

Materiales pétreos y canteras para la construcción de las iglesias de San Miguel de Escalada (León) y San Cebrián de Mazote (Valladolid)

Stone materials and quarries for the construction of the churches of San Miguel de Escalada (Leon) and San Cebrian de Mazote (Valladolid)

Enrique Álvarez Areces*; José Manuel Baltuille Martín**

RESUMEN

A partir del análisis de las fases constructivas de las iglesias de San Miguel de Escalada (León) y San Cebrián de Mazote (Valladolid) mediante metodologías propias de la arqueología de la arquitectura y de la caracterización petrográfica de los materiales identificados en ellas, se han localizado, por medio del análisis geológico, las áreas de explotación y canteras de donde se extrajeron los materiales pétreos empleados para su construcción. La prospección geológica en busca de los espacios de cantera históricos aporta una información inédita para el mejor conocimiento de estos conjuntos edificados del Altomedievo, y una mayor comprensión de su sistema constructivo y planificación de obra.

Palabras clave: canteras históricas, patrimonio arquitectónico, materiales pétreos, geología, altomedievo

ABSTRACT

Taking as basis the analysis of the building phases of the churches of San Miguel de Escalada (León) and San Cebrián de Mazote (Valladolid) by means of the archaeology of architecture and the petrographic featuring of the materials employed for them, the exploitation areas and quarries where its stone material was extracted have been located by undertaking the geological analysis. The geological survey carried out to catalogue the historical quarries contributes with unprecedented information for a better assessment of these Early Medieval buildings and with a better understanding of their construction system and planning work.

Keywords: historical quarries, architectural heritage, stone materials, geology, Early Middle Ages

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto “La circulación de modelos arquitectónicos y escultóricos en el Alto Medievo Peninsular” se han estudiado de forma multidisciplinar las edificaciones religiosas de San Miguel de Escalada en la provincia de León, de San Cebrián de Mazote en la provincia de Valladolid y de Las Mesas de Villaverde en la provincia de Málaga, con el objetivo de interpretar sus modelos constructivos, similitudes y analogías.

El estudio en conjunto de estos edificios, construidos *a priori* en el mismo periodo (finales del siglo IX – inicios del siglo X), permite establecer analogías entre ellos y acercarnos a sus sistemas constructivos, así como a la planificación de su obra, en la que los materiales pétreos de construcción juegan un papel predominante en su producción. Conocer la actividad en cantera, las técnicas extractivas empleadas, la planificación de trabajo en estos espacios, el transporte del material extraído y el trabajo a pie de obra, proporciona una infor-

* Doctor en Geología. Unidad Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España.

** Geólogo. Responsable de la Unidad Piedra Natural y Patrimonio Monumental. Instituto Geológico y Minero de España

mación de gran utilidad para acercarnos más aún a el estudio de estos edificios históricos declarados Monumento Nacional en 1886 y que han sido estudiados desde diferentes perspectivas a lo largo del siglo XX.

El análisis petrográfico de los materiales utilizados en estas construcciones y la prospección geológica en busca de los espacios de cantera constituyen los objetivos de este trabajo de investigación. Mediante la comparación de los estudios petrográficos de las diferentes unidades litoestratigráficas presentes en el área con los materiales pétreos muestreados en los conjuntos edificados se establecen las correlaciones con el fin de determinar la procedencia de los mismos.

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

Ambos conjuntos edificados se contextualizan geológicamente en la Cuenca del Duero, cuya dinámica ha estado condicionada por las características y estructuración de los relieves que conforman sus bordes (VVAA, 2004). San Miguel de Escalada se sitúa en la Submeseta Septentrional, en el sector noroccidental de la cuenca cenozoica, próxima al borde con la Cordillera Cantábrica. San Cebrián de Mazote se localiza en esta misma Submeseta, aproximadamente en el centro de la depresión terciaria. Los dos conjuntos pertenecen a la Comunidad Autónoma de Castilla y León, correspondiendo el primero a la provincia de León y el segundo a la de Valladolid.

En el entorno de San Miguel de Escalada, la red fluvial está bien desarrollada, estando constituida por dos arterias principales, los ríos Esla y Porma, que confluyen al SO de la iglesia. La red fluvial cuaternaria produce un vaciado erosivo, desarrollando replanos, plataformas estructurales y resaltes que tendrán una relación directa con la geolocalización de las áreas de explotación de los materiales.

Orográficamente el entorno de San Cebrián de Mazote se caracteriza por presentar una

amplia altiplanicie horizontal (superficie de los páramos), hendida por valles orientados NE-SO. Esta altiplanicie constituye un extenso relieve tabular que se extiende desde el corredor de la Bureba, al NE de la Cuenca, con una altitud media de 840 m. La red fluvial en la zona es de menor entidad que en el caso de Escalada, siendo el curso fluvial más importante el río Sequillo, tributario del río Valderabuey. El resto de la red la constituye un conjunto de arroyos de escasa entidad.

Geológicamente, ambos edificios se sitúan en la Cuenca del Duero, la cual junto a las del Tajo y del Ebro conforman las tres grandes cuencas terciarias intracontinentales, características del interior de la Península Ibérica. La del Duero es la más septentrional y la que se sitúa a mayor altitud, a 700 m sobre el nivel del mar (VVAA, 1994: 76). Desde el punto de vista estratigráfico, se caracteriza por la presencia de sedimentos neógenos, por un lado los sedimentos terciarios correspondientes al relleno de una depresión de antepaís, y por otro, los asignados tradicionalmente al Cuaternario que se asocian al proceso de erosión y vaciado de la Cuenca, presentando un carácter de recubrimiento. El edificio de San Miguel de Escalada se sitúa en su sector septentrional, próximo al borde centro meridional de la Cordillera Cantábrica, siendo su tectónica activa la que durante la Orogenia Alpina condiciona la sedimentación terciaria adyacente, junto con su destacada elevación, recibiendo los materiales procedentes de la erosión del bloque elevado cordillera-no (ALONSO, PULGAR, 1993). La iglesia de San Cebrián de Mazote se ubica en la parte centro-occidental de la Cuenca, en la que son frecuentes los afloramientos terciarios, constituidos por tres tramos litológicos: facies Tierra de Campos, terrígena de carácter fluvial (Mioceno medio); facies lacustres Cuestas, margo-arcillosa frecuentemente yesífera y minoritariamente caliza (Mioceno superior); y facies Caliza de Los Páramos de edad Mioceno superior, que conforman las planicies altas de los relieves tabulares existentes en este sector (Fig. 1).

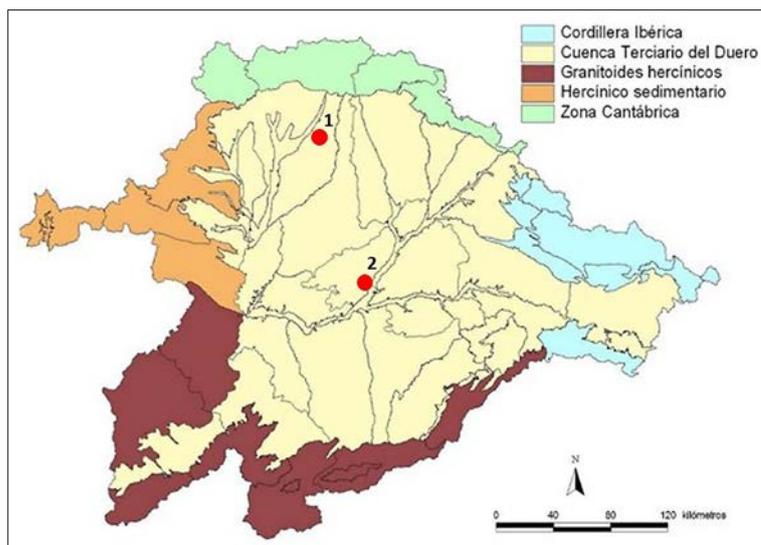


Fig. 1. Marco geográfico y geológico. Esquema de situación en el contexto septentrional y centro meridional de la Cuenca del Duero: 1. Iglesia San Miguel de Escalada (León) Coordenadas UTM (Datum ETRS89, Huso 30): X. 310.994,53 - Y. 4.715.858,24. 2. Iglesia San Cebrián de Mazote (Valladolid). Coordenadas UTM (Datum ETRS89, Huso 30): X. 321.297,79 - Y. 4.616.585,51

3. DESARROLLO METODOLÓGICO

La metodología de trabajo seguida para la localización de los espacios de cantera asociados a las dos construcciones eclesíásticas objeto del presente trabajo de investigación se articula en los siguientes puntos:

- *Generación de un equipo multidisciplinar capaz*, con diferentes formaciones académicas y experiencias profesionales, dominando disciplinas como la geología, arqueología, historia, historia del arte, etc., con el objetivo de localizar las áreas de explotación históricas y establecer las relaciones existentes entre los espacios de cantera y el edificio.
- *Documentación histórico-arquitectónica*, con la consulta de archivos, proyectos de intervención, publicaciones científicas, etc., fase en la que desempeña un papel destacado los historiadores en busca de la documentación que pueda aportar información de utilidad.
- *Caracterización petrológica de los materiales* para la localización de las áreas históricas de explotación. Es imprescindible un conocimiento profundo de los materiales pétreos empleados en la construcción del edificio, siendo los ensayos y análisis a realizar: estudios petrográficos, mineralógicos, caracterización geoquímica, caracterización petrofísica, etc. En el presente trabajo se han realizado los estudios petrográficos, para a nivel textural determinar las similitudes y la correlación entre las muestras tomadas en cantera y en los edificios.
- *Muestreo en el patrimonio arquitectónico*¹, el cual debe ser lo menos agresivo posible con la edificación, siempre muestreando acorde a un plan, en zonas poco visibles o ya deterioradas y/o dañadas y minimizando la cantidad de muestra a escoger mediante una adecuada manipulación. Las labores de muestreo fueron realizadas de acuerdo con las fases constructivas identificadas por los análisis arqueológicos.
- *Documentación geológica regional*, en esta fase de la metodología cobra gran importancia la documentación geocientífica y trabajos cartográficos del Instituto Geológico y Minero de España, el Mapa Geológico de España E. 1:50.000 (MAGNA 2ª Serie) y la Cartografía geológica digital continua E. 1:50.000 (GEODE), los Mapas de Rocas Industriales a E. 1:200.000, y la Base de datos de Rocas y Minerales Industriales

¹ Normativa para la obtención de muestras en el patrimonio arquitectónico: UNE-EN 16085. *Metodología para la toma de muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas Generales.*

(BDMIN), así como la Base de datos de Canteras históricas y Patrimonio Arquitectónico (CONSTRUROCK) completan la información consultada para la localización de las áreas histórico extractivas.

- *Selección y reconocimiento de afloramientos geológicos*, localizados a nivel cartográfico los afloramientos que son susceptibles de tener similares características a los utilizados en la construcción de los edificios se seleccionan los afloramientos en función de los siguientes criterios: características geográficas, mediante el criterio de proximidad², características topográficas, que condiciona el transporte³, reconocimiento de fotografía aérea⁴.
- *Cartografía geológica específica*, en aquellas áreas seleccionadas en los trabajos metodológicos previos, esta cartografía permitirá la diferenciación de facies y variaciones composicionales y texturales tanto a techo y muro, como cambios laterales.
- *Identificación y georreferenciación de trazas de explotación*, permitiendo definir y delimitar

las áreas históricas de explotación y la organización en cantera a partir de las improntas identificadas en los afloramientos rocosos, como pueden ser: rozas, sillares adosados al macizo rocoso, cuñas, rubefacción, etc.

- *Toma de muestras en la cantera*, seleccionando aquellos niveles geológicos en los que se han identificado trazas de laboreo, en este caso el muestreo puede hacerse a dos niveles: muestras de pequeño tamaño para la realización de estudios petrográficos y análisis geoquímico, y muestras de mayor tamaño para la realización de ensayos tecnológicos de caracterización y alterabilidad. En el caso que nos ocupa, se han seleccionado muestras de tamaño centimétrico para la obtención de láminas delgadas y su estudio petrográfico.
- *Correlación muestras edificio-cantera*, a partir del análisis sedimentológico y petrográfico se han establecido diferentes áreas con posibilidades de haber sido beneficiadas en un pasado e inferir así las posibles áreas fuente (Fig. 2).



Fig. 2. Metodología para la localización de áreas histórico-extractivas

2 La cercanía a las formaciones geológicas aptas para su empleo en construcción y con características petrológicas similares a las empleadas en la obra es uno de los criterios empleados en la localización de los espacios de cantera históricos. Aunque no se cumple en todos los casos, pues en ocasiones las necesidades técnicas, la existencia de centros de producción o vías de comunicación preexistentes que faciliten el transporte del material, etc., justifican la selección y explotación de materiales pétreos más distantes.

3 La topografía más o menos abrupta condiciona en gran medida el trazado de vías de comunicación, buscándose siempre los trazados de menor pendiente y menores exigencias técnicas.

4 En la actualidad se dispone de una abundante fotografía aérea y visores que permiten definir áreas de explotación e incluso la identificación de labores.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PÉTREOS EMPLEADOS

El estudio del funcionamiento de la transferencia de modelos arquitectónicos y escultóricos ha sido uno de los objetivos principales que se propuso el proyecto en el que se enmarca el presente trabajo de investigación. La producción de estos conjuntos edificados exige de unos caracteres tecnológicos y productivos, en los que la búsqueda del material idóneo para su construcción, las labores de extracción, el transporte de estos materiales y acopio en obra permiten contextualizar la producción de estos edificios y aproximarnos a la actividad en cantera en este periodo del Altomedievo, del cual apenas tenemos antecedentes de estudio de este tipo. La identificación de los diversos materiales pétreos empleados a partir del estudio macroscópico (*de visu*) y microscópico de los materiales empleados en la construcción de los edificios permite, junto con la metodología propia de la Arqueología de la Arquitectura, entender el proceso de construcción y establecer relaciones temporales y directas entre el edificio y la cantera, contextualizando esta última en un periodo temporal concreto.

4. 1. Basílica de San Miguel de Escalada (León)

El templo de San Miguel de Escalada presenta una planta basilical de tres naves, con

superior anchura y elevación la central, separadas por arquerías de herradura sobre columnas. Su cabecera, recta al exterior, destaca por la jerarquización de sus espacios, albergando tres ábsides de planta semicircular al interior. Entre las naves y las capillas se desarrolla una nave transversal, separada del aula por un juego de cancelas y un iconostasio. Su iluminación se realiza a partir de ventanas abiertas en el muro alto de la nave central y en los ábsides. Cada capilla se cubre con bóveda gallonada y el aula en origen se cubriría con armadura de madera vista, similar, aunque más sencilla, a la actual de época bajomedieval. Exteriormente esta construcción está coronada con tejados a dos aguas y una vertiente con amplios aleros soportados por modillones, destacando también el pórtico sur con columnas y capiteles profusamente decorados. Junto a la cabecera, se construyó en el siglo XI una torre y posteriormente una nueva capilla (Fig. 3).

El conjunto edificado está construido en sillería y mampostería. El uso de mampostería se constata en los alzados oeste, este (ábside septentrional), norte y sur, aunque aquí modificado en época moderna. Por el contrario, el pórtico meridional, la torre y parte del alzado este (el que corresponde a los ábsides central y meridional) emplean sillería para su construcción.



Fig. 3. San Miguel de Escalada (León), vista del aula y torre

Una vez realizados el análisis arqueológico de los paramentos⁵ y la identificación visual de los materiales pétreos, se han seleccionado las muestras⁶ de tal forma que estas representen la diversidad de los materiales empleados en su construcción. Se han seleccionado un total de 26 muestras para su estudio petrográfico, entre elementos estructurales (sillería y mampostería) y elementos decorativos⁷ (capiteles, canceles, frisos y modillones; Fig. 4).

Referencia	Alzado	Localización muestra
E1	Alzado oeste	Exterior. Muro oeste pórtico
E2	Alzado norte	Exterior. Esquina occidental
E3	Alzado este	Exterior. Testero E esquina N contrafuerte N
E4	Alzado sur	Exterior. Arquería pórtico cara N, 4º arco occidental
E5	Alzado oeste	Exterior. Mampostería
E6	Sección sur nave norte	Interior. Arquería pórtico cara N, 1º arco occidental
E7	Sección sur nave norte	Interior. 1º capitel arquería N
E8	Sección sur nave norte	Interior. Arquería N, cara N, pilar occidental
E9	Sección norte nave central	Interior. Arquería N, cara S, pilar occidental
E10	Sección sur nave norte	Interior. Arquería N, salmer 2º, 3º arco desde el E

Fig. 4. Muestreo para el estudio petrográfico de los materiales de construcción empleados en San Miguel de Escalada, se corresponden con los materiales identificables en los alzados exteriores y la arquería interior

Debido a la naturaleza sedimentaria de los materiales pétreos identificados y muestreados en los lienzos de Escalada, es importante precisar no sólo el porcentaje de sus constituyentes minerales, sino también su disposición textural (granos, matriz, cemento, etc.), debido a que en muchas ocasiones la fase aglomerante es más sensible a la alteración que los elementos que engloba. Dentro de cada una de las litologías estudiadas existen variaciones petrográficas que atañen fundamentalmente al tamaño de grano y proporción de constituyentes minerales. Esto es debido a la heterogeneidad de estas rocas sedimentarias, la cual

se aprecia tanto en las muestras seleccionadas en el edificio como en cantera. Las muestras seleccionadas en el edificio presentan estas variaciones, debido a que han sido extraídas de bancos y lugares diferentes, a lo largo del proceso constructivo.

La muestra E1 (Fig. 5 a) se corresponde con uno de los sillares del alzado oeste del pórtico (Fig. 6). Macroscópicamente se trata de una roca de color parduzco (10YR 8/3), fracturación irregular, ligera, blanda, de grano fino, sin orientación preferente de sus componentes, elevada porosidad, presentando nódulos de color más oscuro y cavidades (2mm) tapizadas de cristales idiomórficos de calcita. Desde el punto de vista microscópico, es una roca con textura lodosoportada, con composición mineralógica: calcita 70%, cuarzo 20% y filosilicatos 10%, matriz micrítica, presentando espacios vacíos alrededor de los que se concentran cristales de calcita de mayor tamaño. La roca se clasifica como una caliza margosa. (Tabla 1)

Tabla 1. Materiales pétreos en San Miguel de Escalada

	color	fracturación	dureza	tamaño grano	textura	clasificación
E1	10YR 8/3	irregular	baja	fino	lodosoportada	caliza margosa
E2	2.5Y 8/2	irregular	baja	medio	lodosoportada	litarenita calcítica
E3	10YR 8/3	irregular	baja	fino-medio	lodosoportada	caliza margosa
E4	2.5Y 8/3	lisa	baja	fino	cristalina	dolomía cristalina
E5	10YR 7/3	irregular	baja	grueso	granuda	paraconglomerado
E6	2.5Y 8/2	irregular	media	fino	lodosoportada	caliza margosa
E7	2.5Y 8/2	lisa	media	fino	cristalina	dolomía cristalina
E8	2.5Y 8/4	irregular	baja	fino	lodosoportada	caliza margosa
E9	2.5Y 8/4	irregular	baja	fino	lodosoportada	caliza margosa
E10	2.5Y 8/2	lisa	baja	fino	cristalina	dolomía cristalina

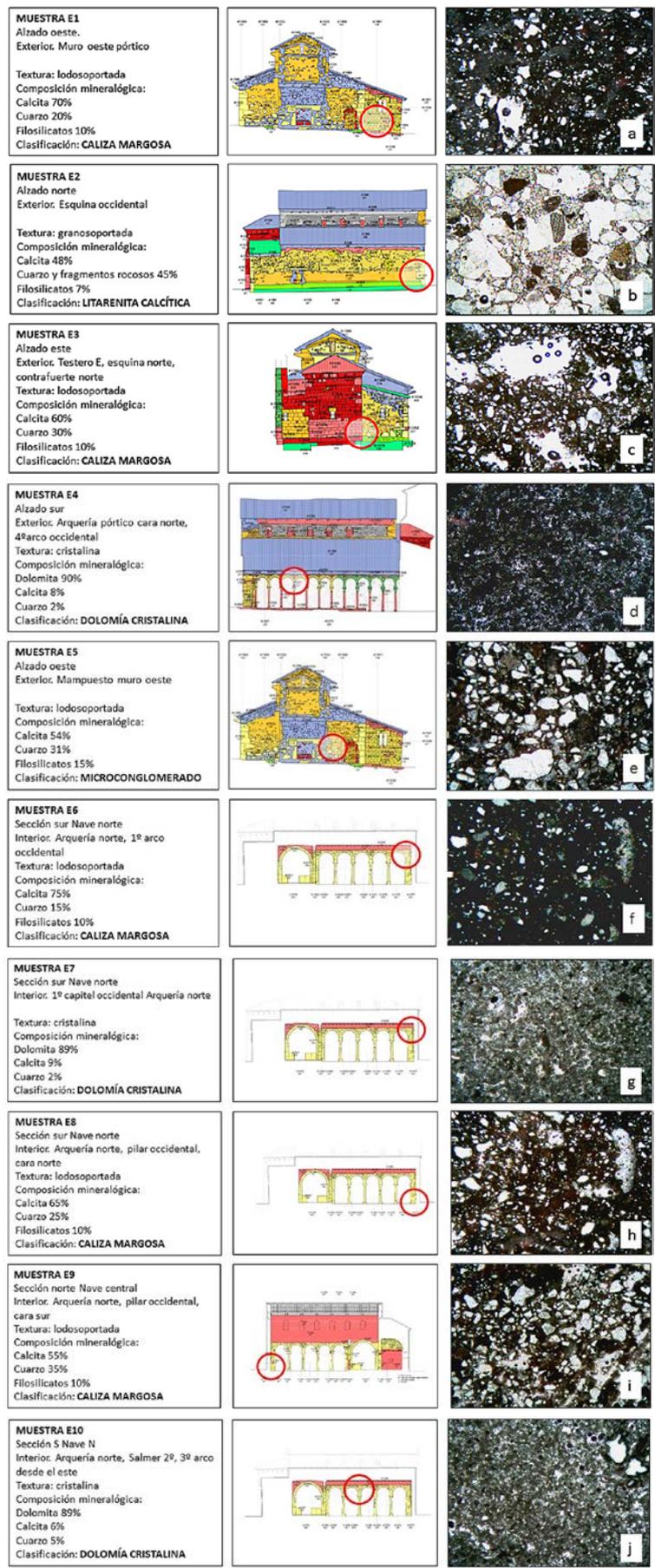
La muestra E2 (Fig. 5 b) se corresponde con un sillar⁸ situado en la esquina occidental del alzado norte. Macroscópicamente es una roca de color ocre (2.5Y 8/2), fractura irregular, grano

5 Mediante su estudio aplicando metodologías propias de la Arqueología de la Arquitectura se ha reconstruido el proceso constructivo, determinando las fases constructivas, coordinando la realización del muestreo en el edificio con los resultados arqueológicos, para poder establecer así relaciones temporales directas entre edificio y espacio de cantera.

6 Para la realización del muestreo se solicitó autorización a la Dirección de Patrimonio de Castilla y León. El muestreo consistió en la obtención de una pequeña muestra por material de carácter centimétrico (5 g), posteriormente consolidada para la realización de una lámina delgada para su estudio petrográfico en el microscopio óptico de polarización. El muestreo no ha sido agresivo para las piezas, realizándose en zonas no visibles, respetando decoraciones y aprovechando superficies de rotura previas para la toma de muestras.

7 De las 26 muestras seleccionadas, 16 pertenecen a elementos decorados (capiteles, canceles, frisos, modillones y cimacios) las cuales serán objeto de estudio y publicación en un futuro, puesto que en su mayoría son materiales reutilizados y foráneos al contexto geológico local, exigiendo otro tipo de tratamiento metodológico y análisis. En el presente trabajo de investigación se desarrollan sobre aquellos materiales pétreos que conforman los elementos estructurales de la edificación (sillería y mampostería).

8 El muestreo se realizó en un sillar que estaba previamente fracturado, por lo que se seleccionó la superficie de fractura para la toma de muestra, no ocasionando daño alguno al elemento pétreo.



medio, con cierta orientación de sus componentes y ligera laminación, presenta cavidades tapizadas de cristales idiomorfos de calcita, y elevada porosidad, puntualmente y de forma diseminada se identifican pequeños cantos subredondeados de cuarzo de tamaño milimétrico (0,5-5mm) y fracción detrítica. Microscópicamente, se trata de una roca con textura lodosoportada, con composición mineralógica: calcita 48%, cuarzo y fragmentos de roca 45%, de origen metamórfico (cuarcitas y pizarras) y sedimentario (areniscas y calizas), filosilicatos 7%, presentando cemento carbonatado de carácter intersticial en mosaico. Los granos detríticos se hallan dispersos por todo el material, sus bordes son subángulosos, pueden ser idiomórficos y presentan tamaños diversos, entre las 20 y 450 micras. La muestra se clasifica como litarenita calcítica.

La muestra E3 (Fig. 5 c) fue extraída en un sillar de la esquina norte del testero este. Se trata de una roca de color amarillento a crema (10YR 8/3), fracturación irregular, de tamaño de grano fino a medio, con orientación parcial de sus constituyentes. Es bastante compacta y coherente, absorbe agua con cierta dificultad, no se disgrega al

Fig. 5. (a-j). Muestras seleccionadas. Clasificación petrográfica, microfotografía de la muestra con LPNA, nicoles paralelos, 2.5x/0,07 y situación de la toma de muestra en los alzados



Fig. 6. Sillería pórtico, muro occidental. Empleo de calizas margosas, lugar donde ha sido seleccionada la muestra E1

rozarla con las manos, desprendiendo únicamente alguna partícula fina. De la observación al microscopio óptico de polarización se deduce que presenta textura lodosoportada, bien calibrada, con matriz micrítica, estando constituida básicamente por: calcita 60%, cuarzo 30%, y filosilicatos 10%. Los granos de cuarzo son subredondeados y la muestra presenta numerosas cavidades rellenas de cemento carbonatado. La variación cromática descrita en las observaciones macroscópicas, se hace también evidente en el estudio petrográfico. La roca se clasifica como una caliza margosa, en este caso con mayor fracción detrítica que en la *muestra E1*.

La *muestra E4* (Fig. 5 d) fue seleccionada en la arquería del pórtico sur, concretamente en el cuarto arco occidental⁹, en su cara norte. Macroscópicamente, es una roca de color beige (2.5Y 8/3), finamente cristalina, de aspecto masivo y homogénea, aunque en ocasiones

ligeramente nodulosa, y superficies de fractura lisas. Presenta un moteado difuso debido a concentraciones de óxidos de hierro, así como venillas rellenas de carbonato recristalizado. Se trata de una roca relativamente uniforme. Al microscopio óptico de polarización, destaca la textura cristalina bastante uniforme, en la que se aprecian restos fósiles dolomitizados. El tamaño medio de los cristales de dolomita se sitúa alrededor de 20 micras con ligeras variaciones. Constituida mayoritariamente por dolomita 90%, calcita 8% y cuarzo 2% que aparece esporádicamente diseminado por la masa rocosa en forma de granos de tamaño 50 micras o menores. Se clasifica como una dolomía cristalina.

La *muestra E5* (Fig. 5 e), recogida en un mampuesto del muro oeste, es desde el punto de vista macroscópico una roca de color parduzco (10YR 7/3), fractura irregular, peso medio. Se desmorona al ejercer presión

⁹ La muestra de pequeño tamaño (2 cm) fue seleccionada sobre una superficie de rotura previa, no ocasionando daño alguno en el conjunto arquitectónico.

(baja cohesión), es una roca inmadura texturalmente, con dispersión en los tamaños de grano, siendo de grano grueso con presencia de fragmentos y cantos polimícticos de cuarzo y areniscas de mayor tamaño dispersos, subredondeados a elongados, alcanzando tamaños centimétricos (0,5-3 cm), existiendo alguno que alcanza los 6 cm, no se aprecia orientación preferente de sus constituyentes, y presenta una porosidad media-alta. Microscópicamente se trata de una roca lodosoportada, los espacios vacíos existentes entre los granos y clastos están rellenos por cemento carbonatado, controlando esta característica la porosidad de la roca y la distribución del tamaño de poro, aspectos esenciales al evaluar el transporte de agua por el interior del sistema poroso de las rocas de construcción, el empaquetamiento entre granos es puntual en algunas zonas, tangente en otras y su composición mineralógica se corresponde con: calcita 52%, cuarzo 45% y filosilicatos 3%. La muestra se clasifica como un microconglomerado. Es necesario hacer la salvedad de que la muestra ha sido seleccionada en la fracción más fina del sillar, el conjunto de la roca-sillar se clasifica como un paraconglomerado

con matriz microconglomerática con intensa cementación por carbonatos (Fig. 7).

La muestra E6 (Fig. 5 f) fue tomada en la cara sur del primer arco occidental de la arquería norte del aula. Se trata de una roca de color ocre (2.5Y 8/2), fracturación irregular, tamaño de grano fino, homogénea, bastante compacta y coherente. Absorbe agua con cierta dificultad, quedando retenida en su superficie y no se disgrega al rozarla con las manos. De la observación al microscopio óptico de polarización se deduce que presenta textura lodosoportada, bien calibrada, con matriz micrítica, constituida básicamente por: calcita 75%, cuarzo 15%, y filosilicatos 10%. Los granos de cuarzo son subángulosos, presentando cavidades y moldes de fósiles rellenos de cemento carbonatado. La roca se clasifica como una caliza margosa, en este caso con fracción detrítica menor que en las muestras E1 y E3.

La muestra E7 (Fig. 5 g) procede de la parte superior de la cara sur del primer capitel occidental de la arquería norte del aula. Macroscópicamente, es una roca de color beige (2.5Y



Fig. 7. Mampuesto del muro oeste, donde se recoge la muestra E5.

8/2), finamente cristalina, de aspecto masivo, homogénea y con superficies de fractura lisas. Presenta venas y pequeñas oquedades de dimensiones centimétricas rellenas de carbonato recristalizado. Es una roca relativamente uniforme y absorbe agua con cierta dificultad. Al microscopio óptico de polarización, destaca la textura cristalina, en la que se aprecian restos fósiles dolomitizados. El tamaño medio de los cristales de dolomita se sitúa entre 5-15 micras. Constituida mayoritariamente por dolomita 89%, calcita 9% y cuarzo 2% que aparece en forma de cristales subangulosos esporádicamente diseminados por la roca. Se clasifica como una dolomía cristalina.

La *muestra E8* (Fig. 5 h) fue seleccionada en la cara norte del pilar occidental de la arquería norte del aula. Se trata de una roca de color amarillento, fracturación irregular, de tamaño de grano fino, con orientación parcial de sus constituyentes y una débil laminación, con una débil cohesión, absorbe agua y se disgrega al rozarla con las manos, desprendiendo partículas finas. Microscópicamente presenta textura lodosoportada, bien calibrada, con matriz micrítica, estando constituida básicamente por: calcita 65%, cuarzo 25%, y filossilicatos 10%. Los granos de cuarzo son subredondeados y la muestra presenta cavidades rellenas de cemento carbonatado. La variación cromática descrita en las observaciones macroscópicas, se hace también evidente en el estudio petrográfico. La roca se clasifica como una caliza margosa, con fracción detrítica destacable.

Respecto a la *muestra E9* (Fig. 5 i), tomada en la cara sur del pilar occidental de la arquería norte del aula, su litología es de color ocre-amarillento (2.5Y 8/4), con fractura irregular, de grano fino, heterogénea, con baja cohesión, disgregándose al rozarla con la mano. Presenta cavidades de tamaño centimétrico (1-3 cm) tapizadas de cristales idiomórficos de calcita, al igual que la *muestra E8* (Fig. 8). Del estudio al microscópico óptico de polarización se deduce que se trata

de una roca con textura lodosoportada, con un buen calibrado, presenta matriz micrítica y tiene la siguiente composición mineralógica: calcita 55%, cuarzo 35%, filossilicatos 10%. En el caso que se describe la heterogeneidad cromática observada *de visu* queda representada en las observaciones al microscopio óptico. La roca se clasifica como una caliza margosa, con fracción detrítica.

Finalmente, la *muestra E10* (Fig. 5 j) fue seleccionada en el segundo salmer del tercer arco de la arquería norte del aula. Macroscópicamente, es una roca de color beige (2.5Y 8/2). Al igual que las *muestras E4* y *E7*, se trata de una roca finamente cristalina, de aspecto masivo, homogénea y con superficies de fractura lisas. Presenta pequeñas oquedades de forma y distribución irregular y de dimensiones centimétricas rellenas de carbonato recristalizado, es una roca relativamente uniforme, y absorbe agua con cierta dificultad. Al microscopio óptico de polarización, destaca la textura cristalina, siendo el tamaño medio de los cristales de dolomita entre 10-20 micras. Constituida mayoritariamente por dolomita 89%, calcita 6% y cuarzo 5% que aparece en forma de cristales subangulosos esporádicamente diseminados por la roca. Se clasifica como una dolomía cristalina.

En el exterior de la basílica, se seleccionaron cinco muestras, dos de ellas (*E1*, *E3*) se corresponden con calizas margosas y proce-



Fig. 8. Pilar occidental de la arquería norte, donde se recoge la muestra E9. Se señala la oquedad tapizada de cristales de calcita, empleo de caliza margosa con fracción detrítica

den respectivamente de la sillería del muro oeste del pórtico y de la sillería del testero este del contrafuerte norte. La muestra *E2* se clasifica como una litarenita calcítica y se corresponde con la sillería de la esquina occidental del alzado norte. La muestra *E5* se clasifica como un paraconglomerado correspondiente a uno de los mampuestos del muro oeste. Finalmente, la muestra *E4* se corresponde con la seleccionada en la arquería del pórtico, concretamente en el cuarto arco occidental y se clasifica como una dolomía cristalina. En el interior del edificio, se seleccionaron cinco muestras (*E6 a E10*). Las muestras *E6*, *E8* y *E9* se clasifican como calizas margosas con fracciones detríticas, se corresponden respectivamente con las seleccionadas en la arquería norte, primer arco occidental (*E6*); arquería norte, pilar occidental cara norte (*E8*); y arquería norte, pilar occidental cara sur (*E9*). Las muestras *E7* y *E10* se clasifican como una dolomía cristalina y ambas pertenecen a la sillería empleada en la arquería, en el primer capitel occidental de la arquería norte (*E7*) y en el segundo salmer del tercer arco desde el este de la arquería norte (*E10*).

Las litologías con una mayor representación volumétrica empleadas para la construcción de la iglesia originaria son: *calizas margosas con fracción detrítica*, predominando como piedra de sillería tanto en la construcción del templo original como en la posterior capilla románica; *litarenitas calcicas* y *conglomerados con cemento carbonatado*, siendo frecuente el uso de las primeras en los muros de sillería en esquinales y combinadas con otras litologías en los muros de mampostería. La *dolomía cristalina* es la litología empleada en la arquería del pórtico y el aula de la iglesia originaria, por su homogeneidad, tamaño de grano, y la inexistencia de anisotropías que condicionarían su labra, a excepción de oquedades centimétricas tapiadas por cristales de calcita. Existen otras litologías identificadas en los paramentos de mampostería del muro oeste y norte como

cantos cuarcíticos, orto y paraconglomerados y en menor medida una caliza blanquecina, que no han sido descritas por su escasez volumétrica y por corresponderse con variaciones dentro de la heterogeneidad de los afloramientos geológicos del entorno que posteriormente serán descritos y que están representados en la fábrica del edificio.

Materiales reutilizados

El reaprovechamiento de las basas, fustes y capiteles tanto en el pórtico (aquí con dudas) como en el aula del templo es evidente. El empleo de diversos materiales como mármoles de variadas texturas y colores, brechas, calizas marmóreas, etc., hace pensar en diversas procedencias y en materiales pétreos totalmente foráneos al contexto geográfico y geológico en el que se adscribe el edificio. La localización de las áreas de procedencia de estos materiales es una tarea compleja, que exige de una metodología de trabajo específica y técnicas de caracterización y estudio de los materiales más detalladas para poder definir áreas posibles de procedencia. El empleo del mármol y rocas con posibilidades de ser pulidas para la realización de esculturas, elementos arquitectónicos y soportes epigráficos ha quedado constatado, siendo productos que alcanzan una gran dispersión desde sus centros de producción a las obras donde se emplean. Con la caída del imperio romano, el cese en el consumo de mármoles y por tanto el fin de la explotación de este material en cantera supone el expolio y reutilización de materiales de diversas procedencias. Como se ha indicado, se han tomado hasta un total de 16 muestras en estos materiales, las cuales serán estudiadas en futuros trabajos con el fin de definir las posibles áreas de procedencia de los mismos, su dispersión geográfica y si es posible, la secuencia temporal en el proceso de transporte. La aplicación de técnicas no destructivas que completen el muestreo realizado¹⁰ será imprescindible para estudiar estos objetos que presentan un alto valor artístico.

10 Las técnicas analíticas aplicadas al estudio de estos materiales son cada vez más numerosas y la cantidad de información obtenida puede llegar a desbordar la naturaleza misma del problema planteado, hasta el punto de enmascarar el propio resultado (WAA, 2012). Es preciso, por tanto, clasificar y seleccionar las técnicas adecuadas.

La puesta en marcha de una correcta metodología implicará el escalonamiento razonado de la aplicación de las diversas técnicas escogidas, optimización de la muestra, y aplicación de las técnicas no destructivas, que completarán los resultados obtenidos del estudio petrográfico de las muestras seleccionadas.

4.2. Basílica de San Cebrián de Mazote (Valladolid)

La iglesia de Mazote (Fig. 9) se dispone en planta basilical de tres naves, separadas por arquerías de herradura, presentando una nave central de mayor altura iluminada por ventanas en sus muros laterales. La cabecera está integrada por tres ábsides, de planta cuadrada los laterales y en herradura el central. A los pies de la nave hay otro ábside en forma de herradura. En cuanto a su sistema de cubiertas, presenta bóveda gallonada en los espacios que tienen planta de herradura y en el crucero (aquí construida en el siglo XX). Las naves presentan techumbre de madera, con cubierta a dos vertientes en la nave central y a una vertiente en las laterales. Al igual que en San Miguel de Escalada, destaca el programa escultórico de su interior, con parte de los capiteles y con todos los fustes y basas claramente reaprovechados, aunque en este caso con fustes de mayores dimensiones.

El edificio está construido en mampostería y sillería, empleándose la sillería en las esquinas y levantándose los muros

con mampostería de tamaño homogéneo. Al igual que en San Miguel de Escalada, se han seleccionado las muestras una vez realizado el análisis arqueológico de los paramentos¹¹, con el fin de determinar cuál es el tipo de roca empleada en la construcción original, así como definir la diversidad de los materiales pétreos utilizados en su construcción. El muestreo consistió en la obtención de 17 muestras para su estudio petrográfico, incluyendo elementos estructurales (sillares y mampuestos) y decorativos (capiteles y friso)¹² (Fig. 10).



Fig. 9. Iglesia de San Cebrián de Mazote (Valladolid). Fotogrametría y modelo 3D, UrbeproOrbe

11 Al igual que en los estudios realizados en Escalada, el muestreo en Mazote se hizo atendiendo a las indicaciones de los arqueólogos. Una vez desarrollado el análisis arqueológico y siendo conocedores de las fases constructivas, se seleccionaron los puntos de muestreo en las zonas originales de la construcción, subrayando de este modo la importancia del trabajo multidisciplinar, que se hace necesario en la fase de muestreo para una correcta interpretación final de los resultados.

12 Del total de 17 muestras seleccionadas, 9 pertenecen a elementos decorados (capiteles y piezas decoradas). Estas muestras serán estudiadas independientemente, puesto que son reutilizadas y foráneas al contexto geológico regional, exigiendo otro tipo de tratamiento metodológico y análisis.

Referencia	Alzado	Localización muestra
M1	alzado este	Sillar esquina NE, ábside N
M2	alzado norte y este	Sillar ábside N, brazo N
M3	alzado este	Testero este, ábside N
M4	Interior	Ábside S, salmer meridional
M5	Interior	Ábside N, salmer meridional
M6	Interior	Pilar terminal NO
M7	Interior	Imposta E, arquería S
M8	Interior	Ábside friso

Fig. 10. Muestreo para el estudio petrográfico de los materiales de construcción empleados en la iglesia de San Cebrián de Mazote

Respecto a la muestra M1 (Fig. 11 a), seleccionada en un sillar de la esquina noreste del alzado este del ábside norte, macroscópicamente es una roca de color beige oscuro (10YR 8/2), fracturación irregular, con tamaño de grano fino, sin orientación de sus constituyentes, masiva, con una baja cohesión y absorbe agua con cierta facilidad, desprende partículas finas al rozarla con la mano. Microscópicamente presenta textura lodosoportada, bien calibrada, con matriz micrítica, estando constituida por: calcita 68%, cuarzo 23%, y filosilicatos 9%. Los granos de cuarzo presentan cierto subredondeamiento y se identifican cavidades rellenas de cemento carbonatado. La roca se clasifica como una caliza margosa, con fracción detrítica (Tabla 2).

La muestra M2 (Fig. 11 b) corresponde a uno de los sillares del lado norte del ábside

norte. Desde el punto de vista macroscópico se trata de una roca de color beige (2.5Y 8/2), fracturación concoidea, dura, con tamaño de grano muy fino, sin orientación preferente de sus constituyentes y presencia de pequeñas oquedades rellenas de material arcilloso, muchas de ellas correspondientes a moldes fósiles. Es homogénea, muy compacta y coherente, no disgregándose ni soltando fracción fina al rozarla con los dedos, absorbe agua con dificultad reteniendo el agua en superficie durante un tiempo, presenta moldes de raíces rellenos de arcilla. Microscópicamente presenta una textura lodosoportada con matriz micrítica y un porcentaje en componentes aloquímicos variable entorno al 10-15%, correspondientes a fragmentos de gasterópodos, caráceas y ostrácodos, además de aparecer fragmentados, se identifican moldes en ocasiones rellenos de arcilla. La muestra presenta granos de cuarzo diseminados de tamaño de grano muy fino. En cuanto a su composición presenta calcita 99% y cuarzo 1%, atendiendo a la clasificación de rocas carbonatadas, la muestra se clasifica como una caliza biomicrita o una caliza wackstone bioclástica¹³.

Respecto a la muestra M3 (Fig. 11 c), seleccionada en el testero este del ábside norte, es similar a la muestra M2 descrita anteriormente. Al igual que ella, macroscópicamente se caracteriza por presentar un color beige, en este caso más claro (2.5Y 8/1), fractura concoi-

Tabla 2. Materiales pétreos San Cebrián de Mazote

	color	fracturación	dureza	tamaño grano	textura	clasificación
M1	10YR 8/2	irregular	baja	fino	lodosoportada	caliza margosa
M2	2.5Y 8/2	irregular	alta	muy fino	lodosoportada	caliza wackstone bioclástica
M3	2.5Y 8/1	concoidea	alta-muy alta	muy fino	lodosoportada	caliza wackstone bioclástica
M4	2.5Y 8/3	regular	baja	medio	granostenida	caliza packstone bioclástica
M5	2.5Y 8/3	regular	baja	medio	granostenida	caliza packstone bioclástica
M6	2.5Y 8/3	regular	baja	fino	granostenida	caliza packstone bioclástica
M7	2.5Y 8/2	regular	blanda	medio	granostenida	caliza packstone bioclástica
M8	2.5Y 8/3	regular	blanda	medio	granostenida	caliza packstone bioclástica

13 Para la clasificación de rocas carbonatadas se recurre a la clasificación de calizas de Dunham (1962) en la que las muestras seleccionadas se clasifican bajo la denominación de biomicrita, atendiendo al porcentaje de aloquímicos en la muestra, y a la clasificación de Folk (1959, modificada 1962) en la que son clasificadas como una wackstone bioclástica, por tener más del 10% de aloquímicos entre sus componentes.

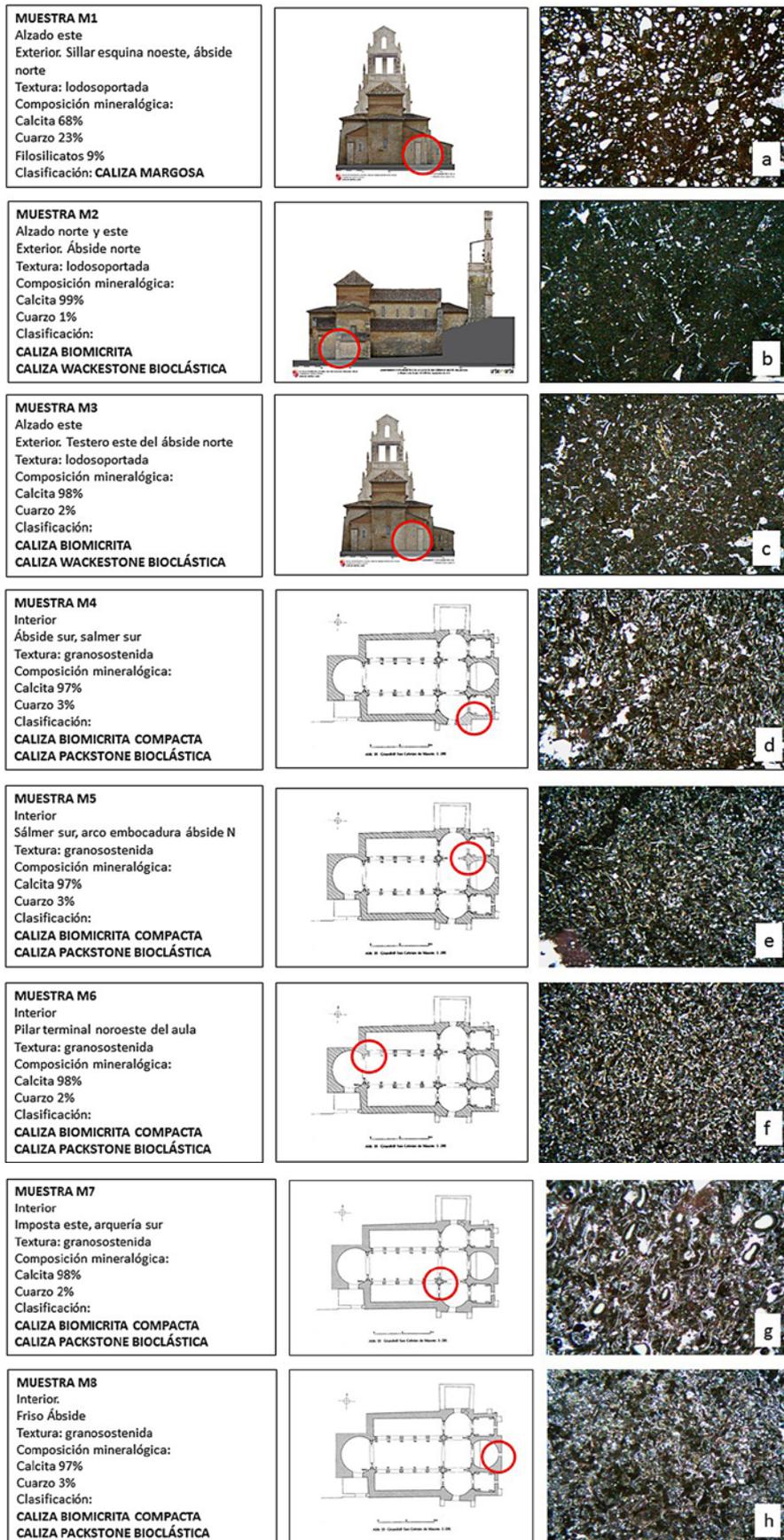


Fig. 11. (a-h). Muestras seleccionadas. Clasificación petrográfica, microfotografía de las muestras con LPNA, nicoles paralelos, 2.5x/0,07 e indicación del lugar de la toma de muestra en los alzados y planta del edificio

dea y cortante, dura a muy dura, con tamaño de grano muy fino, homogénea, compacta y coherente y con dificultad para la absorción de agua al ser humedecida. Microscópicamente, se trata de una roca carbonatada con textura por soporte de fango (lodosoportada), matriz micrítica, presentando un porcentaje de aloquímicos en la muestra estudiada del 15-20% de fragmentos fósiles de caráceas, ostrácodos, gasterópodos, que en ocasiones se acumulan en determinados sectores de la muestra. Presenta moldes rellenos de cemento carbonatado (calcita recristalizada que en sus bordes tiene disoluciones de óxidos de hierro) y también rellenos en ocasiones de arcillas, así mismo presenta granos detríticos de cuarzo de tamaño muy fino redondeados a subredondeados. Su composición es calcita 98% y cuarzo 2%. Se clasifica como una caliza biomicrita o una caliza wackstone bioclástica.

La *muestra M4* (Fig. 11 d) fue tomada en el salmer meridional del arco de embocadura del ábside sur. Desde el punto de vista macroscópico, se trata de una roca de color ocre (2.5Y 8/3), homogénea, ligeramente blanda, con fractura regular, coherente y absorbe agua con relativa facilidad. Microscópicamente, presenta textura granosostenida con matriz micrítica, y constituida por: calcita 97%, cuarzo 3%. La muestra presenta un porcentaje de aloquímicos mayor que las *muestras M2* y *M3*, entorno al 50%, predominantemente de ostrácodos y fragmentos de gasterópodos y caráceas, también se identifican granos de cuarzo dispersos, con cierto redondeamiento y de tamaño de grano fino. La roca se clasifica como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica¹⁴.

La *muestra M5* (Fig. 11 e) fue tomada en el salmer sur del arco de embocadura del ábside norte. Macroscópicamente es una roca de color ocre (2.5Y 8/3), homogénea, ligeramente blanda, con fractura regular, coherente y absorbe agua con facilidad. Desde el punto de

vista microscópico, presenta textura granosostenida con matriz micrítica, y está constituida por: calcita 97%, cuarzo 3%. La roca presenta un porcentaje de aloquímicos entorno al 50%, ostrácodos, gasterópodos y caráceas, también se identifican granos de cuarzo, subredondeados y de tamaño fino, distribuidos de forma dispersa por la muestra. La roca se clasifica como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica.

La *muestra M6* (Fig. 11 f) fue tomada en el pilar terminal noroeste del aula. Desde el punto de vista macroscópico se trata de una roca de color ocre (2.5Y 8/3), con una clara homogeneidad, es blanda, presenta fractura regular, es coherente y absorbe agua con relativa facilidad al humedecerse, no reteniéndola en su superficie. Microscópicamente, presenta textura granosostenida con matriz micrítica, estando constituida por: calcita 98%, cuarzo 2%. La roca tiene un porcentaje de aloquímicos, en este caso fósiles y restos orgánicos en general, entorno al 50%, predominantemente de ostrácodos, fragmentos de gasterópodos y caráceas, bioclastos que conforman el armazón estructural de esta roca. Se identifican pero de forma muy dispersa granos subredondeados de cuarzo de grano muy fino a fino. La roca se clasifica como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica.

La *muestra M7* (Fig. 11 g) procede de la imposta este de la arquería sur. Macroscópicamente, se define como una roca de color ocre, algo más oscura que las muestras descritas anteriormente (2.5Y 8/2), homogénea, ligeramente blanda, con fractura regular, coherente y absorbe agua con facilidad al ser humedecida. Desde el punto de vista microscópico, presenta textura granosostenida con matriz micrítica, estando constituida por: calcita 98%, cuarzo 2%. La muestra presenta un porcentaje de aloquímicos del 55%, con presencia de fragmentos recristalizados de ostrácodos bien conservados y fragmentos en menor medida

14 Para la clasificación de rocas carbonatadas se recurre a la clasificación de calizas de Dunham (1962), en la que las muestras seleccionadas se clasifican bajo la denominación de biomicrita compacta, atendiendo al porcentaje de aloquímicos en la muestra (>50%), y a la clasificación de Folk (1959, modificada 1962) en la que son clasificadas como una packstone bioclástica, por tratarse de una roca granosostenida por los aloquímicos.

de gasterópodos y caráceas, presentando también entre los aloquímicos oolitos formados alrededor de corpúsculos de carácter detrítico. Al igual que en las muestras anteriores, se identifican granos de cuarzo de tamaño de grano fino dispersos por toda la muestra. La roca se clasifica como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica.

La muestra *M8* (Fig. 11 h) fue tomada en el friso del ábside. Desde el punto de vista macroscópico, se trata de una roca de color ocre (2.5Y 8/3), homogénea, ligeramente blanda, con fractura regular, coherente y absorbe agua con relativa facilidad. Microscópicamente, presenta textura granosostenida con matriz micrítica, y constituida por: calcita 97%, cuarzo 3%. La muestra presenta un porcentaje de aloquímicos del 50%, predominantemente de ostrácodos y también fragmentos de gasterópodos, así mismo se identifican granos de cuarzo dispersos, con cierto redondeamiento y de tamaño de grano fino. La roca se clasifica como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica.

La muestra *M8* (Fig. 11 h) fue tomada en el friso del ábside. Desde el punto de vista macroscópico, se trata de una roca de color ocre (2.5Y 8/3), homogénea, ligeramente blanda, con fractura regular, coherente y absorbe agua con relativa facilidad. Microscópicamente, presenta textura granosostenida con matriz micrítica, y constituida por: calcita 97%, cuarzo 3%. La muestra presenta un porcentaje de aloquímicos del 50%, predominantemente de ostrácodos y también fragmentos de gasterópodos, así mismo se identifican granos de cuarzo dispersos, con cierto redondeamiento y de tamaño de grano fino. La roca se clasifica como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica.

El muestreo en la edificación se planificó con el objetivo de identificar y caracterizar petrográficamente los materiales empleados en sus paramentos y arquería originales. De este modo, se han seleccionado en el exterior tres muestras (*M1*, *M2* y *M3*) correspondientes a la sillería del ábside norte, esquina noreste, y del testero este, ábside norte, respectiva-

mente. La primera de ellas se clasifica como una caliza margosa con fracción detrítica, y las muestras *M2* y *M3* como caliza biomicrita o caliza wackstone bioclástica, presentando en todos los casos matriz micrítica con mayor contenido de detríticos en la muestra *M1* y de aloquímicos (fragmentos fósiles) para las muestras *M2* y *M3*. En el interior del templo se han tomado cinco muestras representativas de los materiales empleados en la arquería (*M4*, *M5*, *M6* y *M7*), así como en el friso del ábside (*M8*). En todos los casos se trata de una roca caliza de grano fino, homogénea, con unas buenas propiedades técnicas para la labra, por su homogeneidad, dureza, tamaño de grano y ausencia de anisotropías, estos materiales pétreos son clasificados como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica, presentando una mayor contenido en aloquímicos que las muestras extraídas en el los lienzos exteriores del edificio.

Materiales reutilizados

Al igual que en San Miguel de Escalada, destaca el programa escultórico del interior de Mazote, compuesto por 38 capiteles así como fustes de columnas realizados en diversas variedades de mármoles, cuyas tonalidades y texturas diversas reflejan diferentes procedencias y se corresponden con materiales descontextualizados del entorno geológico regional. Se han seleccionado 11 muestras para ser estudiadas petrográficamente en un futuro mediante técnicas no destructivas de caracterización, con el objetivo de determinar las áreas de procedencia de estos materiales y poder aproximarnos a los métodos y vías de transporte empleadas.

5. CANTERAS Y ÁREAS DE EXPLOTACIÓN

Analizados arqueológicamente los alzados de las iglesias de San Miguel de Escalada y de San Cebrián de Mazote, y una vez realizada la identificación visual de los materiales pétreos y su estudio petrográfico a partir de las muestras seleccionadas en ambos edificios, se recopiló toda la documentación geológica

regional ¹⁵, completada con la cartografía geológica digital continua, los mapas de rocas industriales y las bases geocientíficas con que cuenta el Instituto Geológico y Minero de España, ya indicadas en el apartado de metodología. Inicialmente se prospeccionan los afloramientos geológicos más próximos, atendiendo a una economía de esfuerzos, ya que existiendo material en las inmediaciones de calidades aptas para la construcción, es posible pensar que se haya explotado como recurso, economizando esfuerzos y tiempo. Con esta información, en la fase de trabajo de campo se seleccionaron y reconocieron los afloramientos geológicos susceptibles de haber sido explotados por sus similitudes texturales con las rocas empleadas en los edificios y por sus características topográficas y geográficas a partir de su estudio mediante fotografía aérea. Posteriormente, mediante la cartografía específica en estas zonas, se delimitaron las áreas de explotación a partir de la georreferenciación de marcas e improntas extractivas de carácter histórico. La selección de muestras para su estudio petrográfico en estas zonas, y su posterior correlación textural

y composicional con las muestras seleccionadas en los paramentos del edificio permiten definir la procedencia de los diversos materiales pétreos empleados.

5.1. Canteras y áreas de explotación en relación con los materiales pétreos empleados en la construcción de la iglesia de San Miguel de Escalada (León)

El contexto geológico en el que se ubica la iglesia de San Miguel de Escalada se caracteriza por la presencia de sedimentos neógenos, correspondientes a la citada cuenca del Duero. El edificio se asienta sobre los materiales miocenos constituidos por arenas y limos con concreciones carbonatadas, denominada como “Unidad Polimíctica” (Aragoniense-Vallesiense inferior), que se corresponde con los materiales del primer ciclo de relleno sedimentario de la Cuenca, diferenciándose dos ciclos más. Un segundo ciclo discordante sobre la Unidad citada, denominado “Unidad Silíceo” (Mioceno superior) y un tercer ciclo similar al anterior, correspondiente al último episodio aluvial fini-neógeno conocido como Raña (Plioceno superior; Fig. 12).

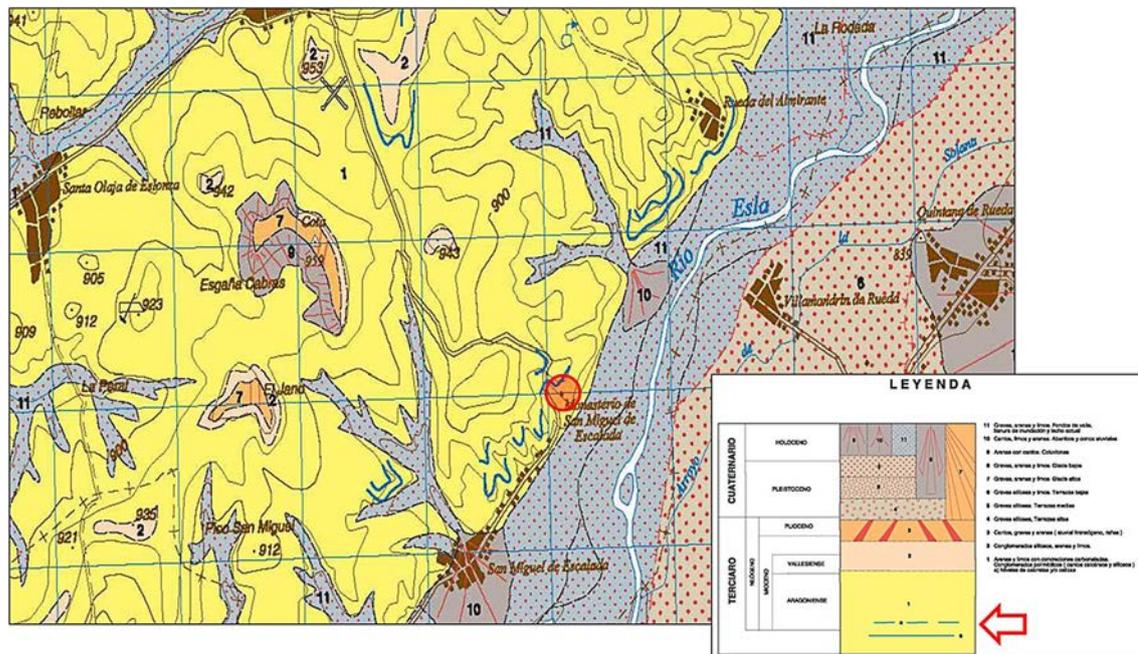


Fig. 12. Contexto geológico, representados en trazo azul los niveles de calcretas y/o calizas de la Unidad Polimíctica Mioceno: Aragoniense-Vallesiense inferior

15 Contextualizada en las hojas geológicas del Mapa Geológico de España (IGME): 162 (Gradefes) para la iglesia de San Miguel de Escalada (León), y las hojas 342 (Villabragima), así como la 372 (Tordesillas), 370 (Toro) y 371 (San Pedro de Latarce) para la iglesia de San Cebrián de Mazote (Valladolid).

Los materiales correspondientes a la “Unidad Polimíctica” ocupan gran parte del sustrato terciario y tienen una amplia representación cartográfica en la zona, las capas presentan disposición subhorizontal, con inclinaciones deposicionales de 2 a 5° hacia el sur. En el entorno de la iglesia, las litologías predominantes corresponden a limo y arenas de colores ocre y rojizos, entre las cuales se intercalan capas más o menos continuas de conglomerados y niveles de calcretas de tonos claros, organizados en secuencias positivas. Los niveles de conglomerados en general cementados y con relativa continuidad en sus afloramientos, presentan potencias que oscilan entre los 2 y 15 m con geometrías canalizadas y tonos claros, grises o marrón amarillentos (5 YR 6/1 -10 R 6/2). La composición de los cantos es de carácter polimíctico, provenientes de cuarcitas y areniscas paleozóicas y calizas carboníferas y cretácicas, todos ellos presentan altos grados de esfericidad y redondeamiento. La matriz de carácter intersticial es microconglomerática y arenosa con intensa cementación por carbonatos, estos

niveles presentan abundantes imbricaciones de cantos, cicatrices internas, estratificaciones horizontales difusas, estratificaciones cruzadas en surco y planar (Fig. 13) y marcas de corrientes (scour marks).

Estas facies conglomeráticas pasan gradualmente a arenas y limos, de tamaño medio a fino y colores amarillentos. Las arenas son masivas, presentan estratificaciones cruzadas en surco y cementaciones carbonatadas. Otras facies identificadas son las facies arenosas que se corresponden con litarenitas calcíticas, con abundancia de fragmentos de roca de carácter metamórfico y sedimentario y en los espacios vacíos desarrollo de cemento carbonatado.

Los limos son arenosos, masivos y de colores ocre a rojizos, presentan nódulos carbonatados y rasgos paleoedáficos. Hacia el techo de las secuencias se produce un enriquecimiento progresivo en carbonatos hasta desarrollarse horizontes continuos y compactos de calcreta.



Fig. 13. San Miguel de Escalada, alzado norte. Mampuesto de conglomerado cementado, obsérvese la laminación y estratificación cruzada propia de estos niveles

Los niveles de calcreta o caliches, de claro origen pedogenético, consecuencia de una epigénesis carbonatada intensa, afloran en forma de resaltes morfológicos y cornisas en las laderas, dando un característico aspecto ruiniforme, presentando colores amarillentos claros (10 YR 8/2- 10 YR 7/6) y su espesor no suele superar los 2 m. Estas facies corresponden a horizontes de acumulación de carbonato, generalmente de carácter masivo, desarrollados en climas relativamente cálidos, en una cuenca con un elevado grado de saturación de carbonato cálcico de las aguas subsuperficiales y superficiales (Fig. 14).

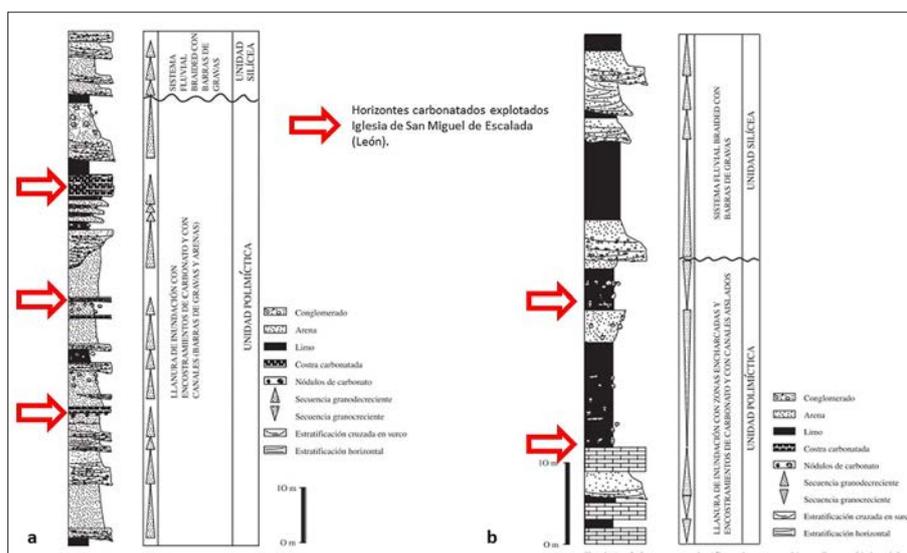


Fig. 14. a. Columna estratigráfica e interpretación sedimentológica del corte levantado en el escarpe del Torío, al NO de Villavente. b. Columna estratigráfica e interpretación sedimentológica del corte levantado en las proximidades de Valduviego. Fuente: Mapa Geológico de España. Hoja 162 (Gradefes). Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Estos niveles carbonatados (calcretas) afloran con relativa continuidad en las proximidades de la iglesia de San Miguel de Escalada, en un entorno de 8 km de radio. En todos los casos se trata de afloramientos de carácter ruiniforme, con cornisas y resaltes de espesor métrico entre las facies finas (limoso - arenosas) que se disponen a techo y muro. La prospección en el campo en las riberas de los ríos Esla y Porma ha permitido localizar las siguientes áreas con indicios de haber sido explotadas (Fig. 15).

Afloramiento San Miguel de Escalada.

(Fig. 16 a). En las proximidades de la iglesia, junto a la carretera LE-CV-162 destaca un afloramiento de 1,50 m de espesor, subhorizontal, con avanzados estados de alteración superficial, con desarrollo de desplazamientos y descohesión. La muestra EC1, tomada en el afloramiento rocoso presenta color amarillento a rojizo (10YR 8/2), se caracteriza desde el punto de vista macroscópico por ser una roca de grano fino que se rompe con facilidad, produciendo fracturación irregular, aspecto noduloso, no muy compacta y poco dura, absorbe agua con cierta dificultad, se disgrega al frotarla con la mano, desprendiendo partículas finas. Microscópicamente presenta textura lodosoportada, pero tiene un contenido importante en constituyentes detríticos, siendo los granos de cuarzo subángulosos. Presenta micrita en los espacios entre granos como matriz y está

disgrega al frotarla con la mano, desprendiendo partículas finas. Microscópicamente presenta textura lodosoportada, pero tiene un contenido importante en constituyentes detríticos, siendo los granos de cuarzo subángulosos. Presenta micrita en los espacios entre granos como matriz y está

Niveles carbonatados miocenos (Unidad Polimictica)		
Área de explotación-cantera	Localización UTM (Datum ETRS89, Huso 30)	
	Coord. X:	Coord. Y:
San Miguel de Escalada	310.954,90	4.715.752,14
Pico de Burones	311.334,88	4.716.137,78
Rueda del Almirante	312.326,70	4.717.266,70
Cifuentes de Rueda	314.524,62	4.719.803,17
Casasola de Rueda	313.412,69	4.718.705,55
Cañizal de Rueda	306.916,68	4.722.204,05
Valduviego	309.503,52	4.721.804,70
Villarmón de Eslonza	304.956,88	4.716.152,58
Toldanos	295.257,42	4.714.245,63

Fig. 15. Áreas de explotación de niveles carbonatados miocenos (Aragoniense-Vallesiense inferior), en relación a la construcción de San Miguel de Escalada.

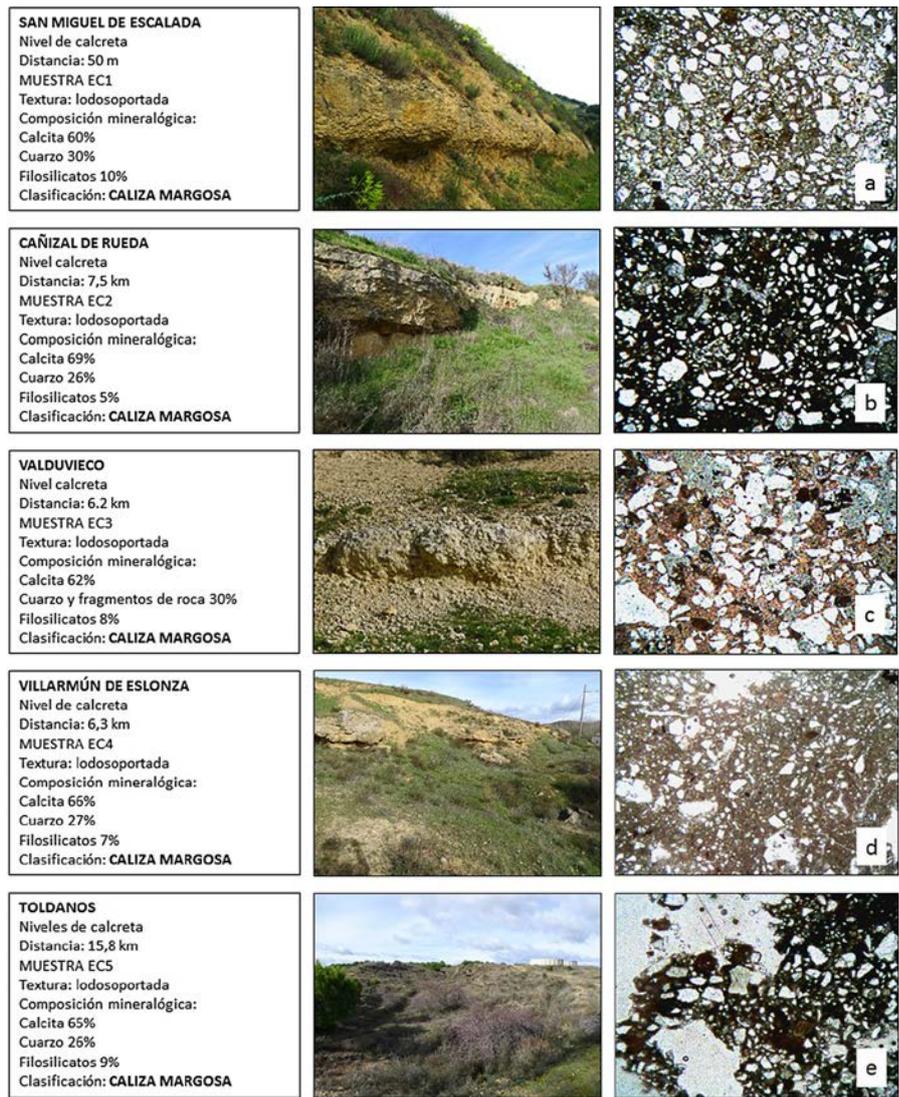


Fig. 16 (a-e). Principales áreas de explotación de niveles carbonatados miocenos. Datos de la cantera y el material pétreo, imagen del área de explotación, microfotografía de la muestra en cantera con LPNA, (nicoses paralelos), 2,5x/0,07

constituida por: calcita 60%, cuarzo 30% y filossilicatos 10%. La roca se clasifica como una caliza margosa con fracción detrítica, correspondiéndose con los niveles carbonatados de la Unidad Polimíctica miocena. Estos encostramientos carbonatados presentan contenidos en terrígenos de tamaño arena limo variables, oscilando entre 30 -15% en cuarzo y en menor medida en fragmentos de roca. En esta área, indicar que la potencia de capa permitiría la extracción de piezas de sillar para la construcción de la iglesia y por su proximidad a la edificación (50 m) sería económicamente rentable su explotación y puesta en obra. En la actualidad, debido al trazado de la carretera, observamos el afloramiento rocoso en el talud de la vía,

pero es probable que por su disposición (subhorizontal) y espesor métrico hubiera un volumen de roca que hoy no alcanzamos a ver relativamente superficial que pudo ser explotado con los medios de la época.

Afloramiento Pico de Burones.

Se sitúa a 500 m al noreste de la iglesia de San Miguel de Escalada. Se corresponde con un pequeño vaciado a media ladera en el paraje conocido como Pico de Burones, de acceso muy dificultoso y tapizado por una abundante vegetación arbustiva que impide la observación directa del frente, el cual presenta unas dimensiones aproximadas de 15 m por 2 a 3 m de altura. Se corresponde con facies de arenas conglomeráticas y menor contenido en

carbonatos. Pero como se ha señalado, estas facies también están presentes en el edificio, aunque con menor representación volumétrica (véanse *muestras E2 y E5*).

Área de Rueda del Almirante.

A 2 km al noreste del edificio, en la ribera del Esla, y en las proximidades de la localidad, destacan los afloramientos de la Unidad Polimíctica miocena, con numerosos derrumbes y bloques caídos ladera abajo. Es una de las zonas donde los afloramientos alcanzan una mayor potencia, correspondiéndose con facies de arenas conglomeráticas, litarenitas ricas en componentes de fragmentos de roca: cuarcitas, pizarras, areniscas y calizas paleozóicas, y en menor proporción fragmentos de lutitas y caliches derivados del terciario subyacente (véanse *muestras E2 y E5*).

Área de Cifuentes de Rueda.

A 5 km al noreste de San Miguel de Escalada y próxima a la localidad de su mismo nombre, a los pies de la ladera sur del paraje denominado Valdeneguilla, se identifica una zona de explotación de material, en la que destaca el nivel conglomerático a techo y un vaciado en los niveles inferiores. Se explotan las facies arenosas, litarenitas calcíticas, que son empleadas en el edificio de forma más esporádica (*muestra E2*), que los materiales carbonatados, caliches y calcretas de la Unidad Polimíctica.

Área de Casasola de Rueda.

Algo más próxima al conjunto edificado que el anterior área, a 4 km, se caracteriza por presentar un pequeño frente de explotación, con un afloramiento de 1 m de potencia, en el que se identifican las facies arenosas finas, litarenitas calcíticas y, en menor proporción, niveles centimétricos de calcretas con escasa continuidad.

Área de Cañizal de Rueda (Fig. 16 b).

A 7,50 km de distancia al edificio, en dirección noroeste, y próximo a las edificaciones del pueblo de Cañizal de Rueda, se identifica la unidad Polimíctica miocena, representada en

este sector por las facies de arenas conglomeráticas y niveles de calcretas y caliches, que en conjunto alcanzan espesores de 2 m. En ella se tomó la *muestra EC2*, que *de visu* presenta un color amarillento (10YR 8/3), fractura irregular, tamaño de grano fino, siendo bastante compacta y coherente. Por la observación al microscopio óptico de polarización, se caracteriza como una roca con textura lodosoportada, bien calibrada, con matriz micrítica, estando constituida por: calcita 69%, cuarzo 26%, en forma de granos de tamaño arena-limo subredondeados, y filosilicatos 5%. La roca se clasifica como una caliza margosa con fracción detrítica, y se corresponde con los niveles de calcretas y caliches miocenos de la Unidad Polimíctica, éstos se corresponden tanto textural como composicionalmente con los materiales pétreos que se emplean como elemento estructural (mampuestos y sillares) en los muros de Escalada.

Área de Valduviego (Fig. 16 c).

A 6,25 km al norte del edificio, afloran niveles carbonatados con menor espesor (centimétrico). Se identifica una zona deprimida tapizada por vegetación que imposibilita la inspección del posible frente. En esta área se seleccionó la *muestra EC3*, la cual presenta macroscópicamente un color amarillento (10YR 8/2), fracturación irregular, tamaño de grano fino, siendo deleznable nodular y blanda, presentando afloramientos con avanzados estados de alteración, absorbe agua con relativa facilidad, probablemente relacionado con su alteración en superficie. Microscópicamente, se trata de una roca cementada con granos de cuarzo angulosos a subangulosos y fragmentos de roca, su composición es: calcita 62%, cuarzo y fragmentos de roca 30% y filosilicatos 8%, presenta cavidades rellenas de cemento carbonatado y una carbonatación casi total de las facies terrígenas. Se clasifica como una caliza margosa con abundante fracción detrítica y corresponde, al igual que la muestra anteriormente descrita, a los niveles carbonatados (calcretas y caliches) de la Unidad Polimíctica miocena.

Área de Villarmún de Eslonza (Fig 16 d).

Se sitúa al norte, en la ribera de río Moro, a 6,30 km de distancia de la iglesia de Escalada. Se distingue una pequeña zona de explotación en los niveles de calcretas que se caracterizan por presentar poca continuidad lateral, aspecto ruiforme, con numerosos bloques sueltos y un frente de explotación desdibujado por la presencia a techo de las facies de arenas y limos. Se recogió la *muestra EC4*, que desde el punto de vista macroscópico es una roca de color amarillento (10YR 8/3), fractura irregular, tamaño de grano fino, bastante compacta y dura, y retiene agua en superficie, absorbiéndola con dificultad. Desde el punto de vista microscópico, presenta matriz micrítica, y abundantes espacios vacíos rellenos por cemento en mosaico de calcita. Composicionalmente presenta: calcita 66%, cuarzo 27%, y filosilicatos 7%, los granos de cuarzo son subredondeados y de tamaño de arena-limo. La roca se clasifica como una caliza margosa, perteneciente a las facies carbonatadas miocenas.

Área de Toldanos (Fig 16 e).

Es la zona más distante de las caracterizadas, a una distancia de 15, 80 km al Este, en el cerro denominado *Las Lastras*, a 865 m de cota. En ella se reconocen antiguos socavones para la extracción de areniscas, calcretas y gravas cementadas terciarias. En la zona se ha seleccionado la *muestra EC5*, que macroscópicamente se caracteriza por ser de color ocre (2.5Y 8/3), tener fracturación irregular, tamaño de grano fino, es dura, compacta, absorbiendo agua con dificultad. Microscópicamente, se trata de una roca con matriz micrítica, abundantes espacios vacíos tapizados de cristales de calcita, y presencia de granos de cuarzo distribuidos por toda la muestra de morfologías subangulosas, y con bordes de corrosión. Composicionalmente la muestra está constituida por: calcita 65%, cuarzo 26% y filosilicatos 9%, clasificándose como una caliza margosa con fracción detríti-

ca. Dada la distancia, 16 km aproximadamente, y la proximidad al edificio de afloramientos litológicamente similares es probable que la extracción de piedra en este área, que ha sido citada en la bibliografía geológica consultada¹⁶, pueda estar relacionada con otras edificaciones más próximas, pero no con la Escalada altomedieval.

Existen también otros afloramientos completos de la serie a lo largo de los límites escarpados en el interfluvio Porma – Esla, en los cuales los niveles carbonatados de calcretas y caliches afloran con cierta continuidad, como son Villabúrbula, Valle de Mansilla, Villiguer, Villasabariego, etc. Todos ellos, como las áreas anteriormente descritas, son susceptibles de haber sido explotados, aunque debido a las características morfológicas de los afloramientos, ruiformes y en su mayoría en zonas de talud y cárcavas, se hace compleja la identificación de marcas extractivas de carácter histórico. La potencia de los niveles carbonatados (1-2 m) y sus contactos a techo y muro con facies arenosas y limos, hace que el proceso extractivo se limite a la segmentación de los bloques en el afloramiento rocoso, a partir de la existencia de dos cortes naturales previos, superior e inferior, hecho que simplificará en gran medida el proceso extractivo. Los rasgos texturales y composicionales evidencian que los niveles carbonatados de la Unidad Polimíctica miocena (Aragoniense-Vallesiense inferior) son correlacionables con los materiales pétreos empleados en la construcción de Escalada, y su heterogeneidad textural y composicional quedará reflejada también en los materiales empleados en el edificio. En conclusión, se definen nueve posibles áreas extractivas, en un radio de 8 km de distancia al edificio, a excepción del área de Toldanos que se encuentra más distante, y en la que se observaron socavones y material de recorte, que sugiere una posible actividad extractiva en el pasado (Fig. 17).

16 En la Hoja del Mapa Geológico de España (162, Gradefes), se cita en el capítulo 6 Geología Económica de la memoria: "Piedra de cantería: Algunos niveles de areniscas cementadas y de caliches compactos fueron explotados en la antigüedad para sillaría. Buen ejemplo de ello son los monasterios de San Miguel de Escalada, Gradefes y los restos de Santa Olaja de Eslonza. Así junto al cementerio de Toldanos, en el cerro de cota 865 m, se reconocen antiguos socavones para la extracción de bloques de areniscas y gravas cementadas terciarias".

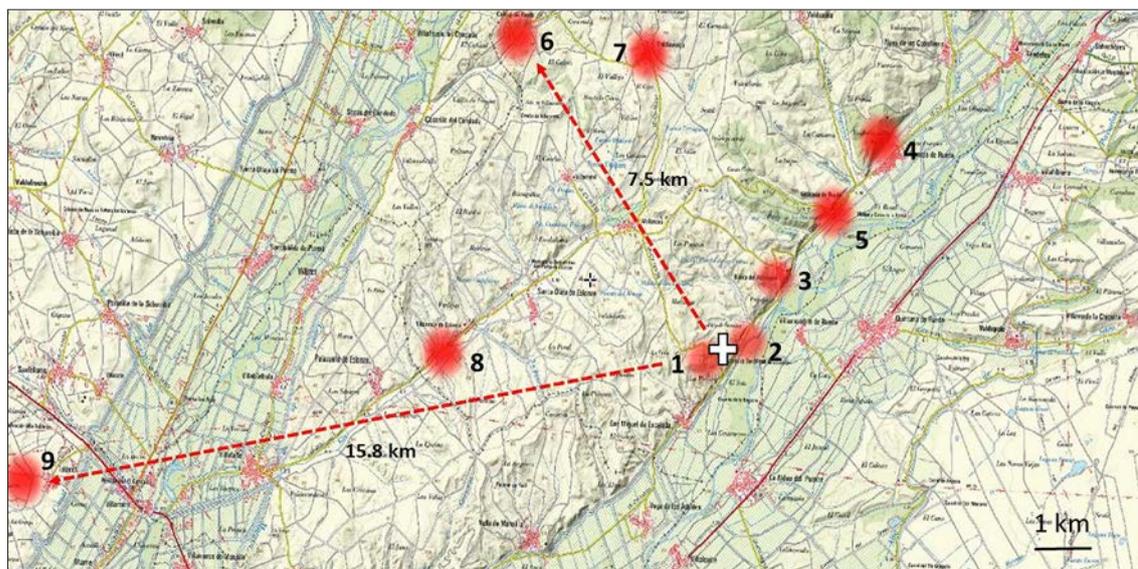


Fig. 17. Localización de las principales áreas extractivas, procedencia de los materiales pétreos empleados en la iglesia de San Miguel de Escalada: 1. San Miguel de Escalada, 2. Pico de Burones, 3. Rueda del Almirante, 4. Cifuentes de Rueda, 5. Casasola de Rueda, 6. Cañizal de Rueda, 7. Valduviego, 8. Villarmún de Eslonza, 9. Toldanos

Materiales pétreos empleados en la arquería de la iglesia de San Miguel de Escalada

En la fase de estudio petrográfico realizado en el edificio, las muestras *E4*, *E7* y *E10* tomadas en la arquería del pórtico y en la arquería de la nave se clasifican como dolomías cristalinas. Estos materiales textural y composicionalmente parecen corresponder a litologías de otro contexto geológico diferente del local, ya descrito anteriormente. A unos 30 km de distancia al norte del entorno de San Miguel de Escalada, en el borde septentrional de la Depresión del Duero los afloramientos cretácicos discordantes con el zócalo forman una estrecha banda adosada al borde meridional de la Cordillera Cantábrica. En los depósitos cretácicos se distinguen tres tramos, un tramo inferior detrítico que se dispone discordante sobre el zócalo hercínico constituido por materiales poco consolidados, constituyendo una macrosecuencia granodecreciente desde conglomerados y microconglomerados

evolucionando gradualmente a arenas de tonos blancos, amarillos y rojizos, de edad Cretácico inferior. Un segundo tramo de transición, integrado por margas arenosas, arcillas y limos de tonos grises a amarillos con niveles de arena muy fina, arena muy fina y areniscas calcáreas. El tramo superior carbonatado aparece concordante sobre el anterior, estando constituido por calizas y en menor proporción margas. Las calizas son fosilíferas de tonos claros beige o amarillos, pudiendo ser oolíticas hacia el techo. Localmente ha sido denominada Formación Boñar (EVERS, 1967), aflora al este y al oeste de la localidad de Boñar con una potencia media de 175 m, alcanzando en las proximidades de Boñar, en el sinclinal de las Bodas, más de 400 m de potencia (Fig. 18). Su edad es Cretácico superior, Santoniense-Campaniense (VAA, 1994).

La explotación¹⁷ desde antiguo de diferentes bancos de calizas recristalizadas y parcialmente dolomitizadas en esta formación y

17 Madoz describe así estas explotaciones: “Tienen tres bancos, el más fino se titula del Rey; se labra con mucha facilidad; su color es claro anaranjado; los otros dos, aunque de sobresaliente claridad, son más inferiores y de color blanquecino” (cita extraída de Alonso *et alii*, 2004: 99).

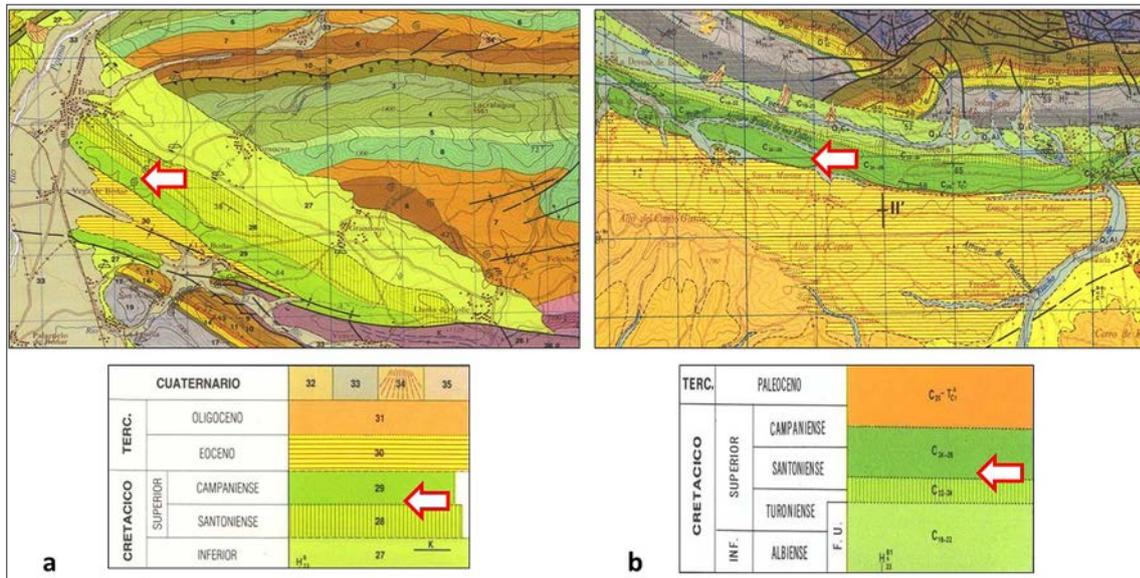


Fig. 18. Contexto geológico. a. Sinclinal de las Bodas, zona en la que la Fm. Boñar alcanza su máxima potencia, b. Acisa de las Arrimadas, al este de la localidad de Boñar donde afloran los niveles carbonatados cretácicos

su empleo en obra para la construcción de la gran mayoría del patrimonio arquitectónico de la ciudad y provincia de León (ALONSO *et alii*, 2004: 99) ha quedado constatada mediante su empleo en obra tanto civil como religiosa, con ejemplos destacados como la Catedral, la Real Colegiata de San Isidoro, el Palacio de los

Guzmanes o el edificio del Consistorio, entre otros. En la actualidad aún continúa en activo la explotación próxima a la localidad de Boñar, exportándose este material a nivel nacional e internacional (GARCÍA DE LOS RÍOS, BAEZ, 2001: 150), mientras que otras permanecen inactivas (Fig. 19).



Fig. 19. a. Cantera de Sierra Redonda, explotada por Mármoles OASA desde 1945, en las proximidades de Boñar. b. Cantera en el entorno de Acisa de las Arrimadas (actualmente inactiva), obsérvese las diferentes tonalidades en el frente de explotación

En las labores prospectivas de campo se siguieron estos materiales, los cuales afloran en una estrecha banda de unos 300 m de espesor, y dirección este-oeste según la línea que une Rielo con Cistierna pasando por la Robla y Boñar, siendo numerosos los puntos donde existen indicios de explotación y afloramientos de calizas y dolomías cretácicas. Las localidades de La Robla, Valdepiélagos, La Vecilla, Boñar, Robledo de la Valcueva, Prado de la Guzpeña, Arroyo de Prado, Acisa de las Arrimadas, Valmartino, etc., son buen ejemplo de ello. Atendiendo al criterio de mínima distancia o proximidad y al de la búsqueda de un área desde la cual el transporte del material fuera más favorable, se determinó como probable el área del entorno de Las Arrimadas, al sureste de la localidad de Boñar. Es en esta zona donde se han encontrado una mayor concentración de improntas extractivas de carácter histórico y es la más cercana si trazamos una línea recta desde San Miguel de Escalada con dirección norte-sur a los afloramientos, con una distancia de 28 km.

Área de Las Arrimadas (Fig. 20).

En los relieves al sur de la Sierra de la Devesa y en el área comprendida entre las localidades leonesas de Santa Colomba de las Arrimadas y Acisa de las Arrimadas aflora la serie cretácica anteriormente descrita. En ella se identifican numerosas marcas extractivas que sugieren labores históricas de explotación del material calcáreo en esta zona. Entre las marcas identificadas se señalan sillares adosados al macizo rocoso, cortes de los afloramientos de calizas y dolomías, empleo de cuñas para la extracción de bloques (muy desdibujados), bloques sueltos y zonas de escombrera por acumulación de material sobrante en el proceso extractivo, tapizadas por la vegetación (Fig. 21). Las capas se disponen buzando hacia el sur, con ángulos entorno a los 50° (185/58; 190/52), y los afloramientos se caracterizan por una buena continuidad lateral y espesores entorno a los 2 m.

Se seleccionaron muestras¹⁸ para su estudio petrográfico (EC6, EC7 y EC8), compartiendo todas ellas las siguientes características:

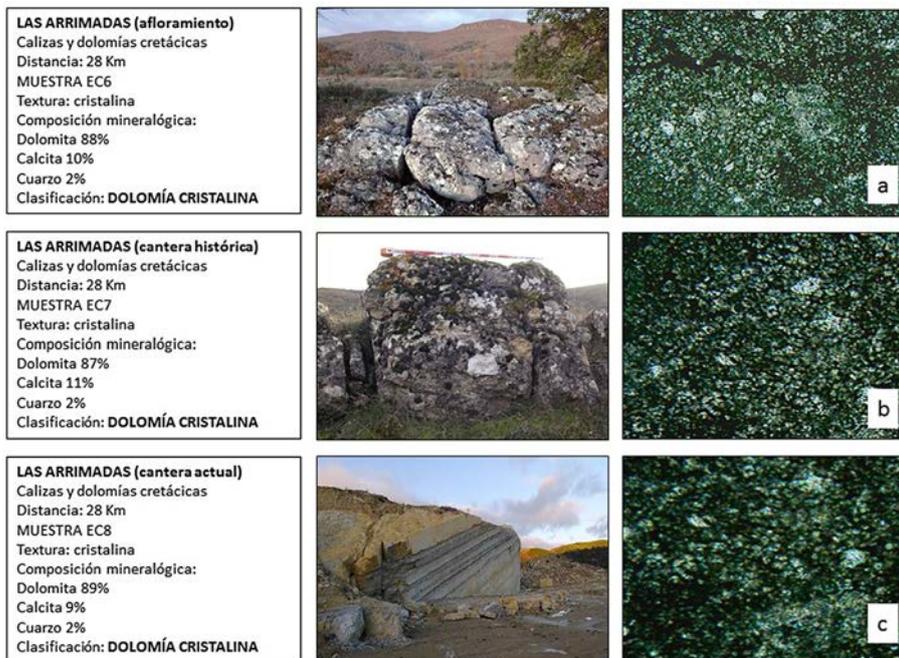


Fig. 20 (a-c). Área de explotación Las Arrimadas. Diferenciado las tres zonas de muestreo: Las Arrimadas (afloramiento), Las Arrimadas (cantera histórica), Las Arrimadas (cantera actual), explotación de calizas y dolomías cretácicas (Santonense-Campaniense). Datos de la cantera y material pétreo, imagen del área de explotación, microfotografía de la muestra en cantera con LPNA, (nicolas paralelos), 2.5x/0,07

¹⁸ Área de las Arrimadas: Las Arrimadas (afloramiento) – Muestra EC6: Coord. X: 314.491,24 – Y: 4.742.507,18; Las Arrimadas (cantera histórica) – Muestra EC7: Coord. X: 314.076,39 – Y: 4.742.626,39; Las Arrimadas (cantera actual) – Muestra EC8: Coord. X: 314.772,57 – Y: 4.742.445,19. (Coordenadas UTM. Datum ETRS89, Huso 30)

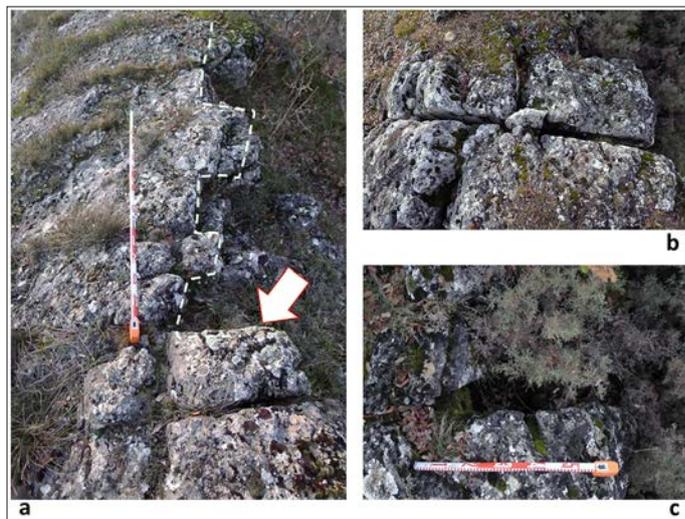


Fig. 21. Área de Las Arrimadas. Marcas histórico extractivas: a. Sillares adosados al macizo rocoso y cortes de los afloramientos de calizas y dolomías. b. Trazado de sillares en el macizo rocoso. c. Marcas de cuñas para la extracción de bloques (muy desdibujados).

desde el punto de vista macroscópico se corresponden con una roca de color beige a amarillento (2.5Y 8/1 – 2.5Y 8/3), cristalina, homogénea y de aspecto masivo, presentando roturas con superficies de fracturación lisas y cortantes, al humedecerla absorbe agua con cierta dificultad, quedando retenida en su superficie, presenta cavidades y venas rellenas de carbonato recristalizado. Microscópicamente, es una roca con textura cristalina. Se aprecia su carácter dolomítico, resultado de la dolomitización de una caliza granoclástica, es bastante uniforme y en ella se aprecian restos fósiles, en ocasiones fragmentados y dolomitizados, entre ellos se distinguen foraminíferos y otros restos no identificables, con un tamaño medio entre 100 y 200 micras. Constituida mayoritariamente por: dolomita 88%, calcita 10% y cuarzo 2%. El tamaño medio de los cristales de dolomita se sitúa entre las 10-20 micras, con ligeras variaciones en las muestras estudiadas, por el contrario en las zonas intersticiales el tamaño de los cristales es ligeramente mayor y la composición de los mismos es de naturaleza calcítica. En algunos casos la abundancia de espacios vacíos es mayor, correspondiéndose con porosidad móldica a partir de restos fósiles. Es frecuente, y así ocurre en las muestras estudiadas, la presencia de granos de cuarzo dispersos, con tamaños de grano limo (<50 micras). La roca se clasifica como una dolomía cristalina.

Estos materiales que han sido explotados en sucesivas etapas históricas para la construcción de un importante patrimonio arquitectónico presentaron tradicionalmente diferentes bancos de explotación, cada uno de ellos con sus peculiaridades. Estas se reflejaban en variaciones cromáticas desde el gris al rojizo o amarillento, variaciones en el tamaño de grano, la presencia o no de nódulos y mayor contenido en restos fósiles: oolitos, foraminíferos, fragmentos de valvas, etc., así como variaciones en el contenido de sus componentes terrígenos, cuarzo y minerales arcillosos; la mayor o menor proporción de cemento y poros también delimita las variedades y diferencias entre niveles explotados.

Los rasgos texturales y composicionales, a partir de los estudios petrográficos y descripciones macroscópicas de las muestras seleccionadas en las posibles áreas de explotación y en el edificio nos hacen afirmar que los materiales pertenecientes al tramo superior carbonatado de la Serie Cretácica que aflora en el borde norte de la Depresión de la Cuenca (Cretácico superior, Santoniense-Campaniense) pueden ser correlacionables con los materiales pétreos empleados en la arquería de la iglesia originaria de San Miguel de Escalada, teniendo presente la heterogeneidad de los afloramientos y las limitaciones en la obtención de muestras. Como se indicó, son numerosos los espacios de cantera que bene-

ficiaron tradicionalmente las calizas y dolomías cretácicas como roca de construcción, pero atendiendo a la selección de zonas y al criterio de menor distancia, mayor concentración de marcas y rasgos histórico-extractivos y facilidad en el transporte, se indica el área de las Arrimadas como una probable área extractiva, situada a 27 km, así como todas aquellas otras en el entorno de Boñar, cuyas marcas históricas han quedado desdibujadas o borradas por la superposición de una actividad extractiva continuada en el tiempo. El transporte del material pétreo extraído, con el objetivo de minimizar esfuerzos y costes, podría ser realizado a través de las riberas de los ríos Porma o Valdellorma, que presentan una clara disposición norte-sur, minimizando así las pendientes topográficas en el trayecto.

5.2. Canteras y áreas de explotación en relación con los materiales pétreos empleados en la construcción de la iglesia de San Cebrián de Mazote (Valladolid)

La iglesia de San Cebrián de Mazote se asienta sobre los sedimentos de fondo de valle en la localidad de su mismo nombre. El contexto geológico local se corresponde con los materiales correspondientes a la parte superior del relleno terciario, constituida por tres tramos litológicos clásicos en la literatura

geológica sobre el Mioceno Castellano que de abajo a arriba son: la *Facies terrígena de tierra de Campos*, de color ocre y edad Mioceno medio (Astaraciense); la *Facies Cuestas marga arcillosas* de origen lacustre, de edad Mioceno superior (Vallesiense); y la *Facies Caliza de los Páramos* eminentemente carbonatada, de edad Mioceno superior (Vallesiense superior-Turoliense) (HERNÁNDEZ-PACHECO, 1915). (Fig. 22)

Los tres tramos definidos anteriormente presentan a su vez litologías minoritarias. La *Facies Tierra de Campos* aflora en los valles y se encuentra frecuentemente cubierta por depósitos de ladera y por los cultivos. Se desconoce su potencia al no aflorar su muro, pudiendo estimarse en unos 70 m de potencia. Está formada por una sucesión de limos arenosos, con intercalaciones de arenas, arcillas y calizas de pequeño espesor. En general son caliches con aspecto noduloso y terroso, se trata de sedimentos arenosos y limosos enriquecidos en carbonato cálcico. Estos sedimentos se corresponden con subambientes de llanura de inundación, se caracterizan por la presencia de paleosuelos carbonatados, indicativos de un clima árido o semiárido, en los encharcamientos someros de llanura de inundación se depositan margas con gasterópodos y ostrácodos. A partir de micromamíferos esta facies se data como Astaraciense.

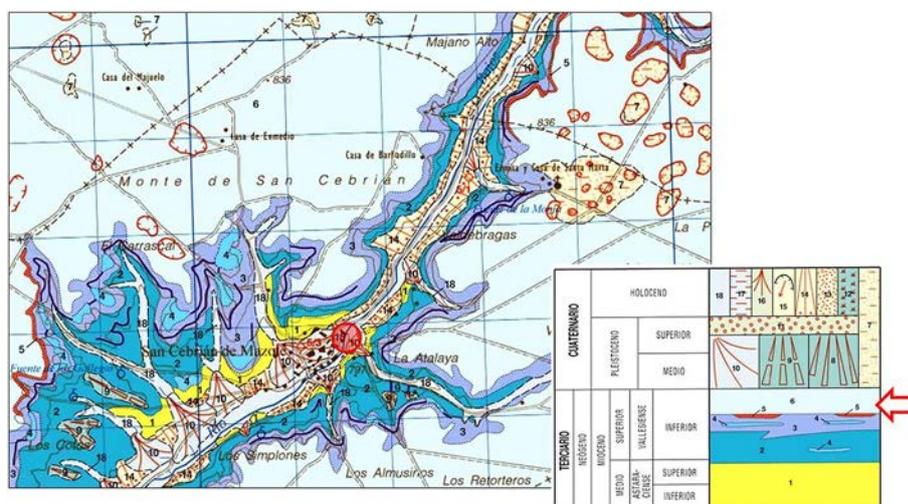


Fig. 22. Contexto geológico local, con un amplio desarrollo de los depósitos terciarios, estando representadas las facies anteriormente descritas. La *Facies Caliza de los Páramos*, representa el 80% de la superficie, formando una amplia planicie subhorizontal

Suprayacente a la Facies Tierra de Campos se sitúa la *Facies Cuestas*, reconocible en el tramo medio-alto de las laderas. Destaca por los colores claros de alteración frente a los rojizos de la Tierra de Campos. Dentro de ella se han identificado dos unidades claramente reconocibles, una inferior arcillo-limosa y otra superior margosa con niveles de calizas, que en determinadas zonas adquieren gran desarrollo lateral. Estas intercalaciones de calizas en los tramos superiores presentan niveles de ostrácodos, prácticamente lumaquélidos. Estos materiales son reflejo de una sedimentación de ambientes deltáicos hacia ambientes de tipo lacustre. Se señala para la *Facies Cuestas* una edad Astaraciense superior – Vallesiense, a partir de la datación por micromamíferos.

La *Facies Caliza de los Páramos* se corresponde con las amplias superficies horizontales que afloran en el entorno de San Cebrián de Mazote. La unidad eminentemente caliza está formada por bancos de geometría tabular, de 20-70 cm de espesor y extensiones laterales de centenas de metros, con intercalaciones de margas. Los límites superior e inferior son netos. Estas calizas presentan tonos claros, blancos y grises (2.5Y 8/1), en su interior son masivas, aunque en ocasiones se desarrollan estratificaciones cruzadas en surco de pequeño escala, y más frecuentemente lami-

naciones paralelas remarcadas por fósiles de invertebrados. Estos restos fósiles aparecen enteros y fragmentados correspondiéndose con gasterópodos, opérculos, caráceas y ostrácodos, siendo también frecuente la aparición de moldes de raíces, rellenos de arcillas rojas. Este rasgo sedimentario es característico de este tipo de calizas y ha sido señalado en las descripciones *de visu* de los materiales estudiados en el templo. El ambiente sedimentario para esta unidad es de lagos poco profundos, carbonatados y de baja pendiente, debido a su poca profundidad, las variaciones en la lámina de agua dejan al descubierto sedimentos lacustres colonizados por plantas dando lugar a procesos pedogenéticos. Se data como edad Vallesiense superior–Turolense a partir de los restos fósiles de micromamíferos (LÓPEZ, SANCHIZ, 1982). Gran parte de la superficie del páramo, a techo de la unidad calcárea, se encuentra tapizada por depósitos de terra rossa, relacionados con procesos kársticos y costras laminadas bandeadas (PÉREZ-GONZÁLEZ, 1979; Fig. 23).

A partir de las muestras seleccionadas en el edificio y de su caracterización macro y microscópica, los trabajos de prospección para la localización de canteras se centraron en los afloramientos en la serie miocena (*Facies Cuestas* y *Facies Calizas de los Páramos*). Las rocas empleadas en la construcción

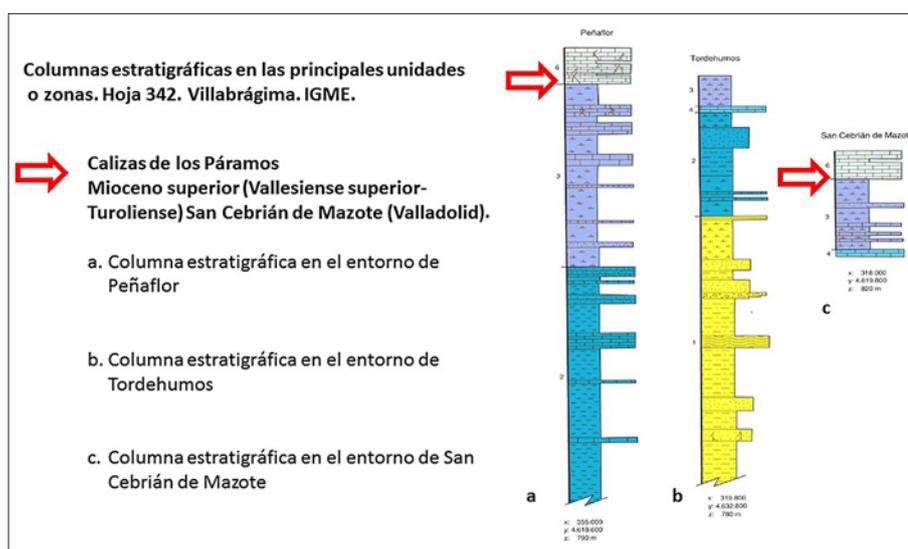


Fig. 23. Columnas estratigráficas en el entorno de San Cebrián de Mazote. Se señalan las *Facies Calizas de los Páramos*

a priori presentan una serie de caracteres texturales, contenido fósil, composición y rasgos sedimentarios propios de los ambientes deposicionales asociados a estas facies.

De este modo, se identificaron hasta un total de siete áreas de explotación (Fig. 24), situadas en un entorno de 2 km de radio de distancia a la iglesia. En todos los casos se explotan las Calizas de los Páramos, materiales que culminan la serie miocena.

Área de Las Atalayas-Las Atalayas (este).

(Fig. 25 a). A 500 m y 1000 m al Este de la iglesia se sitúan respectivamente estas dos zonas de explotación. Se corresponde con una zona escarpada, muy vegetada por pinos y se distinguen dos áreas separadas entre sí 400 m.

Facies Calizas de los Páramos		
Área de explotación-cantera	Localización UTM (Datum ETRS89, Huso 30)	
	Coord. X:	Coord. Y:
Las Atalayas	321.805,92	4.616.444,74
Las Atalayas (este)	322.400,78	4.616.239,50
La Horca	321.370,51	4.615.686,37
Cuatro Iguadas	320.449,62	4.615.519,48
El Horcajo	320.538,73	4.617.984,73
El Horcajo (sur)	320.591,18	4.617.574,65
Monte de San Cebrián	321.516,84	4.617.753,46

Fig. 24. Localización de las áreas extractivas caracterizadas en el contexto de San Cebrián de Mazote

En ellas afloran, en la parte alta del cerro, las calizas de las Facies Páramo con una potencia de 1,20 m, aunque también se identifican pequeñas capas de espesor centimétrico con escasa continuidad lateral correspondientes

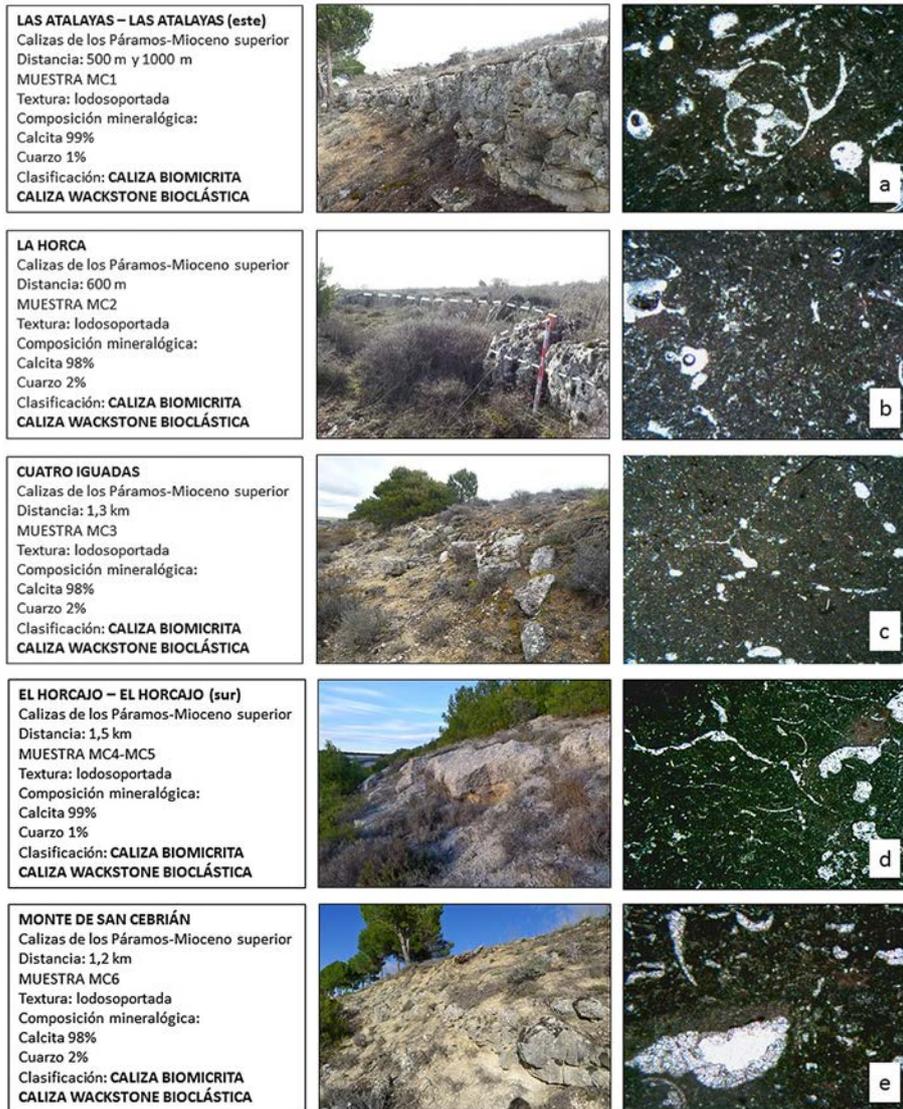


Fig. 25 (a-e). Área de explotación en el entorno de San Cebrián de Mazote, extracción de las calizas de los páramos (Mioceno superior). Datos de la cantera y el material pétreo, imagen del área de explotación, microfotografía de la muestra en cantera con LPNA, (nicoles paralelos), 2,5x/0,07

a los miembros carbonatados de las Facies Cuestas. La *muestra MC1* tomada en el afloramiento rocoso tiene color beige (2.5Y 8/1), fractura concoidea, es dura y con tamaño de grano muy fino, es homogénea no presentando orientación preferente de sus constituyentes. Se identifican numerosas cavidades, correspondientes a moldes de raíces rellenos parcialmente de arcillas rojas, también se señalan moldes de fósiles (gasterópodos), y en general la roca tiene una pátina gris oscura. Microscópicamente, se trata de una roca carbonatada con textura lodosoportada, con matriz micrítica y un elevado porcentaje de aloquímicos (fósiles) entorno al 20%, se identifican entre su contenido fósil: gasterópodos, ostrácodos y caráceas, se identifican varias secciones completas de gasterópodos en ocasiones rellenas de cemento calcítico. Su composición es: calcita 99%, y cuarzo 1% de tamaño limo, cuyos granos están dispersos por la matriz. La roca se clasifica como una caliza biomicrítica o una caliza wackstone bioclástica.

Área La Horca (Fig. 25 b).

A 600 m al sur de la iglesia de San Cebrián. En ella afloran los niveles terminales de las Facies Calizas de los Páramos, con espesores menores entorno a los 50 cm. Se identifica la extracción del material pétreo a partir del empleo de útiles de corte que simplemente seccionan la roca, separándola de forma natural del macizo por tener a muro los sedimentos limoso-arcillosos correspondientes a la Facies Cuestas, simplificando de esta forma el proceso extractivo. En este caso, dada la potencia del afloramiento calcáreo, se explotó en el pasado para la obtención de piedra de mampostería. La *muestra MC2* seleccionada en el nivel de calizas desde el punto de vista macroscópico se trata de una roca de color beige a crema (2.5Y 8/2), compacta y dura, homogénea, absorbe agua con dificultad quedando retenida en su superficie, tiene fractura concoidea, y presenta múltiples marcas por perforación de raíces en la mayoría de los casos rellenas de fracción arcillosa. Microscópicamente, se caracteriza por una textura lodosoportada, con matriz micrítica y

fragmentos de fósiles distribuidos por toda la muestra, se identifican también cavidades cementadas por calcita y granos de cuarzo subredondeados de tamaño limo. La roca está constituida por: calcita 98%, cuarzo 2%, clasificándose como una caliza biomicrítica o una caliza wackstone bioclástica.

Área Cuatro Iguadas (Fig. 25 c).

A 1,3 km de distancia de la iglesia. En ella afloran las calizas terminales miocenas de los Páramos. En este caso con un aspecto ruiforme, pero con continuidad lateral a lo largo de todo el cerro, aparecen numerosos bloques sueltos sobre las Facies Cuestas y se identifican niveles de calizas en las Facies Cuestas con una extensión lateral de decenas de metros. En esta área se tomó la *muestra MC3* de características similares a las anteriores, de color beige (2.5Y 8/1), dura y homogénea, con fracturación concoidea y retiene agua en superficie. Microscópicamente, se trata de una roca con textura lodosoportada, matriz micrítica, con menor contenido en aloquímicos (fósiles) que las anteriores, estando muy fragmentados y presentando pequeño tamaño, la muestra tiene porosidad cementada por calcita. Se identifican granos de cuarzo subredondeados dispersos por la muestra de tamaño limo y su composición es: calcita 98%, cuarzo 2%. La roca se clasifica como una caliza biomicrítica o una caliza wackstone bioclástica.

Área El Horcajo - El Horcajo (sur) (Fig. 25 d).

Localizada a 1,5 km de distancia en dirección norte desde el templo de San Cebrián de Mazote, para su descripción se agrupan las dos zonas que distan entre sí 300 m, siendo ésta el área en la que se concentran un mayor número de indicios y marcas de una actividad extractiva en el pasado. En la parte superior del cerro se identifican afloramientos de Calizas de los Páramos, con un gran desarrollo tanto vertical, con los mayores espesores, como lateral, con gran continuidad de las capas. En las facies de los Páramos se señalan dos niveles, ambos explotados: un primer nivel inferior con potencia 1,70 m, en el que se identifican numerosas marcas de cuñas tanto horizontales como verticales, para

la extracción de piedra de sillar en el macizo, así como rozas, sillares abandonados a media ladera, y otras marcas que señalan una actividad extractiva para la obtención de piedra de sillar (Fig. 26). Por encima, un segundo nivel constituido por dos capas de espesor centimétrico (30-40 cm), que también ha sido explotadas para la obtención en este caso, dadas sus dimensiones, de piedra de mampostería, y en las que se aprecian recortes y pequeñas cuñas para la extracción del material (Fig. 27). En ambas zonas se han seleccionado las *muestras MC4* y *MC5* con las siguientes características: macroscópicamente se trata de rocas de color beige (2.5Y 8/1), duras y homogéneas, con fracturación concoidea y que retienen agua en superficie. Presentan moldes de raíces y bioturbación. Microscópicamente, se trata de rocas con textura lodosoportada, matriz micrítica, con contenido en aloquímicos (fósiles), ostrácodos, gasterópodos, etc., muchos de ellos aparecen fragmentados y otros se presentan en buenas secciones, las muestras presentan cavidades cementadas por calcita. Se identifican algunos granos de cuarzo subredondeados dispersos por la muestra de tamaño limo, su composición es: calcita 99%, cuarzo 1%. La roca se clasifica como una caliza biomicrita o una caliza wackstone bioclástica.

Área Monte de San Cebrián (Fig. 25 e). A una distancia de 1,2 km de la iglesia, se identifica un afloramiento de calizas de los páramos con espesores centimétricos (40-60cm) y menor desarrollo lateral en comparación con otras áreas. Se identifican labores extractivas, con marcas de cortes en los niveles calizos, que al igual que en otras áreas aprovechan la cornisa calcárea sobre las facies finas de Cuestas para

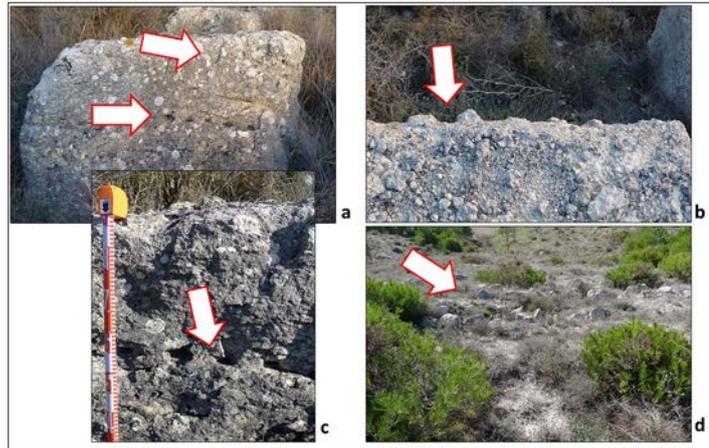


Fig. 26. Área El Horcajo, Facies Calizas de los Páramos, nivel inferior. a. Marcas de cuñas para la extracción de sillares (corte horizontal), b. marcas de cuñas para la extracción de piedra de sillar (corte vertical), c. Detalle de las marcas de cuñas, d. Acumulación de bloques y sillares a media ladera



Fig. 27. Área El Horcajo, Facies Calizas de los Páramos, nivel superior constituido por dos capas de espesor centimétrico. a y b. Extracción de piedra para mampuestos, c. Capa de espesor centimétrico culminando la serie miocena

mediante la segmentación del afloramiento obtener mampuestos, la potencia de la capa en este caso define su uso como mampuesto. En el área se identifican también niveles de calizas en las facies Cuestas con límites superior e inferior ondulados y escasa continuidad lateral. Se ha seleccionado la *muestra MC6*, que desde el punto de vista macroscópico es una caliza de color beige a crema (2.5Y 8/2), dura, homogénea, con fracturación concoidea y retiene agua en superficie, presenta también una abundante bioturbación y moldes de raíces, en ocasiones rellenos de material

arcilloso. Microscópicamente, presenta textura lodosoportada, matriz micrítica, y en cuanto a su contenido fósil, gasterópodos, ostrácosos y caráceas, la porosidad está cementada por calcita. Su composición es: calcita 98% y cuarzo 2%, que aparece en forma de granos subredondeados diseminados por la muestra. La roca se clasifica como una caliza biomicrita o una caliza wackstone bioclástica.

A partir de los rasgos texturales y composicionales de las muestras seleccionadas en las áreas extractivas descritas (MC1 a MC6) y las muestreadas en los alzados de la iglesia de San Cebrián de Mazote (M1, M2 y M3), se puede colegir que ambas, a excepción de la muestra M1, presentan rasgos similares a escala macro y microscópica, identificándose rasgos sedimentológicos y texturales concluyentes, como son el contenido fósil, las marcas y moldes de raíces, su composición mineralógica. Se definen siete áreas extractivas en el entorno del edificio, en un radio que no supera los 2 km de distancia (Fig. 28). La relación entre el elemento constructivo de los paramentos (sillar o mampuesto) y el afloramiento geológico es clara, condicionando este último la disposición de un tipo de material u otro. De este modo existen áreas, en las que los afloramientos de las calizas terminales de la serie

miocena apenas alcanzan los 50 cm, en las que se extrae piedra para mampostería, otras áreas en las que la potencia de las calizas de los Páramos es métrica, obteniendo mediante cortes con cuñas piedra de sillar, y finalmente áreas mixtas, como es el caso de El Horcajo y El Horcajo (sur), en las que se extrae piedra de sillar en los niveles con mayor potencia, y mampuestos en las capas de menor espesor suprayacentes. Esta planificación del trabajo en cantera nos acerca a un mayor conocimiento del proceso constructivo del edificio, la organización en las áreas de cantera, los métodos y vías de transporte empleados en función de la distancia al recurso y las estrategias para el acopio de materiales.

Materiales pétreos empleados en la arquería de la iglesia de San Cebrián de Mazote

En la fase de muestreo se seleccionaron en el interior del templo cinco muestras representativas de los materiales pétreos empleados en la arquería (M4, M5, M6, M7) y en el friso del ábside (M8) (Fig. 29). Se clasificaron como una caliza biomicrita compacta o una caliza packstone bioclástica atendiendo a las clasificaciones de Dunham y Folk. Macroscópicamente la roca empleada es una caliza

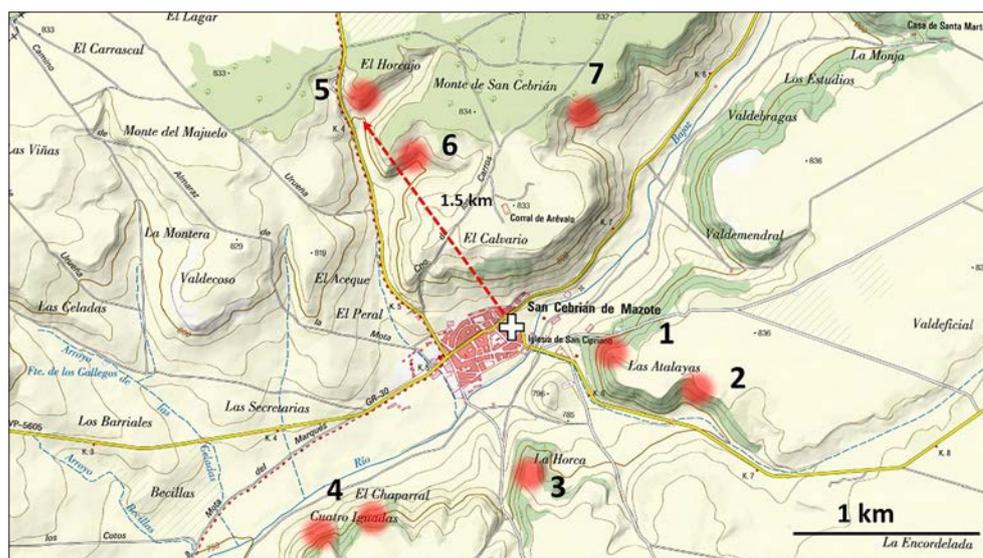


Fig. 28. Principales áreas extractivas en relación con los materiales empleados en la construcción de la iglesia de San Cebrián de Mazote: 1. Las Atalayas, 2. Las Atalayas (Este), 3. La Horca, 4. Cuatro Igúadas, 5. El Horcajo, 6. El Horcajo (sur), 7. Monte de San Cebrián

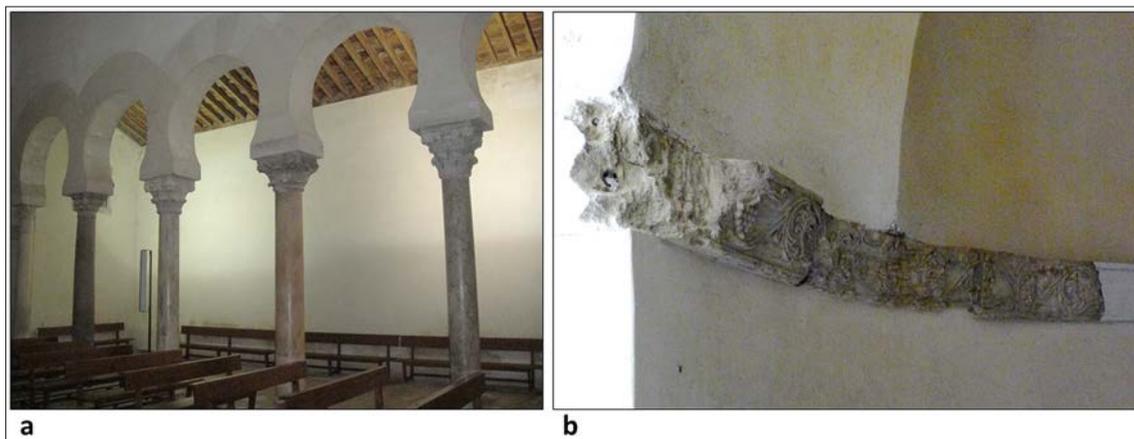


Fig. 29. Iglesia de San Cebrián de Mazote. A. Arquería del aula, empleo de materiales marmóreos reutilizados en columnas y capiteles. B. Friso del ábside central

de grano fino, homogénea y con ausencia de anisotropías, presentando unas buenas condiciones técnicas para el labrado y las exigencias que la construcción de la arquería conlleva. Los estudios al microscopio óptico de polarización señalan para estas muestras un alto contenido en aloquímicos, predominantemente ostrácodos, con gasterópodos y caráceas, bioclastos que integran el armazón estructural de estas rocas, que presentan una textura granosoportada con matriz micrítica. En base a los rasgos señalados se desarrollaron las tareas prospectivas en el entorno geológico local en busca de litologías con características texturales similares a nivel macro y microscópico, y con un contenido fósil similar al de las muestras seleccionadas en el edificio. En las Facies Cuestas (Astaraciense superior - Vallesiense) se definen básicamente dos unidades reconocibles cartográficamente, una inferior arcillo limosa y otra superior margosa con niveles de caliza que en determinadas zonas adquieren gran desarrollo lateral, presentando la mejor representación en el entorno de Peñaflor de Hornija y San Pelayo, a 14 km y 9 km respectivamente al este de San Cebrián de Mazote. En este contexto afloran niveles de calizas cartografiables, con altos contenidos en ostrácodos y prácticamente lumaquélidos¹⁹, en el entorno de El Pedrón, en las proximidades de la localidad de San Pelayo, y en la ribera del río Hornija.

Los estudios no han sido concluyentes, puesto que a pesar de que las zonas prospectadas presentan calizas con esta tipología, los espesores de las capas no se corresponden con las dimensiones de las piezas empleadas en la arquería (aunque sí con el friso), siendo menores, y por otro lado, tampoco se han encontrado un número importante de marcas e improntas de una actividad histórico extractiva en la zona, haciéndose necesario continuar con la actividad prospectiva en la zona.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Las iglesias monásticas de San Miguel de Escalada (León) y de San Cebrián de Mazote (Valladolid) presentan una serie de analogías en cuanto al tipo de planta (aula basilical, cabecera tripartita, ábsides curvos) y elementos singulares (pilares cruciformes, arcos de herradura), además de la estrecha colaboración de canteros y albañiles, responsables de realizar los muros perimetrales en mampostería con sillares de refuerzo (contrafuertes, esquinas y jambas) y de alzar las arquerías interiores y las bóvedas de gallones en sillería finamente labrada (UTRERO, en este volumen). Los materiales pétreos empleados son de carácter local, a excepción de los materiales decorativos que en ambas edificaciones

¹⁹ Roca sedimentaria bioquímica no detrítica, compuesta por restos fósiles, también denominadas calizas fosilíferas.

combinan piezas nuevas (capiteles, frisos, canceles) y expoliadas (basas, fustes, capiteles).

En cuanto a la organización en el proceso extractivo en cantera igualmente presentan numerosas similitudes. Respecto a los *materiales estructurales* (*mampostería y sillería*), ambas iglesias recurren a rocas autóctonas y cercanas. En el caso de San Miguel de Escalada, en un radio de 8 km se explotan los niveles miocenos de calcretas, que afloran como cornisas ruiformes en las riberas de los ríos Esla y Porma. El estado de alteración de estos materiales y deterioro de los afloramientos dificulta en gran medida la conservación e identificación de improntas extractivas, y explica también la mayor distancia en comparación con Mazote, en busca del volumen necesario de roca “sana”. En el caso de San Cebrián de Mazote, en un radio de 2 km, la extracción de piedra de sillar y mampuestos se realiza en las Facies terminales de Calizas de los Páramos, en ellas la potencia de los afloramientos condiciona la obtención de piedra de sillar o mampuesto, así las capas con potencias métricas conservan marcas histórico-extractivas como cuñas, rocas, etc., para la obtención de piedra de sillar, mientras que las capas superiores centimétricas son beneficiadas para la obtención de mampuestos. En ambos casos, el proceso extractivo se ve favorecido por la morfología de los afloramientos y la presencia de niveles limoso arenosos a muro de los niveles carbonatados, limitándolo en muchos casos a la segmentación del propio afloramiento.

En cuanto a los materiales con ciertas exigencias técnicas, como es el caso de los empleados en la construcción de las arquerías interiores, la procedencia es más lejana, motivado por la búsqueda de un material pétreo que cumpla los requisitos de homogeneidad, dureza, color, cohesión y trabajabilidad (ÁLVAREZ ARECES, 2016: 120) para la confección de un encargo de estas características. Para San Miguel de Escalada se señala la procedencia a 30 km en el borde septentrional de la Cuenca del Duero, en las proximidades de la localidad de Boñar, extrayéndose las dolomías

cretácicas que cumplen las exigencias técnicas indicadas. Se considera como posible lugar de explotación el área de Las Arrimadas, en la cual se identifican improntas extractivas y la cual se sitúa con cierta proximidad. En el caso de San Cebrián de Mazote, los materiales empleados se corresponden con una caliza biomicrita o packstone bioclástica, dándose la posibilidad de que procedan de los niveles carbonatados de la Facies Cuesta en el entorno de Hornija y San Pelayo a 14 y 9 km respectivamente, aunque la ausencia de maras de extracción y el espesor de capa justifican que los resultados no sean concluyentes.

Por último, hay que constatar que el estudio de los materiales pétreos utilizados en la construcción de estos edificios no es sólo un medio eficaz para la localización de la procedencia de los materiales empleados y determinar sus características tecnológicas, sino que ofrece abundante información sobre capacidades, recursos, distribución y uso de las materias primas en un determinado lugar, y debe contribuir en su medida al conocimiento del material pétreo en el proceso constructivo, en la actividad extractiva en la cantera y finalmente en la relación entre ambos espacios, acercándonos así a la producción de estos edificios del altomedievo.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, Eduardo; FERNÁNDEZ, Esperanza; RODÍGUEZ, Luis Roberto; MATÍAS, Roberto. (2004): *Guía geológica visual de León*. León, Celarayn editorial.

ALONSO, José Luis; PULGAR, Javier (1993): “La deformación alpina en el basamento hercínico de la zona Cantábrica”. *Resúmenes XV Reunión de Xeoloxía e Minería do NO Peninsular*. Laboratorio Xeoloxico de Laxe, pp 69-71.

ÁLVAREZ ARECES, Enrique (2016): *De Piedra. Como el estudio de los materiales pétreos de construcción ofrece una visión del legado cultural del Camino de Santiago*. Madrid, Editorial Catarata-Instituto Geológico y Minero de España.

CASTRO DORADO, Antonio (1989): *Petrografía Básica. Textura, clasificación y nomenclatura de rocas*. Madrid, Ed. Paraninfo.

CASTROVIEJO, Ricardo (1998): *Fundamentos de petrografía*. Madrid, Dpto. Ingeniería Geológica, E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid.

- DUNHAM, Robert (1962): "Classification of Carbonate Rocks according to depositional texture", *American Association Petrology Geology Memory*, 108-121.
- EVERS, H. J (1967): "Geology of the Leonides between the Bernesga and Porma rivers, Cantabrian Mountains, NW Spain". *Leidse geologische mededelingen*. 41. Leiden, Universidad de Leiden, 83-151.
- FOLK, Robert (1968): *Petrology of sedimentary rocks*. Austin. 170. Texas, Hemphill Pub, 2 edition.
- GARCÍA DE LOS RÍOS, José Ignacio; BÁEZ, José Manuel (2001): *La piedra en Castilla y León*. Valladolid, Junta de Castilla y León.
- HERNÁNDEZ PACHECO, Eduardo (1915): "Geología y Paleontología del Mioceno de Palencia". *Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Comunicación de Investigación de Paleontología y Prehistoria*, 5. Madrid, Museo Nacional de Ciencias Naturales, 34-37.
- IGME (1980): *Mapa Geológico de España. Hoja 341. San Pedro de Latarce*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1980): *Mapa Geológico de España. Hoja 370. Toro*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1982): *Mapa Geológico de España. Hoja 130. Vegas del Condado*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1984): *Mapa Geológico de España. Hoja 104. Boñar*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1984): *Mapa Geológico de España. Hoja 104. Boñar*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España..
- IGME (2007): *Mapa Geológico de España. Hoja 342. Villabrágima*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- IGME (2007): *Mapa Geológico de España. Hoja 371. Tordesillas*. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- LÓPEZ, Nieves; SANCHIZ, Francisco de Borja. (1982): "Los primeros microvertebrados de la Cuenca del Duero: listas faunísticas preliminares e implicaciones bioestratigráficas y paleofisiográficas". *I Reunión sobre Geología de la Cuenca del Duero, Salamanca 1979*. Temas Geológico Mineros. 6 (1). Madrid, IGME, 339-353.
- PÉREZ-GONZÁLEZ, Alfredo (1979): "El límite Plioceno - Pleistoceno en la submeseta meridional en base a los datos geomorfológicos y estratigráficos". *Reunión del grupo español del límite Neógeno - Cuaternario*. Trabajos. Neógeno-Cuaternario, 9. Madrid, Sociedad Geológica de España.
- UNE-EN (2014): *Conservación del Patrimonio Cultural. Metodología para la toma de muestras de materiales del patrimonio cultural. Reglas Generales*. 10. Madrid, Aenor.
- VAA (1994): *Mapa Geológico de la provincia de León*. Madrid, Instituto Tecnológico Geominero de España.
- VAA (2000): *Munsell Soil Color Charts*. Munsell Color. Reino Unido, Gretagmacbeth.
- VAA (2004): *Geología de España*. Vera, Juan Antonio (Editor). Madrid, SGE-IGME.
- VAA (2012): *El mármol en Hispania: Explotación, uso y difusión en época romana*. Virginia García Entero (Edición científica). Madrid, UNED - Arte y Humanidades.