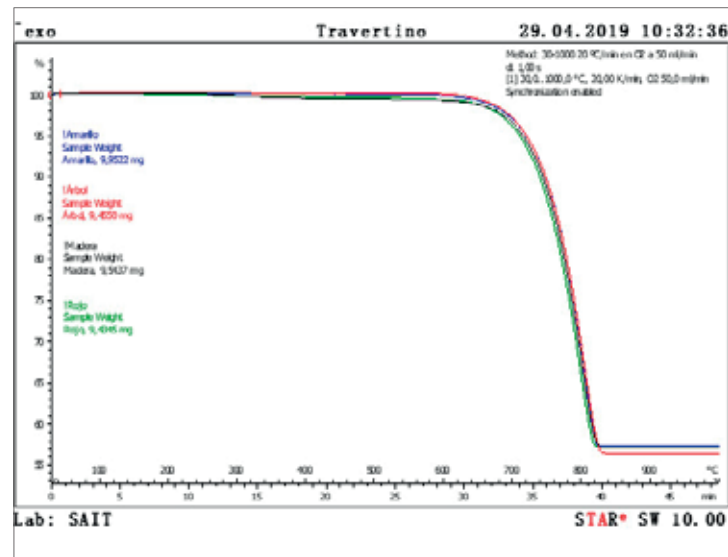


Figura 12. Resultados del análisis termogravimétrico.

naciones mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X se obtiene que las muestras tomadas presentan una cristalinidad próxima al 90% siendo la concentración de cálcica próxima al 100% (Tabla 2).



	Amarillo	Árbol	Madera	Rojo
<i>Cristalinidad (%)</i>	89	89	89	85
<i>Calcita (CaCO₃) (%)</i>	98	99	99,5	99
<i>Cuarzo (SiO₂) (%)</i>	2	1	0,5	1

Tabla 2. Porcentajes de cristalinidad y concentración de cada una de las muestras resultantes de la prueba de espectrometría de fluorescencia de rayos.

5.2. Cálculos sobre el yacimiento actual y el material empleado

El cerro de Alcalá tiene un espesor homogéneo mientras que el cerro de la Almagra muestra un acuñaamiento, oscilando ambos cerros entre los 10 y 15 m visibles. La extensión del afloramiento de Alcalá es bastante clara, y, por tanto, ha sido el más fácil de cartografiar ya que todas sus caras se encuentran visibles, mientras que el afloramiento del cerro de la Almagra solo es visible por la cara sur y oeste, por lo que se ha intuido que el travertino abarca todo el cerro hasta los restos de la antigua muralla, de no haber sido por una base consistente como la de travertino, esa parte del cerro se habría erosionado.

Para calcular la determinación del área ocupada por los afloramientos se ha empleado el sistema de medida de SitMurcia (Figura 13).

En la figura 3 se puede observar la variación de espesor del cerro de la Almagra en el corte provocado por la erosión del río, al igual que la pérdida de tonalidad de la roca cuando disminuye el espesor.

Para el cálculo aproximado del volumen existente de travertino en los cerros se han considerado unos espesores medios de 11 m para el cerro de la Almagra y de 13 m para el cerro de Alcalá. Por los restos de bloques y desbastes que se pueden observar en las laderas de los cerros, se ha establecido que el área explotada en el cerro de Alcalá podría rodear todo el nivel carbonatado, siempre favorecido en las laderas de menor pendiente, mientras que en el caso del cerro de Alcalá procedería principalmente de la ladera SE (Figura 14).



Figura 13. Cálculo de áreas de los afloramientos de travertino en SitMurcia.



Figura 14. Representación de las potenciales áreas explotadas de travertino

La parte explotada de los afloramientos coincide con la zona de máximo espesor en ambos cerros, por ello se han establecido unos espesores medios de 15 m para la zona de los afloramientos que ya ha sido extraída (Tabla 3). Para el cálculo de la extensión en planta se ha considerado el volumen de material empleado en los edificios catalogados en la comarca [2]. Para calcular el volumen de travertino se ha catalogado la parte visible de cada lugar, considerando

que los umbrales están enterrados unos 5 cm en el suelo, que las piezas empleadas en las esquinas son paralelepípedos, y que los bloques de las portadas y edificios de mayor antigüedad tienen un espesor de 30 cm. El volumen aproximado de travertino rojo en los lugares catalogados asciende a la cifra de 2.170 m³, dato que no considera el volumen de material que se encuentra oculto en cimentación de edificios o que ha sido tapado en la restauración de viviendas. Es evidente que la cantidad explotada de travertino fue mucho mayor, por no ser visible, y, por tanto, no cuantificado, como el resto de material empleado en otras ciudades, como, por ejemplo, en Cartagena (teatro romano; foro de la colonia romana de Carthago Nova).

Es evidente que aún queda un gran volumen de travertino explotable, pero los restos que se encuentran sobre ellos y por los que existe una protección de los cerros hace que la reactivación minera sea inviable.

Superficie actual (m ²)	8010	58470
Superficie original (m ²)	13423	65985
Superficie extraída (m ²)	5413	7515
Espesor medio presente (m)	13	11
Espesor medio extraído (m)	15	15
Volumen presente (m ³)	104130	643170
Volumen extraído (m ³)	81195	112725

Tabla 3. Extensiones, espesores y cálculo de volúmenes aproximados de travertino.

6. CONCLUSIONES

Por los restos de desbaste encontrados en los cerros de Alcalá y de la Almagra se ha llegado a la conclusión de que se ha extraído material de ambos, siendo en el cerro de La Almagra el último donde se abandonó la actividad extractiva, hecho que se ha podido comprobar en campo observando las marcas de perforación realizadas en los frentes mediante medios

Es evidente que aún queda un gran volumen de travertino explotable, pero los restos que se encuentran sobre ellos y por los que existe una protección de los cerros hace que la reactivación minera sea inviable.

mecánicos. Es obvio que queda una gran masa de travertino que podría ser aprovechable, pero al encontrarse ambos cerros bajo figuras de protección hace que la reactivación de la actividad minera sea impensable.

Otra de las dudas que generaba este trabajo era la relación geológica entre ambos cerros, quedando resuelta con el estudio geológico de la zona, llegando a la conclusión de que ambos afloramientos pertenecían al mismo ambiente fluvio-lacustre. La disposición actual atiende a la combinación de la tectónica activa y la acción modeladora del agua.

En la parte superior del cerro de la Almagra aflora sobre el travertino y también formando parte de él, un tipo de roca que el saber popular la atribuía a restos de vegetales. La teoría de que fueran fósiles vegetales se descartó en un primer momento, quedando la única opción de ser caliza travertínica y apareciendo la posibilidad de que su composición fuera de aragonito o calcita, debido a la reacción de efervescencia frente al test del ácido (HCl diluido). Finalmente, la prueba de difracción de rayos X a la que ha sido sometida la muestra de estos “árboles”, ha resuelto sin lugar a dudas que se trata de calcita (CaCO₃).

7. PROPUESTAS

Cumplidos los primeros tres objetivos propuestos, de caracterización y cuantificación, el cuarto objetivo y último es la puesta en valor de



ambos cerros teniendo en cuenta su alto potencial turístico dada su gran riqueza, tanto en valores históricos, como geológicos y mineros. Para ello, los terrenos deberían dejar de ser privados y pasar a ser propiedad del Ayuntamiento de Mula, reactivando las excavaciones arqueológicas del yacimiento de la Almagra, abandonadas desde 2001. La creación de una ruta turística por ambos cerros favorecería su visibilidad e interés de la población, tanto local como visitante. Dotando de un valor añadido el valor que imprime una correcta interpretación del patrimonio, ya sea de modo individual (guías descargables, puntos estratégicos con códigos QR, NFC o tecnologías inalámbricas similares, para poder descargar la información) y/o guiado por profesionales.

Junto a lo descrito anteriormente, convendría limpiar la superficie de ambos cerros y

tomar medidas relativas a las condiciones de seguridad de los potenciales visitantes, tales como un vallado perimetral, para que además de evitar las caídas por desnivel, eviten el acceso sin permiso, en pro de la conservación y el cese del expolio. Igualmente, importante sería la adecuación de los caminos de acceso, muy deteriorados, y la sujeción de aquellos bloques con riesgo de desprendimiento. Un proyecto que se podría contemplar para favorecer el acercamiento del cerro de la Almagra al núcleo urbano de los Baños de Mula, sería la construcción de una pasarela para salvar el río Mula, a la altura del parque situado frente a la fuente pública, y dotar así a la población de un espacio de ocio deportivo-cultural, lo que repercutiría muy positivamente en el bienestar de la población ■

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BOLUDA GUTIÉRREZ, M. “Travertino rojo de Mula: uso y caracterización”. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Cartagena. 2019. 271 p.
- (2) BOLUDA GUTIÉRREZ, M.; GARCÍA-GARCÍA, C.; ROBLES-ARENAS, V.M. Catalogación de elementos construidos con travertino rojo en la comarca del río Mula. XXVI Jornadas de Patrimonio Cultural de la Región de Murcia, 2020, p. 281-286.
- (3) GÓMEZ ESPÍN, J.M. GIL MESEGUER, E. GARCÍA MARÍN, R. “Insuficiencias hidráulicas y modernización de regadíos en la Cuenca de Mula” Revista Papeles de Geografía. Universidad de Murcia. 2005, nº 41-42, p. 101-121.
- (4) JEREZ MIR, L.; JEREZ MIR, F.; GARCÍA-MONZÓN, G. “Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 912 (Mula)”. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1974, 65 p.
- (5) GARCÍA DEL CURA, M.A.; BENAVENTE, D.; MARTÍNEZ MARTÍNEZ, J. “Los travertinos de Baños de Mula (Murcia). Una roca de interés sedimentológico y arqueológico”. Sociedad Geológica de España. Geogaceta, 2014, nº 56, p. 75-78
- (6) GARCÍA DEL CURA, M.A. “Travertinos coloreados en la Cordillera Bética (SE de la Península Ibérica). Situación geológica y características petrofísicas”. Boletín Geológico y Minero, 2017, nº 128(2), p. 467-483
- (7) GUILLÉN MONDÉJAR, F. ROSILLO MARTÍNEZ, J.F. “LIGMU-32. Geodiversidad de La Puebla y Los Baños de Mula”. Universidad de Murcia. 2018 [<http://www.murcianatural.carm.es/enlace>]
- (8) SILVA, P.G., MATHER, A.E., GOY, J.L., ZAZO, C., HARVEY A.M. “Controles en el desarrollo y evolución del drenaje en zonas tectónicamente activas: el caso del río Mula (Región de Murcia, SE de España)”. Revista de la Sociedad Geológica de España. 1996, vol. 9 (3-4), p. 269-283
- (9) MARTÍNEZ-DÍAZ, J.J. “Caracterización geológica y sismotectónica del terremoto de Mula (febrero de 1999, Mb: 4,8) mediante la utilización de datos geológicos, simbólicos y de interferometría de RADAR (INSAR)”. Boletín Geológico y Minero, 2002, 113 (1), p. 23-33
- (10) PINUAGA ESPEJEL, J.I.; MARTÍNEZ PARRA, M. “Panorama de las Aguas Minerales en la Región de Murcia”. Instituto Geológico y Minero de España. 2003, 189 p. ISBN: 84-7840-467-8
- (11) SOLER HUERTAS, B. “El travertino rojo de Mula, (Murcia). Definición de un mármol local”. Verdolay, 2005, nº 9, p. 141-164