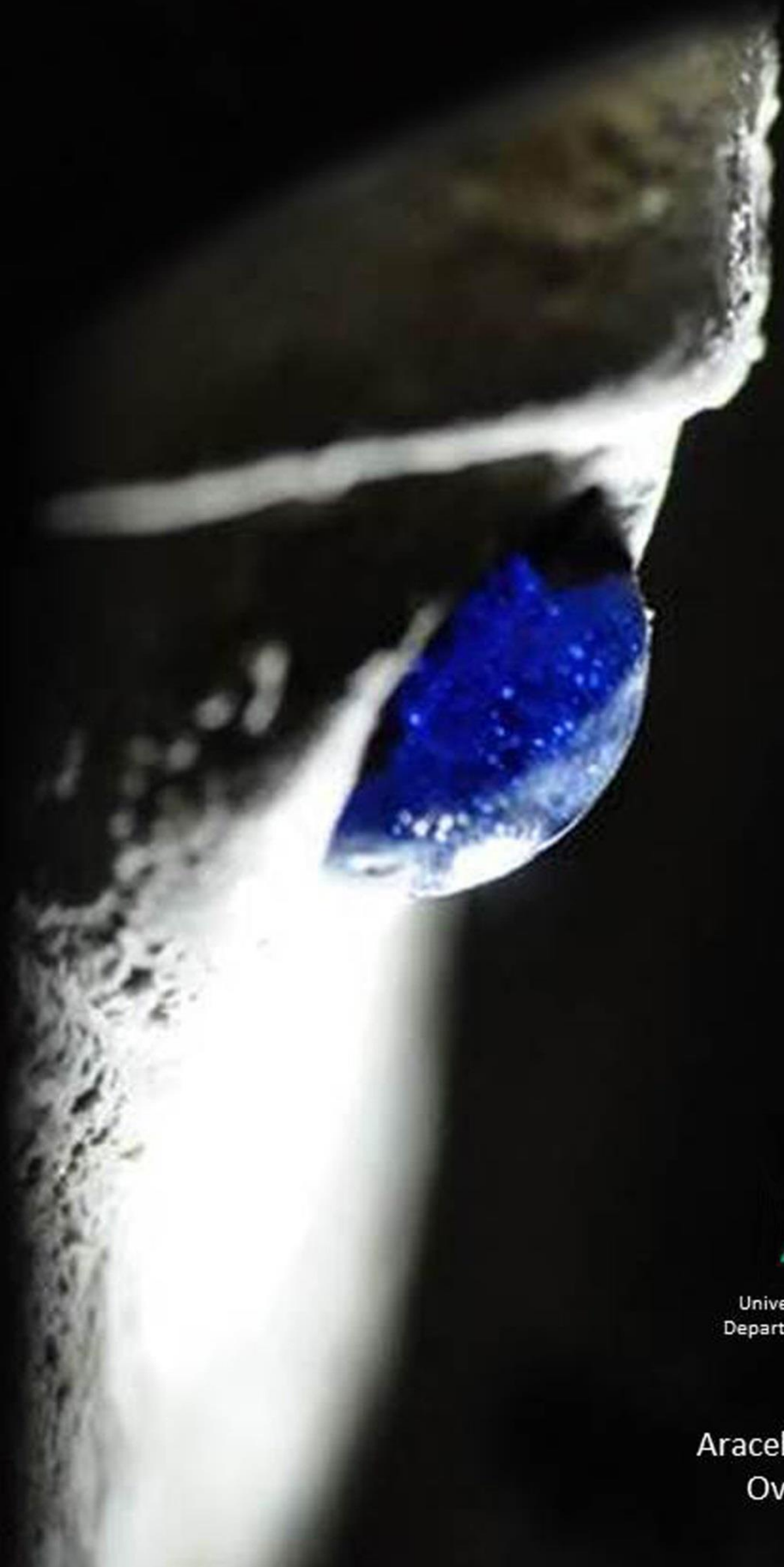
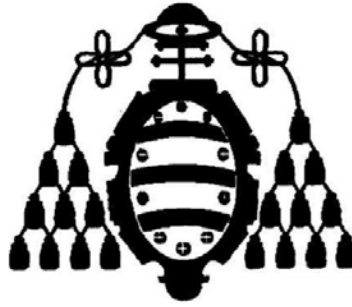


# EL ANÁLISIS DE MORTEROS HISTÓRICOS COMO HERRAMIENTA DE DATACIÓN E INTERPRETACIÓN DE TÉCNICAS Y FASES CONSTRUCTIVAS



Universidad de Oviedo  
Departamento de Geología

Araceli Rojo Álvarez  
Oviedo 2015



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Departamento de Geología

Programa de doctorado: “Programa de doctorado Geología”

**“El análisis de morteros históricos como herramientas de datación e interpretación de técnicas y fases constructivas”**

**TESIS DOCTORAL**

Araceli Rojo Álvarez

Oviedo, 2015





Vicerrectorado de Internacionalización  
y Postgrado  
Universidad de Oviedo





## RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español/Otro Idioma: El análisis de morteros históricos como herramienta de datación e interpretación de técnicas y fases constructivas	Inglés: Analysis of historical mortars as a dating and interpretation tool of techniques and construction phases of Heritage buildings
2.- Autor	
Nombre: Araceli Rojo Álvarez	DNI/Pasaporte/NIE:
Programa de Doctorado: de GEOLOGÍA	
Órgano responsable: Departamento de Geología	

### RESUMEN (en español)

Los morteros de cal tienen la clave del pasado arquitectónico. Su fabricación «in situ» constituye una ventaja frente a la que aportan otros materiales constructivos, al proporcionar la fecha exacta de construcción del edificio, por no sufrir reutilizaciones. La incorporación de CO<sub>2</sub> atmosférico durante el proceso de fraguado del mortero, hace que los carbonatos de la matriz y de los nódulos de cal resulten perfectos para la datación de <sup>14</sup>C. Uno de los problemas que afectan a este tipo de morteros es la contaminación fósil originada por la presencia de calcita geológica, biológica o neoformada, que alteraría las fechas radiocarbónicas, en los dos primeros casos a edades más antiguas y en el tercero a edades más modernas.

El objetivo principal de esta tesis es validar un procedimiento de pretratamiento de las muestras, previo a la datación mediante AMS (espectrometría de masas con aceleradores), destinado a minimizar y eliminar estas fuentes de error. Esto se realiza mediante una combinación de métodos que incluyen procedimientos analíticos desarrollados recientemente, a los que se han añadido estudios específicos, derivados del análisis petrofísico de las muestras. Los resultados proporcionados por la datación de los carbonatos de la matriz y de nódulos de cal se han comparado con los obtenidos a partir del análisis radiocarbónico de muestras de madera y carbón vegetal, con resultados satisfactorios, fiables y concluyentes. El procedimiento seguido en esta tesis ha conseguido eliminar los efectos derivados de la contaminación fósil, lo que ha proporcionado fechas más precisas y exactas. Los resultados de datación obtenidos han cumplido los criterios establecidos por los investigadores que han desarrollado el método de datación a partir del CO<sub>2</sub> desprendido de forma secuenciada, durante la hidrólisis de los carbonatos.

Los morteros analizados en este estudio proceden de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo, la fuente de Foncalada y las iglesias de San Salvador de Valdediós, Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo, edificaciones prerrománicas incluidas en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO bajo el epígrafe de Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias, lo que a su vez permite ampliar nuestro conocimiento sobre estas construcciones. Las fechas proporcionadas por los carbonos vegetales y maderas resultan inexactas, ya que la edad que tenían las maderas cuando fueron cortadas, será necesariamente anterior a su utilización en la edificación. Por el contrario, la edad derivada de los carbonatos corresponde al momento de endurecimiento del mortero, por tanto de la construcción del edificio. Además, que las fechas de los carbonos no solapen con las de los morteros, confirma que las dos series de análisis son correctas.

Este novedoso procedimiento ha sido validado en un mortero de fábrica procedente de San Miguel de Lillo, para el cual se ha obtenido una edad situada entre finales del siglo IX y finales del siglo X, con mayor probabilidad de que la fecha calibrada se sitúe próxima a la edad más reciente. Estas fechas son coincidentes con adscripción de San Miguel de Lillo y Santa María del Naranco a Ramiro I (842-850), como principal promotor del proyecto aunque se prolongan a reinados posteriores.

Independientemente de esta aportación de datación absoluta, el estudio realizado para el



análisis de los morteros, así como el análisis estratigráfico de la pintura mural y sus recubrimientos, incluye métodos de dataciones relativas. Este último tipo de datación proporciona la información necesaria para determinar la secuencia cronológica de intervenciones anteriores, lo que permite delimitar y definir diferentes fases constructivas en cada uno de los edificios.

En la cámara Santa se han identificado las pinturas altomedievales y se han diferenciado de las realizadas en épocas posteriores. En Foncalada se ha identificado el mortero original y se ha definido la secuencia de morteros repuestos. En San Salvador de Valdediós, tradicionalmente adscrito a Alfonso III (866-910), se han propuesto fases constructivas anteriores a su reinado, reservándose a este rey solo fases posteriores de la construcción. En Santa Cristina de Lena se ha observado una técnica de ejecución distinta a la de los edificios anteriores y se ha determinado que la evolución de las capillas Este y Norte es diferente. En San Miguel de Lillo se han identificado las pinturas altomedievales, afectadas por numerosos repintes y se ha confirmado su pertenencia al mismo taller que elaboró la decoración pictórica de San Julián de los Prados. Asimismo se han descartado como originales las pinturas del pórtico de San Miguel de Lillo y se ha establecido la secuencia cronoestratigráfica de las pinturas del ábside, el cual ha resultado ser posterior a la fase de reconstrucción de la iglesia, después de su ruina parcial. Se ha identificado un mortero que indica que hubo un ábside anterior al que estamos viendo.

Por último se comparan y se establecen equivalencias entre las técnicas de ejecución empleadas en las cinco edificaciones. En la Cámara Santa, Foncalada y en las fases primitivas de San Salvador de Valdediós, las técnicas son heredadas de la Antigüedad clásica, en San Miguel de Lillo se aprecian técnicas altomedievales, mientras que en Santa Cristina de Lena ya son propiamente medievales.

### RESUMEN (en Inglés)

Lime mortars hold the key of the Architectonic past. They are produced “on-site” and are not further reutilised, therefore providing an exact date of the building construction. This represents an advantage over other building materials. Atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is fixed in the carbonate during the setting of lime mortar making the carbonates from the matrix and the lime lumps perfect for <sup>14</sup>C dating. One of the main problems of this type of mortars is the fossil contamination derived from geologic, biogenic or recrystallization calcite, which can alter radiocarbon dates to older dates in the first and second cases and too recent in the third case. The main goal of this PhD Thesis is to validate a methodology of pre-treatment of the samples to be used for radiocarbon dating with Accelerator Mass Spectroscopy (AMS) to minimise and remove these error sources. This methodology involves a combination of recently developed analytical methods and new procedures derived from the petrophysical examination of the samples. Results from carbonate matrix and/or lime lumps dating have been analysed and compared with those from radiocarbon analysis of samples of wood and vegetable charcoal, with satisfactory, reliable and conclusive outcomes. The methodology implemented in this PhD Thesis has made possible to eliminate the fossil contamination effects and to provide accurate and precise dates. Our dating results have met all the criteria established by the researchers that developed the method of carbonate dating from sequenced CO<sub>2</sub> released during the hydrolysis of carbonates. The mortars used for the analysis in this research came from the Cathedral of Oviedo’s Holy Chamber (Cámara Santa), the Foncalada Fountain (Fuente de Foncalada) and the churches of San Salvador de Valdediós, Santa Cristina de Lena and San Miguel de Lillo. These pre-Romanesque edifices are UNESCO World Heritage sites listed as “Monuments of Oviedo and the Kingdom of the Asturias” and this research has, therefore, contributed to broaden our knowledge about these monuments. The dates obtained from vegetable charcoal and wood were considered inaccurate, because although close to those obtained from the mortars, they are necessarily previous as they mark the age of the wood when it was cut. However, dates derived from carbonates following the methodology developed in this PhD Thesis, mark the date of the preparation of the mortar. Moreover, the fact that dates obtained from charcoals do not overlap with those from mortars indicates that the two series of analysis are correct. This novel procedure has been validated in a mortar from the original construction of San Miguel de Lillo. Using this procedure we have obtained a date that ranges



between the ends of the 9<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> Centuries, with higher probability of the calibrated date being closer to the more recent date. These dates are also consistent with the ascription of San Miguel de Lillo and Santa María del Naranco to Ramiro I (942-950) as the key promoter of the project, although they are extended to forward reigns.

Independently from this absolute dating, the proposed methodology for the analysis of mortars, as well as the stratigraphic analysis of mural paints and its coatings, includes methods for relative dating, which are of great interest to deduce the chronologic sequence of interventions on these monuments and to delimitate different construction phases. Regarding to the Cámara Santa we have identified the early middle ages paints and we have been able to differentiate them from those of later epochs. In Foncalada we have identified the original mortar and defined the sequence of reposition mortars. In San Salvador de Valdediós, traditionally adscript to Alfonso III (866-910), we have proposed construction phases previous to his reign with only the last phases of construction attributed to him. In Santa Cristina de Lena we have observed a building technique very different to that of the previous monuments and defined the evolution of the East and North Chapels. In San Miguel de Lillo we have identified early middle ages paints, affected by numerous over-paintings and we have confirmed that they belong to the same workshop that produced the decorative paints of San Julián de los Prados. Likewise, we have discarded the paints of the portico as being the primitive ones and established a chronostratigraphic sequence of the paints of the apse, which was found to have been built in a later phase than the reconstruction of the church after its partial collapse. We have identified an earlier mortar that indicates that, after the collapse, there was a previous apse, which did not survive to current days.

Finally we have established an equivalence (1) between the construction techniques used in the Cámara Santa, Foncalada and the primitive phases of San Salvador de Valdediós, inherited from the late roman tradition, (2) between San Miguel de Lillo and early middle age techniques and (3) Santa Cristina de Lena with typical Medieval techniques.

SR. DIRECTOR DE DEPARTAMENTO DE \_\_\_\_\_ /  
SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN \_\_\_\_\_



Vicerrectorado de Internacionalización  
y Postgrado  
Universidad de Oviedo





***A Rosa M<sup>a</sup> Eibert***



## ÍNDICE



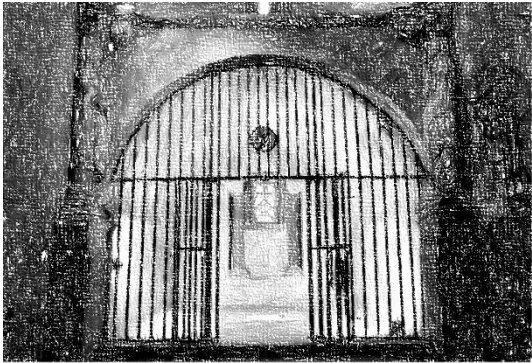


## ÍNDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b>	3
1.1.- Objetivos	7
<b>2.- ANTECEDENTES Y REVISIÓN CRÍTICA</b>	9
2.1.- Morteros de cal en el patrimonio arquitectónico	10
2.2.- Evolución histórica de los morteros	14
2.3.- Pintura mural sobre morteros históricos	22
<b>3. METODOLOGÍA</b>	31
3.1.- Técnicas analíticas y procedimientos de caracterización	31
3.2.- Métodos de datación, técnicas y procedimientos	40
<b>4. EDIFICACIONES Y MATERIALES ESTUDIADOS</b>	59
4.1.- Cámara Santa	62
4.2.- Foncalada	75
4.3.- San Salvador de Valdediós	79
4.4.- Santa Cristina de Lena	87
4.5.- San Miguel de Lillo	94
<b>5.- RESULTADOS</b>	113
5.1.- Cámara Santa	115
5.1.1.- Morteros	116
5.1.2.- Capas pictóricas	140
5.2.- Foncalada	184
5.3.- San Salvador de Valdediós	191
5.3.1.- Datación relativa	191
5.3.2.- Datación absoluta	222
5.4.- Santa Cristina de Lena	225
5.4.1.- Datación relativa	225
5.4.2.- Datación absoluta	243
5.5. San Miguel de Lillo	247
5.5.1.- Datación relativa	247
5.5.2.- Datación absoluta	339
<b>6.- DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>	367
6.1.- Cámara Santa	367
6.2.- Foncalada	383
6.3.- San Salvador de Valdediós	387
6.4.- Santa Cristina de Lena	396
6.5.- San Miguel de Lillo	404
6.6.- Etapas constructivas de los diferentes monumentos	426
<b>7.- CONCLUSIONES</b>	433
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA</b>	435
<b>9.- APÉNDICE</b>	453
<b>10.- ÍNDICE DE TABLAS</b>	467
<b>11.- AGRADECIMIENTOS</b>	471



## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS







## 1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los morteros, empleados como elemento de unión o revestimiento de las fábricas constructivas, así como las capas pictóricas aplicadas o asociadas a los mismos, constituyen un valor documental único sobre el período en que se elaboraron. Ello es debido a que al elaborarse «in situ» no sufren reutilizaciones, como puede ocurrir con el resto de los materiales constructivos, aportando información de carácter petrográfico, arquitectónico, histórico y arqueológico, del momento exacto de su fabricación. Cada mortero puede vincularse a un entorno geológico, en lo que respecta a su composición y responde a una época concreta, en lo que se refiere a su fabricación.

En ese sentido, se estima que el estudio de los morteros constituye una herramienta documental precisa y eficaz en el análisis histórico–arquitectónico y arqueométrico del patrimonio construido (Rodríguez, 2005)<sup>1</sup>. A partir de estos análisis se puede extraer información sobre tipologías, características intrínsecas, técnicas de aplicación y usos de los morteros. Así mismo, el análisis de los morteros aporta datos relativos a la selección, extracción y transporte de materias primas, recursos, dominio y grado de conocimiento de las técnicas constructivas y procesos de ejecución, que finalmente permitirán definir fases, sistemas y épocas constructivas (Cardoso *et al.*, 2012)<sup>2</sup>.

La reutilización de materiales (piedra, ladrillo y madera) ha sido una práctica habitual en las antiguas construcciones. El análisis de estas reutilizaciones, esencialmente de piezas decorativas o litúrgicas, resulta fundamental para conocer la capacidad productiva y tecnológica de los talleres responsables de las obras, así como de los patronos que las financian (Utrero *et al.*, 2012)<sup>3</sup>. Este empleo de piezas antiguas responde a fenómenos ideológicos de recuperación, preservación y apropiación del valor de lo expropiado (Krautheimer, 1969)<sup>4</sup>, aunque también obedecen a carencia de medios en obras precipitadas, a la escasez de recursos (Pensabene, 1989)<sup>5</sup> o a limitaciones tecnológicas. Estos condicionantes no afectan a los morteros, lo que supone una gran ventaja a la hora de abordar su estudio. Es más, aunque los morteros puedan incorporar materiales procedentes de edificaciones anteriores en forma de áridos o agregados, ello supondría un valor añadido que permitiría establecer referencias o correlaciones relativas con otros elementos constructivos, o incluso con los yacimientos o las construcciones de procedencia.

---

<sup>1</sup> Rodríguez Gordillo J. F. (2005). "Morteros como elementos de estudio en Arqueología-Arqueometría Medieval". Arqueometría y Arqueología Medieval, ISBN 84-609-7788-9, 2005, pp. 171-192.

<sup>2</sup> Cardoso I., Macedo M.F., Vermeule F., Cosi C., Santos Silva A., Rosado I, Candeias and Mirao J. (2012). "A multidisciplinary approach to the study of archaeological mortars from the town of Ammaia in the Roman province of Lusitania (Portugal)". Archaeometry 56, I (2014) pp. 1 – 24.

<sup>3</sup> Utrero M<sup>a</sup> A. y Sastre I. (2012). "Reutilizando materiales en las construcciones de los siglos VII – X. ¿Una posibilidad o una necesidad?". Anales de Historia del Arte 2012, Vol. 22, Núm. Especial (II), pp. 309-323.

<sup>4</sup> Krautheimer R. (1969). "Studies in Early Christian, Medieval and Renaissance Art". Londres

<sup>5</sup> Pensabene P. ((1989). "Reimpiego dei marmi antichi nelle chiese altomedievali a Roma" G. BORGHINI (ed.) Marmi antichi, Roma 1989, pp. 55-64.

Esta tesis, trata de establecer una sistematización y metodología de estudio para el análisis de los morteros de cal que aporte nuevos conocimientos y respuestas a cuestiones que actualmente plantean muchos interrogantes, aprovechando líneas de trabajo abiertas por diferentes grupos de investigación, con aplicación directa en el campo de la historia, la arqueología, la arquitectura y la geología.

Los morteros objeto de análisis proceden de la Cámara Santa, Foncalada, San Salvador de Valdediós, Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo, edificios que constituyen un referente artístico y arquitectónico en el patrimonio cultural europeo, incluidos en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, bajo el epígrafe de Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias.

Los proyectos constructivos tardoantiguos (siglos IV-VIII) y altomedievales (siglos V-X) se nutren parcialmente de los excedentes del proceso industrial de explotación de grandes canteras hispano-romanas, puesto en marcha durante los siglos I y III para el desarrollo de ambiciosos programas urbanísticos, sin tener que acudir al sistema de extracción geológica (Fernández Conde *et al.*, 2009<sup>6</sup>). «Estos programas desaparecen en la Antigüedad tardía, acentuándose el final del sistema de canteras naturales durante los siglos IV y V, lo que implica que las construcciones altomedievales suelen estar ligadas a pequeñas canteras locales, abiertas para satisfacer proyectos concretos y geográficamente próximos» (Gutiérrez, 2010<sup>7</sup>), aunque participen de la reutilización de materiales constructivos de edificaciones anteriores. Bajo esta perspectiva, a partir del estudio de los morteros y sus revestimientos asociados será posible interpretar las modificaciones e intervenciones que afectaron a la arquitectura altomedieval, desde su construcción hasta la actualidad, con la incorporación de antiguos y nuevos materiales, más o menos compatibles con los materiales de fábrica.

Esta tesis supondrá una oportunidad para mejorar nuestro conocimiento sobre la arquitectura religiosa y civil del reino de Asturias, ya que los modelos interpretativos sobre la transición de su poblamiento y estructuras económicas entre los tiempos antiguos y medievales son limitados (Gutiérrez, 2008)<sup>8</sup>.

Esta aportación no sólo persigue mejorar nuestro conocimiento sobre la arquitectura altomedieval asturiana, sino conocer la evolución, deterioro y durabilidad de los morteros que han llegado hasta nuestros días para poder establecer estrategias, pautas o mecanismos de mantenimiento y conservación, asumiendo las recomendaciones recogidas en las Cartas Internacionales para la Conservación y Restauración de Monumentos y Sitios (Atenas 1931, Venecia 1964, Burra 1999,

---

<sup>6</sup> Fernández Conde F. J., Gutiérrez González J. A., Fernández Mier M., Suárez Álvarez M<sup>a</sup>. J., Arias Páramo L (2009). "Poderes sociales y políticos en Asturias. Siglos VIII-X", Poder y Simbología en Europa. Territorio, Sociedad y Poder, Anejos 2, Oviedo 2009, pp.11-30.

<sup>7</sup> Gutiérrez J. A. (2010) "Arqueología tardoantigua en Asturias. Una perspectiva de la organización territorial y del poder en los orígenes del reino de Asturias, La Carisa y La Mesa". Causas políticas y militares del origen del Reino de Asturias. Oviedo, 2010, pp. 52-83.

<sup>8</sup> Gutiérrez González, J.A. (2008). "Las villae y la génesis del poblamiento medieval. Las villae romanas en el occidente del imperio". Arquitectura y función. IV Coloquio Internacional de Arqueología, Edic. Trea, Gijón, 2008, pp. 215-238.

Cracovia 2000), las *Cartas del Restauo*<sup>9</sup>, el *Convenio Europeo sobre la Protección del Patrimonio Arqueológico* (La Valeta, 1992) y los criterios de intervención en materiales pétreos<sup>10</sup> (revisado en 2004<sup>11</sup> y posteriormente en 2014<sup>12</sup>).

En esta tesis se pretende abrir nuevas líneas de investigación que permitan definir una metodología sencilla y práctica para el estudio de los morteros y sus recubrimientos pictóricos. Esta nueva sistematización y metodología de investigación constituye un importante avance a la hora de establecer un protocolo de ensayos que contribuya a la datación relativa o absoluta de los morteros tradicionales de cal, de gran utilidad para profesionales que desarrollan su actividad ligada a bienes culturales inmuebles<sup>13</sup>.

La datación de morteros se puede contemplar como una contribución entre científicos y humanistas. Arqueólogos, arquitectos, historiadores, restauradores y gestores de patrimonio formulan interrogantes a los científicos (químicos, físicos, geólogos y biólogos) que necesitan respuesta. En este sentido, esta tesis aporta conocimientos petrológicos o aspectos propios del campo de la geología que puedan contribuir a perfeccionar una metodología de datación en vías de desarrollo.

Cabe señalar que la metodología propuesta se ha aplicado en el ámbito profesional desarrollado por una pyme, bajo una vertiente eminentemente práctica y aplicada. Esto ha permitido: 1) validar la nueva metodología de datación propuesta en esta tesis y 2) aplicar, desarrollar y divulgar el conocimiento científico, técnico y cultural, indispensable para la conservación del patrimonio cultural.

Siguiendo esta línea de trabajo, se pretende además fomentar el acercamiento de la ciencia y tecnología a otras pequeñas y medianas empresas y a profesionales autónomos que ejercen su actividad profesional en un sector laboral, relacionado con los bienes declarados patrimonio cultural.

En definitiva, este estudio puede resultar de interés para la puesta en marcha de una metodología de análisis a desarrollar por los servicios científico-técnicos de universidades, centros de investigación públicos y privados, o laboratorios, que podrá ofertar un servicio integral a profesionales que los demandan y que, actualmente, tienen que recurrir a diferentes laboratorios, algunos extranjeros, para resolver cuestiones analíticas, de extraordinario interés para el desarrollo de su actividad.

---

<sup>9</sup> Carta del restauo de 1932, Carta italiana del Restauo de 1972, Carta de Conservación y Restauración de Objetos de Arte y Cultura de 1987.

<sup>10</sup> Esbert R.Mª y Losada J.Mª. "Intervention criteria in masonry materials". Revista del Instituto de Patrimonio Histórico Español, nº 2, 1993.

<sup>11</sup> Torres I. y Esbert R.Mª (2004) "Jornada sobre criterios de intervención en materiales pétreos (inédito). Coordinadores científicos Luis Torres, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México y Rosa Mª Esbert, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad de Oviedo. México D.F. Centro Cultural de España.

<sup>12</sup> Laborde A., Cirujano C., Alonso F.J., Blanco M., Fort R., Jiménez C., Herráenz J.A., Escudero C., Navarro J.V., Pardo D., Escartín E., García E., Gisbert J., Yanguas N., Bouzas A., Androver I., Baltuille J. M., y Amador R. (2003). "Criteria for working in stone materials. Revision 2013". COREMANS PROYECT: Criteria for working in stone materials. Ed. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones. Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.

<sup>13</sup> Ley 16/1985, art. 14.1. Son considerados bienes inmuebles los que recoge el artículo 334 del Código Civil, y cuantos elementos puedan considerarse consustanciales con los edificios y formen parte de los mismos o de su entorno o lo hayan formado, aunque en el caso de poder ser separados constituyan un todo perfecto de fácil aplicación a otras construcciones o a usos distintos del suyo original.

La tesis se estructura en los siguientes capítulos:

El capítulo dos está dedicado a analizar el estado del conocimiento en el estudio de los morteros, realizando una revisión crítica sobre tipos, componentes y usos de los morteros históricos.

El capítulo tres se centra en abordar las técnicas y métodos de caracterización y datación, valorando las ventajas e inconvenientes en la utilización de unos y otros.

En el capítulo cuatro se presentan los materiales analizados, los edificios de procedencia de las muestras, los antecedentes histórico-constructivos de estas edificaciones y la ubicación de las muestras, así como las técnicas empleadas para la caracterización de los morteros procedentes de la Cámara Santa, Foncalada, San Salvador de Valdediós, Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo, e incluye el análisis petrográfico y estratigráfico de la pintura mural y la datación relativa de estos materiales.

En el capítulo cinco se presentan los resultados obtenidos en relación a la datación relativa y absoluta de los morteros y capas pictóricas. Respecto a las dataciones absolutas, se comparan e interpretan los resultados obtenidos por métodos convencionales (dataciones de carbono 14 a partir de muestras orgánicas) y por nuevos métodos de reciente desarrollo (dataciones de carbono 14 a partir de muestras inorgánicas: el carbonato de la fase conglomerante y los nódulos de cal).

En el capítulo seis se hace una discusión de los resultados obtenidos, dentro de cada edificio y se establece una comparativa entre los morteros y capas pictóricas de las diferentes edificaciones objeto de estudio. Estos datos permitirán evaluar la idoneidad de los diferentes métodos de análisis abordados, así como establecer una cronología relativa y absoluta de las muestras analizadas, definiendo fases o épocas constructivas, para finalizar en el capítulo siete con las conclusiones de la tesis.

Finalmente, en el apéndice se recoge la evolución metodológica del desarrollo de los procedimientos empleados en la datación absoluta de los morteros cal.

## **1.1.- OBJETIVOS**

El objetivo de la tesis es establecer una nueva metodología práctica para la datación de morteros históricos, basada en una combinación de dataciones relativas y absolutas.

### **Objetivos generales**

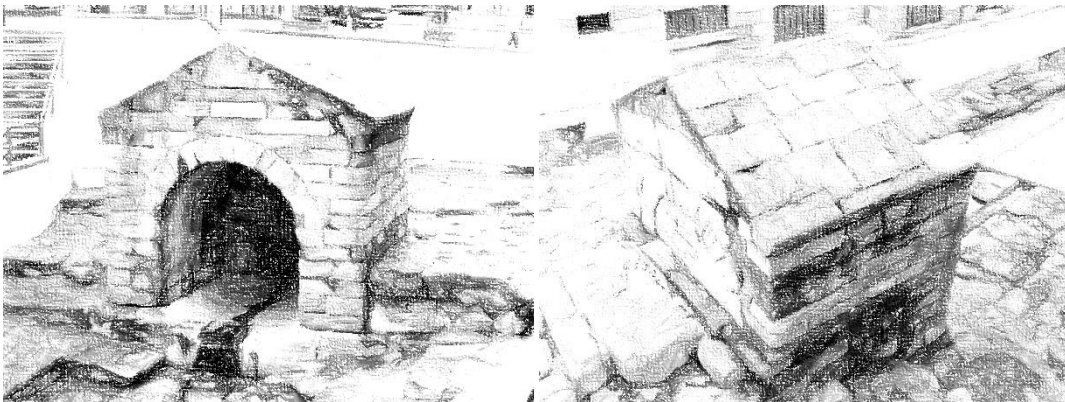
1. Abrir nuevas líneas de investigación en el ámbito de la arqueología, la arquitectura, la restauración y la conservación, mediante la incorporación de estudios de caracterización de materiales, empleados en el campo de la geología.
2. Establecer un protocolo de análisis y ensayos específicos, para la datación de materiales históricos (morteros tradicionales de cal, pinturas, cerámicos etc.).
3. Fomentar la divulgación de la ciencia, tecnología e innovación, en el ámbito profesional del estudio y conservación del patrimonio cultural.

### **Objetivos específicos**

- a) Conocer las características, la evolución y durabilidad de los morteros y capas pictóricas para:
  - Interpretar las causas y mecanismos de deterioro
  - Establecer mecanismos de intervención, mantenimiento y conservación.
- b) Constatar la validez de los métodos de análisis con Carbono 14 para la datación absoluta de morteros de cal y comparar la fiabilidad de los diferentes procedimientos
- c) Perfeccionar el pretratamiento de las muestras para su datación, combinando protocolos experimentales e incorporando análisis petrológicos. Se tratará de reducir los errores derivados de los problemas generados por la contaminación fósil de los morteros de cal.
- d) Proporcionar a los laboratorios de análisis, propios y de los centros de investigación, una metodología experimental adecuada para la datación de los morteros.
- e) Profundizar en el estudio de los morteros y la pintura mural de la arquitectura altomedieval asturiana.
- f) Avanzar en el conocimiento de la Alta Edad Media; de los modelos y técnicas constructivas, desarrolladas bajo el patrocinio de los monarcas asturianos.



## ANTECEDENTES Y REVISIÓN CRÍTICA







## **2.- ANTECEDENTES Y REVISIÓN CRÍTICA**

El término mortero corresponde a la «argamasa de cal, arena y otros materiales, empleada como elemento de unión entre las piedras o los ladrillos en la construcción que sirve de base a un recubrimiento exterior o interior» (Calvo, 1997)<sup>14</sup>. Un mortero «es un material tradicionalmente compuesto de uno o más conglomerantes inorgánicos, agregados, agua, aditivos y adiciones, mezclados para formar una pasta usada en mampostería que proporciona un lecho, junta y trabazón de las unidades de la misma» (prEN 16572:2013, (AENOR))<sup>15</sup>. El diccionario de la RAE en su 4ª acepción (m. Constr.) define el mortero como un conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante y agua, que puede contener además algún aditivo.

Independientemente de su definición, los constituyentes esenciales para la elaboración de un mortero son tres: el conglomerante, matriz o fase ligante, los áridos o agregados y el agua.

El comité europeo de normalización (CEN) ha elaborado en 2014, una propuesta de traducción de términos técnicos sobre morteros de mampostería, revocos y enlucidos utilizados en patrimonio cultural, alguno de los cuales se presenta a continuación:

- Conglomerante: material con propiedades adhesivas y cohesivas capaz de conglomerar los agregados en una masa coherente.
- Matriz: parte del mortero endurecido, que consta de un conglomerante o de conglomerantes y materiales de granulometría muy fina. Es el material conglomerante entre las partículas de agregados.
- Árido: partículas (algunas veces) de roca triturada de forma natural o artificial, con una selección de tamaño de partículas, usado en el mortero (véase también arena).
- Aditivo: constituyente generalmente añadido hasta 1% en peso, respecto al conglomerante para mejorar su fabricación o propiedades (por ejemplo aceleradores, plastificantes y agentes aireantes)

También se incluyen en esta norma términos relacionados con las aplicaciones funcionales del mortero, tales como: mortero de agarre, mortero de rehundir, mortero de reparación, mortero de restauración, enlucido, revoco y estuco.

El conglomerante constituye la fase de unión del mortero y en los morteros tradicionales puede ser de barro, arcillas, yeso, cal o una mezcla de ambos. En la antigua Mesopotamia el barro se mezclaba con materiales bituminosos. En los morteros hidráulicos no tradicionales, el cemento

---

<sup>14</sup> Calvo A. (1997). "Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z. Ediciones del Serbal 1997. p. 147.

<sup>15</sup> prEN 16572:2014. Conservación del patrimonio cultural – Glosario de términos técnicos sobre morteros de mampostería, revocos y enlucidos utilizados en patrimonio cultural (CEN/TC 346), Traducción de los términos y definiciones para proponer que se incluyan los términos en español. SC 8/CTN 41 AENOR.

pórtland es el conglomerante por excelencia. El desarrollo industrial ha permitido la elaboración de morteros mixtos a base de ligantes hidráulicos (cementos), resinas y polímeros, cuyo uso está actualmente muy extendido.

Los morteros estudiados corresponden a morteros de cal ya que han sido los más frecuentemente usados desde la antigüedad y más concretamente en la arquitectura altomedieval asturiana, objeto de análisis en esta tesis.

## **2.1.- MORTEROS DE CAL EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO**

### ***Conglomerante: La cal***

El conglomerante contribuye de forma activa al endurecimiento del mortero. Ciñéndonos a los morteros de cal, por ser los mayoritariamente usados en el patrimonio arquitectónico, la primera consideración a tener en cuenta es que la cal puede ser de dos tipos: aérea o hidráulica. La primera se obtiene a partir de calcinación de calizas cálcicas o cálcico-magnésicas con contenidos en arcillas inferiores al 6%; la segunda, a partir de calizas mezcladas con arcillas a altas temperaturas (1000–1300 °C), o de calizas que contienen un 20% de sílice y/o alúmina. A 900 °C se forman compuestos puzolánicos por descomposición de los carbonatos y las arcillas y a 1000 °C se forman silicatos, aluminatos cálcicos y clinker (Cazalla, 2003)<sup>16</sup>. Los morteros de cal aérea tienen un endurecimiento lento, con una importante retracción de volumen; los de cal hidráulica fraguan rápidamente al aire o en presencia de agua, debido a la formación de silicatos cálcicos.

La cal cuya proporción de magnesio (MgO) es superior al 5% se denomina dolomítica o cal magra y es de color grisáceo. Si esta proporción es inferior se denomina cal grasa y es de color blanco. La primera es más adecuada para trabajos toscos y asentado de fábricas; la segunda para revocos, blanqueos y acabados (Cazalla, 2003). En función del contenido en agua, la cal puede suministrarse en forma de polvo o en pasta. En este último caso, a la cal, durante su hidratación, se le añade un exceso de agua o bien, la cal, previamente apagada, se mezcla con agua.

La cal empleada en la elaboración de los morteros y obtenida por calcinación de rocas calizas se denomina cal viva (CaO), la cual al extinguirla posteriormente con agua, produce una reacción exotérmica pasando a cal muerta o hidratada [Ca(OH)<sub>2</sub>]. A partir de este hidróxido y absorbiendo CO<sub>2</sub> atmosférico, se produce el fraguado del mortero con la consiguiente incorporación de carbono atmosférico, dando lugar finalmente a un carbonato cálcico (CO<sub>3</sub>Ca), denominado calcita (Alonso *et al.*, 2010)<sup>17</sup> (Quirós *et al.*, 2011)<sup>18</sup> (Fig. 2.1).

---

<sup>16</sup> Cazalla O. (2003). "Morteros de cal. Aplicaciones en el patrimonio histórico" Tesis doctoral, Universidad de Granada, 242 p.

<sup>17</sup> Alonso F.J., Requejo O., Fernández – Crespo M. y Carrizo L. (2010). "Caracterización petrográfica de morteros del conjunto medieval de la ciudad de Oviedo". Trabajos de geología. Universidad de Oviedo 30: 337 – 349, p. 338.

La calcinación se produce en varias etapas: a 110 °C se pierde la humedad de cantera, a 700 °C se descomponen las arcillas y a 800 – 1200 °C se produce la disociación de la calcita (Adams *et al.*, 1992)<sup>19</sup>, por ello las temperaturas para la calcinación de calizas puras se sitúan entre 800 y 1200 °C y para calizas impuras o dolomías entre 700 y 800 °C, siendo la calcinación más rápida a menor tamaño de partículas (Boynton, 1984)<sup>20</sup>. Durante el proceso, algunas partículas no completan la calcinación, otras se calcinan completamente y otras rebasan el punto de calcinación. En el primer caso aumenta la densidad, la porosidad y la reactividad química en el mortero con la consiguiente disminución de retracción; en el segundo disminuye la densidad aparente y aumenta la reactividad al agua y en el tercero aumenta la densidad, disminuye la porosidad y la reactividad de la cal viva con el agua (Cazalla, 2003).

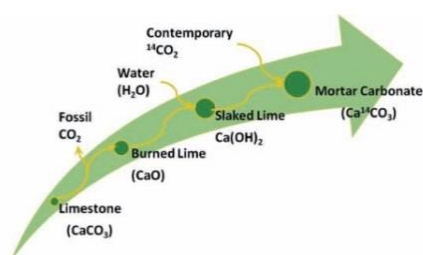


Figura 2.1. – Esquema del ciclo de los carbonatos implicados en la elaboración de un mortero. (Tomado de Quirós *et al.*, 2011).

El agua necesaria para el correcto apagado de la cal puede calcularse mediante pesada. Para ello se registra el peso de la cal viva, la cual se sumerge en exceso de agua hasta que se produzca una pasta. Eliminada el agua restante se vuelve a pesar la pasta y por diferencia de peso se calcula la cantidad de agua necesaria para el apagado de la cal (Gárate, 2002)<sup>21</sup>. El apagado puede hacerse por fusión en agua, inmersión o aspersion. La velocidad con la que se produce la hidratación de la cal depende de varios factores, entre los que se incluye: la composición de la cal viva, la pureza de la cal, el tamaño de las partículas de cal, la temperatura y el tiempo de hidratación, el contenido en agua, la agitación de la mezcla y la presencia de coloides (Adams, 1927<sup>22</sup>; Whitman y Davis 1926<sup>23</sup>).

La cal calcítica se hidrata más rápidamente que la magnésica, las impurezas inhiben el grado de hidratación, disminuyendo la absorción de agua (Adams *et al.*, 1992). A menor tamaño de partícula, temperaturas más elevadas, o mayor agitación de la mezcla se acelera el proceso de hidratación (Boynton, 1980)<sup>24</sup>. Este proceso no conviene que sea excesivamente rápido, para evitar la formación de caliches en el interior del mortero. La cal magnésica es menos porosa, proporciona mayor dureza al mortero y es menos soluble que la calcítica, por lo tanto es más estable en ambientes salinos.

<sup>18</sup> Quirós J. A., Marzaioli F. y Lubritto C. (2011). "Dating mortars: three medieval Spanish architectures" *Arqueología de la Arquitectura*, 8 enero-diciembre 2011, p. 14.

<sup>19</sup> Adams, F.W. (1992). "Thermal analysis (TA) of lime and gypsum based medieval mortars". *Thermochemica Acta*, 211, pp. 93-106.

<sup>20</sup> Boynton R.S. (1984). "Lime and limestone". Vol. 14. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed., pp. 343-382.

<sup>21</sup> Garate Rojas I. (2002) "Artes de la cal". Instituto Español de Arquitectura – MRRP – Universidad de Alcalá, Editorial Munilla-Lería, 415 p.

<sup>22</sup> Adams, F.W. (1927). "Effect of particle size on the hydration of lime. *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 19, N° 5, pp. 589-591.

<sup>23</sup> Whitman W.G. y Davis G.H.B. (1926). "The hydration of lime. *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 18, N° 2, pp. 118-120.

<sup>24</sup> Boynton R.S. (1980). "Chemistry and technology of lime and limestone. Chapter seven and nine, 2 edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.

## **El agua**

El agua es el agente plastificante, permite homogenizar la muestra y sirve de vehículo para las transformaciones químicas y mineralógicas que se producen durante el fraguado. Normalmente se emplea en proporciones del 15 – 20%, dependiendo del clima o de la función del mortero. Los morteros de relleno se elaboran con menor cantidad de agua que los de mampostería o enlucido (Rodríguez, 2005)<sup>25</sup>. Los excesos de agua producen mayor retracción durante el fraguado, mayor porosidad y menor resistencia. En lo que respecta a la temperatura del agua, por encima de 30°C se acelera el fraguado y por debajo de 7°C se retrasa.

## **El árido**

Los áridos son materiales inorgánicos, fundamentalmente fragmentos pétreos, procedentes del machaqueo o producto de la meteorización y transporte de las rocas. Varían en granulometría, normalmente con tamaño arena y/o canto (0,075 y 5 mm) en el caso de los morteros y con tamaño canto o bloque (> 5 mm) en el caso de los hormigones.

La morfología y composición del árido varía en relación al origen geológico del material pétreo de partida y a los procesos geológicos por los que éste se ha visto afectado. También se pueden incorporar como áridos materiales constructivos manufacturados cerámicos, maderas, carbón vegetal o semillas. El árido no contribuye al endurecimiento del mortero pero proporciona volumen, carga y color. Controla la retracción durante el secado, lo que determina la textura, porosidad, distribución porométrica, compacidad y plasticidad del mortero, condicionada esencialmente por la granulometría y morfología de los granos minerales. En este sentido, los áridos de mina son adecuados por su morfología angulosa pero suelen contener arcillas; los de río están más libres de arcillas pero son más redondeados y los de playa, también redondeados, son más finos que los de río, pero pueden contener sales alcalinas que condicionen su durabilidad. Es fundamental, por tanto que si se utiliza arena de playa, ésta esté bien lavada.

En lo que se refiere al tamaño del árido es preferible la mezcla de gruesos y finos para que los últimos rellenen los huecos dejados por los primeros, favoreciendo el empaquetamiento y reduciendo el volumen total de huecos un 35-37% (Gárate, 2002). La superficie total de los granos minerales es inversamente proporcional a su diámetro, por lo que granulometrías menores, requieren de mayor cantidad de aglomerante, aunque contenidos muy elevados de finos disminuyen la resistencia y elevan la permeabilidad y la aparición de fisuras. Con una proporción de fracción gruesa–fina de árido de 1,5:1 se obtiene una buena resistencia mecánica con un menor consumo de aglomerante. Ingmar Holmstram recomienda sustituir un 30 % de la arena por dolomita triturada, para favorecer el fraguado y el endurecimiento del mortero (Gárate, 2002). Las dolomías

---

<sup>25</sup> Rodríguez Gordillo J.F. (2005). "Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval" *Arqueometría y Arqueología Medieval*, ISBN 84-609-7788-9, 2005, pp. 171-192.

proporcionan partículas irregulares, con superficies rugosas que mejoran la adherencia, aunque hay autores que advierten que la presencia de áridos dolomíticos en soluciones salinas, pueden producir reacciones álcali-carbonato, formando silicato magnésico y debilitando la unión conglomerante-árido (Soriano, 1991)<sup>26</sup>.

El tamaño de los espacios vacíos, es un factor condicionante en la durabilidad del mortero. La mayor proporción de poros de pequeño tamaño, aumenta la superficie específica y la capacidad de absorción de agua por succión capilar, lo que hace al mortero más susceptible al deterioro. Otro factor a tener en cuenta es la conectividad o comunicación entre los espacios vacíos.

Composicionalmente, los mejores áridos son los que proceden de materiales poco porosos, inertes y estables química y texturalmente, y los que presentan morfologías angulosas que mejoran e incrementan la adherencia intrapartícula.

La arcilla aumenta la maniobrabilidad del mortero, pero reduce la adherencia al conglomerante y favorece la retracción excesiva por lo que su proporción no debe superar el 5 % en peso del árido (Gárate Rojas, 2002). Las micas disminuyen la resistencia mecánica por las diferentes orientaciones de las exfoliaciones basales, los óxidos de hierro producen aumentos de volumen y tinciones, los sulfuros se pueden transformar en sulfatos expansivos y los feldespatos pueden generar reacciones adversas con el hidróxido de calcio.

### **Los aditivos**

Los aditivos de uso tradicional han sido: leche (caseína), albúmina de huevo, cola animal, ceras, grasas, aceites, sangre, pelos o tejidos animales, huesos, paja, madera, semillas (Sickels, 1981)<sup>27</sup>, tejo o ladrillo triturado, polvo volcánico, arcilla cocida, etc.

La función de los aditivos es muy específica; por ejemplo la adición de materiales cerámicos y fragmentos de carbón proporciona hidraulicidad al mortero, facilitando el fraguado y endurecimiento en presencia de agua, haciéndolos más permeables al aire, lo que también favorece la carbonatación. La presencia de ceras, grasas y aceites proporcionan capacidad hidrorrepelente y mejora la elasticidad del mortero y por tanto su porosidad (Gárate, 2002). Los azúcares son retardadores del fraguado, la cerveza y orines son oclusores del aire, aumentando la ligereza y porosidad del mortero.

El empleo de cerveza, vinos jóvenes y azúcar aceleraban el proceso de carbonatación al favorecer la producción de CO<sub>2</sub>, ligada a la fermentación alcohólica (Gárate, 2002). El alumbre de potasa fue

---

<sup>26</sup> Soriano Carrillo J. (1991). "Materias primas para conglomerantes hidráulicos". IV Congreso de Geoquímica de España. Soria, Sección 6.3, pp. 479-492.

<sup>27</sup> Sickels L. B. (1981) "Organic Aditives in Mortars". Edinburgh Architec Res, vol 8, pp. 7 – 20

usado como fijativo de pigmentos, es además endurecedor y protege del fuego a las maderas (Gárate, 2002).

Existen por tanto, innumerables factores que condicionan la adecuación, idoneidad y durabilidad de los morteros, por lo que resulta fundamental la correcta selección del conglomerante, del árido, del agua y de los posibles aditivos, así como de la dosificación de la mezcla. En lo que se refiere a la composición y dosificación, deberían de responder a la función del mortero y a la resistencia deseada que, a su vez, refleja el grado de conocimiento técnico del constructor. En este sentido ya Vitrubio<sup>28</sup>, en su libro II, capítulo V, hace referencia a la preparación de morteros y a la importancia en la selección de la materia prima en el control de los mecanismos y técnicas de aplicación, con las consiguientes recomendaciones de dosificación: 1 parte de cal y 3 partes de arena, cuando se trata de árido procedente de cantera, y 1 parte de cal y 2 de arena, cuando el árido es de río o de mar. En este último caso indica que cuando la arena es de río o de mar, si se añade una tercera parte de polvos cernidos de ladrillo cocido, la mezcla tendrá mayor calidad.

## **2.2.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS MORTEROS**

El origen de los morteros está estrechamente ligado al descubrimiento de la cal y el yeso (Malinoski, 1981)<sup>29</sup> y su evolución a las distintas manifestaciones constructivas y artísticas<sup>30</sup>. El hombre comienza a usar el fuego para calentarse en cuevas de rocas calizas o prepara su comida en hogares de ese mismo material (Álvarez Galindo, *et al.*1995<sup>31</sup>), descubriendo la capacidad ligante de la caliza calcinada, en contacto con el agua.

Los morteros se conocen desde la antigüedad y han evolucionado en función de la disponibilidad de materias primas, de los recursos productivos y tecnológicos y de las demandas constructivas y artísticas. La elaboración de un mortero comienza con la selección del material, su extracción, transporte, fabricación y puesta en obra, independientemente de que sus constituyentes procedan de cantera, del río, del mar o que provengan de la reutilización de materiales. Para que se abran canteras, no solo deben de existir construcciones, sino que es necesaria la presencia de una mano especializada (Caballero *et al.*, 2012)<sup>32</sup> (Rockwell, 1992)<sup>33</sup>. Los morteros han ido evolucionando en función de las demandas y los conocimientos técnicos.

---

<sup>28</sup> Vitrubio Polion M (1787). "Los diez libros de la arquitectura", traducido y comentado por D. José Ortiz y Sanz, Madrid, Imprenta Real, año 1787.

<sup>29</sup> Malinoswki, R. (1981). "Ancient mortars and concretes, durability aspects". Mortars, cements and grout used in Conservation of Historic Buildings. Proceeding of the Symposium, ICCROM, Rome 1981, pp. 341-350.

<sup>30</sup> Furlan V. y Bissegger P. (1975). "Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifiques". Revue suisse d'arte et d'Atchéologie, vol.32, pp. 2-14.

<sup>31</sup> Álvarez Galindo J.I., Martín Pérez A. y García Casado P.J. (1995). "Historia de los morteros. Materiales y Técnicas". Revista Instituto Andaluz de Patrimonio Histórica 1995 IAPH nº 13 pp. 52-59.

<sup>32</sup> Caballero L., Mateos P. y García de Castro C. (2012). "Asturias entre visigodos y mozárabes", VI Visigodos y Omeyas, Madrid 2010, Anejos de AEspA.LXIII, Madrid 2012, pp. 125-145.

<sup>33</sup> Rockwell, P. (1992). "Lavore la pietra. Manuale per l'archeologo, lo storico dell'arte e il restauratore, Roma 1992 (1ª Ed., 1989), 202 p.

Cronológicamente, los morteros pueden clasificarse en:

- Morteros prehistóricos
- Morteros egipcios
- Morteros griegos
- Morteros romanos
- Morteros medievales
- Morteros del Renacimiento y Barroco
- Morteros modernos y actuales

### **Morteros prehistóricos**

Hay pocos datos de los morteros neolíticos pero algunos autores informan que los morteros de esa época se elaboraban a base de piedra calcinada, piedra apagada y agua en baja proporción (Mas i Barberá, 2006)<sup>34</sup>. Se han encontrado monumentos megalíticos cementados a base de arcillas de gran dureza a las que se añadía agua para su manipulación (Sersale, 1991)<sup>35</sup>. También se han descubierto suelos de cal pertenecientes al 3<sup>er</sup> y 4<sup>o</sup> milenio a.C., en casas excavadas en Turkmenistan por arqueólogos rusos (Gárate, 2002<sup>36</sup>) y en las figuras de terracota de los guerreros de la Dinastía Qin, descubiertos en el mausoleo de Qin Shi Huang y datadas en 210-209 a. C., se han detectado cales pigmentadas en las policromías (Gárate, 2002).

Los hallazgos hechos en las excavaciones practicadas en la ciudad de Jericó revelaron la presencia de cráneos recubiertos de yeso, datados en 7.000 a.C. (Kenyon, 1981-1982<sup>37</sup> y Malonowski, 1981<sup>38</sup>) e incluso se han descubierto morteros en pavimentos de Turquía del 8.000-10.000 a.C. (Reller et al, 1992)<sup>39</sup>.

### **Morteros egipcios**

Los egipcios fueron los primeros en utilizar yeso hemihidratado, obtenido a temperaturas de 120°C para unir bloques, como en el caso de la pirámide de Kheops, datada en el 2.600 a.C. (Furlan y

---

<sup>34</sup> Mas i Barberá X. (2006). "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Tesis doctoral. Facultat de Belles Arts de Sant Carles, Departament de Conservació i Restauració de Béns Culturals. Universitat Politècnica de València, 2006 p. 366.

<sup>35</sup> Sersale R. (1991). "Lime. The first in time among the justly named binding material". *Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche*, vol 40. Napoli. pp 257-275.

<sup>36</sup> Gárate Rojas I. (2002). "Artes de la cal" Instituto Español de Arquitectura - MRRP – Universidad de Alcalá. p. 415.

<sup>37</sup> Kenyon (1981) en Mas i Barberá X. (2006). "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Tesis doctoral. Facultat de Belles Arts de Sant Carles, Departament de Conservació i Restauració de Béns Culturals. Universitat Politècnica de València, 2006

<sup>38</sup> Malinowski R. (1981). "Ancient mortars and concretes, durability aspects". *Mortars, Cements and grouts used in conservation of Historic Buildings, Proceeding of the symposium. ICCROM. Rome*, pp. 341-350.

<sup>39</sup> Reller A, Wilde P., Widemann H., Hauptmann H. y Bonani G. (1992). "Comparative studies of ancient mortars from Giza, Egypt and Nevali Cori, Turkey". *Material Research Society, Symp. Proc.* 267, pp. 1007-1011.

Bissengger, 1975)<sup>40</sup>. Estos hechos evidencian que los egipcios fabricaban materiales conglomerantes (yesos y cales aéreas) que usaban para reforzar los aparejos de piedra y ladrillos, y revestían y decoraban sus fábricas (Torres Balbás, 1955)<sup>41</sup>. Prácticamente no se usaban morteros de cal entre el período de 2.000 y 4.000 a.C. porque la madera, como fuente de energía necesaria para la calcinación, era un recurso escaso (Martinet *et al*, 1992)<sup>42</sup>. Este mismo autor constata las diferentes utilidades dadas al yeso como yesos de colocación, yesos de acabado y yesos de decoración (Álvarez Galindo *et al.*, 1995). En el primer caso, el yeso se empleaba como lubricante para facilitar el deslizamiento de grandes bloques de piedra; en el segundo, se usaba para el taponado de las irregularidades superficiales de juntas de acabado o de enlucido de decoración, y en el tercero, como base de preparación para la decoración pictórica sobre el gres.

Nuevas teorías plantean la construcción de pirámides mediante piedras sintéticas; bloques de calizas arcillosas (90-95%) y cemento (5-10%), aunque generalmente usaban caliza triturada mezclada con agua, material arcilloso y sal egipcia (carbonato sódico). Esta mezcla produce transformaciones químicas similares a la de formación de una roca natural.

### **Morteros griegos**

Los griegos son los primeros en usar la cal propiamente dicha, heredando de los fenicios la tradición de morteros con cal calcinada y arena volcánica (Watkins, 1983).

Una de las finalidades de los morteros era revestir muros, costumbre que comienzan a finales del siglo II – siglo I a.C. En esta época se recurre con profusión al pulimento de los estucos, al igual que el de los morteros de revestimiento (Furlan y Bissengger, 1975)<sup>43</sup>.

Vitrubio hace referencia en sus libros a las antiguas técnicas griegas, lo que demuestra el grado técnico alcanzado por los griegos en la elaboración de morteros, indica dosificaciones de 2 de cal 3 de arena o 2 de cal 5 de arena, con la aplicación del mortero en varias capas (de 3 a 6). Los morteros helénicos están hechos a base de cal y arena fina; los estucos a base de cal, yeso y polvo de mármol y, según las necesidades, se añadían aditivos para hacer los morteros más duros y estables (Álvarez Galindo *et al.*, 1995).

En Thera se introdujo la cal mezclada con arena, procedente del polvo volcánico de la *tierra de Santorín* que proporcionaba morteros resistentes al agua (Gárate, 2002). Conocidas estas propiedades hidráulicas, a falta de roca volcánica, se usaba teja o ladrillo picado.

---

<sup>40</sup> Furlan V. y Bissengger P. (1975) "Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifiques". *Revue suisse d'Art et d'Atcheologie*. Vol 32, pp. 2-4

<sup>41</sup> Torres Balbás L. (1955) "Precedentes de la Decoración Hispanomusulmana". En *Crónica Arqueológica de la España Musulmana*. XXXVII. Al-Andalus, 407-435, 1955.

<sup>42</sup> Martinet G., Deloye F.X., Golvin J.C. (1992) "Caractérisation des mortiers pharaoniques du temple d'Amon a Karnak" *Bull.liaison Labo. Pet. Cb. Sept-oct 1992*; 181:19-45.

<sup>43</sup> Furlan V. y Bissengger P. (1975) "Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifiques". *Revue suisse d'Art et d'Atcheologie*. Vol 32, pp. 2-4.



Ignacio Gárate, en su libro sobre los usos de la cal, también hace referencia a las pinturas murales desarrolladas en la India. En ellas se han identificado varias capas, al menos una gruesa o *arriccio* y otra fina o *intonaco*. En ambos morteros se usaba la cal, mezclada con arcillas, paja, fibras vegetales, pelo animal, conchas, ladrillo, etc. La capa pictórica sobre estos morteros siempre se aplicaba a la témpera sobre una preparación seca, aunque en la zona de Rajasthan existe una forma particular de pintura mural que todavía se conserva, denominada *fresco lustro*, caracterizada por 3 capas de preparación, la última aplicada en 2 o 3 manos, a base de finas capas de cal pulidas con una piedra, sobre la que finalmente se aplicaba la pintura con goma o pegamento. Existen referencias en el libro de Enoc, sobre los pulimentos a la piedra y el pintado de las casas (Gárate, 2002).

Cabe hacer un inciso en lo que respecta a la acepción genérica de los términos: revoco (enfoscado y enlucido) y estuco. Antiguamente se entendía por revoco «la capa o mezcla del cal y arena, u otro material análogo con el que se enlucen los muros» y por estuco «la pasta de cal apagada y mármol pulverizado o alabastro, con la que se cubren o enlucen las paredes, antes de ser pintadas» (Calvo, 1997)<sup>44</sup> o «mezcla de cal, yeso y arena de mármol molido con una temperatura tal que no se pega a la ropa y queda tan lustroso en la pared que aparece alabastro con pulimento» (De Cobarrubias, 1611)<sup>45</sup>. Actualmente la acepción ha variado ligeramente, la composición del mortero ya no es determinante para definir el término, pero si lo es su uso o destino. Así, según CEN/TN: el enlucido es una «mezcla de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y algunas adiciones, usada como un recubrimiento sobre las superficies internas, tales como techos, paredes, y tabiques»; el revoco es una «mezcla de uno o más conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y algunas adiciones usado como un recubrimiento sobre las superficies externas de la mampostería» y el estuco es el «enlucido utilizado para preparar molduras decorativas de edificios»(prEN 16572:2014)<sup>46</sup>.

## **Morteros romanos**

Los romanos heredan la tradición de elaboración de morteros de los griegos pero la mejoran en cuanto a procedimientos de fabricación de la cal, técnicas de aplicación, pulimento, aplicación en multicapa e incorporación de aditivos (caseína, albúmina, urea y aceites) (Sickels, 1981)<sup>47</sup>. Introducen la aplicación del mortero en multicapas para favorecer el endurecimiento de cada una de ellas. Los estudios de Malinowski en el acueducto de Cesarea, durante 1979 y 1982<sup>48</sup>, ponen de manifiesto la presencia de una alternancia de capas ligeramente grisáceas con cenizas, blancas con

---

<sup>44</sup> Calvo A. (1997). "Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z. Ediciones del Serbal 1997. p. 147.

<sup>45</sup> De Cobarrubias S. (1611). "Tesoro de la lengua castellana y española" en Gárate, Gárate Rojas I. (2002). "Artes de la cal" Instituto Español de Arquitectura - MRRP – Universidad de Alcalá. p. 196.

<sup>46</sup> prEN 16572:2013. Conservación del patrimonio cultural – Glosario de términos técnicos sobre morteros de mampostería, revocos y enlucidos utilizados en patrimonio cultural (CEN/TC 346). Traducción de los términos y definiciones para proponer que se incluyan los términos en español. SC 8/CTN 41 AENOR.

<sup>47</sup> Silkels L.B. (1981). "Organic vb. Synthetics: their use as additives in mortars". Mortars Cements and Grouts used in Construction for Historic Buildings, Proceedings of the Symposium, ICCROM, Rome, pp. 25-52.

<sup>48</sup> Malinoswki R. (1982). "Ancient mortars and concretes: Apects of their durability". Histoire of Technology 7th Annual Volume, Marsell UK. 1982:89-101.

polvo de mármol y rojas puzolánicas, que previenen de la contracción, aseguran el endurecimiento en agua, la impermeabilidad y su consistencia.

Una de las antiguas citas del *Opus caementicium* (del latín *caementum*) es de Catón (siglo II a.C.) donde se describe la construcción *ex calce et caementis* (Gárate, 2002). Este mismo autor asegura que aunque se desconoce la fecha en la que se introducen los morteros de cal, en los siglos II y I a.C. su uso era generalizado, supliendo al *opus quadratum* (gruesos bloques colocados sin mortero) y el *opus latericium* (mampostería de ladrillo grueso) y el *later crudus* (ladrillos secados) (Mingarro, 1996)<sup>49</sup>.

Vitrubio es el que aporta más información sobre los morteros de cal y recomienda superponer 3 capas de mortero y 3 capas de estuco de mármol, cuyos grosores variaban de 5 a 8 cm. Estos estucos eran decorados al fresco, con pigmentos diluidos en aguas de cal sobre el mortero todavía fresco. Normalmente estas aplicaciones se realizaban en tajos o tareas y algunas veces se retocaba en seco, sobre los paramentos ya fraguados, con témperas. Los dibujos se hacían generalmente con incisión, se rellenaban los fondos y posteriormente se pintaba encima.

Entre la tipologías de revocos romanos se encuentran el *opus tectorium o arenatum*, el *opus marmoratum* y el *opus figlinum* (Marta, 1990)<sup>50</sup>. El primero compuesto por cal y arena con la capa superior muy blanca para recibir la pintura al fresco; el segundo, por cal y polvo de mármol, y el tercero, por ladrillos o teja, posteriormente revocado.

La calidad de los morteros romanos se debe al cuidado con el que se elegían y mezclaban sus elementos constitutivos (Álvarez Galindo *et al.*, 1995)<sup>51</sup>, mejorando los procesos de fabricación y las técnicas de aplicación.

## **Morteros medievales**

Con la caída del imperio romano no se aprecia ningún progreso técnico en la elaboración de los morteros de cal, existiendo una gran variabilidad de un lugar geográfico a otro, perdiéndose la evolución conjunta de la técnica (Stewart *et al.*, 1988)<sup>52</sup>. Las construcciones de esta época, además sufren destrucciones y saqueos continuos, a causa de las grandes invasiones, teniendo en cuenta además que era común el empleo de materiales combustibles, poco resistentes (Cazalla, 2003)<sup>53</sup>.

---

<sup>49</sup> Mingarro F. (1996). "Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico" Editorial Complutense, 1996 - 505 páginas, p. 181.

<sup>50</sup> Marta R. (1990). "Architettura romana: Tecniche costruttive e forme architettoniche del mondo roman". Ed Kappa, Roma 86

<sup>51</sup> Álvarez Galindo J.I., Martín Pérez A., García Casado P-J. (1995). "Historia de los morteros". Materiales y Técnicas, Revista ph -iaph. Nº 13 pp. 52-59.

<sup>52</sup> Stewart J., Glover R., Holmes S., Proudfoot T. and Seeley N. (2000). "Traditional lime-mortar formulations at the national trust". Journal of Field Archaeology. Vol. 15 nº 2, pp. 1-38.

<sup>53</sup> Cazalla Vázquez O. (2003). "Morteros de cal. Aplicaciones en el Patrimonio Histórico". Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada, 242 p.

Al margen de las variaciones regionales, «los constructores medievales siguieron usando los mismos ingredientes empleados por los romanos, pero con una selección de materiales menos cuidada y una técnica de aplicación menos depurada» (Álvarez Galindo *et al.*, 1995). Independientemente de la disminución en la calidad de preparación de la cal, no se debe de subestimar la importancia de la aplicación del mortero en obra (Malinoswki, 1981<sup>54</sup> y Furlan y Bissengger, 1975<sup>55</sup>). En esta época, la relación árido-matriz es muy variable, con una proporción de conglomerante muy superior a la de los morteros actuales (Gutiérrez-Solana *et al.*, 1989)<sup>56</sup>.

Viollet-Le-Duc establece una clasificación cronológica según la cual los morteros de los siglos IX, X y XI son de peor calidad: frágiles, poco homogéneos y mal aplicados. A partir del siglo XII, la calidad de los morteros mejora y las mezclas son más homogéneas, pero a comienzos del siglo XIII vuelven a empeorar por las restricciones económicas, recomendándose el uso de poca cal, mezclada con arena y tierra (Furlan, 1975). Este autor añade que en el siglo XII a menudo los morteros eran una mezcla de gravas gruesas y cal, con carbón de leña.

Durante los siglos XIV y XV escasea el empleo de arenas gruesas en los morteros y es frecuente el lavado de las mismas, con el fin de eliminar las sales y arcillas que éstas pudieran incorporar.

A final de la edad media comienza la construcción en piedra, iniciada en Francia (Gárate, 2002). Aunque algunos países, durante el siglo XIV, promulgaron este uso constructivo, tuvo que pasar tiempo para que se generalizara esta costumbre (Furlan y Bissengger, 1975).

### **Morteros del Renacimiento y Barroco**

En Italia durante esta época hay un gran desarrollo de los morteros de cal ya que la piedra se reserva para los detalles escultóricos y ornamentales. Los materiales más frecuentes en la construcción son los ladrillos revestidos de estuco (Gárate, 2002).

Los primeros ligantes que endurecen bajo el agua comienzan a introducirse con el empleo de las calizas margosas que producen una reacción lenta entre la cal, la sílice y la alúmina coloidal, dando lugar a la formación de aluminosilicatos cálcicos. A partir del siglo XVIII se producen aglomerantes hidráulicos, aunque griegos y romanos ya conocían estas propiedades de los morteros, con el uso de las tierras de Santorin y tejoleta los primeros, y de puzolanas los segundos.

Además, durante el siglo XVIII se introduce la escayola como tratamiento de interiores, a imitación de los mármoles (Cazalla, 2003). En el barroco europeo del siglo XVIII cobra importancia el

---

<sup>54</sup> Malinoswki, R. (1981). "Ancient mortars and concretes, durability aspects". Mortars, cements and grout used in Conservation of Historic Buildings. Proceeding of the Symposium, ICCROM, Rome 1981, pp. 341-350.

<sup>55</sup> Furlan V. y Bissengger P. (1975) "Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifiques". Revue suisse d'Art et d'Atcheologie". Vol 32, pp. 2-4

<sup>56</sup> Gutiérrez-Solana F., Jáuregui M., Bobigas R., Sarabia P. (1989). "Análisis de morteros medievales de dos castillos de Cantabria, España". *Materiales de Construcción* 1989; 39 (213):37-45.

tratamiento de los muros interiores, los frisos son decorados con estucos en relieve que enmarcan los techos decorados. La parte central de los muros se cubre de telas o molduras, a veces doradas, formando recuadros que enmarcan cuadros, tapices o pinturas murales (Gárate, 2002).

### **Morteros modernos**

Están ligados al descubrimiento del ligante hidráulico. En 1756, durante la construcción del faro de Eddyston en Plymouth, Smeaton propone buscar una cal que resista la acción del agua del mar, y obtiene una con resultados positivos (Álvarez Galindo *et al.*, 1995). Las cales hidráulicas pueden ser consideradas los productos intermedios entre la cal hidratada y el cemento portland actual.

El empleo de calizas con cierto contenido en arcillas desemboca en la producción de silicatos de calcio. Durante la calcinación de estas calizas se produce la deshidratación de la arcilla y la descomposición de la caliza, generando una reacción entre la sílice, la cal y los óxidos de hierro y aluminio. Este descubrimiento constituye la base del desarrollo de los cementos rápidos. Con anterioridad, las calizas arcillosas eran rechazadas sistemáticamente (Furlan y Bissengger, 1975 y Rassineux *et al.*, 1989<sup>57</sup>)

Las cales hidráulicas pueden ser consideradas los productos intermedios entre la cal hidratada y el cemento portland actual.

### **Morteros actuales**

En 1811 Jame Frost patenta el cemento artificial, anticipándose al cemento Portland, patentado por Vicat y Joseph Apsdin en 1824 (Ashurst, 1983)<sup>58</sup>.

En 1845 L.C. Johnson descubre el clinker por calcinación a 1450 °C de moliendas finas de cal y arcillas, obtenidas de una primera calcinación. En 1851 hay una gran difusión del clinker, con motivo de la Exposición Universal de Londres. La adicción al clinker de pequeñas cantidades de yeso es lo que hoy se conoce como cemento Portland. Desde finales del siglo XIX, los principios generales de fabricación del cemento Portland no varían, pero en los últimos años se han descubierto una amplia gama de aglomerantes, derivados de éste.

A continuación se presenta la composición y tecnología de fabricación de los morteros, en las diferentes épocas anteriormente descritas, esquematizadas por Mas i Barberá en 2006, en su tesis doctoral (Figs. 2.2 – 2.6).

---

<sup>57</sup> Rassineux F., Petit J.C., Meunier A.(1989)."Ancient analogues of modern cement:calcium hydrosilicates in mortars and concretes from Gallo-Roman Thermal Baths of Wester France". J.Am.Ceram.Soc. 1989; 72(6):1026-32.

<sup>58</sup> Ashurst J. (1983)."Mortars, plasters and renders in conservation" Ecclesiastical Architects and Surveyors Association.

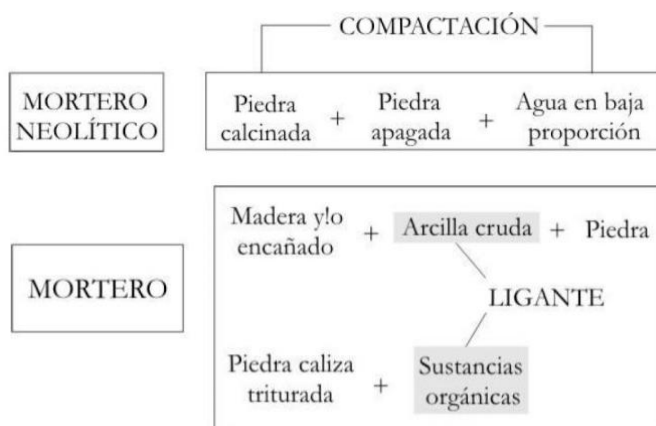


Figura 2.2.- Mortero neolítico en Europa Central y Septentrional (Tomado de Mas i Barberá, 2006)

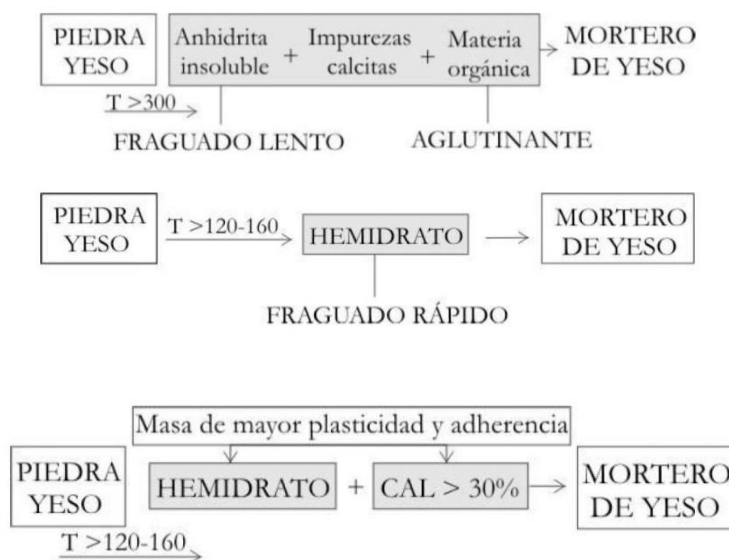


Figura 2.3.- Composición del mortero egipcio de unión (arriba), de acabado (en medio) y de decoración (abajo) (Tomado de Mas i Barberá, 2006).



Figura 2.4.- Composición del mortero griego (Tomado de Mas i Barberá, 2006).

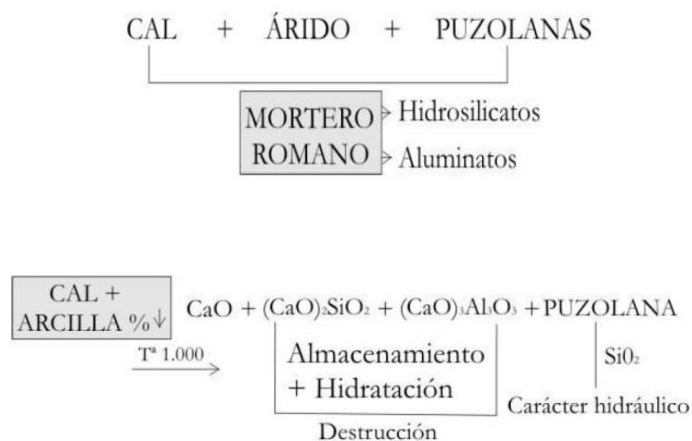


Figura 2.5.- Composición del mortero romano (Tomado de Mas i Barberá, 2006).

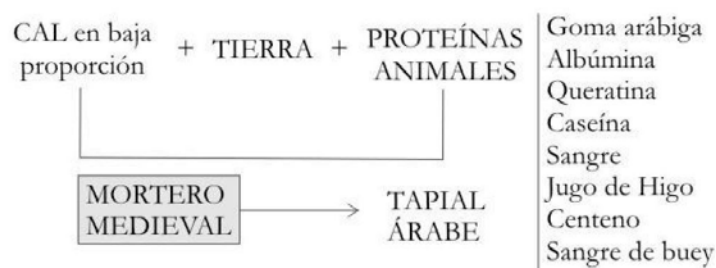


Figura 2.6.- Composición del mortero medieval (Tomado de Mas i Barcerá, 2006).

### 2.3.- PINTURA MURAL SOBRE MORTEROS HISTÓRICOS

Pintura es el término empleado para los revestimientos superficiales coloreados. En el caso de la pintura mural, el soporte es inmóvil, de naturaleza inorgánica y forma parte del conjunto monumental, estando condicionada por la arquitectura del edificio, tanto en lo que se refiere a materiales y técnicas de ejecución, como a aspectos estéticos e iconográficos (Gómez, 2004).

La pintura, independientemente de la técnica empleada, se estructura en capas superpuestas, de las cuales al menos una es la capa pictórica, propiamente dicha. «Las capas pictóricas tienen un espesor variable, de decenas de micras, y están compuestas por una o más sustancias coloreadas, pulverizadas y dispersas en un vehículo líquido y transparente. Su cometido es el de distribuir homogéneamente las partículas del pigmento, proporcionar cohesión y permitir que la capa formada se adhiera a la superficie inferior» (Matteini y Moles, 2001)<sup>59</sup>.

<sup>59</sup> Matteini M. y Moles A. (2001). «La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico». Ed. Nerea, Junta de Andalucía-Consejería de Cultura – IAPH, P. 25

## Pigmentos

El pigmento es la materia colorante que proporciona el color a la pintura y puede ser de naturaleza inorgánica u orgánica. Los pigmentos inorgánicos están constituidas por polvos muy finos, coloreados e insolubles; los orgánicos, también denominados colorantes, son transparentes, solubles y poseen la capacidad de transmitir su color a materiales incoloros, a través de una serie de reacciones físicas o químicas. El color de los pigmentos en muchos casos es indicativo de los minerales o compuestos químicos empleados en su elaboración (Tabla 2.1). La adecuada molienda de los pigmentos es fundamental para conseguir finura y homogeneidad en la capa de pintura (Fig. 2.7). En la elaboración de las pinturas también se emplean cargas inertes. Estas cargas suelen ser blanquecinas y proporcionan menor poder cubriente que los pigmentos, cuyo color es definido e intenso.

Tabla 2.1.- Asociaciones cromáticas de pigmentos con sus elementos o compuestos químicos de procedencia.

COLOR	MINERALES/ELEMENTOS
Tierras naturales	Fe y aluminosilicatos
Rojo	Hematites (< tamaño cristales)
Rojo	Goetita (por calentamiento pasa a Hematites)
Rojo	Óxidos de hierro y cobre
Rojizo	Arenas ocre (con hierro)
Violáceo	Hematites (> tamaño cristales)
Amarillo	Goetita
Amarillo	Óxidos de antimonio y estaño
Siena	Goetita + óxido de manganeso
Negro (tierras negras)	Óxido de manganeso
Verdes y azules claros	Óxidos de cobre
Azules oscuros	Óxidos de cobalto
Blanco	Óxidos de estaño
Blanco	Calcita
Violeta	Óxido negro de manganeso



Figura 2.7.- Morteros con capas pictóricas asociadas. Aspecto macroscópico y microscópico de muestras de superficie y secciones transversales.

«Las sustancias filmógenas son de naturaleza orgánica y se aplican en forma de líquidos viscosos que al secar solidifican formando una película dura y flexible. Los aglomerantes o aglutinantes inorgánicos en suspensión acuosa son capaces de fraguar a temperatura ambiente o mediante cocción» (Gómez, 2004). Los aglutinantes pueden ser de tipo: acuoso o hidrófilos (pintura al temple), intermedios o mixtos, formados por emulsiones o témperas y oleosos o lipófilos. En la acuarela, los colores van diluidos en agua y la pintura se aglutina con goma arábiga; en la pintura al óleo, el pigmento va disperso en una sustancia aceitosa; en la pintura al temple, se mezcla el pigmento con el aglutinante disperso en agua y en la encáustica el aglutinante es cera fundida (caliente), sola o mezclada con resina.

La mezcla de pigmentos, cargas inertes y aglutinantes forma una suspensión o una pasta, más o menos densa, con propiedades cubrientes (Fig. 2.8). Algunos pigmentos muestran mayor afinidad por determinados aglutinantes, a la vez que son incompatibles con otros. Hay pigmentos que se fijan con dificultad en agua por lo que conviene diluirlos en alcohol. Esto ocurre con el *negro humo* que antiguamente se desleía en vinagre o con *tierra verde veronés* (Gárate, 2002). Las propiedades cáusticas de la cal grasa hacen desaconsejable el uso de pigmentos orgánicos.

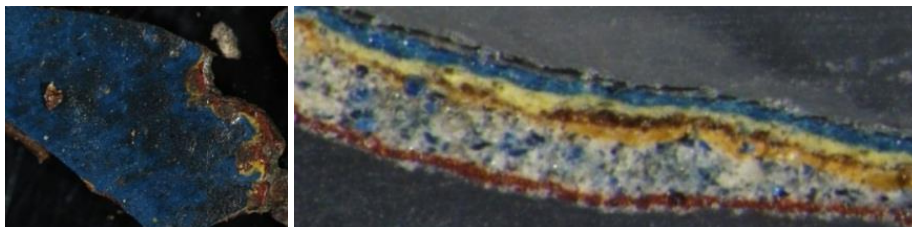


Figura 2.8.- Muestra superficial y sección estratigráfica de una muestra de pintura.

En la tesis doctoral de M<sup>a</sup> Ángeles Parrilla<sup>60</sup>, en las publicaciones de M<sup>a</sup> Luisa Gómez<sup>61</sup> y de Mauro Matteini y Arcangelo Moles<sup>62</sup> se recoge una descripción exhaustiva de los pigmentos y aglutinantes empleados para la elaboración de capas pictóricas y sus técnicas de análisis. La identificación de los pigmentos puede proporcionar una valiosa información sobre la época de utilización. Hay pigmentos característicos de un periodo restringido de la historia, ya que algunos han dejado de utilizarse al ser sustituidos por otros más estables o menos tóxicos.

Los pigmentos más utilizados desde la antigüedad son las tierras coloreadas y los negros. Con la era industrial, en el siglo XVIII, aparecen nuevos pigmentos artificiales que sustituyen a otros aplicados con anterioridad (Tabla 2.2). A continuación en las tablas 2.3-2.4 se resumen algunos de los pigmentos más habitualmente utilizados, clasificados por épocas, colores y composición.

### ***Técnicas pictóricas***

A partir de la naturaleza del aglutinante, se puede deducir la técnica pictórica empleada, ya que existen pigmentos propios de la técnica al óleo y otros típicos de la técnica al temple, o al agua.

---

<sup>60</sup> Parrilla M<sup>a</sup>.A. (2007). "El arte de los pigmentos. Análisis histórico-artístico de la evolución de los pigmentos a partir de los tratados españoles de Francisco Pacheco y Antonio Palomino. Tesis doctoral. Departamento Historia del Arte, Universitat de Valencia, 2007, 446 p.

<sup>61</sup> Gómez M<sup>a</sup>.L. (2004) "La restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte" Cuadernos Arte Cátedra. Instituto del Patrimonio Histórico Español, 436 p.

<sup>62</sup> Matteini M. y Moles A. (2001). "La química en la restauración". Arte y Restauración nº 7, Nerea, Junta de Andalucía – Consejería de Cultura – IAPH, 507 p.



Tabla 2.2.- Pigmentos empleados entre finales de la Edad media y la Edad moderna.

DENOMINACIÓN	ÉPOCA	COMPOSICIÓN
<i>Marrón rojo de Inglaterra</i>	s. XVI-XIX	Rojo + negro de óxidos de Fe
<i>Cenizas azules de Inglaterra</i>	s. XVI-XVIII	Azul de cobre artificial
<i>Litargirio Inglés</i>	s. XVIII-XIX	Amarillo de óxido de plomo
<i>Verde Inglés</i>	s. XIX-XX	Azul de prusia + amarillo de Plomo
<i>Blanco Inglés</i>	s. XIX	Blanco de Zinc
<i>Negro de Alemania</i>	s. XV-XVIII	Negro de hueso + negro de hez de vino
<i>Azul de Alemania</i>	s. XVI-XIX	Azul de esmalte o de cobalto
<i>Oro de Alemania</i>	s. XVII-XIX	Polvo de latón
<i>Blanco de España</i>	s. XI-XVII	Blanco de plomo
<i>Laca de España</i>	s. XIII-XVI	Laca roja de quemes (madera)
<i>Negro de España</i>	s. XV-XIX	Negro de corcho
<i>Arena de Aviñón</i>	s. XV-XIX	Laca amarilla vegetal
<i>Azul de Francia</i>	s. XVIII-XIX	Azul de Prusia + blanco de aluminio
<i>Ultramar francés</i>	s. XIV- XX	Azul ultramar de Guimet
<i>Ultramar de Venecia</i>	s. XIV-XVIII	Azul de lapislázuli
<i>Blanco de Venecia</i>	s. XVI-XIX	Blanco de plomo + blanco de bario
<i>Amarillo de Nápoles</i>	s. XVII-XIX	Amarillo de antimonio de plomo

Tabla 2.3.- Pigmentos históricos.

COLOR	ÉPOCA	COMPOSICIÓN	MINERAL
Rojo	Egipcia	Sulfuro de arsénico	Rejalgar
Verde		Carbonato de cobre	Malaquita
Verde		Cloruro básico de cobre	Atacanita
Amarillo		Sulfuro de arsénico	Oropimente
Amarillo pálido		Sulfatos de Fe, K y Na	Barro / Jarosita
Negro		Sulfuro de Plomo	Galena
Tinta negra		Agua + negro carbón	-
Rojo	Romana	Mercurio	Cinabrio
Bermellón		Sulfuro de mercurio	Cinabrio
Verde		Tierras verdes	Glaucomita, clorita
Blanco		Carbonato cálcico	Calcita o aragonito
Negro		Carbono	Carbón
Verde pálido		Aluminosilicato	Celadonitas
Amarillo		Piel de plomo oxidado alrededor de una barra de Fe	Litargirio
Rojizos - anaranjados	s. IX	Carbonato de plomo y óxidos de hierro	Rojos de minio de Pb Hematites
Púrpura		Folio (vegetal)	-
Amarillo		Sulfuro de arsénico	oropimente
Verde		Resinato de cobre	-
Blanco		Plomo	Cerusa
Bronce		Láminas de latón	Aleación de cobre y cinc
Rojo minio	Antigüedad - Edad media	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (anaranjado) + PbO (rojo)	Obtenido por oxidación del plomo o calcinación del litargio
Rojo bermellón o rojo cinabrio		Mercurio	Cinabrio
Verde malaquita		CuCO <sub>3</sub> , Cu(OH) <sub>2</sub>	Malaquita
Amarillo oropimente		Sulfuro de arsénico	Oropimente
Blanco de plomo		2PbCO <sub>3</sub> , Pb(OH) <sub>2</sub>	Carbonato de Pb básico (Cerusa)
Blanco de tiza		CO <sub>3</sub> Ca	Calcita
Azul de índigo		Índigo (vegetal)	
Azul ultramar			Lapislázuli*
Azul egipcio o azul de Alejandría	Antigüedad - s. XVIII / XIX	CuCaSiO <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	Doble silicato de cobre y calcio artificial

\* Es el color de la edad media por excelencia y se prepara molida con una mezcla de yeso, aceite y cera

Tabla 2.4A.- Pigmentos clasificados por colores.

Color	Nombre	Época	Composición	Comentario
Incoloro, blanquecino	<i>Alumbre</i>	s. XV	Sulfato doble de aluminio y potasio [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ,K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,2H <sub>2</sub> O]	Rocas que contienen alunita y sales de Fe
Amarillo	<i>Amarillo de cadmio</i>	s. XIX	Sulfuro de cadmio (CdS)	Metales que absorben la luz azul, por lo que parecen amarillos
	<i>Amarillo de plomo</i>	Edad media	Cromato de plomo (PbCrO <sub>4</sub> )	
	<i>Amarillo de estaño</i>	Edad media	Estannato de plomo (PbSnO <sub>4</sub> )	
	<i>Amarillo de Nápoles</i>	s. XVII	Antimoniato de plomo [Pb <sub>3</sub> (SbO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ]	
	<i>Goetita</i>	Desde la antigüedad	FeO(OH)	Mineral
	<i>Litargirio de plomo o masicote</i>	s. XV-XIX	(PbO)	Piel de plomo alrededor si de una barra de Fe
	<i>Oropimente</i>	Desde los egipcios	(As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> )	Elevada toxicidad
	<i>Patent yellow</i>	1770	(PbCl <sub>2</sub> ,5PbO)	Se consigue por calcinación de litargirio, con sal marina y sosa
	<i>Quercitrón</i>	Edad media	Variedad de roble	De su corteza se extraen pigmentos amarillos
Amarillo bronce	<i>Oro musivo</i>	s. IX	(SnS <sub>2</sub> )	Mineral
Amarillo dorado	<i>Amarillo dorado</i>	Edad media	Contiene azufre, mercurio y estaño	
Amarillo - marrón	<i>Jarosita</i>	Desde los egipcios	[KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> ]	grupo de las alunitas
	<i>Bistre</i>		Hollín de combustión de madera no resinosa	Negro carbón + alquitrán
Verde	<i>Malaquita</i>	Egipcios	Carbonato de cobre	Mineral
	<i>Atacamita</i>	Egipcios	Cloruro básico de cobre	Mineral
	<i>Barro verde</i>	Romanos	Arcilla con elevado contenido en celadonita, glaucomita o clorita	Mezclas minerales
	<i>Resinado de cobre</i>	s. VIII - XVI	Contiene acetato de cobre, aguarrás y betún	
	<i>Verde inglés</i>	1840	Azul de prusia + amarillo cromo	Sintético
Negro	<i>Yeso negro</i>	Medieval y renacimiento	Arcilla con carbón	
	<i>Barro de Cassel</i>		Barro con elevado contenido en materia orgánica	turba
	<i>Carboncillo</i>	Egipcios	Carbón de madera	Negro carbón
	<i>Galena</i>	Egipcios	(PbS)	Mineral
	<i>Sepia</i>	2ª mitad s. XVIII	Tinta de calamar	Ningún método de análisis permite su identificación.

Tabla 2.4B.- Pigmentos clasificados por colores.

Color	Nombre	Época	Composición	Comentario
Blanco	<i>Anatasa</i>	1920	Óxido de titanio TiO <sub>2</sub>	Es el más utilizado
	<i>Aragonito / Calcita</i>	Desde los romanos	CaCO <sub>3</sub>	Más usado en la antigüedad
	<i>Arcilla blanca</i>	Antigüedad	Aluminosilicatos	Uno de los más usados
	<i>Blanco de Plomo ó cerusa</i>	s. IX	Carbonato de plomo básico [2PbCO <sub>3</sub> , Pb(OH) <sub>2</sub> ]	Con propiedades secantes, oscurece en presencia de ciertos sulfuros y es tóxico
	<i>Blanco de Ruán o de tiza</i>	Antigüedad	Tiza, calcita	
	<i>Blanco de Zinc</i>	1782	ZnO	A veces adulterado con blanco de plomo
	<i>Blanco fijo</i>	1840	BaSO <sub>4</sub>	Natural y sintético
	<i>Rutilo</i>	1920	TiO <sub>2</sub>	Muy utilizado en la actualidad
	<i>Litopón</i>	Finales s. XIX	ZnS+BaSO <sub>4</sub>	Sintético
Azul	<i>Azul de Prusia</i>	s. XVII	Ferrocianuro férrico	La estructura es compleja y varía según los métodos de obtención
	<i>Azul egipcio</i>	Antigüedad y s. XVIII-XIX	Doble silicato de cobre y calcio artificial CuCaSiO <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	
	<i>Azurita</i>		[2CuCO <sub>3</sub> , Cu(OH) <sub>2</sub> ]	Mineral
	<i>Índigo</i>	Edad media	Del glasto se extraen pigmentos azules	Planta
	<i>Lapislázuli</i>	s. IX	Tiene en composición azurita	Roca
Anaranjado	<i>Plomo rojo de Liberia ó crocoíta</i>	1765	PbCrO <sub>4</sub>	Mineral
	<i>Mina naranja</i>	Desde la antigüedad	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Obtenido por calcinación de cerusa
Rojo - ocre	<i>Bol arménico</i>	Desde la antigüedad	Silicato de aluminio hidratado	Se utiliza como capa inferior para dorar
Rojo - anaranjado	<i>Hematites</i>	Desde la antigüedad	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mineral
Rojo - marrónáceo	<i>Minio</i>	s. IX	Mezcla de (Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) (anaranjado) y (PbO) (rojo)	Obtenido por oxidación del plomo o calcinación de litargirio
Rojo - violáceo	<i>Orchilla</i>		Pigmentos extraídos de líquenes	Ha servido de sustituto de la púrpura.
Rojo	<i>Rojo bermellón</i>	Desde los romanos	Contiene azufre y mercurio	Tóxico
	<i>Tinturas escarlatas</i>	s. XVII	Cloro + estaño	
Rosa violeta		s. XVII	Oro + estaño + cloro	
Ocre	<i>Ocre</i>	Edad media	Mezcla natural de óxidos de hierro	Mezclas minerales
Siena	<i>Tierras siena</i>	Desde la antigüedad	Goetita + óxido de manganeso	Mezclas minerales

La técnica *allfresco* corresponde a la técnica definida por el historiógrafo Giorgio Vasari (siglo XVI) y consiste en extender pigmentos disueltos en agua sobre el intonaco (enlucido fino) todavía fresco y húmedo o en agua de cal -medio fresco- (Calvo, 1997)<sup>63</sup>. Mediante este procedimiento se origina un proceso químico de carbonatación entre el color y la cal de la superficie, creándose una unión sólida entre los dos componentes, lo que da lugar a efectos de transparencia y luminosidad (Giannini et al. 2008)<sup>64</sup>. En la pintura mural aplicada sobre mortero fresco, el pigmento se liga estrechamente al soporte, creándose una imagen en dos dimensiones, al ajustarse la decoración mural a los elementos arquitectónicos sobre los que se asienta. Si el aglutinante se mezcla con una carga, se obtiene una capa o base de preparación, adecuada para la aplicación de una pintura sobre soporte seco. «En las pinturas españolas e italianas de los siglos XIV y XV la preparación en las pinturas solía ser blanca y espesa, y delgada en los flamencos de los siglos XV y XVI. En los siglos XVI y XVII, en los países meridionales de Europa, era frecuentemente coloreada, hasta que en el siglo XIX reaparece la preparación blanca. A partir del siglo XIX se difunde el uso de preparaciones industriales» (Gómez, 2004)<sup>65</sup>.

En las policromías medievales, el color parece haber sido considerado como un complemento a la forma (Lampérez y Romea 1930)<sup>66</sup>. Los edificios fueron concebidos para ser pintados (Nanclares, 1997)<sup>67</sup> (Fig. 2.9). La concepción artística medieval implica una estética simbólica que se traslada a la producción arquitectónica y a sus contenidos escultóricos, decorativos, ornamentales y pictóricos (Arias, 1999)<sup>68</sup>.

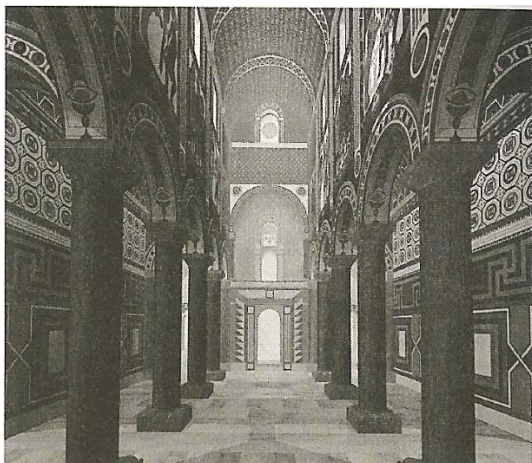


Figura 2.9.- Recreación del aspecto interior de la iglesia de San Miguel de Lillo en origen (tomado de Nanclares, 1997).

La utilización del color en la arquitectura es característica y común a todos los edificios altomedievales asturianos. Lámperez cita las técnicas donde se alternan el temple y el fresco,

<sup>63</sup> Calvo A. (1997). "Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos de la A a la Z" Ediciones del Serbal p. 103.

<sup>64</sup> Giannini C. y Roani R. (2008). "Diccionario de restauración y diagnostic". Ed. Nerea, p. 96.

<sup>65</sup> Gómez M<sup>a</sup>. L. (2004). "La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte" Cuadernos Arte Cátedra, Instituto del Patrimonio Histórico Español, 4<sup>a</sup> Edición, P. 27.

<sup>66</sup> Lampérez y Romea, V. (1930). "Historia de la arquitectura Cristiana Española en la Edad Media". Espasa Calpe S.A., 1930.

<sup>67</sup> Nanclares, F. (1997) "San Miguel de Lillo. Estudios previos" en La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.206.

<sup>68</sup> Arias Páramo L (1999). "La pintura mural en el Reino de Asturias en los siglos IX y X". Librería Cervantes, 1999, 199 p.

estudiadas por el «entendidísimo» arqueólogo Manuel Gómez Moreno, entre las que se incluyen las pinturas de la Cámara Santa, de San Pedro de Arlanza, de Pedralbes o de la bóveda del ábside de la catedral vieja de Salamanca. Muchos autores coinciden en que la técnica de ejecución de la pintura mural altomedieval asturiana es de pintura al fresco. Bango Torviso<sup>69</sup> comenta que «los murales de San Julián de los Prados se hacen en un buen fresco, sobre una capa de estucado, siguiendo, en la técnica y en los motivos decorativos secundarios, tradiciones romanas». Lorenzo Arias<sup>70</sup> indica que el proceso de ejecución en San Miguel de Lillo difiere del empleado en Santullano, «en Lillo, el boceto gráfico consta de un tramado reticular de líneas negras, mientras que en Santullano se hace un dibujo previo mediante incisión de un punzón en el estuco aún tierno». Jesús Puras<sup>71</sup>, a partir del estudio estratigráfico de las pinturas murales de la iglesia de San Salvador de Valdediós, concluye que «en todas las muestras analizadas aparece la técnica del fresco puro, aparentemente sin retoques al temple u otras técnicas magras», aunque añade que estos aglutinantes pudieran haber existido y degradarse posteriormente.

En la pintura mural del prerrománico asturiano se aprecian dos etapas: una anicónica, correspondiente al reinado de Alfonso II y otra icónica, desarrollada en el último periodo de la Monarquía. Esta dualidad es reflejo de las luchas iconoclastas de los siglos VIII y IX (Arias, 1999)<sup>72</sup>. Los procedimientos técnicos de dibujo, geometría, composición, proporción y estética son algunos de los factores analizados por diversos autores para conocer los criterios de ejecución de la decoración mural altomedieval asturiana (Schlunk, 1952<sup>73</sup>; Schlunk y Berenguer, 1957<sup>74</sup> y Arias, 1999).

En lo que se refiere a la pintura mural de San Miguel de Lillo y sus intervenciones, en los resúmenes de restauraciones históricas de García Cuetos (1999) no se citan restauraciones ex profeso de las pinturas de Lillo, desde la iniciada por Andrés Coello a mediados del siglo XIX pasando por las excavaciones de Aurelio de Llano, en 1916, hasta las tres intervenciones de Luis y José Menéndez-Pidal, en las décadas de 1960 y 1970. No obstante, García de Castro (1995) recoge una consolidación de la pintura mural a base de escayola, realizada por Luis Menéndez Pidal en 1954, que consistió en la consolidación interior de las pinturas, fijando con escayola las partes agrietadas.

García-Fanjul (1987)<sup>75</sup> y Ferrete (1990)<sup>76</sup>, en sus correspondientes informes sobre el estado de conservación de la pintura mural de San Miguel de Lillo hacen una descripción somera de los materiales que forman parte de las pinturas. Del interior al exterior, identifican un mortero con “arena

---

<sup>69</sup> Bango Torviso. (1988). “Alfonso II y Santullano” en *Arte prerrománico y románico en Asturias*. Villaviciosa, Gijón 1988. P. 229.

<sup>70</sup> Arias, L. (1999). “La pintura mural en Asturias en los siglos IX y X”. Ed. Librería Cervantes, 199 p.

<sup>71</sup> Puras J. (1997) “Tratamiento de conservación de pinturas murales altomedievales en Asturias”. en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.262.

<sup>72</sup> Arias Páramo L (1999). “La pintura mural en el Reino de Asturias en los siglos IX y X”. Librería Cervantes, 1999, 199 p.

<sup>73</sup> Schlunk H. (1956). “Las pinturas de Santullano. Avance del estudio de la pintura mural asturiana de los siglos VIII y IX”, *Archivo Español de Arqueología*, t. XXV, Madrid, 1952, pp.15-37.

<sup>74</sup> Schlunk H. y Berenguer M. (1957). “La pintura mural asturiana de los siglos VIII y IX” Oviedo, 1957 (2ª ed., Oviedo, 1991).

<sup>75</sup> González-Fanjul, C. (1987). Informe sobre el estado de conservación de las pinturas murales de san Miguel de Liño.

<sup>76</sup> Ferrete, S. (1990). Informe sobre el estado de conservación de las pinturas murales de san Miguel de Liño.

rojiza”, un revoque de 2 milímetros de espesor, y el dibujo con líneas oscuras, sobre el que finalmente se disponen los colores, los cuales se precisa son: blanco, constituido con cal grasa, amarillo ocre, rojo, púrpura y negro. Se teoriza sobre la posible composición de los colores, en base a tratados clásicos como el de Plinio, pero no se aportan análisis. En cuanto al estado de alteración, se comenta que el color está en muy mal estado y que las causas del deterioro de las pinturas son las mismas que afectan a la iglesia: desplazamientos diferenciales y elevada humedad. Respecto a la humedad se cita que la zonas más afectada es la nave lateral norte (con mediciones del 40 al 65%, realizadas por ellos, mediante un humidímetro de pared), identificándose colonizaciones vegetales de musgo, líquenes, hongos y plantas. La adherencia de las pinturas se considera mala, con grietas, embolsamientos e irregularidades en la superficie y también añaden que no se manifiestan eflorescencias de sales o de microorganismos. Arias, en 1999, coincide en que el estado de deterioro es diferente según las zonas. A las figuras humanas de los muros de la nave sur, les atribuye un avanzado estado de deterioro, tanto en la pared meridional, como en la pared oriental, donde se aprecia una alteración sustancial de la policromía, cuando se compara con la misma zona, fotografiada en 1950 por el Instituto Arqueológico Alemán. También comenta Arias que «unas veladuras blanquecinas cubren esa zona y también las grietas del sustrato pictórico parecen haberse ampliado. Otros restos pictóricos, como las arquivoltas decoradas, tampoco parecen estar en buen estado de conservación». Por otra parte, valora el buen estado de conservación de las pinturas de la bóveda central y de las laterales, aunque también observa numerosas saltaciones del material pictórico.

Las descripciones de los estratos pictóricos de San Miguel de Lillo y su estado de alteración, son bastante someros o meramente cualitativos, por lo que resulta necesario un estudio en profundidad de las capas pictóricas y sus sustratos, así como del estado de alteración que presentan en la actualidad. Además, el estudio de los morteros y las pinturas murales puede contribuir a resolver ciertas dudas, relativas a los elementos decorativos y su relación con los dos proyectos: original y reforma. García de Castro organiza la escultura de Lillo en dos o tres grupos (García de Castro, 2007) que podrían estar asociadas a talleres de pintura diferentes. Los análisis realizados en esta tesis se centrarán en resolver alguno de estos interrogantes.

### **3.- METODOLOGÍA**

#### **3.1.- TÉCNICAS ANALÍTICAS Y PROCEDIMIENTOS DE CARACTERIZACIÓN**

##### **3.1.1.-TÉCNICAS ANALÍTICAS**

Las técnicas de análisis empleadas en el campo de la petrología y la geoquímica, son extremadamente útiles para abordar la caracterización de los morteros, ya que aportan información sobre su naturaleza y el origen geológico de sus componentes esenciales.

La petrografía es una rama de la petrología que se ocupa del estudio descriptivo y sistemático de las rocas y por extensión de los materiales pétreos, a diferentes escalas. En este sentido, partiendo de que los morteros son materiales inorgánicos equiparables a una piedra artificial, su estudio puede abordarse con las mismas técnicas de microscopía óptica, estereoscópica o electrónica, que las utilizadas en el estudio de los materiales rocosos. Estos conglomerados y areniscas artificiales han sido elaborados por el hombre, experimentando similares procesos físico-químicos que los que han generado la formación de las rocas (Iglesias, 2013)<sup>77</sup>. A continuación se recogen las técnicas de análisis más adecuadas para el estudio de los morteros.

El **microscopio petrográfico** (POL) ha sido utilizado desde mediados del siglo XIX para conocer las rocas, entender e interpretar su génesis. Se fundamenta en la óptica mineral que combina propiedades ópticas y cristalográficas (Mackenzie y Adams, 1994)<sup>78</sup>. Este tipo de microscopio consta de una platina giratoria y dos filtros polarizadores (polarizador y analizador), dispuestos de forma que las direcciones de polarización sean perpendiculares y paralelas a los hilos del retículo del ocular (Fig. 3.1). La microscopía óptica es una herramienta básica para la identificación, descripción y clasificación de los minerales, de la textura, así como de los espacios vacíos, a partir de láminas delgadas, con un espesor estándar de 0,03 mm.

La microscopia óptica proporciona información en los morteros de la composición mineral de los granos (áridos) y de la matriz (conglomerante); de su textura, donde se incluye la dosificación de la mezcla, las características de los áridos (tamaño y forma), orientación, grado de empaquetamiento, grado de cristalización del conglomerante; y de su porosidad, como la cantidad, el tamaño o la forma de los poros (Baronio *et al.*, 1997<sup>79</sup>; Moropoulou *et al.* 1999<sup>80</sup>; Sabbioni *et al.*, 2001<sup>81</sup>,

---

<sup>77</sup> Iglesias Campos M. (2013). "Limpieza de los materiales constructivos en patrimonio arquitectónico. Parámetros de las técnicas físicas y mecánicas: influencia en el deterioro". Tesis doctoral, Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona, 244 p.

<sup>78</sup> Mackenzie W.S. and Adams A.E. (1994) "A color atlas of rocks and minerals in thin section" Manson Publishing Ltd., Londres.

<sup>79</sup> Baronio G., Binda L., Lombardini N. (1997). "The role of brick pebbles and dust in conglomerates base on hydrated lime and crushed bricks". *Constr Build Mater*, vol 11, pp. 33-40.

<sup>80</sup> Moropoulou A., Bakolas A., Anagnostopoulou S. (2005). "Composite materials in ancient structures". *Cement Concrete Comp*, vol 27, pp. 295-300.

Callebaut *et al.*, 2001<sup>82</sup>; Elsen *et al.*, 2004<sup>83</sup>; Cultrone *et al.*, 2005<sup>84</sup>; Rodríguez, 2005<sup>85</sup>, Ortega *et al.*, 2009<sup>86</sup>, Alonso *et al.*, 2010<sup>87</sup>).

Las observaciones ópticas se pueden complementar con la información que aporta el **microscopio estereoscópico** (lupa). Éste proporciona una imagen en tres dimensiones (3D), donde las muestras objeto de análisis se pueden observar desde distintos ángulos y en diferentes condiciones de iluminación. Resulta adecuado para muestras de considerable tamaño, sin preparación previa o por el contrario, para superficies de corte pulidas que permiten visualizar secuencias estratigráficas. En este último caso las muestras son previamente embutidas en resinas sintéticas (Plester, 1956; Coremans y Thissen, 1959; Burlan y Pancela, 1982; en Barberá, 2006)<sup>88</sup>. La microscopía estereoscópica es esencial en el estudio estratigráfico de morteros y pinturas, así como en el análisis morfológico y granulométrico de los áridos y aditivos del mortero (Casadio *et al.*, 2005)<sup>89</sup>.

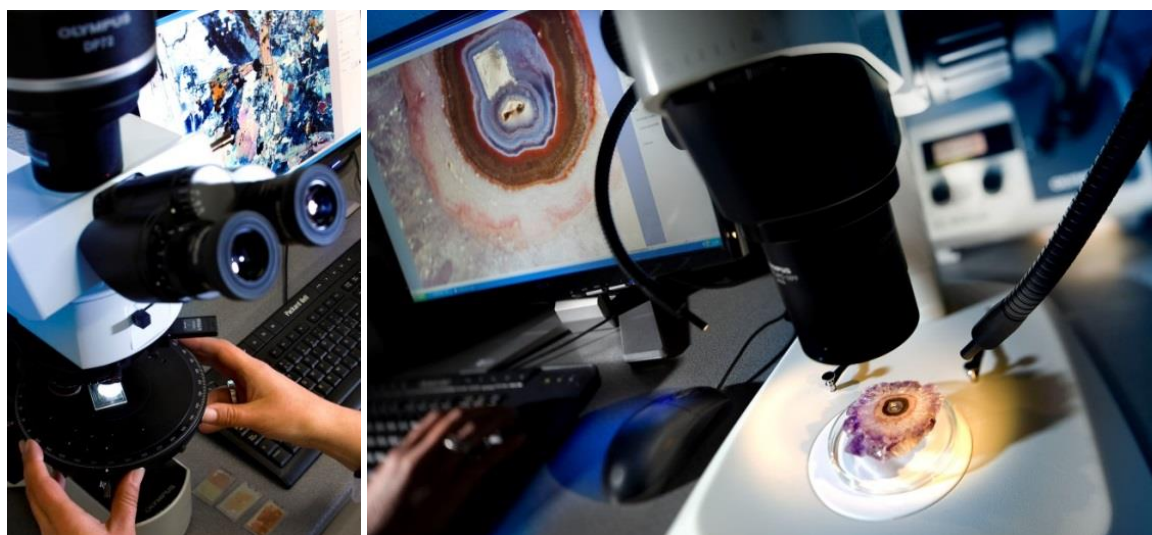


Figura 3.1.- Microscopio óptico y microscópico estereoscópico.

La **microscopía electrónica de barrido con analizador de rayos X (SEM-EDX)** es otra técnica normalmente empleada en la caracterización de los materiales pétreos, en el diagnóstico de sus

<sup>81</sup> Sabbione C., Zappia G., Riontino C., Varela M.T.B., Aguilera F.P., Balen K.V., Toumbakari E.E. (2001). "Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars". *Atmos Environ*, vol 35 pp. 539-548.

<sup>82</sup> Callebaut K., Elsen J., Balen K., Viane W. (2001). "Nineteenth century hydraulic restoration mortars in Saint Michael's church (Leuven, Belgium)" *Cement and Concrete Comp*, vol 31, pp. 397-403.

<sup>83</sup> Elsen J., Brutsaert A., Deckers M., Brulet R. (2004). "Microscopical astudy of ancient mortars from Tournai (Belgium)". *Mater Charact.*, vol 53, pp. 289-294.

<sup>84</sup> Cultrone G., Sebastián E., Huertas M.O. (2005). "Forced and natural carbonation of lime based mortars with and without additives: mineralogical e textural changes". *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 2278–2289.

<sup>85</sup> Rodríguez Gordillo J.F. (2005). "Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval" *Arqueometría y Arqueología Medieval* 84 – 609-7788-9, 2005 pp. 171-192.

<sup>86</sup> Ortega L.A., Zuluaga M.C., Insasti M., Alonso A., Ibañez A., (2009). "Morteros arqueológicos de Santa María la Real (Zarautz, Guipúzcoa): evidencia de diferentes procedencias de la cal". *Munibe suplemento*, nº 28, Donostia San Sebastián, pp. 162-177.

<sup>87</sup> Alonso F.J., Requejo O., Fernández-Crespo M. y Carrizo L. (2010). "Caracterización petrográfica de morteros del conjunto medieval de la ciudad de Oviedo". *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo*, 30: 337-349 (2010).

<sup>88</sup> En Mas i Barberá X. (2006). "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Tesis doctoral. Facultat de Belles Arts de Sant Carles, Departament de Conservació i Restauració de Béns Culturals. Universitat Politècnica de València, 2006 p. 148.

<sup>89</sup> Casadio F., Chiari G., Simon S. (2005) "Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: a comparative assemente of chemical, mechanical and microscopic approaches". *Archaeometry* 47, 4 (2005) pp. 671-689. Printed in Singapore.



procesos de deterioro y en el control de la eficacia de los tratamientos de limpieza, consolidación y protección (Más i Barberá, 2006)<sup>90</sup>. Permite la observación de las muestras a escalas extremadamente elevadas y además aporta composición química elemental, mediante microanálisis realizados por energía dispersiva de rayos X (Fig. 3.2). En este tipo de microscopios las muestras se bombardean con un haz de electrones que se focalizan sobre la superficie, penetrando en ella pocos micrómetros: modulando el brillo y registrando las señales emitidas por la interacción de los electrones con los propios átomos de la muestra. Resulta muy útil para la determinación cualitativa y semi-cuantitativa de la composición química de los morteros y capas pictóricas (Paternoster *et al.*, 2004)<sup>91</sup> y aportan información específica sobre micro-topografía, micro-textura, morfología y granulometría de los componentes, tanto de los morteros, como de sus capas pictóricas (Lalli *et al.*, 2010)<sup>92</sup>.



Figura 3.2.- Microscopio electrónico de barrido con análisis químico elemental por energía dispersiva de rayos X.

La **difracción de rayos X (DRX)** permite determinar la composición mineral a partir de la estructura tridimensional de compuestos cristalinos, utilizando monocristales o polvo cristalino. La identificación y cuantificación de fases minerales en muestras policristalinas se realiza a partir de sus patrones de difracción. Es la técnica más adecuada para la caracterización de compuestos y materiales cristalinos.

La **fluorescencia de rayos X (FRX)** proporciona análisis cuantitativos de elementos químicos a partir de perlas de arenas, aluminosilicatos, cales y calizas, y minoritarios o trazas, a partir de pastillas. Es posible emplear la fluorescencia de rayos X para correlacionar determinados elementos trazas que proporcionan información sobre la procedencia de la cal (Ortega *et al.*, 2009)<sup>93</sup>. Es la técnica más adecuada para realizar análisis químicos elementales, en concentraciones variables, comprendidas entre el 100% y las ppm (‰).

La **termogravimetría (TGA)** se basa en la medida de la variación de la masa de una muestra cuando es sometida a un programa de temperatura en una atmósfera controlada. La variación de

<sup>90</sup> Mas i Barberá X. (2006). "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Tesis doctoral. Facultat de Belles Arts de Sant Carles, Departament de Conservació i Restauració de Béns Culturals. Universitat Politècnica de València, 2006 p. 366.

<sup>91</sup> Paternoster G., Rinzivillo R., Nunziata F., Castelluci E.M., Lofrumento C., Zoppi A., Felici A.C., Fronterotta G., Nicolais C., Piacentini M., Sciuti S. y Vendittelli M. (2005). "Study on the technique of the Romana ge mural by micro-XRF with Polycapillary Conic Collimator and micro.Raman analyses". *Journal of Cultural Heritage* 6(2005):21-28.

<sup>92</sup> Lalli C., Bosch Roig P., Escrivà Torres V. y Bosch Rei J. I. (2010). "Reconocimiento de los componentes físicoquímicos de las pinturas murales romanas del santuario y termas de Edeta. Valencia". *ARCHÉ. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV - Núms. 4 y 5 – 2010*, pp. 37-44.

<sup>93</sup> Ortega L.A., Zuluaga M.C., Insasti M., Alonso A., Ibañez A., (2009). "Morteros arqueológicos de Santa María la Real (Zarautz, Guipúzcoa): evidencia de diferentes procedencias de la cal". *Munibe suplemento*, nº 28, Donostia San Sebastián, pp. 162-177.

masa puede ser una pérdida o una ganancia de masa. El calentamiento de las muestras objeto de análisis se ha realizado en atmósfera inerte de nitrógeno (flujo de 50 ml/min) desde 25 °C hasta 1000 °C, con rampa de calentamiento de 15 °C/min. Para controlar la variación de masa se ha empleado una termobalanza con registro simultáneo de tiempo, masa y temperatura y con control de flujo de gas. Esta técnica es útil para obtener datos cuantitativos, relativos a los carbonatos presentes en los morteros (Cardoso *et al.*, 2014)<sup>94</sup>.

Para completar la caracterización petrofísica de las muestras de mortero se puede recurrir a su estudio porométrico, mediante **porosimetría por inyección de mercurio** (PrHg) (Fig. 3.3). A partir de la inyección de mercurio a determinadas presiones es posible deducir la fracción de volumen de poros accesibles a dicho fluido, y en consecuencia la distribución de radios de acceso de poro. Esta técnica proporciona además el valor de porosidad abierta y la porosidad atrapada (diferencia entre el volumen de mercurio intruido y el extruido), la densidad y la superficie específica (Montoto, 2003)<sup>95</sup>. Otros ensayos mecánicos, destinados a calcular la resistencia a la compresión, tracción o flexión, así como la medida de propagación de ondas ultrasónicas, útiles para estimar la compacidad y porosidad de las muestras, no suelen ser adecuadas para el estudio de morteros históricos, por limitaciones en la cantidad de muestra requerida.



Figura 3.3.- Porosímetro de mercurio.

La **espectrometría de masas de relaciones isotópicas** (AMS) permite el análisis de las relaciones de los elementos ligeros ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) con la precisión y la exactitud necesarias para medir las pequeñas variaciones en la abundancia isotópica (fraccionamiento), provocadas por procesos naturales<sup>96</sup>, tanto físicos como químicos (Craig, 1957)<sup>97</sup>. A partir de las concentraciones de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  se puede determinar el grado de contaminación en carbono fósil de las muestras (Van Strydonck, *et al.*, 1989)<sup>98</sup>. Ciertos procesos bioquímicos alteran el equilibrio isotópico. Por ejemplo, después de la fotosíntesis, el isótopo  $^{13}\text{C}$  de los organismos vegetales se reduce en un 1,8%, mientras el carbono inorgánico disuelto en los océanos suele ser enriquecido con  $^{13}\text{C}$  en un 0,7%, en comparación con el carbono del dióxido

<sup>94</sup> Cardoso I, Macedo M.F., Vermeulen F., Corsi C., Santos Silva A., Rosado L., Candeias A. y Mirao J. (2014). "A multidisciplinary approach to the study of archaeological mortars from the town of Ammaia in the roman province of Lusitania (Portugal)". *Archaeometry* 56, I (2014) pp. 1-24.

<sup>95</sup> Montoto M. (2003). "Petrophysics at the rock matrix scale: hydraulic properties and petrographic interpretation". Enresa, Publicación técnica 11/2003, 297p.

<sup>96</sup> Attendorf, H.G. y Bowen, R.N.C. (1997). "Radioactive and stable isotope geology". Chapman & Hall. London, 522 pp.

<sup>97</sup> Craig, H. (1957). "Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide", *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 1(2),133-149.

<sup>98</sup> Van Strydonck M., Dupas M. y Keppens E. (1989). "Isotopic fractionation of the oxygen and carbon in lime mortars under natural environment conditions". *Radiocarbon*, Vol 31, N° 3, 1989, pp. 610-618.

de carbono atmosférico (Fritz *et al.* 1980<sup>99</sup>, 1986<sup>100</sup>, 1989<sup>101</sup>). El valor  $\delta^{13}\text{C}$  de una muestra proporciona información sobre el entorno más probable de donde proviene. Las conchas marinas de crustáceos suelen tener un valor de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -1 y +4 ‰, mientras que las conchas encontradas en ríos tienen un valor de -8 y -12 ‰. La composición isotópica de las aguas oceánicas muestra variaciones en los valores isotópicos del  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  entre fases glaciales e interglaciales, tal como se deduce de las concentraciones de  $\delta^{18}\text{O}$  de los microfósiles presentes en los sedimentos del fondo marino (Walter, 2005)<sup>102</sup>. Es posible, por tanto emplear las relaciones isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  para identificar los residuos calcáreos, derivados de una calcinación insuficiente de las calizas, durante procesos de combustión antiguos (Dotsika *et al.* 2009<sup>103</sup> y Lindroos *et al.*, 2012<sup>104</sup>). Después de un proceso de calcinación, el  $\delta^{18}\text{O}$  que sobreviva del carbonato de la matriz será más negativo que el de la caliza fuente. Respecto al  $\delta^{13}\text{C}$ , una piedra toba presenta valores más positivos que el  $\delta^{13}\text{C}$  atmosférico: de -6 / -7 ‰ y que el  $\delta^{13}\text{C}$  de la calcita “muerta”: cero. Cuanto más contaminadas estén las muestras, más se van a aproximar a cero los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , valor de una roca carbonatada fósil, y más se van a aproximar a valores positivos de  $\delta^{18}\text{O}$  (Dotsika, 2009<sup>105</sup> y Lindroos *et al.*, 2011<sup>106</sup>).

La **espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier** (FTIR) proporciona información sobre compuestos orgánicos e inorgánicos, basándose en la excitación de los modos de vibración de las moléculas por absorción de la vibración infrarroja (Valcárcel y Gómez, 1990)<sup>107</sup>. Esta técnica es útil para la identificación de aditivos en los morteros y se utiliza frecuentemente para la determinación de compuestos orgánicos en las muestras de pintura.

La **cromatografía de gases** (CG) es la técnica más adecuada para analizar compuestos volátiles. Con esta técnica las mezclas son separadas en fase gaseosa, en una corriente de gas inerte a elevada temperatura, en función de la estabilidad térmica de los compuestos. Esta corriente atraviesa una columna cromatográfica que separa los componentes por medio de un mecanismo de partición (cromatografía gas líquido), de adsorción (cromatografía gas sólido) o una mezcla de ambos. Los componentes separados emergen de la columna a intervalos discretos y pasan a través de un sistema de detección. Esta técnica es muy útil para identificar mezclas de compuestos, generalmente orgánicos, volátiles o semivolátiles y térmicamente estables a temperaturas inferiores

---

<sup>99</sup> Fritz, P. y Fontes, J.Ch. (1980). "Handbook of Environmental Isotope Geochemistry", Vol. 1, The Terrestrial Environment, A. Elsevier, Amsterdam, 504 pp.

<sup>100</sup> Fritz, P y Fontes, J.Ch. (1986) Handbook of Environmental isotope geochemistry. Vol. 2. The Terrestrial Environment, B. Elsevier. Amsterdam, 548 pp.

<sup>101</sup> Fritz, P y Fontes, J.Ch. (1989) Handbook of Environmental isotope geochemistry. Vol.3. The Marine Environment, A. (1989) Elsevier. Amsterdam, 392 p.

<sup>102</sup> Walter M. (2005). "Quaternary dating methods". John Wiley & Sons p. 19.

<sup>103</sup> Dotsika E., Psomiadis D., Poutoukis D. Raco B. & Gamaletsos (2009). "Isotopic analysis for degradation diagnosis of calcite matrix in mortar". Anal Bioanal Chem (2009) 395: 2227-2234.

<sup>104</sup> Lindroos A., Regev L., Oinonen M. Ringbom A. Heinemeier J. (2012) "14C dating of fire-damaged mortars from medieval Finland". Radiocarbon, Vol 54, Nr 3-4, 2012, p 915-931.

<sup>105</sup> Dotsika E., Psomiadis D., Poutoukis D., Raco B. y Gamaletxos P. (2009) "Isotopic analysis for degradation diagnosis of calcite matrix in mortar" Anal Bioanal Chem (2009) 395:2227-2234.

<sup>106</sup> Lindroos A., Ringbom A., Kaisti R., Heinemeier J., Hodgins G. y Brock F. (2011). "The oldest parts of the Turku Cathedral. C-14 chronology of fire damaged mortars", Editors Joakim Hansson, Hieki Ranta, Visby 2011 pp. 108-121.

<sup>107</sup> Valcárcel M. y Gómez A. (1990) "Técnicas analíticas de separación". Editorial Reverté, S.A., 777p.

a 350-400 °C (alcoholes, ácidos orgánicos, aminas, aldehídos y cetonas, ésteres y glicoles, hidrocarburos, disolventes, anilinas, gases inorgánicos) (Gómez, 2004)<sup>108</sup>. Cuando los compuestos a analizar son poco volátiles y/o termolábiles, la técnica separativa adecuada suele ser la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). A menudo la cromatografía de gases se emplea para confirmar de la presencia o ausencia de un compuesto en una muestra determinada.

### **3.1.2.- PROCEDIMIENTOS DE CARACTERIZACIÓN**

Los morteros, tal como se recoge en el capítulo 1 de esta tesis, constituyen un valor documental único, relativo a las construcciones en las que se emplazan. Al ser fabricados «in situ», aportan datos de carácter petrográfico, arquitectónico, histórico y arqueológico, del momento exacto de su fabricación, proporcionando una información excepcional del período en el que se elaboraron y de las técnicas empleadas en su fabricación, así como del conocimiento y desarrollo de las mismas.

Caracterizados los morteros e integrados con otros análisis de carácter histórico–arquitectónico y arqueométrico se podrán definir fases y épocas constructivas de las edificaciones de procedencia. En este sentido, su correcta caracterización petrofísica resulta indispensable y esencial para la posterior interpretación de los resultados, derivados de este tipo de estudios.

Las técnicas de caracterización empleadas en este estudio han estado condicionadas esencialmente por la disponibilidad de las muestras y, de forma secundaria, por los objetivos específicos de cada uno de los estudios parciales realizados.

Hay que hacer hincapié en que los morteros analizados en esta tesis doctoral proceden de edificios altomedievales incluidos en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO. Este reconocimiento del valor cultural de las construcciones objeto de estudio plantea importantes restricciones, tanto de acceso a los edificios, como de número y cantidad de muestras disponibles para los análisis.

Recordemos, además, que los estudios incluidos en este trabajo no se han desarrollado de manera conjunta e integral dentro de un único proyecto de investigación, sino que derivan de intervenciones parciales en los edificios de procedencia, promovidas por las administraciones autonómicas o nacionales a lo largo de la última década, en ocasiones en forma de estudios previos o en otras, de seguimiento petrológico o de control de calidad de las obras de restauración.

Todo ello implica una serie de limitaciones temporales, espaciales y económicas en el desarrollo de los estudios de caracterización, que finalmente han condicionado la selección de las técnicas de caracterización más adecuadas, es decir las que pudieran aportar mayor información de las muestras, relativas a cada edificio, de acuerdo con los criterios de intervención en los materiales constructivos de cada edificación. Independientemente de estos inconvenientes, el análisis

---

<sup>108</sup> Gómez M<sup>a</sup>.L. (2004). “La restauración. Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte”. Cuadernos Arte Cátedra. P. 253.

composicional y textural de los morteros objeto de estudio se ha realizado en distintas fases, utilizando para ello una combinación de técnicas, no siempre coincidentes, para los diferentes edificios.

La metodología seguida para la caracterización petrofísica de los morteros, ha sido compartida por otros investigadores (Álvarez Galindo, 1997)<sup>109</sup> y constituye una propuesta a tener en cuenta en el análisis de morteros, según la normativa existente UNE (Ontiveros, 2001)<sup>110</sup>. Estos estudios, con ligeras incorporaciones, han sido:

- *Determinación morfológico-textural* (observaciones macroscópicas y microscópicas a partir de: muestras superficiales, láminas delgadas, secciones embutidas y/o pulidas y residuos insolubles)
- *Caracterización mineralógica* (difracción de rayos X, observaciones macroscópicas, microscópicas, análisis modal y digital de imagen, a partir de muestras: en polvo, láminas delgadas, secciones embutidas y/o pulidas y residuos insolubles)
- *Caracterización química* (fluorescencia de rayos X, métodos químicos, métodos morfoquímicos, comparación de métodos, espectrometría de infrarrojo, análisis térmico-diferencial, termogravimétrico, espectrometría de masas y espectrometría de gases)
- *Caracterización físico-química y mecánica* (ensayos físicos, ensayos mecánicos y ensayos de datación).

El estudio se inicia con el análisis macroscópico de los morteros, para continuar con la observación mediante microscopía estereoscópica (LUPA), microscopía óptica de polarización (POL) y/o microscopía electrónica de barrido (MEB), obteniéndose información sobre la textura (donde se considera el tamaño, forma, características superficiales de los granos, orientación y grado de empaquetamiento o dosificación; relación grano /matriz) y la composición química y mineral de los granos y de la matriz de los morteros. Estos datos resultan fundamentales para conocer la naturaleza tanto del conglomerante como del árido y están destinados a valorar, de forma preliminar, las posibles contaminaciones fósiles o de compuestos de neoformación que puedan presentar los morteros. Además del análisis mineralógico preciso, estas técnicas permiten visualizar la estructura de la fase ligante, así como su distribución y conexión con el árido y demás agregados.

Simultáneamente, para corroborar la composición mineralógica de algunas muestras, se procedió al análisis por difracción de rayos X (DRX), técnica esencialmente cualitativa, y la composición química elemental se cuantificó por fluorescencia de rayos X (FRX) a partir de las muestras en polvo. También se realizaron análisis químicos elementales, al microscopio electrónico de barrido mediante energía dispersiva de rayos X (SEM - EDX). Estos últimos permiten conocer la

---

<sup>109</sup> Álvarez Galindo (1997). "Caracterización de morteros en monumentos navarros. Tesis doctoral, publicación Inédita. Universidad de Navarra, 1997.

<sup>110</sup> Ontiveros E. (2001). "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas" Metodología de estudio. Fundamentos (1ª parte), Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, ISSN 1136-1867, Año nº 9, Nº 37, 2001, págs. 84-93.

composición específica de cada uno de los elementos constituyentes del mortero «in situ», incluso en fases minoritarias.

Paralelamente, pequeñas porciones de muestra fueron atacadas con ácido clorhídrico. El ataque de las muestras con ácido clorhídrico diluido al 15%, es un ensayo químico que permite disolver la fracción aglutinante carbonatada de los morteros (Fig. 3.4). Con este ensayo se obtiene la relación en peso árido/aglomerante, siempre y cuando no existan carbonatos incorporados en forma de áridos (Fig. 3.5), (Álvarez *et al.*, 2000<sup>111</sup>, Casadio, *et al.*, 2005<sup>112</sup>). El residuo insoluble, obtenido tras este ensayo químico, puede ser estudiado microscópicamente para determinar la naturaleza, morfología y granulometría de los áridos, con cualquiera de las técnicas microscópicas, anteriormente descritas. Los análisis granulométricos determinan la distribución del tamaño de los granos minerales, incorporados como árido en los morteros. Conocer la dosificación, composición y granulometría de morteros históricos, resulta necesario para elaborar morteros de restauración (Balksten y Steenari, 2007)<sup>113</sup> petrofísicamente compatibles con los originales. Este ensayo permite, además, individualizar fragmentos de madera y de carbón vegetal que pudieran estar presentes en los morteros o aislar fragmentos cerámicos, susceptibles de datación absoluta con técnicas radiocarbónicas los primeros y por termoluminiscencia los segundos. Estos agregados, libres de carbonatos son separados mecánicamente, bajo microscopía estereoscópica.



Figura 3.4.- Ensayo de ataque químico, con ácido clorhídrico diluido al 15%.

El análisis estratigráfico de morteros con pintura mural o de las capas pictóricas permite conocer la composición, extensión y conservación de la pintura mural altomedieval y deducir posibles labores de repolicromía y/o repintes llevados en intervenciones posteriores. El análisis composicional y textural de este tipo de muestras se ha realizado en diferentes fases, utilizando para ello una combinación de técnicas. Tras el análisis macroscópico (LUPA) y microscópico de la superficie (SEM-EDX) las muestras son embutidas en resina, para, una vez polimerizada ésta, proceder al

<sup>111</sup> Álvarez J.I., Navarro I., Martín A. y García Casado P.J. (2000). "A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin church" *Cem Concr Res* 2000 Sep;30(9):1413-1419.

<sup>112</sup> Casadio F., Chiari G. y Simon S. (2005). "Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: a comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approaches". *Archaeometry* 47, 4 (2005), pp. 671-689.

<sup>113</sup> Balksten K. y Steenari B.M. (2007). "A method to recreate historic mortars applied at Norrlanda church on the Island of Gotland, Sweden". HMC08, Historical Mortars Conference, Characterization, Diagnosis, Conservation, Repair and Compatibility.

corte de secciones transversales, con sierra de baja deformación (Fig. 3.5). A partir de estas microsecciones, se obtienen los cortes estratigráficos de las muestras que nuevamente son analizados al microscopio estereoscópico y electrónico de barrido, con objeto de visualizar e identificar, la secuencia estratigráfica. Identificadas las diferentes capas constituyentes de las muestras se procede a su estudio morfoquímico al SEM-EDX, obteniéndose información sobre la textura, morfología, espesor, disposición, así como de la composición mineral y química elemental de la secuencia estratigráfica constituyente de cada capa pictórica, base de preparación y soporte.

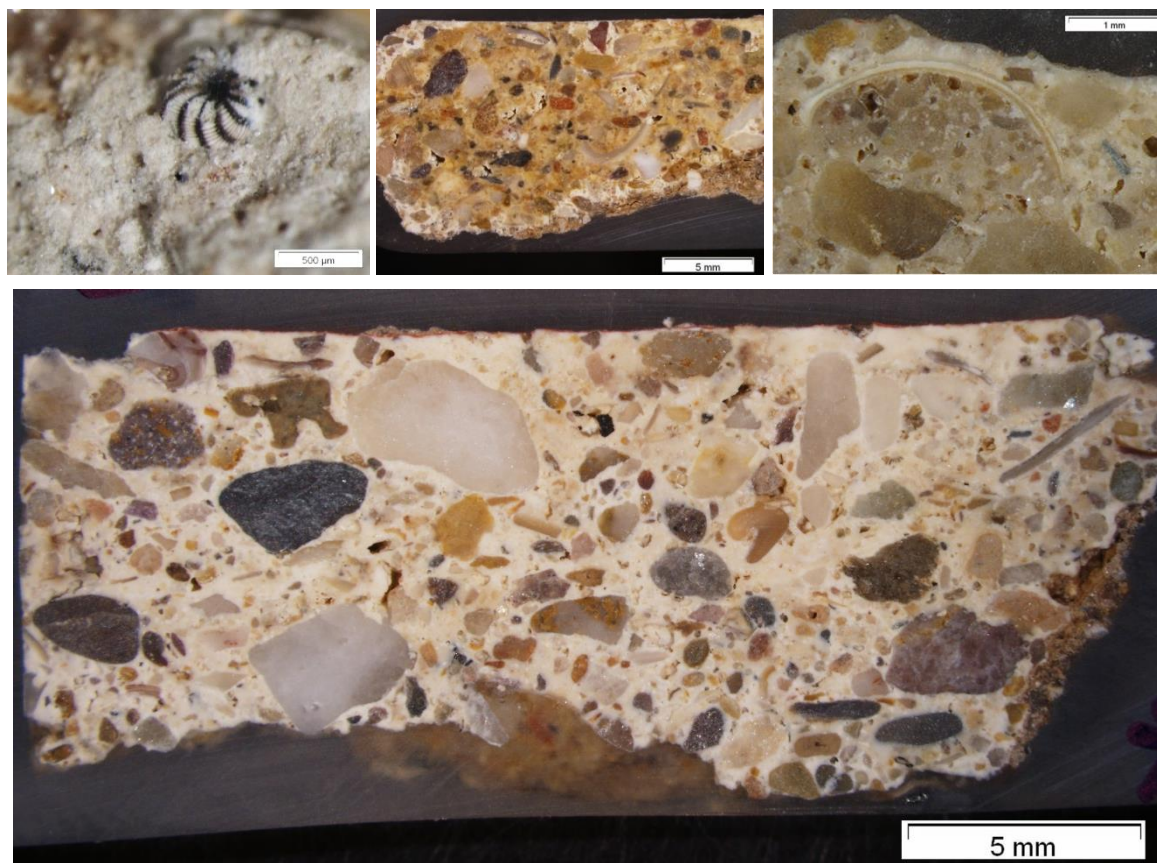


Figura 3.5.- Arriba: Micrografías de superficie y secciones transversales de morteros, donde se identifican bioclastos y áridos de composición carbonatada. Abajo: imagen general de la sección estratigráfica de un mortero de cal con árido carbonatado.

Paralelamente, algunas micro muestras son analizadas mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR por transmisión y FTIR-ATR) y cromatografía de gases–espectrometría de masas (GC-MS). Estas técnicas permiten identificar los posibles compuestos orgánicos que pudieran haber sido aplicados con fines aglutinantes, consolidantes o protectores.

Los equipos empleados en esta tesis han sido:

- Microscopio óptico, modelo Olympus BX51 que trabaja con luz transmitida o reflejada, a 12, 24, 40, 100, 200 y 400 aumentos (Fig. 3.1).
- Microscopio binocular Olympus, modelo SZ16 que emplea luz incidente y permite observaciones a escalas comprendidas entre los 7 y los 110 aumentos (Fig. 3.1).

El microscopio petrográfico y el microscopio estereoscópico llevan ensamblada una cámara fotográfica y/o videocámara, modelo Olympus DP72, con resolución de imagen de 4140 x 3096 (pixel shifting) a 1360 x 1024 (1x1), e imágenes en movimiento desde 15 cuadros/s (tamaños 1360 x 1024), conectada a un PC.

- Microscopio electrónico, modelo Hitachi TM-3000, asociado a un microanalizador EDX, modelo Nano XFlash de la casa Bruker (Fig. 3.2). Permite observaciones a escalas comprendidas entre 40 y 30.000 aumentos, siendo las energías empleadas para la observación y microanálisis de 5kV y 15kV, respectivamente. El equipo consta de un software Bruker Quantax 70, que permite la selección y análisis puntual de perfiles lineales y mapeado de elementos químicos sobre imágenes de SEM, con resolución de 135eV @ Mn K $\alpha$  y detector de 30 mm<sup>2</sup> y posibilidad de extracción de matriz de datos analíticos para tratamiento posterior en PC. Este equipo, además, no requiere de la metalización de las superficies para su observación o análisis, lo que supone una gran ventaja, ya que la metalización de las muestras, con oro u oro-paladio, es un proceso irreversible.
- Difractómetro de polvo rayos X, modelo PHILIPS X' PERT PRO, equipado con un tubo de ánodo de cobre. Posee óptica de haz incidente con rendija programable de divergencia y atenuador de haz directo.
- Espectrómetro de fluorescencia de rayos X, modelo PHILIPS PW2404 y cargador automático "PW2540". El equipo está dotado de un tubo con ánodo de rodio (Rh) con 4 Kw de potencia y 5 cristales analizadores (Fli 200, Fli 220, Pe, Ge y Px1) que se completa con 3 detectores (sellado de xenón, centelleo y flujo gaseoso).
- Estufas de secado Memmert 800
- Sierras de baja deformación ISOMET de la casa Buehler
- Balanzas de precisión Cobos Aw320 y Cobos C

Los análisis de compuestos orgánicos han sido realizados por el laboratorio de análisis Arte-Lab.

### **3.2.- MÉTODOS DE DATACIÓN, TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS**

La datación persigue la asignación temporal de un material, de un suceso o conjunto de sucesos a una fecha concreta. En este sentido, los sistemas de datación, basados en la ordenación relativa o absoluta en el tiempo de un conjunto de acontecimientos, constituyen una herramienta fundamental de interpretación en el campo de la arqueología, de la arquitectura o de la actualmente denominada arqueología de la arquitectura (Caballero *et al.* 1995<sup>114</sup> y Caballero *et al.* 1996<sup>115</sup>). Esta última se basa en un sistema de aplicación del análisis estratigráfico de paramentos, desarrollado a partir del *Método de Harris de registro Arqueológico* (Harris, 1991)<sup>116</sup>, diseñado para excavaciones

---

<sup>114</sup> Caballero Zoreda L. y Latorre González-Cámara P. (coord.) (1995) "Leer el documento construido" Informes de la Construcción, 435 (número monográfico)

<sup>115</sup> Caballero Zoreda L. y Escribano Velasco C. (eds.) (1996) "Arqueología de la Arquitectura. El método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos" Salamanca.

<sup>116</sup> Harris E.C. (1991) "Principios de estratigrafía arqueológica" Barcelona.



arqueológicas y que se fundamenta en el estudio, identificación, ordenación y datación de las diferentes fases constructivas de edificaciones históricas (Blanco Rotea, 1999)<sup>117</sup>. Cada unidad estratigráfica es estudiada, identificada, numerada y trasladada a matrices de interpretación, mediante las unidades estratigráficas murarias (UEM), terminología acuñada por Mannoni en 1990<sup>118</sup>.

En lo que se refiere a la datación de morteros, se establecen dos vías de análisis: la cronología relativa y la absoluta. La primera consiste en fechar el mortero según su posición respecto a otro elemento determinado: anterior o posterior, superior o inferior. Basándose en principios estratigráficos y constructivos básicos, este método permite eliminar secuencias alternativas imposibles. Por ejemplo, no se puede haber construido una bóveda antes que los elementos que la sustentan, ni un enlucido puede ser más antiguo que el enfoscado subyacente. La segunda vía de datación absoluta requiere de técnicas científicas más o menos sofisticadas (Nawrocka, 2012<sup>119</sup>), basadas en métodos nucleares (datación por radiocarbono o carbono-14, potasio-argón), microscópicos (dendrocronología, palinología, análisis morfoquímicos etc.) o físico-químicos (termoluminiscencia, magnetismo termorremanente o electromagnetismo, tasa de racemización de aminoácidos, tasa de cationes, análisis de residuos orgánicos, determinación química de pigmentos, elementos traza, etc.).

El criterio más recomendable consiste en combinar ambas cronologías (relativa y absoluta), integrando valores histórico-arqueológicos (documentales, estilísticos, lectura de paramentos, etc.) y arquitectónicos, con los datos aportados por las técnicas y métodos de análisis que se aplican en el campo de la geología, la biología, la química y la física. Esta combinación de análisis proporciona criterios objetivos para establecer secuencias temporales. De esta forma, se podrá identificar qué fechas son fiables y cuáles no, cuando haya contradicciones cronológicas o constructivas. Por el contrario, si las fechas obtenidas por datación absoluta no coinciden o son inconsistentes, la datación relativa, basada en el estudio petrográfico de los morteros, permitirá conocer el sesgo de ese valor e incluso identificar y clasificar muestras, materiales o inclusiones problemáticas.

### **3.2.1.- DATACIÓN RELATIVA**

La datación relativa toma como base el principio geológico de la superposición de estratos, formulado por Steno, en 1669, según el cual «toda capa superpuesta a otra es más moderna que aquella» (Corrales *et al*, 1977)<sup>120</sup>. Este principio puede aplicarse a los morteros o las capas pictóricas en caso de superposiciones, de modo que cada capa es más antigua que la que tiene por encima y más joven que la que tiene por debajo (Fig. 3.6).

---

<sup>117</sup> Blanco Rotea R. (1999). "San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela – A Coruña)", Grupo de Investigación en Arqueología del Paisaje Departamento de Historia I, Universidad de Santiago de Compostela, Trabajo de Investigación, septiembre 1999, 142p.

<sup>118</sup> Mannoni, T., 1990, "Archeometria: archeografia o archeologia?", *Dialoghi di Archeologia* VIII- 2, págs. 77 y ss.

<sup>119</sup> Nawrocka D. (2012). "Radiometric Dating" Edited by Danuta Michalska Nawrocka, Croatia 2012, 126 p

<sup>120</sup> Corrales I., Rosell J., Sanchez L., Vera J. y Vilas L. (1977). "Estratigrafía" Editorial Rueda, Madrid 1977, p. 3-4.

«La datación de un edificio, yacimiento o sitio arqueológico requiere de una verdadera estrategia basada en el análisis estratigráfico y en el reconocimiento de los nudos estratigráficos (Carandini, 1997)<sup>121</sup>, en la que se utilicen de forma combinada varios indicadores cronológicos que permitan confrontar y afinar de forma recíproca las informaciones que obtenemos de manera aislada» (Quirós, 2009)<sup>122</sup>.

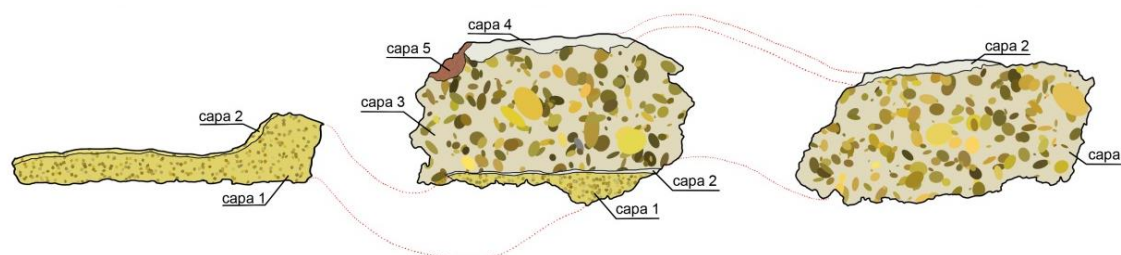


Figura 3.6.- Esquema de correlación entre morteros, siguiendo el principio de superposición de estratos.

De la misma manera que en geología se usan determinados fósiles o paragénesis minerales para definir capas o niveles estratigráficos guía (Gale, 2009)<sup>123</sup>, la presencia de determinados áridos, pigmentos, aditivos o elementos traza puede servir para establecer analogías cronológicas entre morteros o capas pictóricas. Si además, se tienen en cuenta los principios constructivos básicos, es posible eliminar secuencias temporales inconsistentes, cuando se dispone de una secuencia de morteros aplicados en varias capas o cuando aparecen superposiciones de distintos morteros. El análisis estratigráfico de este tipo de muestras resulta fundamental para establecer la secuencia temporal de aplicación de los diferentes morteros.

La edad relativa de algunas muestras podrá ser determinada por la posición de unidades estratigráficas dentro de la secuencia constructiva, basándose en la presencia de niveles horizontales contemporáneos en secuencias estratigráficas independientes, a menudo aparentemente diferentes. Si una serie de morteros está por encima de otros, entonces la serie superior se incorporó al edificio después que la serie inferior, a menos que se puedan identificar secuencias invertidas, lo cual es temporalmente imposible si tenemos en cuenta los principios constructivos.

Siguiendo estos razonamientos, las asociaciones minerales o de pigmentos dentro de las capas de mortero o en las pinturas murales pueden ser clasificadas en cuanto a su edad relativa. Además, siguiendo el razonamiento uniformista, desarrollado por el geólogo James Hutton a finales del siglo XVIII, se asume la continuidad de los procesos físico-químicos, a través del tiempo. En

<sup>121</sup> Carandini A. (1997). "Historias en la tierra. Manual de excavaciones arqueológicas" ed. Crítica, Barcelona.

<sup>122</sup> Quirós del Castillo J.A. (2009) "Las dataciones radiocarbónicas de yacimientos de época histórica. Problemas y experiencias de análisis en contextos de época medieval". MUNIBE (Antropología-Arkeología) nº 60, pp.313-324: p. 322, San Sebastián 2009.

<sup>123</sup> Gale S.J. (2009). "Event chronostratigraphy: a high-resolution tool for dating the recente past" Quaternary Geochronology 4 (2009): 391-399.

consecuencia los procesos y técnicas actuales pueden ser utilizados para conocer las técnicas constructivas y los procesos de ejecución empleados en el pasado, teniendo en cuenta que las materias primas y recursos geológicos, empleados en la elaboración de morteros de cal, han sido tradicionalmente similares. En ese aspecto, también el presente debería de ser la clave del pasado.

En resumen, este tipo de datación persigue la clasificación, en términos de orden relativo de edad, de las muestras objeto de análisis, buscando la mayor o menor antigüedad de los morteros o de las capas pictóricas, aplicadas sobre ellos. Como ya se ha expuesto anteriormente, esta ordenación cronológica se ha basado en algunos de los principios empleados en las ciencias geológicas, en particular en estratigrafía, aunque también se integran con datos histórico-documentales, resultados de observaciones macroscópicas y microscópicas, análisis mineralógicos, morfoquímicos, químicos específicos para la determinación de pigmentos y con técnicas estadísticas. En este sentido los estudios de caracterización de materiales, tanto de morteros como de pinturas, proporcionarán resultados que servirán para establecer la datación relativa de las muestras. Además, la identificación de pigmentos, incluida en los procedimientos de caracterización, puede ser usada, en sí misma, como una herramienta de datación. A continuación se desarrolla brevemente este último método.

### **Identificación de pigmentos**

Los pigmentos son uno de los constituyentes esenciales de la pintura mural aplicada sobre los morteros altomedievales. Su identificación puede constituir una herramienta eficaz para establecer dataciones relativas ya que, como se expone en el capítulo anterior hay pigmentos característicos de un periodo restringido de la historia. Si además, la técnica pictórica empleada ha sido al fresco, sobre mortero todavía húmedo, el pigmento queda inmerso en las zonas superficiales del mortero, formando un todo indisoluble, lo que facilita las correlaciones estratigráficas entre muestras análogas, actuando como capa guía. Además, determinados pigmentos, con contenidos en plomo pueden proporcionar dataciones absolutas del momento de aplicación del enlucido pictórico. Una de las técnicas más útiles para la identificación de pigmentos es la lupa y la microscopía electrónica de barrido (MEB) con microanálisis, mediante espectrómetros dispersivos de rayos X (EDX).

### **3.2.2.- DATACIÓN ABSOLUTA**

La datación absoluta se sustenta en una serie de métodos que se diferencian entre sí por la técnica utilizada y por el rango de tiempo que permiten abarcar. Algunos de estos métodos se describen, brevemente a continuación y otros, como el radiocarbono, se desarrollan en mayor profundidad. Ello es debido a que es la primera técnica radiométrica empleada (Libby, 1952; segunda edición 1955<sup>124</sup> Taylor, 1987<sup>125</sup>, Bowman, 1990<sup>126</sup>, Aitken, 1990<sup>127</sup>, Taylor *et al.* 1992<sup>128</sup>, Lowe y Walker, 1997<sup>129</sup>,

---

<sup>124</sup> Libby, W.F., 1952 (1955). "Radiocarbon Dating". 2nd edition (Chicago: Chicago University Press).

<sup>125</sup> Taylor, R.E. (1987). "Radiocarbon Dating: An Archaeological Perspective" (Orlando: Academic Press).

<sup>126</sup> Bowman, S. (1990). "Radiocarbon Dating" (London: British Museum).

Taylor 1997<sup>130</sup>; 2001<sup>131</sup> y Walker 2005<sup>132</sup>) y es la más ampliamente utilizada, a pesar de que sólo es aplicable a espacios de tiempo, relativamente cortos 45.000 años (Walter, 2005)<sup>133</sup>.

### 3.2.2.1.- Introducción a los métodos y técnicas de datación

**Método del uranio–plomo.** Este método es especialmente útil para estudiar períodos muy antiguos en el tiempo y se ha utilizado, por ejemplo, para calcular la edad de la Tierra. Se basa en las desintegraciones de familias radioactivas. Un nucleído radioactivo se desintegra de forma natural dando lugar a otro, también radioactivo, que se posteriormente se vuelve a desintegrar y así sucesivamente hasta llegar a la formación de un nucleído estable (Gómez, 2004)<sup>134</sup>. Esto ocurre con el <sup>238</sup>U, padre de una familia radiactiva que se desintegra hasta llegar al <sup>206</sup>Pb. Conociendo las cantidades relativas de estos isótopos se puede calcular la edad de una roca. Este método también resulta adecuado para la datación del pigmento albayalde o blanco de plomo, basándose en su contenido en <sup>238</sup>U. Este isótopo se desintegra, con un período de semidesintegración de 1.600 años, en <sup>210</sup>Pb, el cual decrece, con un período de semidesintegración de 22 años, hasta estar en equilibrio con el <sup>226</sup>Ra. Un blanco de plomo moderno presentará una proporción diferente de <sup>210</sup>Pb y <sup>226</sup>Ra, mientras que un albayalde antiguo presentará igual cantidad de <sup>210</sup>Pb y <sup>226</sup>Ra (Gómez 2014)<sup>135</sup>.

**Método potasio–argón.** Este método, al igual que el método del uranio-plomo, se basa en la desintegración sucesiva de isótopos radioactivos hasta llegar a un isótopo estable. En este caso, el isótopo <sup>40</sup>K, presente en minerales de origen volcánico, se desintegra sucesivamente hasta llegar al isótopo estable <sup>40</sup>Ar.

**Termoluminiscencia (TL).** Constituye otra técnica de datación fiable, especialmente adecuada para materiales cerámicos antiguos, fabricados en el período histórico – protohistórico. Los materiales latericios pueden aparecer como agregados de morteros y hormigones (Pesce *et al.*, 2013)<sup>136</sup>.

---

<sup>127</sup> Aitken, M.J. (1990). "Science-Based Dating in Archaeology" (London: Longman).

<sup>128</sup> Taylor, R.E. (1992). "Radiocarbon dating of bone: to collagen and beyond", in R.E. Taylor, R. Kra, A. Long (eds), *Radiocarbon After Four Decades: An Interdisciplinary Perspective*, 375–402 (New York: Springer-Verlag).

<sup>129</sup> Lowe, J.J. & Walker, M.J.C. (1997). "Reconstructing Quaternary Environments". 2nd edition (London: Pearson International).

<sup>130</sup> Taylor, R.E. (1997). "Radiocarbon dating", in R.E. Taylor, M.J. Aitken (eds), *Chronometric Dating in Archaeology*, 65–96 (New York: Plenum Press).

<sup>131</sup> Taylor, R.E. (2001). "Radiocarbon Dating", in D.R. Brothwell, A.M. Pollard (eds), *Handbook of Archaeological Sciences*, 23–34 (Chichester and New York: John Wiley).

<sup>132</sup> Walker, M.J.C. (2005). "Quaternary Dating Methods" *International Library of Archaeology*, <http://historiayarqueología.com/group/library>.

<sup>133</sup> Walter M. (2005). "Quaternary dating methods". *John Wiley & Sons* p. 19.

<sup>134</sup> Gómez M<sup>a</sup>.L. (2004) "La restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte" *Cuadernos Arte Cátedra. Instituto del Patrimonio Histórico Español* p. 222.

<sup>135</sup> Gómez M<sup>a</sup>.L. (2004) "La restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte" *Cuadernos Arte Cátedra. Instituto del Patrimonio Histórico Español* p. 228.

<sup>136</sup> Pesce G.L., Micheletto E., Quarta G., Uggè S., Calcagnile L. y Decri A. (2013). "Radiocarbon dating of mortars from the baptismal font of the San Lorenzo Cathedral of Alba (Cuneo, Italy): comparison with thermoluminescence dating of related bricks and pipes". *Radiocarbon*, Vol 55 N<sup>o</sup> 2-3, 2013, p.526-533.

La termoluminiscencia es el fenómeno que se produce cuando ciertos materiales al ser calentados emiten luz, siendo esta emisión diferente de la incandescencia. Los electrones presentes en un cristal poseen una energía determinada por la mecánica cuántica que los distribuye en «bandas» de valores de energía posibles, entre las cuales las dos más externas y de mayor energía, son: la banda de valencia y la de conducción (Arribas, 1989)<sup>137</sup>. Entre estas bandas existe un vacío o «gap» en el cual no es posible que se sitúe un electrón. Sin embargo, las impurezas y defectos cristalinos provocan la aparición de valores energéticos posibles dentro de este gap. De manera que un electrón que viaja por la banda de conducción puede encontrar en su camino uno de estos centros, denominados «trampa», y quedar atrapado en él.

Minerales como el cuarzo, los feldespatos y las arcillas, son irradiados permanentemente y de forma natural por radionucleídos (uranio, torio, potasio, etc.). Estas radiaciones atraviesan los minerales e ionizan sus átomos de manera que ciertos electrones pueden quedar atrapados en los defectos cristalinos de estos minerales que se comportan como cepos. Al calentarlos a temperaturas comprendidas entre 400 y 500°C, determinados electrones de estos compuestos inorgánicos son liberados y pasan a otros átomos que han perdido un electrón. Esta reorganización interna excita los centros luminógenos de estos minerales produciendo una radiación luminosa, que es la termoluminiscencia. La intensidad de esta emisión va a ser directamente proporcional al número de electrones atrapados que a su vez depende, de la magnitud de la dosis radiactiva que ha recibido el material, es decir, del tiempo que ha estado irradiado, asumiendo un nivel de irradiación constante.

La cocción de una cerámica libera todos los electrones de las trampas y a partir de ese momento, el llenado está condicionado por la dosis radiactiva que incide sobre ella (dosis arqueológica). Para determinar esta dosis se compara la termoluminiscencia natural de la muestra con la termoluminiscencia artificial, inducida en el laboratorio. Conociendo la termoluminiscencia inducida por una dosis conocida, se puede calcular la dosis acumulada de la muestra desconocida. Para conocer la edad de fabricación de una cerámica hay que conocer también la dosis anual acumulada, ya que la edad real es igual a la dosis arqueológica, dividida por la dosis anual. Posteriormente, se calculan los errores asociados a las edades estimadas en base a los estudios de Aitken (1985<sup>138</sup>) y Arribas *et al* (1990<sup>139</sup>), que tienen en cuenta tanto los errores sistemáticos como estadísticos correspondientes a las medidas de termoluminiscencia (velocidades de dosis establecidas, procesos de calibrado de las fuentes radioactivas y equipos utilizados).

**Método del carbono 14 o radiocarbono (<sup>14</sup>C).** El método de datación por radiocarbono es la técnica más fiable para conocer la edad de muestras orgánicas de menos de 60.000 años, aunque

---

<sup>137</sup> Arribas J.G., Calderón T. y Blasco C. (1989), "Datación absoluta por termoluminiscencia: un ejemplo de aplicación arqueológica". *Trabajos de Prehistoria* 46, pp. 231 – 246.

<sup>138</sup> Aitken, M.J. (1985), *Academy Press, London*

<sup>139</sup> Arribas, J.G.; Millán, A.; Sibilia, E.; Calderón, T. (1990), "Factores que afectan a la determinación del error asociado a la datación absoluta por TL: Fabrica de ladrillos". *Bol. Soc. Es. De Min.* 13, 141-147

en la práctica su rango de aplicación suele establecerse en ocho vidas medias, alrededor de 45.000 años (Walter, 2005)<sup>140</sup>.

El radiocarbono o carbono 14 es un isótopo inestable y débilmente radioactivo (15 desintegraciones por minuto y gramo) frente al <sup>12</sup>C y el <sup>13</sup>C, ambos estables. El <sup>14</sup>C está formándose continuamente en las capas más altas de la atmosfera por efecto de los rayos cósmicos sobre los átomos de nitrógeno 14 (<sup>14</sup>N) [<sup>14</sup>N+neutrón ⇒<sup>14</sup>C+protón] y cuando se desintegra emite una radiación.

Este <sup>14</sup>C se oxida rápidamente en el aire formando CO<sub>2</sub> entrando a formar parte del ciclo global del carbono. Las plantas y los animales asimilan durante su vida el <sup>14</sup>C a partir del CO<sub>2</sub>, manteniendo en equilibrio la relación <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C, de manera que cuando estos organismos mueren, dejan de intercambiar carbono con la biósfera y su contenido en <sup>14</sup>C empieza a disminuir a una tasa determinada ("ley de desintegración radioactiva"). El período de semidesintegración del <sup>14</sup>C (T<sub>1/2</sub>) es de 5.568 años. Hay que tener en cuenta que mientras se produce la disminución del <sup>14</sup>C, la cantidad de <sup>12</sup>C se mantiene constante, lo que a su vez disminuye la relación <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C.

Al medir la radioactividad, se calcula la cantidad de <sup>14</sup>C que aún queda en la muestra, o lo que es lo mismo su radioactividad residual (Quan Hua, 2009<sup>141</sup>; Timothy Jull *et al.*, 2013<sup>142</sup>). A partir de ella se puede deducir la edad del organismo en el momento de su muerte: edad radiocarbónica convencional o de <sup>14</sup>C, expresada en años BP (Before Present).

La edad radiocarbónica, expresada en años BP<sup>143</sup>, equivale a los años transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el año 1950 de nuestro calendario (cero BP se define como AD<sup>144</sup> 1950). Se elige esta fecha por convenio, porque en la segunda mitad del siglo XX, los ensayos nucleares provocaron severas anomalías en las curvas de concentración relativa de los isótopos radiactivos en la atmósfera, aumentando la cantidad de <sup>14</sup>C. Además, la proporción de <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C ha variado en los últimos milenios, debido a las variaciones de la cantidad de rayos cósmicos que han penetrado en la atmósfera, al decrecer el campo magnético terrestre.

Existen dos técnicas de medición de radiocarbono: a través de datación radiométrica y por espectrometría de masas con aceleradores (AMS). La primera detecta las partículas beta, producidas por la descomposición de los átomos de <sup>14</sup>C. La segunda es más adecuada ya que permite medir directamente el contenido en <sup>14</sup>C en relación con el <sup>12</sup>C y el <sup>13</sup>C presente. El funcionamiento de esta técnica se basa en el calentamiento y separación (ionización) de los diferentes átomos de carbono. Éstos, separados de sus electrones, se convierten en partículas cargadas de electricidad que se introducen en un acelerador de partículas. Los átomos de carbono

---

<sup>140</sup> Walter M. (2005). "Quaternary dating methods". John Wiley & Sons p. 19.

<sup>141</sup> Quan Hua (2009). "Radiocarbon: Achronological tool for the recent past". *Quaternary Geochronology* 4, 2009: 378-390.

<sup>142</sup> Timothy Jull, George S. Burr y Gregory W.L. Hodgins (2013). "Radiocarbon dating, reservoir effects, and calibration", *Quaternary International* 299 (2013) pp. 64-71.

<sup>143</sup> BP=Before Present

<sup>144</sup> AD=Anno Dómini ≈ dC=después de Cristo

cargados y acelerados se desvían mediante electroimanes. Mientras el carbono  $^{12}\text{C}$  se desvía más por su menor masa, los isótopos  $^{14}\text{C}$  y  $^{13}\text{C}$  siguen trayectorias distintas y terminan en detectores diferentes. Mediante la técnica AMS se detectan y cuentan directamente los átomos, en lugar de sus emisiones radioactivas que son las utilizadas en la datación convencional para estimar la proporción isotópica de forma indirecta. Con la técnica AMS puede medirse con exactitud la cantidad de átomos, independientemente de su radioactividad y con una menor cantidad de muestra. Hay dos sistemas aceleradores comúnmente utilizados para datación por radiocarbono con un espectrómetro de masas con aceleradores: el ciclotrón y el acelerador electrostático en tándem.

Después del tratamiento previo, las muestras a datar se preparan, convirtiéndolas en una forma de grafito sólido, mediante la conversión a dióxido de carbono, con la consiguiente grafitización en presencia de un catalizador metálico. Hay que tener en cuenta que al quemar las muestras para convertirlas en grafito, se introducen otros elementos, como el nitrógeno 14.

Aunque esta técnica está muy desarrollada, existen limitaciones, fundamentalmente relacionadas con el tipo de muestra, el objeto de datación y la interpretación de los resultados. Existen ventajas e inconvenientes dependiendo de que las muestras sean de origen orgánico (madera, carbón vegetal, huesos) o inorgánico (carbonatos de origen geológico, biológico, antrópico o de neoformación) (Van Strydonck, *et al.*, 1992)<sup>145</sup>. A continuación, y en el apéndice de esta tesis se profundiza en la metodología y procedimientos empleados para la datación de muestras inorgánicas (conchas y morteros de cal) (Nawrocka *et al.*, 2005)<sup>146</sup>. En los morteros de cal, la datación se realiza fundamentalmente a partir del carbonato presente en la matriz, originado por la transformación de la cal en calcita, durante el fraguado o endurecimiento del mortero. Así mismo se exponen los mecanismos y procesos implicados en la preparación de las muestras para su datación, haciendo una valoración de las ventajas e inconvenientes de unos pre-tratamientos frente a otros. Aunque esta técnica está muy desarrollada, existen limitaciones tal como hemos comentado con anterioridad, fundamentalmente relacionadas con el tipo de muestra, el objeto de datación y la interpretación de los resultados. A continuación se exponen las variaciones del método dependiendo de que las muestras sean de origen orgánico o inorgánico.

### **3.2.2.2.- Métodos y técnicas de datación con $^{14}\text{C}$**

Teniendo en cuenta que la datación con carbono 14 es el método más desarrollado, fiable y más frecuentemente usado, a continuación se explican sus variantes dependiendo de la naturaleza de las muestras a estudiar, incidiendo en la utilidad de la datación a partir de los morteros de cal.

---

<sup>145</sup> Van Strydonck M., Van der Borg K., De Jong A. y Keppens E. (1992). "Radiocarbon dating of lime fractions and organic material from buildings". *Radiocarbon*, Vol 34, N° 3, 1992, pp. 873-879.

<sup>146</sup> Nawrocka D., Micheniewicz J., Pawlyta J. y Pazdur A. (2005). "Application of radiocarbon method for dating of lime mortars". *Geochronometria* Vol. 24, pp. 109-115, 2005 – Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology.

### **Datación <sup>14</sup>C Tradicional: a partir de maderas y carbón**

Al medir la radioactividad se calcula la cantidad de <sup>14</sup>C que aún queda en la muestra, o lo que es lo mismo, su radioactividad residual, a partir de la cual se puede deducir la edad del organismo en el momento de su muerte.

La datación radiocarbónica a partir de muestras orgánicas indica cuándo el organismo estaba vivo, inmediatamente antes de su muerte, pero no cuando fue utilizado en la construcción. Esto igualmente afecta a la datación de huesos, caparazones fósiles, carbones vegetales y maderas, incorporadas como agregados en los morteros.

Aunque el método es fiable, la interpretación de resultados es muy compleja, por ejemplo, al datar una madera se conoce la edad en la que ésta creció pero habría que diferenciar el tipo de árbol del que procede y si se trata de madera madura o ramas. En el tronco de un árbol de avanzada edad hay anillos mucho más antiguos que en las ramas. Asumiendo que se ha determinado el tipo y procedencia de la madera incorporada al mortero o usada como elemento constructivo, no se puede descartar que ésta no haya sido reutilizada de un edificio o de una construcción anterior. Teniendo en cuenta estas premisas, las edades no estarían centradas en la de construcción de la estructura, sino en un período anterior. Es una propiedad suficientemente conocida y documentada en las muestras de tipo biológico que se denomina “*in-built age*” y que podría traducirse como “edad pre-existente” (Gavin 2001<sup>147</sup> y Vecchiattini *et al.*, 2013)<sup>148</sup>.

Los restos bioarqueológicos, vegetales (carbón de madera) o animales (huesos, conchas, etc.) de vida potencialmente larga, necesitan calibraciones complejas para compensar los efectos reservorios, además de las posibles contaminaciones diagenéticas (López-Doriga, 2013)<sup>149</sup>. Frente a estos problemas, López-Doriga aboga por la datación de carporrestos (semillas y frutos) que ofrecen numerosas ventajas, por su corta vida. En muestras de origen biológico es fundamental conocer la ecología del organismo (hábitat, dieta, etc.) y el medio ambiente local para poder estimar adecuadamente el efecto reservorio local. Es sabido que las muestras terrestres están condicionadas por la atmósfera y las de origen acuático (marino o de agua dulce) por diferentes factores, propios de su medio (Hart *et al.*, 2013)<sup>150</sup>.

De forma general puede decirse que cuanto más elevada sea la posición de un animal en la cadena trófica, más posibilidad hay de que, mediante su dieta, incorpore en su cuerpo carbono de los

---

<sup>147</sup> Gavin D. G. (2001). “Estimation of inbuilt age in radiocarbon ages of soil charcoal for fire history studies”. *Radiocarbon*, Vol 43, Nr 1, 2001, p 27–44

<sup>148</sup> Vecchiattini R., Giovanni L., Pesce G., Quarta L. & Calcagnile L. (2013) “Sampling problems in the radiocarbon dating of old mortars and plasters with the pure lime lumps technique”. *Built Heritage 2013 Monitoring Conservation Management* p 1066 - 1074

<sup>149</sup> López – Doriga I. (2014). “Por qué datar carporrestos arqueológicos por radiocarbono? NAILOS: Estudios Interdisciplinarios de Arqueología, Nº 1, Oviedo, 2014 pp. 167-180.

<sup>150</sup> Hart J., Lovis W., Urquhart G y Reber E. (2013) “Modeling freshwater reservoir offsets aon radiocarbon-dated charred cooking residues”. *American Antiquity*, 78 (3): 536-552.



organismos que consume, envejeciendo la edad absoluta de las muestras (Pollard et al 2011<sup>151</sup> y Ascough et al, 2012<sup>152</sup>). Tampoco hay que olvidar que los seres vivos cambian la dieta o a lo largo de su vida, ni que en muchos organismos con conchas, las dataciones pueden verse afectadas por procesos de recristalización. En este sentido, podría parecer que los herbívoros presentan ventajas frente a los carnívoros y omnívoros pero esto no es una regla general, ya que depende de los tipos y las partes de los vegetales de los que éstos se alimenten.

En lo que respecta a animales acuáticos, los problemas del efecto reservorio están ligados a los propios del agua. El contenido en carbono del agua marina han variado a lo largo de la historia de la Tierra, en relación con los procesos de afloramiento costero o “*upwelling*”. Además, las curvas marinas de calibración están elaboradas para períodos concretos, locales y regionales, por lo que podrían sufrir variaciones al aumentar el intervalo temporal de las mismas. En medios de agua dulce, el contenido en carbono sufre fluctuaciones, condicionadas entre otras cosas, por el enclave geológico, la surgencia de aguas subterráneas, más o menos contaminadas y por la descomposición de la materia orgánica (Fischer y Heinemeier 2003)<sup>153</sup>. En zonas de estuario, con mezclas de agua dulce y salada, el efecto reservorio se complica, en mayor medida.

Las muestras vegetales de origen terrestre y parte de las de origen marino, escapan a los efectos reservorio, dietas y diagénesis pero plantean otros problemas relacionados con su conservación (carbonización, desecación, etc.), sin olvidar los inherentes al ciclo vital arbustivo, condicionado por el tipo de especie, su crecimiento y la procedencia de la muestra (posición en el tronco, ramas), así como por los procesos de descomposición que a veces se inician antes de su muerte. Además su utilización, en edificaciones tienen lugar cuando la madera ya es vieja, lleva tiempo cortada o incluso se reaprovecha de construcciones anteriores. Putrefacciones de la madera o incendios generan la reposición y sustitución de estos materiales, proporcionando edades más jóvenes. En el caso de las muestras de carbón vegetal surgen los mismos problemas que en la datación de las maderas, a los que hay que añadir otros posteriores derivados de los procesos y temperaturas de combustión.

### ***Datación <sup>14</sup>C actual: a partir de la matriz de los morteros***

Los morteros que presentan cal como ligante, contienen átomos de carbono de origen inorgánico, con una determinada composición isotópica. La cal viva, empleada en la elaboración de los morteros y obtenida por calcinación de rocas calizas, es extinguida con agua, transformándose en cal muerta o hidratada. El fraguado del mortero, elaborado a partir de cal hidratada, agua y arena,

---

<sup>151</sup> Pollard A. Mark, Ditchfield Peter, Mccullagh James S.O., Allen Tim G., Gibson Mark, Boston Ceridwen, Clough Sharon, Marquez-Grant Nicholas y Nicholson Rebecca A. (2011) “These boots were made for walking. The isotopic analysis of a C14 Roman inhumation from Gravesend Kent, UK” *American Journal of Physical Anthropology*, 146(3):446-456.

<sup>152</sup> Ascough Philipps L., Church Mike J., Cook Gordon T., Dunbar Elaine, Gestdóttir Hildur, MCGovern Thomas H-, Dugmore Andrew J., Fririksson Adolf y Edwards Kevin J. (2012).” Radiocarbon reservoir effects in human bone collagen from northern Iceland” *Journal of Archaeological Science*, 39(7):2261-2271.

<sup>153</sup> Fischer A. y Heinemeier J. (2003). “Fresh water reservoirs effects in <sup>14</sup>C dates of food residue on pottery”. *Radiocarbon* 45(3): 449-466.

se produce absorbiendo CO<sub>2</sub> atmosférico, con la consiguiente incorporación de carbono atmosférico al carbonato cálcico resultante (Hale *et al.*, 2003<sup>154</sup> y Ortega *et al.*, 2011) (Fig. 3.7).

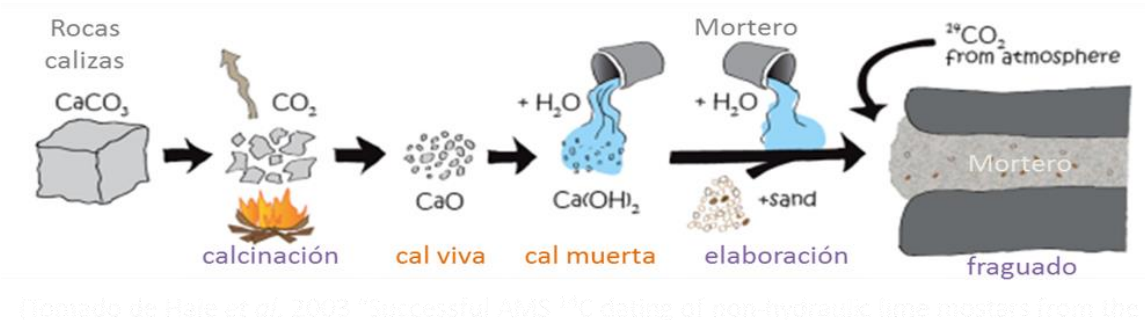


Figura 3.7.- Esquema del proceso de elaboración de un mortero (Tomado de Hale *et al.* 2003, con modificaciones).

Conociendo la cantidad de <sup>14</sup>C incorporada durante el fraguado del mortero, carbono procedente del CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido durante el endurecimiento del mortero, se mide su desintegración (Heinemeier *et al.*, 2010)<sup>155</sup>, o lo que es lo mismo, el momento de construcción del edificio. En este sentido, los morteros tienen la llave de la cronología de las construcciones respecto a otros materiales susceptibles de ser datados, ya que proporcionan la fecha real de la edificación, siendo producto de un lugar y una época concreta (Rodríguez, 2005)<sup>156</sup>.

**Método finlandés.** En 1964, Delibrias y Labeeyrie<sup>157</sup> advierten sobre el potencial que tienen los morteros para las dataciones radiocarbónicas y en 1992 Mark Van Strydonck<sup>158</sup> y Högne Jungner (Dating Laboratory Helsinki University), pioneros en los años 80 en la datación de morteros (Van Strydonck *et al.*, 1986<sup>159</sup>, Van Strydonck *et al.*, 1989<sup>160</sup>, Van Strydonck *et al.*, 1990<sup>161</sup>, Van Strydonck *et al.*, 1991<sup>162</sup>), publican un artículo recomendando el uso AMS para la datación del <sup>14</sup>C de los morteros (Ringbom, 2014)<sup>163</sup>. Pero aunque la datación de la matriz parece el modo más directo y más adecuado para estimar la edad radiocarbónica de un mortero a partir de muestras inorgánicas, presenta más riesgos que la datación de materiales orgánicos. Las causas fundamentales son: la

<sup>154</sup> Hale J., Heinemeier J, Lancaster L, Lindroos A, Ringbom Å.. (2003). "Successful AMS 14C dating of non-hydraulic lime mortars from the medieval churches of Åland Islands, Finland". Radiocarbon, Vol 52, Nr 1, 2010, p 171-204.

<sup>155</sup> Heinemeier J., Ringbom A., Lindroos A., Sveinbjörnsdóttir A. (2010) "Successful AMS 14C dating of non-hydraulic lime mortars from the medieval churches of Åland Islands, Finland". Radiocarbon, Vol 52, Nr 1, 2010, p 171-204.

<sup>156</sup> Rodríguez Gordillo J.F. (2005). "Morteros como elementos de estudio en arqueología-arqueometría medieval" Arqueometría y Arqueología Medieval, ISBN 84-609-7788-9, 2005, pages. 171-192

<sup>157</sup> Delirias J. and Labeeyrie G. (1964) "Dating of old mortars by the carbon-14 method" Nature 201, pp. 742

<sup>158</sup> Van Strydonck M., Van Der Borg K., De Jong A. and Keppens E. (1992). "Radiocarbon dating of lime fractions and organic material from buildings". Radiocarbon, Vol 34, N° 3, 1992, P. 873-879.

<sup>159</sup> Van Strydonck, M., M. Dupas, M. Dauchot-Dehon, C. Pachiaudi and J. Marechal, The influence of contaminating (fossil) carbonate and the variation of δ13C in mortar dating. In Proceedings, 12th International 14C conference, eds. M. Stuiver and W.H. Waldren, Radiocarbon 28, 1986, 702-710

<sup>160</sup> Van Strydonck, M., M. Dupas and E. Keppens, Isotopic Fractionation of Oxygen and Carbon in Lime Mortar Under Natural Environmental Conditions, Radiocarbon 31, 1989, 610-618

<sup>161</sup> Van Strydonck, M. and William H. Waldren, Radiocarbon Dating of Lime Burials, Pact 29. 1990, 403-413

<sup>162</sup> Van Strydonck, M., and M. Dupas, The classification and dating of lime mortars by chemical analysis and radiocarbon dating: A review. In 11nd Daye International Conference of prehistory, Vol II. Eds. W.H. Waldren, J.A. Ensenyat & R. C. Kennard (BAR Interantional Series, 574), 1991, 5-43.

<sup>163</sup> Ringbom A. (2014). "The story of mortar dating – from an archaeological point of view". Third Mortardating Workshop in Padova, April 14-16.

posible incorporación de carbonatos fósiles de origen geológico y/o biológico (Dotsika *et al.*, 2009<sup>164</sup>) y los procesos de disolución-precipitación posteriores al fraguado, sin olvidar que intervenciones posteriores pueden adicionar tratamientos de conservación o materiales constructivos de nueva factura. Estas limitaciones constituyen la razón por la que la datación de morteros, a partir su matriz, no haya sido un método habitualmente utilizado.

La calcinación insuficiente o poco eficiente de las calizas para la obtención de la cal, incorporara a los morteros carbonatos relictos de la roca original, aumentando su antigüedad. Por el contrario, la disolución y posterior recarbonatación de morteros, afectados por procesos de humedad posteriores a su fraguado, rejuvenecerían su edad.

Teniendo en cuenta los problemas generados por las posibles contaminaciones fósiles, los métodos de análisis han ido evolucionando. Se considera en este sentido que los carbonatos propios de la matriz se disuelven más deprisa que los carbonatos relictos de las calizas residuales. Así mismo, los procedimientos de preparación de muestras, destinadas a las dataciones con <sup>14</sup>C se van desarrollando e implementando con el fin de evitar la contaminación fósil o efecto reservorio. A continuación se presentan dos métodos. En el apéndice de esta tesis se presenta la evolución metodológica de la datación con <sup>14</sup>C, a partir de la matriz de los morteros.

En 1994, Jan Heinemeier<sup>165</sup> (AMS <sup>14</sup>C Dating Centre, Aarhus University) presenta prometedores resultados obtenidos a partir de la datación de muestras de mortero recogidas en iglesias de las islas Åland<sup>166</sup> (Finlandia), y en el primer "International Mortar Dating Workshop", realizado en Turku (Åbo), Åland en Agosto de 2010, Lindroos pone en marcha un proceso de separación química eficaz y aboga por la necesidad de centrarse en los nódulos de cal, embebidos en el mortero. Posteriormente, en 2012 y en 2014 en el segundo y tercer "International Mortar Dating Workshop", celebrados respectivamente en Mallorca y en Padova se presenta el análisis de más de 600 muestras, en 200 de las cuales se ha seguido el procedimiento de separación química, mediante secuenciación de fracciones de CO<sub>2</sub>, referenciado en esta tesis como método finlandés.

Este método contempla una fase previa de tratamiento físico de la muestra de mortero en varios pasos. El primer paso consiste en una separación mecánica de 1 mg de mortero, previo molido, cribado y tamizado de los granos de tamaño micrométrico, reservándose para los análisis la fracción granulométrica comprendida entre 45 y 75 µm (Ringbom *et al.*, 2010)<sup>167</sup>. El segundo paso se basa en una separación mecánica manual, al microscopio estereoscópico al que se le acopla una

---

<sup>164</sup> Dotsika E., Psomiadis D., Poutoukis D., Raco B. and Gamaletsos P. (2009). "Isotopic analysis for degradation diagnosis of calcite matrix in mortar". *Anal Bioanal Chem* 2009, 395:2227-2234.

<sup>165</sup> Heinemeier, Jan, and Högne Jungner. "C-14 Dating of Lime Mortar," *Arkaeologiske Udgravninger i Danmark 1994* (Archaeological Excavations in Denmark 1994), Copenhagen 1994, pp. 35-40. Cf. also illustrations (in immediately preceding Danish version), pp. 28, 31, 32

<sup>166</sup> Heinemeier, J. and H. Jungner, "C-14 datering af kalkmörtel", *Arkeologiska udgraevninger i Danmark 1994*, (in Danish with English translation), 1995, 23-40

<sup>167</sup> Ringbom, Åsa, *The Voice of the Åland Churches – New light on Art, Architecture and History*, published by Ålands Museum, Form: April Kommunikation, Vaasa Graphics 2011, 160 pages, 188 images. ISBN 987-952-5614-43-8 (translation of *Åländska kyrkor berättar* from 2010). (Available via Adlibris). Download Chapter 3, *The Åland Churches Project and the Necessity of Interdisciplinary Research. The Voice of the Åland Churches*, Chapter 3

lámpara de catodoluminiscencia, separando aquellos granos que por su color rojizo–anaranjado pudieran corresponder a granos de calizas relictas. Posteriormente se aborda el ataque químico de la muestra con ácido fosfórico, estableciéndose unos tiempos de captura del CO<sub>2</sub> desprendido durante la hidrólisis del mortero. En pocos segundos se aísla la primera fracción de CO<sub>2</sub>, en pocos minutos la segunda y en cuestión de horas la 3ª, 4ª y 5ª (Ringbom *et al.*, 2011<sup>168</sup>) (Fig. 3.8). La disolución total del mortero se produce a 16 horas (Lindroos *et al.*, 2011<sup>169</sup>). La datación de carbono 14 se realiza a partir de las tres primeras fracciones de CO<sub>2</sub> desprendido, mediante AMS.

Partiendo de los avances experimentalmente obtenidos siguiendo este método, en el tercer “International Mortar Dating Project”, se establecen nuevas pautas o recomendaciones para evitar los efectos de la contaminación de los morteros de cal (Ringbom, 2014)<sup>170</sup>, las cuales se exponen a continuación:

- Los morteros de cal han de ser analizados según perfiles de edad, obtenidos a partir de una secuencia de fraccionamiento del CO<sub>2</sub>, durante el ataque químico de las muestras.
- El uso de ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) en el proceso de hidrólisis utilizado en el pretratamiento de las muestras, normalmente proporciona mejores resultados que el ácido clorhídrico (HCl) aunque este último, puede resultar más adecuado para morteros que contienen puzolanas<sup>171</sup>
- Datar nódulos de cal, embebidos en morteros, proporciona datos de datación más fiables que los que suministran los morteros de cal, con o sin puzolanas, o los morteros afectados por incendios.
- La primera fracción de CO<sub>2</sub> desprendida e aislada proporciona los datos más plausibles. Los resultados experimentales obtenidos, generalmente confirman las primeras interpretaciones.
- La datación de nódulos de cal se está considerando como la propuesta más viable y prometedora. Otros autores también se decantan por la idoneidad del uso de los nódulos puros de cal para la datación (Vecchiattini *et al.*, 2013<sup>172</sup>).
- Actualmente se está investigando en la minimización del tamaño de la primera fracción obtenida, a partir del ataque químico de los nódulos de cal, presentes en los morteros.

---

<sup>168</sup> Ringbom Å, Heinemeier J, Lindroos A, Brock F. (2011). “Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations”. 187-208 in Building Roma Eterna. Current research on Roman Mortar and Concrete. Proceedings of the conference March 27-29 2008. Editors Åsa Ringbom and Robert L. Hohlfelder, Assistant editors Pia Sjöberg and Pia Sonck-Koota, Commentationes Humanarum Litterarum 128 2011. Societas Scientiarum Fennica. 258 pages.

<sup>169</sup> Lindroos A, Heinemeier J, Ringbom Å, Brock F, Sonck-Koota P, Pehkonen M, Suksi J. Problems in Radiocarbon Dating of Roman Pozzolana Mortars, 214-230 in Building Roma Eterna. Current research on Roman Mortar and Concrete. Proceedings of the conference March 27-29 2008

<sup>170</sup> Ringbom A. & R. Hale, J. (2014). “Recent Advances in Radiocarbon Dating of Ancient Roman Mortar and Concrete”. January 2 -5 participation with a poster in the Annual Meeting of Archaeological Institute of America, Chicago 2014.

<sup>171</sup> Las puzolanas son materiales naturales o artificiales que contienen sílice y/o alúmina. No hidráulicas en sí, pero cuando son molidas finamente y mezcladas con cal, fraguan y endurecen a temperaturas normales en presencia de agua, como el cemento.

<sup>172</sup> Vecchiattini R., Pesce G.L., Quarta G., Calcagnile L. (2013) “Sampling problems in the radiocarbon dating of old mortars and plasters with pure lime lumps technique”. Built Heritage 2013. Monitoring Conservation Management p 1066-1074.

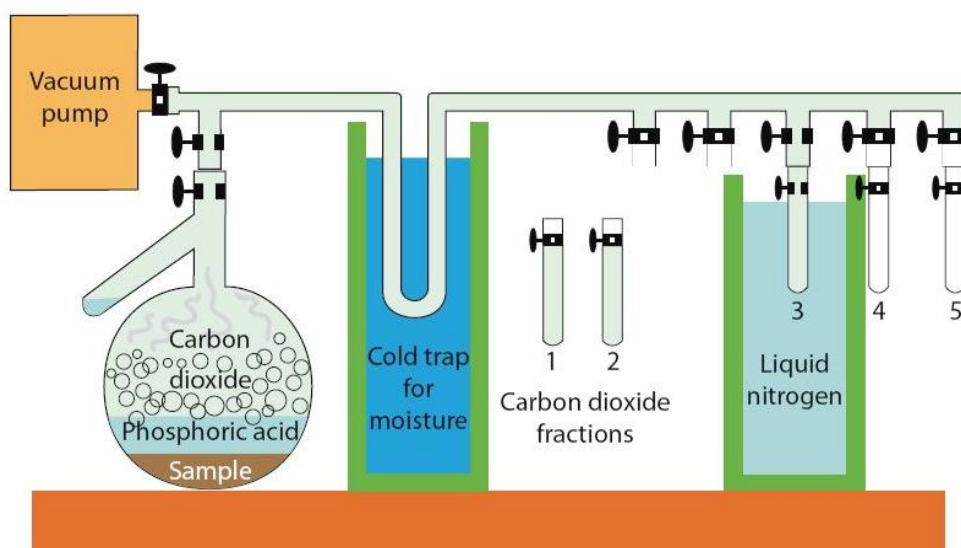


Figura 3.8.- Método finlandés de separación química en cinco fracciones independientes de CO<sub>2</sub> obtenidas durante la hidrólisis con ácido fosfórico del mortero (Esquema tomado de Ringbom et al, 2011<sup>173</sup>). A pocos minutos del inicio de la reacción se aíslan las dos primeras fracciones de CO<sub>2</sub> desprendido. La tercera fracción capturada está siendo criogenizada, con nitrógeno líquido. La datación de carbono 14 se realiza sobre las tres primeras fracciones de CO<sub>2</sub> desprendido.

**Método CIRCLE-SAPIENZA.** Recientemente, el “Centre for Isotopic Research on Cultural and Environmental Heritage” (CIRCLE) de la Universidad de la “Sapienza” de Roma (Italia) ha desarrollado un nuevo protocolo de preparación de muestras, destinado a la datación radiocarbónica de morteros (Marzaioli *et al.*, 2011<sup>174</sup>), al que a continuación nos referiremos como método CIRCLE-Sapienza. Con esta metodología se han estudiado morteros medievales procedentes de varias iglesias (Santa María de Zornoztegi, San Julián y Santa Basilia de Álava, del castillo de Treviño en Burgos (Quirós *et al.*, 2011<sup>175</sup>) y de la fortaleza de Shayzar en Siria (Nonni *et al.*, 2013<sup>176</sup>).

Este método también pretende reducir las posibles contaminaciones de los morteros, proponiendo un protocolo de ensayos físico-químicos, destinado al aislamiento de la matriz del mortero para su posterior datación. El procedimiento comprende los siguientes pasos: disgregación criogénica (“cryobracking”), tamizado (“sieving”), ataque ultrasónico en húmedo (“wet ultrasonic attack”), y centrifugación (“centrifuging”). Posteriormente, las muestras son tratadas con ácido ortofosfórico, al 85 %, para la posterior determinación de radio isótopos, mediante espectrometría de masas y su datación radiocarbónica, mediante AMS (Fig. 3.9).

<sup>173</sup> Ringbom Å, Heinemeier J, Lindroos A, Brock F. (2011). “Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations”. 187-208 in Building Roma Eterna. Current research on Roman Mortar and Concrete. Proceedings of the conference March 27-29 2008. Editors Åsa Ringbom and Robert L. Hohlfelder, Assistant editors Pia Sjöberg and Pia Sonck-Koota, Commentationes Humanarum Litterarum 128 2011. Societas Scientiarum Fennica. 258 pages.

<sup>174</sup> Marzaioli F, Lubritto C-, Nonni S., Passareillo I., Capano M & Terrasi F. (2011). “Mortar radiocarbon dating: preliminary accuracy evaluation of a novel methodology”. Analytical chemistry 83 (6), 2038-2045

<sup>175</sup> Quirós Castillo J.A., Marzaioli F y Lubritto C. (2011) . “Datando argamasas: tres ejemplos de arquitectura medieval hispana”. Arqueología de la Arquitectura, 8, enero-diciembre 2011 Págs. 13-24.

<sup>176</sup> Nonni S., Marzaioli F., Secco M., Passariello I., Capano M., Lubritto C., Mignardi S., Tonhini C. & Terrasi F. (2013). “14C mortar dating: The case of the medieval Shayzar citadel, Syria”. Radiocarbon, Vol 55, Nr 2-3, 2013, p 514-525.

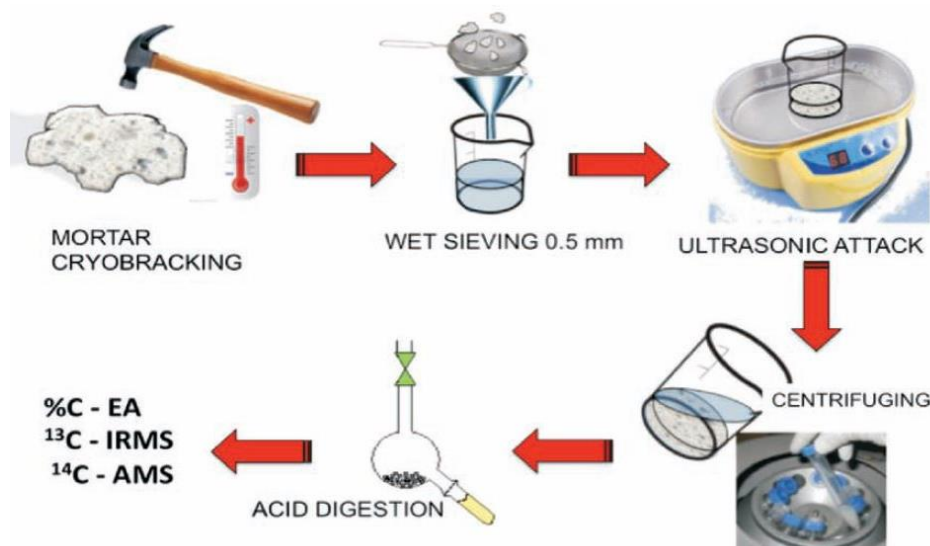


Figura 3.9.- Protocolo de separación de muestra (tomado de Quirós et al., 2011)

Cualquiera de los procedimientos aplicados contempla diferentes pre-tratamientos de separación física y/o química que se detallan en el apéndice de esta tesis, habiendo obtenido ambos métodos (finlandés y CIRCLE-Sapienza), resultados prometedores. Otros grupos de investigación plantean ligeras modificaciones al método *CIRCLE-Sapienza*. En esta tesis se ha optado por seguir el método finlandés, ligeramente modificado e implementado por procedimientos del CIRCLE-Sapienza, tal como se explica en el subapartado siguiente.

### 3.2.2.3.- Procedimientos de análisis seguidos en esta tesis

Las dataciones absolutas de  $^{14}\text{C}$  se han realizado mediante espectrometría de masas con aceleradores (AMS) en dos laboratorios diferentes: Beta Analytic INC. (Miami, Florida, USA) y DirectAMS, Radiocarbon Dating Service (Seattle, Washinton, USA). La espectrometría de masas con aceleradores (AMS) es la técnica más precisa y que requiere menor cantidad de muestra, por lo que ha sido la que hemos seleccionado para la estimación radiocarbónica de la edad de los morteros.

El pretratamiento de los materiales objeto de análisis resulta indispensable para eliminar los componentes secundarios de carbono (Brock *et al.*, 2010)<sup>177</sup>. Si estos componentes no son eliminados, podrían proporcionar fechas de radiocarbono poco fiables (muy recientes o demasiado antiguas). En este sentido, el pretratamiento de las muestras está condicionado por el tipo de muestra. A continuación se describen los procedimientos empleados en cada caso específico.

<sup>177</sup> Brock F., Higham T., Ditchfield P. y Ramsey C.B. (2010). "Current pretreatment methods for ams radiocarbon dating at the Oxford radiocarbon accelerator unit (ORAU)" *RADIOCARBON*, Vol 52, Nr 1, 2010, p 103–112.

### **Carbón vegetal**

Los fragmentos de carbón vegetal, presentes en los morteros, fueron extraídos del mortero mediante ataque químico con ácido clorhídrico, diluido al 15%. Obtenido el residuo insoluble del mortero, los fragmentos de carbón fueron individualizados físicamente, con ayuda del microscopio estereoscópico. Una vez aislados del resto del residuo, fueron enviados a Beta Analytic INC. En este laboratorio, las muestras fueron sometidas a un tratamiento ácido/álcali/ácido. Los fragmentos, cuidadosamente triturados o dispersos en agua desionizada, reciben un baño de ácido HCl caliente para eliminar los posibles carbonatos, seguido de otro baño en una solución de álcali (NaOH) para eliminar los ácidos orgánicos secundarios. La solución de álcali es seguida de un enjuague ácido final, para neutralizar la muestra antes del secado. Durante estos ataques químicos, los posibles contaminantes, como sedimentos detríticos o raíces, son eliminados.

Finalizado el pretratamiento, se analiza la muestra mediante AMS. En la técnica AMS  $^{14}\text{C}$ , el carbón es convertido en grafito y presionado a un cátodo donde se forma un tapón de grafito sólido o capa. Es entonces cuando se coloca una fuente de iones, por pulverización catódica de un acelerador. Esta es la metodología descrita por Beta Analytic Inc. para la preparación de muestras de grafito y los procedimientos de conteo por AMS. Con este procedimiento se dataron cuatro muestras de carbón vegetal procedentes de 5 morteros, recogidos en San Miguel de Lillo en 2011.

### **Mortero de cal**

Las muestras de mortero de cal enviadas a Beta Analytic Inc. fueron sometidas a un tratamiento ácido ("acid etch"), con una solución 0,1 M de ácido clorhídrico, aclaradas con agua destilada y posteriormente, secadas. Para muestras orgánicas y de carbonato, el procedimiento que sigue este laboratorio es tratar las muestras con ácido fosfórico al 85 %. El  $\text{CO}_2$  producido por la adición del ácido es criogénicamente purificado y reducido a grafito sólido para la medición en un AMS. La criogenización purificada, para eliminar el vapor de agua y cualquier gas no combustible o condensable, se consigue pasando el  $\text{CO}_2$  a través de una serie de trampas de hielo seco / agua-metanol ( $\sim -78\text{ }^\circ\text{C}$ ) y, dependiendo del tipo de muestra a través de otras trampas de nitrógeno líquido/pentano granizado ( $\sim -129\text{ }^\circ\text{C}$ ). Superado este procedimiento se produce la conversión del  $\text{CO}_2$  en grafito, mediante una reacción química entre el dióxido de carbono y de hidrógeno que produce el carbono elemental (grafito), agua y calor. La reacción se lleva a cabo en dos reducciones sucesivas: primero a monóxido de carbono y luego a carbono, que penetra y se adhiere a la superficie del polvo de cobalto (catalizador). A partir de ese momento se sigue el protocolo de análisis, explicado para las muestras de carbón vegetal.

Con este procedimiento se han datado cinco muestras de mortero: dos recogidas en San Salvador de Valdediós en 2010 y tres procedentes de la campaña arqueológica realizada en Santa Cristina de Lena, en 2012.

Dos años más tarde, con el fin de corregir las posibles contaminaciones fósiles de las muestras y de evaluar la validez de los procedimientos, ocho muestras de mortero, procedentes de San Miguel de Lillo, han sido pre-tratadas con una combinación de los procedimientos empleados según el método finlandés y método CIRCLE-Sapienza.

En este caso, se ha partido de 65 g de muestra de mortero, el cual ha sido introducido en nitrógeno líquido durante 5 min, y posteriormente calentado en estufa a 80°C, durante 10 minutos. Este choque térmico, heredado del método CIRCLE-Sapienza, ha tenido como objetivo la disgregación intergranular del mortero mediante choque térmico. El número de ciclos empleados en este ensayo ha sido de 10, cantidad bastante superior a la seguida por el método referenciado (3 ciclos). Se parte también de una mayor cantidad de muestra (65 g, frente a los 5 g propuestos por CIRCLE-Sapienza y a los 50-200 mg<sup>178</sup> del método finlandés).

La muestra de mortero, disgregada de forma natural mediante este ensayo de envejecimiento acelerado ha sido cribada en un tamiz de 60 µm. La porción de muestra inferior a ese tamaño fue separada para su posterior análisis. La porción de muestra restante, con tamaño superior a 60 µm, fue pasada por el tamiz de 0,12 mm, recogiendo la fracción comprendida entre 60 y 120 µm (Fig. 3.10). En ninguno de los casos anteriores se ha procedido al machaqueo de la muestra para evitar la rotura bajo presión de los granos minerales. Las porciones de muestra separada para los análisis son el resultado de la disgregación producida en el ensayo de choque térmico. El tamaño de los cristales difiere algo del empleado por el método finlandés (fracción comprendida entre 46 y 75 µm) y de la reservada por el método CIRCLE-Sapienza (fracción inferior a 800 µm).

Partiendo de dos fracciones, una inferior a 60 µm y otra comprendida entre 60 y 120 µm, y siguiendo el procedimiento finlandés, 1 g de muestra correspondiente a cada fracción fue tratado con 50 ml de ácido fosfórico al 85 %, con agitación magnética, dentro de un matraz schlenk. El sistema fue sometido previamente al vacío, con registro de presión para asegurar la correcta captura del CO<sub>2</sub> desprendido en el ensayo, evitando la incorporación de CO<sub>2</sub> atmosférico. Iniciado el ensayo, la recogida del CO<sub>2</sub> desprendido fue realizada de forma fraccionada (Fig. 3.11). La primera fracción fue capturada a los primeros 8-10 segundos y la segunda a los 60 segundos de haberse iniciado la hidrólisis.

Los viales con el CO<sub>2</sub> generado en el proceso fueron enviados posteriormente al laboratorio DirectAMS para su posterior datación de carbono <sup>14</sup>C y para la determinación de las relaciones isotópicas <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C y <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O (valores isotópicos δ<sup>13</sup>C y δ<sup>18</sup>O).

También se ha preparado una muestra en polvo, correspondiente a un nódulo de cal, presente en uno de los morteros. En este caso la muestra se ha disgregado mecánicamente, con un mortero de ágata.

---

<sup>178</sup> Aunque las cantidades son variables dependiendo de las publicaciones. En ocasiones se habla de 1mg de muestra aunque en el formulario de solicitud de análisis se dice que con 50-100 g es suficiente.



Complementariamente y en aquellas muestras adecuadas para su datación por carbono 14 a partir de su matriz carbonatada, se procedió a su análisis termogravimétrico y a su estudio isotópico. El objetivo del primer análisis es la identificación de posibles compuestos diferentes a la calcita, en función de la temperatura de descomposición de las muestras, a partir de la evaluación de la pérdida de masa. El interés del estudio isotópico radica en la determinación de las concentraciones de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  por espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS). Esta técnica permite el análisis de las relaciones isotópicas de los elementos ligeros  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  con la precisión y la exactitud necesarias para medir las pequeñas variaciones en la abundancia isotópica (fraccionamiento), provocadas por procesos naturales, tanto físicos como químicos. Las concentraciones de estos elementos permiten evaluar el grado de contaminación en carbono fósil de las muestras.



Figura 3.10.- Ensayo de choque térmico y cribado del mortero.

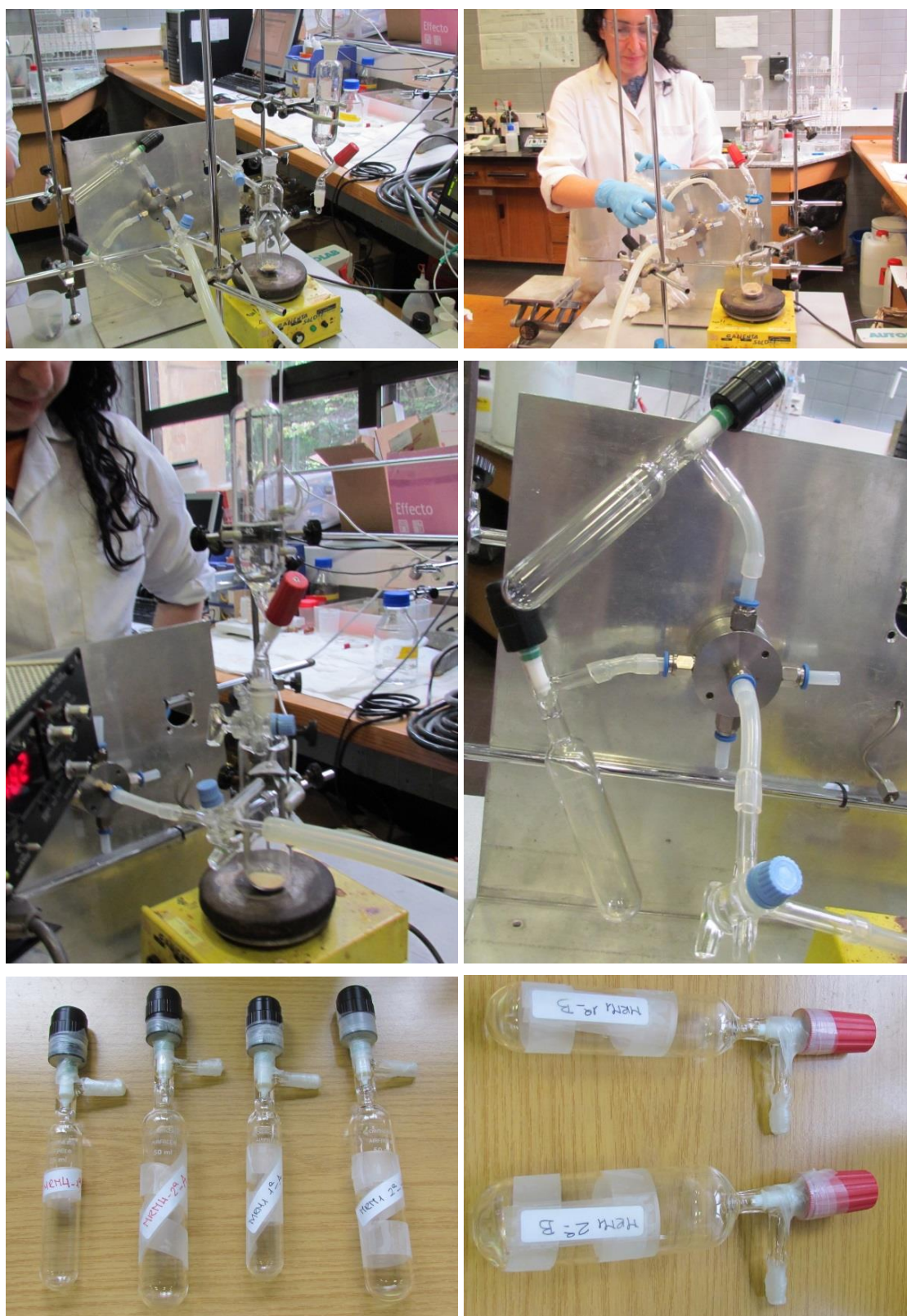


Figura 3.11.- General y detalles del procedimiento de captura fraccionada del CO<sub>2</sub> desprendido durante el tratamiento químico del mortero con ácido fosfórico al 85%.

## EDIFICACIONES Y MATERIALES ESTUDIADOS





#### **4.- EDIFICACIONES Y MATERIALES ESTUDIADOS**

En este capítulo se presentan los edificios de procedencia de las muestras, los antecedentes histórico-constructivos de estas edificaciones, la toma de muestras, los tipos de muestras analizadas (morteros y pintura mural), así como los análisis realizados para la caracterización de los morteros y de la pintura mural y para datación de estos materiales.

Los morteros y pinturas, objeto de análisis en esta tesis, proceden de la Cámara Santa, Foncalada San Salvador de Valdediós, Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo, edificios incluidos en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO en 1985, como **Monumentos de Oviedo y del Reino de Asturias**. Bajo este epígrafe se integran dos aspectos relevantes de esta arquitectura: la intervención de los monarcas asturianos en la actividad constructiva tanto palatina como religiosa, desde finales del S. VIII hasta finales del S. XII, y su lugar de desarrollo geográfico<sup>179</sup>.

La declaración de Patrimonio Mundial es una distinción que otorga la UNESCO a aquellos bienes con características de excepcional valor que los hacen únicos en el mundo. La inclusión de bienes en la Lista de Patrimonio Mundial pone de manifiesto la riqueza patrimonial de estos edificios altomedievales, al tiempo que constituye un compromiso de las administraciones para su conservación<sup>180</sup>

El especial interés suscitado por el Arte de la Monarquía Asturiana entre los investigadores y las teorías desarrolladas para explicar su origen, quedan reflejadas en los calificativos empleados en su descripción: Arte asturiano, Arte Prerrománico Asturiano, Latino-bizantino, Pelagiano, Arquitectura de la Alta Edad Media Asturiana (Rivera, 1997<sup>181</sup>), etc.

##### ***Introducción histórica***

La arquitectura prerrománica se desarrolla «en un complejo período espacio-temporal, iniciado en las postrimerías del mundo tardoantiguo (siglo VI) y que concluye con el fenómeno románico (siglo XI)» (Árias, 1994<sup>182</sup>). Para conocer la evolución de estas construcciones, ligadas a los monarcas asturianos, resulta necesario hacer una breve reseña histórica de la época.

Con la caída del reino visigodo de Toledo a manos de un ejército procedente del norte de África, Pelayo, un jefe astur local, inicia la resistencia al islam con la posterior victoria en la batalla de

---

<sup>179</sup> <http://www.elprerromanicoasturiano.com/>.

<sup>180</sup> (<http://www.mecd.gob.es/cultura>).

<sup>181</sup> Rivera Blanco J. (1997). "La restauración histórica de la arquitectura de la Alta Edad Media" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra)p. 59 - 70

<sup>182</sup> Arias Páramo L. (1994). "Guía del arte prerrománico asturiano", Ediciones Trea S.L., 126 p.

Covadonga (año 722), sobre una expedición de al-Andalus. Estos acontecimientos constituyen el germen del origen de un nuevo estado, el Reino de Asturias.

A la muerte de Pelayo (737) le sucede su hijo Favila o Fáfila que muere en el año 739, y a éste su cuñado Alfonso I (739-757) que desarrolla una política de expansión hacia la meseta, contribuyendo al aumento demográfico del grupo de resistencia cristiano. En fechas imprecisas, a finales del reinado de Alfonso I o a principios del de su hijo Fruela I (757-768), y en relación con los asentamientos sureños, Máximo y Fromestano se establecen con sus siervos en la colina despoblada de Oviedo, para fundar años más tarde, el monasterio de San Vicente (781). «En el mismo lugar y en el tiempo que se asentaban estos monjes, el rey Fruela I levanta un templo dedicado al Salvador y unos establecimientos aúlicos, donde es probable que naciera Alfonso II el Casto, tal como sugiere Sánchez Albornoz» (Ruíz de la Peña, 1988)<sup>183</sup>. Durante el reinado de Alfonso II (791-842), precedido de Aurelio (768-774), Silo (774-783), Mauregato (783-789) y Bermudo I (789-791), se producen los primeros contactos diplomáticos con el imperio carolingio<sup>184</sup> (González, 2014<sup>185</sup>), la consolidación del reino Astur (Arias, 1999) y la fundación de la nueva sede ovetense. Esta sede «se convierte en centro de una dinámica actividad artística y literaria, rigurosamente impulsada por el monarca y continuada por sus sucesores, a lo largo del siglo IX, hasta el traslado de la capitalidad del Reino de León, a principios del siglo XII» (Ruiz de la Peña, 1988). Oviedo se presenta como «un modelo paradigmático de urbe tardoantigua, donde se combinan todos los recursos constructivos e ideológicos de la época» (García y Muñiz, 2010<sup>186</sup>).

La etapa alfonsí (791-842) representa el impulso constructivo más importante. En el interior del recinto amurallado de Oviedo, se levanta la iglesia de San Salvador y Santa María, San Tirso y la iglesia de San Julián de los Prados, «cuya decoración pictórica representa el exponente de pintura mural altomedieval occidental más antigua e importante que se conoce» (Arias, 1999). Alfonso II edifica además su palacio, al cual anexiona la capilla palatina, hoy llamada Cámara Santa. Esta capilla alberga las reliquias que habían llegado a Asturias, procedentes de Toledo a raíz de la conquista musulmana, que la *Crónica Silense* asegura procedían de Jerusalén. A las reliquias, se une la Cruz de los Ángeles, una pieza de orfebrería en la que figura el lema del monarca, realizada en el castillo de Gauzón en el año 908<sup>187</sup> (García y Muñiz, 2010).

A la muerte de Alfonso II, le sucede Ramiro I (842-850). Durante su reinado, el arte palatino de la corte ovetense alcanza sus máximas manifestaciones con las construcciones del monte Naranco: el edificio palaciego y la iglesia. El palacio del Naranco fue consagrado a Santa María y convertido en

---

<sup>183</sup> Ruiz de la Peña Solar, I. (1988). "Los horizontes culturales de la corte ovetense del siglo IX: El renacimiento artístico", *Arte prerrománico y románico en Asturias*, Villaviciosa p. 195-205.

<sup>184</sup> Défourneaux, M. (1951); Sánchez Albornoz, C. (1974):II, 531-51; Fernández Conde, F.J. (1992):63-77; Besga Marroquín, A. (2000):420-33; Martínez Díez, G. (2002).

<sup>185</sup> González García A. (2014). "La proyección europea del reino de Asturias: política, cultura y economía (718-910)". *El futuro del pasado*, 5 pp. 225-298. <http://dx.doi.org/10.14516/fdp.2014.005.001.010>

<sup>186</sup> García Álvarez-Busto A., Muñiz López I. (2010). "Arqueología medieval en Asturias". Premio Alfredo Quirós Fernández 2009, Ediciones TREA, S.L. 503 p.

<sup>187</sup> García Álvarez-Busto A., Muñiz López I. (2010). "Arqueología medieval en Asturias". Premio Alfredo Quirós Fernández 2009, Ediciones TREA, S.L. 190 p.

iglesia entre 905 y 1065 y la iglesia cercana, parcialmente derruida y reconstruida, se puso bajo la advocación de San Miguel (Ruiz de la Peña, 1988), nombre con el que actualmente se la conoce San Miguel de Lillo o Liño.

A Ramiro I le sucede su hijo Ordoño I (850-866). A su reinado se adscribe Santa Cristina de Lena que por analogías estilísticas se relaciona con el palacio ramirense del Naranco, que la vinculan al taller de Ramiro I (Arias, 1999).

A Ordoño I, le sucede en el trono su hijo Alfonso III el *Magno* (869-910). El reinado de éste último consolida y fortalece el Reino de Asturias y durante el mismo se elabora un conjunto de estudios historiográficos que constituyen el ciclo cronístico asturiano de Alfonso III: la *Crónica Albeldense*, la *Crónica Profética* y la *Crónica de Alfonso III* en sus dos versiones la *Rotense* y la *Ad Sebastianum*. «A este monarca se adscribe la iglesia de San Salvador de Valdediós y en el campo de la orfebrería, la Cruz de la Victoria y la Caja de las Ágatas» (Arias, 1999). A su muerte se desencadena una profunda crisis política y la corte se traslada a León, produciéndose el aislamiento político de Asturias, durante todo el siglo X.

Es tal la vinculación de la arquitectura con la monarquía, que el desarrollo histórico del reino y la evolución artística y estilística se encuentran interrelacionados. El carácter áulico, relativo a la corte o al palacio, influye claramente en la estructura y funcionalidad de las creaciones. El estudio de estos edificios y, más en concreto, de sus materiales constructivos supone una oportunidad extraordinaria para mejorar nuestro conocimiento sobre la arquitectura palatina, religiosa y civil del reino de Asturias, «así como sobre el proceso de transformación social y territorial, de creación de nuevos centros de poder, implantación del cristianismo y control por aristocracias locales, contribuyendo al conocimiento del origen y formación de las estructuras políticas y socioeconómicas medievales. El déficit empírico de estos aspectos, limita la posibilidad de creación de modelos interpretativos sobre la transición del poblamiento y estructuras económicas entre los tiempos antiguos y medievales» (Gutiérrez, 2008).

«Los orígenes de la sede regia ocupan un cúmulo de datos inconexos, pruebas circunstanciales e hipótesis tan divergentes que a veces resultan difíciles de conciliar» (García y Muñiz, 2010). Sólo hay una idea clara: «Oviedo es la primera ciudad altomedieval fundada en Asturias, con la impronta de una urbe formada a partir de una serie de fases situadas entre finales del siglo VIII y finales del IX, y unos oscuros orígenes como espacio poblado» (García y Muñiz, 2010). García y Muñiz definen el programa seguido por los monarcas asturianos como «una planificación escalonada y orgánica, durante una fase dilatada en el tiempo, con el objetivo de crear una sede regia derivada de la ciudad tardoantigua, siendo o no Toledo su referente directo, lo cual es una constante en las capitales políticas europeas del Altomedievo, tanto carolingias, como anglojanas o lombardas». En Oviedo confluye un espacio de representación política (palacios con aulas regias), eclesiástica (San Salvador de Oviedo, San Tirso), un posible complejo martirial destinado a acoger cuerpos de

mártires y protectores celestiales (Cámara Santa y Cripta de Santa Leocadia y San Eulogio), un panteón real (Santa María del rey Casto), elementos defensivos y de prestigio civil (muralla y torres) y infraestructuras urbanas, asociadas al pasado romano (acueductos y fuentes)<sup>188</sup>.

Los estudios previos y seguimientos petrológicos de las intervenciones realizados en la última década, en algunos edificios prerrománicos, promovidos por la Consejería de Educación Cultura y Deporte del Principado de Asturias y el Ministerio de Cultura, han permitido la toma de muestras de materiales pétreos, morteros y pinturas a los equipos interdisciplinarios (arquitectos, aparejadores, restauradores, arqueólogos y petrólogos) que han participado en estas intervenciones. Algunas de estas muestras han sido objeto de análisis en esta tesis y se recogen, referenciadas, en cada uno de los edificios de los que procede. A continuación se describen las edificaciones estudiada, incluyendo una breve reseña histórico-constructiva de las mismas, la localización de los puntos de muestreo, los tipos de materiales recogidos y los análisis realizados en cada una de las muestras.

#### **4.1.- CÁMARA SANTA**

La Cámara Santa corresponde a una pequeña capilla doble con cripta (de Santa Leocadia), adosada a la antigua torre de San Miguel, de época paleocristiana y ubicada en el núcleo de la catedral de San Salvador de Oviedo (Fig. 4.1). Por su significado histórico y simbólico como edificio custodio de las reliquias y tesoros de la catedral, constituye uno de los edificios más emblemáticos del Prerrománico Asturiano.

Esta capilla ha sufrido numerosas transformaciones, entre las que cabe señalar: su reforma en el último tercio del siglo XII con la incorporación de un apostolado románico (García de Castro, 2012)<sup>189</sup>, los destrozos producidos durante la voladura de 1934 (Fernández Buelta *et al.*, 1949<sup>190</sup>) y su posterior restauración en 1940 (Menéndez Pidal, 1960<sup>191</sup>). Estas modificaciones la convierten en un elemento arquitectónico con un valor documental singular, donde sucesivas incorporaciones de materiales se suman a los primitivos.

La Cámara Santa no figura en la relación de edificios construidos por Alfonso II que nos ofrecen las *Crónicas de Alfonso III*. Tradicionalmente la mayoría de los autores la fechan en el reinado de Alfonso II (Schulkn, Manzanares, Bango Torviso, Yarza, Fernández, Menéndez Pidal<sup>192</sup>) y otros en el de Alfonso III (García de Castro). Schlunk explica, con sólidos argumentos, su omisión en las

---

<sup>188</sup> García Álvarez-Busto A., Muñiz López I. (2010). "Arqueología medieval en Asturias". Premio Alfredo Quirós Fernández 2009, Ediciones TREA, S.L. p. 76-77

<sup>189</sup> García de Castro, C. (2012). La reforma románica de la Cámara Santa de la catedral de San Salvador de Oviedo. Monumentos singulares del románico. Nuevas lecturas sobre formas y usos. Fundación Santa María la Real – C.E.R. pp. 43 – 89.

<sup>190</sup> Fernández Buelta J. y Hevia V. (1984). "Ruinas del Oviedo primitivo. Historia y Secuencias de unas excavaciones". Principado de Asturias. Instituto de Estudios Asturianos (DEL C.S.I.) p. 91-94.

<sup>191</sup> Menéndez Pidal L. (1960). "La Cámara Santa de Oviedo: su destrucción y reconstrucción". Boletín del Instituto de Estudios Asturianos p. 1-34.

<sup>192</sup> Menéndez Pidal, L. (1960). La Cámara Santa de Oviedo. Su destrucción y reconstrucción. Boletín del Instituto de Estudios Asturianos. Nº XXXIX.



crónicas por formar parte del palacio de real y opina que sirvió de modelo para el arquitecto de Santa María del Naranco (842-850), siendo por tanto anterior a ésta.



Figura 4.1.- Izqda.: Ubicación de la Cámara Santa en el alzado en planta de la catedral de Oviedo de Cosme Cuenca y Jorge Hevia (en rojo). Dcha.: Imagen del exterior de la Cámara Santa, desde el cementerio de los peregrinos.

Respecto a la función de la capilla, Bango Torviso propone un origen en las antiguas construcciones funerario-martiriales, al igual que Etelmira Fernández que comparte la idea del uso de la Cámara Santa como capilla u oratorio palatino, presente en los palacios medievales, mientras que García de Castro la conceptúa como capilla-panteón episcopal (Ruiz de la Peña, 1997)<sup>193</sup>. En la actualidad, la Cámara Santa todavía plantea dos problemas sin resolver: atribución cronológica y función.

#### 4.1.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS-CONSTRUCTIVOS

La Cámara Santa sufre una modificación de su nave, en el último tercio del siglo XII (García de Castro, 2012)<sup>194</sup>. En el piso superior, se desmonta la primitiva techumbre de madera, se rebajan la altura original de los muros y se habilita un nuevo plano de imposta sobre el que se eleva una bóveda de cañón, construida en mampostería de arenisca y toba calcárea, con dos arcos fajones y arco triunfal ante el hastial del santuario (Fig. 4.2). «Las impostas laterales descansan sobre columnas con pedestales, en cuyos fustes aparece labrado un apostolado, joya escultórica de románico hispánico» (García de Castro, 1995).

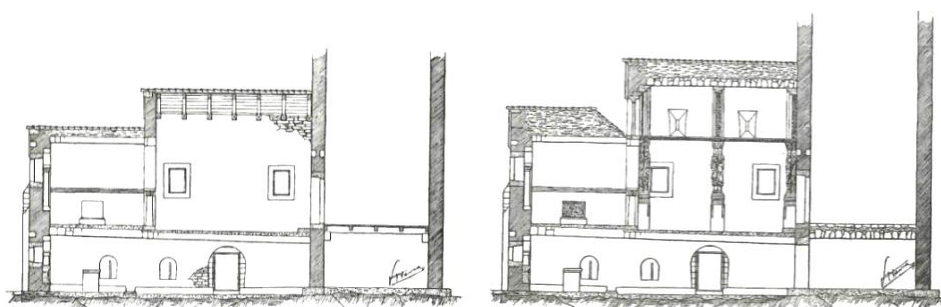


Figura 4.2.- Corte longitudinal de la Cámara Santa antes (izquierda) y después (derecha) de la reforma efectuada en el siglo XII (Dibujo de Víctor Hevia<sup>195</sup>)

<sup>193</sup> Ruiz de la Peña I. (1997). «La etapa prerrománica de la catedral de Oviedo» en el Libro de la Catedral de Oviedo. Ediciones Paraiso, EUJOA Artes Gráficas p. 5 – 17.

<sup>194</sup> García de Castro, C. (2012). La reforma románica de la Cámara Santa de la catedral de San Salvador de Oviedo. Monumentos singulares del románico. Nuevas lecturas sobre formas y usos. Fundación Santa María la Real – C.E.R. pp. 43 – 89.

<sup>195</sup> Fernández Buelta, J. y Hevia Granda, V. (1984). Ruinas del Oviedo primitivo. Instituto de estudios asturianos (I.D.E.A). Principado de Asturias. P. 90

El apostolado se compone de seis columnas dobles con tres grupos de dos esculturas en cada lado. Las figuras, con un capitel común, se apoyan sobre dos basas y cada grupo de dos está sostenido por un pedestal (Fig. 4.3).

Cabe mencionar que en 1899<sup>196</sup>, bajo la dirección de Ignacio Redondo, Arturo Sandoval y Fermín Canella (miembros de la comisión Provincial de Monumentos), se llevan a cabo obras en la Cámara Santa. En ese momento los paramentos se encontraban totalmente cubiertos por gruesas capas de cal (Menéndez Pidal, 1954) y el motivo de esta intervención fue el de intentar descubrir el fresco que cubría el fondo del testero, pero ante la oposición del Maestrescuela Pajares, las obras se paralizan, volviéndose a blanquear las zonas ya descubiertas.

Entre 1919 y 1921 y por encargo del cabildo, bajo una comisión constituida por D. José Cuesta Fernández y D Arturo de Sandoval, el escultor-restaurador Víctor Hevia acometió una limpieza de la Cámara Santa. Las labores consistieron en «librar al apostolado, impostas, capiteles, arcos fajones y pedestales de tres y hasta cuatro manos de pintura al óleo» (Fernández Buelta y Hevia, 1984). Esta pintura había confundido al historiador de Felipe II, Ambrosio de Morales que en su visita, girada en 1563, comenta que «su bóveda es muy ricamente labrada y sustentada sobre 6 columnas de diversos géneros de mármoles, todos preciosos y muy lindos; en que están tallados los 12 apóstoles de dos en dos. El suelo es de aquel mosaico, que ya diximos, sino que aquí es más hermoso con más variedad de colores, que presentan losas de jaspe»<sup>197</sup>.

Durante la revolución de 1934, se intentó volar la torre gótica de la catedral, colocando una carga de dinamita en el fondo de la cripta, sobre el basamento de la torre de San Miguel (Arias, 1994). Esta explosión destruyó casi por completo la Cámara Santa, parte del tránsito de Santa Bárbara y dos tramos de bóvedas del claustro gótico de la Catedral (Fig. 4.4).



Figura 4.3.- Arriba: Costado Norte, de izquierda a derecha; San Simón, San Judas, Santiago, San Juan, San Andrés y San Mateo. Abajo: Costado sur, de izquierda a derecha; Santiago el menor y San Felipe, San Pedro y San Pablo, Santo Tomás y San Bartolomé (Fotografías: Pablo Klett, 2012).

<sup>196</sup> Menéndez Pidal, L. 1954. "Los monumentos de Asturias: su aprecio y restauración desde el pasado siglo". C. Bermejo, impresor., Página 33.

<sup>197</sup> Crónica de España; libro III, edic. 1586, Córdoba, página 63.

De la destrucción de la cripta, cuenta Menéndez Pidal que «solo quedaron en pie los arranques de la bóveda que cubrían sus dos costados, su fondo hacia el tránsito de Santa Bárbara y la cabecera». En la capilla superior, sólo se mantuvo en pie aquello que tenía detrás algún agregado o refuerzo. Prácticamente no se registraron daños en parte del costado norte y parte del costado sur, adosado al claustro y desplazado a consecuencia de la explosión (Fig. 4.4). También quedó “in situ”, parte de la bóveda de la nave con los dos últimos pilares del apostolado, más cercanos al ábside.

Gracias a los trabajos de desescombro llevados a cabo por el arquitecto Alejandro Ferrant (Conservador de los monumentos en Asturias) bajo la dirección del arqueólogo Manuel Gómez Moreno, se pudieron recuperar las joyas históricas que guardaba la Cámara Santa, encargándose al escultor Víctor Hevia Granda, que había sido nombrado Delegado Provincial de Bellas Artes en 1933 (Hevia, 2006)<sup>198</sup>, de la clasificación de los materiales mutilados. Realizados los trabajos de desescombro y clasificación, Alejandro Ferrant redacta el proyecto de restauración (García Cuetos, 1999)<sup>199</sup>.

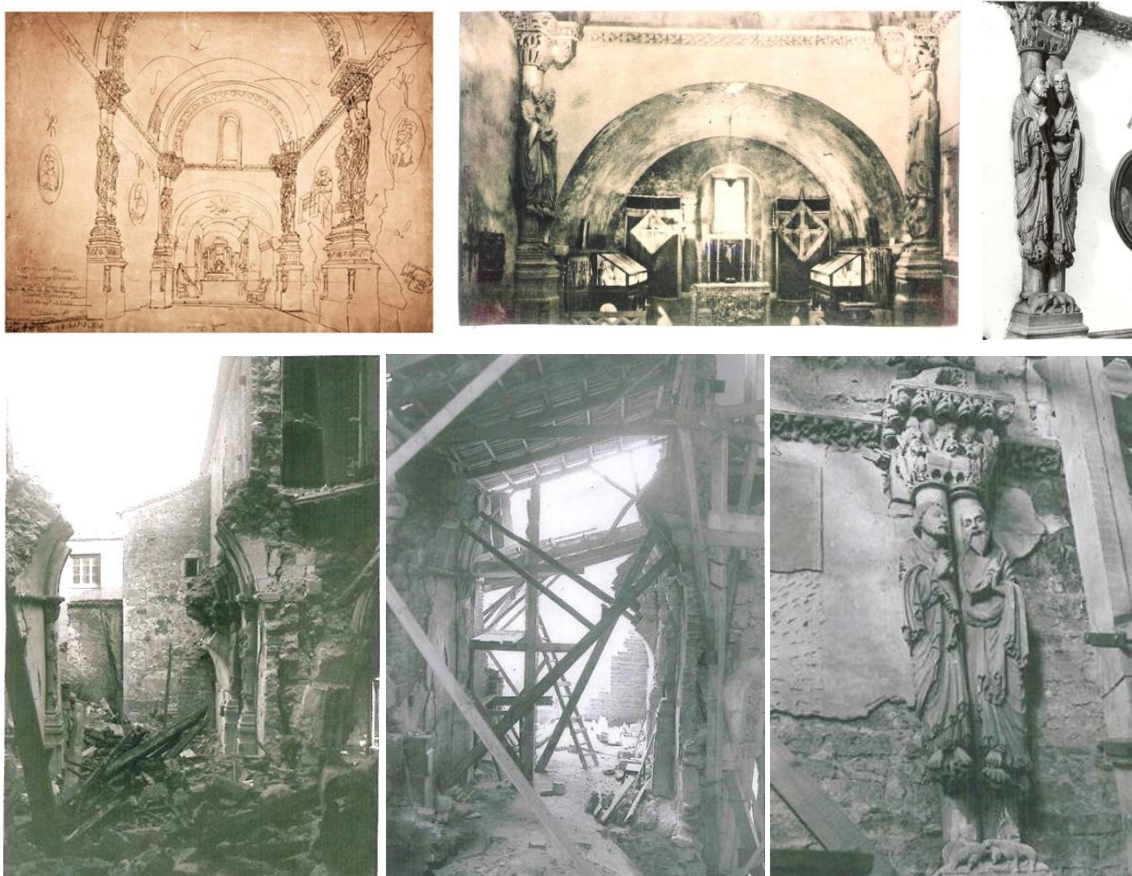


Figura 4.4.- Arriba, de izqda. a dcha., grabado de Villamil 1834, imagen de Fortunato Selgas 1918 e imagen del archivo MAS 1918. Abajo, imágenes del fotógrafo Mendía, procedentes del fondo documental de Menéndez Pidal, cedidas por Alfonso Suárez Saro.

<sup>198</sup> Hevia Ojanguren, P. (2006). “Oviedo: Centro artístico y cultural en la primera mitad del siglo XX. El entrono creativo de un escultor: Víctor Hevia”. I Congreso de Estudios Asturianos. Tomo V. Comisión de Artes, Arquitectura y Urbanismo. Real Instituto de Estudios Asturianos pp. 151 – 175.

<sup>199</sup> García Cuetos, M.P. (1999). “El prerrománico asturiano. Historia de la arquitectura y la restauración (1844 – 1976)”. Ed. Sive.

En 1936, durante la guerra civil española, la catedral vuelve a ser atacada, pero la Cámara Santa no sufre más daños que los que ya se habían producido en 1934, manteniéndose en pie el armado de madera empleado para el apeo de la ruina tras la explosión.

Finalizada la guerra, Luis Menéndez Pidal, llega a Oviedo con el encargo oficial de la restauración de la Cámara Santa, pero el *Patronato de Reconstrucción de la Catedral*, constituido el 11 de marzo de 1940 por José Cuesta Fernández (presidente), José María Serrano Suarez, Guillermo Estrada Acebal y José Fernández Buelta (secretario), ya había iniciado unos trabajos de urgencia, adjudicando las labores de restauración a Víctor Hevia (Menéndez Pidal, 1960). Vuelve a ser Hevia, condecorador de la obra por haber realizado la primera investigación e intervención restauradora (Hevia, 2006), el que posteriormente tiene la misión de reconstruir la Cámara Santa.

El estudio de los materiales de fábrica de las diferentes épocas constructivas y el análisis del método arqueológico-restaurador empleado en su reconstrucción por Manuel Gómez Moreno, José Fernández Buelta y Víctor Hevia, según proyecto de Alejandro Ferrant, posteriormente sustituido por Luis Menéndez-Pidal, permitirán la lectura e interpretación de algunas de las intervenciones realizadas.

#### **4.1.2.- TOMA DE MUESTRAS**

La intervención reciente en la Cámara Santa (2013-2014), ha permitido acceder a los materiales de fábrica de las diferentes épocas constructivas y profundizar en el origen de este edificio que a lo largo del tiempo ha sufrido importantes transformaciones.

Este proyecto de restauración se inicia con unos estudios petrológicos e higrotermométricos previos que posteriormente, en 2013–2014, se completan con el control de calidad y seguimiento petrológico de las “Obras de restauración en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo. Segunda Fase” (GEA asesoría geológica 2011<sup>200</sup>, 2012<sup>201</sup> y 2013<sup>202</sup>). Este proyecto fue redactado por Cosme Cuenca y Jorge Hevia, financiado por el Servicio de Patrimonio Cultural de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno del Principado de Asturias y adjudicado a la empresa Técnicas para la Restauración y Construcción S.A. (TRYCSA).

El estudio de los morteros empleados como elementos de unión o revestimiento, y las capas pictóricas asociadas, aportan información sobre las materias primas, las técnicas constructivas, el dominio y nivel de conocimiento y el período en que se elaboraron. Con tal motivo se han recogido, en zonas anteriormente inaccesibles, muestras de mortero (revocos), de pátinas y de capas

---

<sup>200</sup> Informe petrológico de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo. GEA asesoría geológica. Contratado por el Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Abril 2011.

<sup>201</sup> Estudios petrológicos complementarios en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo. Contratado por el Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Diciembre 2012.

<sup>202</sup> Estudio higrotermométrico en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo. Contratado por el Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Diciembre 2013.

pictóricas (Figs. 4.5 a 4.8), así como algún fragmento pétreo, correspondiente a las columnas marmóreas. Estas últimas, según Fernández Buelta y Hevia pertenecen «a algún edificio anterior godo o más bien romano y que convenientemente aserradas pasaron a prestar servicio en el lugar donde las vemos» (Fernández Buelta y Hevia, 1984)<sup>203</sup>.

Cuesta y Sandoval en 1919 y Fernández Buelta y Hevia en 1984, cuando describen el interior de la Cámara Santa hacen referencia a la presencia de varios estucos, entendiendo por estuco «la pasta de cal apagada y mármol pulverizado o alabastro, con la que se cubren o enlucen las paredes, antes de ser pintadas» (Calvo A., 1997). Fernández Buelta y Hevia comentan que «las paredes de la cámara Santa habían sido sometidas, en diversas épocas a blanqueos, eliminados durante la limpieza llevada a cabo por Víctor Hevia entre 1919 y 1921...dejando al descubierto un estuco áspero repleto de nombres y firmas grabadas y manchas de color rojizo». Es Hevia el que, tras la realización de pequeñas catas, informa de «la existencia de un estuco primitivo, debajo del anterior, más rico, de superficie pulida, carente de grabados y color marfileño, adquirida esta tonalidad por una exposición prolongada a los humos de velas e incienso».

Víctor Hevia también detecta estos dos mismos estucos en el camarín, hasta la destrucción de la Cámara Santa en 1934. «El estuco áspero aparecía aplicado bajo la línea de imposta de la bóveda y el estuco fino en la bóveda del camarín, en cuya superficie se detectaron abundantes restos de pintura que ponían de manifiesto una suntuosa decoración» (Fernández Buelta y Hevia, 1984). También, comentan que «el estuco áspero tuvo que ser aplicado en el siglo XII, después de la colocación del apostolado, tal como evidencian las marcas de llana dejadas por el albañil, en un intento de regularizar las superficies entre los grupos escultóricos», mientras que atribuyen al proyecto original, según ellos del siglo VIII, el estucado fino, denominado por ellos *estuco primitivo*. Ambos revocos, denominados por ellos estucos, han sido muestreados: tanto en la sala de los apóstoles, como en el interior del camarín (Figs. 4.5 a 4.9). La ubicación de los puntos de muestreo se localiza sobre alzados en las figura 4.10 a 4.13.



Figura 4.5.- Aspecto general de alguno de los revocos, capiteles marmóreos y columnas, localizados en el interior del camarín, una vez retirados los armarios y vitrinas que contenían las reliquias.

---

<sup>203</sup> Fernández Buelta J. y Hevia Granda V. (1984). "Ruinas del Oviedo Primitivo. Historia y secuencia de unas excavaciones". Instituto de Estudios Asturianos (DEL C.S.I) p. 19.



Figura 4.6.- Detalle de la bóveda sur del camarín, antes de su restauración.



Figura 4.7.- Detalles de los antiguos revocos que se conservan en el interior del camarín. En superficie presentan signos grabados a la altura normal de una persona.



Figura 4.8.- Detalles de algunos morteros localizados, en el paramento sur. Se aprecian antiguos parches en contacto con aplicaciones posteriores, siguiendo el criterio de cerrar las heridas de los paramentos sin disimular lo que es repuesto de lo que es original (Gómez-Moreno, 1934<sup>204</sup> y Ferrant, 1935). Las líneas de sutura marcan el contacto entre los morteros originales de fábrica y los morteros empleados en la restauración finalizada en 1942. También se observan las marcas dejadas por el repellido de alguno de estos revocos.

---

<sup>204</sup> Gómez-Moreno, M. (1934) "La Catedral de Oviedo: daños y pérdidas sufridas en ese Monumento Nacional durante los sucesos revolucionarios de octubre de 1934". Discurso leído ante la Real Academia de Historia, Madrid 1934.



Figura 4.9.- Detalles de algunos restos pictóricos, detectados sobre la superficie de algunos de los revocos.

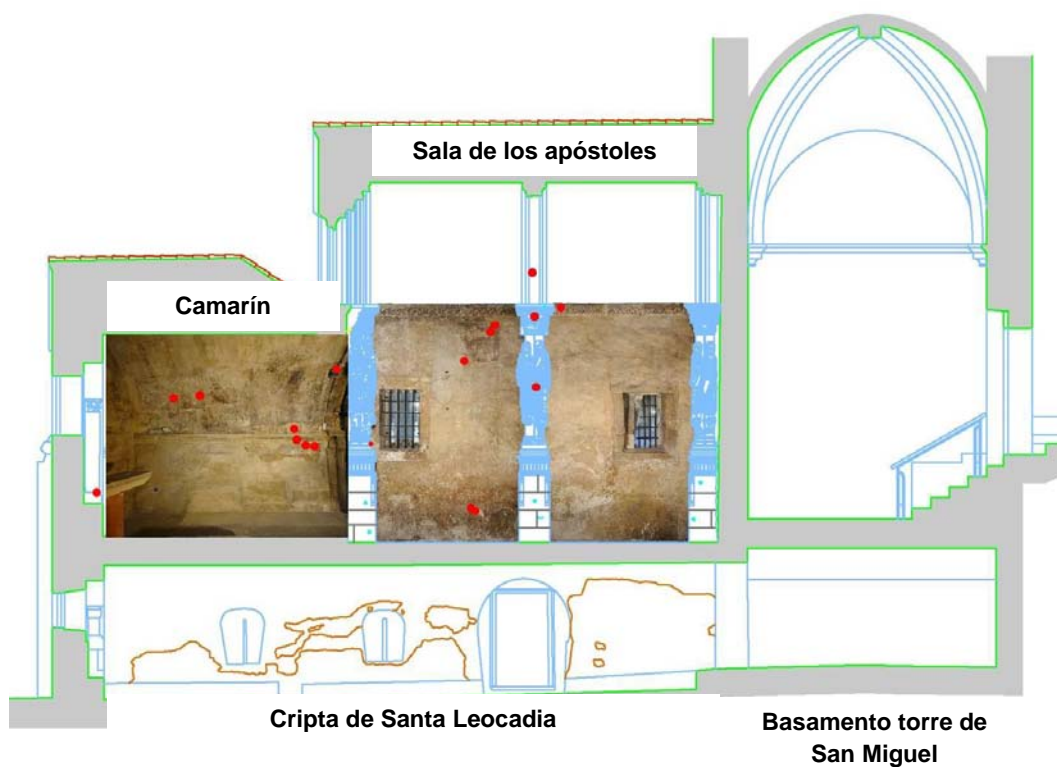
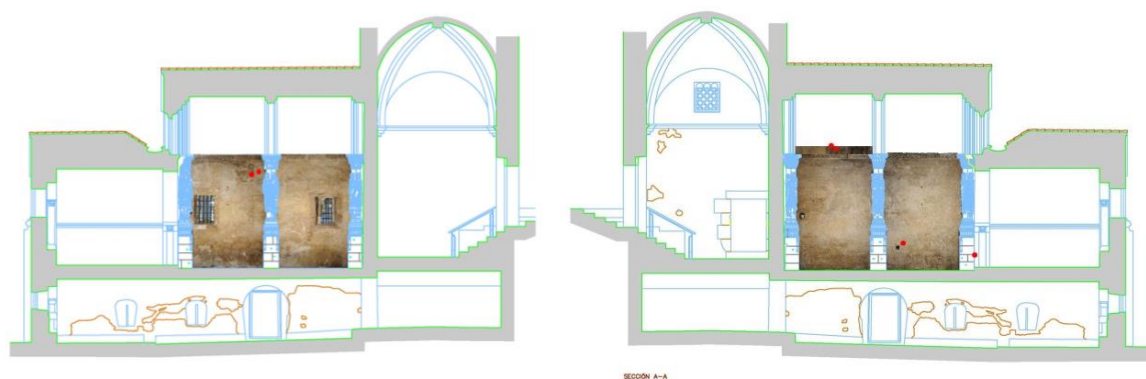


Figura 4.10.- Muestreo en la Cámara Santa: localización de los puntos de recogida de las muestras. En la imagen inferior, se especifican, las diferentes de la capilla, referidas en el texto.



Figura 4.11.- Izquierda: Esquema en planta de la sala de los apóstoles de la Cámara Santa con sus correspondientes alzados norte y sur abatidos, donde se adjudica una letra a cada grupo escultórico aparejado. De izquierda a derecha la correspondencia es la siguiente: A - San Simón y San Judas, B - Santiago y San Juan, C - San Andrés y San Mateo, D - Santiago el menor y San Felipe, E - San Pedro y San Pablo, F - Santo Tomás y San Bartolomé. Derecha: imágenes de los apóstoles, leyenda de las correspondencias de las letras con los grupos escultóricos y detalle en alzado del grupo escultórico A, donde se aprecia el despiece de los sillares (De arriba abajo: cimacio, capitel, fustes, basa y podio).



Figura 4.12.- De izquierda a derecha: toma de muestras en los grupos escultóricos E y A, correspondientes a San Pedro y San Pablo y a San Simón y San Judas.





Figura 4.13.- De izquierda a derecha: toma de muestras en los grupos escultóricos C, D y F, correspondientes a San Andrés y San Mateo, Santiago el menor y San Felipe y Santo Tomás y San Bartolomé.

#### 4.1.3.- ANÁLISIS REALIZADOS

En las tablas 4.1A y 4.1B se presentan las muestras analizadas, el tipo de mortero, su localización y las técnicas empleadas en su estudio. Unas muestras fueron recogidas en 2012, durante la fase de estudios previos a la intervención, y otras corresponden a la toma de muestras realizada durante el seguimiento de la restauración realizada en 2013-2014. Durante la fase previa de estudios, los accesos de muestreo se restringieron a la sala de los apóstoles. Posteriormente, durante la restauración se pudo acceder al camarín y a zonas elevadas en altura, anteriormente inaccesibles.

En las tablas 4.2A y 4.2B se presentan las muestras estudiadas y las técnicas empleadas el análisis estratigráfico de las capas pictóricas o restos de color. Al igual que ocurría en el caso de los morteros, el muestreo se realizó en dos momentos diferentes, ligados igualmente a la fase de estudios previos y a la posterior restauración de la Cámara Santa. El criterio seguido en el muestreo parte de un examen preliminar minucioso de las superficies del apostolado, para centrarse, posteriormente, en dos grupos escultóricos: uno caído tras la explosión del año 1934 y otro mantenido, después de la misma, en posición original. Tales grupos han sido el formado por San Pedro y San Pablo y el que agrupa a San Simón y San Judas Tadeo. Además se recogieron una serie de muestras complementarias, en otros grupos escultóricos, con objeto de constatar los datos analíticos obtenidos. La selección de los puntos de muestreo también ha estado condicionada por su localización geográfica en el interior de la nave; costado norte (San Simón y San Judas) y costado sur (San Pedro y San Pablo). La diferente evolución alterológica en altura y en orientación,

tanto de los elementos escultóricos y ornamentales, como de los paramentos de fábrica, fueron algunos de los factores considerados, previamente a la toma de muestras. El muro norte, sometido a la acción directa del agua, presentaba un mayor grado de deterioro que el observado en el muro sur, protegido de las inclemencias meteorológicas por el ala norte del claustro.

La nomenclatura seguida en el muestreo asigna letras de la A a la F para indicar cada grupo apostólico pareado, seguido de las letras Ar, c, C, F, p y Pa correspondientes a arco fajón, cimacio, capitel, fuste, podio y paramento, respectivamente, seguido de un número de referencia correlativo. Así, a modo de ejemplo, ArEB12 corresponde a una muestra recogida en el arco fajón localizado entre San Pedro y San Pablo (E) y Santiago y San Juan (B). Las muestras de mortero recogidas durante la restauración de la cámara Santa van precedidas de las de las letras mcCS cuando proceden del camarín y de mCS, cuando el muestreo se ha realizado en la sala de los apóstoles. Si el soporte es pétreo, la m se sustituye por una p, siguiendo el criterio anterior (pcCS o pCS).

El análisis estratigráfico, realizado durante el 2013-2014, se centró fundamentalmente en los restos pictóricos detectados sobre la superficie de los revocos, anteriormente estudiados, en una única localización. El objetivo último de estos análisis ha sido conocer la composición, extensión y conservación de la posible policromía original muraria, así como deducir posibles repintes o policromías posteriores que pudieran haber afectado a los revocos o a los elementos escultóricos.

Tabla 4.1A.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis mineralógico (DRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
Referencia	Descripción/Localización				
mCS12	Mortero juntas. Sala de los apóstoles, lateral sur	SI	SI	SI	SI
mcCS2inf	Revoco interior. Camarín y sala de los apóstoles, lateral sur	-	-		
mcCS4					
mcCS5					
mcCS6					
mcCS8inf.					
mCS11					
EPa33					
mcCS1	Revoco exterior. Camarín y sala de los apóstoles, lateral sur	SI	-	-	
mcCS2 sup.		-		SI	
mcCS3					
mcCS8 sup					
mCS9					
EPa32					
mCS23					Revoco exterior. Camarín y sala de los apóstoles, lateral norte
mCS24					

Tabla 4.1B.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Referencia	Descripción/Localización	Ataque químico (R.I.)*	Análisis mineralógico (DRX)*
mcCS7	Mortero de reposición. Camarín, lateral sur	--		SI	SI
mcCS18	Mortero de reposición. Camarín, lateral este				
CF36	Mortero de reposición. Apóstol San Pablo				
EF15	Mortero de reposición. Apóstol San Pablo, lateral sur				
AF27	Mortero de reposición. Apóstol San Judas Tadeo, lateral norte				
mCS20 y mCS21	Capas de encalado. Sala de los apóstoles, lateral sur	SI	-		-
mCS22	Estuco**. Pupila apóstol San Mateo, lateral norte	-			SI
EF39	Estuco**. Pupila apóstol San Pedro, lateral sur				
AF24	Estuco**. Pupila apóstol San Simón, lateral norte				
FF28	Estuco**. Pupila apóstol Santo Tomás, lateral sur				
Hormigón	<i>Opus signinum</i> . Material acopiado de destrucción Cámara Santa	SI	SI		-

\*RI: residuo insoluble, obtenido por ataque químico con ácido clorhídrico, DRX: difracción de rayos X; LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X. \*\*Estuco – pasta negra.

Tabla 4.2A.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS		
		Referencia	Localización	Análisis petrográfico (LUPA)*
EPa32	Revoco exterior. Paramento, muro lateral sur			
EPa33				
mcCS3	Revoco exterior. Camarín, paramento sur bóveda	SI	SI	
mcCS4	Revoco interior. Camarín, paramento sur bóveda			
mcCS6	Revoco exterior. Camarín, paramento sur bóveda			
mcCS7	Mortero de reposición. Camarín, paramento sur bóveda			
mcCS9	Revoco exterior. Paramento, muro lateral sur			
pCS10	Dolomía de Laspra. Sala de los apóstoles, arco fajón San Pedro/San Pablo–Santiago/San Juan			
pCS13	DL***. Sala de los apóstoles, imposta lateral sur			
pCS14	DL***. Sala de los apóstoles, capitel San Pedro/San Pablo			
pCS15	DL***. Sala de los apóstoles, fuste San Pablo			
pCS16	DL***. Sala de los apóstoles, podio San Andrés/San Mateo			
mCS21	Capa de encalado. Sala de los apóstoles, recercado ventana, lateral sur izqda.			
mCS23	Revoco exterior. Sala de los apóstoles, lateral norte, bóveda			
mCS24				

Tabla 4. 2B- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS		
		Análisis petrográfico (LUPA)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*	Análisis químico de compuestos orgánico (FTIR/GC-MS)
Ec1	DL***. Cimacio, apóstoles San Pedro/San Pablo, lateral sur	SI	SI	SI
EC2	DL***. Capitel, apóstoles San Pedro/San Pablo, lateral sur			-
EC3				-
EC4				-
EC5	DL***. Capitel, apóstoles San Pedro /San Pablo, lateral sur			SI
EF6	DL***. Fuste, apóstoles San Pedro/San Pablo, lateral sur			-
EF7				-
EF8				SI
EF9				-
EF10				-
EF11				-
ArEB12	DL***. Arco fajón, apóstoles San Pedro/San Pablo – Santiago/San Juan			SI
ArEB13				-
ArEB14				-
EF15	DL***. Fuste, apóstoles San Pedro/San Pablo, lateral sur			SI
EF16				-
Ep17	DL***. Podio, apóstoles San Pedro/San Pablo, lateral sur			-
Ep18				SI
Ep19				-
AC20	DL***. Capitel, San Andrés/San Mateo, lateral norte			SI
AC22				-
Ac21	DL***. Cimacio, San Andrés/San Mateo, lateral norte			SI
AF24	Estuco**. Pupila apóstol San Simón, lateral norte			-
AF27	Mortero de reposición. Apóstol San Judas Tadeo, lateral norte			
EF25	DL***. Fuste, San Pedro/San Pablo, lateral sur			
EF26				
EF39	Estuco***. Pupila apóstol San Pedro, lateral sur			
FF28	Estuco**. Pupila apóstol Santo Tomás, lateral sur			
FF30	DL***. Fuste, Santo Tomás/San Bartolomé, lateral sur			
FF31				
DC34	DL***. Capitel, Santiago el menor/San Felipe, lateral sur			
DC35				
CF36	DL***. Fuste, San Andrés/San Mateo			
CF37				

LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X; FTIR/GC-MS: transformada de Fourier/ cromatografía de gases-espectrometría de masas. \*\*Estuco – pasta negra. \*\*\*DL – Dolomía de Laspra

## 4.2.- FONCALADA

La fuente de Foncalada, declarada monumento nacional en 1931 y monumento patrimonio de la humanidad por la UNESCO en 1998, se incluye como un elemento de arquitectura civil, atribuido al reinado de Alfonso III el Magno (866 – 910) (Manzanares, 1957; Miguel Vigil, 1887; Canella, 1888 y Arias, 1994) (Fig. 4.14). Su nombre deriva de «fons incalata» (fuente invocada), (García de Castro 1995<sup>205</sup>), lo que hace suponer un valor simbólico de la construcción, además del utilitario.



Figura 4.14.- La fuente de Foncalada a finales del siglo XIX

A través de paralelos, tanto técnicos como tipológicos y exponiendo argumentos epigráficos, Ríos en 1999<sup>206</sup>, propone una fecha de construcción en torno a la transición entre los siglos VIII – IX.

### 4.2.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS–CONSTRUCTIVOS

Foncalada es una edificación de planta rectangular de aproximadamente 4 metros de ancho, con cañón abovedado y arco de medio punto abierto a un frontispicio triangular, construida para proteger y aprovechar un manantial natural de agua potable, ubicado en aquella época, en las afueras de la ciudad. Tras las excavaciones arqueológicas realizadas en los años 91 y 95, se observan estructuras desconocidas hasta entonces y se interpreta la fuente como una construcción, destinada a tomar baños (Estrada y Ríos, 1995<sup>207</sup>, Ríos 1997<sup>208</sup>), (Fig. 4.15).

Las excavaciones realizadas ponen de manifiesto que la edificación ocupa toda la plaza donde se ubica la fuente y una franja de la actual calle Gascona. La ausencia de construcciones similares en el patrimonio europeo altomedieval, lleva a buscar paralelismos con el legado del mundo romano (Ríos, 1999). «Es una construcción de primera magnitud, sin paralelo conocido en el ámbito

---

<sup>205</sup> García de Castro C. (1995). "Arqueología Cristiana de la Alta Edad Media en Asturias". RIDEA, Oviedo 1995, p.90-92.

<sup>206</sup> Ríos S. (1999). "La fuente de Foncalada: paralelos técnicos, formales y funcionales". Zephyrvs, Ediciones Universidad de Salamanca p 261-278.

<sup>207</sup> Estrada García R., Ríos González S. (1995). "Excavaciones Arqueológicas en la plaza de Foncalada (Oviedo)". Excavaciones Arqueológicas en Asturias, 1991-1994. Oviedo, 1995

<sup>208</sup> Ríos S. (1997). "Arquitectura del agua en la Alta Edad Media. El ejemplo de Foncalada (Oviedo)". Termalismo Antiguo. I Congreso Peninsular. Actas. Madrid, 1997. Pp. 529-533

peninsular» (Ríos, 1997<sup>209</sup>). Los restos epigráficos que se conservan en la fuente y que aluden a dos conocidos textos, así como la Cruz de la Victoria con alfa y omega colgante han sido los principales argumentos para atribuir Foncalada al rey Alfonso III. Estos argumentos son puestos en duda por García de Castro ya que las dos leyendas recogidas en los textos son comunes a la monarquía asturiana y el modelo iconográfico de esta cruz ya ha sido contemplado en las pinturas murales de Santullano.

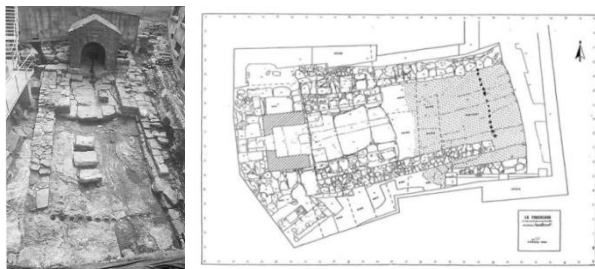


Figura 4.15.- Vista del lateral este y planta, según dibujo de F.J. Chao Arana, de la fuente de Foncalada (ambas imágenes tomadas de Ríos *et al* 1994<sup>1</sup> y Ríos 1999).

Sergio Ríos defiende que los paralelos epigráficos más exactos se remontan a la época de Alfonso II (791-842). Advierte, que la semejanza de aparejo con el edículo de Valdediós que otros autores han esgrimido para adscribir Foncalada a Alfonso III, «si bien son similares, difieren en sus características estequiométricas. Corresponden a sillares de módulo sumamente alargado que carecen de semejanzas en el Arte Asturiano ni en el ámbito altomedieval hispánico», decantándose por una cronología situada en la primera mitad del siglo IX. En Foncalada «la herencia romana (técnica y estética) se manifiesta con nitidez» por lo que Ríos añade que «nos encontramos ante un proyecto de un arquitecto conocedor de la tradición constructiva romana, erigida con materiales de una calidad, sin paralelos en el Arte Asturiano y, finalmente provista de una epigrafía en gran formato, hecho también inusual, lo que implica un alto patrocinio, claro testimonio de que el edificio trasciende el mero aprovisionamiento de agua para su uso cotidiano» (Ríos 1997:185). «La fuente de Foncalada constituye un ejemplo singular de edificio balneario, de filiación claramente clásica, y de cronología actualmente en discusión: altomedieval o romana» (Borge, 2011)<sup>210</sup>.

Desde el punto de vista hidrográfico, existe un vacío documental entre la época de construcción y el siglo XV, pero se supone que el sistema de abastecimiento de aguas estaba constituido por manantiales de afloramiento espontáneo. Teniendo en cuenta el carácter rocoso del subsuelo, se descarta la posibilidad de excavación de pozos hidráulicos (Gutiérrez y Torres, 1995)<sup>211</sup>. Las características petrológicas de los materiales con los que se ha construido el edículo de la fuente han sido identificados como: arenisca jurásica (Formación Lastres, Kimmeridgiense superior) en muros y cañón abovedado, caliza de Piedramuelle (Formación Piedramuelle, Cenomaniense

<sup>209</sup> Ríos S. (1997) "Excavación arqueológica en La Foncalada: 1991-1995" en La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.183 -189.

<sup>210</sup> Borge Cordovilla F. J. (2011). "La Fuente de Foncalada (Oviedo): Aplicación de métodos gráficos e infográficos de análisis compositivo y metrológico a la formulación de una hipótesis de Anastilosis Virtual del Monumento". Virtual Archaeology Review (VAR), Volumen 2 Número 3. ISSN: 1989-9947, Abril 2011, p. 165-168.

<sup>211</sup> Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (1995). "Geología de Oviedo. Descripción, recursos y aplicaciones". Edición Ayuntamiento de Oviedo, 276pp.

superior) en gran parte de la cubierta y sillares de los paramentos superiores y caliza cristalina (Formación Oviedo, Coniaciense-Santoniense) en las piezas basales que sirven de apoyo a la construcción (Mateos *et al.*, 2004<sup>212</sup>), (Figs. 4.16 y 4.17).

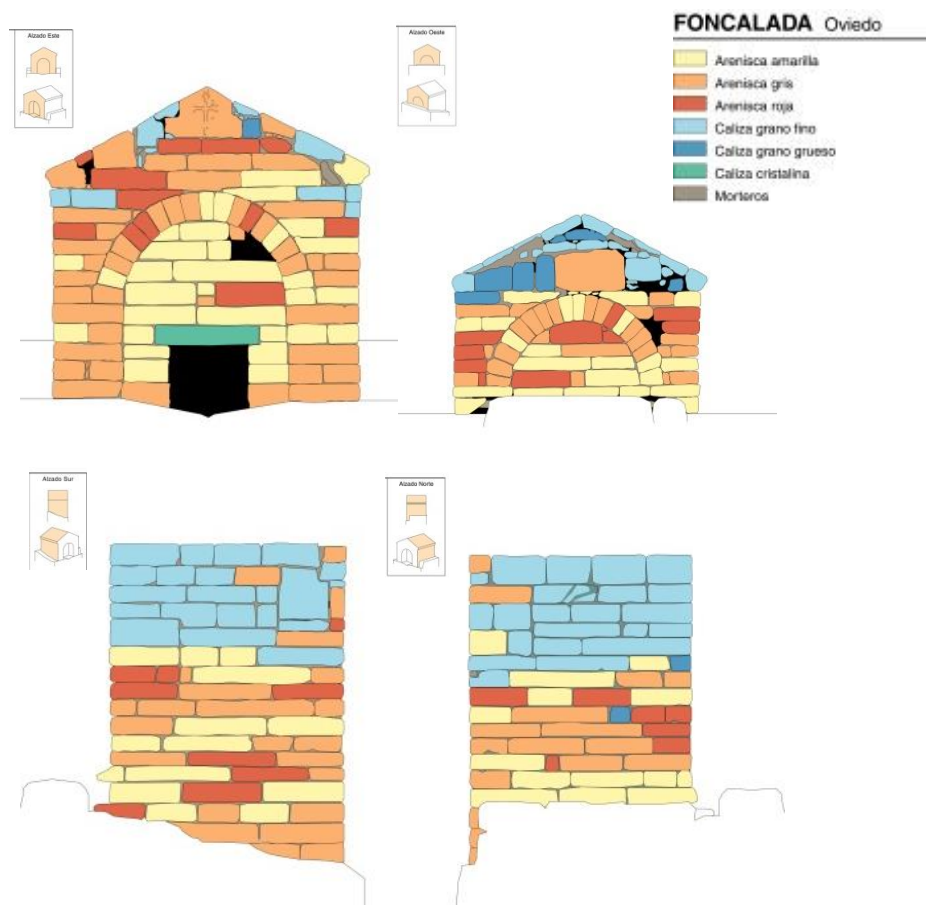


Figura 4.16.- De izquierda a derecha; alzados este, oeste, sur y norte de la fuente de Foncalada con las variedades pétreas identificadas.

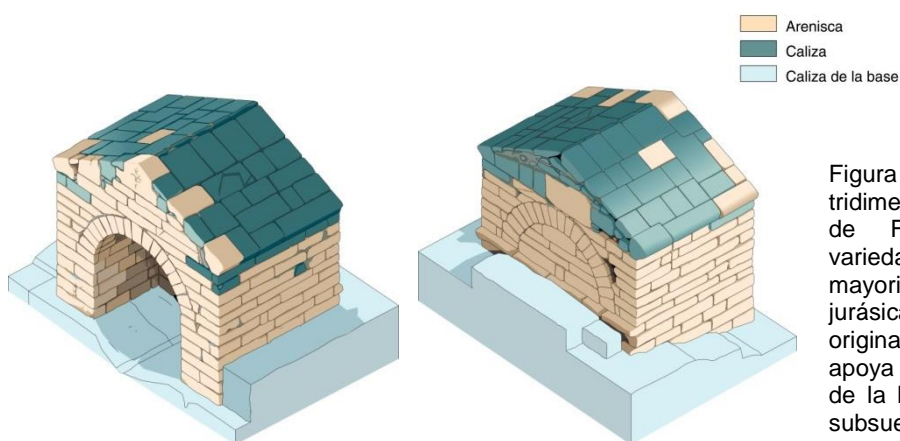


Figura 4.17.- Reconstrucción tridimensional de la fuente de Foncalada con las variedades pétreas mayoritarias. La arenisca jurásica es el material pétreo original del edículo que apoya directamente la caliza de la base que aflora en el subsuelo.

<sup>212</sup> Mateos, F.J.; Valdeón L. y Rojo A. (2004). "Piedras de construcción de la fuente prerrománica de Foncalada: tipos y origen" *Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo*, 24: 107-118 (2004).

#### 4.2.2.- TOMA DE MUESTRAS

Durante la realización de estudios petrológicos, encargados por la Consejería de Cultura del Principado de Asturias a GEA asesoría geológica, en 2003<sup>213</sup>, se inventariaron los materiales constructivos y sus formas de deterioro. Teniendo en cuenta las variedades pétreas, las patologías presentes y los objetivos del trabajo, se recogieron una serie de muestras, cuyos análisis se centraron en la caracterización de los materiales constructivos, ya que el tipo litológico y su localización exacta resultan imprescindibles para identificar los sillares repuestos de los originales o las posibles fases de intervención históricas. En lo que se refiere a los morteros se identifica uno presumiblemente empleado en la construcción de la fábrica original, abundante en la cara este y oeste de la fuente (Fig. 4.18). La mayoría de sillares de las caras norte y sur carecen de morteros de juntas, aunque se perciben restos de los mismos, procedentes de reparaciones posteriores y diversos rellenos de huecos, todos ellos con una distribución muy heterogénea.

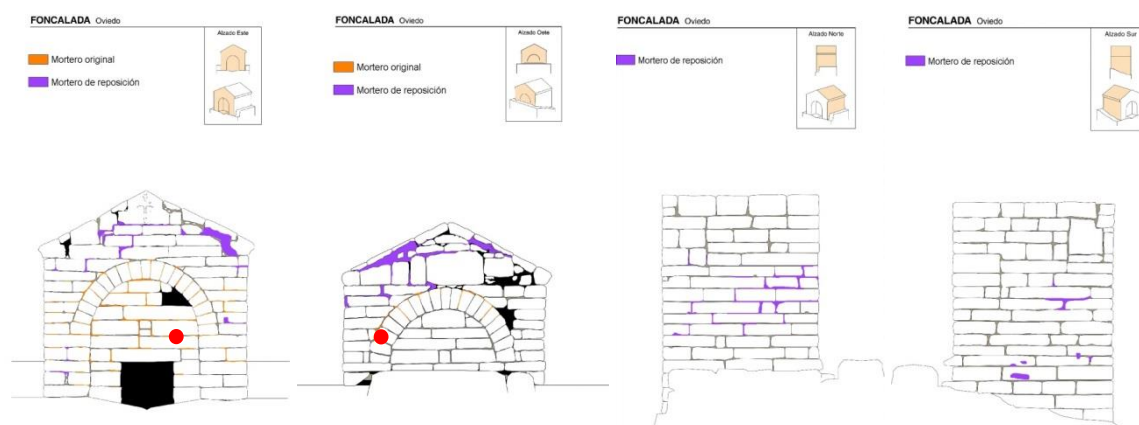


Figura 4.18.- Sobre los alzados este, y oeste (arriba) y norte y sur (abajo) se presenta el mortero original y los morteros de reposición. El mortero original se identifica con círculos rojos en las fachadas este y oeste.

#### 4.2.3.- ANÁLISIS REALIZADOS

En la tabla 4.3 se presentan las muestras analizadas, el tipo de mortero, su localización y las técnicas empleadas en-su estudio.

Tabla 4.3.- Foncalada: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis Mineralógico (DRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
Referencia	Descripción/Localización				
FON10	Mortero de juntas. Fachada este	-	SI	SI	SI
FON12	Mortero de juntas. Fachada oeste	-	SI	SI	SI

\*RI: residuo insoluble, obtenido por ataque químico con ácido clorhídrico; DRX: difracción de rayos X; LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X.

<sup>213</sup> GEA asesoría geológica (2003). "Estudio petrológico de la fuente de Foncalada (Oviedo)" Servicio de Patrimonio de Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Principado de Asturias.



### 4.3. – SAN SALVADOR DE VALDEDIÓS

La iglesia de Valdediós se edificó en la etapa final del Prerrománico, momento en el que gobernaba el último rey de la monarquía asturiana, Alfonso III El Magno (866-910)<sup>214</sup>, consagrándose este templo en el año 893, con advocación a San Salvador (Fig. 4.19). En 1931, San Salvador de Valdediós fue declarado Monumento Nacional y en 1985, la UNESCO lo catalogó como Patrimonio de la Humanidad.



Figura 4.19.- Iglesia de San Salvador, observada desde el monasterio de Santa María de Valdediós.

«Es un templo basilical de tres naves, separadas por dos arquerías de cuatro tramos, cabecera tripartita con tres cámaras ciegas superpuestas, dos habitaciones laterales abiertas a las naves laterales y tribuna sobre pórtico oeste» (García de Castro y Ríos, 1997)<sup>215</sup>. Como anexos, se disponen al sur un pórtico y una capilla y todas las dependencias se cubren con bóvedas de cañón en piedra toba. Tiene especial interés el pórtico real, construido en fecha posterior, ya que su estructura abovedada conserva analogías con la sala superior de Santa María del Naranco (Arias, 2009)<sup>216</sup>.

#### 4.3.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS–CONSTRUCTIVOS

La primera referencia de una intervención data de 1846, pero en las actas de la *Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos* se reseña únicamente *restauración*, por lo que resulta difícil calibrar su alcance (García de Castro y Ríos, 1997)<sup>217</sup>. En los dibujos elaborados por José María Aurial en 1847, todavía se observa el pórtico adosado en el frente de la iglesia (Fig. 4.20).

Hay evidencias de intervenciones en el período de 1856 a 1861, en las actas de la *Comisión*, por un gasto que ascendió a 6.000 reales (Canella, 1872)<sup>218</sup>. Parece que esta intervención se centró en la

<sup>214</sup> Ruiz de la Peña I. "San Salvador de Valdediós". <http://www.monasteriovaldedios.com/san-salvador-de-valdedios.html>

<sup>215</sup> García de Castro, C. y Ríos, S. (1997). "Asturias monumental: 100 referencias". Ediciones Trea, S.L.

<sup>216</sup> Árias Páramo L. (2009). "San Salvador de Valdediós". Guías del prerrománico asturiano. Ediciones Nobel, 64 p

<sup>217</sup> García Cuetos; M<sup>a</sup> P. (1999). "El prerrománico asturiano. Historia de la arquitectura y restauración (1844-1976)". Editorial Sueve, Oviedo 1999

<sup>218</sup> Canella, F. (1872). "Resumen de las actas y tareas de la Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos de la provincia de Oviedo desde 1844 a 1866. Imprenta de Eduardo Uría, Oviedo, 1872, pp-13-15.

cubierta de la iglesia y en la eliminación de los añadidos: el pasadizo al monasterio y el pórtico añadido a la portada principal (Figs. 4.21 y 4.22).

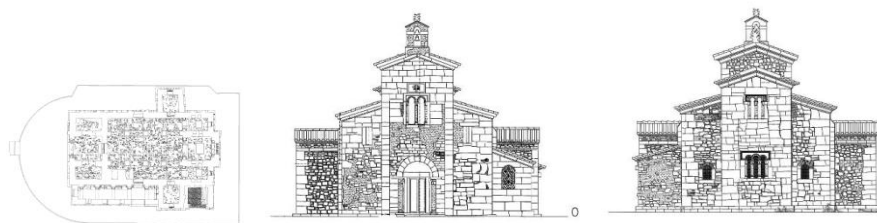


Figura 4.20.- Plano de planta baja y alzados oeste y este, del proyecto de Javier Felgueroso, digitalizado a partir del original de Lorenzo Arias y de secciones de García-Pola, Carlos Marqués y Palacios.



Figura 4.21.- Aspecto de San Salvador de Valdediós con el pórtico oeste y el pasadizo sur al monasterio (Aurias y Parcerisa 1838-1872; izquierda derecha, respectivamente. Tomadas de García Cuetos, 1999).

Existen referencias documentales de que, en 1912, se eliminaron los repintes efectuados en el siglo XVIII (García Cuetos, 1999), restos de los cuales todavía se conservan en el ábside central. En 1919, José Fernández Menéndez dio a conocer la existencia de restos de pintura mural al fresco y realizó unos bocetos preliminares de las pinturas (Fernández, 1919)<sup>219</sup>.



Figura 4.22.- Aspecto del monasterio y la iglesia de Valdediós (Menéndez Valdés 1879. Imagen tomada de García Cuetos, 1999).

A lo largo de cuatro intervenciones, desde 1950 a 1960, Menéndez Pidal abordó una serie de reformas que tuvieron repercusiones en los materiales. En 1953 se organiza una campaña destinada al rebaje del terreno alrededor de la iglesia, para eliminar el problema de las humedades que afectaban al templo (Menéndez Pidal, 1953)<sup>220</sup>. Se abrió una zanja (5 m de longitud y 50 cm de profundidad) y se limpiaron los paramentos que quedaron vistos, con cepillo de raíces vegetales, hasta dejarlos libres de adherencias de tierras o de escombros. La maniobra más importante que certifica Menéndez Pidal es la fabricación de una solera en la zona despejada, con morrillo de río sobre cama de cemento (Menéndez Pidal, 1953), aunque vuelve a citar esta maniobra en el

<sup>219</sup> Fernández, J. (1919). "Apuntes para la historia del arte. La basílica de San Salvador de Valdediós y su primitivo convento". Boletín de la Sociedad Española de Excursiones, II trimestre de 1919, pp. 77-78.

<sup>220</sup> Menéndez Pidal, L. (1953). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdediós". Rebaje del terreno que rodea al monumento, saneamiento de la humedad del edificio, 1953, A.C.M.C., sig. 71.068.

proyecto de 1955 (Menéndez Pidal, 1955)<sup>221</sup>. En este último se realiza el recalce e impermeabilización del muro meridional, se refuerza la cimentación y una vez culminada la zanja, se dispone en ésta un pavimento enguijarrado sobre un lecho de cemento. Tal como refleja la documentación de proyecto, estas labores requirieron de 16 toneladas de cemento portland. También se recoge en proyecto un completo repaso de las fábricas de mampostería y de sillería.

Las especificaciones para los materiales a utilizar fueron las siguientes:

- Relleno: hormigón hidráulico con grava de grueso medio y arena de río.
- Empedrado: bordillo de caja con piedra granítica y relleno de la caja con cantos rodados recibidos sobre una torta de hormigón hidráulico fluida, enlechándose el conjunto con mortero de cemento y arena.
- Restauración de paramentos, con colocación de piedra nueva en las partes que así lo requieran.

Según García Cuetos, «las labores en el exterior, se completaron con la eliminación del falso umbral del pórtico sur, que debido a la acumulación de depósitos en la zona, se había elevado más de medio metro por encima del original» (Fig. 4.23). También se abordó la restauración del arco de ladrillo de la ventana del ábside sur y en el interior se procedió a rehacer el edículo del ábside central y se realizó una limpieza de las pinturas, para finalizar con la fijación de las mismas.

En 1957, Helmut Schlunk y Magín Berenguer realizan una investigación rigurosa sobre los frescos del templo (Schlunk y Berenguer, 1957)<sup>222</sup>.



Figura 4.23.- Aspecto general de San Salvador de Valdediós (Imágenes archivo MAS, 1961).

En 1970 tuvo lugar la reconstrucción de la dependencia norte, de la que carecía la iglesia, al menos desde el siglo XVI, con su correspondiente bóveda de cañón construida en piedra toba. En las mediciones del proyecto (Menéndez Pidal, 1970)<sup>223</sup> se detalla que el pavimento de esta estancia estará compuesto de un «afirmado de hormigón de 0,18 m de espesor y sobre él otro compuesto de cemento blanco, cal, arena, teja machacada y piedra silíceo blanca triturada». En la nueva estancia, las zanjas abiertas para investigaciones arqueológicas, se rellenan con hormigón en masa y además, se aborda la construcción del altar de la capilla mayor en piedra. Se continúa el repaso

<sup>221</sup> Menéndez Pidal, L. (1955). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdediós". Recalces correspondientes al muro del costado de la epístola; aislar de humedades el monumento; construcción y colocación de nuevas puertas de madera; repaso de las fábricas de mampostería y sillería de los muros, 1953, A.C.M.C., sig. 71.068.

<sup>222</sup> Schlunk, H. y Berenguer, M. (1957). "La pintura mural asturiana de los siglos IX y X". Oviedo, 1957, Reed. Oviedo, 1991.

<sup>223</sup> Menéndez Pidal, L. (1970). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdediós". Cuerpo edificio lateral, paramentos y retejado, 1970, A.C.M.C., sig. 71.961.

general de los paramentos y retejado, y se tratan con cal todas las zonas que no presentaban restos pictóricos (García Cuetos, 1999). En este y otros proyectos se indica siempre que «la labra en las obras de cantería se hará a trinchante, después del desalabeo de los paramentos y que la colocación de sillares se hará con el máximo cuidado, para no dañar a los contiguos enlechando con cemento» (García Cuetos, 1999). En lo que se refiere a la piedra, el proyecto no hace especificaciones sobre el tipo a emplear. Sólo se indica que ha de ser piedra sana, sin bolos ni oclusiones ferruginosas, etc. (Menéndez Pidal, 1970).

En 1971, Menéndez Pidal continuó con los trabajos de conservación de las cubiertas y con la revisión de las bóvedas. En ese momento se colocaron los altares en forma de T en los tres ábsides (García Cuetos, 1999). También se aborda la restauración de las partes movidas en el testero interior de la Capilla Mayor, reponiendo piezas de sillería labrada, donde lo precisen las faltas (Menéndez Pidal, 1971)<sup>224</sup>. En las mediciones del proyecto se hace referencia a consolidación de albañilería y fijado, limpieza y restauración de las pinturas existentes en el interior, según García Cuetos, ya realizadas en 1955. Finalmente, en 1972, Pidal realizó un tratamiento de los muros y propuso «continuar el pavimento de hormigón romano en el piso» (Menéndez Pidal, 1972)<sup>225</sup>. Se incluye, además la construcción y colocación del cerco y vidriera en el hueco ajimezado y el enlucido y blanqueo a la cal, con paletina. En 1979 se lleva a cabo otro proyecto de restauración a cargo de M<sup>a</sup> del Mar de Benito, con importantes añadidos de materiales:

- En las naves laterales, fabricación de zuncho de hormigón, a la altura de la cornisa, previo cajeadado de las zonas de encuentro con los muros de la bóveda.
- Atado del zuncho a mallazo con arena, gravilla y hormigón para recubrir el trasdós de las bóvedas.
- Anclajes verticales de los zunchos en los cajeadados, también de hormigón.

Al final del proyecto se incluye una partida para limpieza de humedades y mohos existentes en el exterior y en el interior, en particular pilastras y paramentos, sin dañar las posibles pinturas. Estando las obras de la cubierta bastante avanzadas fueron suspendidas por la Consejería de Cultura y la Comisión de Patrimonio. Se desconoce si llegó a ejecutarse el resto del proyecto.

En 1993, se acometió la restauración de la pintura mural del templo (Puras, 1991)<sup>226</sup>. Su intervención permitió recuperar motivos pictóricos, ocultos por la aplicación de capas de cal (Puras, 1997)<sup>227</sup>. En 1998, Otilia Requejo realizó unas excavaciones arqueológicas en el conjunto monumental de Valdediós (Requejo, 1998)<sup>228</sup>. Los materiales cerámicos, procedentes de esa

---

<sup>224</sup> Menéndez Pidal, L. (1971). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdediós". Cubiertas, colocación de calvario románico, 1971, A.C.M.C., sig. 71.119.

<sup>225</sup> Menéndez Pidal, L. (1972). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdediós". Fachadas evangelio, pavimento piso, 1972, A.C.M.C., sig. 71.016.

<sup>226</sup> Puras, J. (1991). "Estudios previos y proyecto de conservación de las pinturas murales y estucos de San Salvador de Valdediós. Consejería de Cultura.

<sup>227</sup> Puras, J. (1997). "Tratamiento de conservación de pinturas murales altomedievales en Asturias". En la intervención en la arquitectura prerrománica asturiana. Jorge Hevia Blanco. Universidad de Oviedo.

<sup>228</sup> Requejo Pages, O. (1998). "Materiales cerámicos procedentes de San Salvador de Valdediós." Boletín Anual del Museo Arqueológico de Asturias nº 2. Consejería de Educación y Cultura. Oviedo (pp. 19-26).

campana (Requejo *et al*, 1992)<sup>229</sup>, se encuentran debidamente recogidos en el Museo Arqueológico de Asturias.

Entre 2010 y 2011, tiene lugar una última intervención en San Salvador de Valdediós según proyecto básico y de ejecución<sup>230</sup> redactado por D. Javier Felgueroso Carrascal. El proyecto se ha centrado en la restauración general del exterior del edificio, buscando su consolidación estructural y su protección frente a las humedades y ha incluido las siguientes actuaciones: limpieza de colonizaciones biológicas, drenaje exterior a cuatro metros de las fachadas laterales; reparación de la bóveda de la capilla de los Obispos; consolidación de las armaduras de hierro sobre los arcos laterales del anticuerpo occidental y revoco parcial de los paramentos exteriores de la fachada oeste para conseguir su estanqueidad frente a las filtraciones de agua de lluvia. También se procedió a la limpieza y rejuntado de las fábricas exteriores y se renovaron las cubiertas, empleando teja artesanal de tipo romano.

#### 4.3.2.- TOMA DE MUESTRAS

La última intervención en Valdediós, fue la realizada entre 2010 y 2011, financiado por el Ministerio de Fomento del gobierno de España con cargo al presupuesto del 1% cultural y por la Consejería de Cultura y Turismo del Principado de Asturias. Las obras, adjudicadas a la empresa Técnicas de Arquitectura Monumental S.A., llevaron asociado un seguimiento petrológico de la restauración, llevado a cabo por GEA asesoría geológica (GEA, 2011)<sup>231</sup> y una actuación arqueológica ligada a la reposición de cubiertas y a la realización del drenaje perimetral, realizada por Sergio Ríos (Figs. 4.23 a 4.26). La campaña arqueológica y los estudios petrológicos permitieron la recogida de muestras de morteros, los cuales se referencian y se localizan en la figura 4.27.

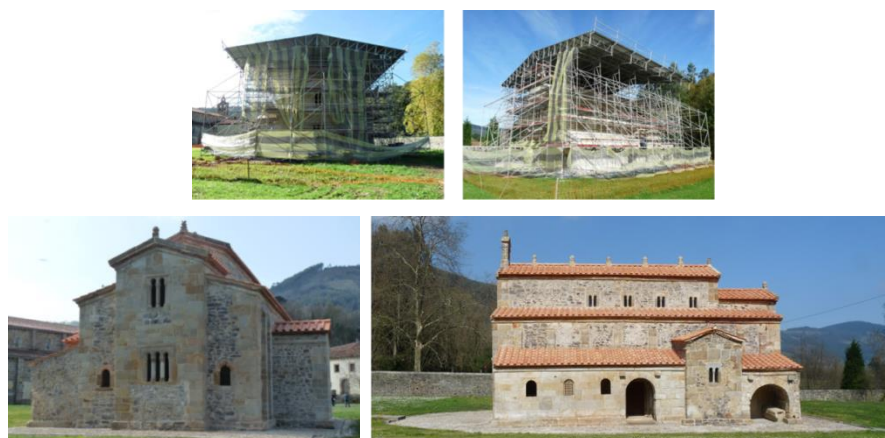


Figura 4.23.- Aspecto de la iglesia durante y después de las obras realizadas entre 2010 y 2011.

<sup>229</sup> Requejo Pagés, O., Martínez Villa, A. y Jiménez Sánchez, M. (1992): "Excavaciones arqueológicas en el Conjunto Monumental de Valdediós (Villaviciosa).1988-1989." Excavaciones Arqueológicas en Asturias, 2, 1987-1990. Consejería de Educación, Cultura y Deportes, Principado de Asturias (pp.179-188).

<sup>230</sup> Felgueroso Carrascal J. "Proyecto básico y de ejecución "Iglesia de San Salvador de Valdediós, Proyecto de restauración 1ª fase"

<sup>231</sup>GEA asesoría geológica (2011)"Seguimiento petrológico de la restauración de San Salvador de Valdediós (Villaviciosa, Asturias".



Figura 4.24.- Catas arqueológicas en la cubierta de la nave central (arriba) y en la nave norte (abajo) de San Salvador de Valdediós (2010).



Figura 4.25.- Cubiertas capilla sur (arriba) y capilla de los obispos (abajo) de San Salvador de Valdediós (2010).



Figura 4.26.- Cubierta capilla mayor de San Salvador de Valdediós (cata arqueológica, 2010).

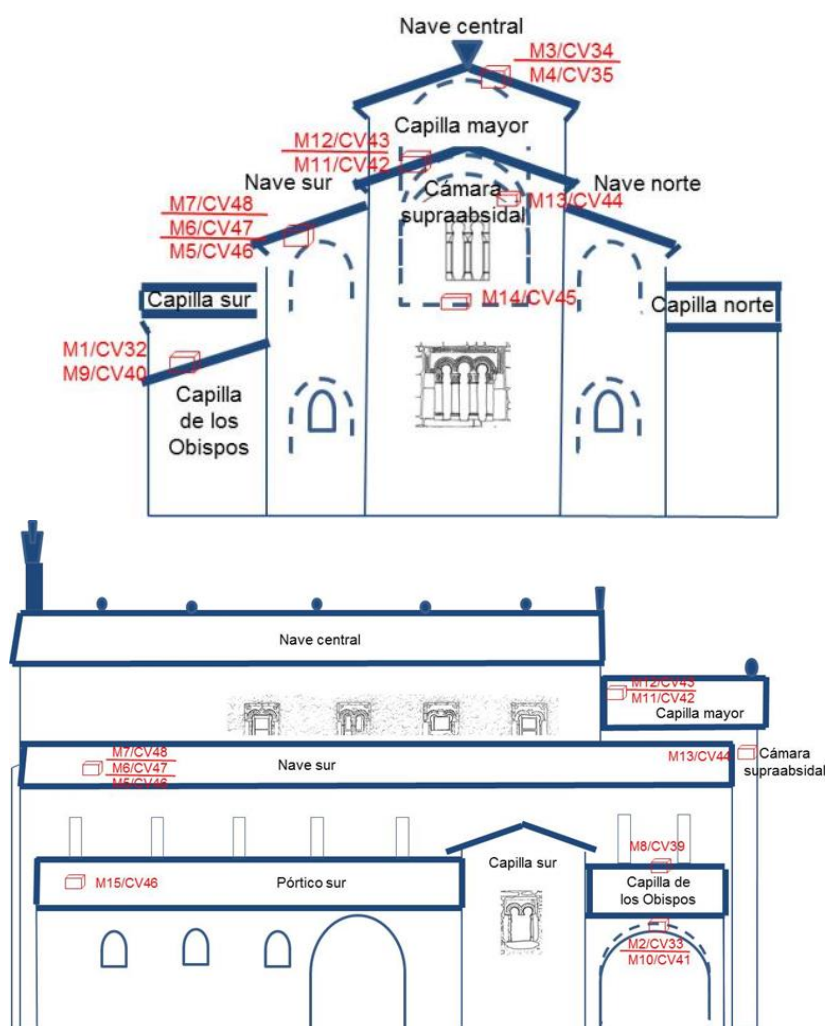


Figura 4.27.- Muestreo sobre los alzados este (arriba) y sur (abajo) de las muestras de mortero de cubiertas, recogidas en 2010.

#### 4.3.3.- ANÁLISIS REALIZADOS

En la tabla 4.4 se presentan las muestras analizadas, así como el tipo de mortero, su localización y las técnicas empleadas en su estudio. Las muestras objeto de estudio en este edificio fueron recogidas por Sergio Ríos, durante la actuación arqueológica, realizada en 2010-2011, ligada a la reposición de cubiertas. Por este motivo, el estudio de los morteros se restringe a los morteros empleados en la construcción de las diferentes cubiertas: nave central, nave sur, capilla sur, pórtico sur, capilla mayor, cámara subabsidal, nave norte y capilla norte. La terminología de los tipos de mortero, así como la referencia de las muestras fue facilitada por el arqueólogo, responsable de la recogida de las muestras y se ha mantenido, para evitar el empleo de términos distintos por los diferentes miembros del equipo interdisciplinar, implicados en la intervención.

En la tabla 4.5 se referencian las muestras de mortero datadas con  $^{14}\text{C}$ , mediante AMS, así como el tipo de muestra empleado para su datación absoluta.

Tabla 4.4.- San Salvador de Valdediós: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis Mineralógico (DRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
M4 / CV35	Mortero. Bóveda de la cubierta. Nave central, vertiente norte	SI	SI	SI	-
M7 / CV38	Mortero sobre 2ª capa del encapotado de la bóveda. Nave sur				
M1 / CV32	Mortero contra contrafuerte. Capilla sur				
M3 / CV34	Hormigón del encapotado. Bóveda de la cubierta. Nave central. vertiente norte				
M5 / CV36	Hormigón de la 1ª capa del encapotado. Nave sur				
M6 / CV37	Hormigón de la 2ª capa del encapotado. Nave sur				
M8 / CV39	Mortero contra contrafuerte. Nave sur, tramo oriental (entre los dos contrafuertes orientales).				
M15 / CV46	Mortero del encapotado de la bóveda. Pórtico sur				
M9 / CV40	Mortero contra el lado sur del contrafuerte. Capilla sur, fachada este.				
M2 / CV33	Mortero del extradós de la bóveda. Capilla de los obispos				
M11 / CV42	Mortero de la 1ª capa de encapotado. Capilla mayor				
M12 / CV43	Mortero de la 2ª capa de encapotado. Capilla mayor				
M10 / CV41	Mortero juntas del aparejo de ladrillo. Capilla de los obispos. Rosca de la bóveda. Trasdós				
M13 / CV44	Mortero de juntas del intradós. Cámara supraabsidal				
M14 / CV45	Mortero. Cámara supraabsidal. Pavimento				

\*RI: residuo insoluble, obtenido por ataque químico con ácido clorhídrico, diluido al 15%; DRX: difracción de rayos X; LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización.

Tabla 4.5.- San Salvador de Valdediós: muestras de mortero datadas con carbono 14, mediante AMS.

REFERENCIA MUESTRA	TIPO DE MORTERO	LOCALIZACIÓN	TIPO DE MUESTRA
M3/CV34	Hormigón del encapotado	Bóveda de la cubierta, nave central, vertiente norte	Matriz carbonatada
M13/CV44	Mortero de juntas del intradós.	Cámara supraabsidal	



#### 4.4. – SANTA CRISTINA DE LENA

«Santa Cristina de Lena es uno de los monumentos más enigmáticos del arte prerrománico» (Álvarez *et al.*, 2005)<sup>232</sup>, «ya que no figura en la documentación altomedieval asturiana» (García de Castro, 1995)<sup>233</sup>, (Fig. 4.28). «Esta ausencia de mención en crónicas medievales plantea problemas de cronología y origen que obliga al empleo de elementos indirectos de datación que fijan un *términus post quem* amplio, a partir de la fecha de la celosía norte del cancel, reutilizada de una construcción anterior en el arco triunfal» (Ríos, 2012)<sup>234</sup> que contiene la fecha 643 (siglo VII).



Figura 4.28. - Santa Cristina de Lena.

«Razones estilísticas evidencian que el maestro de Santa Cristina de Lena conoció el alzado de Santa María del Naranco, lo que permite fijar su construcción con posterioridad a esta última. No obstante existen diferentes teorías en cuanto al momento constructivo de Santa Cristina» (Álvarez *et al.*, 2005) que se sintetizan continuación:

A.- *Visigoda (siglo VIII)*. Según: Haupt, Schlag y Berenguer Alonso

B.- *Ramiro I (842 – 850)*. Según: Argáiz, Reiter, Dieulafoy, Schlunk, Lampérez y Gómez Moreno

<sup>232</sup> Álvarez S., Ebert R.M<sup>a</sup>, Arias L., Sáenz R., Alonso F.J., Ordaz J., Díaz-Pache F., G. Rúa V., Calleja L., Rodríguez A. y Suárez L.M. (2005). «Santa Cristina de Lena, un monumento enigmático del prerrománico asturiano: piedras, deterioro y sugerencias de conservación». Loggia nº 18 pp. 70 – 87.

<sup>233</sup> García de Castro C. (1995). «Arqueología cristiana de la alta edad media en Asturias». Cincuentenario del Real Instituto de Estudios Asturianos 1945 – 1995. Oviedo. Pp.375 – 387.

<sup>234</sup> Ríos S. (2012). «Actuación arqueológica relacionada con las obras de restauración de la iglesia de Santa Cristina de Lena» Servicio de Conservación, Protección y Restauración de la Consejería de Cultura del Principado de Asturias. Pp. 1 - 60.

C.- Ordoño I (850-862). Según: Manzanares, Goddard King, Pijoan, Olaguer, Pita Andrade, Álvarez Martínez, Nieto Alcaide, Árias Páramo y Cid Priego

D.- Siglo IX. Según: García de Castro

E.- Siglo X. Según: Amador de los Ríos

F.- Siglo XII. Según: Camón Aznar

#### **4.4.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS-CONSTRUCTIVOS**

Santa Cristina de Lena corresponde a un templo de nave única a la que se adosan cuatro cuerpos, alineados según dos ejes de simetría y que respectivamente se corresponden con dos habitaciones laterales septentrional y meridional, un pórtico con cámara superpuesta y la capilla de la cabecera (Fig. 4.29).

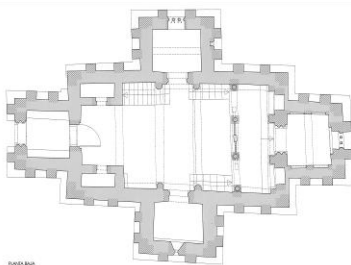


Figura 4.29.- Planta Baja de la iglesia de Santa Cristina de Lena (Cuenca y Hevia, 2011)

El aspecto actual del templo es consecuencia de las últimas restauraciones realizadas en el edificio. García de Castro (1995) y García Cuetos (1999)<sup>235</sup> recogen la secuencia cronológica de las intervenciones contemporáneas que se enumeran a continuación.

La *Comisión Provincial de Monumentos*, desde su creación en 1844, se interesa por el edificio, pero hasta el año 1885, no encargó el primer proyecto de restauración. Javier Aguirre, arquitecto provincial, fue el responsable de su redacción y en él se incluyó: reparación de techumbre, reparación de contrafuertes exteriores y recebo de las juntas de sillería para cortar las filtraciones.

El proyecto de Aguirre es rechazado en la academia de San Fernando y el 9 de octubre se encarga uno nuevo a Ricardo Velázquez Bosco, aprobado el 17 de junio de 1887 (Fig. 4.30). En este segundo se contempla:

- Cubrición con bóveda de la nave central, con fajones, a realizar con piedra toba
- Empotramiento dentro del muro de un marco de hierro de doble T para evitar nuevos hundimientos
- Reposición del pavimento con losas de mármol de la localidad, así como escalinatas para subir al presbiterio, al coro y a la Capilla Central, siendo asimismo necesario colocar losas alrededor de todo el edificio para preservar los cimientos de la humedad

---

<sup>235</sup> García Cuetos M<sup>a</sup>. P. (1999). "El prerrománico asturiano. Historia de la arquitectura y restauración (1844 – 1976)". Editorial Sueve

- Sustitución de la puerta moderna

La obra se inició pero no se finalizó y el 4 de junio de 1888 el párroco informa sobre la profanación de la ermita. El 1 de septiembre de 1889, Ricardo Velázquez fue cesado y se encomiendan las obras a Juan Bautista Lázaro, arquitecto director de las obras de la catedral de León. Éste asume el proyecto de Velázquez pero se centra en la reparación exterior del edificio, ya que algunos materiales incorporados hasta el momento habían funcionado mal y las reparaciones iniciadas eran insuficientes. Las obras dan comienzo en 1893 y duran 4 meses. Con este proyecto se intenta recuperar el aspecto prerrománico del edificio, realizándose una serie de intervenciones que repercuten decisivamente en la imagen actual del monumento (Fig. 4.31).

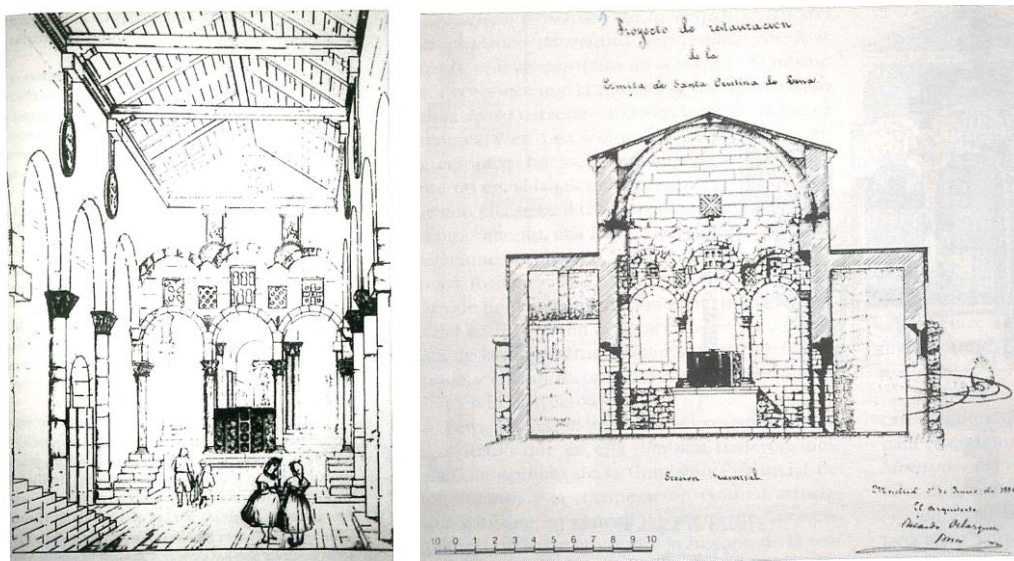


Figura 4.30.- Izquierda: Interior Santa Cristina de Lena. Aerial. Derecha: Proyecto de restauración Santa Cristina de Lena. Ricardo Velázquez (García Cuetos, 1992).

En el interior se repone todo el solado de la iglesia y el presbiterio, se rehacen las escaleras de acceso a la tribuna y su antepecho, se limpian los capiteles y medallones decorativos y los paramentos, eliminando pinturas y revocos y dejando la fábrica vista y rejuntada. Se desmontan las cubiertas y se refuerzan los muros y arcadas de la nave desde su base, rectificándose desplomes en la pared sur. Así mismo se repone toda la imposta de arranque de bóveda y se reconstruye esta última.

En el exterior se repara el ángulo suroeste desde su arranque, se recalzan los cimientos, se reabren los vanos de las ventanas de las fachadas este y norte, se refuerzan con mortero las jambas de la fachada norte, se rebaja el terreno circundante a la iglesia en las fachadas norte y oeste, reparando el zócalo perimetral, descubierto al retirar las tierras y se levanta un muro de contención, a 2 metros de la fachada sur. Respecto a la espadaña, se mantiene pero se desestima su restauración.

En 1916, la ermita sufre nuevos daños y Nicolás García Rivero redacta un proyecto de restauración que es rechazado en 1918. Posteriormente, hay constancia de reparaciones en el tejado en 1925 (García Cuetos, 1999).

Durante la revolución de 1934, las tropas gubernamentales abren fuego contra el edificio, donde se parapetan las fuerzas revolucionarias. Fausto Vigil informa pormenorizadamente a la *Comisión Provincial de Monumentos* de los desperfectos sufridos que afectan fundamentalmente a las fachadas oeste y sur, anteriormente reparadas por Lázaro. Las obras de reparación de estos daños se acometieron en 1935 y estuvieron dirigidas por Alejandro Ferrant.

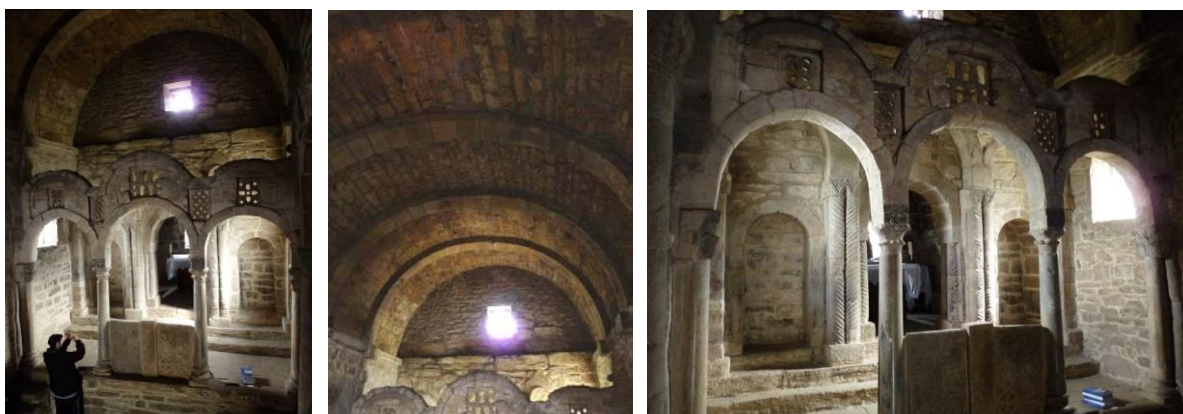


Figura 4.31.- Aspecto general y detalles del interior de Santa Cristina de Lena (2011).

Posteriormente, Menéndez Pidal en 1966, 1969 y 1970 realiza obras de conservación consistentes en retejado, limpieza y reparación de fachadas exteriores: sujetando piezas movidas, rellenando grietas y eliminando rejuntados interiores de cemento, sustituyéndolos posteriormente por otros de cal.

En 1988 se lleva a cabo una excavación arqueológica, realizada por Gabinete Arqueológico que consistió en un sondeo exterior, en el que se pudo documentar que el zócalo de la iglesia se asentaba sobre una zanja recubierta por arcillas, cantos y tégulas. En 1992 Noack-Haley y Arias Páramo realizaron otra campaña arqueológica que consistió en un sondeo interior destinado a estudiar la escalera de acceso a la tribuna.

En 1988, Cosme Cuenca y Jorge Hevia colocan unos testigos de yeso en el cancel alto por su cara este, pero hasta 2012 no se lleva a cabo la restauración de la iglesia, según proyecto de estos arquitectos, y se adjudica la obra a la empresa TRYCSA (Técnicas para la Restauración y Construcción S.A.). En relación con esta obra, el arqueólogo Sergio Ríos elabora un proyecto de actuación arqueológica y GEA asesoría geológica asume el seguimiento petrológico de las labores de restauración. En este momento se recogen una serie de muestras de mortero, objeto de estudio en el presente trabajo.

#### 4.4.2.- TOMA DE MUESTRAS

El Ayuntamiento de Pola de Lena, consciente de su riqueza cultural y de que el patrimonio es un recurso de primer orden, solicita una subvención al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para la realización del proyecto “Morteros prerrománicos: estudios petrológicos comparativos destinados a su datación cronológica”, al amparo de la convocatoria de ayudas a las Entidades Locales para proyectos de conservación, protección y difusión de bienes declarados Patrimonio Mundial (Boletín Oficial del Estado, de 4 de abril de 2013), resultando beneficiario de la misma en noviembre de 2013. Mediante la realización de este proyecto se persigue un mayor conocimiento de la iglesia de San Salvador de Valdediós y Santa Cristina de Lena, promoviendo además el desarrollo de la información, la investigación científica y su divulgación.

Las muestras estudiadas en este proyecto son los morteros de cubierta, recogidos por Sergio Ríos durante la actuación arqueológica realizada en 2012, ligada a las obras de restauración (Figs. 4.32 a 4.35). Esta última campaña arqueológica se centró en la excavación integral de las cubiertas de los cuerpos salientes, con realización de sondeos en las cubiertas de las capillas norte y este.



Figura 4.32.- Aspecto de la iglesia de Santa Cristina de Lena durante su restauración en 2012.



Figura 4.33.- Cubiertas de las capillas norte y este, durante la campaña arqueológica de 2012.



Figura 4.34.- Aspecto de la fachada este, alzado con la localización de las muestras de mortero recogidas durante la campaña arqueológica y aspecto de la cubierta de la capilla este, durante la realización de la misma.



Figura 4.35.- Aspecto de la fachada norte, alzado con la localización de las muestras de mortero recogidas durante la campaña arqueológica y aspecto de la cubierta de la capilla este, durante la realización de la misma.

#### 4.4.3.- ANÁLISIS REALIZADOS

En la tabla 4.6 se presentan las muestras analizadas, así como el tipo de mortero, su localización y las técnicas empleadas en su estudio. Las muestras fueron recogidas por Sergio Ríos, durante la actuación arqueológica, realizada en 2012, ligada a la reposición de cubiertas. Por ese motivo, el estudio de los morteros se restringe a los empleados en la construcción de las capillas norte y este. La terminología referida al tipo de mortero y la nomenclatura de las muestras fue facilitada por el arqueólogo, responsable de la recogida de las muestras y se ha mantenido para evitar el empleo de términos distintos entre los diferentes miembros del equipo interdisciplinar, implicados en la intervención.

En la tabla 4.7 se referencian las muestras de mortero datadas con  $^{14}\text{C}$ , mediante AMS, así como el tipo de muestra empleado para su datación absoluta.

Tabla 4.6.- Santa Cristina de Lena: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis Mineralógico (DRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
S.C.3. (M.E-1) ue 1210	Mortero de relleno, cornisa norte. Capilla este	SI	SI	SI	-
S.C.4. (M.E-2) ue 1212	Mortero de juntas entre dovelas de la bóveda. Capilla este				
S.C.5. (M.E-3) ue 1204	Mortero de la mampostería de remate del muro testero. Capilla este				
S.C.6. (M.E-4) ue 1209	Mortero del encapotado de la bóveda. Capilla este				
S.C.7. (M.N.1) ue 1110	Mortero de juntas entre dovelas. Capilla norte				
S.C.8. (M.N.2) ue 1111	Mortero del aparejo de la fachada norte. Capilla norte				
S.C.9. (M.N.3) ue 1101	Mortero de la refacción del remate de la fachada norte				
S.C.10. (M.N.4) ue 1109	Mortero del encapotado de la bóveda. Capilla norte				

\*RI: residuo insoluble, obtenido por ataque químico con ácido clorhídrico, diluido al 15%; DRX: difracción de rayos X; FRX: fluorescencia de rayos X; LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X.

Tabla 4.7.- Santa Cristina de Lena: muestras de mortero datadas con carbono 14, mediante AMS.

REFERENCIA MUESTRA	TIPO DE MORTERO	LOCALIZACIÓN	TIPO DE MUESTRA
N4/ue.1109	Mortero del encapotado de la bóveda.	Bóveda, capilla norte	Matriz carbonatada
N1/ue.1110	Mortero de juntas entre dovelas.	Bóveda, capilla norte	
E2/ue.1212	Mortero de juntas entre dovelas de la bóveda.	Bóveda, capilla este	

## 4.5. – SAN MIGUEL DE LILLO

La iglesia del San Miguel de Lillo se localiza en la ladera meridional del monte Naranco y, junto a Santa María, forma parte del conjunto palatino construido durante el reinado de Ramiro I (842 – 850). Esta iglesia fue consagrada en 848 por Ramiro I y su esposa Paterna (Requejo *et al.*, 2009)<sup>236</sup>.

«De su primitiva obra se conservan el antecuerpo occidental, donde se abre el vano de ingreso a un vestíbulo o pórtico, sobre el cual se eleva la tribuna regia y el primer tramo de la arquería del cuerpo central de la nave» (Arias, 1994)<sup>237</sup>. «Se trata de un edificio de nave única a la que se adosan cuatro cuerpos salientes que corresponden a dos habitaciones laterales, un pórtico con cámara superpuesta y un ábside elevado» (García de Castro., 1995)<sup>238</sup>. «No se conocen referencias documentales ni epigráficas para su datación pero se propone una fecha razonable en torno a la segunda mitad del siglo IX» (García de Castro, 1995).

### 4.5.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS–CONSTRUCTIVOS

«En la primera etapa de construcción de este templo (etapa I) hubo un cambio de proyecto para incluir el coro en el edificio, lo que obligó a encargar otras piezas, empleando para ello distintos materiales y formas y a reutilizar o readaptar materiales ya preparados para el proyecto anterior (proyecto A)» (Caballero *et al.*, 2008)<sup>239</sup>, (García de Castro, 1995)<sup>240</sup>. «Estas modificaciones del proyecto primitivo (proyecto B) originan cambios estructurales que obligan a los arcos a tomar direcciones oblicuas y formas trapezoidales» (García de Castro, 1995) que ponen en riesgo la estabilidad del edificio. «En esa situación y en un momento próximo a su construcción, antes de mediados del siglo XI debió de producirse un derrumbe» (Caballero *et al.*, 2010)<sup>241</sup>.

El período de ruina entre el derrumbe y la reconstrucción debió de ser largo ya que la reconstrucción del muro norte del ábside pisa una tumba de lajas con interior antropomorfo y orientación oeste-este, lo que implica que el espacio correspondiente a la ruina fue utilizado como cementerio y que entre este uso y la reconstrucción, debió de existir un lapso largo de tiempo que produjo la desvalorización del mismo (García de Castro, 1995)<sup>242</sup>.

Posteriormente, «al edificio se le añade una cabecera (fase IIA), para adecuar la ruina a su utilización litúrgica». «Tiempo después esta cabecera se sustituye por la actual, un ábside de planta

---

<sup>236</sup> Requejo Pagés O., Jiménez Sánchez M. y Alonso Rodríguez F.J. (2009). "La iglesia de San Miguel de Lillo (Oviedo). Obras de conservación y actuación arqueológica 2005 – 2006". Excavaciones Arqueológicas en Asturias 2003-2006. Principado de Asturias, p. 338 – 346.

<sup>237</sup> Arias, L. (1994). "Guía del arte prerrománico asturiano". Ediciones Trea, S.L.

<sup>238</sup> García, C. y Ríos, S. (1997). "Asturias monumental: 100 referencias". Ediciones Trea, S.L.

<sup>239</sup> Caballero Zoreda L., Utrero Agudo, M.ª de los Á., Arce, F. y Murillo Fragero, J. I. 2008: La iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias). Lectura de paramentos.2006, "Territorio, Sociedad y Poder, Anejo", 1. P. 24.

<sup>240</sup> García de Castro, C. 1995: Arqueología Cristiana de la Alta Edad Media en Asturias, Oviedo, p. 417-418.

<sup>241</sup> Caballero Zoreda L., Rodríguez Trobajo, E., Murillo Fragero, J. I. y Martín Talaverano, R. 2010: Las iglesias de San Juan Evangelista de Santianes de Pravia y Santo Adriano de Tuñón (Asturias). Arqueología de la Arquitectura, "Anejos de AEspA", LIV, p. 27-28.

<sup>242</sup> García de Castro, C. 1995: Arqueología Cristiana de la Alta Edad Media en Asturias, Oviedo, p. 412 - 413.



rectangular y se procede al cierre de las naves laterales (fase IIB)» (Caballero, 2000)<sup>243</sup>, (Fig. 4.36). La cronología de esta fase no está totalmente consensuada, pues análisis de carbono 14 datan una madera aparecida en la bóveda de la cabecera rectangular en la segunda mitad del siglo XII (1030-1106 cal AD, 93,6%), (Rodríguez Trobajo, 2010)<sup>244</sup>, siendo igualmente aceptada, segunda mitad del siglo XI (calibración 2σ: 770-1113 cal AD y calibración 2σ: 1027-1253 cal AD), (García de Castro, 1995). Estas fechas resultan coincidentes con la datación de un fragmento de carbón presente en un mortero analizado, durante el seguimiento petrológico de la restauración realizada en 2011 (calibración 2 σ: 1040–1240 cal AD), (Gea, 2011)<sup>245</sup>. García de Castro sugiere que «la reconstrucción debió de implicar dos fases: una de demolición de las ruinas y limpieza del terreno y otra de cierre de los diafragmas de las naves laterales norte y sur y de construcción del nuevo ábside de planta cuadrada». «La reconstrucción parcial de Lillo, formando un nuevo ábside es una muestra del modo de hacer en el Románico, arte cristiano rural desarrollado con la feudalización de la sociedad y la iglesia, poco alterador en comparación con épocas de mayor fundamentalismo» (Hevia Blanco, 1997)<sup>246</sup>.

«Después el edificio sufrió otras reformas (fase IIC) en las que se le adosan habitaciones y, en el interior, se coloca un refuerzo estructural» (Llano 1917)<sup>247</sup>, un piso adelantado a la altura del coro alto y posiblemente un cielo raso.

Hay constancia de que el edificio contaba con un pórtico, derribado en la restauración de 1850, que recorría los flancos oeste y sur, descrito por Reiter en 1771 y publicado por González García, en 1995. La puerta de entrada de ese pórtico se encontraba frente a la puerta de entrada practicada en la pared sur del ábside, actualmente cegada. «En un informe de Luxigo de 1782 se describe una actuación de demolición de restos, correspondientes a antiguas ruinas del edificio primitivo y eliminación de la tribuna y campanario de madera, sustituyéndolo por otras fábricas» (García de Castro, 1995). Esta intervención constituye una de las reformas barrocas que han afectado a los edificios altomedievales asturianos, durante los siglos XVII y XVIII y el propio Luxigo propone la demolición de lo recientemente fabricado (Hevia Blanco, 1997).

La etapa III recoge distintas restauraciones contemporáneas, iniciadas bajo la dirección de Andrés Coello en 1850 (Caballero, 2000). La iglesia, según García Cuetos, fue objeto de atención preferente de la *Comisión Provincial de Monumentos* (CPM), de la que era secretario Fermín

---

<sup>243</sup> Caballero Zoreda L.(2000). "Observaciones arqueológicas sobre producción arquitectónica y decorativa de las iglesias de S. Miguel de Lillo y Santianes de Pravia". Instituto de Historia. CCHS. CSIC, p.2

<sup>244</sup> Rodríguez Trobajo, E. 2010: 4. Datación de dos puntales de madera en la iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias), en Caballero L. y otros: Las iglesias de San Juan Evangelista de Santianes de Pravia y Santo Adriano de Tuñón (Asturias). Arqueología de la Arquitectura, "Anejos de AEspA", LIV, 187-192

<sup>245</sup> GEA (2011) "Estudios previos y seguimiento petrológico de la intervención en San Miguel de Lillo (Oviedo)" Consejería de Cultura y Turismo del Gobierno del Principado de Asturias.

<sup>246</sup> Hevia Blanco, J. (1997) "Pasado, presente y futuro de la restauración del prerrománico asturiano" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.19 -58.

<sup>247</sup> Llano Roza de Ampudia, A. de. 1917: La iglesia de San Miguel de Lillo, Oviedo, Oviedo (reedición 1982).

Canella (Canella, 1872)<sup>248</sup>. Éste recoge en sus actas los primeros trabajos efectuados sobre el edificio, cuyo estado puede observarse en los dibujos de Avrial y Flores y Pérez Villamil (Arias, 1997) (Fig. 3.34). La Comisión acometió los primeros trabajos en 1846, bajo la responsabilidad de Francisco Díaz Ordóñez: vocal de la comisión, Ramón Secades: arquitecto y el párroco (García Cuetos, 1999)<sup>249</sup>. El plan comprendía: análisis del estado de paramentos y estructura del edificio, eliminación de estructuras añadidas a la fábrica original, recuperación de elementos procedentes de la época prerrománica, sustitución del campanario por uno nuevo y nivelación del terreno alrededor del edificio. Se solicitó consejo a José Caveda sobre las obras, su idea era eliminar los elementos que distorsionaran la visión de la fábrica prerrománica y proteger los vestigios dispersos tanto en el interior, como en el entorno de la iglesia. En cuanto a reconstruir la zona arruinada se mostraba más escéptico.

Los trabajos de la primera restauración se iniciaron el 26 de julio de 1850 y finalizaron el 17 de noviembre del mismo año, auspiciados por el gobernador y después de un episodio de excavaciones furtivas en 1848. El responsable de las obras fue el arquitecto Andrés Coello –primer arquitecto provincial de la Diputación de Oviedo y se siguió el plan de Díaz Ordóñez y Secades. Se eliminaron sacristía, pórtico, campanario, cementerio y osario. «En julio de 1850 comienza el derribo de los agregados modernos, el desmonte y ligazón de paredes y construcción de nuevas piezas de imposta y estribos que finalizan en noviembre de 1850. En la primavera de 1851 se reanudan las obras que rematan con la reconstrucción de una ventana y derribándose el cielorraso» (García de Castro, 1995). Entre el 28 de marzo y el 12 de abril de 1851 se procede a rebajar el terreno y a nivelarlo en torno a la iglesia, a remozar los muros, desmontando algunas zonas, a recoger y reponer impostas y otros fragmentos en su lugar, y a rehacer los contrafuertes.

Una fotografía realizada por Clifford, en 1855, muestra la imagen de la iglesia después de la restauración (Fig. 4.38). «Habían desaparecido los añadidos pero la vegetación seguía invadiendo las cubiertas y se observa la entrada principal tapiada para evitar actos vandálicos. Sobre la portada se aprecia el vano tapiado y el superior sin celosía, mientras que sí se ven, las de la ventana de la dependencia lateral de la tribuna y la del gran ventanal del primer tramo de la nave derecha» (García Cuetos, 1999). A estos trabajos quedaba por añadir la reconstrucción del ábside primitivo, propuesta que obtuvo la negativa de las instituciones madrileñas.

«Desechada la reconstrucción del ábside todavía no se había ejecutado la pavimentación de la iglesia, tal como se recoge en un informe de Díaz Ordóñez de 1857, pero la falta de fondos impidió materializar estos trabajos, hasta que en 1857, el duque de Montpensier realiza un donativo» (García Cuetos, 1999). García de Castro añade que en 1858 se realizan labores de empedrado y pavimentado que quizás pudieran relacionarse con otras obras presupuestadas en 1861 y describe una nueva campaña en 1868, bajo la dirección de Venancio del Valle. En esta intervención se

---

<sup>248</sup> Canella, F. (1872). "Resumen de las actas y tareas de la Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos de la provincia de Oviedo desde 1844 a 1866. Imprenta de Eduardo Uría, Oviedo, 1872, pp-13-15.

<sup>249</sup> García Cuetos, M<sup>a</sup>.P. (1999). "El prerrománico asturiano. Historia de la arquitectura y restauración (1844-1976)". Editorial Sueve, Oviedo 1999.

abordan las siguientes actuaciones: ejecución de la ventana norte de la fachada oeste sobre el modelo de la sur, cierre del arco de la ventana central de esta fachada, apertura de tragaluces en los vanos norte y sur de las cámaras de acceso a las escaleras de la tribuna, extracción de dos impostas del exterior del ábside, retejado parcial y enlosado del interior de la iglesia.



Figura 4.36.- Arriba y abajo, a izquierda y derecha: fachadas oeste, este, norte y sur, respectivamente, de la iglesia de San Miguel de Lillo (imágenes tomada de Caballero *et al.*, 2006). La ruina y restauración del edificio ocurrió con cierta inmediatez a su construcción. La fase IIA corresponde a la construcción de la cabecera, producida la ruina y la fase IIB a la construcción de la cabecera actual, el ábside de planta rectangular y el cierre de las naves laterales. La fase III recoge distintas restauraciones contemporáneas.



Figura 4.37.- Arriba: Dibujo de Jenaro Pérez Villamil (izquierda) de la iglesia de San Miguel de Lillo de 1845 (imagen tomada de Arias Páramo, 1997)<sup>250</sup> y pintura de Vicente Arbiol de 1845 (Barón, 2007)<sup>251</sup>. Abajo: Dibujo de José María Avrial y Flores de 1847 (imágenes tomada de Hevia Blanco, 1997)<sup>252</sup>.

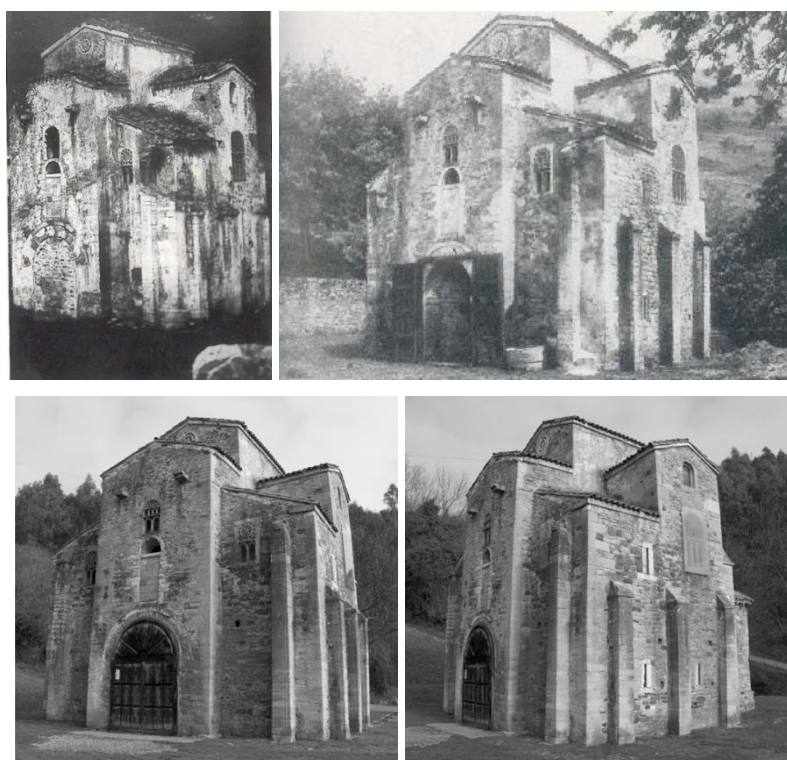


Figura 4.38.- Arriba izquierda: Fotografía de Charles Clifford, 1854 (Fondo Museo Bellas Artes de Asturias). Arriba derecha fotografía de San Miguel de Lillo a finales del siglo XIX (imágenes tomada de García Cuetos, 1999). Abajo: Fotografías de GEA asesoría geológica, 2005.

<sup>250</sup> Arias Páramo, L (1997) "Una visión gráfica del prerrománico asturiano: pasado, presente y futuro" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p. 74.

<sup>251</sup> Barón Thaidigsman J. (2007) "Catálogo de la pintura asturiana del siglo XIX". Museo de Bellas Artes de Asturias, Oviedo 2007 p. 8.

<sup>252</sup> Hevia Blanco, J. (1997) "Pasado, presente y futuro de la restauración del prerrománico asturiano" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.26.

Hasta 1873 no se realizó una nueva intervención, considerada como “reparaciones menores” por Canella Secades (Canella, 1872). En los años siguientes, la *Comisión Provincial de Monumentos* no cesó en el empeño de obtener para los edificios ramirenses, la declaración de monumentos nacionales que consigue en 1885 para Santa María del Naranco y San Miguel de Lillo. En ese momento, la *Comisión* propone a Javier Aguirre para la redacción del proyecto de San Miguel y a Nicolás García del Rivero para el de Santa María. «Este último no presenta su proyecto y Aguirre propone una reconstrucción de la parte arruinada, lo cual no se lleva a efecto por la oposición a su propuesta que además acarrea su destitución» (Hevia Blanco, 1997).

En 1916, Aurelio de Llano Roza realiza una excavación arqueológica de San Miguel de Lillo con el apoyo del párroco y de los vecinos de la zona que servirá para formular su hipótesis de reconstrucción (De Llano, 1917)<sup>253</sup> (Fig. 4.39). Las conclusiones de sus trabajos las remite a la *Comisión* y a las academias de la Historia y de San Fernando. La academia de Bellas Artes, envía a dos arquitectos: Manuel Bobes y Emilio García Martínez para reconocer los muros exhumados tras las excavaciones, los cuales afirman su antigüedad y pertenencia a la fábrica prerrománica de la iglesia. A partir de entonces, Llano establece una hipótesis sobre el aspecto original de la iglesia. San Miguel de Lillo habría tenido planta basilical, con tres naves, pórtico triple a los pies, cuatro tramos de naves y tres ábsides enrasados. En alzado planteó la ruptura de equilibrio de alturas entre cabecera y pórtico (Fig. 4.40), hipótesis ya apuntada por Aguirre. «Su memoria fue contestada por la academia de Historia por parte de Vicente Lampérez y Anibal Álvarez. Ambos desprecian el trabajo de Llano y critican el haber efectuado la excavación. Además le acusan de haber ocultado una excavación anterior, de Manuel Gómez-Moreno, que posteriormente se demostró que no se materializó» (García Cuetos, 1999).

Teniendo en cuenta que faltaban certezas que apoyaran la reconstrucción, en 1924, «la Comisión Provincial insta a la Junta Superior para que reanude las excavaciones, en las que participa Llano, el cual dimite, al comprobar que con motivo de la construcción de la carretera del Naranco de acceso a los monumentos, en 1926, se habían destruido las fábricas de cimentación que el hallara 10 años antes» (Hevia Blanco, 1997).

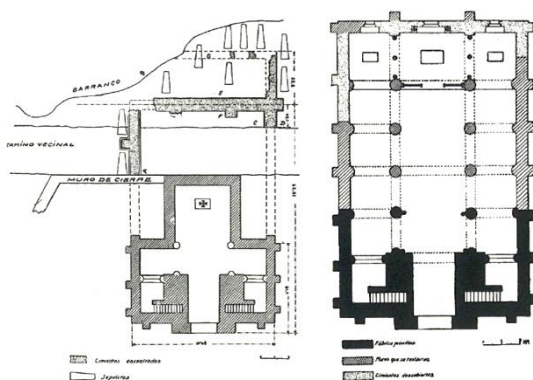


Figura 4.39.- Izquierda y derecha: Excavación efectuada en Lillo y aspecto original de la planta de la iglesia según Aurelio de Llano (imágenes tomadas de García Cuetos, 1999).

<sup>253</sup> De Llano, A. (1917). “La iglesia de san Miguel de Lillo”, (1ª ed. Imprenta Gutenberg, Oviedo, 1917), Ed. fac. Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo, 1982.

En el siglo XX, la revolución de octubre de 1934 y la guerra civil (1936–1939) interrumpe las intervenciones, a la vez que se origina daños irreparables en algunos de estos edificios. «En San Miguel de Lillo únicamente se destaca la destrucción de una de las piedras que servía de marco a una de las aspilleras exteriores, aunque el interior se vio afectado por el pasto de las llamas» (García de Castro, 1995).

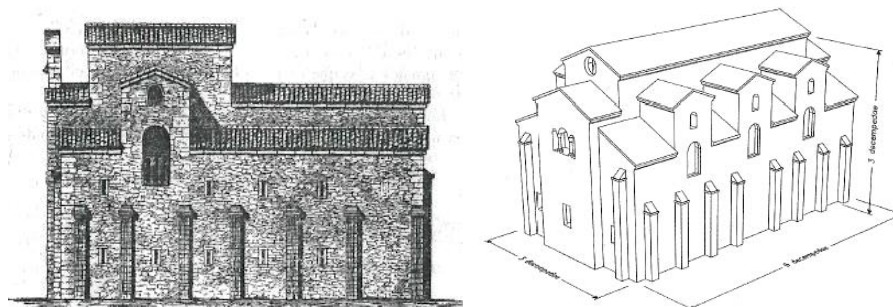


Figura 4.40.- Hipótesis planteadas por Aurelio de Llano (1917) y Lorenzo Arias (2008)<sup>254</sup>.

Las intervenciones posteriores corresponden a Luis Menéndez Pidal, a José Menéndez Pidal y a José Antonio Rivas Rico. El primero fue responsable de las realizadas en 1954, 1961 y 1965 que consistieron en la consolidación interior de las pinturas, fijando con escayola las partes agrietadas. También se abordó el repaso de rellenos del trasdós de las bóvedas, la limpieza de fachadas, el retejado y mantenimiento de las cubiertas, la restitución de piezas en los contrafuertes y la restauración de las partes dañadas de los paramentos, tanto de sillería como de mampostería (Menéndez Pidal, 1961). Los segundos son los responsables de obras menores de carpinterías y colocación de rejillas protectoras de las celosías. José Menéndez Pidal, en su proyecto de 1975, abordó el recrecido de las partes destruidas de la zona reconstruida, rebajando el nivel junto al ábside y colocó una nueva puerta de acceso.

En 1988, la Consejería de Cultura del Principado de Asturias encarga la elaboración de una propuesta de intervención en San Miguel de Lillo, a un grupo de arquitectos (Fernando Nanclares, Nieves Ruiz y Jesús Menéndez). Ellos expresan la necesidad de realizar una serie de estudios previos que posteriormente se materializan bajo el título “Programa de estudios y actuaciones previas a la intervención en San Miguel de Lillo” e incluyen: excavación arqueológica (Instituto Arqueológico Alemán), estudio geológico del substrato y estudio de piedras y revocos (Departamento de Geología), recogida y ordenación de documentación histórica, documentación fotográfica y audiovisual del estado físico del monumento y del desarrollo de los trabajos anteriores (Nanclares, 1997)<sup>255</sup>.

Bajo la dirección de Fernando Nanclares, en 1989-1990, se realizaron excavaciones dirigidas por Dr. Theodor Hauschild y en 1991 se abordó la renovación de las cubiertas del templo, precedida de

<sup>254</sup> Arias Páramo, L. (2008). “Geometría y proporción en la Arquitectura Prerrománica Asturiana” Anejos de AEspA, XLIX, Madrid (Fig. 132).

<sup>255</sup> Nanclares, F. (1997). “San Miguel de Liño. Estudios Previos” en La intervención en la arquitectura Asturiana Universidad de Oviedo. Vicerrectorado de extensión universitaria. Servicio de publicaciones, 1997.

su excavación arqueológica, realizada por Cesar García de Castro. También se procede a la retirada de tierra a lo largo de la fachada norte. Del encamisado de hormigón colocado sobre la cubierta de la nave central, descubierto en esta campaña arqueológica, no se tenía documentación.

En 2005–2006 se realizaron unas obras de conservación del templo, promovidas por el Ministerio de Cultura y dirigidas por Fernando Nanclares. Las obras interiores consistieron en la reposición del pavimento en cinco sectores de la iglesia (sector norte y crucero, sector del altar, dependencia sur y tribuna y las exteriores), en la realización de una red de drenaje en el lateral norte, el retejado completo de la cubierta de la nave central y el retejado parcial del resto de las cubiertas. La intervención, adjudicada a la empresa Técnicas de Arquitectura Monumental, contó con el seguimiento arqueológico<sup>256</sup> de Gabinete Arqueológico y el seguimiento geológico-geotécnico de GEA asesoría geológica (Fig. 4.41). Esta última, realizó, además, un estudio higró-termométrico<sup>257</sup>, promovido por la Consejería de Cultura del Principado de Asturias que finaliza en 2007 (Fig. 4.42).



Figura 4.41.- Imágenes de algunas de las intervenciones realizadas entre los años 2005 y 2006 (labores de drenaje en el lateral norte y reposición del solado interior en la nave norte).



Figura 4.42.- Colocación de sondas en San Miguel de Lillo para la realización del estudio higró-termométrico, (GEA asesoría geológica, 2006).

En 2009 se aborda una pequeña intervención promovida por la Consejería de Cultura del Principado de Asturias, adjudicada a la empresa Artemón que consistió en la eliminación de la colonización biológica de la fachada norte, con el seguimiento petrológico de GEA<sup>258</sup> (Fig. 4.43). Además, se actuó perfilando superficialmente el terreno para corregir las pendientes y evitar así zonas de encharcamiento, revisando el drenaje del lado norte y sureste y respetando los restos del antiguo

<sup>256</sup> Requejo Pagés O., Jiménez Sánchez M. y Alonso Rodríguez F.J. (2009). “La iglesia de San Miguel de lillo (Oviedo). Obras de conservación y actuación arqueológica 2005 – 2006”. Excavaciones Arqueológicas en Asturias 2003-2006. Principado de Asturias, p. 338 – 346.

<sup>257</sup> GEA asesoría geológica (2007) “Estudio de humedades en la Iglesia de San Miguel de Lillo” Consejería de Cultura y Turismo del Principado de Asturias, 106 p.

<sup>258</sup> GEA (2009) “Seguimiento petrológico de una intervención realizada en la fachada norte y cubiertas de San Miguel de Lillo”. Consejería de Cultura y Turismo del Principado de Asturias, 44 p.

empedrado. Durante esta intervención, también se repusieron tejas en mal estado y se colocaron otras, desplazadas. Además, se revisaron los encuentros entre los faldones de las cubiertas y las fábricas de la iglesia, para evitar filtraciones indeseadas de agua.

La última intervención, también dirigida por Fernando Nanclares y adjudicada a la empresa TRYCSA tuvo lugar en 2011 y consistió en la reposición de cubiertas con teja artesanal de tipo romano, la adecuación y pavimentación del entorno inmediato al edificio y la limpieza de las fachadas (Fig. 4.44). Durante la intervención de 2011, una de las labores incluidas en el seguimiento petrológico de la intervención fue la recogida y estudio de morteros, localizados en el exterior de la iglesia, incluida la datación radiocarbónica de algunas de las muestras, a partir de los fragmentos de carbón, identificados en las mismas.



Figura 4.43.- Distribución sobre ortofoto de las diferentes colonizaciones biológicas presentes en el alzado de la fachada norte (febrero, 2009) y detalles de su eliminación.



Figura 4.44.- Arriba, de izquierda a derecha; fachada norte, después de la eliminación de las colonizaciones biológicas en 2009 y fachadas este durante las obras de restauración de 2011. Abajo: fachada sur en 2011 y estado actual de la iglesia de San Miguel de Lillo (2014).



En noviembre de 2013, el restaurador Jesús Puras acomete una intervención de urgencia en una de las representaciones antropomorfas de la nave sur (escena del ángel con instrumento de cuerda)<sup>259</sup> (Fig. 4.45). Se aprovecha esta intervención para proceder a un análisis puntual de la pintura a intervenir, quedando pendiente un estudio pormenorizado de los recubrimientos interiores de la iglesia, así como de la pintura mural que se conserva en los muros.



Figura 4.45.- Fotografías de Jesús Díaz (El Comercio 2012).

#### **4.5.2.- TOMA DE MUESTRAS**

En 2014, a petición del Servicio de Patrimonio Cultural de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno del Principado de Asturias, GEA asesoría geológica procede a la realización de los “*Estudios previos de caracterización de la pintura mural de la iglesia de San Miguel de Lillo en Oviedo*”. Estos estudios petrológicos han tenido como finalidad servir de base analítica y apoyo técnico a la redacción del proyecto de restauración de la pintura mural de San Miguel de Lillo, encargado a D<sup>a</sup> Monserrat Álvarez Fernández. Los estudios han permitido caracterizar la pintura mural que recubre los muros prerrománicos de la iglesia y los enlucidos que dan soporte a las mismas. A partir de estos análisis será posible establecer correlaciones y diferencias entre la técnica de ejecución pictórica altomedieval y las posteriores aplicaciones pictóricas, ligados a sucesivas reformas del edificio<sup>260</sup> que actualmente coexisten con el programa iconográfico original. También podrá determinarse la extensión de las capas pictóricas de primera factura, así como su compatibilidad con repintes o aplicaciones posteriores.

Identificados y caracterizados petrofísicamente los materiales y sus recubrimientos pictóricos y conocidos los mecanismos y las causas de deterioro será posible definir propuestas de actuación específicas de restauración y/o conservación preventiva para las patologías no estructurales, buscando las soluciones más adecuadas para afrontar las futuras agresiones medioambientales.

La localización de los puntos de muestreo se presenta, a continuación en las figuras 4.46 a 4.52.

---

<sup>259</sup> García de Castro C. (1995). “Arqueología cristiana de la alta edad media en Asturias” CINCUENTENARIO DEL REAL INSTITUTO DE ESTUDIOS ASTURIANOS 1945 – 1995. Oviedo, p. 412.

<sup>260</sup> L. Caballero Zoreda, M.<sup>a</sup> Á. Utrero Agudo, F. Arce Sainz y J. I. Murillo Fragero - La iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias). Lectura de paramentos 2006 - Ediciones TREA S.L. y EDIUNO - 2008 - 84pp

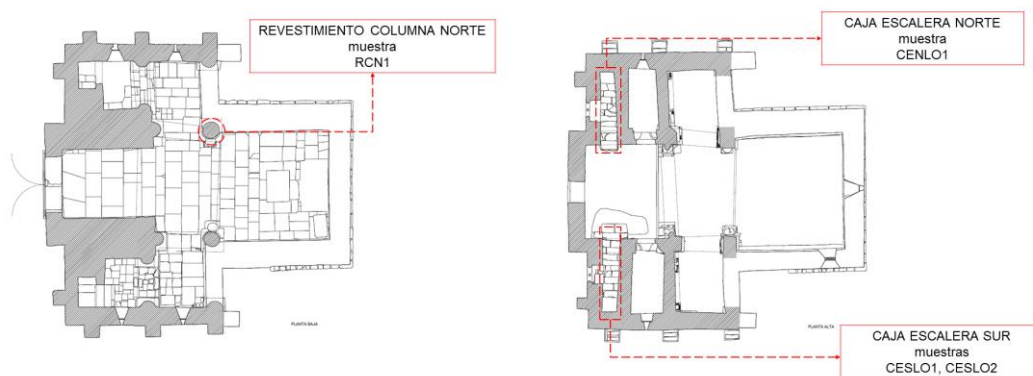


Figura 4.46.- Localización en plantas de las muestras recogidas en las cajas de escaleras y columna norte.

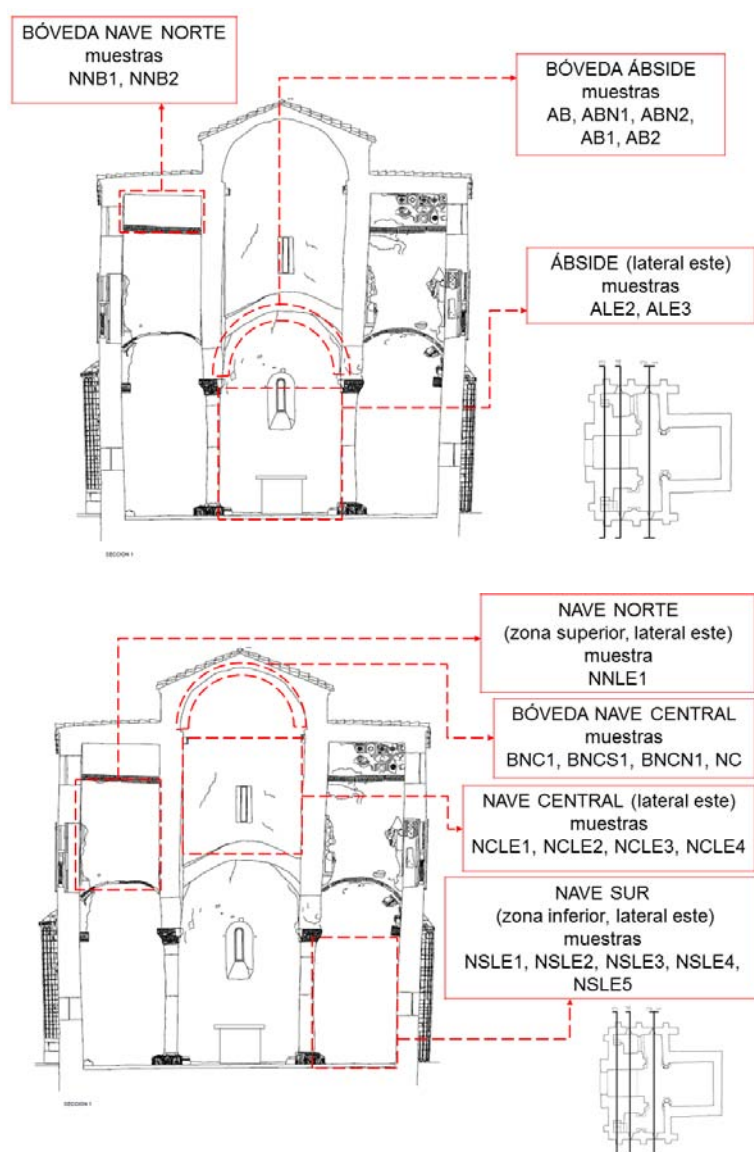


Figura 4.47.- Localización en alzados de las muestras recogidas en el ábside, nave norte, nave sur, nave central y altar.

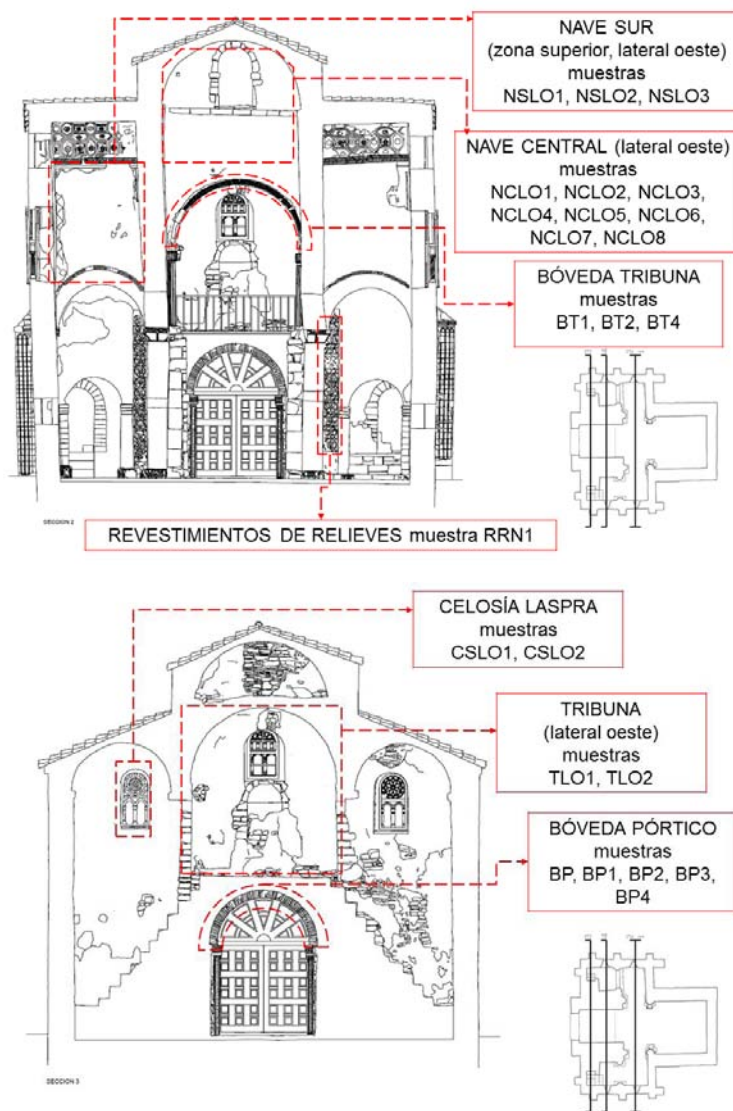


Figura 4.48.- Localización en alzados de las muestras recogidas en el ábside, nave sur, nave central, tribuna, celosía oeste de Laspra y pórtico.

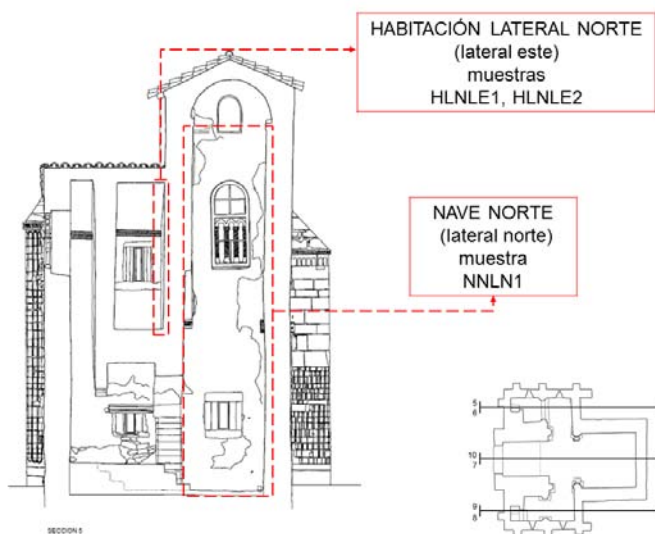


Figura 4.49.- Localización en alzados de las muestras recogidas en la habitación lateral norte y nave norte.

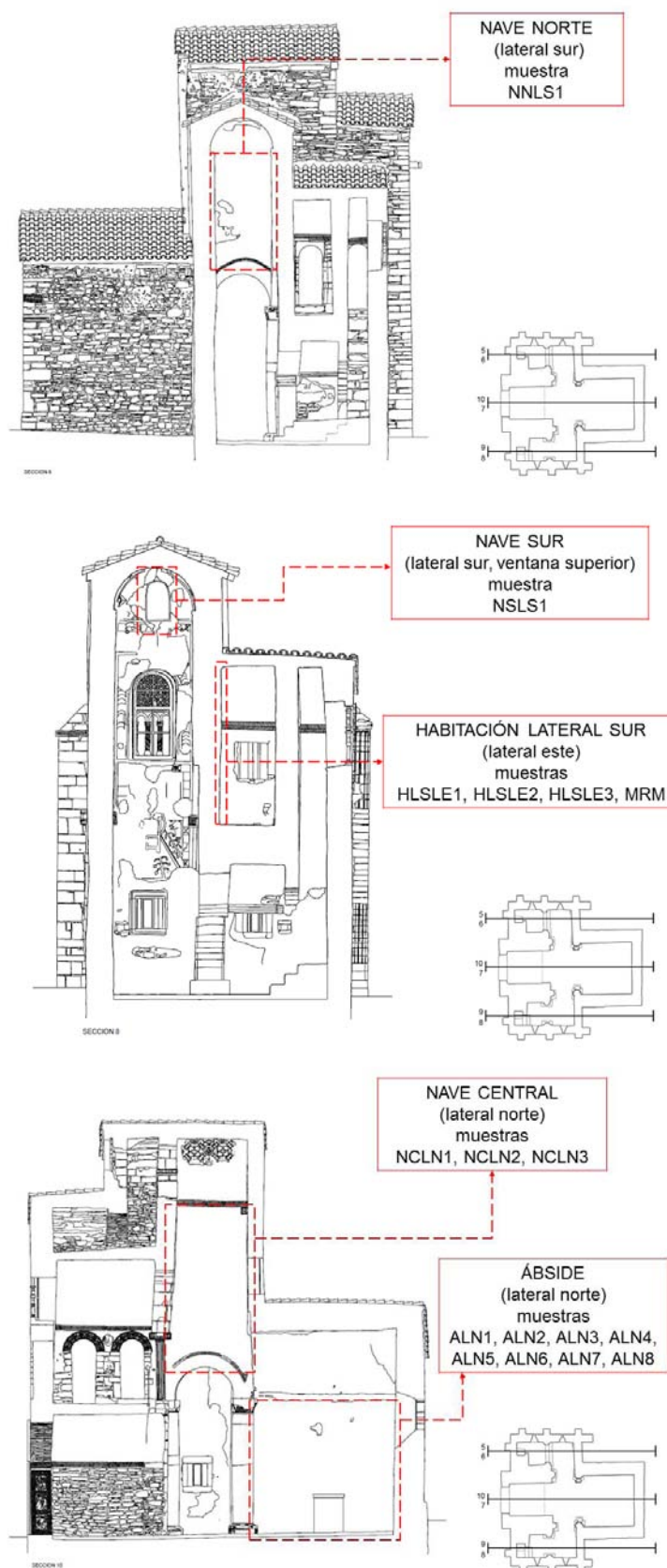


Figura 4.50.- Localización en alzados de las muestras recogidas en nave norte, nave sur, ventana sur, habitación lateral sur, nave central y ábside.

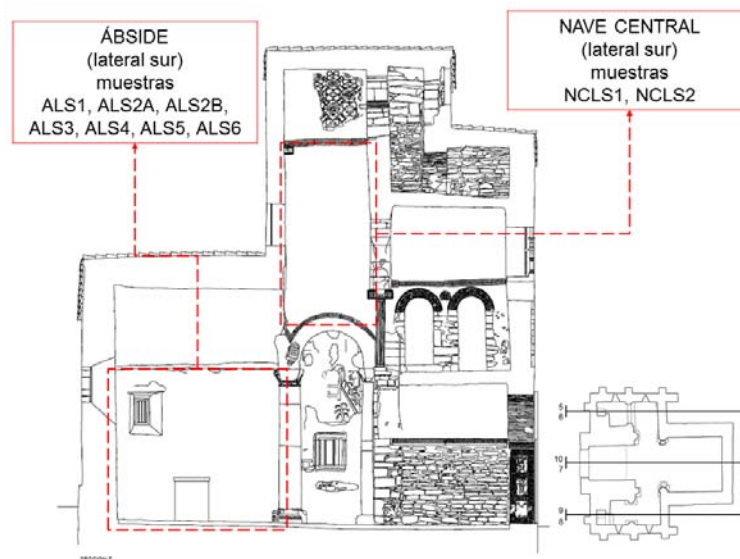


Figura 4.51.- Localización en alzados de las muestras recogidas en el ábside y nave central.

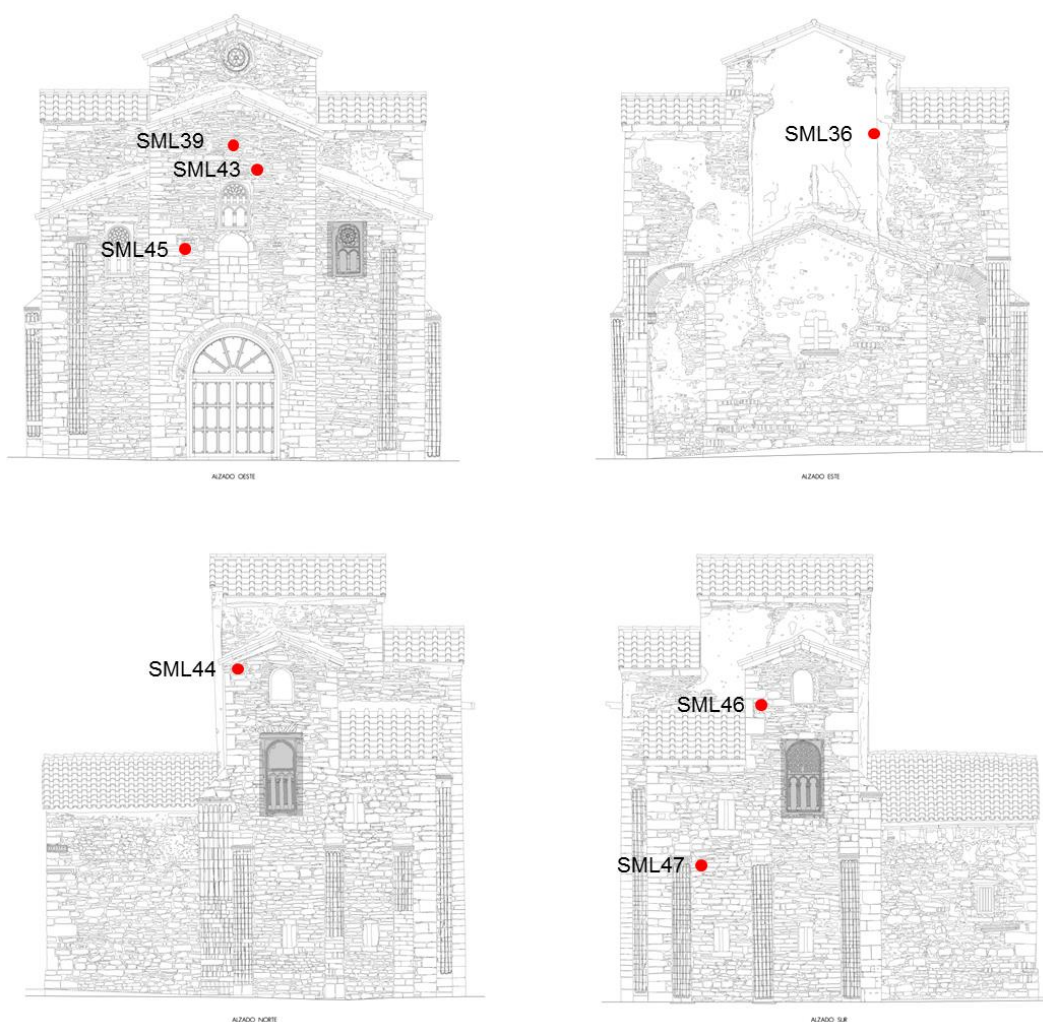


Figura 4.52.- Localización sobre alzados de las muestras de mortero, recogidas en las fachadas.

#### 4.5.3.- ANÁLISIS REALIZADOS

En las tablas 4.8A a 4.8C se presentan las muestras de mortero analizadas, así como el tipo, localización y técnicas empleadas en su estudio. En las tablas 4.9A y 4.9B se presentan las muestras de pintura, así como su localización y las técnicas de análisis y en la tabla 4.10 se incluyen las muestras de mortero datadas con <sup>14</sup>C, mediante AMS y el tipo de muestra empleado para su datación absoluta.

La mayoría de las muestras procedentes del interior del edificio fueron recogidas por Montserrat Álvarez en diciembre de 2014. El principal objetivo del estudio fue servir de base analítica y apoyo técnico a la redacción del proyecto de restauración de la pintura mural. A partir de estos análisis será posible establecer correlaciones y diferencias entre la técnica pictóricas altomedieval y las posteriores aplicaciones. La terminología referida al tipo de muestras e, así como su nomenclatura fue facilitada por la restauradora y se ha mantenido, para evitar el empleo de términos distintos entre los diferentes miembros del equipo interdisciplinar, implicados en la fase de estudios previos.

Tabla 4.8A.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis Mineral/químico (DRX/FRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
CESLO2	Revoco. Caja de escalera sur, lateral oeste	SI			
BT1	Revoco. Bóveda tribuna	-	-		
BT2					
BT4					
PTLO1					
PTLO2	Revoco. Paramento oeste tribuna				
HLSLE1	Revoco. Habitación lateral sur, muro este				
HLSEL2	Mortero de juntas. Habitación sur, lateral este	SI		SI	SI
HLSLE3	Revoco. Habitación lateral sur, muro este		SI		
MRM	Mortero de juntas. Habitación sur, lateral este				
HLNLE1	Revoco. Habitación lateral norte, muro este		-		
HLNLE2					
CENLO1	Revoco. Caja de escalera norte, lateral oeste		SI		
BP1	Revoco. Bóveda pórtico	-	-		
BP2					
BP3					
BP4					
BP		SI			

Tabla 4.8B.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis Mineralógico (DRX/FRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
BNCS1	Revoco. Bóveda nave central, lateral sur (polvo)	-			
NC	Revoco. Bóveda nave central				
NC1	Revoco. Nave central				
NCLO1	Revoco. Nave central, lateral oeste	-			
NCLO2					
NCLO3					
NCLO4					
NCLO5					
NCLO6					
NCLE1A	Revoco. Nave central, lateral este	-		SI	SI
NCLE1B					
NCLE2					
NCLE3					
NCLE4					
NCLS1	Revoco. Nave central, lateral sur	-			
NCLS2					
NCLN1	Revoco. Nave central, lateral norte	-			
NCLN2					
NCLN3					
NSLO1	Revoco. Nave sur, lateral oeste	-			
NSLO2					
NSLO3					
NSLE1	Revoco. Nave sur, lateral este	-			
NSLE2					
NSLE3					
NSLE4					
NSLE5					

Tabla 4.8C.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Ataque químico (R.I.)*	Análisis Mineralógico (DRX/FRX)*	Análisis petrográfico (LUPA/POL)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
NSLE5	Revoco. Nave sur, lateral este	-	-	-	-
NSLS1	Revoco. Nave sur, lateral sur				
NNB1	Revoco. Nave norte, bóveda				
NNLN1	Revoco. Nave norte, lateral norte				
NNLS1	Revoco. Nave norte, lateral sur				
NNLE1	Revoco. Nave norte, lateral este				
AB	Revoco. Bóveda ábside				
ABN1	Revoco. Bóveda ábside, lateral norte	-			
AB1	Revoco. Cumbreira bóveda ábside	SI			SI
AB2					
ALN2	Revoco. Ábside, lateral norte				SI
ALN8			-		
ALS1	Revoco. Ábside, lateral sur	-			
ALS2A					
ALS2B					
ALS4		SI			
ALS5		SI	SI		
ALS6		-	-		
ALE2		Revoco. Ábside, lateral este			
SML36	Mortero de relleno de fábrica, ábside, fachada este	SI	SI		-
SML39	Mortero de juntas y revoco, fachada norte				
SML43	Mortero de juntas, fachada oeste				
SML45					
SML46	Mortero de juntas, fachada sur				
SML47					

\*RI: residuo insoluble, obtenido por ataque químico con ácido clorhídrico, diluido al 15%; DRX: difracción de rayos X; FRX: fluorescencia de rayos X; LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X.



Tabla 4.9A.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.

MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS			
		Referencia	Localización	Análisis petrográfico (LUPA)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
CENLO1	Cuerpo Occidental, caja de escalera norte	SI	SI	-	
CESLO1	Cuerpo Occidental, caja de escalera sur				
CESLO2					
CSLO1	Cuerpo Occidental, caja de escalera sur - celosía				
CSLO2					
HLNLE1	Cuerpo occidental, habitación norte, lateral este				SI
HLSLE1	Cuerpo occidental, habitación sur, lateral este				-
HLSLE3					SI
BP	Cuerpo occidental, bóveda pórtico				
BP1					
BP2					
BP3					
BP4					
BT1	Cuerpo occidental, bóveda tribuna				
BT2					
BT4					
NSLE1	Nave sur, lateral este				
NSLE2					
NSLE4					
NSLE5					
NSLO1	Nave sur, lateral oeste				
NSLO2					
NSLO3					
NSLS1	Nave sur, lateral sur - ventana				
NNB1	Nave norte, bóveda				
NNLN1	Nave norte, lateral norte				
NNLS1	Nave norte, lateral sur				
RCN1	Nave norte, columna				
RRN1	Nave norte, relieve				
BNC1	Nave central, bóveda				
BNCS1	Nave central, bóveda, lateral sur				
NC1	Nave central, bóveda				
NCLN1	Nave central, lateral norte				
NCLN2					
NCLN3					
NCLS1	Nave central, lateral sur				
NCLS2					
NCLE1A	Nave central, lateral este, interior				
NCLE1B	Nave central, lateral este, exterior				
NCLE2	Nave central, lateral este				
NCLE3					
NCLE4					
NCLO1	Nave central, lateral oeste				

LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X; FTIR/GC-MS: transformada de Fourier/ cromatografía de gases-espectrometría de masas

Tabla 4.9B.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.

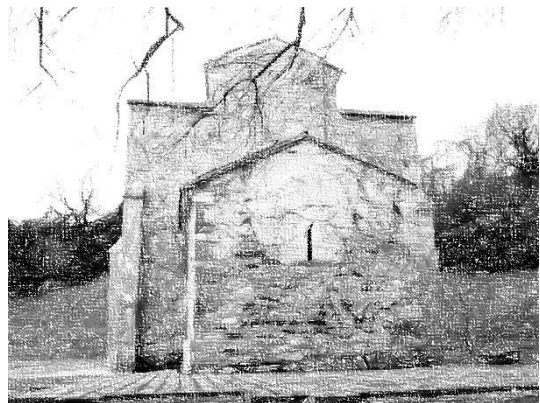
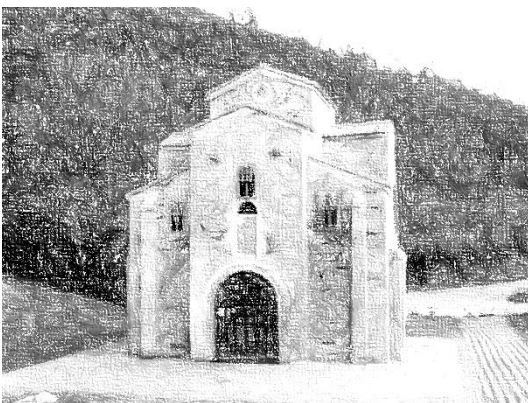
MUESTRA	OBSERVACIONES	TIPOS DE ANÁLISIS	
		Análisis petrográfico (LUPA)*	Análisis morfoquímico (SEM-EDX)*
Referencia	Localización		
NCLO2	Nave central, lateral oeste	SI	SI
NCLO3			
NCLO4			
NCLO6			
NCLO7			
NCLO8			
AB1	Ábside, cumbreira bóveda		
AB2			
ABN1	Ábside, bóveda norte		
ABN2			
ALN1	Ábside, lateral norte		
ALN2			
ALN3			
ALN4			
ALN5			
ALN6			
ALN7			
ALN8			
ALS1	Ábside, lateral sur		
ALS2A	Ábside, lateral sur, interior		
ALS2B	Ábside, lateral sur, exterior		
ALS3	Ábside, lateral sur		
ALS4			
ALS5			
ALS6			
ALE2	Ábside, lateral este		
ALE3			
SML40	Interior del Arco de acceso a la tribuna		
SML41	Exterior fachada este, sobre mampuesto		
SML42	Exterior ventana superior, fachada sur		

LUPA: Microscopía estereoscópica; POL: microscopía óptica de polarización; SEM-EDX: microscopía electrónica con microanálisis por energía dispersiva de rayos X

Tabla 4.10.- San Miguel de Lillo: muestras de mortero datadas con carbono 14, mediante AMS.

REFERENCIA MUESTRA	TIPO DE MORTERO	Localización	TIPO DE MUESTRA
SML39	Mortero de juntas y revoco	Fachada norte	Carbón vegetal
SML43	Mortero de juntas	Fachada oeste	
SML45		Fachada sur	
SML46			
SML47			
MRM1A, 1ª	Mortero de fábrica	Habitación lateral sur, lateral este	1ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRM1A, 2ª			2ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRM1B, 1ª			1ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRM1B, 2ª			2ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRM4A, 1ª			1ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRM4A, 2ª			2ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRMN, 1ª			1ª fracción de CO <sub>2</sub>
MRMN, 2ª			2ª fracción de CO <sub>2</sub>

## RESULTADOS





## **5.- RESULTADOS**

A continuación, dentro de cada uno de los edificios estudiados se presentan los resultados de datación relativa y absoluta, estos últimos únicamente en Valdediós, Lena y Lillo. Los primeros se obtienen a partir de la caracterización petrofísica de los morteros, integrada con los del análisis estratigráfico de los morteros, con o sin pintura mural, proporcionados a su vez por la identificación de pigmentos y aglutinantes y por las observaciones «in situ» de las muestras estudiadas. Los segundos por datación radiocarbónica, mediante espectrometría de masas con aceleradores (AMS).

La metodología de trabajo y los procedimientos seguidos para la datación relativa o absoluta ya han sido ampliamente desarrollados en el capítulo tres de esta tesis, por lo que a continuación se hace una breve reseña de los mismos.

Aunque la pintura mural y el mortero es un todo único cuando la técnica de ejecución es al fresco, se ha optado por describir primero los soportes o sustratos (morteros) que sustentan la pintura para posteriormente analizar: la pintura mural, las capas pictóricas superpuestas, los recubrimientos protectores o las pátinas de neoformación que en ocasiones se detectan sobre las superficies analizadas. Cabe señalar que en lo que respecta a las capas de pintura, en la Cámara Santa y en Lillo también se han analizado muestras de pintura sobre sustrato pétreo.

El análisis de las muestras de mortero ha sido realizado con técnicas convencionales de microscopía estereoscópica (LUPA), óptica (POL) y electrónica (MEB), a partir de muestras de superficie, de secciones transversales -embutidas en resina- o del residuo insoluble, procedente del ataque químico de los morteros con ácido clorhídrico diluido al 15%. Los análisis mineralógicos y químicos elementales se han realizado mediante difracción (DRX) y/o fluorescencia de rayos X (FRX), a partir de muestras en polvo, y mediante microscopía electrónica de barrido, con microanálisis asociado de energía dispersiva de rayos X (SEM-EDX), a partir de muestras superficiales o cortes estratigráficos transversales.

En las muestras de pintura, al tratarse en la mayoría de los casos de una superposición de capas, las muestras previamente observadas a la lupa han sido posteriormente embutidas en resina para la obtención de secciones estratigráficas que igualmente pueden ser estudiadas con técnicas microscópicas convencionales (LUPA, POL y SEM). Estas mismas secciones resultan adecuadas para su posterior análisis químico al SEM-EDX. Mediante este tipo de estudios se obtiene información sobre la textura, morfología, espesor, disposición, composición mineral y química elemental de la secuencia estratigráfica constituyente de cada capa pictórica, base de preparación y mortero. En algunos casos, donde se ha estimado la presencia de materiales orgánicos se ha procedido también a su identificación mediante espectroscopía infrarroja por transformada de

Fourier (FTIR por transmisión y FTIR-ATR) y cromatografía de gases–espectrometría de masas (GC-MS).

El tipo de ensayos y el número de muestras ensayadas ha variado de unos edificios a otros en función de las peculiaridades del mismo y de los materiales objeto de análisis en cada uno de ellos. La selección de los tipos de ensayos y el número de muestras a estudiar, también ha estado condicionado por: la disponibilidad, naturaleza, homogeneidad-heterogeneidad y complejidad, de cada material. Cabe destacar que la mayoría de los edificios estudiados se han visto afectados por numerosas intervenciones, cada una de las cuales ha podido modificar la propia naturaleza de morteros y pinturas, con la incorporación de nuevas pinturas, bases de preparación, encalados o enyesados de blanqueo, pátinas, veladuras, recubrimientos protectores y consolidantes, sin olvidar la posible aparición de pátinas de neoformación.

En lo que respecta a las dataciones absolutas de  $^{14}\text{C}$ , se han realizado mediante espectrometría de masas con aceleradores (AMS), previo tratamiento de las muestras. El pretratamiento de los materiales ha resultado indispensable para la eliminación o reducción de los componentes secundarios de carbono (Brock, *et al.*, 2010)<sup>261</sup>. Estos tratamientos han variado de unas muestras a otros en función del tipo de material a datar (carbones vegetales o carbonatos) y en cada uno de los casos se especifica el procedimiento seguido.

Los resultados de dataciones relativas y absolutas se presentan, a continuación, incluidos en cada uno de las construcciones estudiadas. En la Cámara Santa y en Foncalada no se dispone de datos radiocarbónicos, mientras que en San Salvador de Valdediós, Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo los resultados se estructuran en dos subapartados: uno correspondiente a la datación relativa y otro a la absoluta.

---

<sup>261</sup> Brock F., Higham T., Ditchfield P. y Ramsey C.B. (2010). "Current pretreatment methods for ams radiocarbon dating at the Oxford radiocarbon accelerator unit (ORAU)" *RADIOCARBON*, Vol 52, Nr 1, 2010, p 103–112.

## 5.1.- CÁMARA SANTA

En la Cámara Santa se han analizado 76 muestras, de las cuales 29 corresponden a morteros y 40 a capas pictóricas. Las muestras han sido recogidas en dos momentos diferentes: durante la fase de estudios previos (2012) y posteriormente, durante el seguimiento petrológico de la restauración iniciada en 2013 y finalizada en 2014.

Los morteros se describen agrupados según el tipo de mortero a que correspondan, las pinturas en función de que hayan sido aplicadas sobre soporte pétreo o mortero. Las que aparecen sobre piedra (grupos escultóricos o elementos ornamentales se describen en relación a sus pigmentos, mientras que las aplicadas sobre morteros se describen íntegramente, muestra a muestra ya que en ocasiones los pigmentos se superponen unos a otros por la presencia de repintes. A continuación presenta el esquema seguido.

### MORTEROS:

1. Mortero de fábrica
2. Revoco interior
3. Revoco exterior
4. Morteros de reposición
  - *Tipo I*
  - *Tipo II*
  - *Tipo III*
5. Estucos
6. Hormigón

### PINTURA:

1. Sobre soporte pétreo de dolomía de Laspra\*

\*Este material pétreo es uno de los materiales empleados en la catedral de San Salvador de Oviedo, también de frecuente utilización en el patrimonio arquitectónico ovetense. (Esbert y Marcos, 1983<sup>262</sup>, Esbert *et al.*, 2004<sup>263</sup>) y en el caso de la Cámara Santa corresponde a la piedra incorporada durante la reforma románica de esta capilla.

#### Pigmentos

- *Albayalde o blanco de plomo*
  - *Albayalde ocre*
  - *Albayalde rojo*
  - *Albayalde sobre estuco*
  - *Albayalde gris*
  - *Albayalde blanco*

---

<sup>262</sup> Esbert R.M<sup>a</sup> y Marcos R.M<sup>a</sup>. (1983). "Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración". Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias", Oviedo, 1983, 147 p.

<sup>263</sup> Esbert R.M<sup>a</sup>., Rojo A., Alonso F.J., Mateos F., Ordaz J. y Valdeón L. (2004). "La conservación de la piedra del claustro" en la restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo. Ediciones Nobel, Oviedo 2004, 302 p.

- *Rojo Hematites*
- *Negro carbón*
- *Blanco de hueso*
- *Minio*
- *Malaquita o verde montaña*
- *Resinato de cobre*
- *Azul de Prusia*
- *Oro*

## 2. Sobre mortero

- *Muestra mcCS3*
- *Muestra mcCS4*
- *Muestra mcCS6*
- *Muestra mcCS7*
- *Muestra mcCS9*
- *Muestras mcCS20 y mcCS21*
- *Muestra mcCS23*
- *Muestra mcCS24*

Al final de este subcapítulo se resumen los resultados obtenidos para las muestras de morteros y pinturas, así como ambos combinados.

### **5.1.1.- MORTEROS**

Los estudios de caracterización de los morteros han permitido identificar seis tipologías diferentes que se presentan a continuación: uno correspondiente al mortero de fábrica que traba los mampuestos de los muros (mortero de fábrica), otro al revoco que cubre la práctica totalidad de los paramentos interiores (revoco interior), otro revoco que aparece a modo de parches dispuesto sobre el revoco anterior (revoco exterior) y otros de reposición entre los que se incluyen morteros de reintegración de paramentos, morteros de restauración de elementos escultóricos y pinturas murales y simples capas de cal, aplicadas en ocasiones en varias manos.

#### ***Mortero de fábrica***

Corresponde al mortero de juntas que traba y los mampuestos de los muros. Referenciado como muestra mCS12, ha sido recogido en la sala de los apóstoles, a escasos centímetros del solado, en una zona donde los revocos suprayacentes se han perdido (Fig. 5.1).





Figura 5.1.- General y detalle del punto de extracción de la muestra mCS12.

Macroscópicamente, corresponde a un mortero compacto, coherente, de color beige-blanquecino y bastante heterogéneo, en lo que a tamaño de árido se refiere. En superficie presenta una tonalidad ocre-amarillenta, sobre la que detectan restos blanquecinos del revoco que anteriormente recubría su superficie (Fig. 5.2).

Mediante ataque químico, por disolución con ácido clorhídrico diluido al 15%, se ha determinado una relación en peso, árido-matriz de 1:1. Este árido está constituido por una fracción gruesa o arenosa (50%) y una fracción fina, limo-arcillosa (3%). La relación entre la fracción gruesa y fina es de 16:1. Del análisis microscópico del residuo insoluble se deduce que el árido está constituido por: granos de cuarzo de color gris translúcido, amarillos y rosados (90-95%), feldespatos de color blanco y asalmonado (5-10%), nódulos de cal (<1%), fragmento de roca carbonatada (<1%), fragmentos de madera y de carbón, ambos en proporciones menores al 1% (Figs. 5.2. a 5.3.). El árido presenta una morfología subangulosa-subredondeada (0,7), con esfericidad moderada (0,7-0,9) (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955) y una amplia distribución de tamaños que varía entre 180  $\mu\text{m}$  y 3,7 mm, estando el tamaño más frecuente comprendido entre 1,2 y 1,6 mm (arena muy gruesa).

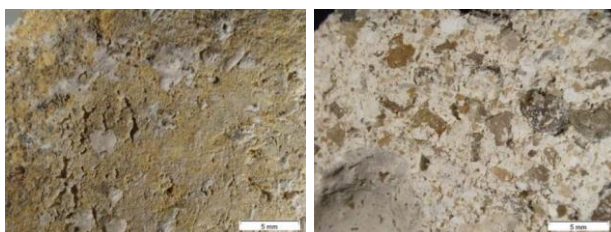


Figura 5.2.- Aspecto macroscópico, a la lupa binocular del mortero de juntas (muestra mCS12), en superficie externa e interna (arriba) y en sección transversal (abajo). En la imagen inferior se aprecia la textura del mortero constituida por una serie de áridos de naturaleza silícea y carbonatada, inmersos en una matriz, aparentemente carbonatada.



Las micrografías de los cortes estratigráficos, estudiados a la lupa y al SEM-EDX, permiten estimar su espesor, próximo a 1,5 cm, así como observar la textura, grado de empaquetamiento de los granos minerales y la composición química elemental, tanto de la matriz carbonata, como de los áridos (Fig. 5.4).



Figura 5.3.- Detalles de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble del mortero de fábrica (muestra mCS12). En las micrografías se identifican granos de cuarzo, feldespato blanco y microclina, así como fragmentos de madera, de carbón vegetal y algún nódulo de cal. Estos últimos aparecen inmersos en la fracción arcillosa del residuo insoluble.

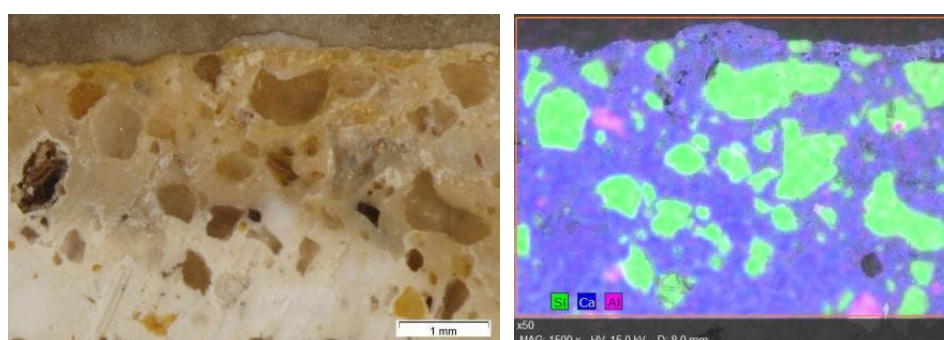


Figura 5.4.- Micrografías a la lupa (izqda.) y al SEM (dcha.) de una sección transversal del mortero mCS12. Sobre la micrografía, tomada al SEM, se presenta el mapeo de los elementos químicos mayoritarios: silicio (Si), calcio (Ca) y aluminio (Al).

## Revoco interior

Corresponde al mortero que revoca los muros, situado inmediatamente por encima, del anteriormente descrito (Fig. 5.5). Podría tratarse del mortero denominado estuco primitivo por Fernández Buelta y Hevia<sup>264</sup> en 1984. Esta tipología de mortero se identifica en 7 muestras: mcCS2inf., mcCS4, mcCS5, mcCS8inf., mCS11 y EPa32.

Macroscópicamente se trata un revoco constituido por un enfoscado inferior de grano grueso de 8,4 mm de espesor y un enlucido superior, de grano fino de 2,8 mm de espesor. En superficie expuesta algunas muestras presentan pátinas de ennegrecimiento o restos de capas pictóricas (Fig. 5.6).



Figura 5.5.- Localización del punto de extracción de la muestra EPa32, en la sala de los apóstoles de la cámara Santa.

Mediante ataque químico, por disolución con ácido clorhídrico diluido al 15%, se ha determinado que el revoco presenta una relación en peso árido–matriz de 1:1. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (46%) y una fracción limo-arcillosa (1%), la relación entre ambas es de 49:1 (Fig. 5.7). Estas dosificaciones hay que tomarlas con reservas ya que corresponden a las proporciones medias del mortero, constituido por un enfoscado y un enlucido. Microscópicamente, en el residuo insoluble se identifican: granos de cuarzo de color gris translúcido, amarillo y rosado (60%), fragmentos de roca de naturaleza cuarcítica (40%), además de granos de moscovita (<1%), microclina (<1%), turmalina (<1%), carbón (<1%) y nódulos de cal (<1%). La morfología de los granos de cuarzo varía de subredondeada a subangulosa (0,9–0,7), mientras que la de los fragmentos de roca es mayoritariamente redondeada-subredondeada (0,9), con una esfericidad elevada (0,9) (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955). La granulometría del residuo insoluble sigue una amplia distribución, con dos poblaciones claramente distinguibles: una de tamaño arena fina-media (200  $\mu\text{m}$ –400  $\mu\text{m}$ ) y otra de tamaño arena muy gruesa-canto (1,8-4,3 mm). Ambas granulometrías responden a las capas de enlucido y enfoscado, respectivamente. La morfología de este mortero bicapa se observa y analiza con detalle al SEM-EDX (Fig. 5.8). La morfología angulosa de la población de menor tamaño de grano, sugiere una procedencia del árido diferente a la de la fracción más gruesa que parece tener su origen en arenas lavadas de río. El elevado redondeamiento de los granos minerales implica procesos de meteorización, erosión y transporte.

<sup>264</sup> Fernández Buelta J. y Hevia V. (1984). "Ruinas del Oviedo primitivo. Historia y Secuencias de unas excavaciones". Principado de Asturias. Instituto de Estudios Asturianos (DEL C.S.I.) p. 91-94.

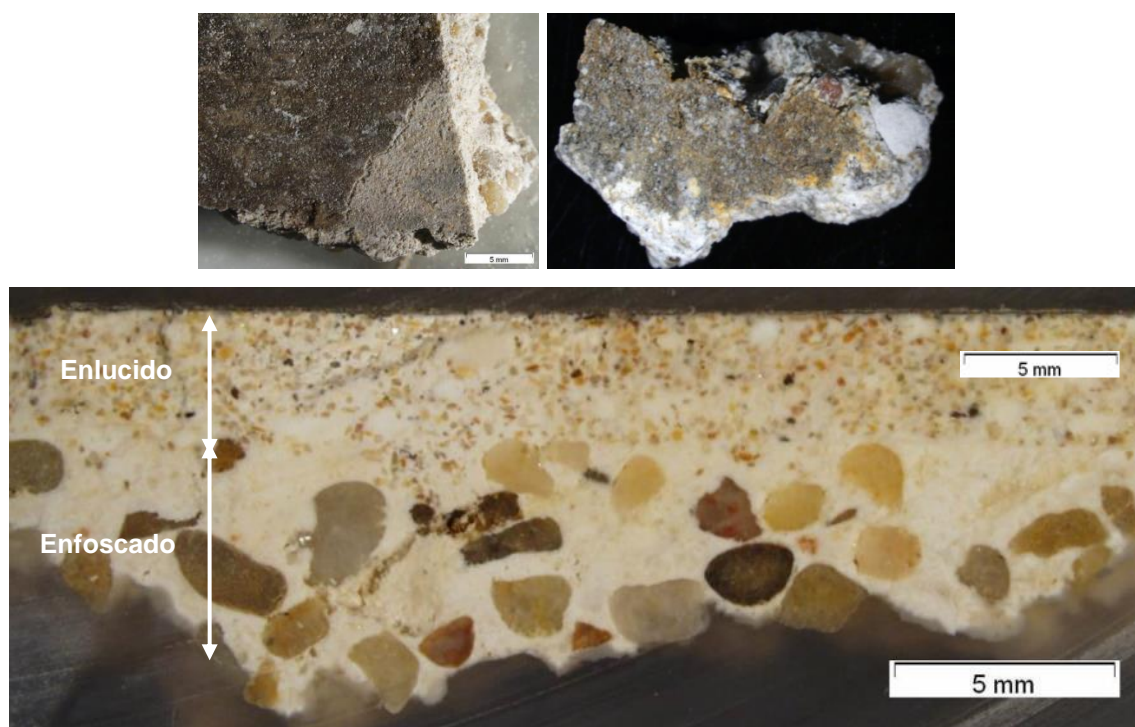


Figura 5.6.- Arriba: aspecto macroscópico de las muestras de revoco mcCS5 y Epa32. Abajo: sección transversal de las muestras mcCS5 y mCS11, arriba y abajo respectivamente. A la lupa binocular donde es posible diferenciar un enlucido de grano fino y un enfoscado de grano grueso. Las diferencias granulométricas del árido resultan evidentes entre ambas capas del revoco.



Figura 5.7.- Aspecto a la lupa binocular del residuo insoluble de la muestra mcCS2. En la micrografía se observan dos poblaciones de tamaño de grano, claramente diferenciadas, ambas con distintas morfologías. Llama la atención en este mortero, la práctica ausencia de fracción limo-arcillosa.

De las observaciones al SEM-EDX se deduce que la capa de enfoscado está constituida por abundantes granos redondeados de cuarzo, tamaño arena muy gruesa–canto (1,8-4,3 mm) y por fragmentos alargados de valvas, inmersos ambos en un conglomerante de naturaleza carbonatada (Fig. 5.8 a 5.9).

La capa de enlucido, de 5,3 mm de espesor, está formada por granos de cuarzo, tamaño arena fina-media (200-400  $\mu\text{m}$ ), fragmentos alargados de valvas con tamaños variables entre 157 y 526  $\mu\text{m}$ ) y nódulos de cal (Fig. 5.8). La presencia de bioclastos sugiere un aporte de arena de playa, fragmentos de calizas fosilíferas como áridos, o bien el empleo de cal, elaborada a partir de calizas bioconstruidas.

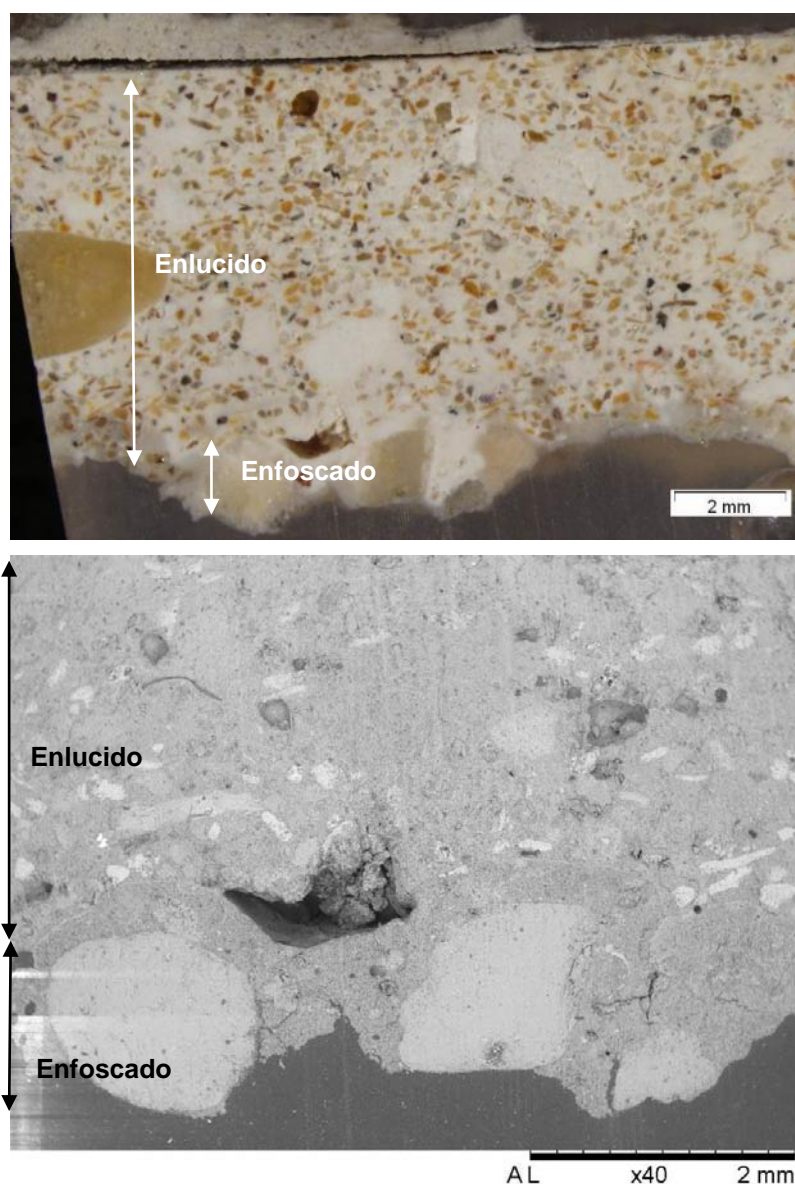


Figura 5.8.- Micrografías de una sección transversal de la muestra mcCS2 a la lupa binocular (arriba) y al microscopio electrónico de barrido (en medio y abajo). En las micrografías se identifican las dos capas del revoco; una inferior de grano grueso (enfoscado) y otra superior de grano fino (enlucido), separadas por un contacto neto.

La mineralogía de este mortero, deducida de las observaciones ópticas, se corrobora con los datos obtenidos a partir del análisis mineralógico realizado por difracción de rayos X (Fig. 4.10), aunque cabe aclarar que este análisis mineralógico corresponde a muestra total.

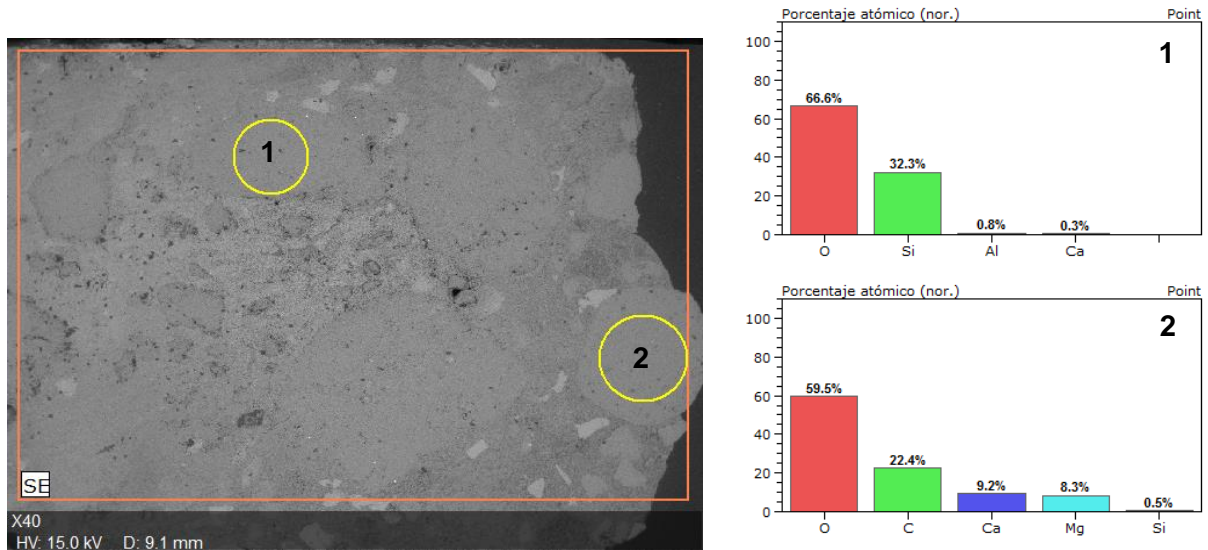


Figura 5.9.- Análisis morfoquímicos al SEM-EDX del mortero EPA32. Los espectros e histogramas de porcentajes atómicos muestran áridos constituidos mayoritariamente por oxígeno (O) y silicio (Si), los cuales se combinan entre sí para formar cuarzo. También se identifican granos minerales en los cuales los elementos químicos detectados han sido oxígeno (O), carbono (C), calcio (Ca) y magnesio (Mg) que se combinan entre sí para formar carbonato cálcico-magnésico ([dolomita]). Se trata de un mortero de cal, donde los áridos son mayoritariamente granos de cuarzo y algún fragmento de dolomía.

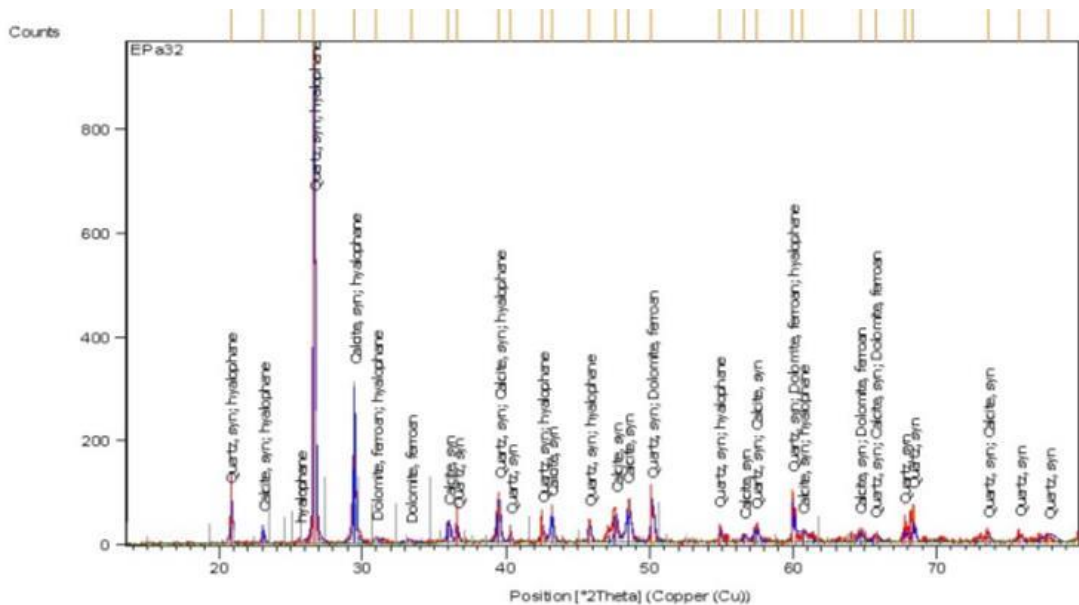


Figura 5.10.- Difractograma de la muestra EPA32. Los minerales detectados por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5% (valor límite de detección del equipo), han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomita [ $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ ] y ortosa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ).

## Revoco exterior

Corresponde al mortero localizado inmediatamente por encima del descrito anteriormente. Podría tratarse del denominado, por Fernández Buelta y Hevia<sup>265</sup>, estuco áspero. Esta tipología se ha detectado en 8 muestras: mcCS1, mcCS2 sup., mcCS3, mcCS6, mcCS8 sup, mCS9, mCS23, mCS24 y EPa33 (Fig. 5.11). Se trata de un mortero compacto y coherente, de color blanco y textura heterogénea que en superficie presenta una tenue pátina de ennegrecimiento. Las heterogeneidades texturales, observadas a escala macroscópica, están relacionadas con la presencia de abundantes fragmentos de madera, incorporadas al mortero como aditivo (Fig. 5.12).



Figura 5.11.- Localización del punto de extracción de la muestra mcCS1 en el interior del camarín.



Figura 5.12.- Arriba: general y detalles de los fragmentos de madera presentes en la muestra mcCS2sup. Abajo: secciones transversales de las muestras mcCS2sup y mCS8 sup.

Mediante ataque químico, por disolución con ácido clorhídrico diluido al 15%, se ha determinado que este revoco presenta una relación en peso, árido–matriz de 1:1. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (52%) y una fracción limo-arcillosa (6%), siendo la relación entre ambas 12:1

<sup>265</sup> Fernández J. y Hevia V. (1984). "Ruinas del Oviedo primitivo. Historia y Secuencias de unas excavaciones". Principado de Asturias. Instituto de Estudios Asturianos (DEL C.S.I.) p. 91-94.

(Fig. 5.13). Microscópicamente, en el residuo insoluble se identifican: granos de cuarzo, mayoritariamente de color gris translúcido aunque también amarillos y rosados (65–75%), feldespatos de color blanco (20-25%) y fragmentos de madera (5-10%), además de moscovita (<1%), microclina (<1%), turmalina (<1%) y granos de carbón (<1%). La morfología de los granos es mayoritariamente subangulosa-subredondeada (0,7), con una esfericidad moderada (0,7) (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955). La granulometría del árido presenta una distribución de tamaños bastante amplia (200  $\mu\text{m}$ –1,4 mm), siendo el tamaño más frecuente arena fina (200-250  $\mu\text{m}$ ).

De las observaciones al microscopio electrónico de barrido, se deduce que los áridos (75–80%) que conforman este mortero son de naturaleza principalmente siliciclástica (cuarzo y aluminosilicatos). En menores proporciones se detectan nódulos carbonatados y fragmentos de madera, unidos por una matriz (20–25%) de carbonato cálcico (calcita), (Fig. 5.14).

La composición mineralógica obtenida para el mortero, mediante el análisis de difracción de rayos X, ha sido: cuarzo, calcita y diópsido (Fig. 5.15), lo que confirma los datos deducidos de las observaciones microscópicas.

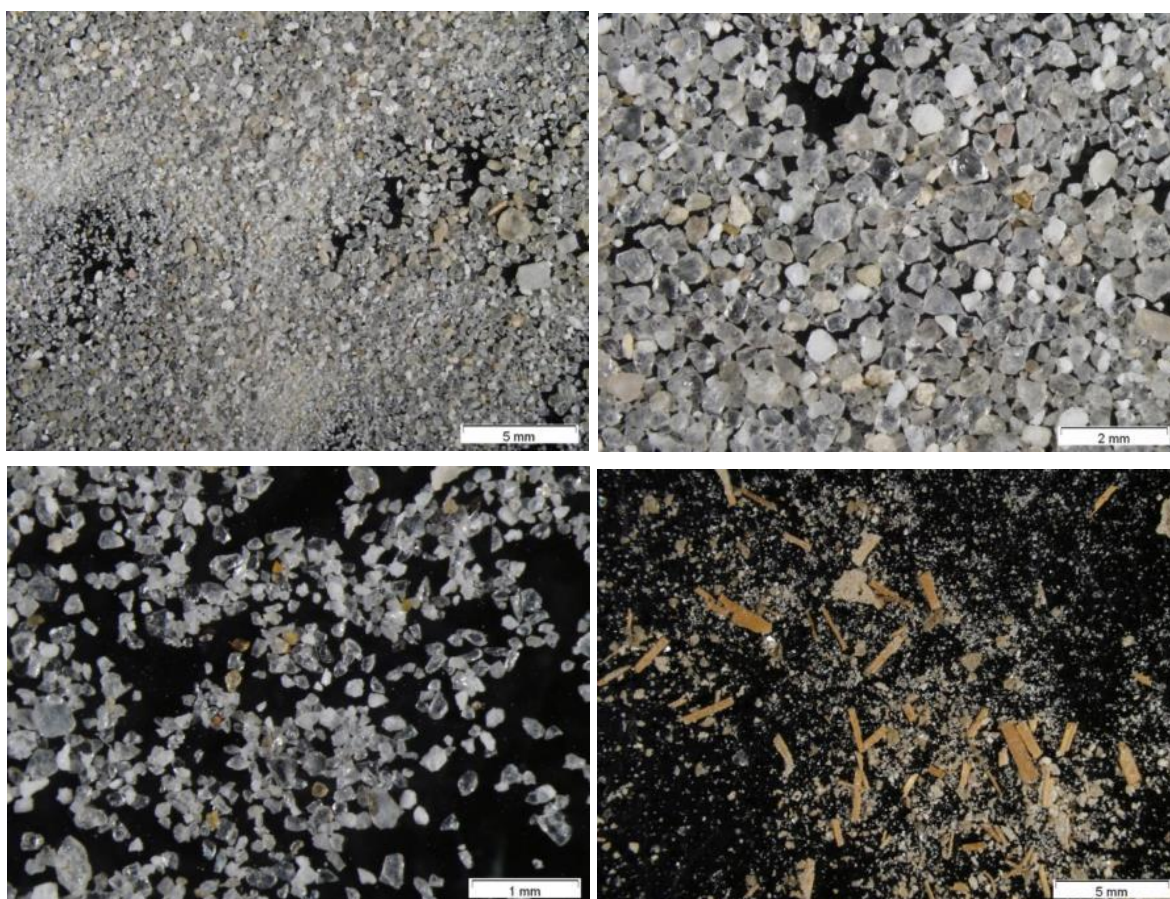


Figura 5.13.- Aspecto a la lupa binocular de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble de la muestra mcCS1. A esta escala de observación se identifican granos de cuarzo de color gris translúcido y granos de feldespato de color blanco. Puntualmente se detectan cuarzros rosados y de color ámbar. Dentro de la fracción fina, destaca la presencia mayoritaria de fragmentos de madera.



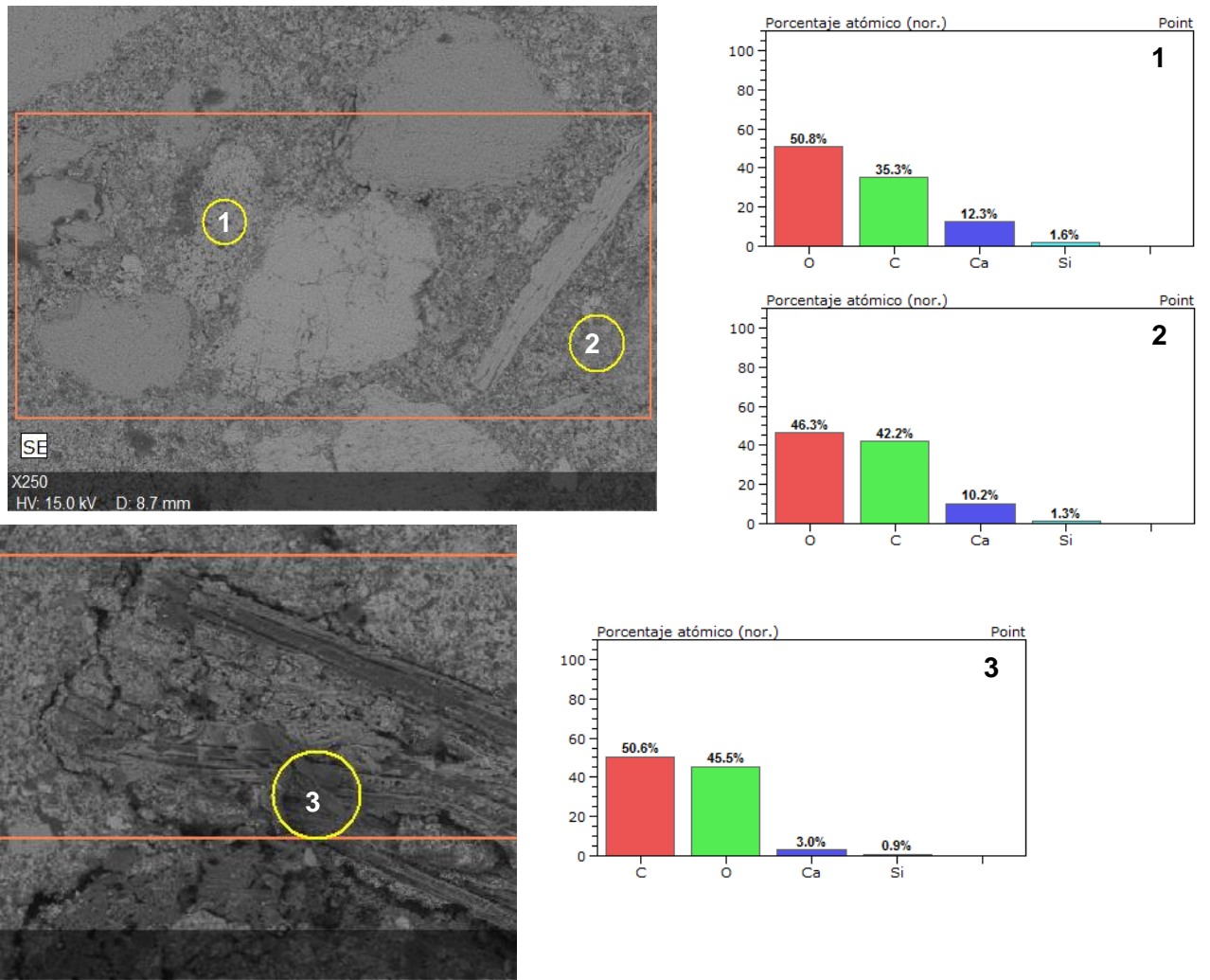


Figura 5.14.- Arriba: análisis morfoquímicos, al SEM-EDX, de los componentes del mortero EPa33. Los espectros e histogramas de porcentajes atómicos muestran que la fase de unión o matriz está formada mayoritariamente por oxígeno (O), carbono (C) y calcio (Ca). Estos elementos se combinan entre sí para formar calcita, lo que corrobora la composición carbonatada del aglomerante. Abajo: análisis de los fragmentos de madera presentes en el mortero. El elevado contenido en carbono (C) confirma su naturaleza orgánica.

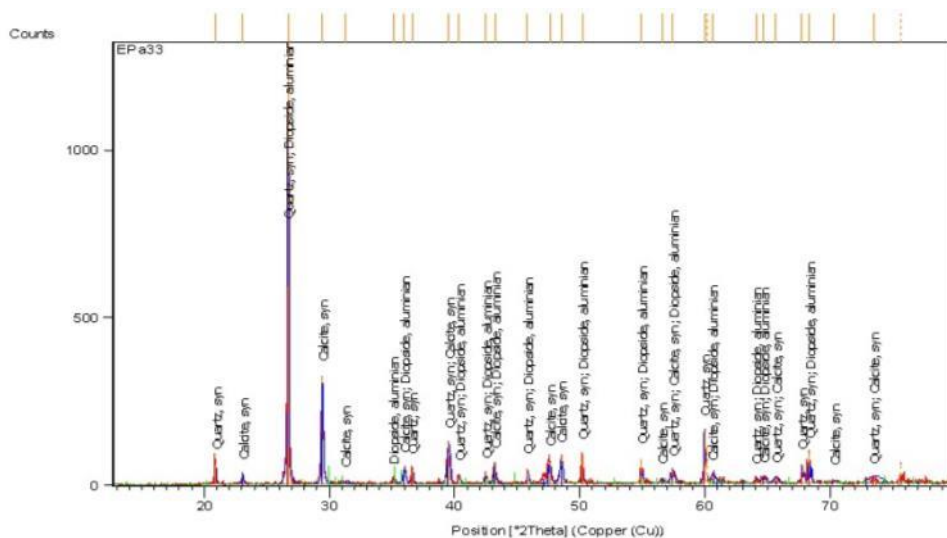


Figura 5.15.- Difractograma del revoco EPa33. Los minerales detectados por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5% (valor límite de detección del equipo), han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y diópsido ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ).

## **Morteros de reposición**

Se han detectado tres morteros de reposición diferentes, denominados tipo I, tipo II y tipo III, correspondientes a las muestras mcCS18, mCS20 y mCS21 y mcCS7, EF15 y AF27, respectivamente. A continuación se describe cada una de estas tipologías

### Tipo I

La muestra mcCS18 es un mortero de reposición aplicado en la reintegración de la repisa inferior del hueco entre columnas de la pared este del camarín (Fig. 5.16). Tal como se deduce de las fotografías, posteriores a la explosión del año 1934, la caída del muro testero de la Cámara Santa, supuso la rehabilitación integral del muro superior (Fig. 5.17).



Figura 5.16.- General y detalle del punto de extracción de la muestra mcCS18.

Mediante microscopía estereoscópica, en las secciones transversales de este mortero es posible diferenciar dos capas: una inferior de color gris y grano grueso (enfoscado) y otra superior, marrón de grano fino (enlucido), (Fig. 5.18). En superficie también se aprecia un recubrimiento blanquecino.



Figura 5.17.- Izquierda: Imagen del testero de la Cámara Santa (Alejandro Ferrant, 1934). Derecha: Aspecto exterior de la cámara Santa, en 2011.

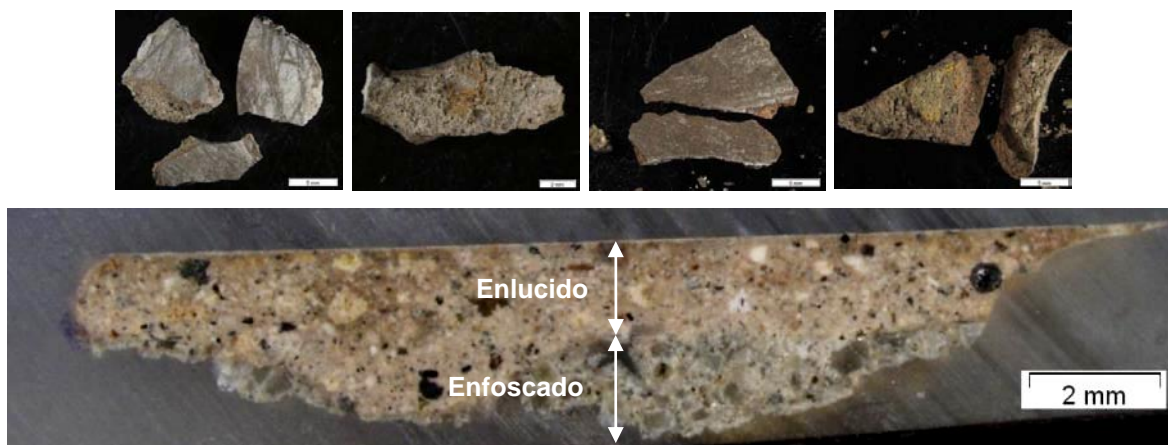


Figura 5.18.- Aspecto macroscópico de la superficie externa, interna y de una sección transversal de la muestra mcCS18. A esta escala, en la imagen inferior, se identifican dos capas de mortero, aplicadas a modo de enfoscado y enlucido.

La secuencia estratigráfica, analizada a la lupa y al SEM, muestra un enfoscado de 1,4 mm de espesor, constituido por granos de cuarzo y aluminosilicatos, inmersos en un conglomerante de naturaleza, carbonatada (Fig. 5.19). Sobre éste se detecta un enlucido de 2,2 mm de espesor, elaborado a base de calcita, cuarzo y aluminosilicatos, con algo de carbón vegetal (Fig. 5.19). En superficie se identifica un recubrimiento de color blanco, de 40  $\mu\text{m}$  de espesor, constituido por calcita, cuarzo, aluminosilicatos y yeso (Fig. 5.20).

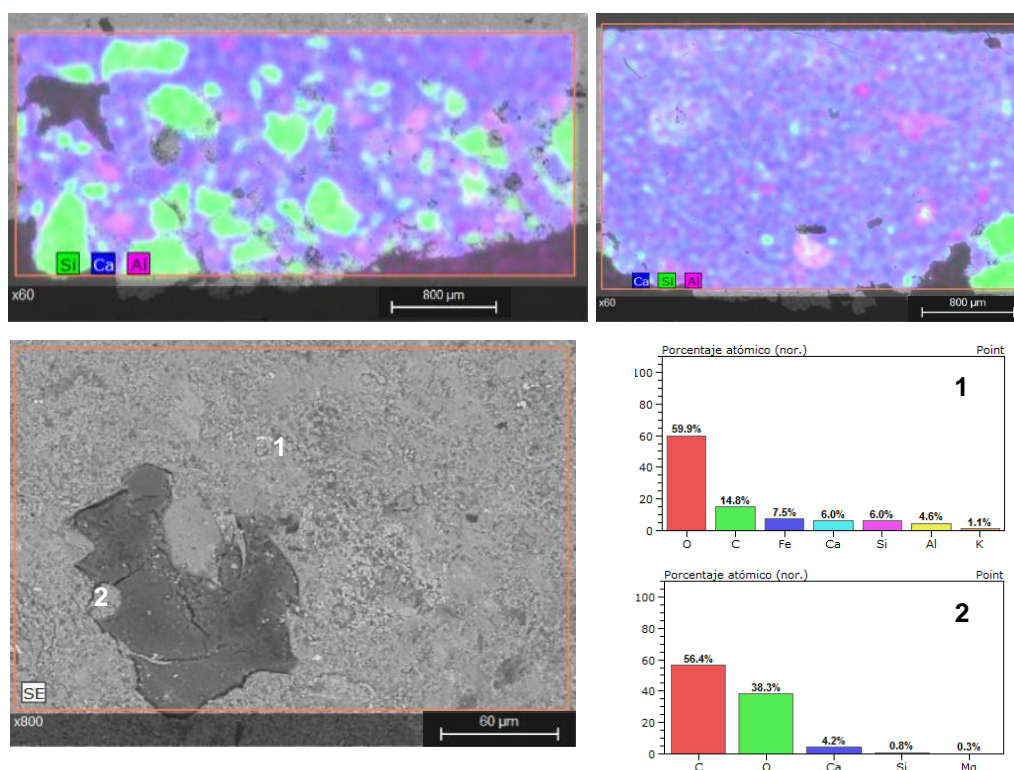


Figura 5.19.- Micrografías a la lupa y al SEM de una sección transversal de la muestra mcCS18. El mapeo de elementos mayoritarios [silicio (Si), calcio (Ca) y aluminio (Al)] aporta información sobre la distribución y composición de los áridos que forman parte del enfoscado de este mortero. De los espectros EDX y sus histogramas de porcentajes atómicos se deduce la presencia de aluminosilicatos ricos en hierro (análisis 1) y de granos de carbón (análisis 2), como constituyentes de los áridos de la capa de enlucido.

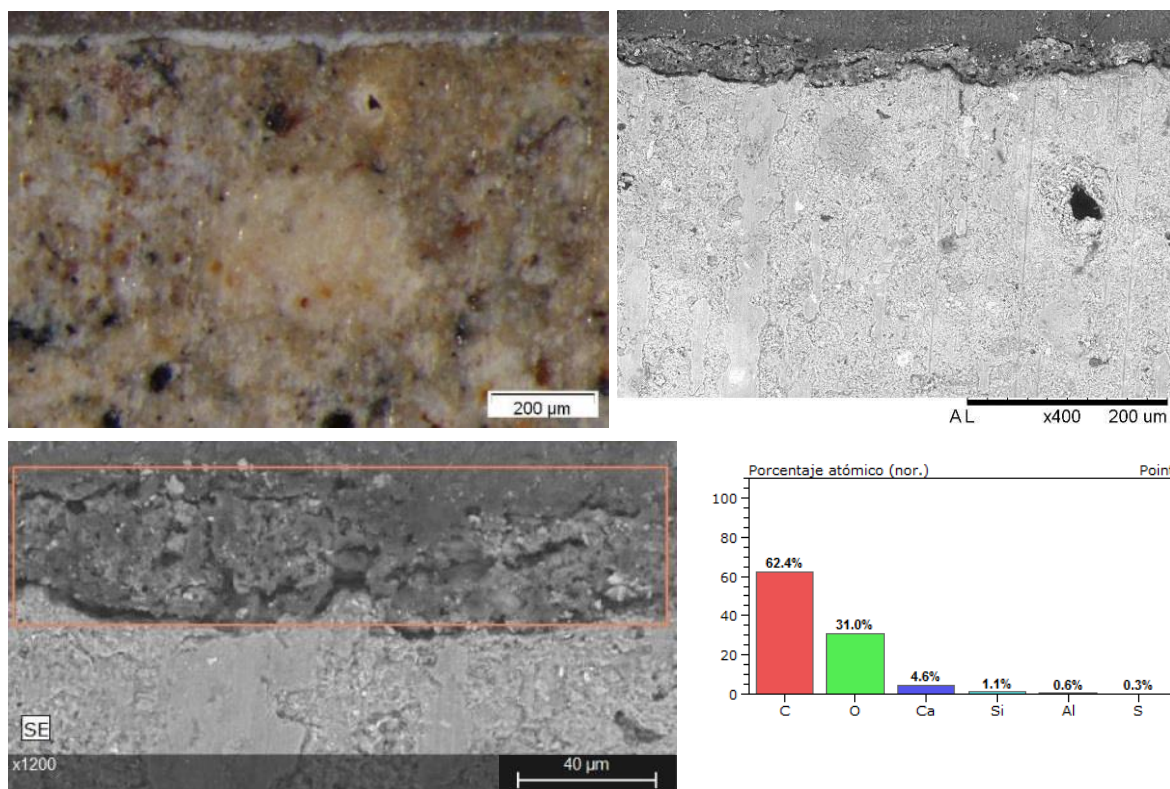


Figura 5.20.- Micrografías a la lupa y al SEM y análisis morfoquímico EDX del recubrimiento de la muestra mCS18. El espectro e histograma de porcentajes atómicos identifican carbono (C), oxígeno (O), calcio (Ca), silicio (Si), aluminio (Al) y azufre (S), como elementos mayoritarios. Estos elementos químicos se combinan entre sí para formar cacita, cuarzo, aluminosilicatos y yeso.

### Tipo II

Corresponde a una capa doble, aparentemente de cal recogida en la sala de los apóstoles, sobre el recercado de la ventana izquierda del lateral sur, el encalado superficial se ha referenciado como muestra mCS20, el sustrato inferior como mCS21 (Fig. 5.21). Macroscópicamente es de color blanco, compacto, coherente y homogéneo (Fig. 5.22).



Figura 5.21.- General y detalle del punto de extracción de la muestra mCS20.



Figura 5.22.- Aspecto macroscópico de la muestra mCCS20, en superficie externa e interna, a izquierda y derecha, respectivamente.

Mediante ataque químico, presenta una relación en peso árido-matriz de 1:24. Dentro del árido se diferencia una fracción o arenosa (2%) y una fracción limo-arcillosa (3%) (Fig. 5.23). La relación entre la fracción gruesa y fina es de 1:2. La práctica disolución de la muestra en ácido clorhídrico, confirma su composición esencial a base de carbonato cálcico (calcita).

Microscópicamente, formando parte del residuo insoluble se identifican: granos de cuarzo, de color gris translúcido y minerales arcillosos de color beige. La morfología de los granos es subangulosa-subredondeada (0,7), con una esfericidad moderada (0,7) y la granulometría de los granos de cuarzo varían de 170 a 700  $\mu\text{m}$ , siendo su tamaño más frecuente de 260  $\mu\text{m}$  (arena media).

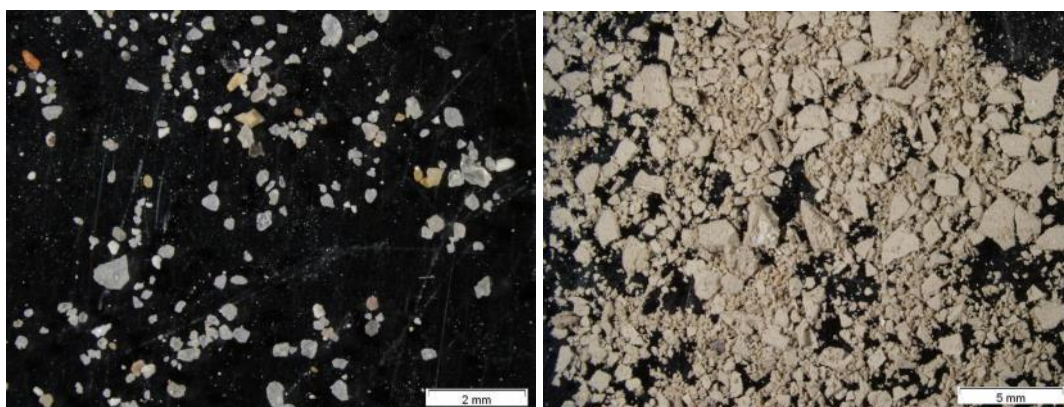


Figura 5.23.- Aspecto del residuo insoluble de muestra mCS20. La fracción gruesa está constituida por granos de cuarzo (arriba) y la fracción fina por minerales arcillosos (abajo). Ambas fracciones son extremadamente escasas.

### Tipo III

La muestra de mortero mcCS7 corresponde a una pellada<sup>266</sup> o parche de color rojizo, localizada en la bóveda sur del camarín, referenciado también como mortero de reposición tipo III (Figs. 5.24 a 5.25). En sección estratigráfica es posible observar la textura del mortero con una capa pictórica sobrepuesta. Este mortero es completamente diferente a cualquiera de los analizados. Probablemente se trate de un mortero de reintegración de lagunas, empleado durante la restauración de la Cámara Santa, en el año 1940, o incluso en la intervención realizada entre los años 1919-1920.

<sup>266</sup> Repellar - Arrojar pelladas de yeso o cal a la pared que se está fabricando o reparando

Consta de dos capas: una aplicada a modo de enfoscado y otra, de enlucido (Figs. 5.26 a 5.28). Sobre este último aparece una capa pictórica de color rojo. El enfoscado presenta un espesor máximo de 3 mm y está formado por granos angulosos de calcita, algún grano de cuarzo y aluminosilicatos, inmersos en una matriz de carbonato cálcico (Fig. 5.26). El enlucido, con un espesor de 1,2 mm, está formado por granos de dolomía y algo de cuarzo, inmersos en una matriz carbonatada (Fig. 5.27). Parece lógico pensar que para la elaboración de este mortero se ha empleado molienda de dolomía de Laspra.



Figura 5.24.- Localización del punto de extracción de la muestra mcCS7.

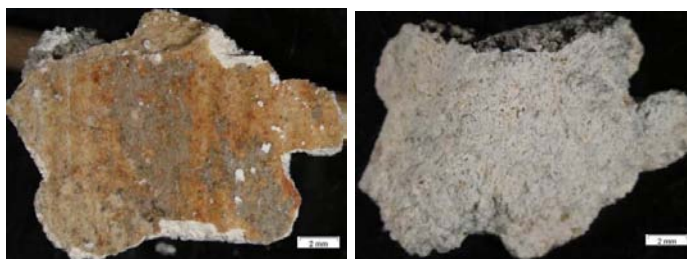


Figura 5.25.- Aspecto general y detalle de la muestra mcCS7, en superficie externa (izqda. arriba y abajo) e interna (dcha. arriba). Aunque la muestra presenta una pátina de suciedad de color grisáceo, bajo ésta es posible identificar una capa pictórica de color rojizo-anaranjado.

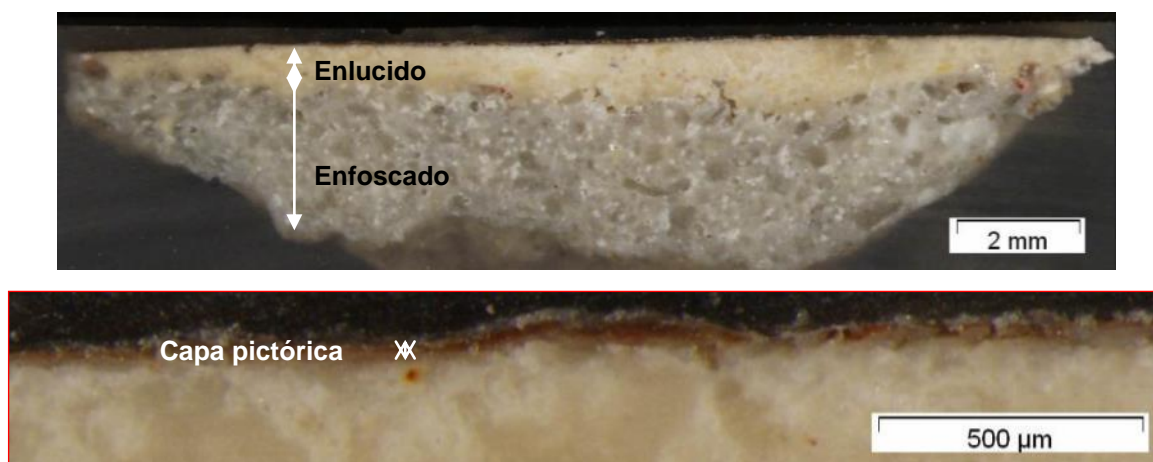


Figura 5.26.- Sección estratigráfica de la muestra mcCS7, a la lupa binocular. En la sección transversal de la muestra es posible identificar un enfoscado de color gris y un enlucido pardo-amarillento, sobre el que se dispone, directamente, la capa de pintura de color rojizo.

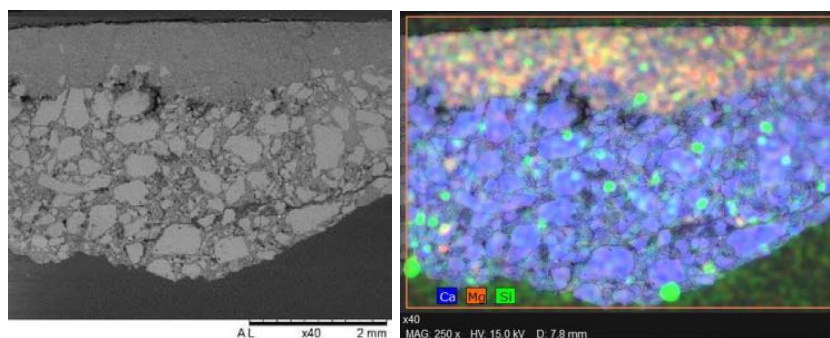


Figura 5.27.- Micrografía al SEM de una sección transversal de la muestra mcCS7 con mapeo de elementos mayoritarios [calcio (Ca), magnesio (Mg) y silicio (Si)]. En las imágenes, además de la textura del revoco, se aprecia la diferente composición del enlucido y enfoscado.

Morteros, texturalmente similares y con áridos de dolomía de Laspra, han sido detectados en algunas de las reintegraciones realizadas en el conjunto escultórico del apostolado (muestras EF15 y AF27), (Fig.5.29). Cabe pensar que este mortero pudiera corresponder a un mortero de restauración, empleado en la reconstrucción de 1940-1942, realizada por Víctor Hevia.

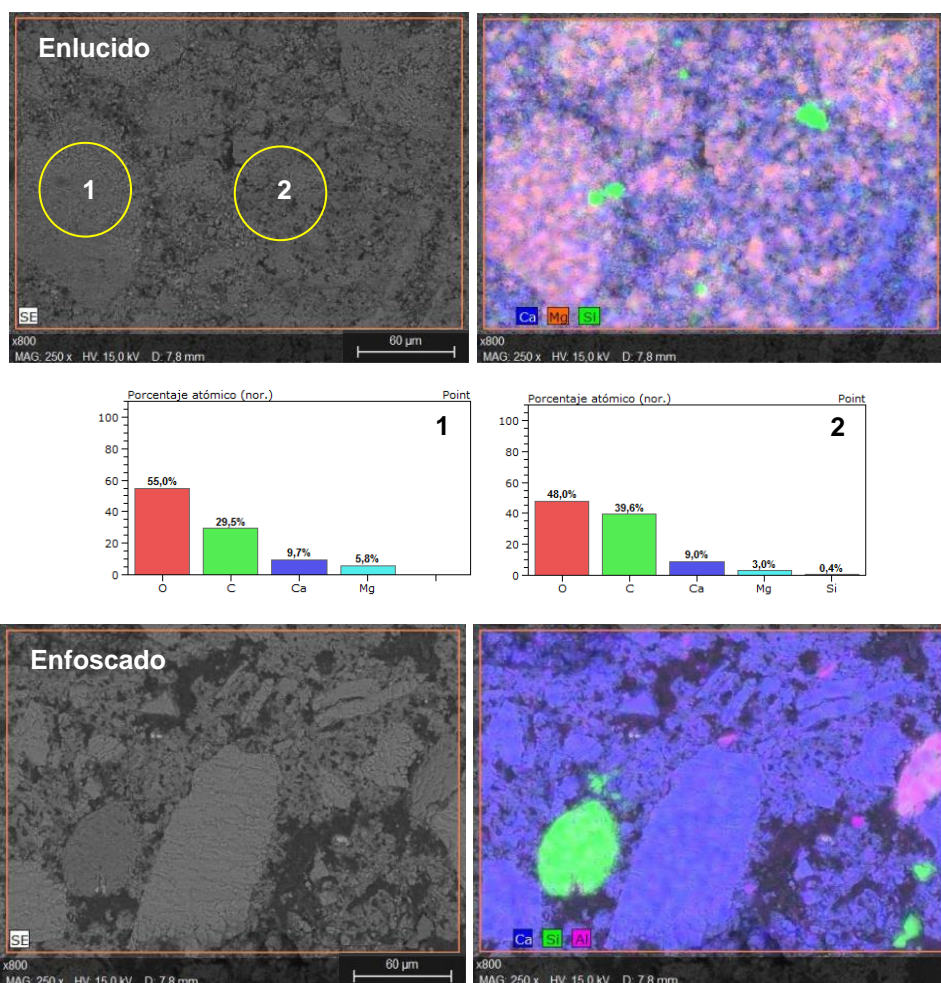


Figura 5.28.- Micrografías, mapeos de elementos químicos mayoritarios e histogramas de porcentajes atómicos, obtenidos al SEM-EDX, de la muestra mcCS7. El enlucido está elaborado a base de árido de dolomita (carbonato cálcico-magnésico) y algo de cuarzo, aglutinado con carbonato cálcico. El enfoscado por el contrario está elaborado con árido de calcita, cuarzo y algún aluminosilicato, aglutinado con carbonato cálcico.



Figura 5.29.- Puntos de extracción de las muestras: EF15 (izqda.) y AF27 (dcha.) recogidas en dos ubicaciones diferentes: fuste de San Pablo y fuste de San Judas Tadeo, respectivamente.

Los análisis de los morteros de restauración (muestras EF15 y AF27), realizados al SEM-EDX y al FTIR confirman que se trata de un mortero elaborado a base de cal, molienda de piedra de Laspra y algo de cuarzo (Fig. 5.30). En superficie presenta un recubrimiento pictórico de yeso, calcita, aluminosilicatos, aceite secante, resina de colofonia y cera de abeja (Fig. 5.31 a 5.32). Estos compuestos, como se verá más adelante, también se han detectado en las muestras de pintura, recogidas en el apostolado.

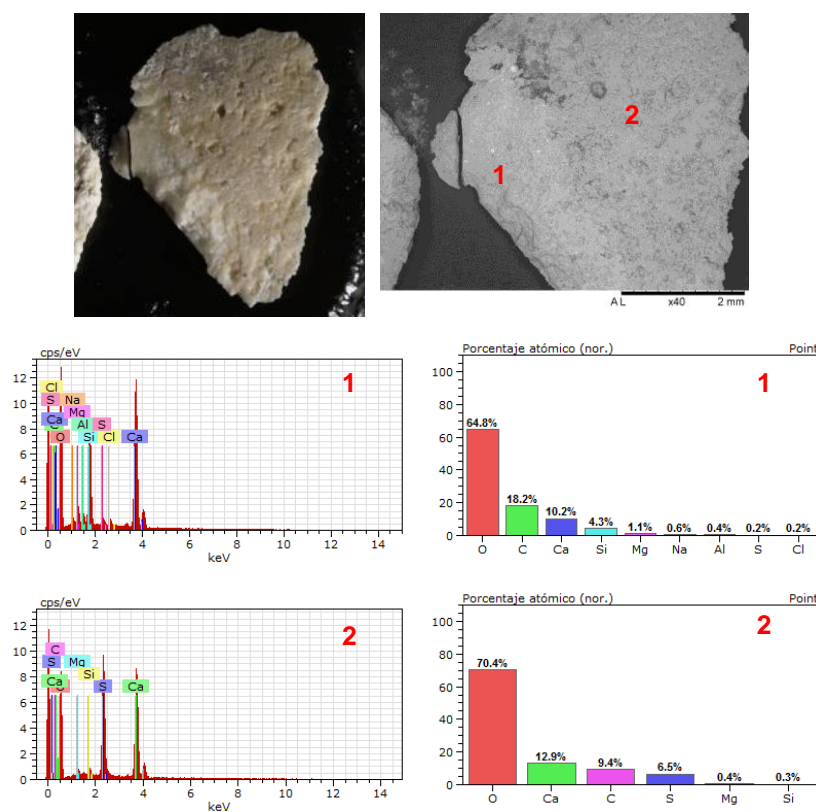


Figura 5.30.- Análisis morfoquímico al SEM-EDX de la muestra EF15.



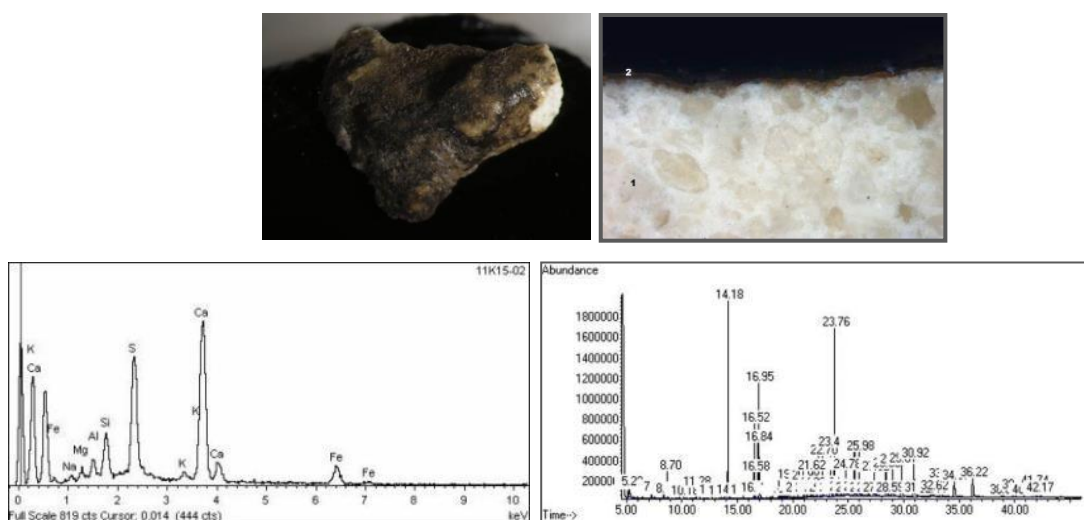


Figura 5.31.- Aspecto macroscópico, estratigrafía, espectro EDX de la capa 2 y cromatograma, obtenido durante el análisis de los materiales orgánicos de la muestra EF15.

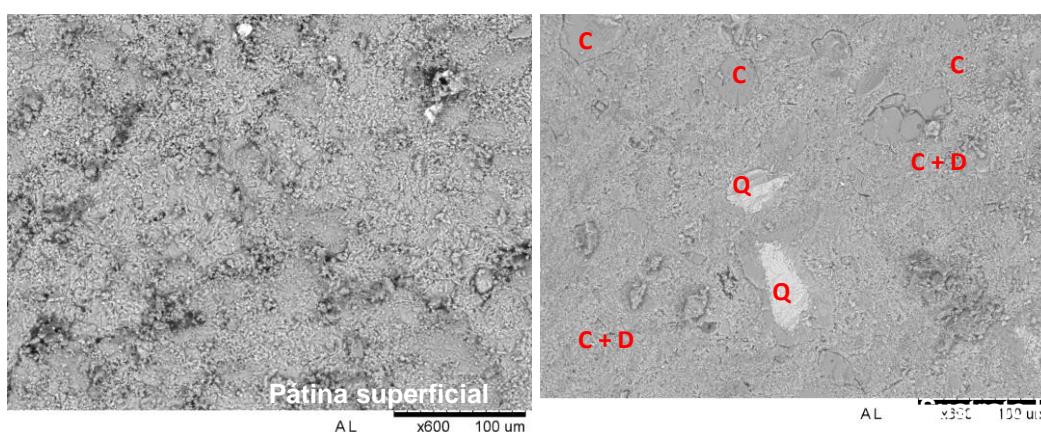


Figura 5.32.- Aspecto morfológico al SEM del sustrato base y de la pátina superficial de la muestra EF15. Las letras que aparecen sobreimpuestas a la imagen derecha representan: Q–cuarzo, C–calcita y C + D–calcita y dolomita.

## Estucos

Han sido denominados como estucos, heredando la terminología empleada por los restauradores, la pasta con la que se ha elaborado la pupila e iris de la mayoría de los apóstoles, analizada en cinco muestras: EF39, AF24, CF36, mCS22 y FF28, correspondientes, respectivamente, a las pupilas de San Pedro, San Simón, San Mateo, San Andrés y al iris de Santo Tomás. Todas las muestras, han vuelto a su posición original durante la restauración del apostolado. Respecto a los ojos de los apóstoles, se han identificado tres tipos: unos con pupilas vítreas o cristalinas, aparentemente de zafiro, otros con pupilas elaborados a base de una pasta negra opaca y otros a base de pasta negra brillante, en adelante denominadas estuco mate o estuco brillante, (Figs. 5.33 a 5.34). Para conocer la evolución de los ojos se examinaron fotografías de los diferentes grupos escultóricos, apeados o «in situ» después de la destrucción de la Cámara Santa. Las faltas resultan evidentes en San Simón, San Juan, San Pablo y San Bartolomé (Fig. 5.35) aunque cabe pensar, que alguno de los

que pudieran parecer conservados, hayan sido repuestos con anterioridad a la realización del reportaje fotográfico.

El estuco mate, muestreado en las pupilas de San Simón (AF24), San Mateo (mCS22) y en el iris de Santo Tomás (FF28), está elaborado a base de yeso, calcita y aluminosilicatos (Figs. 5.36 a 5.37). En la superficie de las muestras se detectan contenidos muy elevados en carbono, originados por la presencia de un recubrimiento orgánico. El estuco brillante, recogido en uno de los ojos de San Pedro (muestra EF39) y en una de las cejas de San Pablo (muestra EF36) está constituido esencialmente por azabache, aglutinados con calcita, dolomita y algo de yeso (Fig. 5.38). El entramado diferente, observado en el envés de las piezas (bandas longitudinales y cuadrículas) muestra el distinto modo de sujeción a las cavidades oculares (Figs. 5.36 a 5.38).



Figura 5.33.- De arriba a abajo y de izquierda a derecha: detalles de los ojos de los grupos escultóricos A (San Simón y San Judas), B (Santiago y San Juan), C (San Andrés y San Mateo), D (Santiago el menor y San Felipe), E (San Pedro y San Pablo) y C (Santo Tomás y San Bartolomé).



Figura 5.34.- Arriba: Aspecto general del rostro de Santo Tomás, iluminado con luz ultravioleta. Abajo: detalles de los ojos de Santo Tomás. La pupila podría corresponder a un zafiro, engarzado en la cavidad ocular.



Figura 5.35.- De arriba abajo: General y detalle de los ojos de San Simón y San Judas, Santiago y San Juan, San Andrés y San Mateo, Santiago el menor y San Felipe, San Pedro y San Pablo y Santo Tomás y San Bartolomé, apeados o durante su restauración después de la destrucción de la Cámara Santa. En las fotografías puede observarse el estado de conservación de los ojos en ese momento. Sobre las imágenes se marcan las faltas (ø).

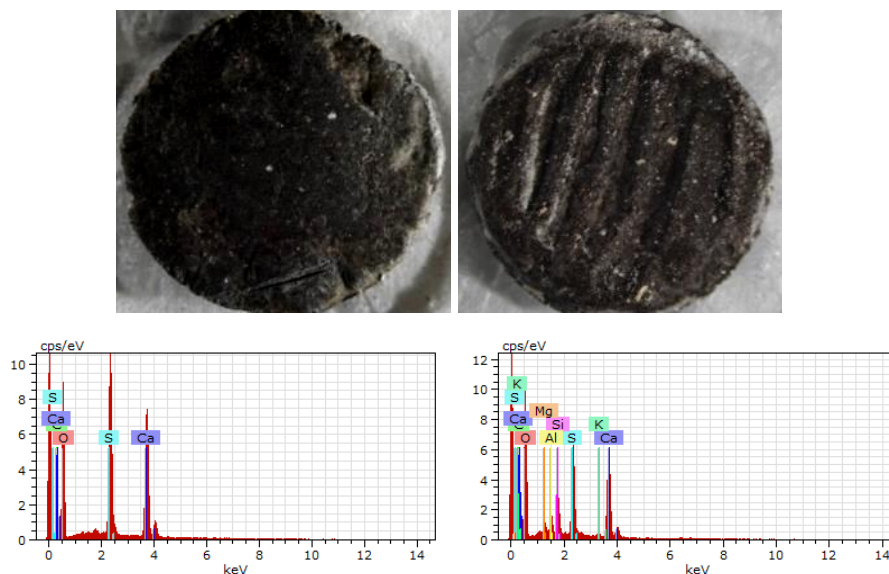


Figura 5.36.- Aspecto macrocópico y análisis morfoquímico de las muestras AF24, FF28 y CF36, correspondientes al estuco mate con sus correspondientes espectros EDX.

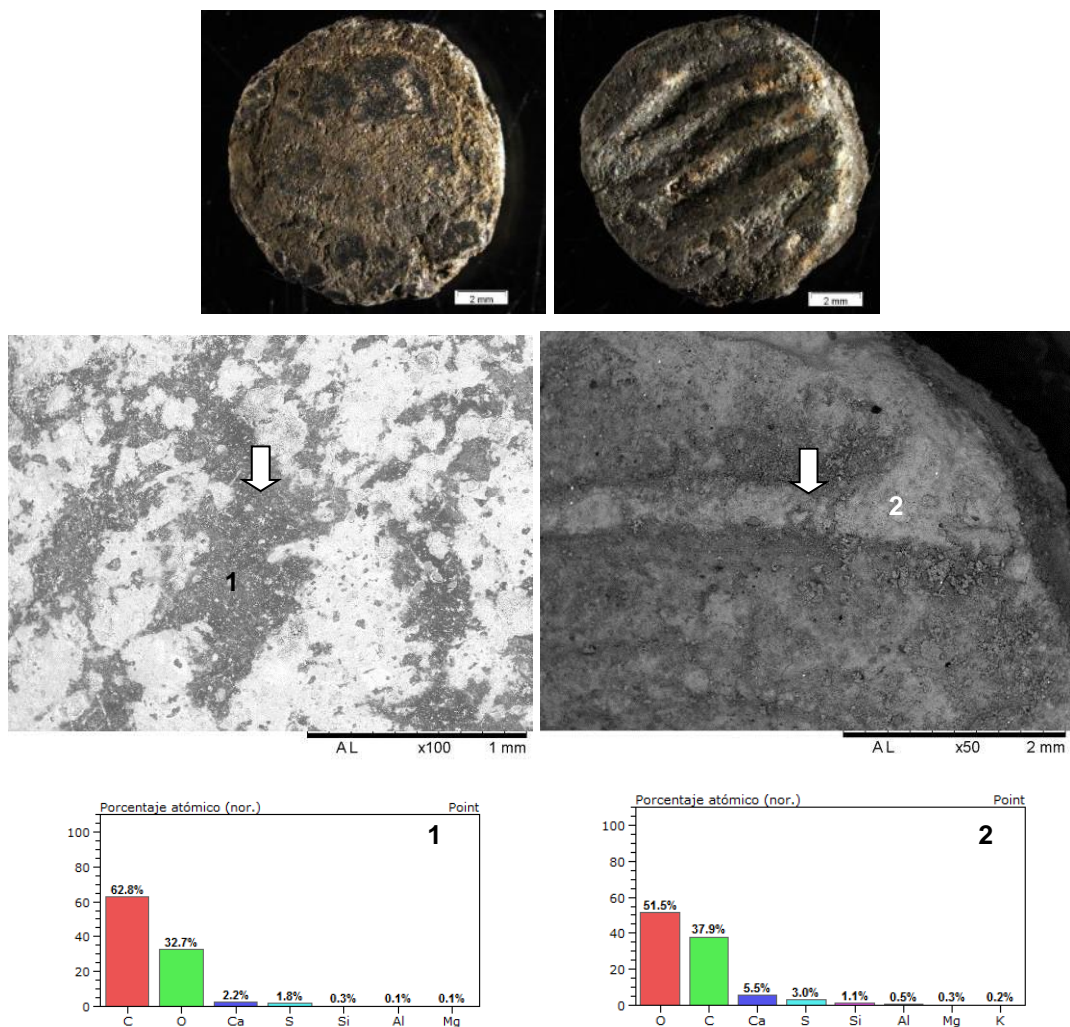


Figura 5.37.- Aspecto macrocópico y microscópico de la muestra mCS22, correspondiente a la pupila de San Mateo. Del análisis morfoquímico se deduce que el estuco mate está formado por yeso, calcita y aluminosilicatos (análisis 2), detectándose en superficie un recubrimiento de cera de abeja (análisis 1).

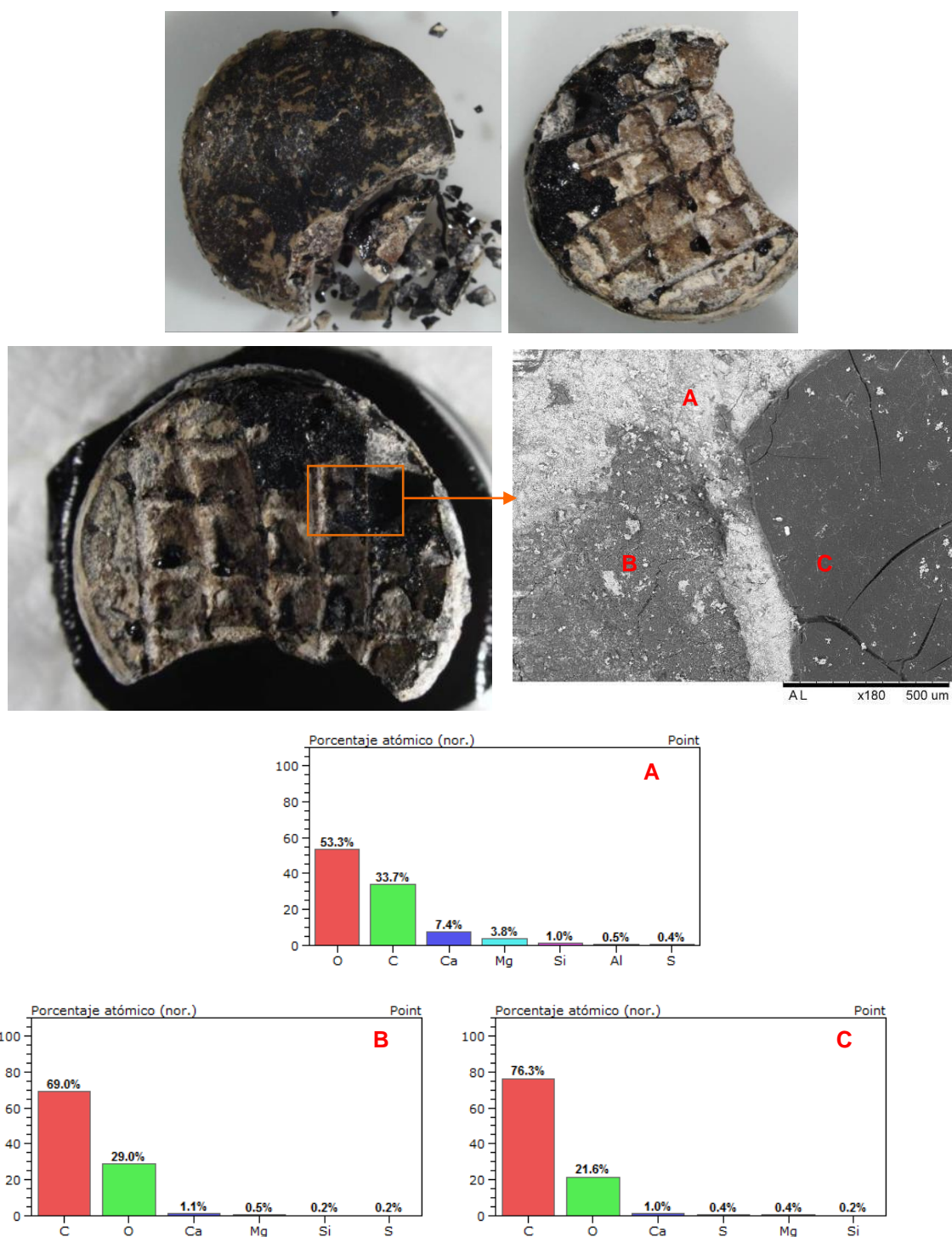


Figura 5.38.- Aspectos macroscópicos y microscópicos de la muestra EF39. Los histogramas de porcentajes atómicos de las diferentes zonas analizadas muestran la presencia mayoritaria de los cristales de azabache (contenidos en carbono (C) muy elevados).

### Hormigón (*Opus-signinum*)

La muestra, cuyo análisis se presenta a continuación, procede de un fragmento de hormigón acopiado y catalogado con otros restos sobrantes de la destrucción de la Cámara Santa, y ha sido proporcionada por D. Jose M<sup>a</sup> Hevia, director del Museo Diocesano. Corresponde a un fragmento del solado original de la Cámara Santa y tal como se aprecia en las imágenes se trata de un

hormigón coherente, compacto y homogéneo, constituido por abundantes áridos de tamaños centimétricos (Fig. 5.39). El pavimento de la cripta de Santa Leocadia es igual que el encontrado en la Cámara Santa y está construido con cal, arena, canto rodado partido, losetas de barro y tejas.



Figura 5.39.- Aspecto de la muestra del suelo de la Cámara Santa. Destaca el tamaño centimétrico de los áridos que conforman este mortero.

En corte transversal es posible observar su textura, formada una serie de áridos de diferentes tonalidades, unidos por un conglomerante blanco-rosado. Los áridos que constituyen el armazón de este mortero son principalmente fragmentos cerámicos de tonalidades que varían entre rosado, rojo, gris y negro, con cantos partidos de roca caliza de colores grisáceos (Fig. 5.40). La diferente coloración de los cerámicos (losetas y tejas) es indicativa de las diferentes materias primas empleadas en su elaboración. El bandeado colorimétrico y textural de los cerámicos ha estado condicionado por las temperaturas de cocción y la atmósfera del horno, donde fueron fabricadas estas piezas. Para conocer la composición mineralógica de la matriz, se procedió a la extracción de la fase aglomerante, libre de áridos (Fig. 5.41). Su análisis mineralógico, mediante DRX, ha revelado su composición mayoritaria a base de calcita, cuarzo, con algo de halita (Fig. 5.42).



Figura 5.40.- Aspecto macroscópico de una sección transversal del hormigón. Está constituido por áridos de tamaño centimétrico, principalmente fragmentos cerámicos de colores rosados, rojos y negruzcos, y fragmentos de caliza de colores grisáceos, unidos por un conglomerante de tonalidades rosadas.

Se trata de un mortero constituido por fragmentos cerámicos (68%), granos de cuarzo (10%) y fragmentos de roca caliza (2%), unidos entre sí por una matriz carbonatada (20%) (Figs. 5.40 a 5.43). La morfología de los fragmentos cerámicos y calizos es angulosa (0,1–0,3), con baja esfericidad (0,3) en los primeros y moderada (0,7) en los segundos (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955). En cuanto al tamaño, los fragmentos de caliza, situados entre 1 y 4,5 cm, son

superiores a los fragmentos cerámicos que varían entre 100 µm y 3 cm. Los cuarzos presentan morfologías subangulosas (0,5), con una esfericidad variable entre moderada y alta (0,7-0,9) y un tamaño de grano que oscila entre 100 µm y 5 mm. La granulometría de los áridos de este hormigón es muy heterogénea, variando desde las 100 µm a los 5 cm (arena muy fina-canto), con un tamaño medio de 3 cm (canto). El ataque químico de la matriz, ha permitido visualizar la fracción fina del árido que se presenta en la figura 5.43.



Figura 5.41.- Detalle a la lupa binocular de la fase aglomerante del hormigón del solado de la Cámara Santa. La matriz carbonatada aglutina áridos con tamaños inferiores a 1 mm.

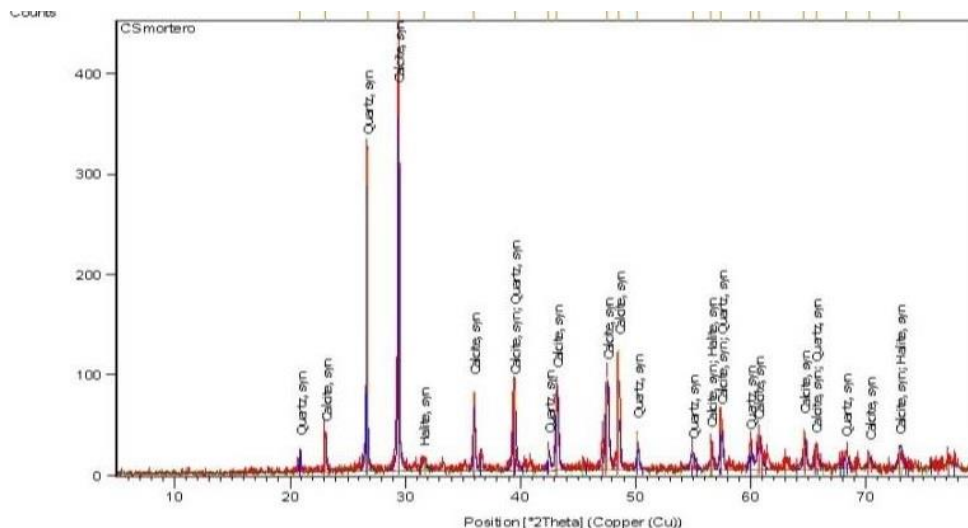


Figura 5.42.- Los minerales detectados por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y halita ( $\text{NaCl}$ ).



Figura 5.43.- Detalle del residuo insoluble de la matriz donde los fragmentos cerámicos y granos de cuarzo presentan tamaños superiores a 500 µm.

### **5.1.2.- CAPAS PICTÓRICAS**

En lo que se refiere a las capas de color, se han diferenciado dos tipos: las aplicadas sobre soporte pétreo y las aplicadas sobre mortero. A continuación se presentan los resultados obtenidos en ambos casos.

#### ***Pintura sobre soporte pétreo***

Las pinturas se presentan como una superposición de capas de color sobre el soporte pétreo, en este caso dolomía de Laspra, y suelen estar constituidas por una o más capas de preparación, más o menos coloreadas, seguidas de una o más de color que en ocasiones aparecen cubiertas por una o varias capa de protección y una pátina final de ensuciamiento o de neoformación (Alonso *et al*, 2013)<sup>267</sup>. En un afán de conocer la posible existencia de una policromía aplicada en origen sobre los grupos escultóricos del apostolado y demás elementos ornamentales presentes en la capilla, se rastrearon minuciosamente todas superficies pétreas, con ayuda de un restaurador. La incorporación de este apostolado durante la reforma románica de la Cámara Santa, sugería la posible existencia de ciertos paralelismos con otros apostolados de la misma época, en concreto con el del Pórtico de la Gloria de la catedral de Santiago de Compostela. El objetivo del estudio de estas muestras de pintura fue el de conocer la extensión, composición, estado de conservación y correspondencia de los diferentes restos de color, observados a simple vista en algunos de los fuste de los apóstoles, lo cual además, resultaba indispensable para seleccionar los métodos de limpieza más adecuados, para su posterior restauración. Sabiendo, por fuertes documentales, que en la intervención de los años 1919-1920, los elementos pétreos de la cámara Santa habían sido sometidos a una limpieza química era previsible que los restos de color fueran muy escasos. A partir de los estudios realizados pudieron identificarse los restos de color que actualmente se conservan, los cuales se describen a continuación, agrupados en función de los pigmentos identificados.

### **PIGMENTOS**

#### ***Blanco de plomo o albayalde***

También llamado cerusa, es el pigmento más importante en la pintura occidental desde la antigüedad hasta el siglo XX. Corresponde a un pigmento blanco constituido por carbonato básico de plomo  $[2PbCO_3.Pb(OH)_2]$  que se obtiene por la exposición de láminas de plomo a los vapores del vinagre (Parrilla, 2007)<sup>268</sup>. Es el pigmento más frecuentemente, detectado en 27 de las muestras analizadas: Ec1, EC2, EC3, EC4, EC5, EF6, EF7, EF8, EF9, EF11, ArEB13, ArEB14, EF16, Ep17, Ep19, AC20, Ac21, AC22, EF26, FF30, FF31, DC34 y CF37. En la mayoría de los casos aparece

---

<sup>267</sup> Alonso F.J., Ordaz J. y Esbert R.M<sup>a</sup> (2013). "Indicators of deterioration in stone building materials. Classification and analysis of damage" en COREMANS PROYECT: Criteria for working in stone materials. Ed. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones. Ministerio de Educación, Cultura y Deportes pp. 112-207.

<sup>268</sup> Parrilla, M<sup>a</sup> A. 2007. El arte de los pigmentos. Análisis histórico – artístico de su evolución a partir de los tratados españoles de Francisco Pacheco y Antonio Palomino. Tesis doctoral. Departamento Historia del Arte. Universitat de Valencia.



aplicado directamente sobre la piedra de Laspra (Fig. 5.44), en una o varias manos (Figs. 5.44 a 5.51), casi siempre acompañado de calcita y a veces, además de yeso.



Figura 5.44.- Micrografía de una sección transversal de la muestra EC4 donde se puede observar una capa de albayalde, aplicada directamente sobre la piedra de Laspra. Este albayalde de tono grisáceo presenta un espesor de 0–10  $\mu\text{m}$ .

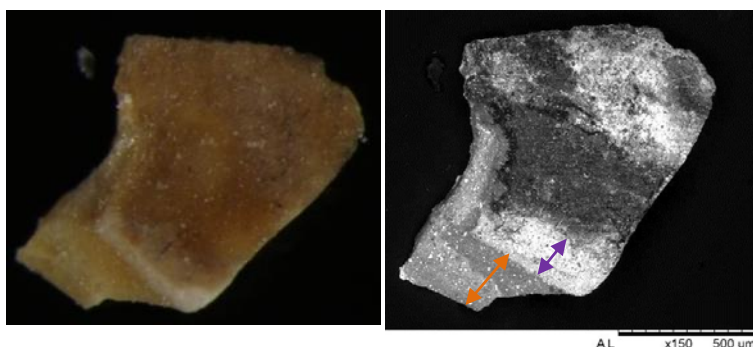


Figura 5.45.- Micrografías a la lupa y al SEM de la muestra Ec1. Existe una superposición de capas de albayalde de 80  $\mu\text{m}$  de espesor, cada una. La más interna aparece aplicada en dos manos.

En las muestras analizadas se detectan tipos de albayalde con las siguientes singularidades:

- Aplicado en una mano, con calcita y/o yeso: EC2, EC3, EC4, EC5, EF6, EF7, EF8, EF9, EF11, ArEB13, EF16, Ep17, Ep19, AC20, Ac21, AC22, EF26, FF30, FF31, DC34 y CF37 (Fig. 5.44).
- Aplicado en dos manos, con calcita: Ec1, ArEB13 y ArEB14 (Figs. 5.45, 5.46 y 5.47)
- Aplicado en tres manos: Ep18 (Fig. 5.48).
- En capas superpuestas (2, 3 y 5): Ec1, EC5, EF7, EF8, ArEB13, ArEB14, EF26 y AC22 (Figs. 5.45, 5.47 y 5.49)
- Mezclado con tierras rojas: EF7, EF8, ArEB13, EF16, Ep17, Ac21, AC22, EF26, FF30 y FF31 (Figs. 5.50 y 5.51).
- Aplicado sobre estucos: EC3, EF6 y AC20 (Fig. 5.52).
- Aplicado sobre negro carbón: EF9 (Fig. 5.53).
- Aplicado bajo negro carbón: EF16 y AC22 (Fig. 5.54).
- Aplicado con negro carbón: AC22 (Fig. 5.50).
- Presenta aceite secante: EC4, EF9 y AC22.
- Presenta aceite secante y resina de colofonia: Ec1, EC5, EF7, EF8, ArEB13, EF15, EF16, Ep17, Ep19 y Ac21.
- Presenta cera de abejas (en superficie): Ec1, EC2, EC3, EC4, EF6, EF7, EF8, EF9, EF11, ArEB13, ArEB14, EF16, Ep17, Ep18, Ep19, AC20, Ac21, AC22, EF26, FF30, FF31, DC34 y DC37.

Estas subdivisiones muestran la complejidad de las secuencias estratigráficas, en ocasiones incompletas, que dificultan las correlaciones entre diferentes tipos de albayalde y su secuencia de aplicación. La antigüedad del apostolado contribuye a favorecer sucesivos repintes o intervenciones.

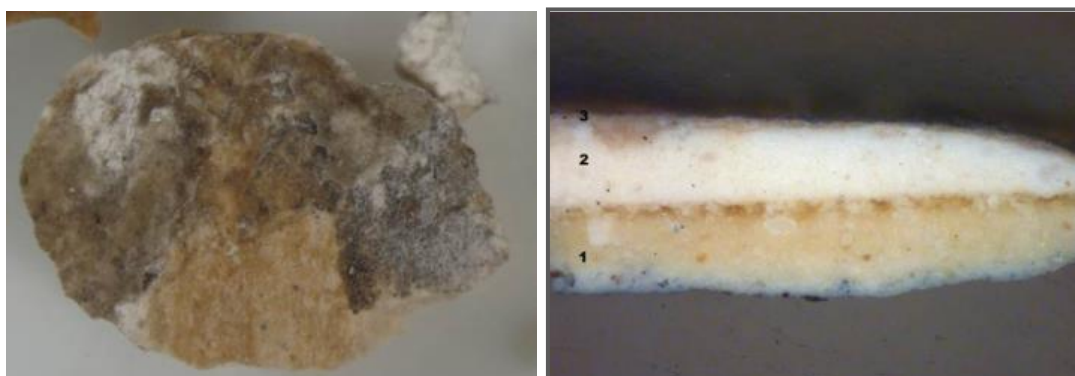


Figura 5.46.- Micrografías a la lupa de la muestra Ec1 en corte superficial y sección transversal. En la estratigrafía se identifican 2 capas de albayalde (1 y 2), así como la presencia de un recubrimiento superficial (3), aplicado con fines protectores. Estas dos aplicaciones de albayalde se presume que han sido separadas en el tiempo, por sus diferentes coloraciones, además si se observa con detalle la parte superior de la capa 1 se comprueba que existe una pátina de oxidación, ligeramente más ocre, generada por la exposición del albayalde a la humedad o por contacto con aglutinantes magros<sup>21</sup> (cola animal o carbonato o sulfato de calcio).

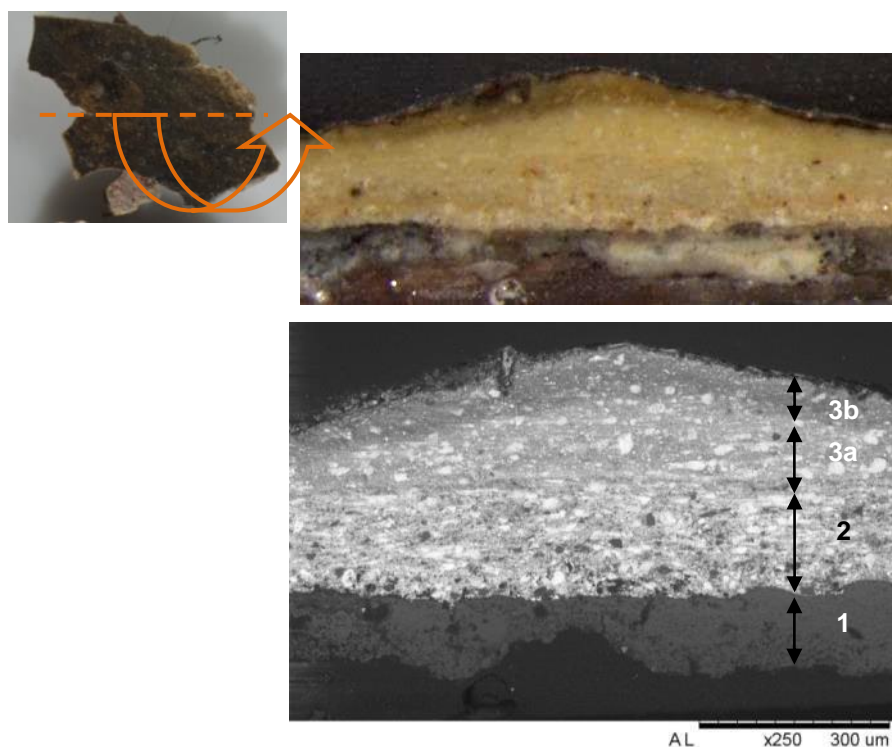


Figura 5.47.- Detalles macroscópicos y microscópicos, a la lupa binocular y al microscopio electrónico de barrido; respectivamente, de una estratigrafía de la muestra ArEB13. Ambas micrografías permiten observar la alternancia de una serie de capas de albayalde elaboradas con carbonato cálcico (calcita). En el caso de la capa más externa (capa 3), la morfología y textura de la misma sugieren una única aplicación, en dos manos (3a y 3b).

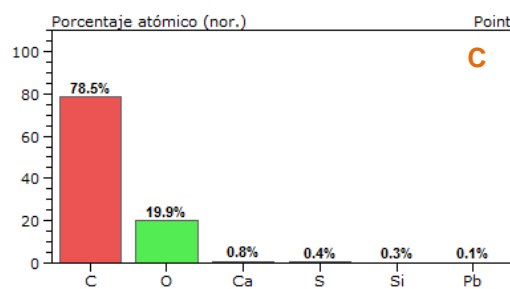
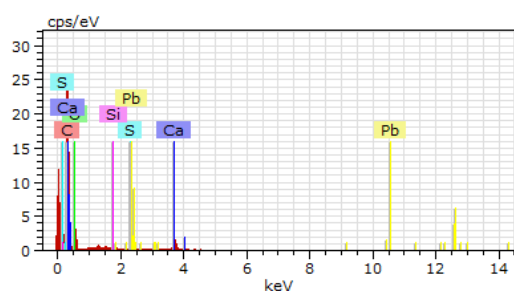
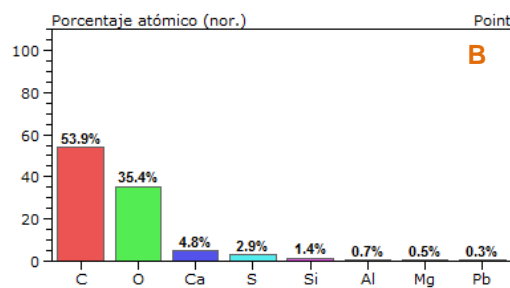
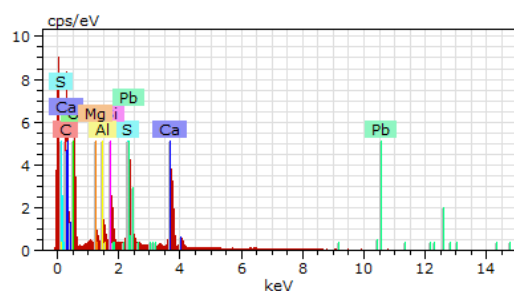
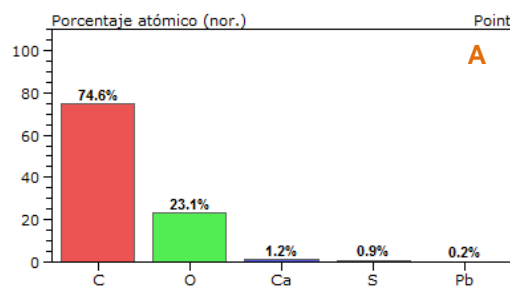
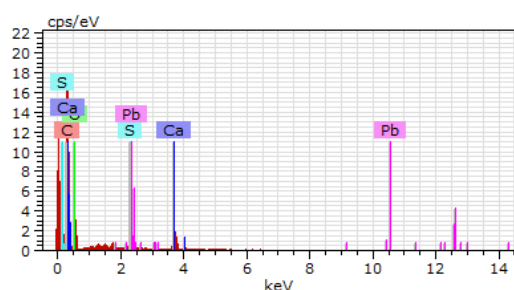
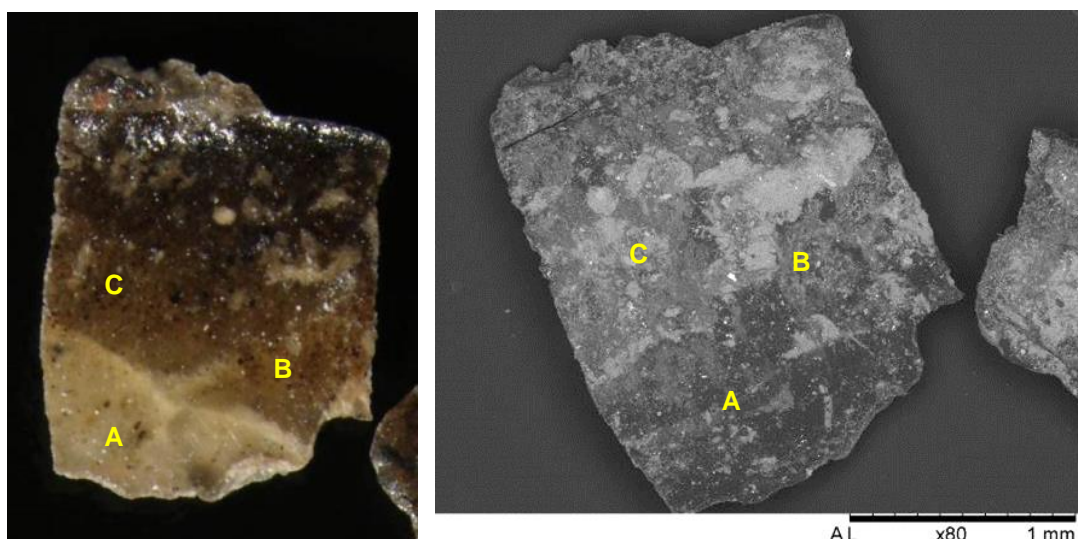


Figura 5.48.- Arriba: Aspecto macroscópico y microscópico de la muestra Ep18. Los espectros EDX y sus correspondientes histogramas de porcentajes atómicos reflejan la composición química de este recubrimiento pictórico. Se trata de una misma capa pictórica aplicada en tres manos, elaborada a base de yeso (sulfato cálcico), dolomita (carbonato cálcico magnésico), albayalde (carbonato básico de plomo), calcita (carbonato cálcico), cuarzo (sílice) y aluminosilicatos.

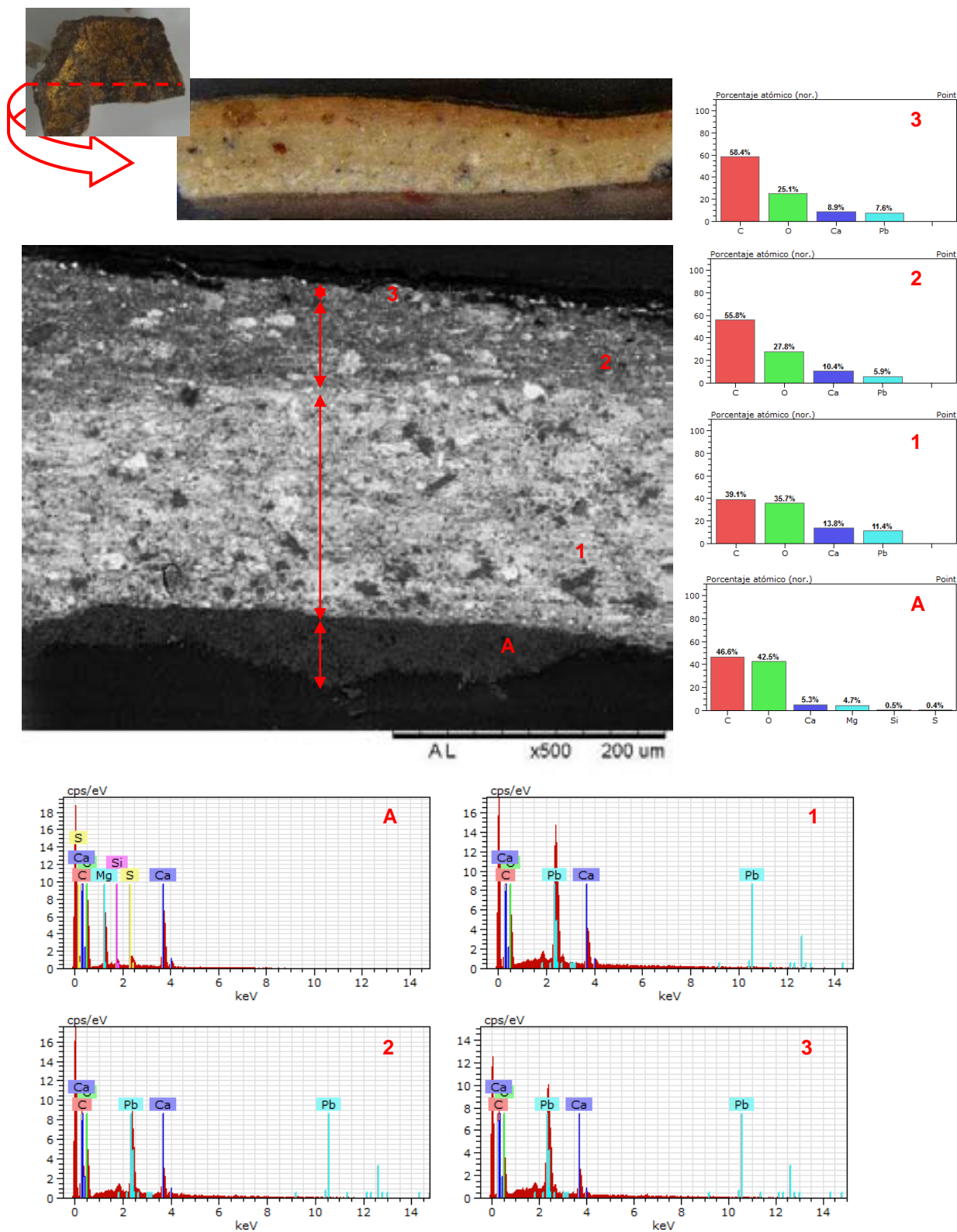


Figura 5.49.- Secuencia estratigráfica correspondiente a la muestra ArEB14. Del análisis morfoquímico de las micrografías y de sus correspondientes espectros EDX e histogramas de porcentajes atómicos se deduce una superposición de capas de albayalde (1-3), sobre el sustrato pétreo de Laspra (A), formuladas con carbonato cálcico (calcita), en mayor o menor proporción.

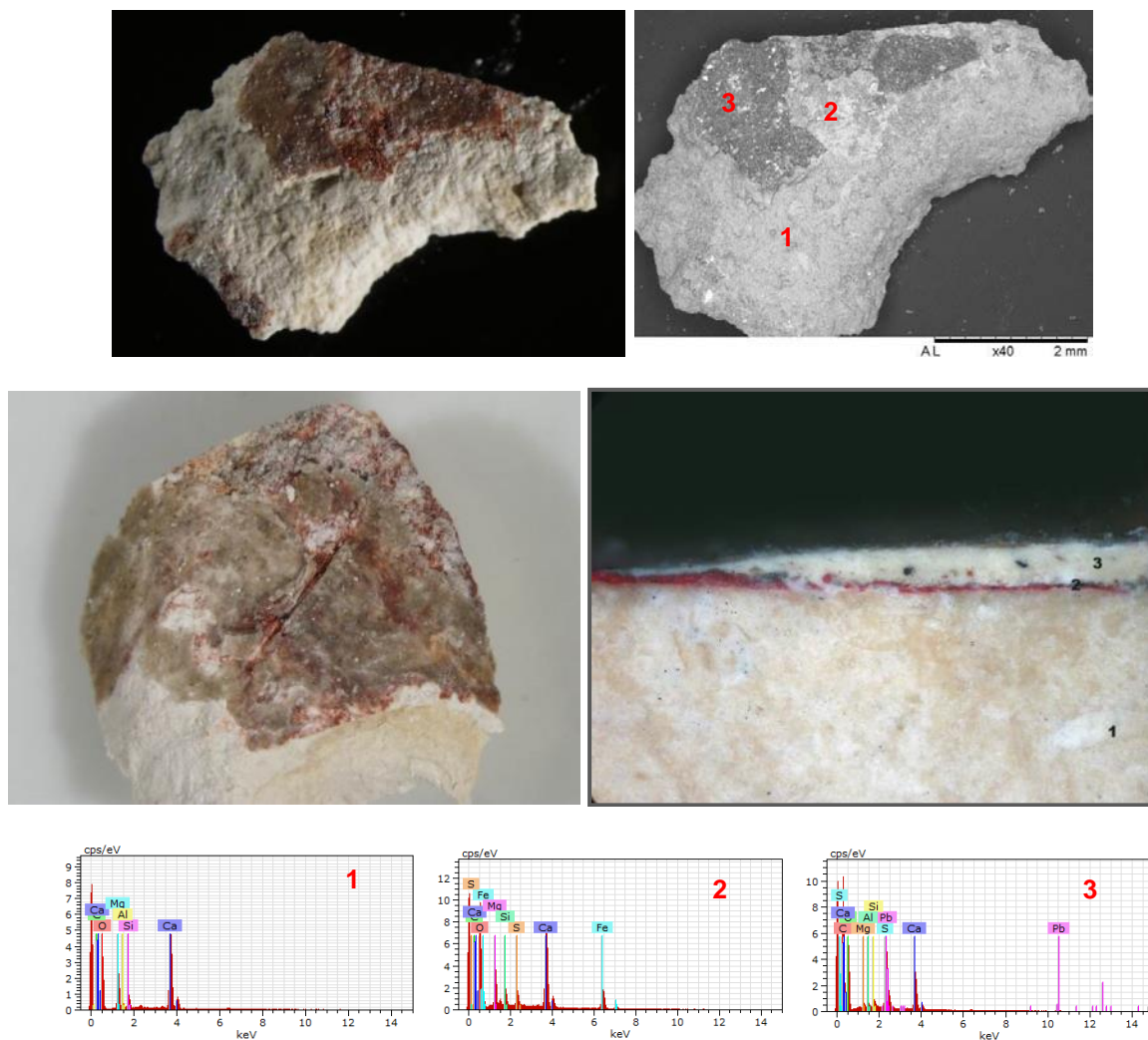


Figura 5.50.- Aspecto superficial y secuencia estratigráfica de la muestra AC22. Sobre la piedra de Laspra (1) se detecta una capa pictórica de color rojizo (1) de 15-30  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada a base de tierra roja, carbonato cálcico magnésico (dolomita), carbonato cálcico (calcita) y albayalde. Por encima de esta capa roja se identifica una capa de albayalde de color blanquecino de 20-100  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada a base de albayalde, negro carbón, carbonato cálcico (calcita) y silicatos.



Figura 5.51.- Estratigrafía de la muestra EF7. Sobre la piedra de Laspra (1) se dispone una capa de color rojo (2) de 10  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada a base de tierras rojas, albayalde, dolomita y yeso. Por encima de esta capa se detectan restos de otra capa de color blanquecino, con un espesor que varía entre 0 y 25  $\mu\text{m}$ , elaborada a base de albayalde, yeso y silicatos.

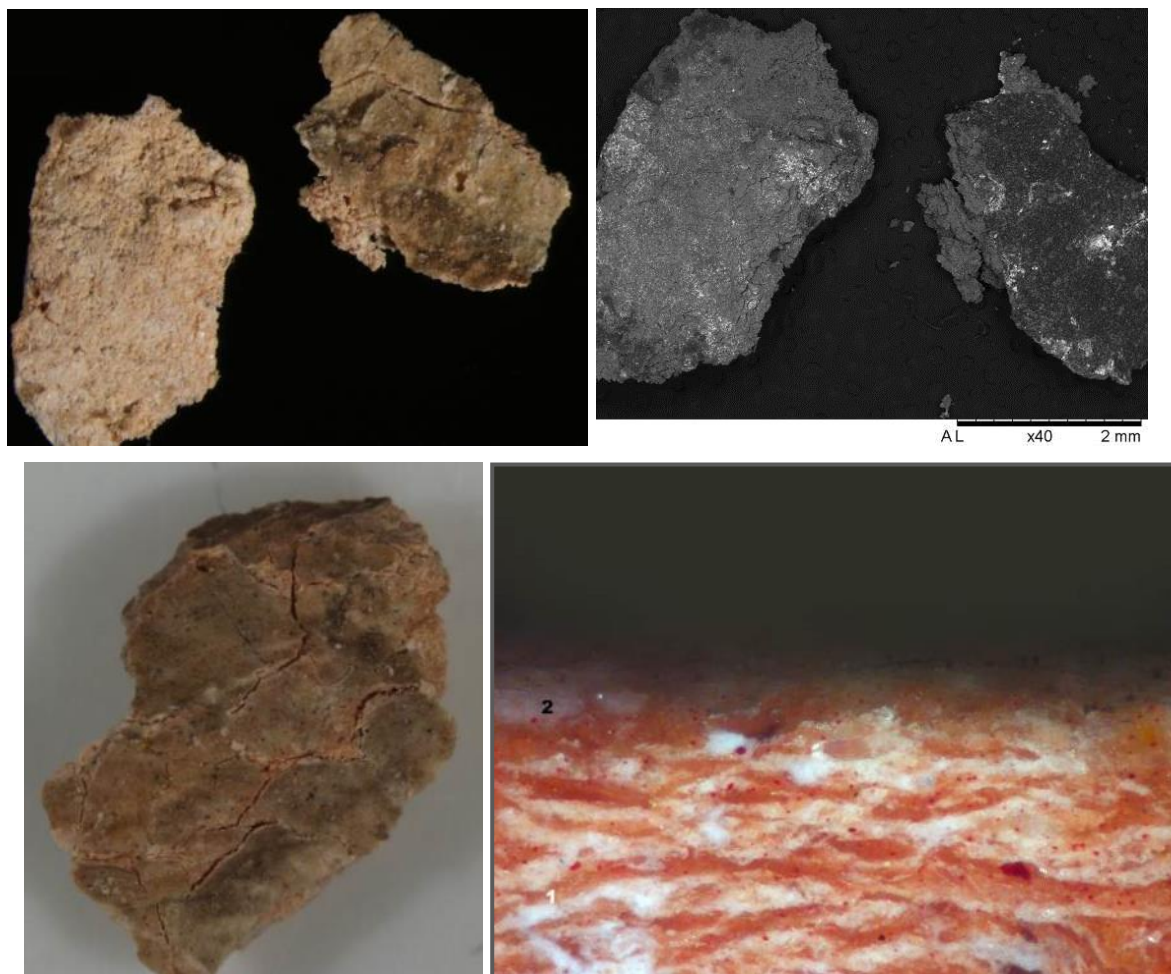


Figura 5.52.- Aspecto macroscópico, microscópico y estratigráfico de la muestra EC3. Sobre un estuco elaborado a base de tierras, de 900  $\mu\text{m}$  de espesor, se detectan restos de una capa de pintura de color blanquecino y 20  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada a base de albayalde, yeso y tierras naturales.

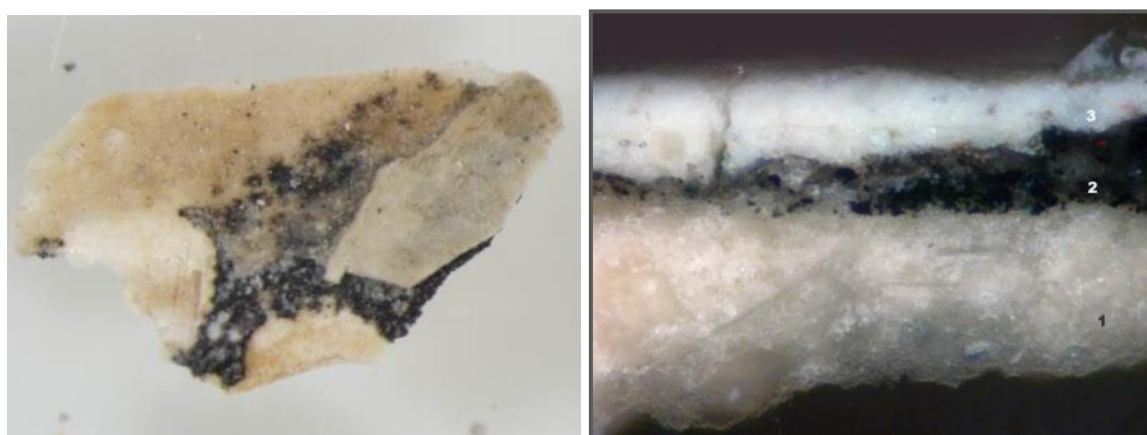


Figura 5.53.- Aspecto macroscópico y sección transversal de la muestra EF9. Del interior al exterior de la misma se detecta piedra de Laspra, una capa de pintura negra (elaborada a base de negro carbón y yeso) y otra capa de pintura blanca (elaborada a base de albayalde y calcita).

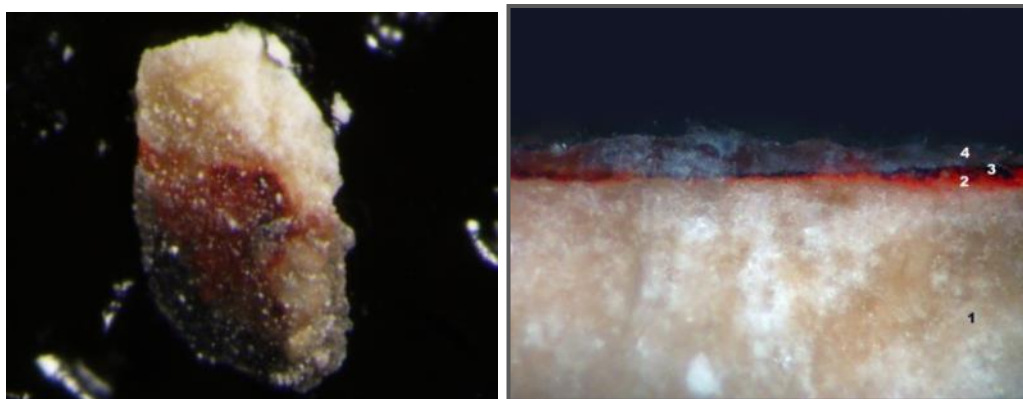


Figura 5.54.- Aspecto macroscópico y sección transversal de la muestra EF16. Directamente aplicada sobre Laspra (1) se detecta una capa de color rojo (2), restos de una posible capa de pintura de color negro (3) y un recubrimiento blanquecino (4).

De lo anteriormente expuesto, se establecen cinco tipos de albayalde con diferentes coloraciones, aplicados en diferentes momentos históricos o correspondiente a distintas intervenciones.

- *Albayalde ocre*
- *Albayalde rojo*
- *Albayalde blanco*
- *Albayalde gris*
- *Albayalde sobre estucos*

#### *Albayalde ocre*

Agrupación a las muestras EC1, DC34, Ep19, ArEB13 y ArEB14 (Figs. 5.45 a 5.47, 5.49 y 5.55). Con las siguientes características:

- Siempre mezclado con carbonato cálcico (calcita) y a veces, con silicatos.
- Directamente aplicado sobre la piedra de Laspra.
- Suelen llevar por encima una (EC1) o dos capas (Ep19) de albayalde blanco o rojo (ArEB13 y ArEB14).
- Se han detectado en capiteles, podios y arcos fajones.
- Se han identificado en los grupos E (San Pedro y San Pablo) y D (Santiago el menor y San Felipe).
- Siempre mezclado con aceite secante y resina de colofonia.
- A veces, aplicado en 2 manos (EC1 y ArEB13).
- Presenta espesores medios de 100  $\mu\text{m}$  que a veces aumentan, en función de que la capa haya sido aplicado en varias manos.

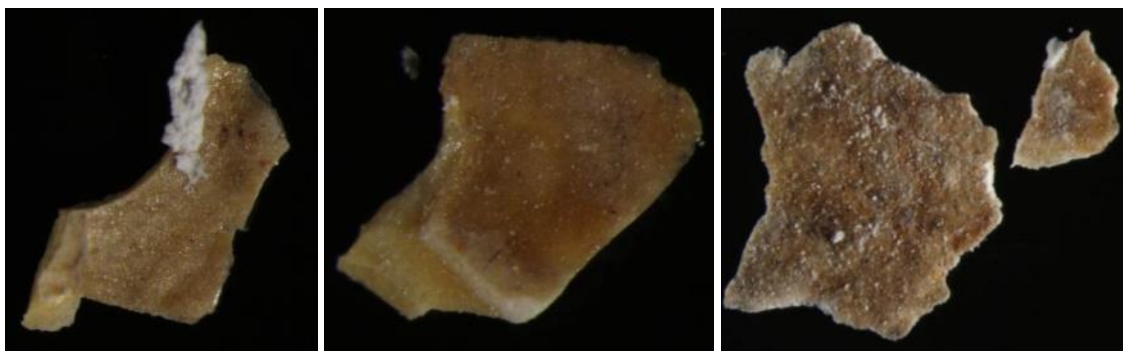


Figura 5.55.- Aspecto macroscópico superficial de algunas muestras que presentan *albayalde ocre*.

Cabe mencionar que el albayalde se ennegrece en presencia de ácido sulfhídrico, transformándose en sulfuro de plomo (PbS) negro<sup>269</sup> y en óxido de plomo (PbO<sub>2</sub>) marrón, con aglutinantes magros y en presencia de humedad, tomando a temperaturas moderadas un color amarillo brillante. Esta última parece la razón por la que actualmente lo observamos con un tono ocre y podría corresponder con el tono descrito por Víctor Hevia, Fernández Buelta y Sandoval como “pajizo”. Pudiera tratarse de una de las capas más antiguas detectadas en el apostolado.

#### Albayalde rojo

Agrupar a las muestras EF7, EF8, EF16, Ep17, Ac21, AC22, EF26, FF30, FF31 y ArEB13 (Figs. 5.50 a 5.51, 5.54, 5.56 y 5.57), con las siguientes características:

- Siempre mezclado con tierras rojas, sulfato cálcico (yeso), carbonato cálcico (calcita) y carbonato cálcico–magnésico (dolomita).
- Directamente aplicado sobre la piedra de Laspra.
- A veces sobre este rojo aparece una capa albayalde de color blanco sin negro carbón (EF7, EF8, EF16, EF26, ArEB13) o con negro carbón (EF16 y AC22).
- Se han detectado en capiteles, fustes, podios y arcos fajones.
- Se ha identificado en los grupos A (San Simón y San Judas), C (San Andrés y San Mateo), E (San Pedro y San Pablo) y F (Santo Tomás y San Bartolomé).
- Siempre mezclado con aceite secante y resina de colofonia.
- Los espesores medios de esta capa se sitúan en 20 µm.

Tal como aparece dispuesto sobre alguna de las superficies, observado incluso sobre rotos de piedra de Laspra (Fig. 5.60), se descarta que corresponda a una pintura de factura original. Es más, dada la proliferación de estos restos sobre mantos, fustes, podios, sin ningún criterio cromático, podría tratarse de una capa pictórica aplicada como base de preparación a una posterior aplicación policroma.

<sup>269</sup> Mateini, M y Moles, A. 2001. La química en la restauración. NEREA. Junta de Andalucía – Consejería de Cultura – IAPH.





Figura 5.56.- Aspecto macroscópico superficial de algunas muestras que presentan *albayalde rojo*.

#### *Albayalde sobre estuco*

Agrupar a las muestras EC3, EF6 y Ac20 (Figs. 5.51 y 5.58), con las siguientes características:

- Siempre aplicado sobre una capa elaborada a base de cuarzo, aluminosilicatos, sulfato cálcico (yeso), carbonato cálcico (calcita) y óxidos de hierro.

- Tiene muy poco espesor
- Se han detectado en capiteles, cimacios y fustes.
- Se han identificado en los grupos A (San Simón y San Judas) y E (San Pedro y San Pablo).
- Sin aceite secante y resina de colofonia.
- La capa de este albayalde presenta un espesor medio de 20  $\mu\text{m}$ .

Al igual que el grupo anteriormente descrito, podría tratarse de una base de preparación para la posterior aplicación de un repinte, del cual no quedan restos en la actualidad.



Figura 5.57.- Detalles de algunos de los restos pictóricos de albayalde rojo sobre superficies saltadas con anterioridad.

#### Albayalde gris

Agrupar a las muestras EC2, EC4, CF37 y EF11 (Figs. 5.45 y 5.59), con las siguientes características:

- Siempre mezclado con sulfato cálcico (yeso) y carbonato cálcico (calcita), en similar proporción  $\pm$  carbonato cálcico–magnésico (dolomita).
- Directamente aplicado sobre la piedra de Laspra.
- Se han detectado en capiteles y fustes.

- Se han identificado en los grupos C (San Andrés y San Mateo) y E (San Pedro y San Pablo).
- Siempre mezclado con aceite secante y sin resina de colofonia.
- Presenta espesores máximos de 10  $\mu\text{m}$ .

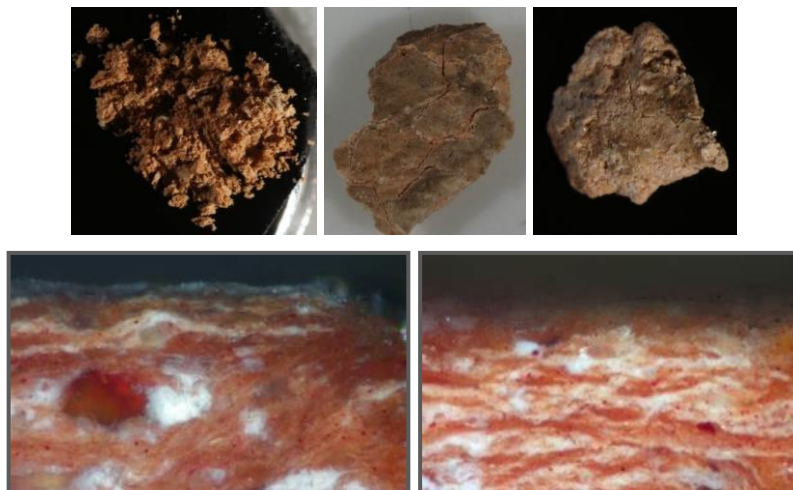


Figura 5.58.- Aspecto macroscópico y microscópico de las muestras en las que se ha detectado restos de una capa de albayalde de escasa potencia sobre una base de estuco.

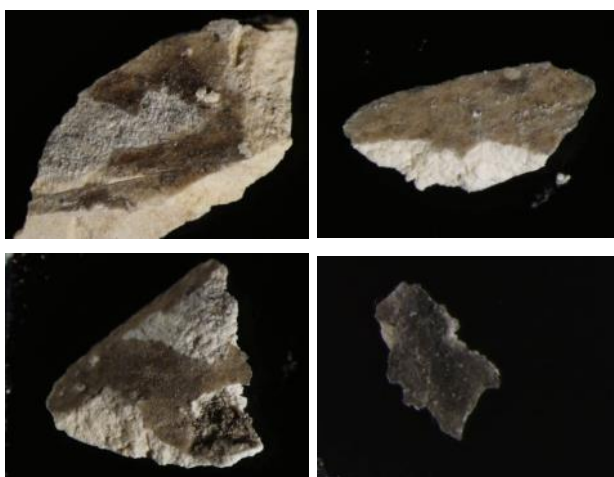


Figura 5.59.- Aspecto macroscópico de las muestras en las que se ha detectado restos de una capa, de escasa potencia, de albayalde de color gris.

### Albayalde blanco

Agrupar a 2 muestras EF8 y EF9 (Figs. 5.47, 5.50 y 5.60), con las siguientes características:

- Siempre mezclado con carbonato cálcico (calcita) y silicatos.
- Puede aparecer directamente aplicado sobre la piedra de Laspra o sobre alguno de los albayaldes anteriores: *ocre* (EC1 y Ep19) o *rojo* (EF7, EF8, EF16, AC22, y ArEB13).
- Se han detectado en fustes, capiteles, podios y arcos fajones.
- Se han identificado en los grupos escultóricos E (San Pedro y San Pablo) y A (San Simón y San Judas).
- Siempre mezclado con aceite secante, con o sin resina de colofonia.

Separados estos grupos de albayaldes según criterios cromáticos, cabe mencionar que ha habido una única muestra (ArEB13), (Fig.5.47), recogida en el arco fajón, donde se ha detectado una secuencia de superposición de hasta seis capas pictóricas con el consiguiente orden de aparición: *albayalde ocre- albayalde rojo- albayalde blanco* (Tabla 5.1).

Tabla 5.1.- Estratigrafía de la muestra ArEB13, donde se observa la secuencia más completa de superposición de albayaldes.

<b>Capa pictórica 6</b>		Albayalde y calcita	Albayalde y calcita
<b>Capa pictórica 5</b>		Albayalde y calcita	
<b>Capa pictórica 4</b>	Albayalde y calcita	Albayalde y calcita	Albayalde y calcita
<b>Capa pictórica 3</b>	Calcita, dolomita, yeso, cuarzo y albayalde	Cal y albayalde	Calcita y albayalde
<b>Capa pictórica 2</b>	Calcita, rojo hematites, dolomita, albayalde y yeso		Calcita, yeso, rojo hematites, dolomita y albayalde
<b>Capa pictórica 1</b>	Calcita y albayalde, dolomita, cloruros, yeso, óxidos de hierro y cuarzo		Albayalde y calcita
<b>Muestras</b>	<b>ArEB13a</b>	<b>ArEB13b</b>	<b>ArEB13c</b>

### **Rojo Hematites**

Este pigmento, también denominado *ocre rojo, almazarrón o almagra*, constituye un óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ), empleado desde la antigüedad en todas las técnicas pictóricas.

Seguido del albayalde, es el pigmento más frecuente en las muestras recogidas en el apostolado (muestras: EF7, EF8, ArEB13, EF16, Ep17, Ac21, AC22, EF26, FF30 y FF31), (Figs. 5.50 y 5.51) y como ya se ha descrito en el apartado anterior, aparece siempre acompañado de albayalde (Figs. 5.60 y 6.61). Un fenómeno, aparentemente contradictorio, es el aumento de la intensidad de un color al añadirse, una pequeña cantidad de blanco ya que se incrementa la difusión de la reflexión interna de la capa.

Sólo ha habido una muestra, la Ep17, en la que los contenidos de albayalde son tan bajos que podría corresponder a ínfimos restos de una capa suprayacente que pudiera contener este pigmento, aplicada con anterioridad (Fig. 5.60).

Cuesta y Sandoval<sup>270</sup>, en su memoria de intervención en la Cámara Santa, al referirse a la limpieza de los podios dicen «que estaban cubiertos por una pintura roja, de época relativamente moderna, ennegrecida por efecto del humo de las velas», hecho constatado por la abundancia de restos de cera en la superficie de las muestras.

<sup>270</sup> Cuesta y Sandoval (1920). "3ª Memoria de las intervenciones en la Cámara Santa".

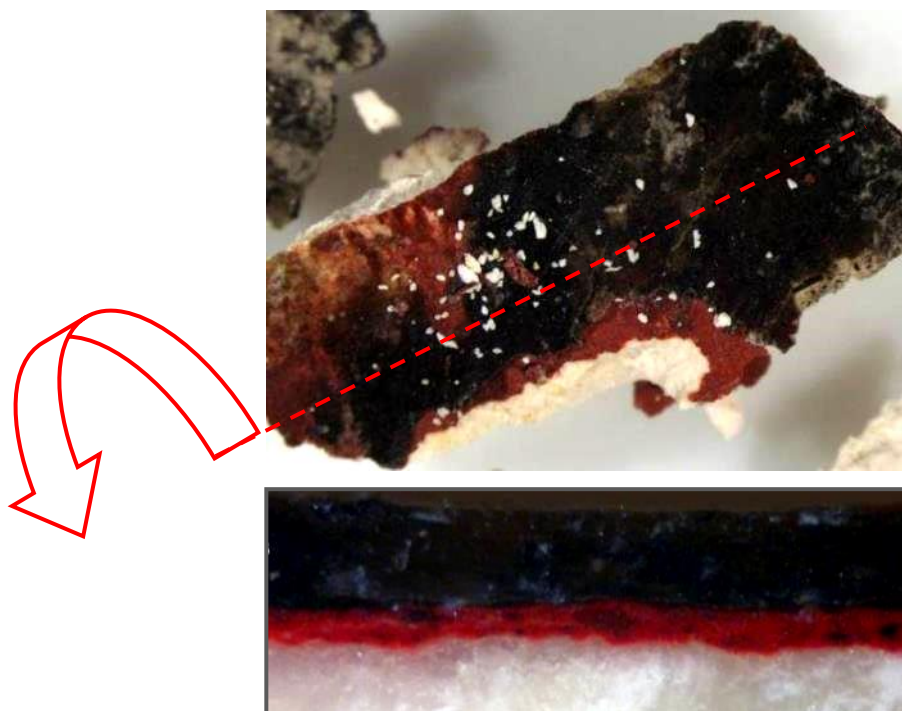


Figura 5.60.- Estratigrafía de la muestra Ep17. Sobre la dolomía de Laspra se detecta una capa pictórica de 30  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada a base de rojo hemetites con albayalde y yeso. Sobre la misma, se detecta un recubrimiento de 70  $\mu\text{m}$  de grosor, de naturaleza orgánica.

El empleo del *ocre rojo* (óxidos de hierro) o de la *tierra roja* (óxidos o hidróxidos de hierro impuros de arcillas) es frecuente en todas las técnicas (óleo, temple y fresco), fundamentalmente en las carnaciones al temple o para pulimento en el óleo<sup>271</sup>. Palomino dice que «por la fina textura de este pigmento puede usarse para iluminaciones o en las primeras manos en el fresco». En la figura 5.61 se observa la granulometría de este pigmento al SEM.

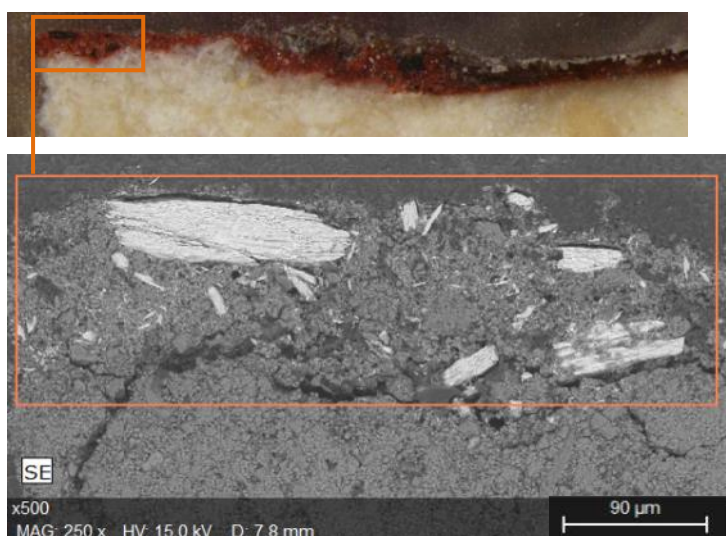


Figura 5.61.- Micrografías de la capa roja de la muestra pCS10, a la lupa y al SEM, donde es posible observar los cristales constituyentes del pigmento, denominado *rojo hematites*

<sup>271</sup> Pacheco, F. 2001. "El arte de la pintura". Cátedra, Madrid.

### **Negro carbón**

Este pigmento es «carbono amorfo de naturaleza vegetal y/o animal, elaborado a base de semillas quemadas, astillas de pino, sarmientos de viña, astas de venado, etc.» (Parrilla, 2007), ha sido detectado en las muestras EF16 y AC22, sólo o mezclado con albayalde, respectivamente.

### **Blanco de hueso**

Es fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) obtenido a partir de huesos calcinados y ha sido usado raramente en la antigüedad<sup>273</sup> aunque se conoce su uso en la pintura como estabilizante del blanco de plomo (Cabrera, 2010)<sup>272</sup>. En el capitel del grupo escultórico de San Pedro y San Pablo (muestra EC5) se ha detectado una capa de pintura de aspecto blanquecino–ocre, elaborada a base de *albayalde*, silicatos y *blanco de huesos* (Fig. 5.62). Aparece aplicada sobre otra inferior, elaborada a base de *albayalde*, calcita y silicatos. Esta última en contacto directo con la piedra de Laspra. Por su rareza y disposición podría tratarse de una de las capas pictóricas más antiguas o quizás original, aplicada sobre el apostolado. Es la única en la que, además, se ha identificado aceite de lino como aglutinante orgánico.

### **Minio**

Este pigmento también denominado *rojo de plomo*, *rojo Saturno* o *rojo parís* corresponde a un óxido mixto de plomo. Se conoce y utiliza desde la antigüedad en todas las técnicas pictóricas y presenta un color anaranjado con buen poder cubriente. Corresponde a una capa de color rojo-anaranjado y ha sido, únicamente, identificada en las muestras (EF25 y pCS15), en el manto de San Pablo (Figs. 5.63 a 5.65). Presenta un espesor de 100  $\mu\text{m}$  y está constituida por calcita, dolomita y óxido de plomo, pigmento denominado *minio* o *rojo de plomo* (Figs. 5.63 a 5.64). También se han detectado cloruros, de procedencia exógena. En superficie se detectan restos de un recubrimiento de cera de abeja que atrapa partículas de suciedad, yeso, calcita y aluminosilicatos.

### **Malaquita o verde montaña**

Corresponde a una capa pictórica de color verde–turquesa, localizada en la imposta sur de la sala de los apóstoles, sobre sustrato pétreo de Laspra (Fig. 5.66). Se trata de una capa pictórica de color verde, de espesor variable entre 128 y 440  $\mu\text{m}$ , elaborada a base de calcita y cuarzo, donde el pigmento responsable del color es la malaquita o verde montaña ( $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ), (Figs. 5.67). Sobre esta capa se identifican restos de cloruros de contaminación exógena. La malaquita es un pigmento utilizado desde la antigüedad hasta el siglo XIX, muy estable en condiciones normales, pero muy sensible a ácidos y bases.

---

<sup>272</sup> Cabrera J.M<sup>a</sup>. 2010. “La pátina como lenguaje de la piel en el patrimonio construido. Primeras referencias a la Santa Iglesia Catedral de Mallorca”. Encuentro científico de conservación y restauración del patrimonio arquitectónico. Palma 11 – 13 febrero de 2010. pp 11 – 31.

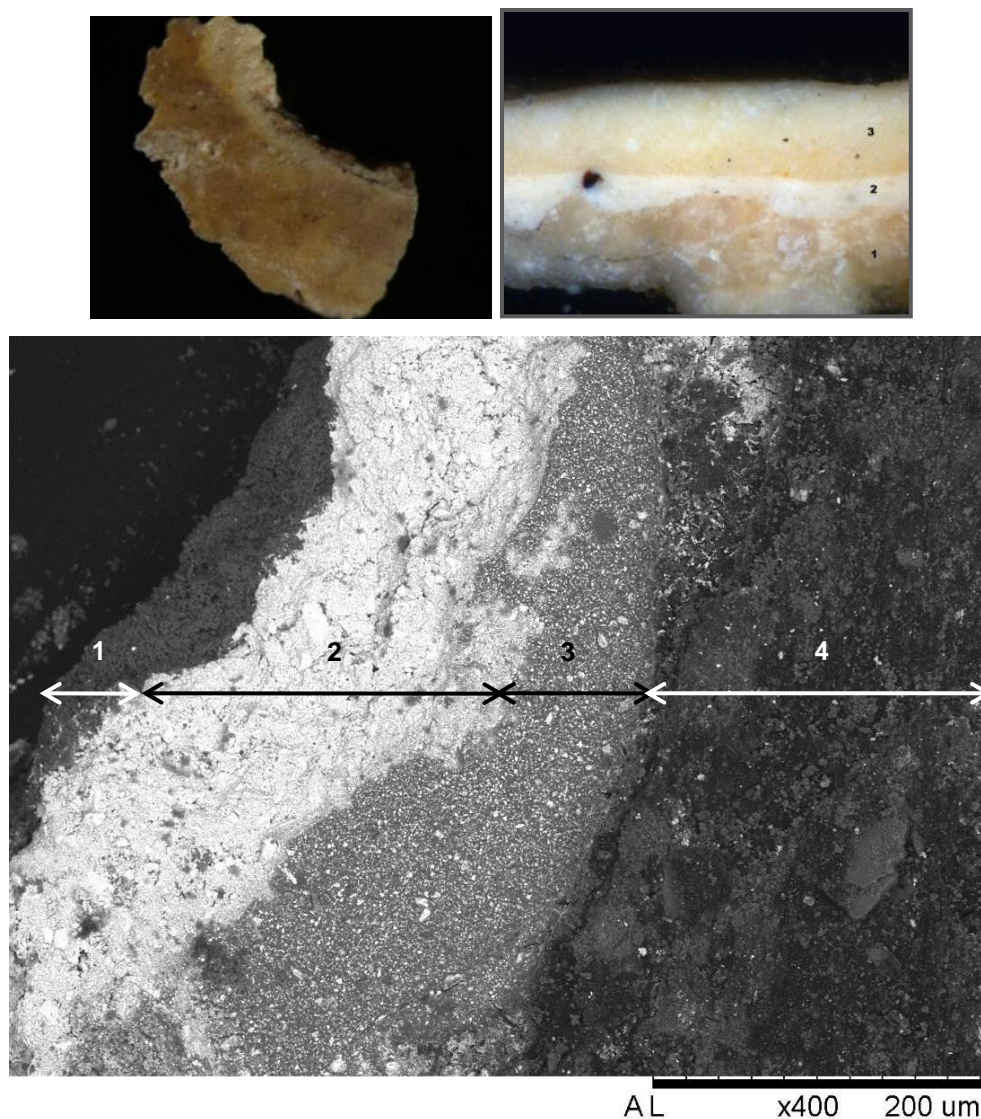


Figura 5.62.- Arriba: Aspecto macroscópico y estratigrafía de la muestra EC5. Sobre la dolomía de Laspra (1) se detecta una capa pictórica de 40  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada con albayalde, calcita y silicatos. Sobre ésta se dispone una capa ocre-blancuecina, de 110  $\mu\text{m}$  de espesor, que presenta como pigmentos y/o cargas *albayalde*, silicatos y *blanco de hueso*. Abajo: Micrografía al SEM del aspecto morfológico y textura de la secuencia estratigráfica.



Figura 5.63.- Punto de extracción de la muestra pCS15, en el manto del apóstol San Pablo que presenta el color anaranjado de minio.

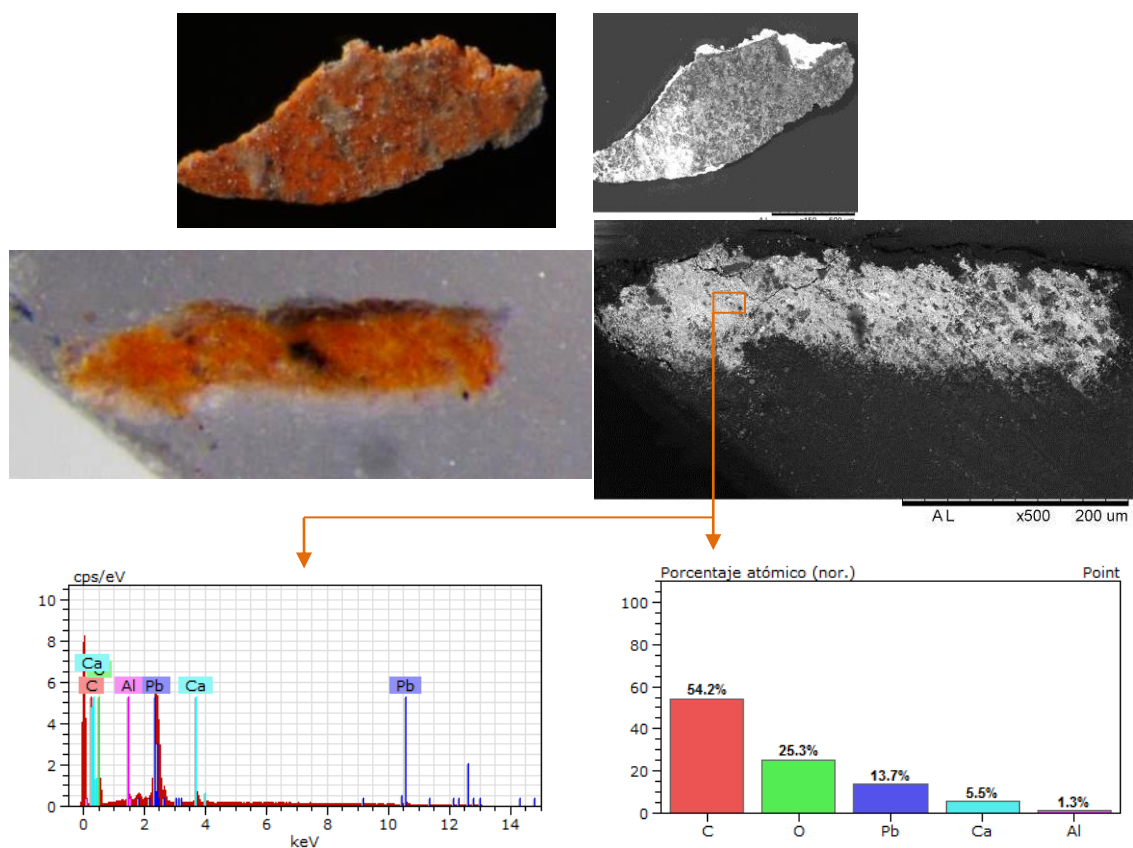


Figura 5.64.- Aspecto macroscópico y microscópico y en sección transversal de la muestra EF25 con su correspondiente espectro EDX y su tabla de porcentajes atómicos. El pigmento responsable del color de esta capa es el minio.

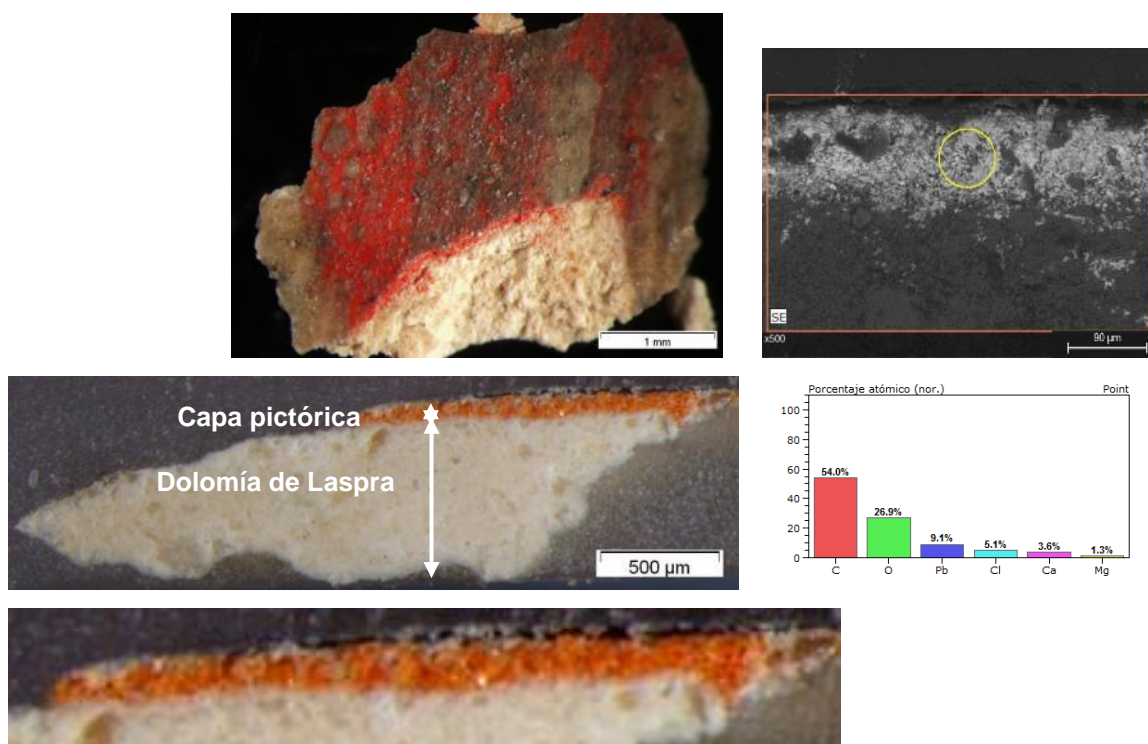


Figura 5.65.- Aspecto de la muestra pCS15 en superficie y en sección transversal, a la lupa binocular y al SEM-EDX, con análisis morfoquímico de la capa pictórica anaranjada, aplicada sobre la dolomía de Laspra. El histograma de porcentajes atómicos indica la presencia de oxígeno (O), carbono (C), plomo (Pb), cloro (Cl), calcio (Ca) y magnesio (Mg) que se combinan para formar óxido de plomo ( $Pb_3O_4$ ), cloruros, calcita y dolomita.





Figura 5.66.- Punto de extracción de la muestra pCS13, Corresponde a una capa pictórica de color verde turquesa, localizada sobre la imposta sur de la cámara Santa.

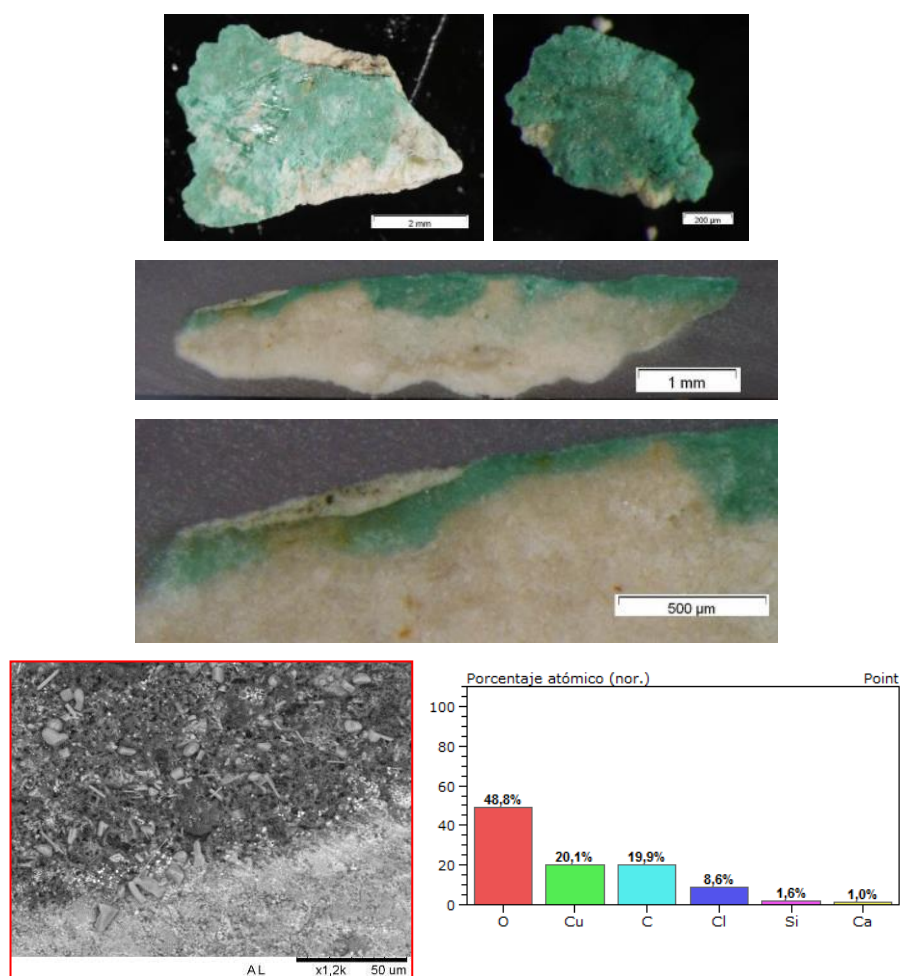


Figura 5.67.- Aspecto macroscópico y microscópico de la capa pictórica de la muestra pCS13, en superficie y en sección transversal. Se trata de una capa de pintura de espesor muy variable, aplicada directamente sobre la dolomía de Laspra. Los elementos químicos identificados en la capa de pintura han sido: oxígeno (O), cobre (Cu), carbono (C), cloro (Cl), silicio (Si) y calcio (Ca), los cuales se combinan entre sí para formar carbonato de cobre, cloruros, cuarzo y calcita.

### Resinato de cobre

Corresponde a una muestra de pintura de color gris-verdoso detectada, a modo de restos, sobre alguno de los capiteles, durante la limpieza láser del apostolado (Fig. 5.68). El análisis morfoquímico

de la muestra pCS14 indica que sobre una capa de color ocre–amarillento, elaborada a base de *albayalde* y *tierras rojas* se observa una capa de color verdoso. Esta última capa, probablemente aplicada en dos manos, está constituida mayoritariamente por *albayalde* y un pigmento de naturaleza orgánica (*resinato de cobre* o *verde jugo*), (Fig. 5.68). Este pigmento se utiliza desde el siglo VIII hasta mitad del siglo XVI y se obtiene por disolución de una sal de cobre en resina natural (colofonia o trementina). Proporciona un color verde intenso, transparente y homogéneo, muy sensible a luz que lo descompone, volviéndolo oscuro. Se ha utilizado frecuentemente, mezclado con pigmentos blancos para preparar fondos o imprimaciones<sup>273</sup>. Este pigmento podría corresponder al repinte que llevó a Ambrosio de Morales, en 1586, a confundir la piedra de Laspra con mármoles veteados. La presencia mayoritaria de *blanco de plomo* en esta capa verde induce a pensar que pudo haber sido combinado con el *resinato de cobre* para conseguir el aspecto marmóreo, acorde con los fustes de las columnas del camarín, reutilizados de construcciones anteriores.

### **Azul de Prusia**

El *azul de Prusia* es un ferrocianuro férrico descubierto a principios del siglo XVIII, empleado frecuentemente hasta la primera mitad del siglo XX. Esta capa pictórica de color azul-verdoso ha sido identificada en el podio de San Andrés y San Mateo (Fig. 5.69). Los análisis morfoquímicos, al SEM-EDX, indican que la capa pictórica está constituida por albayalde, cloruros, calcita y *azul de Prusia* (Fig. 5.70). En la superficie de la muestra se detecta yeso de neoformación.

### **Oro**

Sobre una de las dovelas del arco fajón, localizado entre los grupos escultóricos E y B (muestra ArEB12) se ha detectado una lámina de oro (Fig. 5.71). Esta lámina aparece aplicada sobre tres capas pictóricas de *albayalde*.

Por último y con carácter anecdótico cabe mencionar que sobre uno de los podios estudiados se ha identificado, a modo de gotas, un repinte de color verde (muestra Ep19) y asociados a algunas muestras (EC4, EC5 y EF10) se han identificado pequeños cristales de micas del tipo biotita (Fig. 5.72). M<sup>a</sup> Luisa Gómez, comenta que este tipo de partículas de forma plana se usan como «soportes de las lacas coloreadas en las capas superiores, tendiendo a depositarse sobre sus planos basales unas sobre otras, dificultando el paso de agua a través de la capa de pintura, haciéndolas más impermeables».

---

<sup>273</sup> Matteini M. y Moles A. (2001). “La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico”. Ed. Nerea. Junta de Andalucía – Consejería de Cultura – IAPH. P. 63.

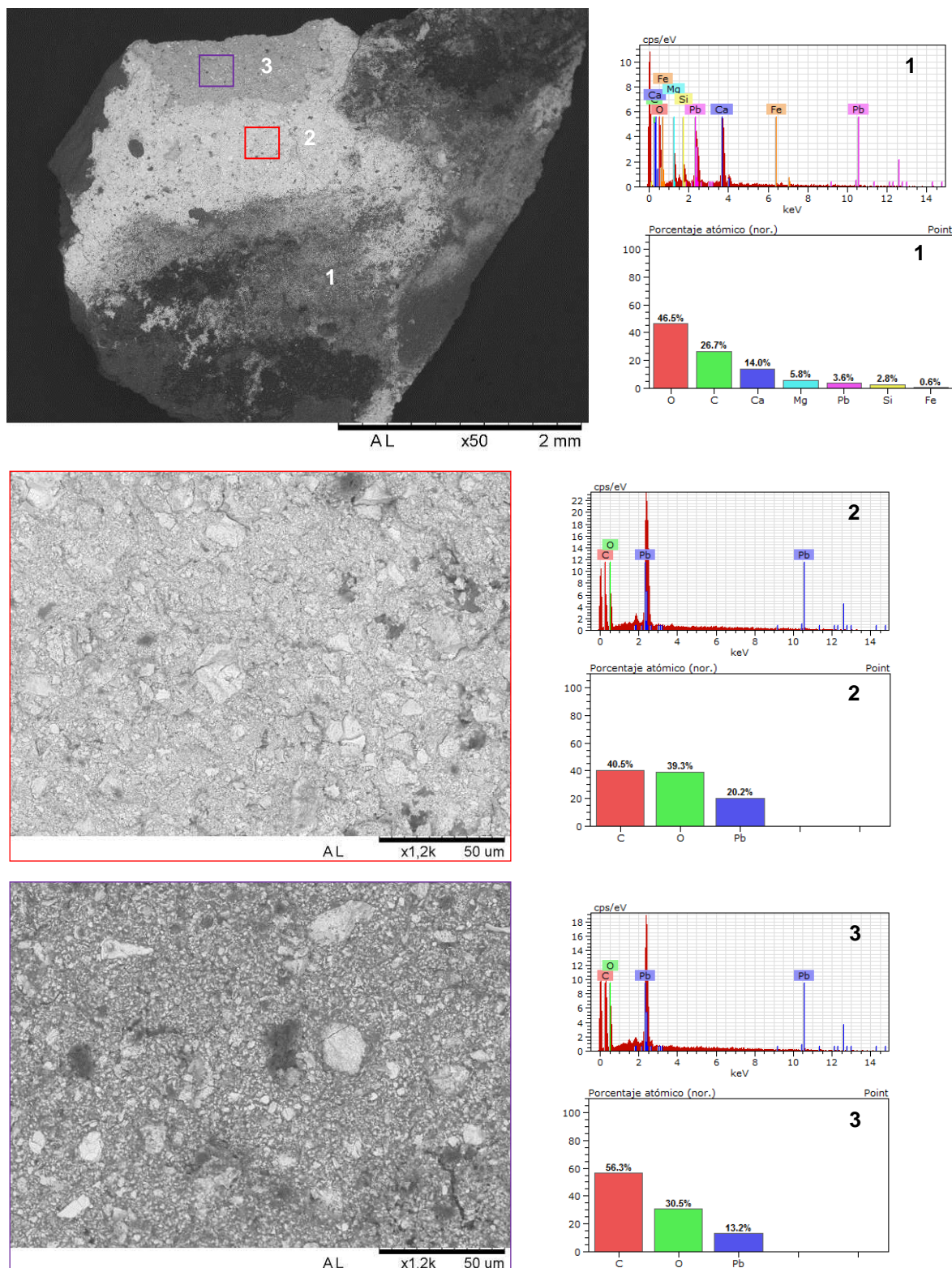


Figura 5.68.- Micrografías de la muestra pCS14 al SEM-EDX, con sus correspondientes análisis morfoquímicos. Los espectros EDX e histogramas de porcentajes atómicos, muestran oxígeno (O), carbono (C), calcio (Ca), magnesio (Mg), plomo (Pb), silicio (Si) y hierro (Fe), en la capa de color ocre (microanálisis 1). Estos elementos se combinan entre sí para formar calcita, dolomita, *albayalde*, cuarzo y óxidos de hierro (*tierra roja*). Los análisis de la capa verde, posiblemente aplicada en dos manos, (microanálisis 2 y 3), indican la presencia de carbono (C), oxígeno (O) y plomo (Pb), los cuales se combinan para formar mayoritariamente carbonato de plomo ( $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ), pigmento denominado *blanco de plomo* o *albayalde* y *resinato de cobre*.

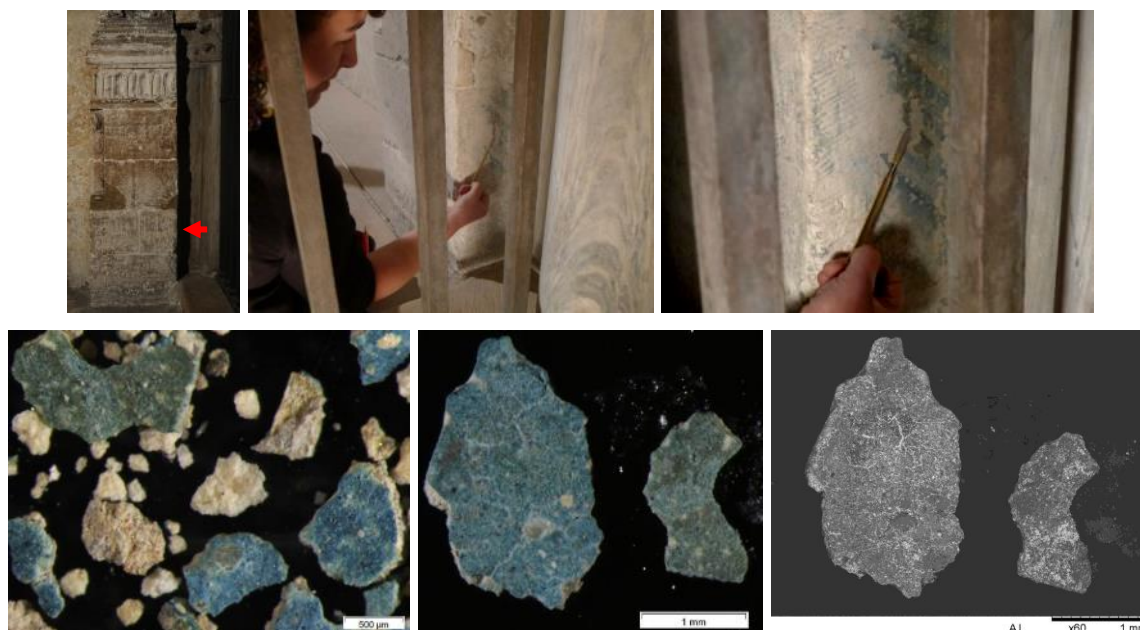


Figura 5.69.- Arriba: punto de extracción de la muestra pCS16, localizada en el podio del grupo escultórico constituido por San Andrés y San Mateo. Abajo: aspecto macroscópico y microscópico al SEM del pigmento azul de Prusia.

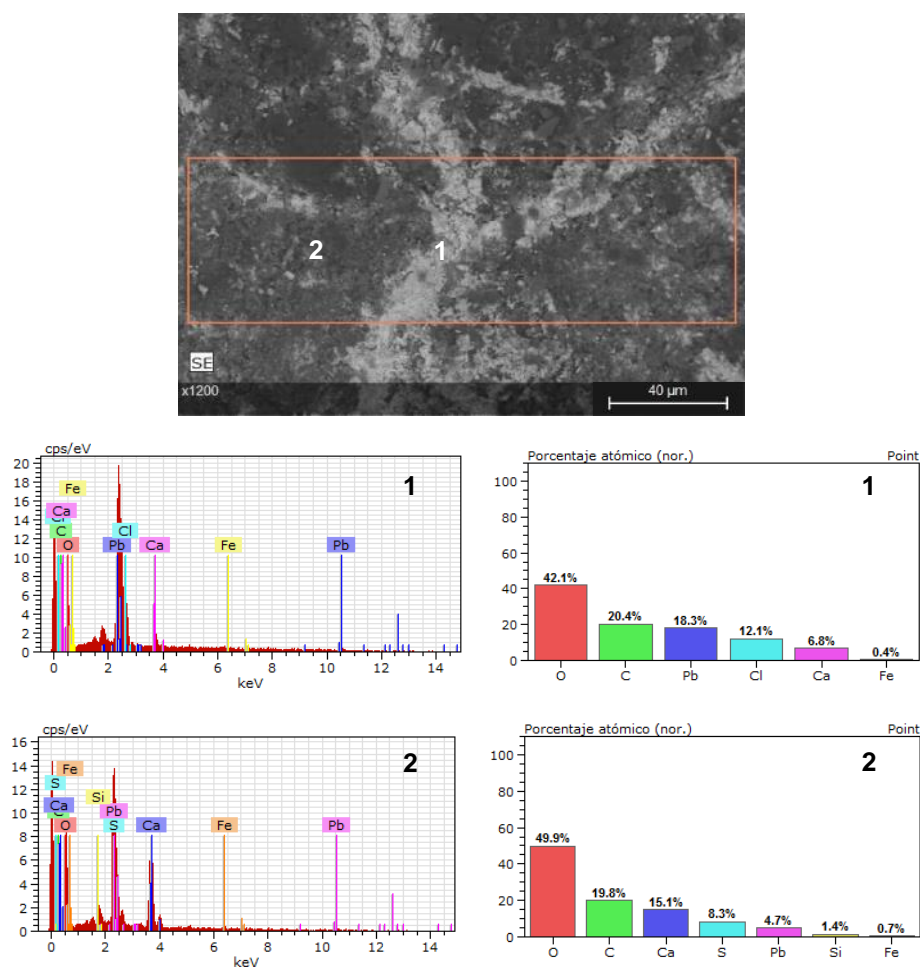


Figura 5.70.- Análisis morfoquímicos, al SEM-EDX, de la superficie de la muestra pCS16. De los espectros EDX y de sus correspondientes histogramas de porcentajes atómicos, se deduce la presencia de un carbonato básico de plomo (*albayalde*), cloruros, calcita y ferrocianuro férrico ( $\text{Fe}_4(\text{Fe}(\text{CN})_6)_3$ ), (*azul de Prusia*). Superficialmente se ha detectado calcita, cuarzo y yeso, este último, probablemente de neoformación.

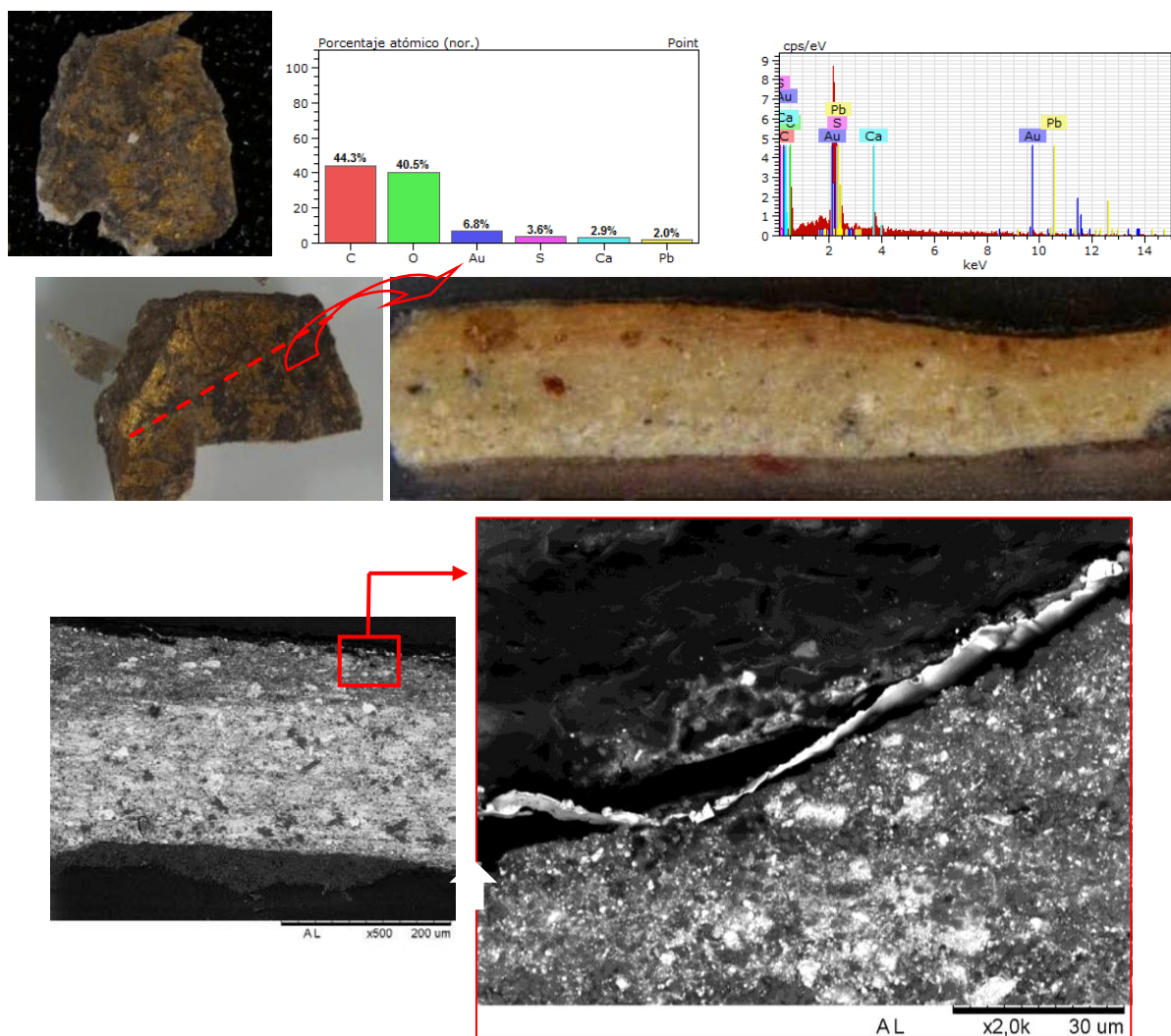


Figura 5.71.- Aspecto macroscópico, microscópico y espectro EDX con su correspondiente histograma de porcentajes atómicos de una lámina de oro, detectada en la muestra ArEB12.

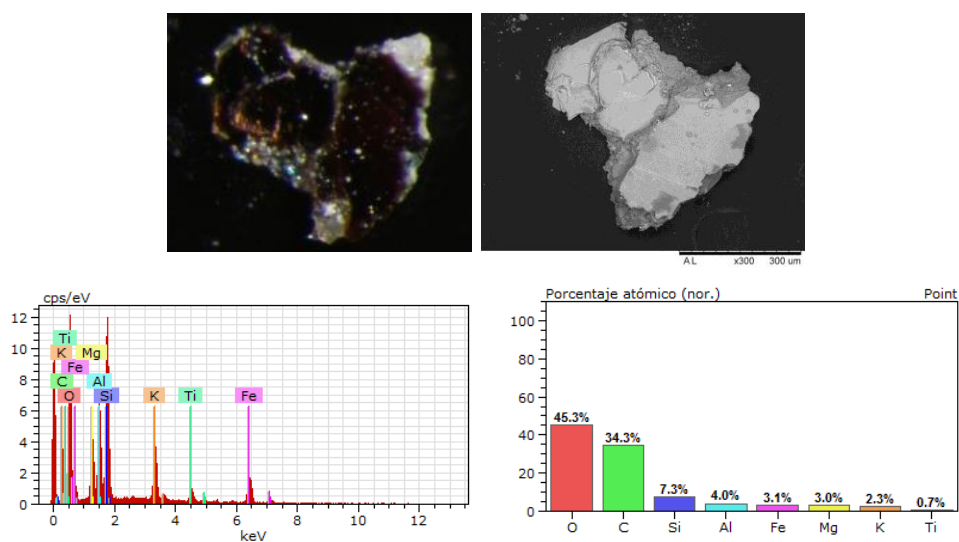


Figura 5.72.- Aspecto macroscópico, microscópico y espectro EDX con su correspondiente histograma de porcentajes atómicos de un cristal de biotita, recogido en la micromuestra EC5.

## ***Pintura sobre mortero***

La pintura mural analizada en la Cámara Santa, correspondiente a 8 muestras: mcCS3, mcCS4, mcCS6, mcCS7, mcCS9, mcCS21, mcCS23 y mcCS24 que se describen a continuación. La mayoría se concentran en la bóveda del camarín y se pudo acceder a ellas al retirar las vitrinas que las ocultaban parcialmente. Las de las salas de los apóstoles constituyen pequeñas lagunas coloreadas de los revocos interior y exterior.

### Muestra mcCS3

Corresponde a una muestra de pintura sobre revoco, recogida en el interior del camarín, bajo la imposta de la bóveda del paramento sur (Fig. 5.73). A escala macroscópica, se identifican dos capas pictóricas, de color rojo y negro, aplicadas sobre un mortero de color blanco (Fig. 5.74). Podría parecer que la disposición del color va alternando, dependiendo del motivo pictórico representado, pero en sección transversal, la capa de color rojo siempre aparece directamente aplicada, sobre el enlucido del mortero.

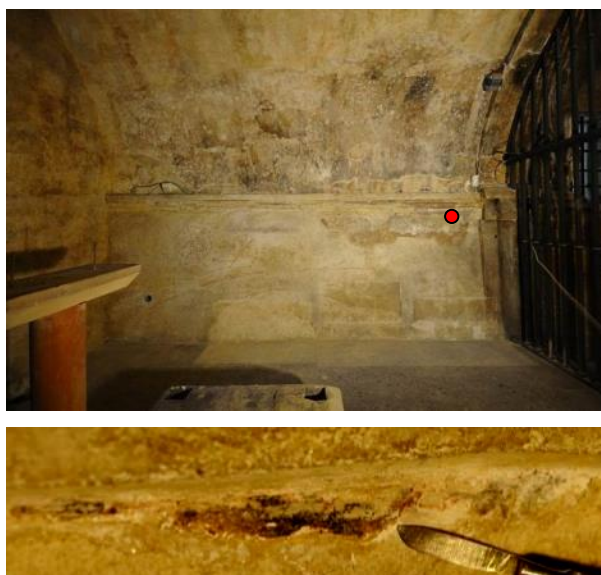


Figura 5.73.- Localización del punto de extracción de la muestra mcCS3 en el interior del camarín.

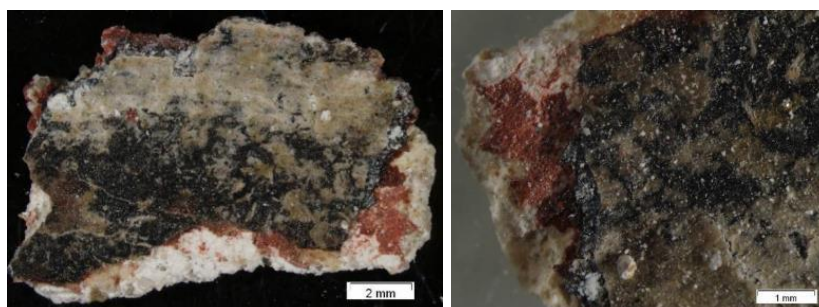


Figura 5.74.- Arriba: Aspecto macroscópico a la lupa binocular de la muestra mcCS3. Sobre el revoco exterior se dispone la capa roja y sobre ella la capa pictórica de color negro.

La capa de color rojo, presenta un espesor medio de 81  $\mu\text{m}$  y está elaborada mayoritariamente, por calcita y óxidos de hierro, aunque también presenta algo de cuarzo, dolomita y yeso (Fig. 5.75). El pigmento responsable del color de esta capa es el *ocre rojo*. La capa pictórica de color negro presenta un espesor máximo de 326  $\mu\text{m}$ , textura granuda y composición química a base de carbono (Fig. 5.75), correspondiente al pigmento *negro humo*.

Los análisis morfoquímicos, al SEM-EDX, han permitido observar que sobre un revoco, de 804  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborado a base de granos de cuarzo y fragmentos de madera, unidos entre sí por una matriz carbonatada, se dispone una capa pictórica de color rojo, sobre la que aparece otra, de color negro. Por encima de esta última se detecta un recubrimiento de color pardo-grisáceo. El sustrato sobre el que aparece la capa pictórica corresponde al denominado *revoco exterior*, identificado en las muestras mcCS1, mcCS2 superior y mCS8 superior.

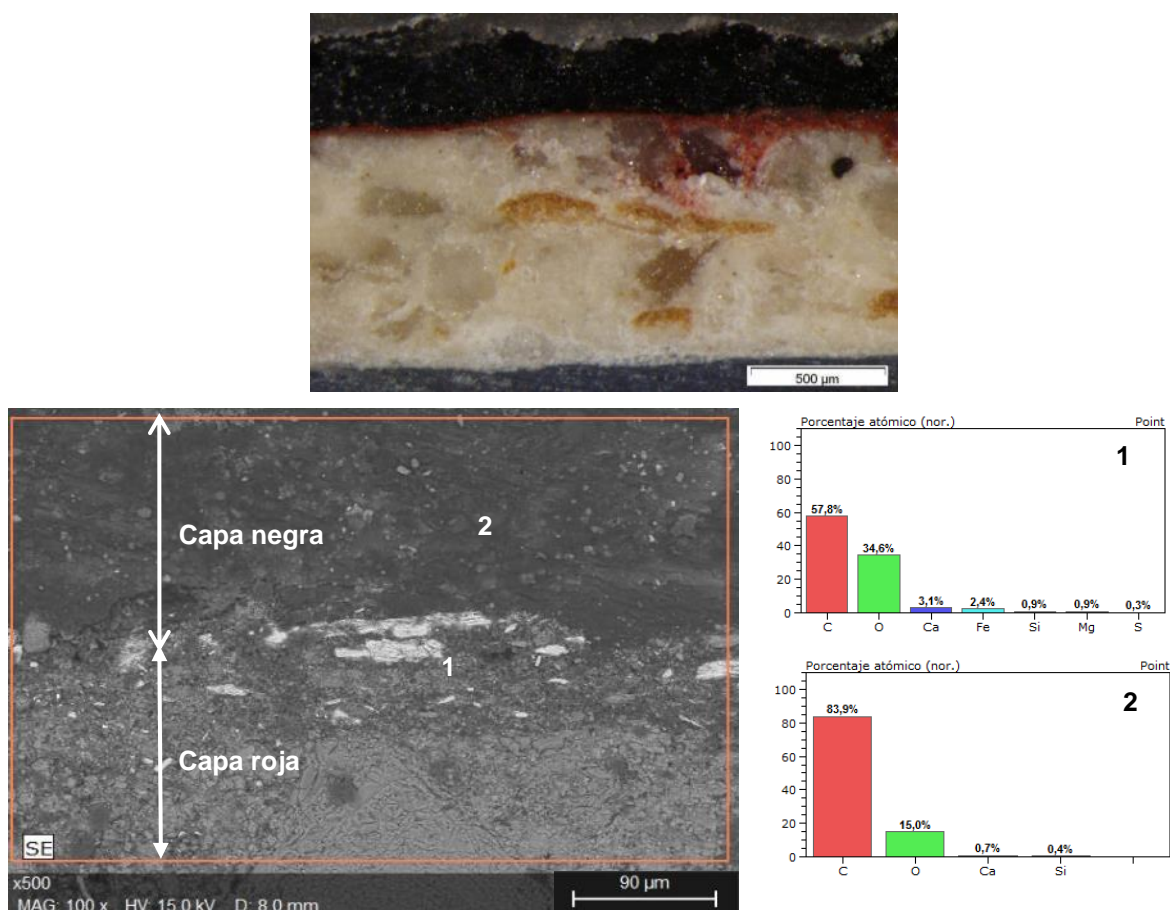


Figura 5.75.- Micrografías y análisis morfoquímicos al SEM-EDX de las capas pictóricas de la muestra mcCS3 con sus histograma de porcentajes atómicos. Los microanálisis realizados en la capa roja indican que está formada por calcita, óxidos de hierro, cuarzo, dolomita y yeso (análisis 1). La capa negra, de textura granuda es muy rica en carbono (análisis 2).

Sobre la capa negra se observa un recubrimiento discontinuo en dos capas: una inferior de 71  $\mu\text{m}$  de espesor, elaborada con yeso, calcita, algo de cuarzo y dolomita y otra superior de 30  $\mu\text{m}$  de potencia, a base de cal (Fig. 5.76). En superficie se detecta un recubrimiento de cera de abeja, de

26 µm de espesor, que atrapa en su interior partículas de calcita y cuarzo, en proporciones variables.

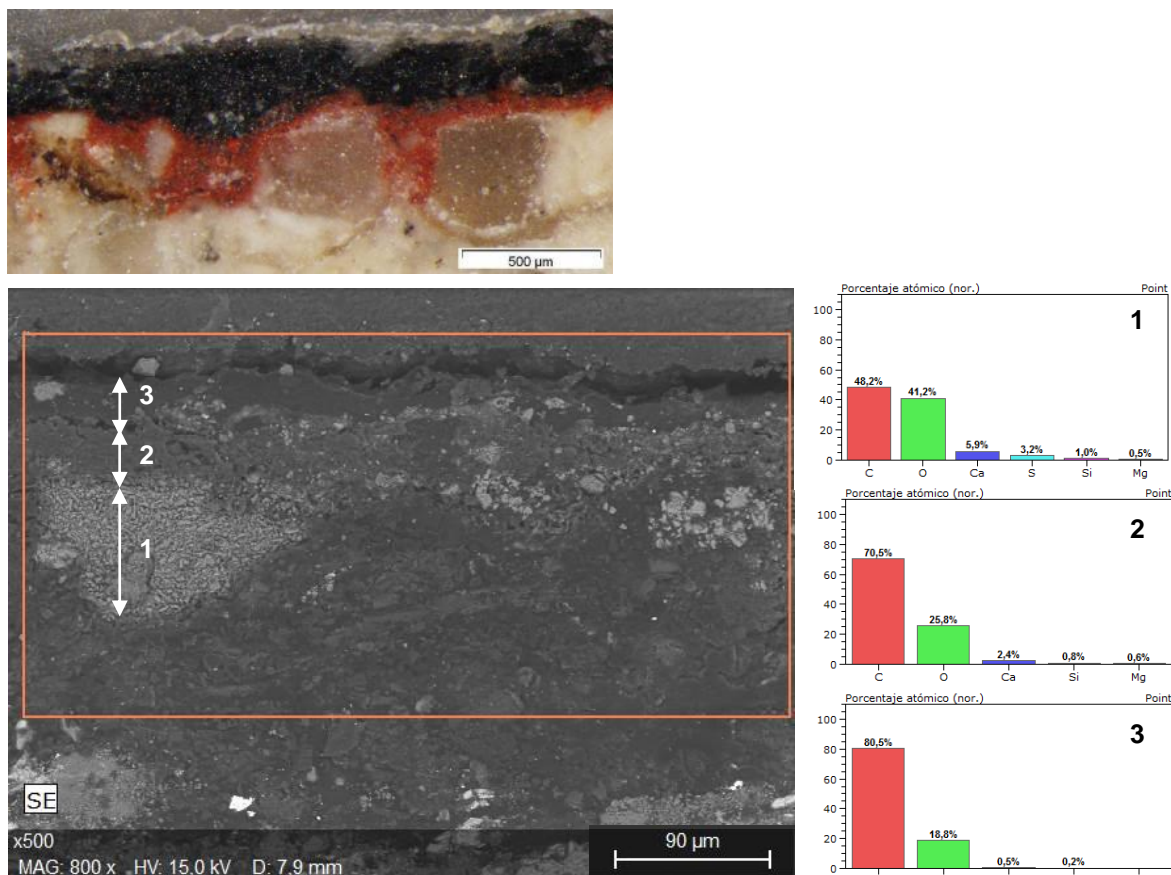


Figura 5.76.- Macro y micrografía y análisis morfoquímicos al SEM-EDX de la muestra mcCS3. En el análisis 1 se detecta carbono (C), oxígeno (O), calcio (Ca), azufre (S) y algo de silicio (Si) y magnesio (Mg), que se combinan para formar yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y algo de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). En el análisis 2, además de calcita, se detecta abundante carbono, en porcentaje más elevados en el análisis 3. Se trata de un recubrimiento de cera de abeja (confirmado mediante FTIR).

#### Muestra mcCS4

Corresponde a una muestra de pintura recogida por encima de la imposta del muro sur del camarín (Fig. 5.77). Texturalmente en la estratigrafía del mortero se detectan dos capas: una de grano fino más externa y otra, de grano grueso, más interna.



Figura 5.77- Localización del punto de extracción de la muestra mcCS4.



Macroscópicamente, sobre la muestra mcCS4 se detectan restos pictóricos de color rojo y negro, aunque la superficie expuesta presenta un recubrimiento pardo–grisáceo (Figs. 5.78 a 5.79).

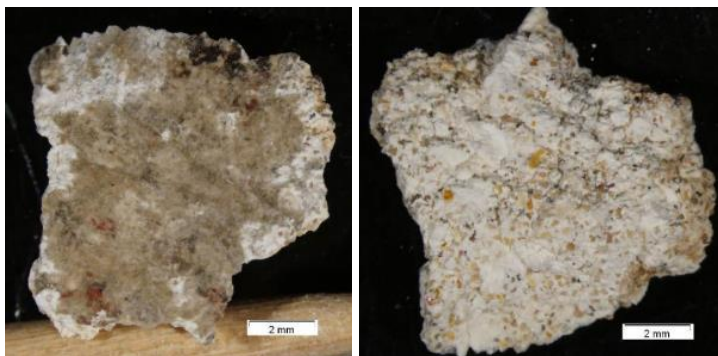


Figura 5.78.- Aspecto macroscópico de la muestra mcCS4 en superficie externa e interna, a izquierda y derecha, respectivamente.

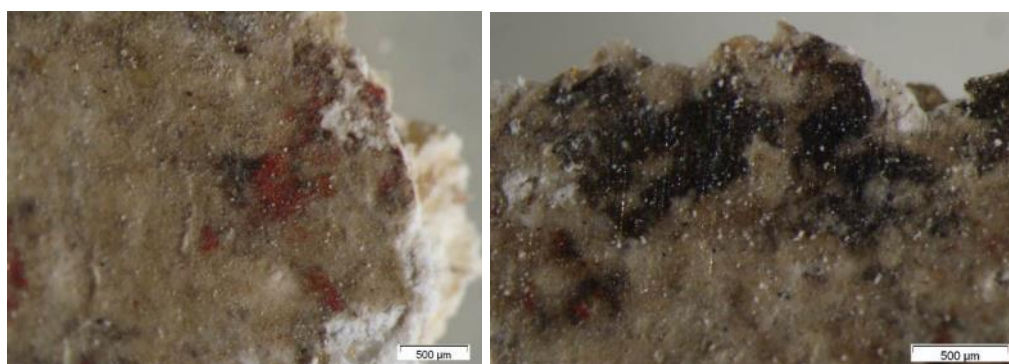


Figura 5.79.- Detalles de los restos pictóricos detectados en la superficie de la muestra mcCS4, a la lupa binocular.

El sustrato base corresponde al denominado *revoco interior*, identificado en más muestras: mcCS2inf., mcCS4, mcCS5, mcCS8inf., mCS11 y EPa32. Se trata de un enlucido de grano fino, de 1,5 mm de espesor, elaborado a base de granos de cuarzo, fragmentos de valvas y nódulos de cal, inmersos en un conglomerante carbonatado (Fig. 5.80). Sobre este enlucido se detecta una base de preparación de color blanco, de 80 µm de espesor, elaborada a base de calcita y cuarzo, posiblemente aplicada en dos manos (Fig. 5.81). Sobre esta base anterior, se dispone una capa pictórica de color rojo que en determinadas zonas puede alcanzar espesores de 28 µm, elaborada a base de calcita, yeso, dolomita, *bermellón* y albayalde (Fig. 5.81).

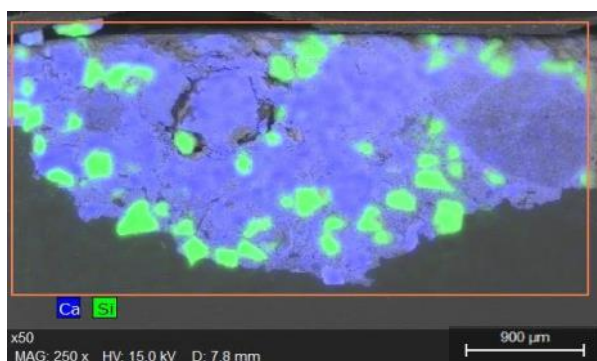


Figura 5.80.- Micrografía al SEM con mapeo superpuesto de los elementos químicos más representativos [calcio (Ca) y silicio (Si)]. Además de granos de cuarzo, se detectan fragmentos de bioclastos y nódulos de cal.

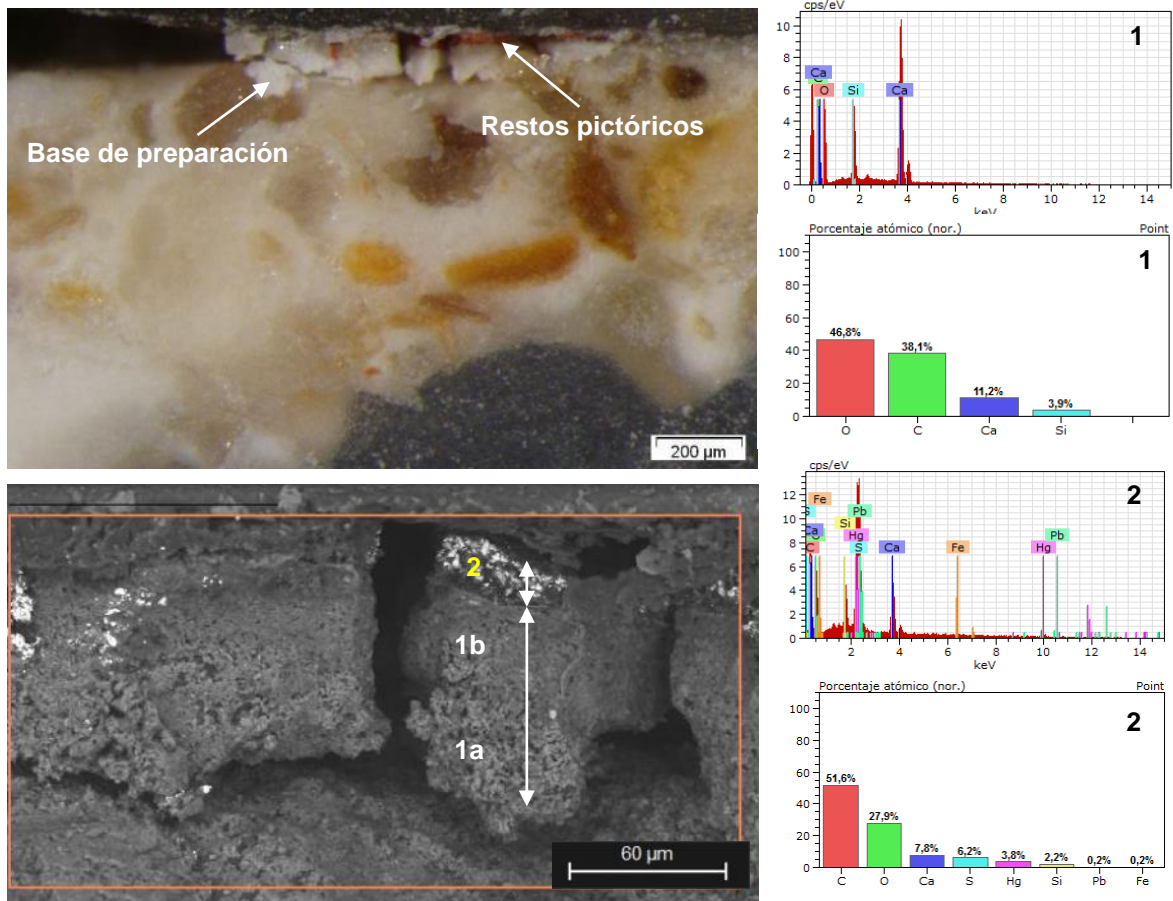


Figura 5.81- Macrografía, micrografías y análisis morfoquímicos al SEM-EDX de una sección transversal de la muestra mcCS4. Sobre el enlucido superficial se observa una base de preparación rica en cal y cuarzo (análisis 1), probablemente aplicada en dos manos. Los microanálisis realizados en la capa pictórica (análisis 2) han detectado carbono (C), oxígeno (O), azufre (S), calcio (Ca), mercurio (Hg) y silicio (Si). Estos elementos se combinan entre sí para formar calcita, albayalde, cinabrio (HgS) y cuarzo.

En corte transversal ha sido imposible analizar la capa pictórica de color negro, debido a la escasez de potencia de la misma, por lo que se procedió a su microanálisis superficial (Fig. 4.82). Se trata de una capa rica en compuestos carbonosos que, además, presenta algo de calcita, yeso y aluminosilicatos.

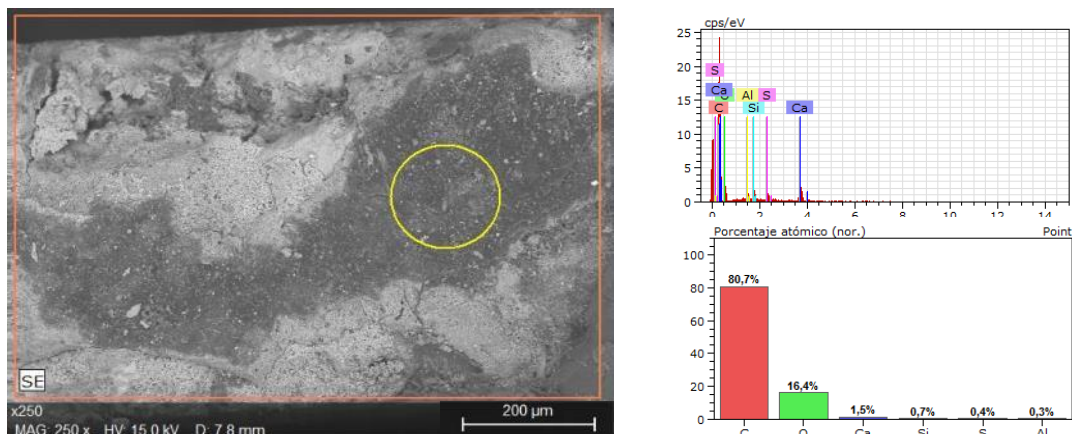


Figura 5.82.- Micrografía al SEM donde se observan los restos de la capa pictórica de color negro de la muestra mcCS4. Los elementos detectados han sido carbono (C), oxígeno (O), calcio (Ca), silicio (Si) y aluminio (Al), de lo que se deduce una composición carbonosa, correspondiente al pigmento *negro de humo*.

### Muestra mcCS6

Corresponde a otra muestra de pintura recogida en el interior del camarín, en la parte sur de la bóveda, donde alternan los colores rojo y negro (Figs. 5.83 a 5.84), sobre un mortero de grano fino, de 1,6 mm de espesor que corresponde al revoco exterior identificado en las muestras: mcCS1, mcCS2 sup., mcCS3, mcCS6, mcCS8 sup, mCS9, mCS23, mCS24 y EPa33



Figura 5.83.- Localización del punto de extracción de la muestra mcCS6.

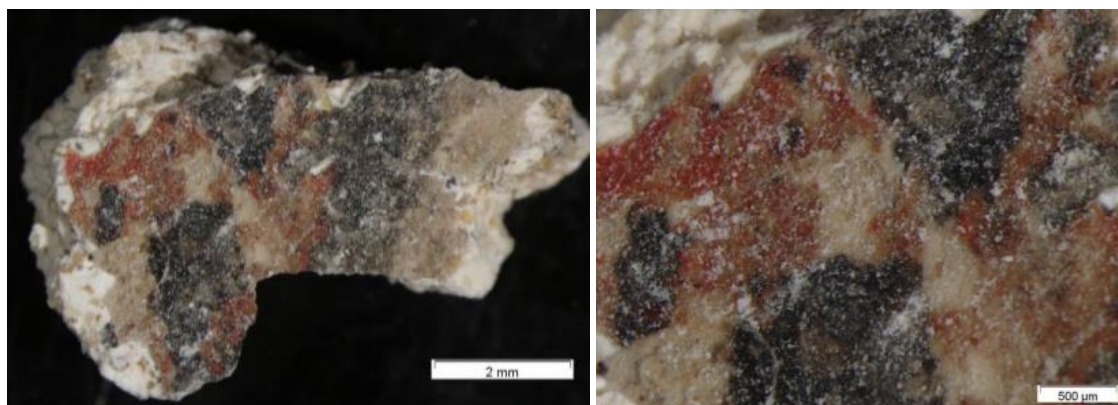


Figura 5.84.- Aspecto macroscópico de la muestra mcCS6, en superficie externa e interna, de izquierda a derecha respectivamente y detalle de la capa pictórica roja y negra (abajo).

Las secciones transversales de la muestra mcCS6 permiten observar que entre el enlucido y la capa pictórica, se detecta una base de preparación de 40 µm de espesor, elaborada a base de yeso y calcita (Fig. 5.85 y 5.86). La capa de pintura presenta un espesor medio de 18 µm y en ella van alternando lateralmente restos de capas de pintura de color rojo y negro. Los microanálisis, al SEM-EDX, muestran una composición a base de *bermellón*, *albayalde*, calcita, yeso, dolomita y cuarzo, en las zonas rojas y de carbono, calcita y algo de yeso, en las zonas negras (Figs. 5.85 y 5.86). Ambos pigmentos parecen haber utilizados simultáneamente en el mismo momento, sin que en ninguna zona de la muestra se detecten superposiciones entre ellos.

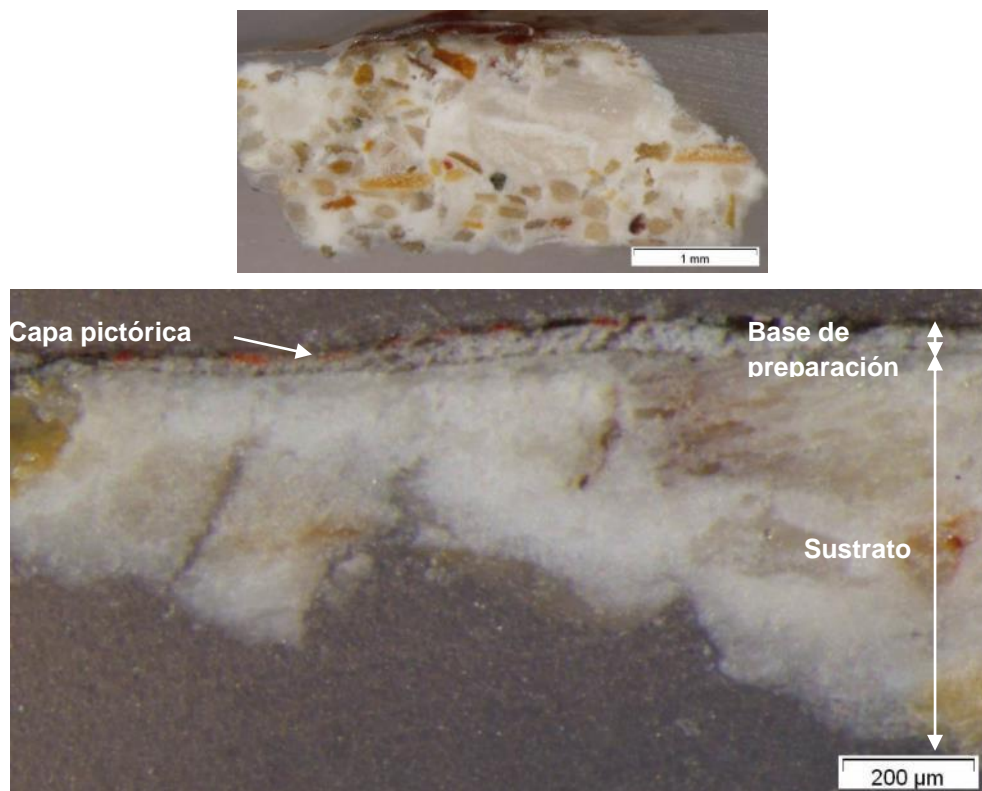


Figura 5.85.- General y detalle de una sección transversal de la muestra mcCS6, a la lupa binocular. En las micrografías se identifica, del interior al exterior, el *revoco exterior* con fragmentos de madera, una base de preparación y la capa pictórica. En la imagen inferior la alternancia de rojos y negros en la capa pictórica.

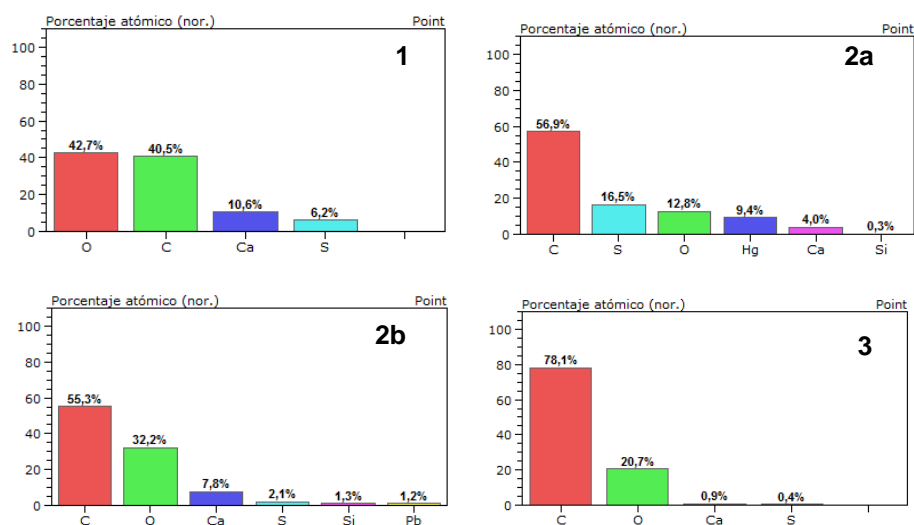


Figura 5.86.- Análisis morfoquímico al SEM-EDX e histogramas de porcentajes atómicos de la pintura y base de preparación de la muestra mcCS6. El análisis 1; corresponde a la base de preparación, los análisis 2a y 2b; a la pintura roja y el análisis 3; a la pintura negra.

### Muestra mcCS7

Corresponde a una muestra recogida en uno de las pellas de color rojizo, observados en la bóveda sur del camarín (Fig. 5.87). Aunque la muestra presenta una pátina de suciedad de color grisáceo, bajo ésta es posible identificar una capa pictórica de color rojizo-anaranjado (Fig. 5.88).



Figura 5.87.- Localización del punto de extracción de la muestra mcCS7.

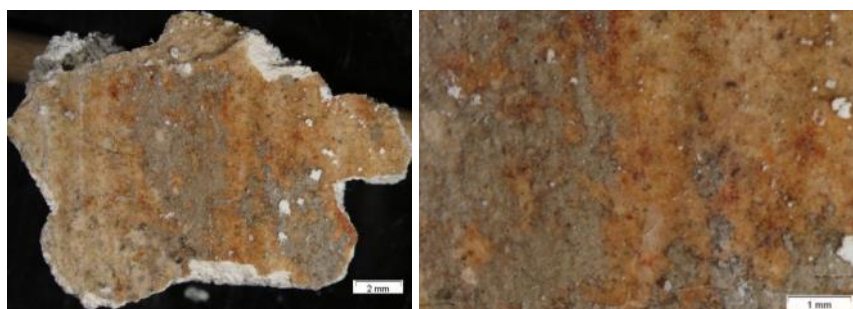


Figura 5.88.- Aspecto general y detalle de la muestra mcCS7, en superficie externa (izqda. arriba y abajo) e interna (dcha. arriba).

En sección transversal se aprecia el mortero que da soporte a la capa de color, correspondiente a un mortero de reposición de lagunas (mortero Tipo III), empleado durante la restauración de la Cámara Santa, en la intervención de 1919-1920 o 1940. Consta de dos capas: enfoscado y enlucido, y sobre la última se dispone la capa rojizo-anaranjada (Figs. 5.89).

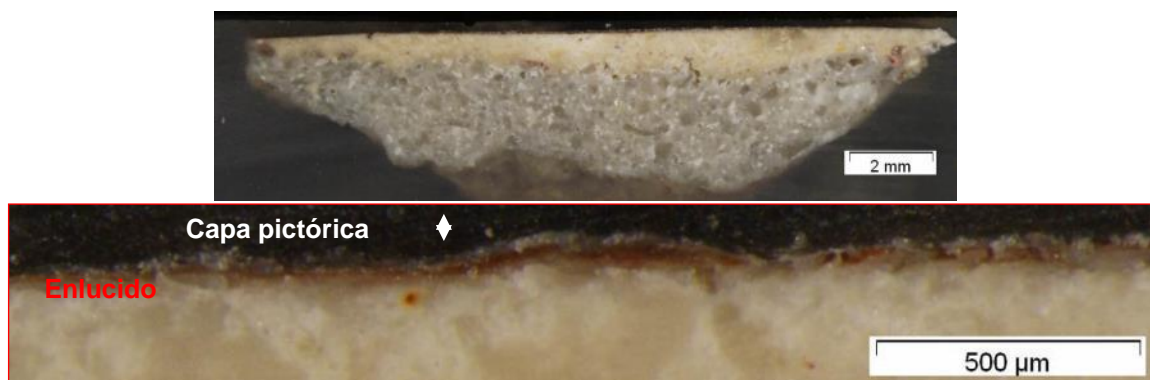


Figura 5.89.- Sección transversal de la muestra mcCS7, a la lupa binocular. En la sección estratigráfica es posible observar un enfoscado de color gris y un enlucido pardo-amarillento, sobre el que se dispone, la capa de pintura de color rojizo.

Observando en detalle la capa pictórica al SEM se aprecia la existencia de una base de preparación de 35  $\mu\text{m}$  de espesor, constituida por calcita, dolomita y cuarzo, sobre la cual se aplica la capa de color (Fig. 5.90). Esta última presenta un espesor de 17  $\mu\text{m}$  y está elaborada a base de calcita, yeso, dolomita, *bermellón* y albayalde.

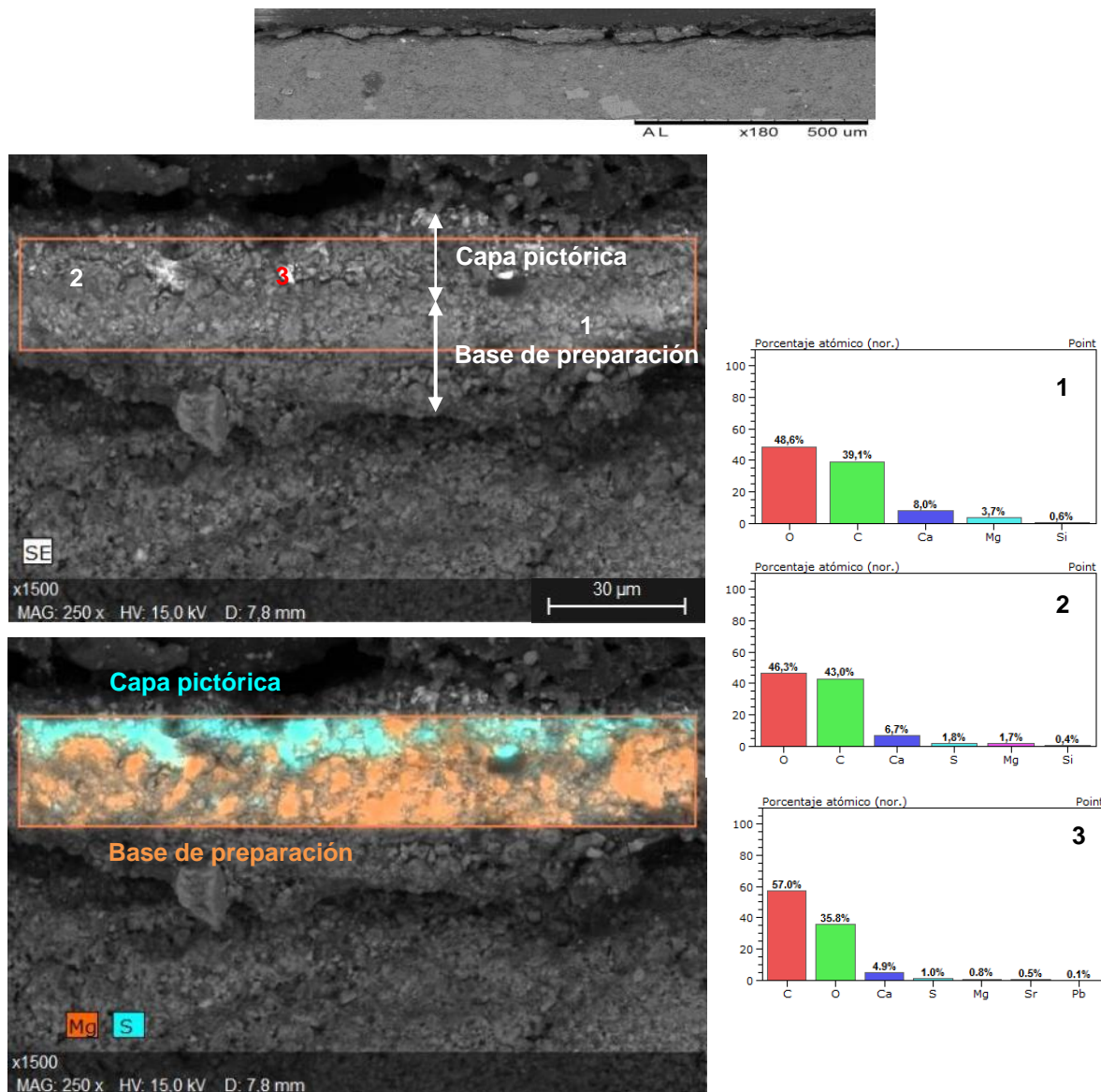


Figura 5.90.- Micrografías, mapeo de los elementos químicos mayoritarios: magnesio (Mg) y calcio (Ca) e histogramas de porcentajes atómicos de la muestra mCS7, al SEM-EDX. Sobre una base elaborada con calcita, dolomita y cuarzo se dispone una capa pictórica constituida por yeso, calcita y dolomita, donde los pigmento responsables del color de esta capa son el *bermellón* (SHg) y *albayalde*.

### Muestra mCS9

Corresponde a una muestra pintura, recogida en la sala de los apóstoles que en superficie presenta un tono pardo-ocre (Fig. 5.91). El aspecto macroscópico y microscópico de la muestra se presenta en las figuras 5.92 y 5.93, a partir del cual se deduce que la pintura va aplicada sobre el *revoco exterior*.



Figura 5.91.- Localización del punto de extracción de la muestra mCS9.

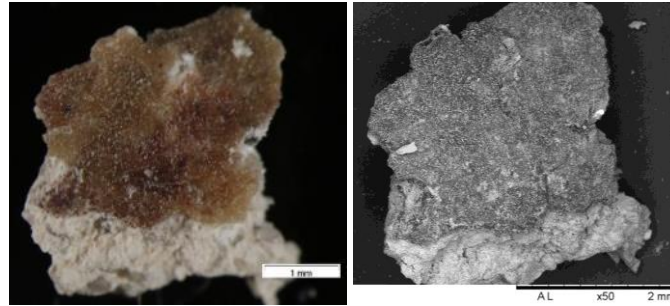


Figura 5.92.- Micrografías del revoco mCS9 a la lupa binocular (izquierda) y al SEM (derecha).

En sección estratigráfica se observa que sobre el enlucido del mortero aparece una capa de pintura de color rojo, de 78  $\mu\text{m}$  de espesor y composición a base de calcita, cuarzo, *tierras roja*, yeso y algo de dolomita. Sobre la pintura aparece un recubrimiento de cera de abeja, de 92  $\mu\text{m}$  de espesor (Fig. 5.93).

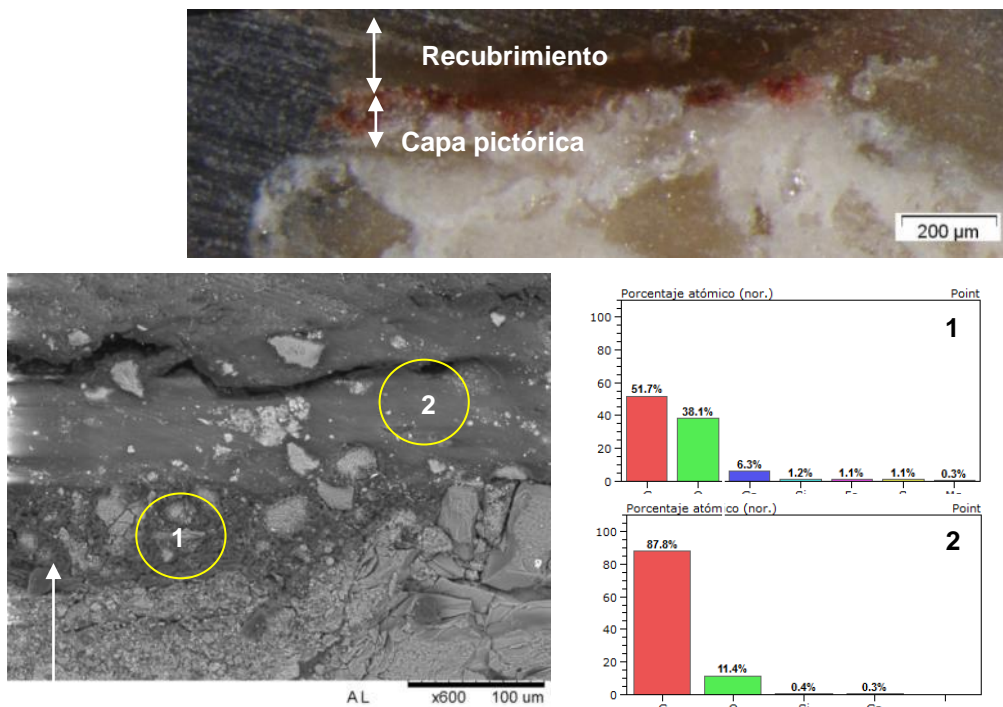


Figura 5.93.- Micrografías de la sección transversal y detalle, a la lupa y al SEM, de la parte superior de la muestra mCS9, donde se identifica una capa pictórica de color rojo y un recubrimiento color ámbar. Los análisis morfoquímicos muestran que la capa de pintura está elaborada con calcita, cuarzo, óxidos de hierro, algo de yeso y dolomita. El recubrimiento superficial, rico en compuestos carbonosos, corresponde a una capa de cera.

### Muestras mCS20 y mCS21

Estas dos muestras se consideran una unidad, estando ambas ubicadas en la misma localización. La muestra mCS20 corresponde al encalado superior y la mCS21 es una capa de pintura de color rojizo-rosado, recogidas en el marco de la ventana izquierda, del muro sur de la sala de los apóstoles (Fig. 5.94).



Figura 5.94.- Punto de extracción de las muestras mCS20 y mCS21.

En una de las secciones transversales de la muestra, se observa un enlucido base de color blanquecino, descrito en el apartado de morteros de reposición como Tipo II, sobre el que se dispone una base de preparación de color beige, aplicada en varias manos. Sobre esta última, se superponen dos capas pictóricas: una inferior de color rojo y otra superior de color ocre-amarillento (Fig. 5.95).

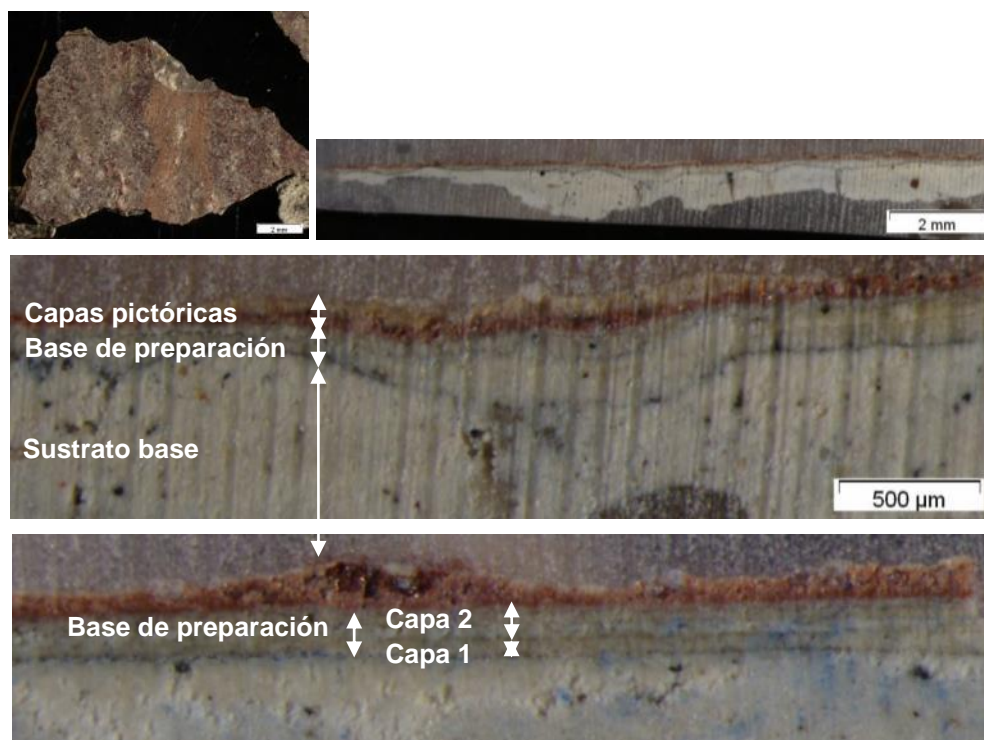


Figura 5.95.- Arriba: aspecto macroscópico, a la lupa binocular de la superficie externa de dos fragmentos correspondientes a la muestra mCS21. En medio y abajo: Aspecto general y detalles del corte estratigráfico de la muestra mCS21. Sobre un enlucido de color blanquecino se detecta una base de preparación, aplicada en al menos 2 capas, sobre la que se disponen, a su vez, dos capas pictóricas.



El sustrato o capa base de esta muestra, con un espesor comprendido entre 333 y 1 mm, está elaborado a base de calcita y ha sido aplicado en dos manos, separadas por un contacto difuso (Fig. 5.96). La aplicación inferior presenta un aspecto menos coherente, con algún grano de cuarzo, inmerso en la matriz carbonatada. Por encima de esta capa se detecta una base de preparación, de espesor irregular (60-222  $\mu\text{m}$ ), separada de la anterior por un contacto neto, en la cual se aprecian hasta cuatro aplicaciones (Fig. 5.97).

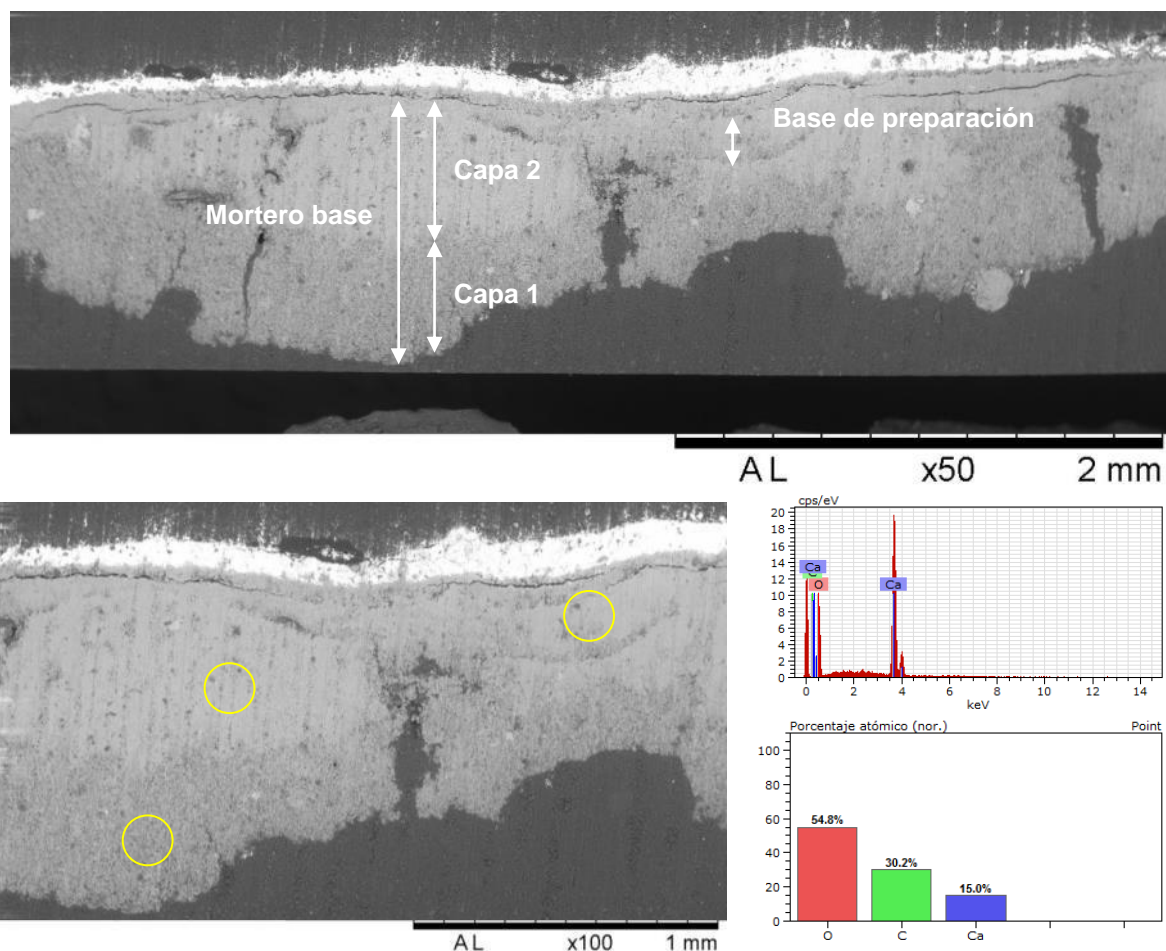


Figura 5.96.- Micrografías al SEM, donde se observa el sustrato de mortero y la base de preparación de la capa de pintura de la muestra mCS21. Mortero y base de preparación han sido aplicados en varias manos. Los análisis morfoquímicos al SEM-EDX muestran que ambos están constituidos por calcita, deducida del espectro e histograma de porcentajes atómicos del microanálisis.

En lo que respecta a las capas pictóricas, su microanálisis se presenta en la figura 5.97. La capa pictórica roja, de 71  $\mu\text{m}$  de espesor, está constituida por calcita, *albayalde*, aluminosilicatos y óxidos de hierro (*ocre rojo*). La capa pictórica ocre-amarillenta presenta un espesor de 50  $\mu\text{m}$  y está elaborada a base de cal, *albayalde* y *tierra roja* (Fig. 5.97).

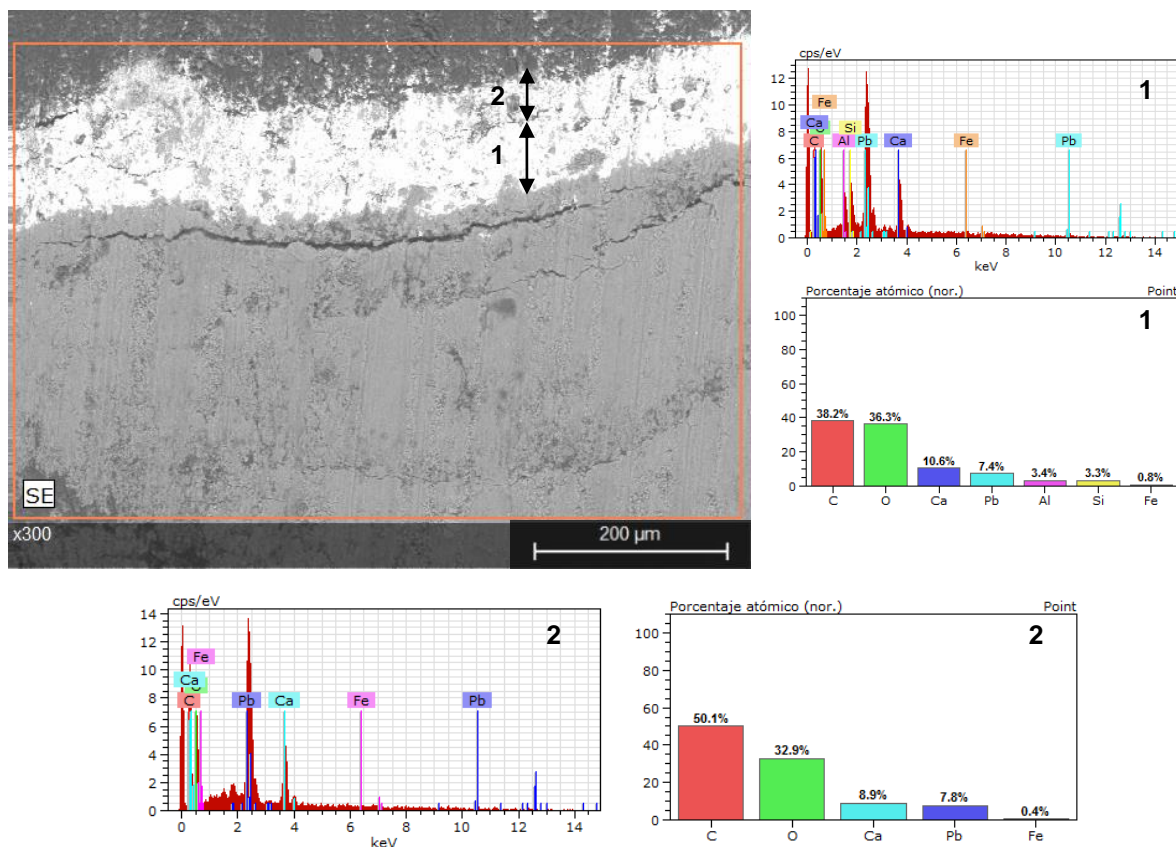


Figura 5.97.- Análisis morfoquímicos, al SEM-EDX, de las capas pictóricas de la muestra mCS21. El espectro e histograma de porcentajes atómicos, obtenido en la capa pictórica roja (análisis 1), detecta: carbono (C), oxígeno (O), calcio (Ca), plomo (Pb), aluminio (Al), silicio (Si) y hierro (Fe). Estos elementos se combinan entre sí para formar calcita, carbonato básico de plomo (*albayalde*), aluminosilicatos y óxidos de hierro (*ocre rojo*). La capa pictórica amarilla (análisis 2), también está formada por calcita, *albayalde* y *tierras amarillas*.

### Muestra mCS23

Corresponde a una muestra recogida en el lateral norte de la bóveda de la sala de los apóstoles (Fig. 5.98). Se trata de una muestra de pintura, de color amarillento, aplicada sobre un revoco de calcita y cuarzo en el que se identifican fragmentos de madera y algún fragmento de carbón, denominado *revoco externo*, descrito anteriormente.



Figura 5.98.- Punto de extracción de la muestra mCS23. Corresponde a una capa pictórica de color amarillento, localizada en un parche de revoco, conservado en la bóveda norte de la Cámara Santa.

En sección transversal es posible observar el mortero, de 1,2 mm de espesor, y una base de preparación de color blanco, aplicada en varias manos, sobre la que se dispone la capa de color

amarillo (Figs. 5.99 a 5.100). Por encima de esta última, también se detecta una fina capa de color blanco.

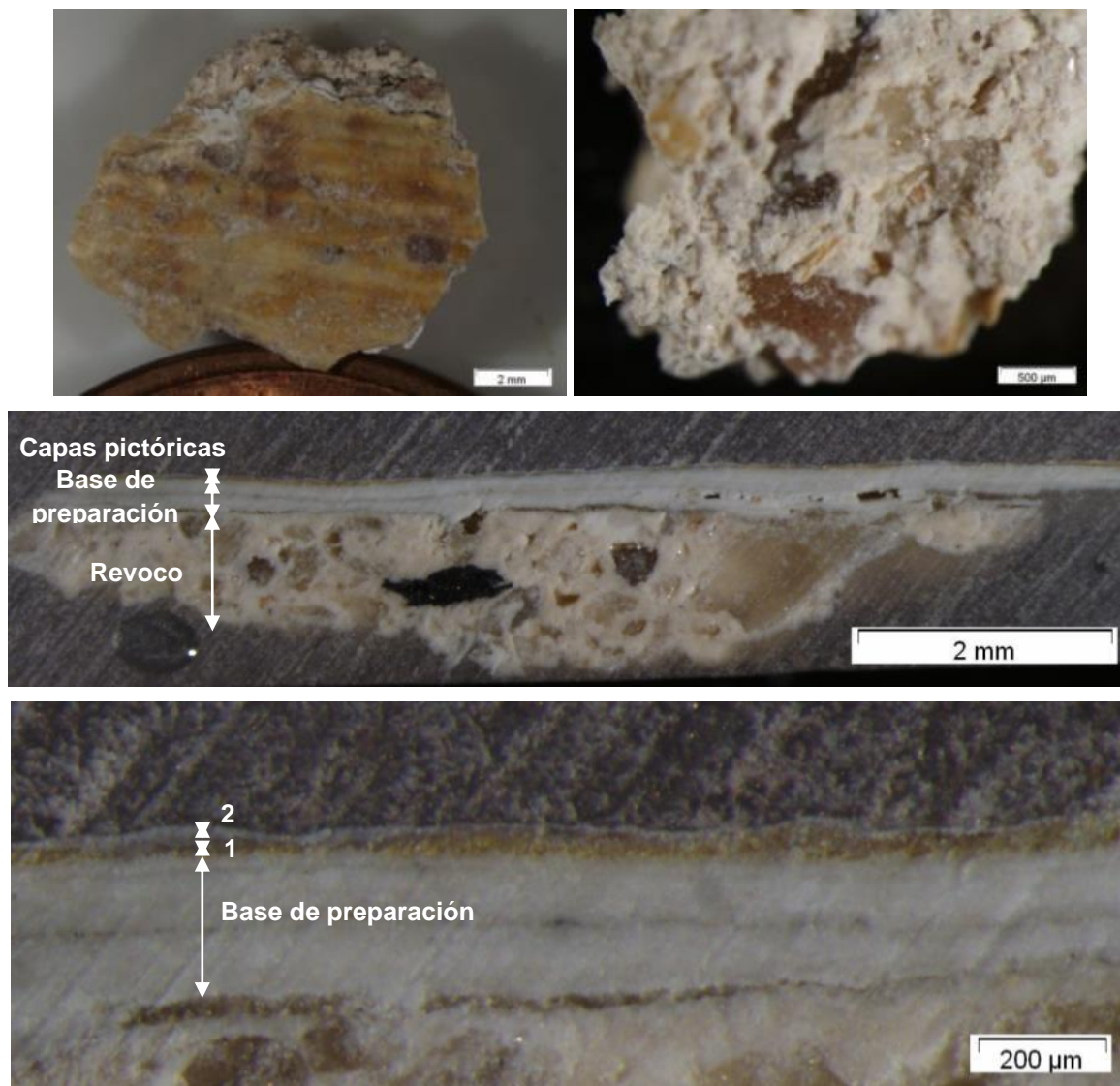


Figura 5.99.- Aspecto macroscópico de la muestra mCS23 en superficie (arriba) y en sección transversal (en medio y abajo). Sobre el revoco, correspondiente al *revoco externo*, en el que se identifican fragmentos de madera y algún fragmento de carbón, se observa unas capas de color blanco, aplicada en varias manos, sobre la que se dispone la capa pictórica amarilla y otra más externa, de color blanco.

La base de preparación, de color blanco presenta un espesor de 300 µm y está constituida por varias capas, separadas entre sí por contactos netos (Fig. 5.101), las cuales se describen a continuación.

- Capa 1: Situada directamente sobre el revoco, es de color ocre, presenta un espesor de 52 µm y está elaborada a base de yeso y calcita. La disposición perpendicular de los cristales aciculares de yeso en forma de empalizada, marca una orientación preferente de los mismos, determinada por el modo de aplicación de esta capa.
- Capa 2: De color blanco y con un espesor de 170 µm, está compuesta por calcita y algo de cuarzo. Esta capa ha sido aplicada en dos manos.

- Capa 3: Es de color ocre y con un espesor de 22  $\mu\text{m}$ , está compuesta de calcita, algo de yeso y cuarzo. Podría tratarse de la superficie de alteración de la capa inferior.
- Capa 4: De color blanco y espesor 59  $\mu\text{m}$ , está compuesta por calcita y algo de cuarzo. En algunas zonas de la muestra se pueden identificar hasta dos aplicaciones.

De lo anterior se deduce que el revoco ha sido enlucado en sucesivas ocasiones, lo que induce a pensar que las capas pictóricas, detectadas en superficie, no corresponden a la pintura original del enlucido.

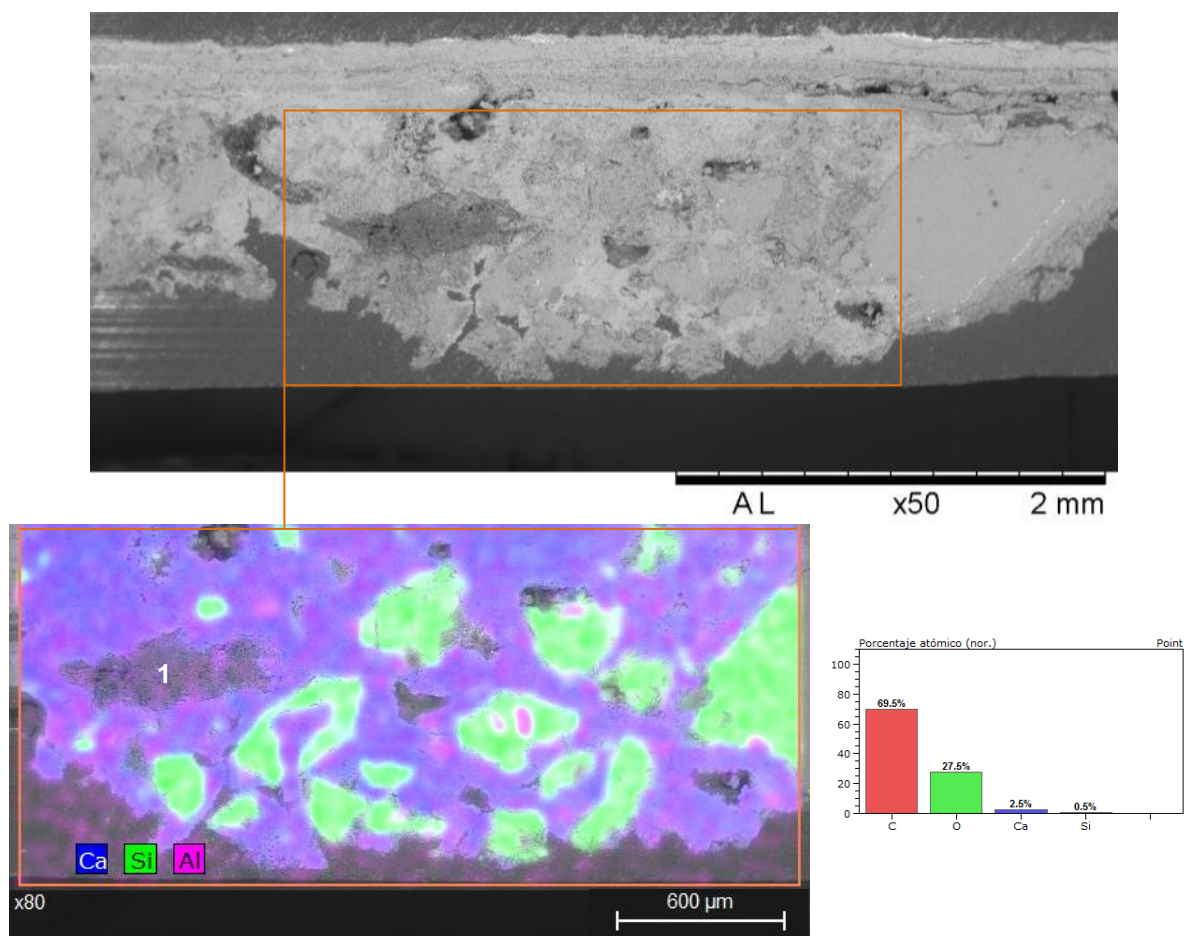


Figura 5.100.- Micrografía de la sección y mapeo de los elementos químicos más representativos del revoco de la muestra mCS23. En la imagen inferior se observa la distribución del calcio (Ca), silicio (Si) y aluminio (Al), de lo que se deduce que los áridos de este mortero (cuarzo y aluminosilicatos) aparecen inmersos en un conglomerante carbonatado. El análisis al SEM-EDX de un fragmento de color negro (microanálisis 1) indica que se trata de un fragmento de carbón.

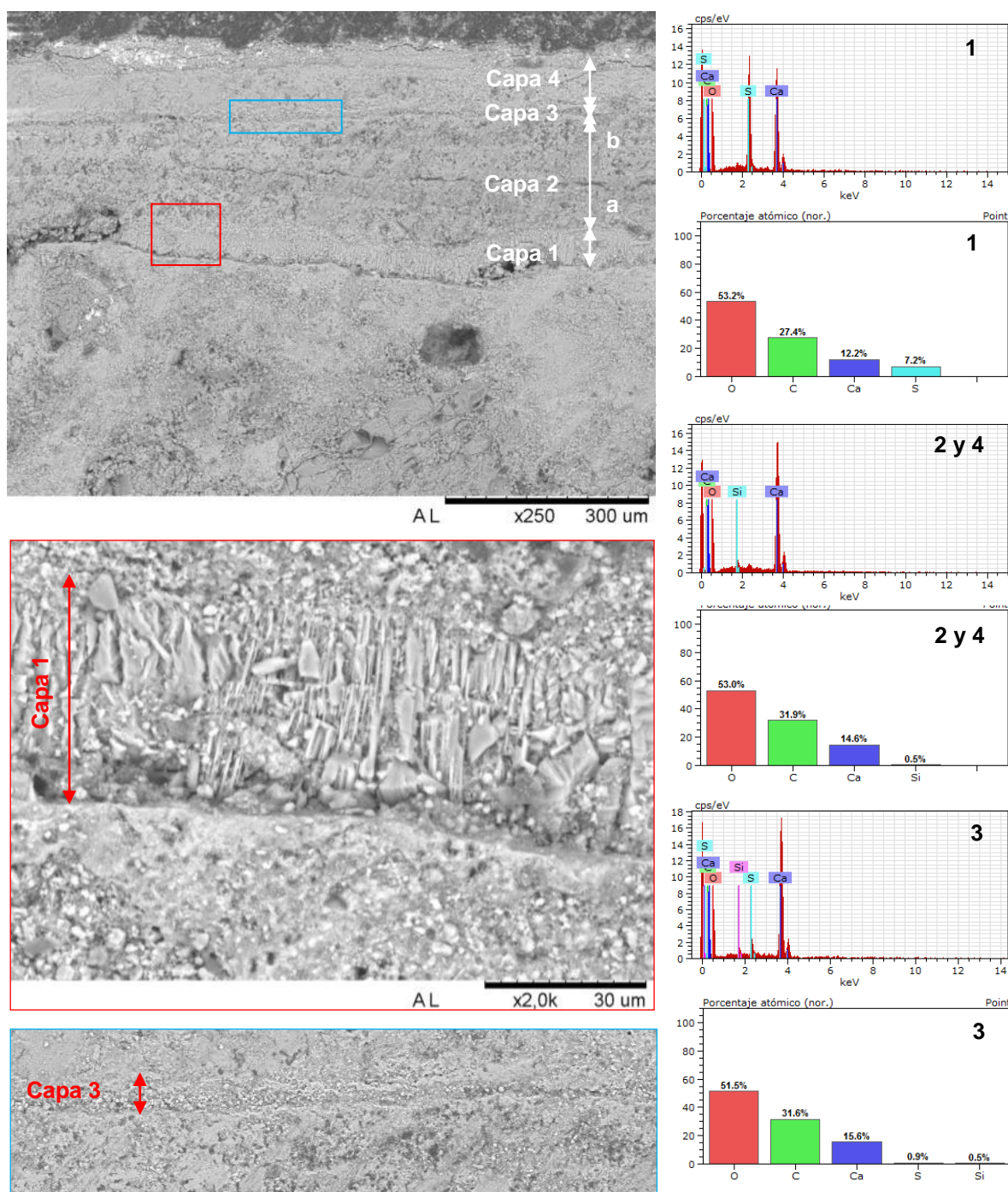


Figura 5.101.- Micrografías y análisis morfoquímicos al SEM-EDX de las capas localizadas sobre la superficie del revoco de la muestra mCS23. De los espectros e histogramas de porcentajes atómicos se deduce que la capa 1 es rica en yeso y calcita. Las capas 2 y 4 están formadas por calcita y algo de cuarzo y la capa 3 es rica en calcita, aunque se detecta algo de yeso y cuarzo.

La capa de color amarillo presenta un espesor de 41 μm y está formada por calcita, yeso, cuarzo, aluminosilicatos y óxidos de hierro (*tierras amarillas*). También se detectan restos de *albayalde*, que no sólo se restringen a la mera superficie, sino que aparecen inmersos dentro de la capa pictórica (Figs. 5.102 a 5.103).

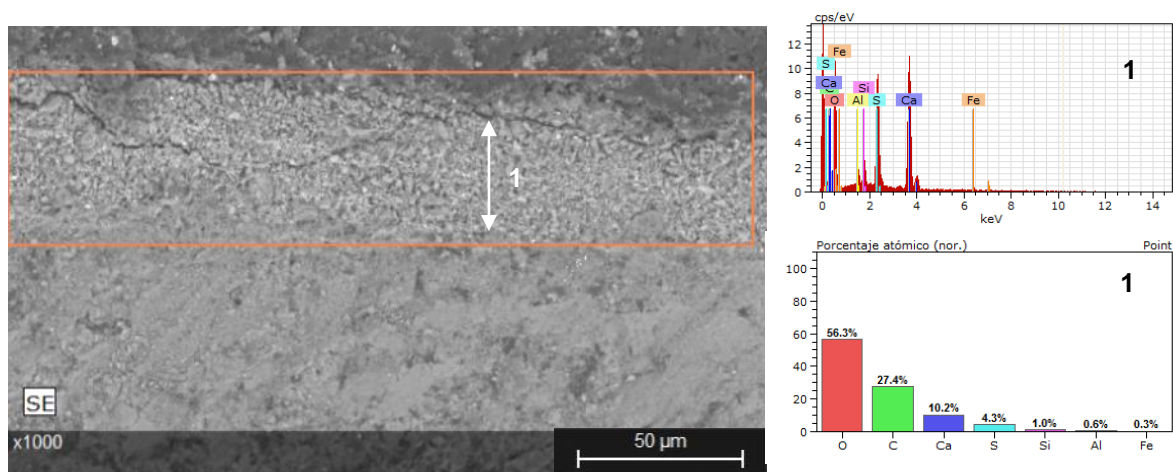


Figura 5.102.- Análisis morfoquímico al SEM-EDX de la capa amarilla de la muestra mCS23. Del espectro e histograma de porcentajes atómicos se deduce la presencia de calcita, yeso, cuarzo y/o aluminosilicatos y óxidos de hierro (*tierras amarillas*).

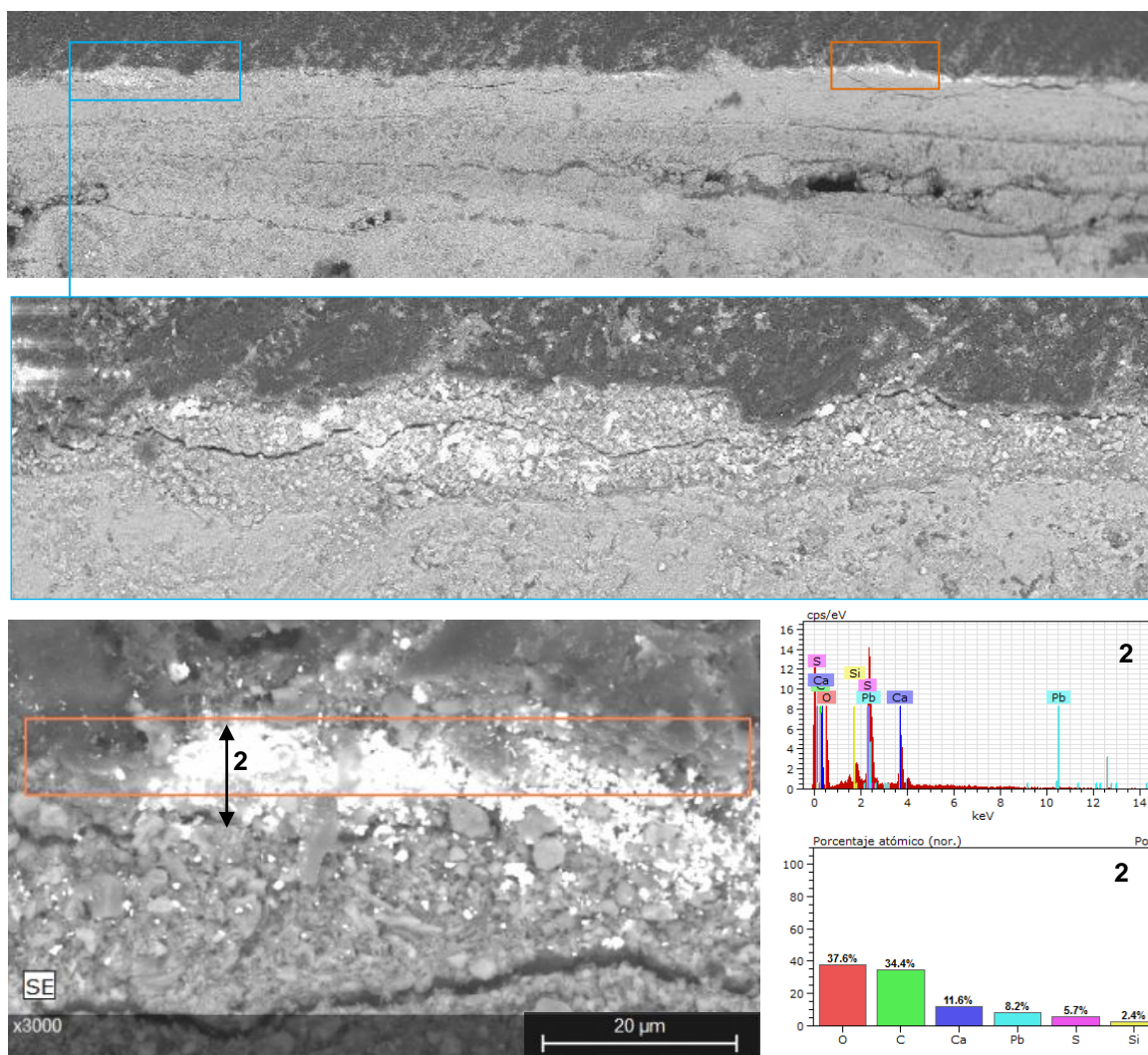


Figura 5.103.- Detalles del interior y de la superficie de la capa pictórica de la muestra mCS23 y análisis morfoquímico, al SEM-EDX. Del espectro e histograma de porcentajes atómicos se deduce la presencia de *albayalde*, que puede aparecer mezclado con las *tierras amarillas* están restringidas a la superficie de la capa amarilla.

### Muestra mCS24

Corresponde a una pintura de color rojo recogida en las proximidades de la muestra anterior, sobre la imposta, en el lateral norte de la bóveda de la sala de los apóstoles, muy próxima a la anterior mcCS23 (Fig. 4.104). El sustrato corresponde al *revoco externo*, identificado por la presencia de abundantes fragmentos de madera (Fig. 5.105).



Figura 5.104.- Punto de extracción de la muestra mCS24. Corresponde a una pintura rojiza, localizada en un parche de revoco, conservado en la bóveda norte de la cámara Santa.

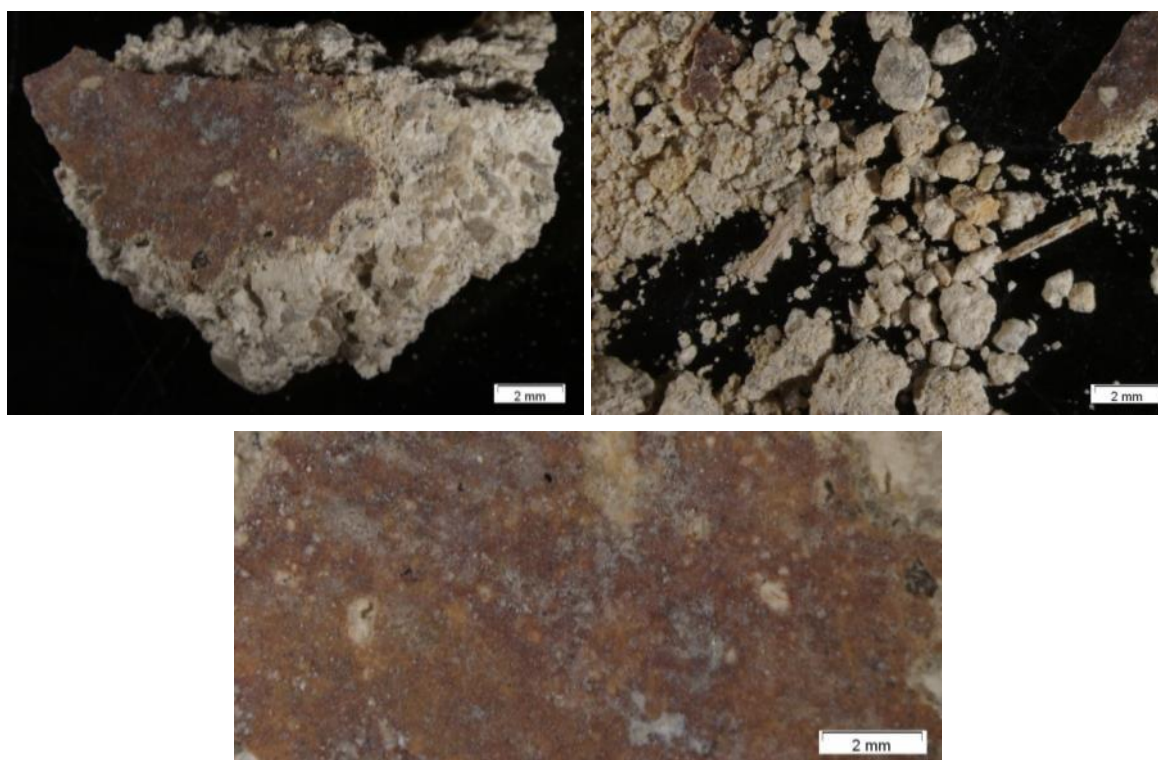


Figura 5.105.- Aspecto macroscópico de la muestra mCS24. Sobre el soporte de mortero, en el que se identifican fragmentos de madera, se dispone una capa pictórica de color rojizo.

En la sección transversal de la muestra es posible diferenciar una capa inferior de grano más grueso correspondiente al enfoscado, de 1 mm de espesor, y una capa superior de 2,9 mm de espesor, correspondiente al enlucido (Fig. 5.106). Este mortero está formado por abundantes granos de cuarzo, inmersos en una matriz de carbonato cálcico (Fig. 5.107).

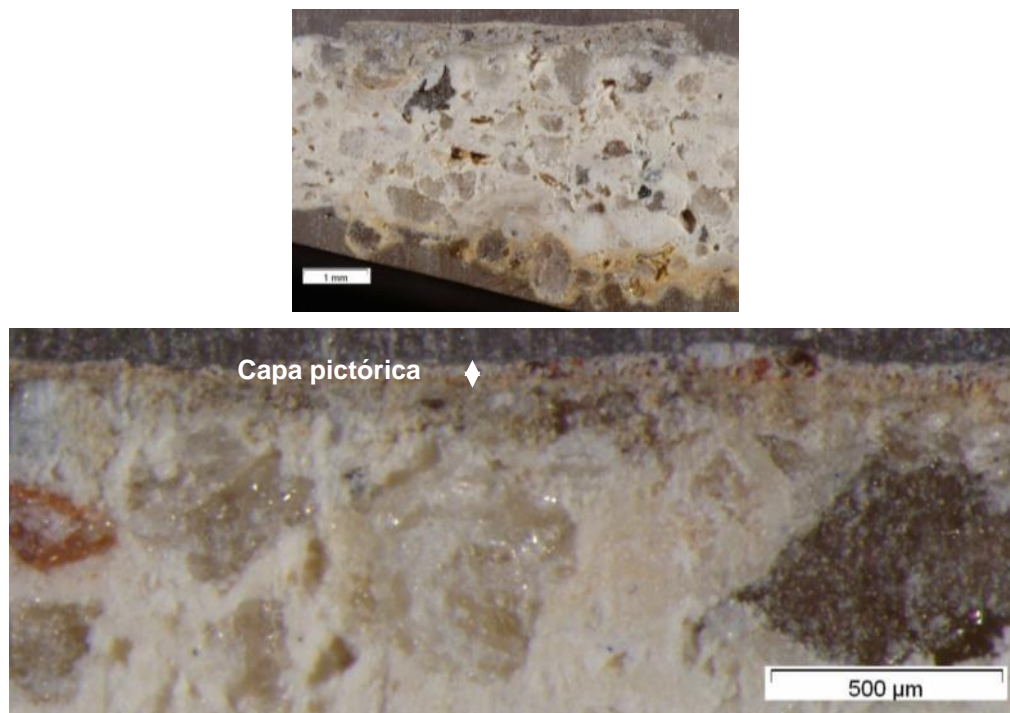


Figura 5.106.- Sección transversal de la muestra mCS24 a la lupa binocular.

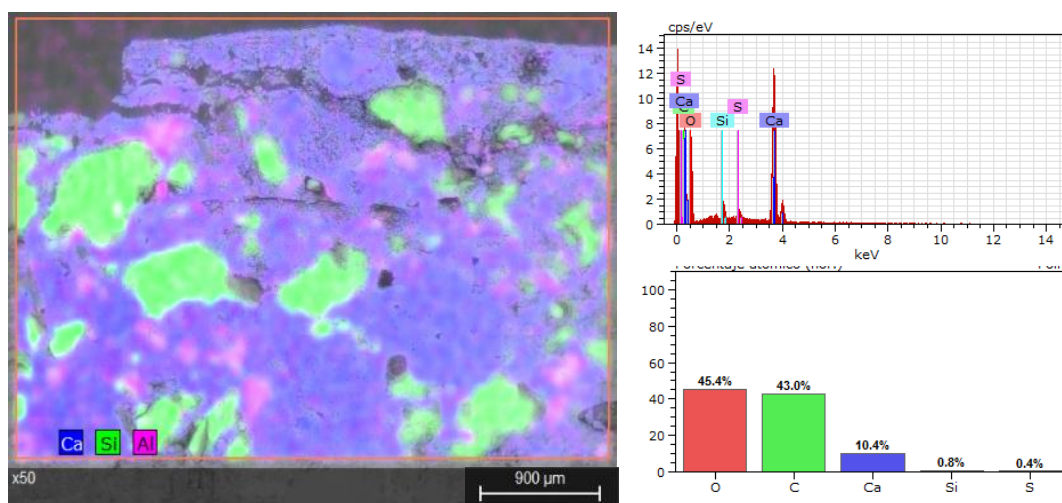


Figura 5.107.- En el mapeo de elementos químicos mayoritarios [calcio (Ca), silicio (Si) y aluminio (Al)] se muestra la distribución de los áridos de cuarzo y aluminosilicatos, inmersos en un conglomerante carbonatado, deducido del análisis morfoquímico al SEM-EDX.

La capa pictórica de color rojo, de 41 µm de espesor, está formada por calcita, yeso, cuarzo y óxidos de hierro (*ocre rojo*), (Fig. 5.108). Sobre la capa rojiza, se detectan restos de una capa de 19 µm de espesor, elaborada a base de *albayalde*, calcita, yeso y cuarzo, de color blanco.



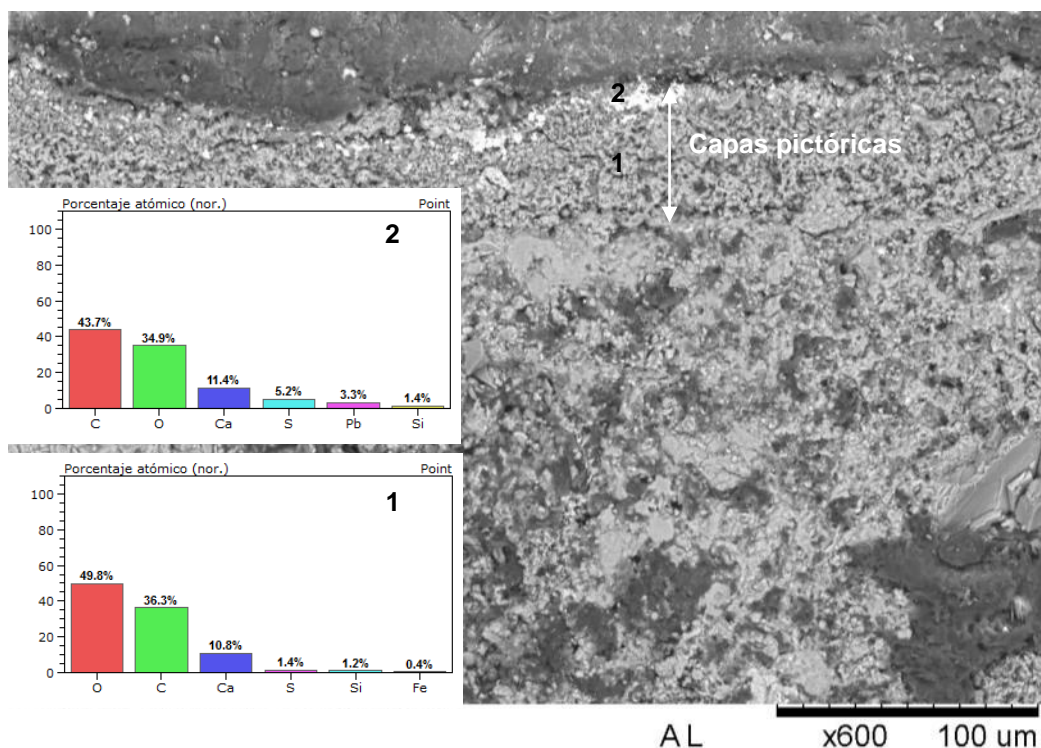


Figura 5.108.- Análisis morfoquímico, al SEM-EDX, de las capas pictóricas de la muestra mCS24. La capa roja está formada por calcita, yeso, cuarzo y óxidos de hierro (*ocre rojo*), tal y como se deduce del espectro e histograma de porcentajes atómicos. Por encima de capa rojiza, se detectan restos de otra pintura, rica en *albayalde*, calcita, yeso y cuarzo.

A continuación en las tablas 5.2 a 5.5 se resumen las características petrofísicas y las secuencias estratigráficas correspondientes a los morteros procedentes de la cámara Santa, con sus correspondientes capas de pintura (Tablas 5.3 a 5.5).

Tabla 5.2.- Cámara Santa: morteros

Referencia / muestra	Descripción	Composición mineralógica (> 1,5%)	Componentes accesorios	Dosificación árido/matriz	RI* Fg/Ff	Tamaño fracción gruesa	Moda árido
mCS12	Mortero de fábrica (mortero de juntas entre mampostería, bajo revoco interior)	Calcita, cuarzo y microclina	Fragmentos carbonatados, nódulos de cal, madera y carbón	1:1	16:1	180 µm - 3,7 mm	1 - 1,6 mm
mcCS2inf., mcCS4, mcCS5, mcCS6, mcCS8inf., mCS11 y EPa32	Revoco interior (enlucido)	Cuarzo, calcita, dolomita y ortosa	Restos fósiles, nódulos de cal, turmalina y microclina	1:1	-	200 µm - 400 µm	150 µm
	Revoco interior (enfoscado)		Fragmentos cuarcíticos, fragmentos dolomíticos, moscovita, microclina y carbón			1,8 mm - 4,3 mm	2 mm
mcCS1, mcCS2sup., mcCS3, mcCS8sup., mCS23, mCS24 y EPa33	Revoco exterior (enlucido)	Calcita, cuarzo y diopsido	Madera, moscovita, microclina, turmalina y carbón	1:1	12:1	200 µm - 1,4 mm	200 - 250 µm
mcCS18	Mortero reposición Tipo I	Cuarzo y calcita	Aluminosilicatos, óxidos de hierro y carbón	-	-	150 µm - 300 µm	80 µm
mCS20	Mortero reposición Tipo II	Calcita y cuarzo	-	1:24	1:2	50 µm - 200 mm	100 µm
	Mortero de restauración tipo III (enlucido)	Dolomita y cuarzo	-	-	-	10 - 100 µm	50 µm
mcCS7, EF15 y AF27	Mortero de restauración tipo III (enfoscado)	Calcita y cuarzo	-	-	-	100 µm - 600 µm	300 µm
Hormigón	«Opus signinum del solado»	Cuarzo, calcita y feldspatos	Fraamentos cerámicos, fragmentos carbonatados	4:1	-	100 µm - 5 cm	3 cm

RI\* Fg/Ff - Relación fracción gruesa – fracción fina del residuo insoluble

Tabla 5.3.- Cámara Santa: Morteros y pintura mural. Secuencia estratigráfica del *revoco interior*.

	ESTRATIGRAFÍA	COMPOSICIÓN	MUESTRAS				COMPOSICIÓN	ESTRATIGRAFÍA
			mcCS2 inferior	mcCS11 inferior	mcCS4	mcCS8 inferior		
REVOCO INTERNO	Recubrimiento	Cera de abeja	56 µm	27 µm	10 µm			
		Calcita, cuarzo y aluminosilicatos	445 µm					
		Calcita, cuarzo y yeso	380 µm					
		Yeso, cuarzo y dolomita	515 µm					
	Capa pictórica	Calcita, cuarzo, yeso, bermellón con dolomita y negro humo			28 µm			
	Base de preparación	Calcita y cuarzo, con algo de yeso, dolomita y aluminosilicatos		95 µm	80 µm	85 µm	Tierra amarilla con calcita y cuarzo	Capa pictórica
	Enlucido (grano fino)	Granos de cuarzo, fragmentos de valvas y nódulos de cal	5,3 mm	2,8 mm	1,5 mm	4,10 mm	Granos de cuarzo, fragmentos de valvas y nódulos de cal	Enlucido (grano fino)
Enfoscado (grano grueso)	Granos redondeados de cuarzo y cuarcita, y fragmentos de valvas	1,5 mm	4,4 mm		1,8 mm	Granos redondeados de cuarzo y cuarcita, y fragmentos de valvas	Enfoscado (grano grueso)	

Tabla 5. 4.- Cámara Santa: morteros y pintura mural. Secuencia estratigráfica del *revoco exterior* y del *mortero de restauración*.

ESTRATIGRAFÍA	COMPOSICIÓN	MUESTRAS			COMPOSICIÓN	ESTRATIGRAFÍA
		mcCS5	mcCS6	mcCS7		
Recubrimiento	Cera de abeja	57 µm		10 µm		
Capa pictórica	Calcita, cuarzo, bermellón, yeso, albayalde y dolomita ± negro humo	15 µm	18 µm	17 µm	Calcita, yeso, dolomita, bermellón y albayalde	Capa pictórica
Base de preparación	Yeso, calcita, cuarzo y dolomita	43 µm	40 µm	35 µm	Calcita, dolomita, cuarzo y yeso	Base de preparación
Enlucido (grano fino)	Granos de cuarzo, fragmentos de valvas y nódulos de cal	2,8 mm	1,6 mm	1,2 mm	Granos de dolomita y algo de cuarzo unidos por cal	Enlucido (grano fino)
Enfoscado (grano grueso)	Granos redondeados de cuarzo y cuarcita, y fragmentos de valvas	4,4 mm		3 mm	Granos angulosos de calcita, algún grano de cuarzo y aluminosilicatos unidos por cal	Enfoscado (grano grueso)

MORTERO DE RESTAURACIÓN

Tabla 5.5.- Cámara Santa: morteros y pintura mural. Secuencia estratigráfica del *revoco exterior*.

	ESTRATIGRAFÍA	COMPOSICIÓN	MUESTRAS					COMPOSICIÓN	ESTRATIGRAFÍA
			mcCS2 superior	mcCS8 superior	mcCS3	mcCS9	mcCS24		
REVOCO EXTERNO	Recubrimiento	Cera de abeja	32 µm	30 µm	26 µm	92 µm			
		Calcita, cuarzo, dolomita y yeso			30 µm				
		Yeso, calcita, cuarzo y dolomita			71 µm				
Capa pictórica	Negro humo, calcita y cuarzo					19 µm	41 µm	Albayalde, calcita, yeso y cuarzo ± tierras amarillas	Capa pictórica
Capa pictórica	Tierra roja con calcita, cuarzo, dolomita y yeso			81 µm	78 µm	41 µm		Tierra roja con calcita, yeso y cuarzo	Capa pictórica
Base de preparación	Yeso, calcita, cuarzo	19 µm	37 µm				59 µm	Calcita y cuarzo	Base de preparación
							22 µm	Superficie de alteración	
							170 µm	Calcita y cuarzo	
							52 µm	Yeso y calcita	
Enlucido (> % matriz)	Cuarzo, aluminosilicatos, fragmentos de madera	2,93 mm	4,98 mm	804 µm	1,2 mm	2,9 mm	1,2 mm	Cuarzo, aluminosilicatos, fragmentos de madera y granos de carbón	Enlucido (> % matriz)
Enfoscado (> % árido)	fragmentos de madera y granos de carbón	1,89 mm				1 mm			Enfoscado (> % árido)

## 5. 2.- FONCALADA

En la fuente de Foncalada se diferencian varios morteros de juntas: uno probablemente original y otros aparentemente de reposición (Fig. 5.109). Aunque la fuente presenta un moderado estado de deterioro, existen formas de alteración que pueden comprometer la estabilidad de la construcción y que afectan a las juntas entre sillares, mayoritariamente perdidas. Los sillares, al perder su elemento de unión o trabazón, son más susceptibles al deterioro, sus bordes se van redondeando, a la vez que se produce la pérdida progresiva del mortero por filtraciones de agua y lavados sucesivos, lo que puede desembocar en el colapso parcial de la estructura. A pesar de que el vaciado de juntas es prácticamente generalizado, todavía aparecen morteros, perfectamente conservados.



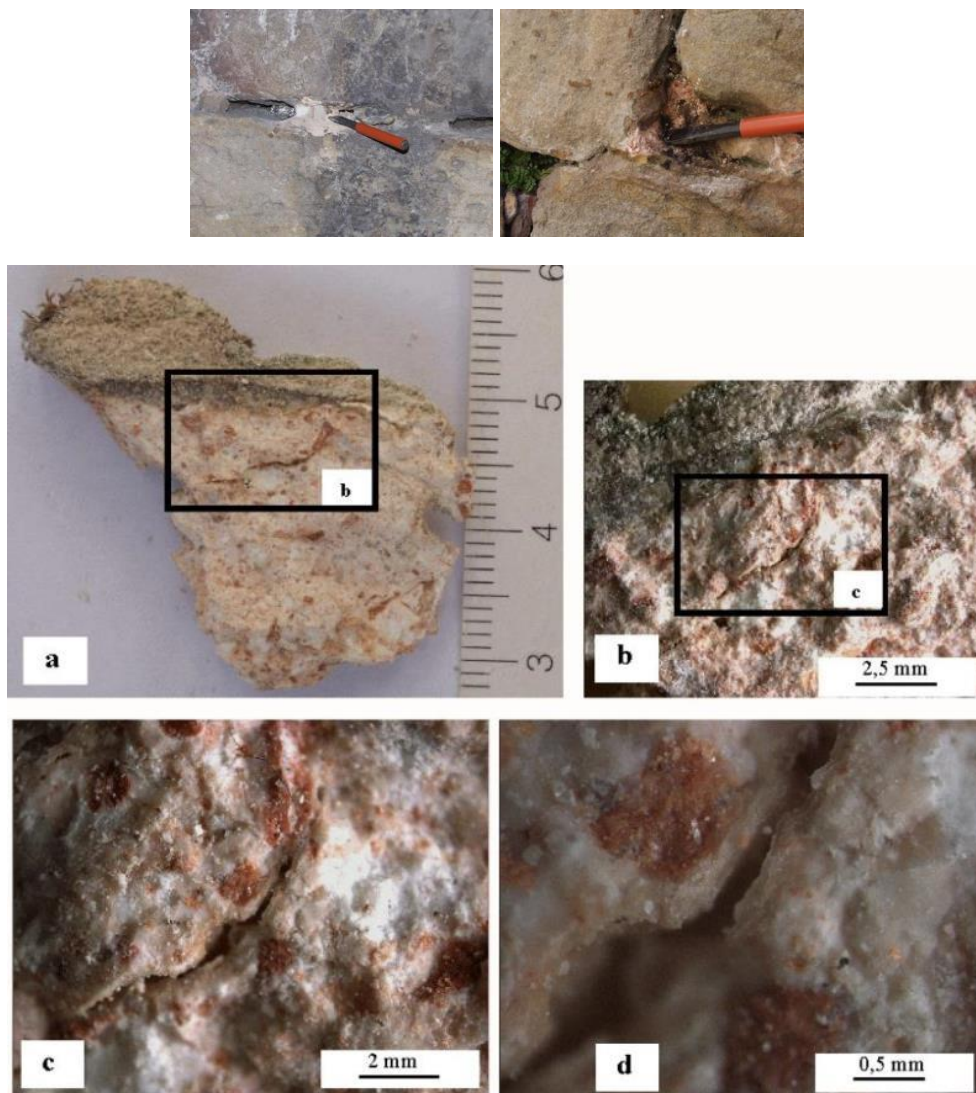
Figura 5.109.- Aspecto de la fuente en sus diferentes orientaciones. Destaca la pérdida del mortero de juntas entre sillares.

Teniendo en cuenta los criterios de conservación preventiva, convendría abordar el retacado de las juntas, por lo que se procedió a la caracterización del mortero, supuestamente original. Conocidas sus características será posible elaborar morteros de reposición, petrofísicamente compatibles con los existentes y con los materiales pétreos presentes.

### ***Mortero original***

Corresponde a las muestras FON10 Y FON12. Macroscópicamente, es un mortero de color blanquecino, presumiblemente de cal, homogéneo, compacto y de elevada coherencia y dureza,

con áridos de color pardo-anaranjados. Estos áridos cerámicos de colores rojizos, anaranjados y marrones, que pueden alcanzar los 7 mm, presumiblemente han sido incorporados al mortero para proporcionarle hidraulicidad a éste. A esta escala también se identifican espacios vacíos de tipo fisura y poro (Figs. 5.110 y 5.111).



Figuras 5.110 y 5.111.- Arriba: puntos de extracción de las muestras. Abajo: detalles del aspecto macroscópico del mortero (a, b, c y d). Aparentemente se trata de un mortero de cal con fragmentos cerámicos como áridos, con espacios vacíos, mayoritariamente de tipo fisural. Ocasionalmente, los bordes las fisuras han sufrido procesos de recarbonatación (c y d).

Microscópicamente, al POL, el mortero está constituido por un conjunto de granos minerales y fragmentos cerámicos (30%), inmersos en una matriz carbonatada (55%), con textura flotante (Fig. 5.112). El 15% del volumen restante corresponde a los espacios vacíos.

Los fragmentos cerámicos (25%) presentan tamaños variables, comprendidos entre 0,1 mm y 1 centímetro, siendo más frecuentes los tamaños 2-3 mm. En su interior se identifican granos de cuarzo, de morfologías irregulares y tamaños variables, así como cristales de moscovita, alargados y orientados, todos ellos inmersos en una masa ocre-rojiza, de material arcilloso.

El resto del árido está constituido esencialmente por granos irregulares de cuarzo (5%), con tamaños comprendidos entre 0,8 y 0,1 mm, y minoritariamente por opacos (<1%). La matriz es una masa de calcita microcristalina que varía de tamaño micrita (<4 µm) a microesparita (4-20 µm). En muchas zonas se han observado carbonataciones que, en ocasiones, engloban fragmentos cerámicos. Esta carbonatación es la responsable de la elevada dureza y compacidad del mortero. Puntualmente, llegan a apreciarse bandeados, correspondientes a diferentes episodios del proceso de disolución-precipitación, más frecuentes si cabe en las zonas de la edificación afectadas por el curso de agua (Fig. 5.112).

La porosidad aparente del mortero (15 %) viene definida por una serie de poros y microfisuras, de morfologías irregulares y tamaños variables. Algunos de estos poros se asocian a procesos de disolución, sobre todo aquellos próximos a las zonas de carbonatación, anteriormente citadas. Los demás son de tipo vacuolar.

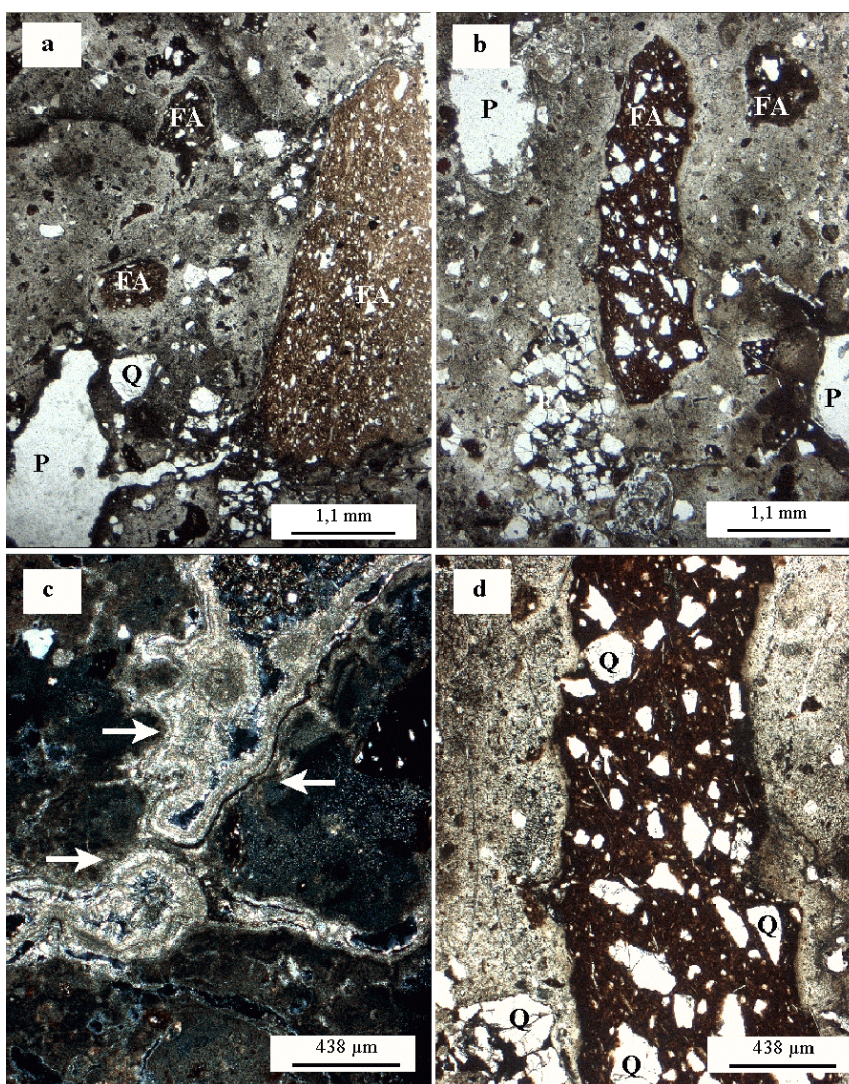


Figura 5.112.- Aspecto general y de detalle de la textura del mortero al POL. Arriba (NPx10): Puede observarse la textura típica de este tipo de mortero, donde se distinguen: fragmentos cerámicos (FA), cuarzo (Q) y poros (P). Abajo: A la izquierda (NCx25), detalle de una de las zonas del mortero donde se observan bandas de carbonatación (flechas). A la derecha (NPx25), detalle de uno de los fragmentos cerámicos.

La composición mineralógica deducida de las observaciones ópticas ha sido constatada por los resultados obtenidos en difracción de rayos X (DRX) y por el análisis químico elemental, al SEM-EDX. Los minerales identificados son: calcita, cuarzo, yeso, moscovita y montmorillonita. Del análisis químico elemental y las tablas de porcentajes atómicos (Tabla 5.6) se deduce que los elementos químicos exógenos al mortero son el azufre y el cloro. Estos elementos presentes en la atmósfera o en el suelo se combinan con elementos propios del mortero para formar minerales de neoformación (sulfatos y cloruros).

Tabla 5.6. - Tabla de porcentajes atómicos, relativas a los espectros químicos obtenidos en la muestra de mortero original, analizadas al SEM-EDX.

Spectrum	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Total
A	67.84		2.29	17.92		0.73	10.52	0.70	100.00
B	67.05	0.74	3.31	12.75	0.85	1.33	13.71	0.26	100.00

### **Morteros de reposición**

Además de este mortero se han estudiado otras cinco variedades que, debido a sus características intrínsecas, parecen corresponde a tres o cuatro generaciones diferentes de morteros de reposición (Tipo I a Tipo V). En las figuras 5.113 a 5.117 se observa el aspecto macroscópico y microscópico de los diferentes tipos y en la tabla 5.7 se resumen sus características esenciales. Ninguno guarda relación con el mortero anteriormente descrito.

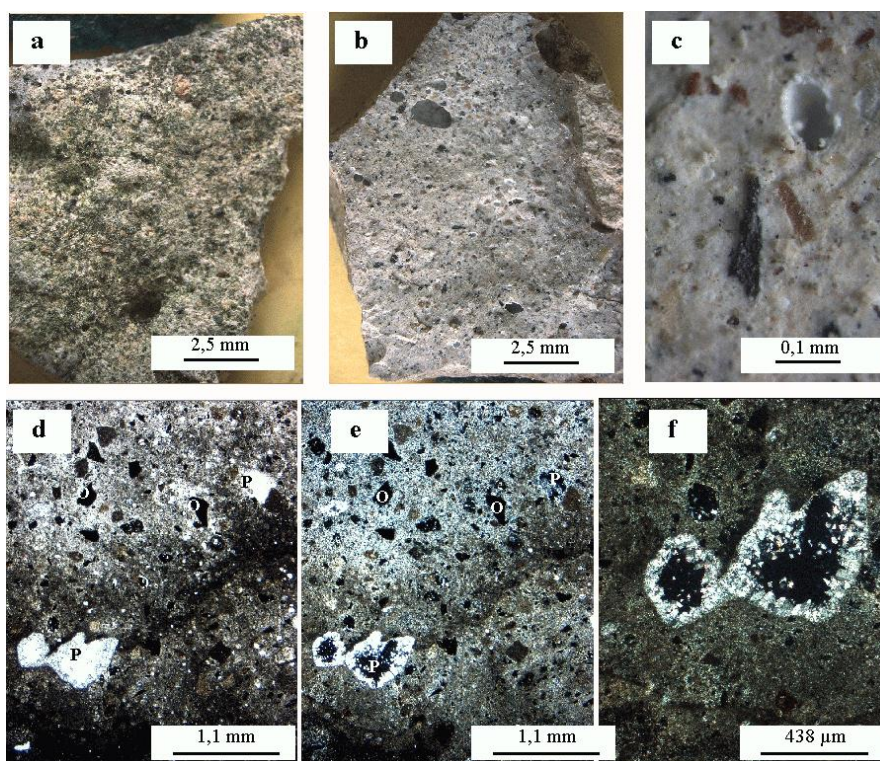


Figura 5.113.- Aspecto general y detalle de la textura del mortero tipo I. Arriba al POL (NPx10; NCx10): En las imágenes destacan tres aspectos: la presencia del árido constituido por minerales opacos (O), la presencia de numerosos poros (P) y la matriz que en la zona superior de la micrografías es de tamaño microesparita. Abajo, al POL, a la izquierda (NCx25); a la derecha, (NCx63): detalle de algunos poros en los que se han desarrollado cristales de calcita.

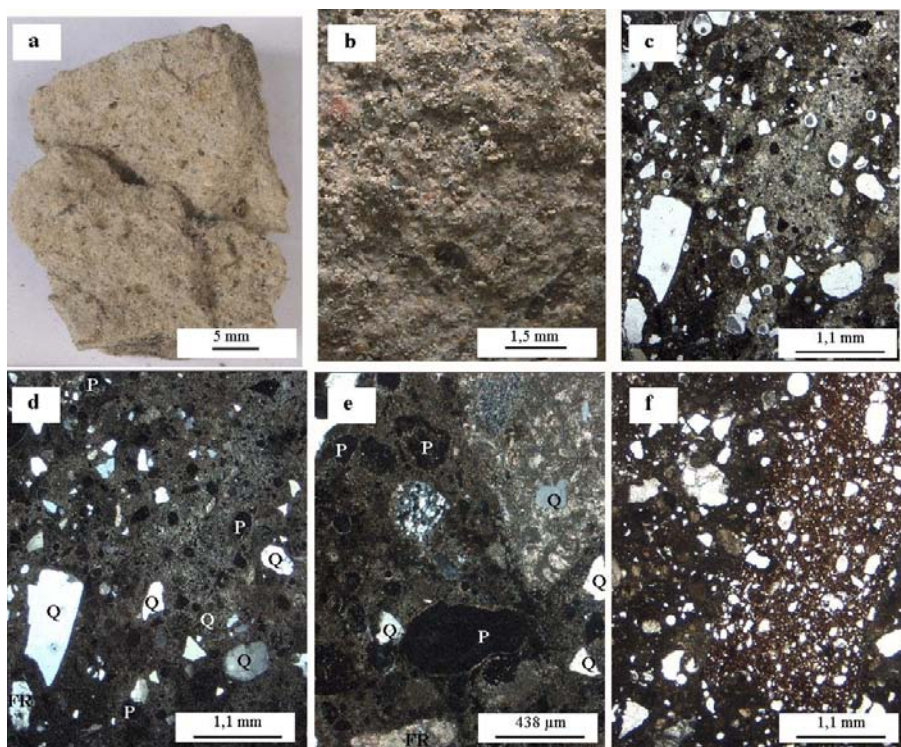


Figura 5.114.- Aspecto general y detalle del mortero tipo II. Macroscópicamente se distinguen granos de cuarzo, minerales opacos, fragmentos cerámicos y espacios vacíos tipo poro. Arriba, al POL (NPx10; NCx10): Destaca un incremento en la proporción de árido en relación a los morteros anteriormente descritos. Se puede distinguir: cuarzo (Q), fragmentos de roca (FR), y poros (P). Abajo al POL, a la izquierda (NCx25): detalle de una zona del mortero, donde aparecen fragmentos de roca (FR) de naturaleza silíceo y carbonatada (esquina superior derecha). A la derecha (NPx10): detalle de uno de los fragmentos cerámicos presentes en el mortero.

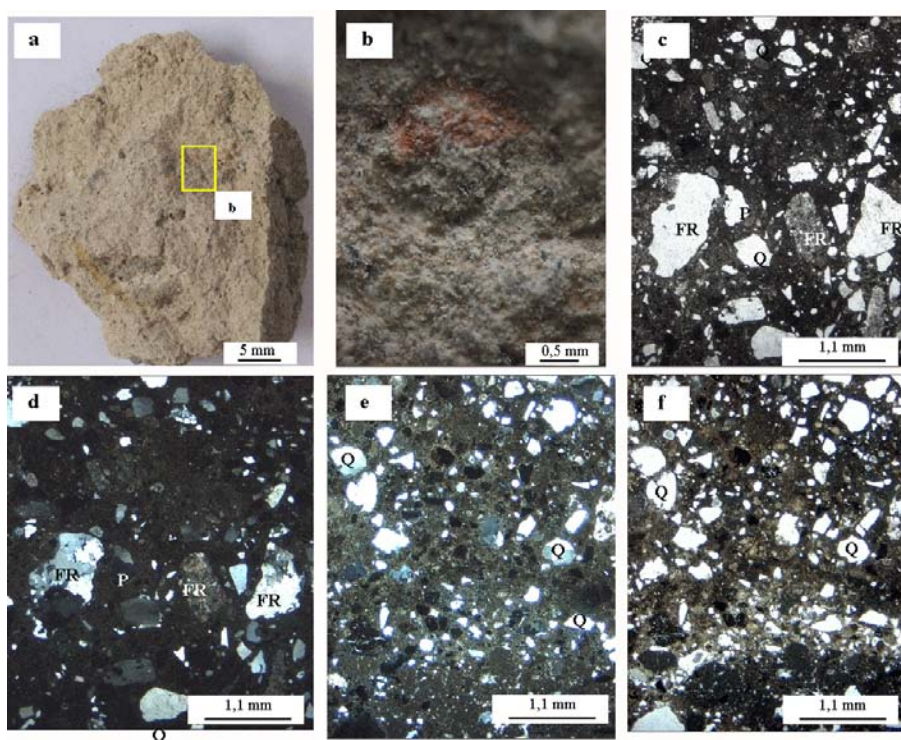


Figura 5.115.- Aspecto general y detalles del mortero tipo III. Además de los espacios vacíos, a mayores aumentos pueden observarse fragmentos cerámicos como parte del árido empleado. Arriba, al POL (NPx10; NCx10): Se pueden distinguir: cuarzo (Q), fragmentos de roca (FR) (tanto silíceos como carbonatados), y espacios vacíos tipo poro (P). Abajo, al POL (NPx10; NCx10): aparece cuarzo y gran cantidad de poros vacuolares.



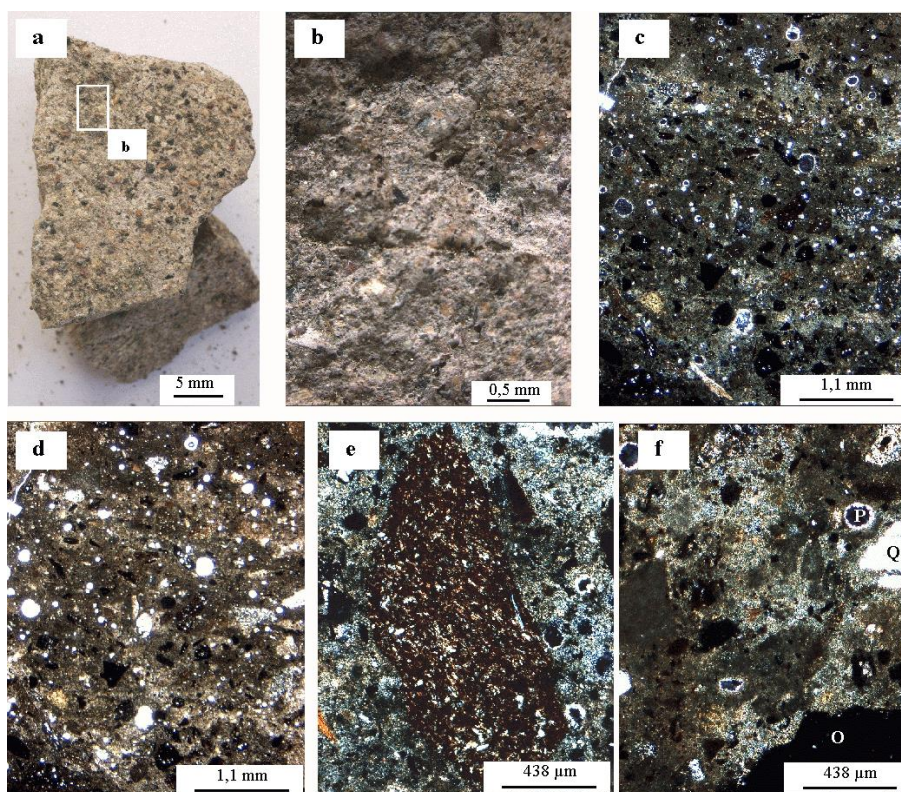


Figura 5.116.- Aspecto general y detalle del mortero tipo IV. Se trata de un mortero bastante poroso con abundantes minerales opacos formando parte del árido. Además de opacos existe gran cantidad de poros vacuolares con tamaños variables. Arriba, al POL (NCx10; NPx10). Abajo, al POL, a la izquierda (NCx63): detalle de uno de los fragmentos cerámicos. A la derecha (NCx63): detalle de la textura del mortero, con zonas micríticas dominando sobre las microesparíticas.

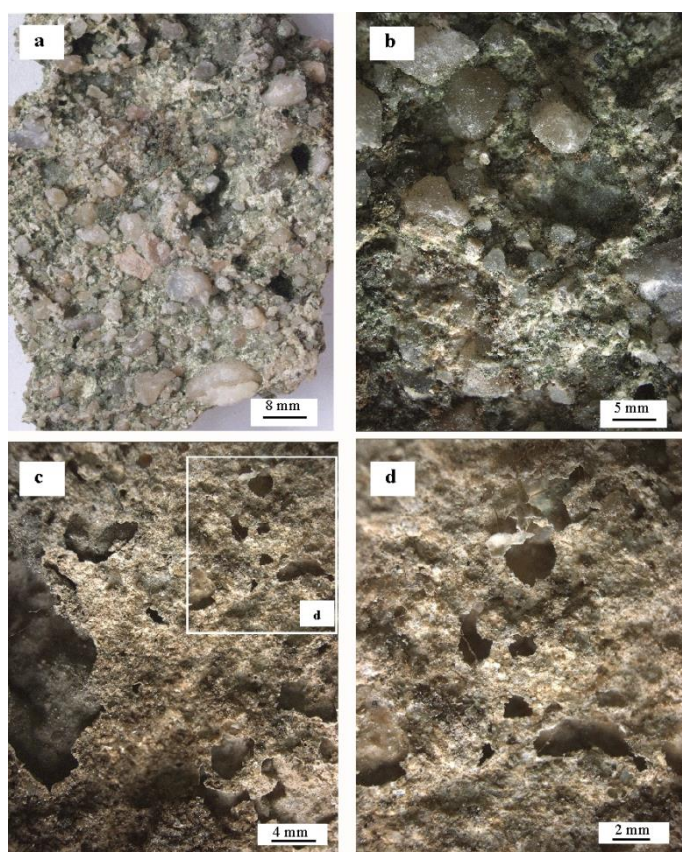


Figura 5.117.- Arriba (a y b): Aspecto externo del mortero tipo V. Destaca la presencia de cristales de cuarzo como parte fundamental del árido. Abajo (c y d): Aspecto general y detalle de la superficie interna del mortero. Además de los poros vacuolares se observan carbonataciones superficiales.

Tabla 5.7.- Foncalada: características petrofísicas de los morteros.

TIPO	COLOR	MATRIZ	ÁRIDOS	POROSIDAD APARENTE
Mortero original	Blanquecino anaranjado	Calcita microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarzo</li> <li>• Fragmentos cerámicos</li> </ul>	15%
Mortero tipo I	Grisáceo	Calcita microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opacos</li> <li>• Cuarzo</li> <li>• Fragmentos de roca de caliza micrítica</li> </ul>	30%
Mortero tipo II	Pardo grisáceo	Calcita microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarzo</li> <li>• Fragmentos de roca de cuarzo microcristalino</li> <li>• Fragmentos de roca arenisca</li> <li>• Fragmentos de roca de caliza de la formación Oviedo</li> <li>• Fragmentos cerámicos</li> </ul>	20%
Mortero tipo III	Pardo grisáceo	Calcita microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarzo</li> <li>• Fragmentos de roca de cuarzo microcristalino</li> <li>• Fragmentos de roca de caliza de la formación Oviedo</li> <li>• Fragmentos cerámicos</li> </ul>	15%
Mortero tipo IV	Púrpura	Calcita microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opacos</li> <li>• Cuarzo</li> <li>• Fragmentos de roca de cuarzo microcristalino</li> <li>• Fragmentos de arenisca</li> <li>• Fragmentos cerámicos</li> <li>• Moscovita</li> </ul>	30%
Mortero tipo V	Pardo	Calcita microcristalina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuarzo</li> <li>• Biotita</li> </ul>	20%

Tal como se deduce de la tabla, la mayoría de los morteros de reposición incorporan fragmentos de roca como árido. Únicamente el tipo V carece de estas adicciones al igual que de fragmentos cerámicos. El extremadamente elevado tamaño de los áridos de esta tipología lo diferencia de todos los demás.

Las únicas similitudes entre morteros de reposición se aprecian entre los tipos II y III ya que en ambos aparecen como áridos fragmentos de roca caliza de la formación Oviedo, de cuarcitas y cerámicos, aunque el primero presenta además, fragmentos de roca arenisca. Esta última incorporación, de fragmentos de rocas sedimentarias, también se observa en el mortero tipo IV. Como ya se ha comentado anteriormente, ningún mortero de reposición se asemeja al original de fábrica.

### 5.3.- SAN SALVADOR DE VALDEDIÓS

En la iglesia de San Salvador se efectúan dos tipos de dataciones: una relativa, derivada del estudio petrofísico de los morteros, y otra absoluta, datación  $^{14}\text{C}$  de la matriz de dos muestras de mortero. A continuación, en los siguientes apartados se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

#### 5.3.1.-DATACIÓN RELATIVA

Durante las últimas obras de restauración llevadas a cabo en San Salvador de Valdediós, en 2010–2011, se procedió a la excavación integral de las cubiertas, con realización de sondeos arqueológicos. Ello permitió la recogida de 15 morteros: muestras: CV32 (M1) CV33 (M2), CV34 (M3), CV35 (M4), CV36 (M5), CV37 (M6), CV38 (M7), CV39 (M8), CV40 (M9), CV41 (M10), CV42 (M11), CV43 (M12), CV44 (M13), CV45 (M14) y CV46 (M15). En este apartado de datación relativa se incluyen los resultados correspondientes al estudio petrográfico de los morteros, aunque la datación relativa de los mismos no se desarrolla hasta el capítulo siguiente, donde se integran estos resultados, con los derivados de las observaciones «in situ» de las secuencias y del análisis arqueológico de las catas realizadas.

#### Muestra M1/CV32

Corresponde a un mortero aplicado a modo de revoco, recogido sobre los contrafuertes de la fachada este de la capilla sur (Fig. 5.118). Macroscópicamente, se trata de un mortero homogéneo y compacto, formado principalmente por granos de cuarzo y algún fragmento de roca, inmersos en una matriz aglomerante de tonos beige-blanquecinos (Fig. 5.119).

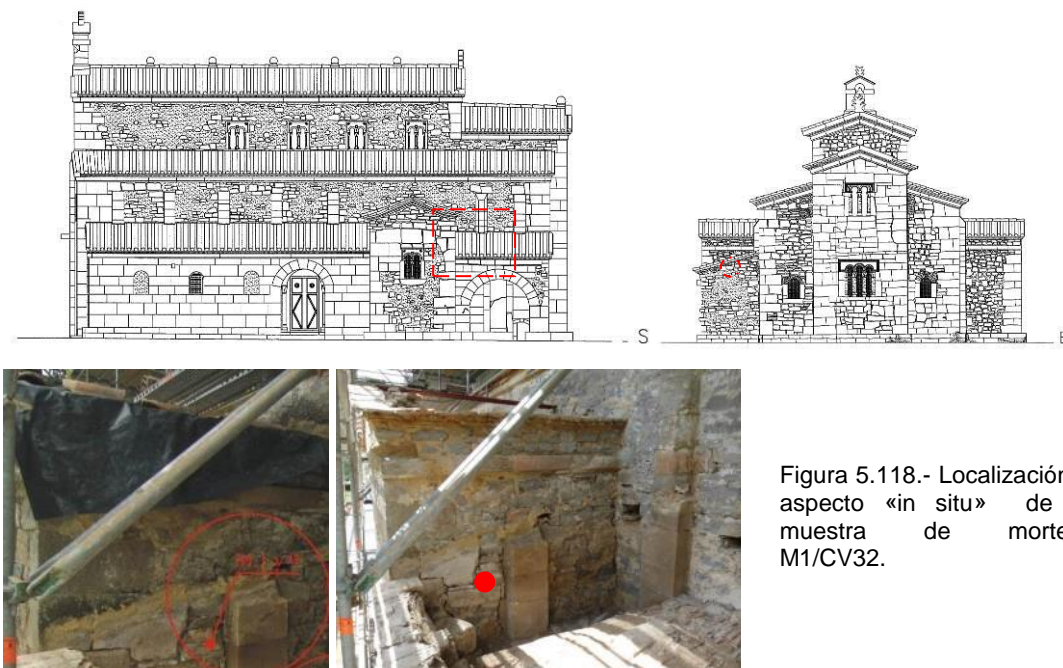


Figura 5.118.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M1/CV32.

Mediante ataque químico, por disolución con ácido clorhídrico al 15%, se ha determinado una relación en peso árido-matriz de 1:3. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (18%) y una fracción limo-arcillosa (6%), con una relación entre ambas de 3:1 (Fig. 5.120).



Figura 5.119.- Aspecto macroscópico del mortero M1/CV32 a la lupa binocular en superficie y sección transversal. En las micrografías se identifican granos de cuarzo (Q), fragmentos de rocas; caliza de color gris, limolita de color ocre y espacios vacíos tipo poro.

Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (96%), granos de moscovita (<1%), limolita (<1%), microclina (<1%) y fragmentos de carbón (4%). Ocasionalmente se observan nódulos de cal. Dentro de la fracción fina, con un tamaño de grano limo-arcilla (< 62,5  $\mu\text{m}$ ), se observa una composición muy similar a la de la fracción gruesa. La morfología de los granos de cuarzo varía entre subredondeada y subangulosa con tamaños de grano arena media situados entre 250 y 500  $\mu\text{m}$ . La mineralogía total del mortero, obtenida por difracción de rayos X, ha sido: calcita y cuarzo (Fig. 5.121).

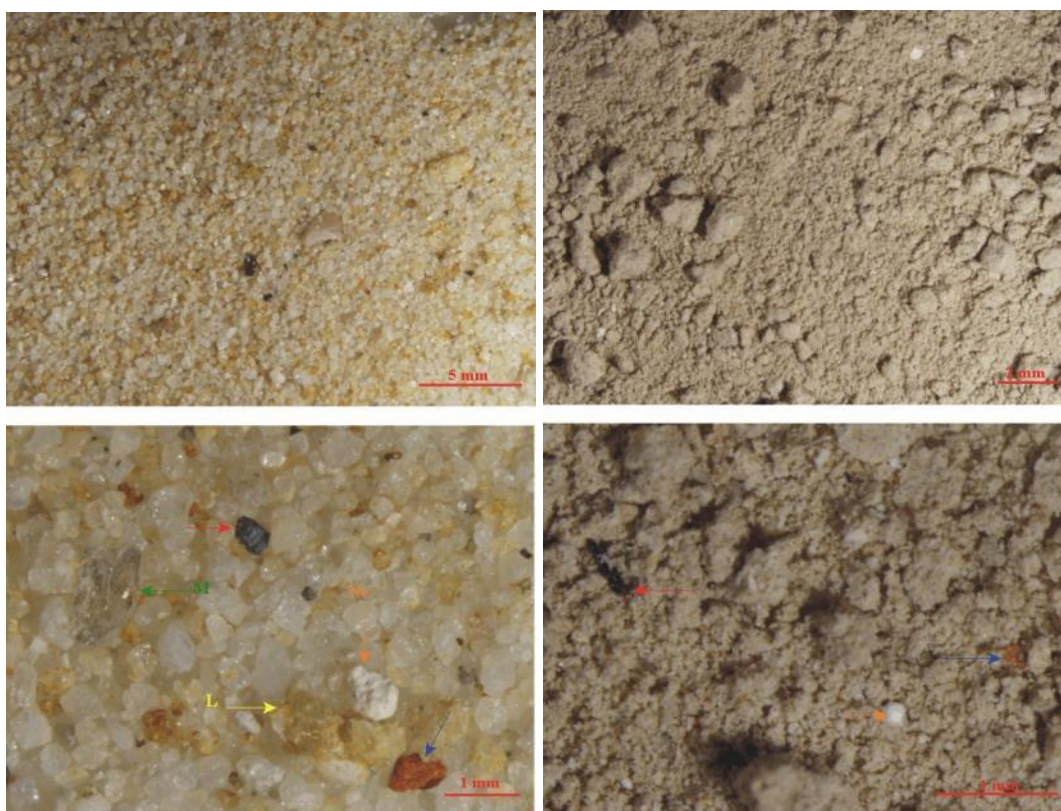


Figura 5.120.- Derecha: Aspecto a la lupa binocular de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero M1/CV32. En las micrografías se identifican, mayoritariamente, granos de cuarzo de color gris translúcido y en menor proporción granos de moscovita (M), nódulos de cal (Nc), limolita (L), granos de carbón (flechas rojas) y cristales de microclina (flechas azules). Izquierda: Detalles de la fracción fina del árido del mortero M1/CV32, observada mediante microscopía estereoscópica. En la imagen inferior se observa en detalle fragmentos de carbón (flecha roja), nódulos de cal (flecha naranja) y cristales de microclina (flecha azul).

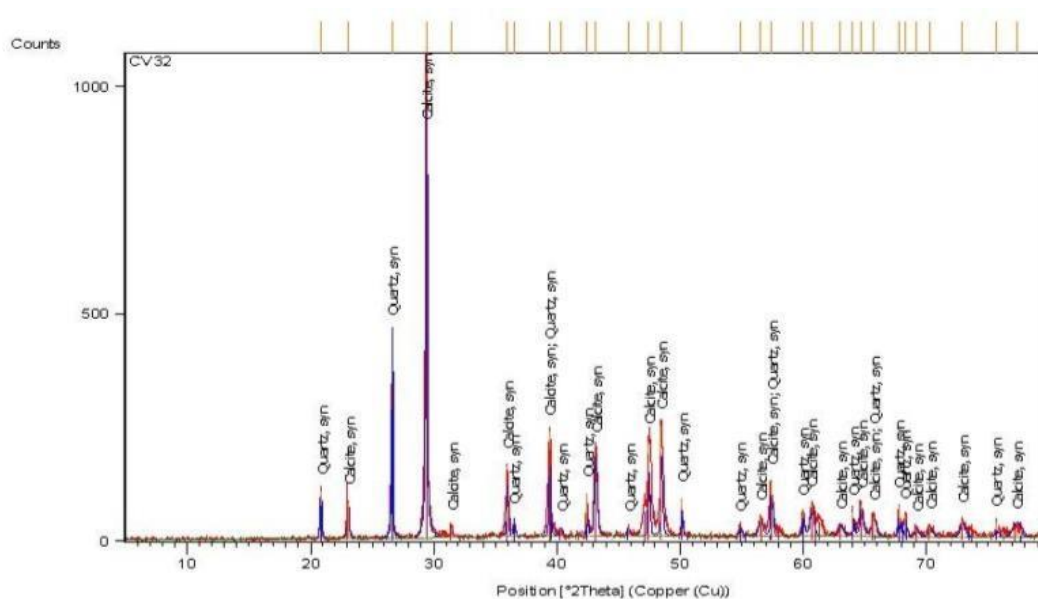


Figura 5.121.- Difractograma de la muestra de mortero M1/CV32. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5% han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

### Muestra M2/CV33

Corresponde a un revoco recogido en el extradós de la bóveda de la capilla de los Obispos, lado este (Fig. 5.122). Macroscópicamente se trata de un mortero homogéneo y compacto, constituido por granos de cuarzo y minerales arcillosos, inmersos en una matriz aglomerante de tonos beige (Fig. 5.123).

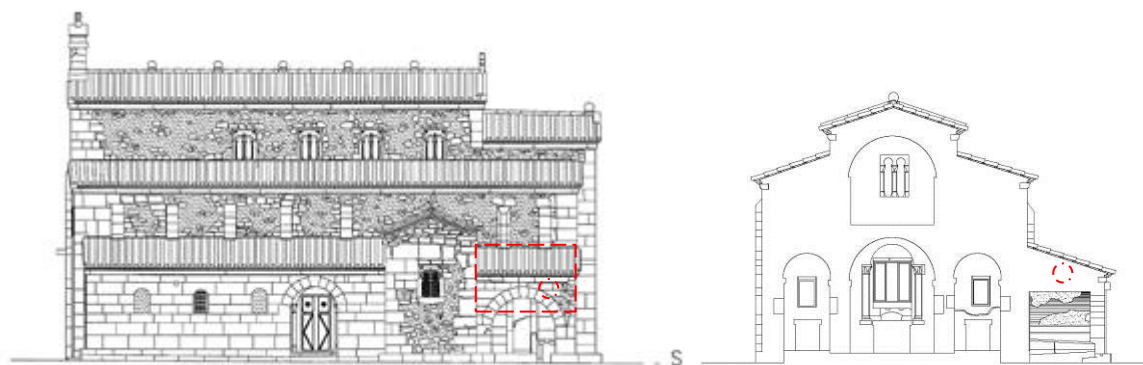


Figura 5.122.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M2/CV33.



Figura 5.123.- Aspecto del mortero M2/CV33 en sección transversal, a la lupa binocular. A esta escala se identifican granos de cuarzo, nódulos de cal, cristales de microclina y minerales arcillosos. Los espacios vacíos, tipo poro aparecen heterogéneamente distribuidos en las zonas más externas.

Mediante ataque químico por disolución con ácido clorhídrico al 15%, se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:8. Dentro del residuo insoluble del mortero se diferencia una fracción gruesa o arenosa (2%) y una fracción fina, limo-arcillosa (16%), con una relación, entre ambas de 1:5 (Fig. 5.124). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican minerales arcillosos (75%), granos de cuarzo (17%), granos de micas del tipo moscovita (2%), fragmentos cerámicos (6%), nódulos de cal (<1%) y fragmentos de carbón (<1%). Respecto al tamaño de grano, se diferencia una fracción minoritaria con tamaño de grano arena media-arena fina (500-125  $\mu\text{m}$ ) y otra mayoritaria tamaño de grano limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ). La morfología de los granos varía entre subredondeada y redondeada, con una esfericidad moderada (0,7), (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955). El análisis mineralógico, por difracción de rayos X, ha determinado la presencia de calcita, cuarzo, dolomita y moscovita (Fig. 5.125).

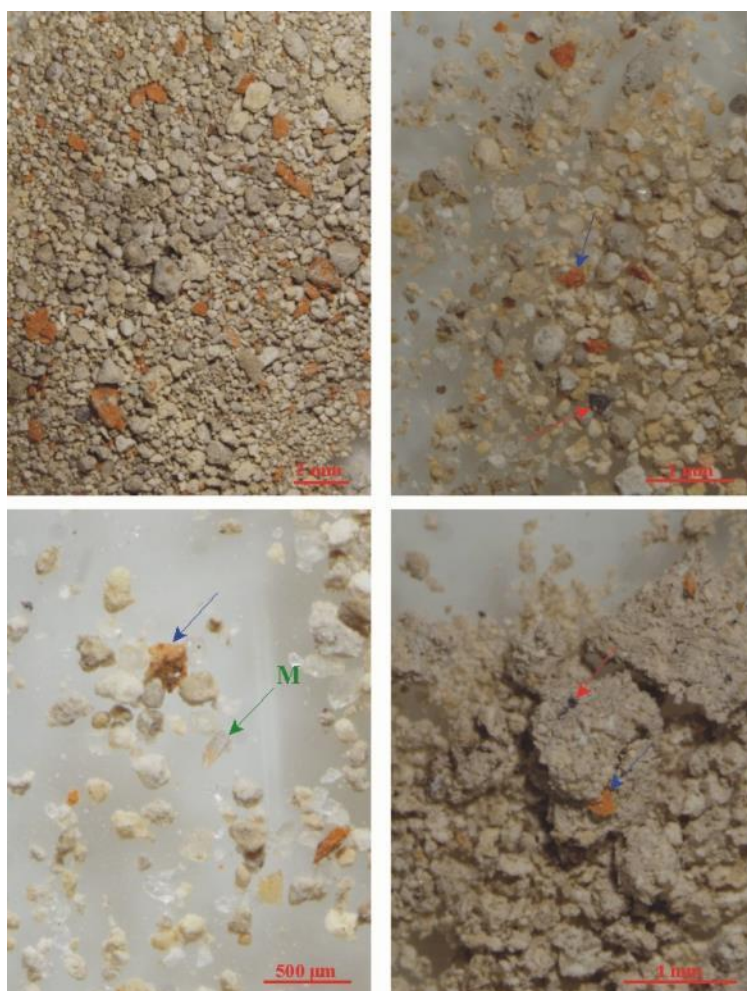


Figura 5.124.- Aspecto a la lupa binocular de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble del mortero M2/CV33, después de su ataque químico. En las imágenes se observa que la fracción gruesa está constituida mayoritariamente por minerales arcillosos y algo de cuarzo, además de fragmentos cerámicos (flechas azules) y fragmentos de carbón (flechas rojas). Las imágenes inferiores muestran, a mayores aumentos, granos de moscovita (M), fragmentos cerámicos, y fragmentos de carbón (flechas rojas).

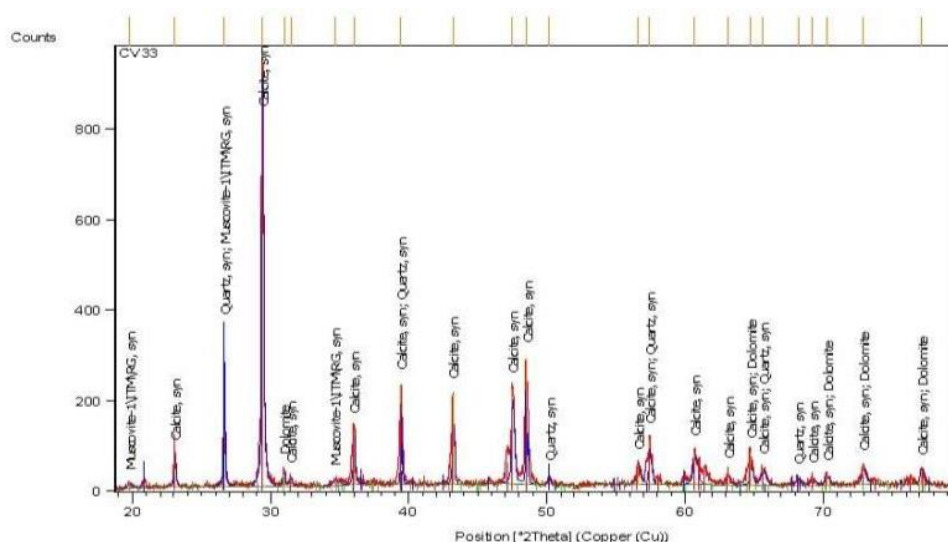


Figura 5.125.- Diffractograma de la muestra M2/CV33. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] y moscovita [ $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ].

### Muestra M3/CV34

Corresponde a un hormigón del encapotado de la bóveda de la cubierta de la nave central, vertiente norte (Figs. 5.126 a 5.127). Se trata de un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado esencialmente por fragmentos cerámicos, inmersos en una matriz de tono blanquecino-beige. Dentro del material cerámico se identifican granos de cuarzo (Fig. 5.128).

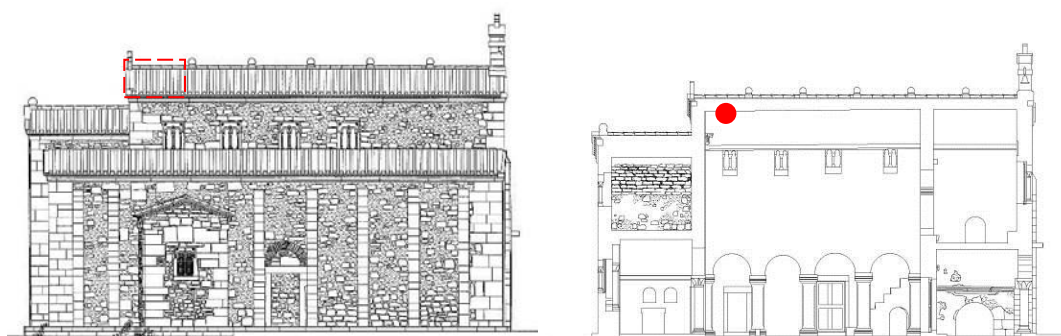


Figura 5.126.- Localización de la muestra de mortero M3/CV34.



Figura 5.127.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M3/CV34.



Figura 4.128.- Aspecto general del mortero M3/CV34, a la lupa binocular. Dentro de la matriz arcillosa del fragmento cerámico se identifican granos de cuarzo.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación en peso de árido-matriz de 1:1. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción gruesa, arenosa (35%) y una fracción fina, limosa-arcillosa (21%), con una relación entre ambas de 2:1 (Fig. 5.129). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa, se identifican, abundantes fragmentos cerámicos (63%), granos de cuarzo (35%), micas de tipo moscovita (2%) fragmentos de limolita (<1%) y granos de carbón (<1%). La fracción fina, con tamaño de grano limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ), presenta una composición similar a la de la fracción gruesa. La morfología de los granos varía entre subredondeada y subangulosa con tamaños de grano comprendidos entre arena muy gruesa y arena media (2-0,25 mm). La mineralogía total del mortero, obtenida por DRX, se presenta en la figura 5.130. Los minerales detectados han sido cuarzo, calcita y moscovita.



Figura 5.129.- Detalles a la lupa binocular del residuo insoluble del mortero M3/CV34, después del ataque químico. En las micrografías se observa que la fracción gruesa está constituida mayoritariamente por fragmentos cerámicos con algo de limolita (flecha amarilla) y pequeños fragmentos de carbón (flechas rojas). Las imágenes inferiores muestran detalles de granos de moscovita (M) y cuarzo (Q).



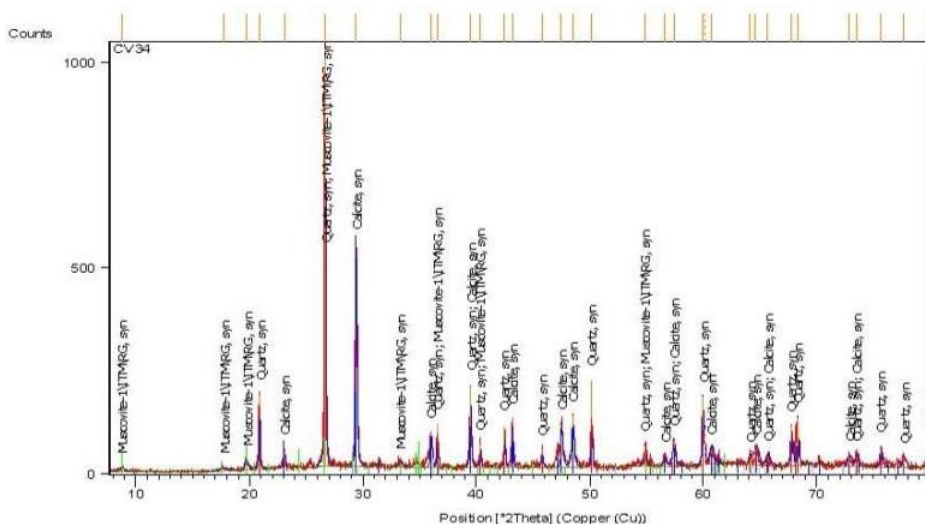


Figura 5.130.- Difractograma de la muestra M3/CV34. Los minerales detectados han sido: cuarzo (SiO<sub>2</sub>), calcita (CO<sub>3</sub>Ca) y moscovita (KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>).

**Muestra M4/CV35**

Corresponde a un enlucido, recogido en la bóveda de la cubierta de la nave central, vertiente norte (Figs. 5.126 y 5.127). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado por granos de cuarzo y fragmentos cerámicos, inmersos en una matriz aglomerante de tonos beige (Fig. 5.131).



Figura 4.131.- Localización y aspecto macroscópico del mortero M4/CV35. En la imagen inferior se identifican granos de cuarzo nódulos de cal y fragmentos cerámicos. Granulométricamente existen dos poblaciones de materiales cerámicos bien diferenciadas. También se observan abundantes espacios vacíos tipo poro.

Mediante ataque químico, por disolución con ácido clorhídrico al 15%, se ha determinado presenta una relación en peso árido-matriz de 1:3. Formando parte del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (16%) y una fracción limosa-arcillosa (11%), con una relación entre ambas de 1:1 (Figs. 5.132 a 5.133). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa, se identifican, granos de cuarzo (79%), cristales de moscovita (2%), granos de limolita (<1%), fragmentos cerámicos (15%) y nódulos de cal (4%). La morfología de los granos minerales varía de subredondeada a redondeada y respecto a la granulometría, existe una amplia distribución con granos tamaño canto-grava muy fina (5-2 mm), granos tamaño arena media (500-250 μm) y granos tamaño limo-arcilla (<62,5 μm). La fracción fina del residuo es composicionalmente similar a la gruesa pero presenta mayor abundancia de nódulos de cal y algún grano de carbón. Su análisis mineralógico, por rayos X, muestra una composición a base de calcita, cuarzo y moscovita (Fig. 5.134).



Figura 5.132.- Aspecto a la lupa binocular de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble del mortero M4/CV35. En las imágenes se identifican granos de cuarzo (Q), fragmentos cerámicos (flechas azules) y algún grano de micas del tipo moscovita (M).



Figura 5.133.- Detalles, a la lupa binocular, de la fracción fina del residuo insoluble del mortero M4/CV35. En la imagen se identifican granos de carbón y nódulos de cal, además de fragmentos cerámicos y minerales arcillosos.

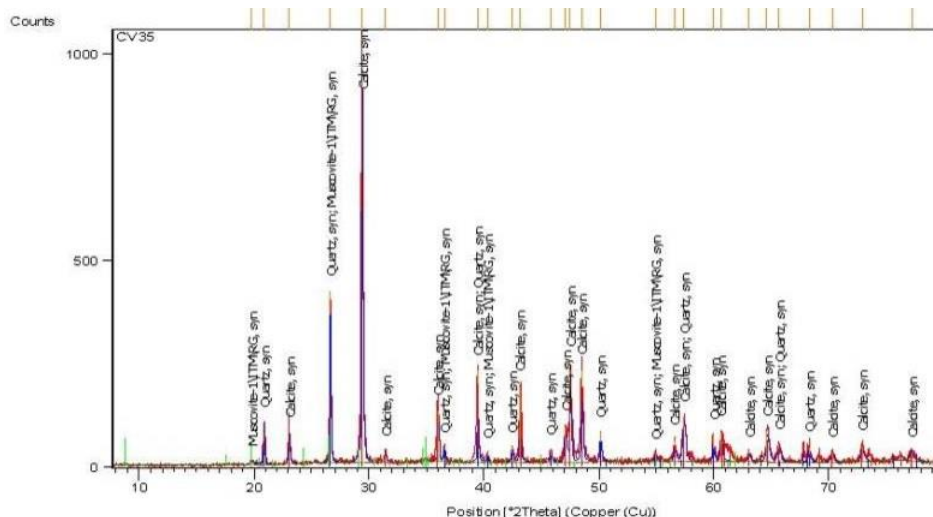


Figura 5.134.- Diffractograma de la muestra de mortero M4/CV35. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y moscovita ( $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ).

### Muestra M5/CV36

Corresponde a la 1ª capa de hormigón del encapotado de la bóveda de la cubierta de la nave sur (Fig. 5.135). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de tonos ocre-amarillentos (Fig. 5.136).

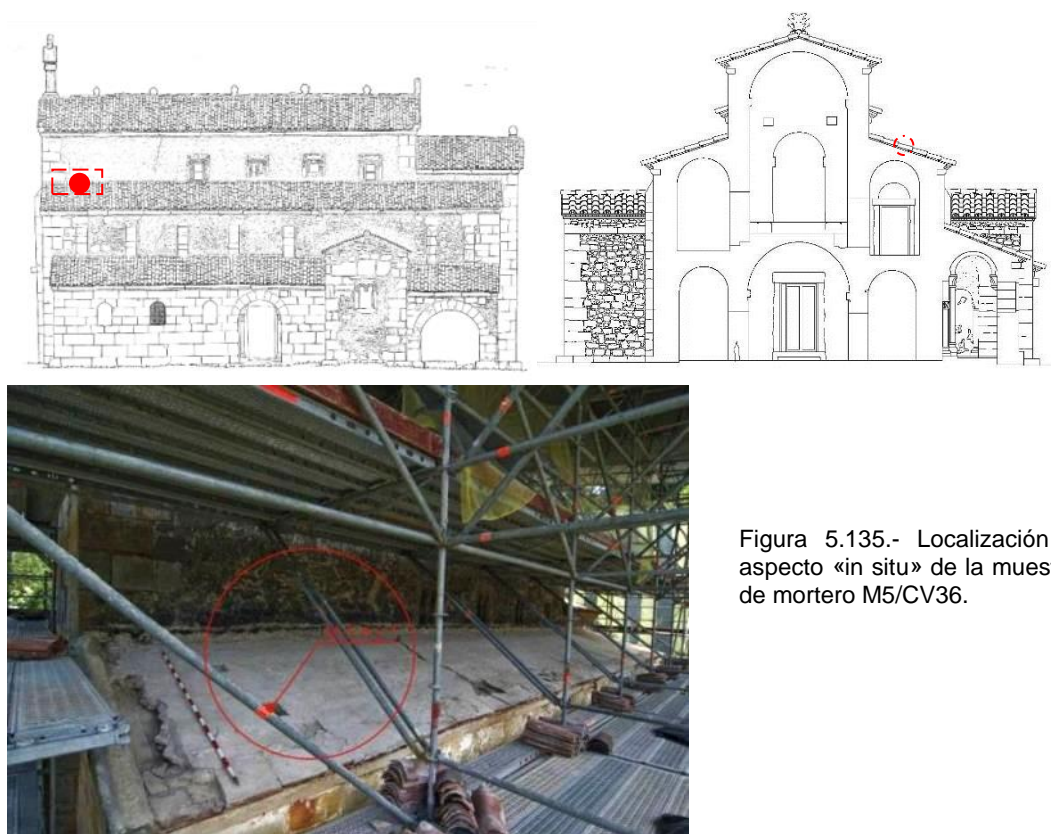


Figura 5.135.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M5/CV36.



Figura 5.136.- Aspecto macroscópico del mortero M5/CV36 a la lupa binocular. En la imagen inferior se identifican granos de cuarzo, granos de limolita y pequeños fragmentos de carbón.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido–matriz de 1:1. En el residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (39%) y una fracción limosa-arcillosa (9%), lo que implica una proporción entre ambas de 5:1 (Fig. 5.137). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (99%), moscovita (<1), fragmentos de limolita (<1%) y granos de carbón (1%). La morfología de los granos de cuarzo varía entre subredondeada y subangulosa, con tamaños de arena media-arena fina (500-125  $\mu\text{m}$ ) y limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ). El análisis difractográfico del mortero muestra su composición mineralógica de calcita, cuarzo, ortosa y dolomita (Fig. 5.138).

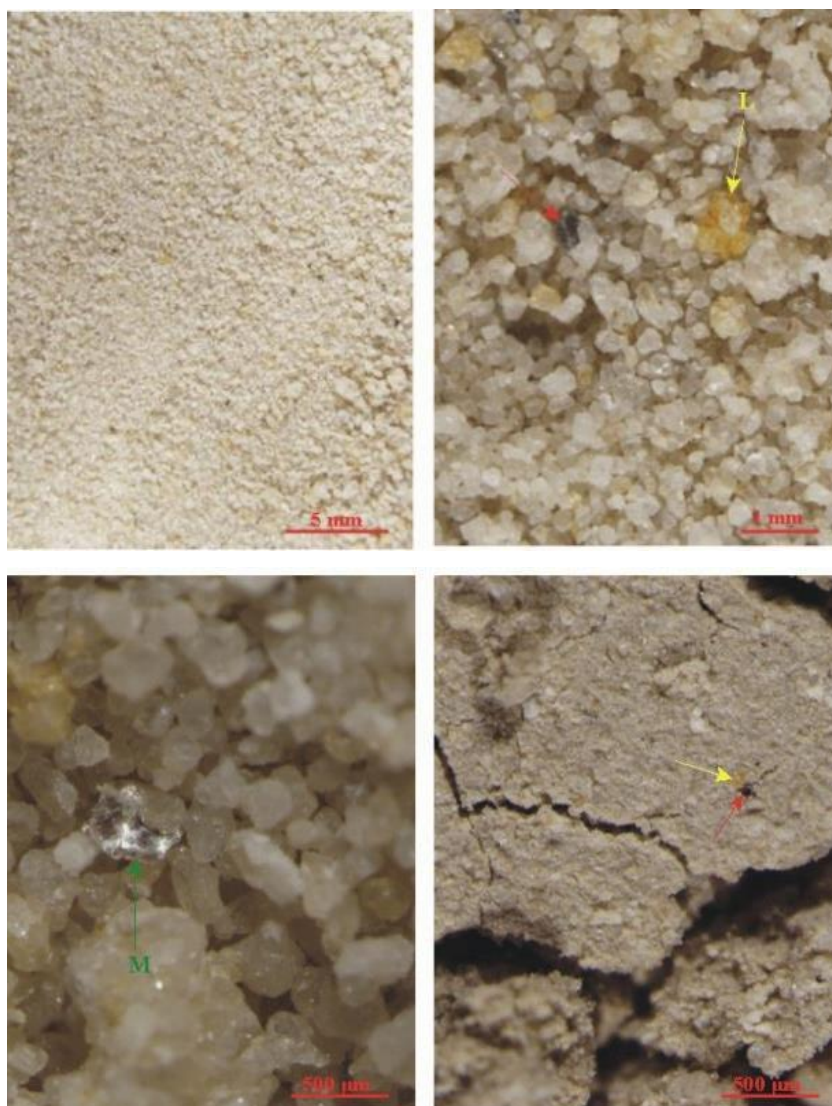


Figura 5.137.- Arriba: Aspecto a la lupa de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble del mortero M5/CV36. Las micrografías muestran la presencia mayoritaria de granos de cuarzo, algo de limolita (L) y fragmentos de carbón (flecha roja). Abajo: dentro de la fracción fina se aprecia la presencia mayoritaria de granos de cuarzo, algún fragmento de carbón y algún grano de moscovita

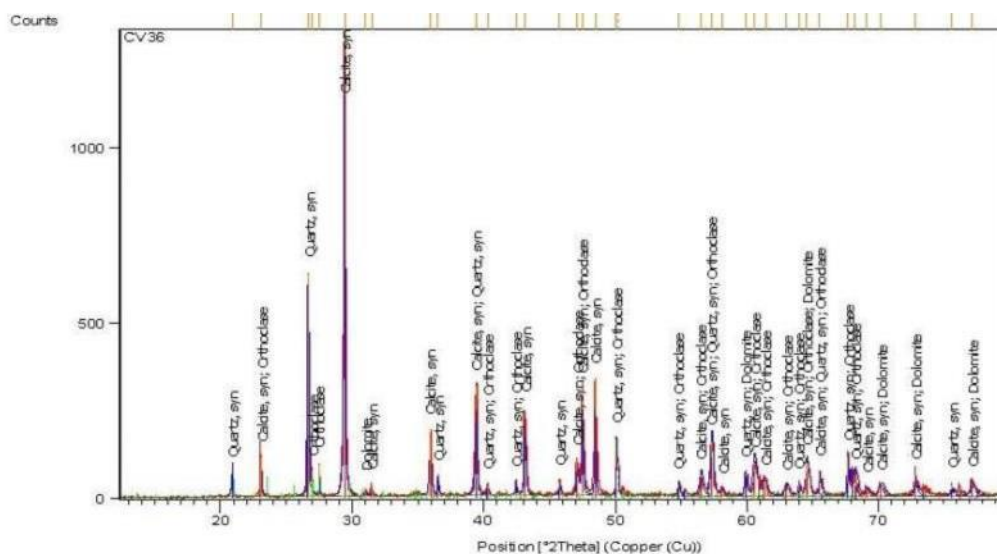


Figura 5.138.- Difractograma de la muestra de mortero M5/CV36. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), ortosa [ $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ] y dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

### Muestra M6/CV37

Corresponde a la 2ª capa de hormigón del encapotado de la bóveda de la cubierta de la nave sur (Fig. 5.135). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado principalmente por granos de cuarzo, inmersos en una masa aglomerante de color beige. (Fig. 5.139).



Figura 5.139.- Aspecto estereoscópico del mortero M6/CV37. A esta escala de observación se identifican abundantes granos de cuarzo, granos de limolita y algún fragmento de carbón. Los espacios vacíos en este mortero son de tipo poro.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:4. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (17%) y una fracción limo-arcillosa (4%), con una relación entre ambas de 4:1 (Figs. 5.140 a 5.141). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (98%), microclina (<1%), fragmentos de limolita (1%), restos de carbón (1%) y fragmentos cerámicos (<1%). En la fracción fina, además de cuarzo, se identifican algunos nódulos de cal. Respecto a la granulometría del árido predomina el tamaño arena muy gruesa-arena gruesa (2-0,5 mm), frente al tamaño de grano limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ), variando la morfología de los granos de cuarzo entre subredondeada y subangulosa. Mineralógicamente la composición total del mortero es cuarzo y calcita (5.142).



Figura 5.140.- Aspecto estereoscópico del residuo insoluble del mortero M6/CV37.

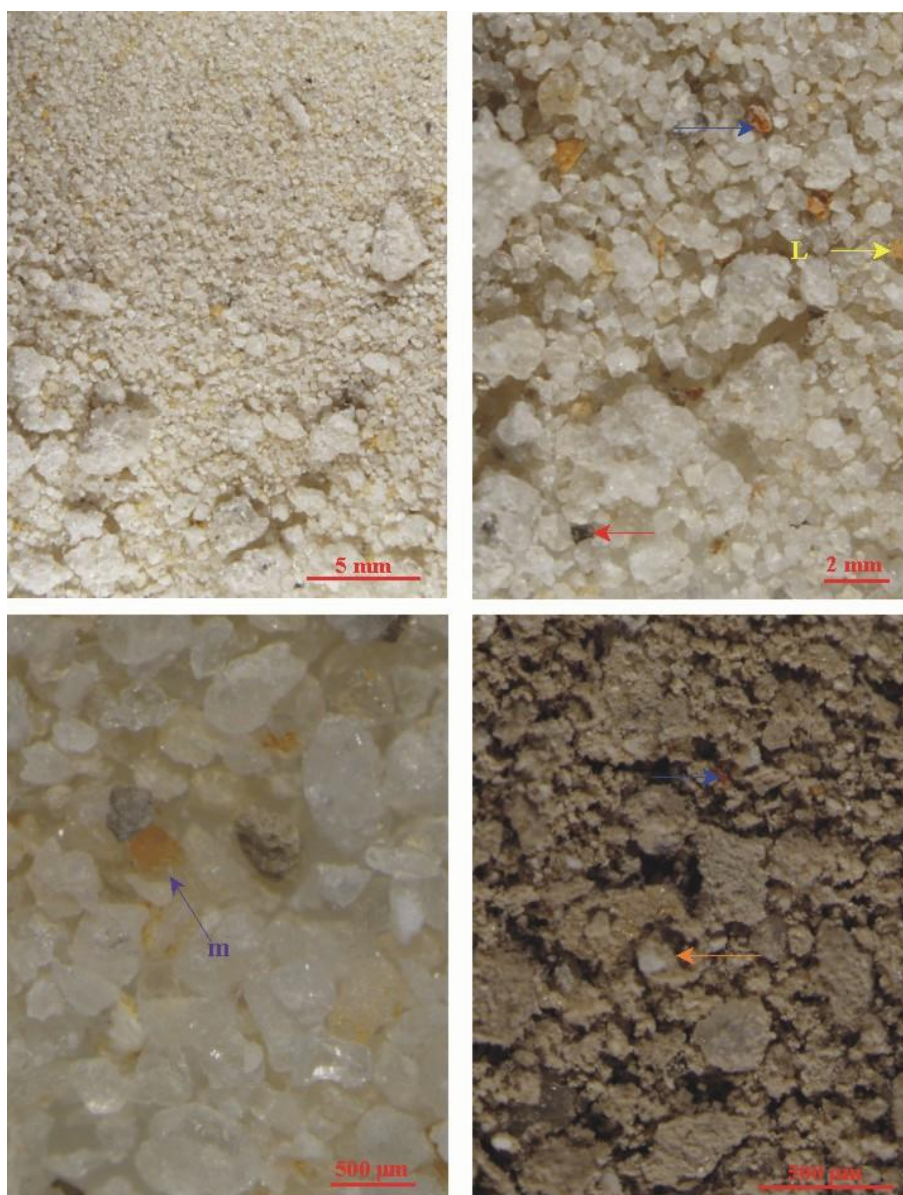


Figura 5.141.- Detalles a la lupa binocular de la fracción gruesa y fina del mortero M6/CV37. En las imágenes se observan abundantes granos de cuarzo, con algo de limolita (L), fragmentos de carbón (flechas rojas), fragmentos cerámicos (flecha azul), granos de microclina (m) y nódulos de cal (flecha naranja). En la fracción fina se observa como los minerales arcillosos se disponen en escamas englobando granos de cuarzo de tamaño arena muy fina-limo.

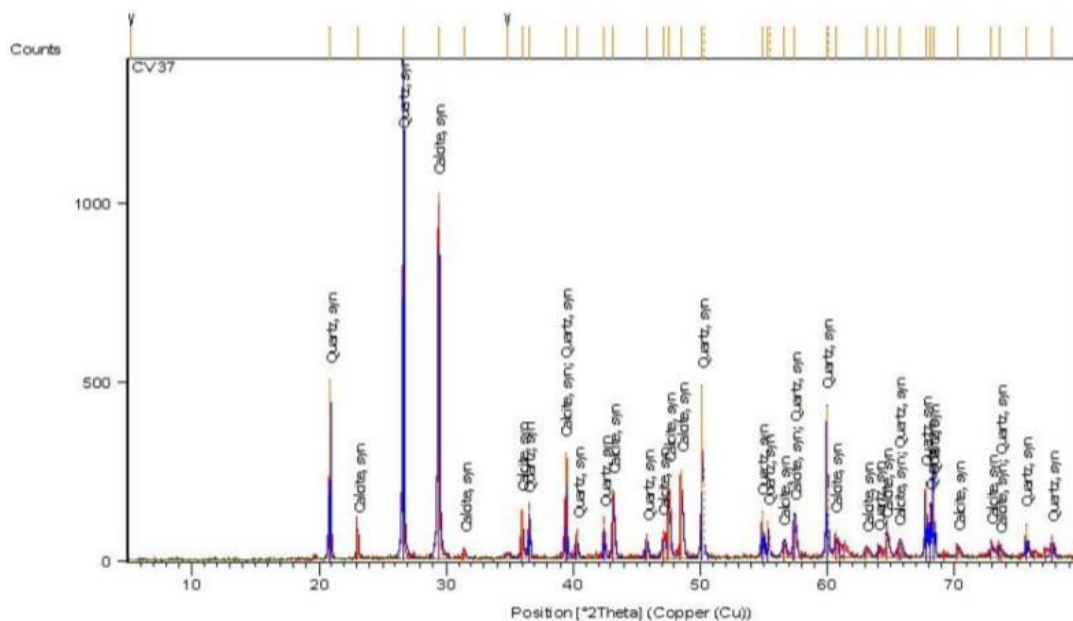


Figura 4.142- Diffractograma de la muestra M6/CV37. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5% han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

#### Muestra M7/CV38

Corresponde a un enlucido, aplicado sobre la 2ª capa del encapotado de la bóveda de la cubierta de la nave sur (Fig. 5.143). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado esencialmente por granos de cuarzo y fragmentos cerámicos, inmersos en una matriz aglomerante de tonos beige (Fig. 5.144).

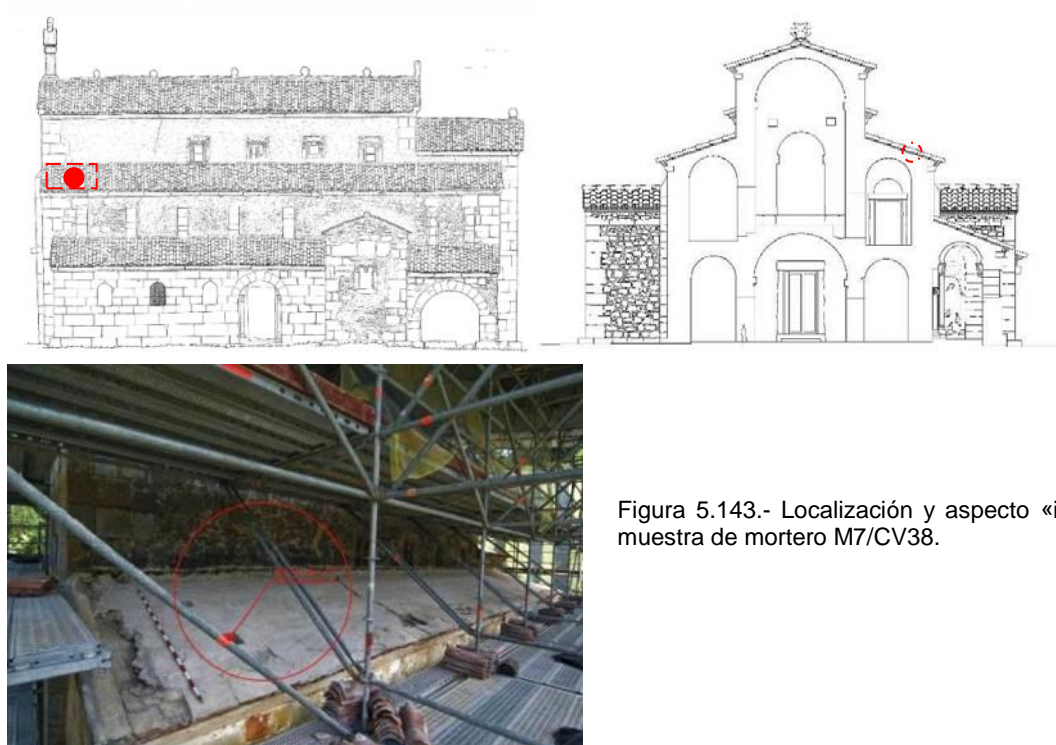


Figura 5.143.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M7/CV38.



Figura 5.144.- Aspecto macroscópico del mortero M7/CV38, a la lupa binocular. Se identifican granos de cuarzo, fragmentos cerámicos y algún fragmento de carbón. Los espacios vacíos, tipo poro, son abundantes.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:3. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (20%) y una fracción limo-arcillosa (8%), lo que implica una relación entre ambas de 3:1 (Fig. 5.145). Microscópicamente, en la fracción gruesa, se identifican, granos de cuarzo (89%) y moscovita (<1%), fragmentos de limolita (<1%), fragmentos cerámicos (12%) y algún grano de carbón (<1%). Respecto a la granulometría del árido, se diferencia un conjunto de granos con tamaños de grano canto-grava muy fina (5-2 mm), otro con tamaños arena media (500-250  $\mu\text{m}$ ) y otro con tamaño de grano limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ). La composición de las diferentes fracciones es similar pero en la fina se observan, además, granos de carbón y nódulos de cal. La morfología de los granos de cuarzo varía entre subredondeada y redondeada. Los minerales detectados en la muestra total, por difracción de rayos X, han sido calcita, cuarzo y dolomita (Fig. 5.146).

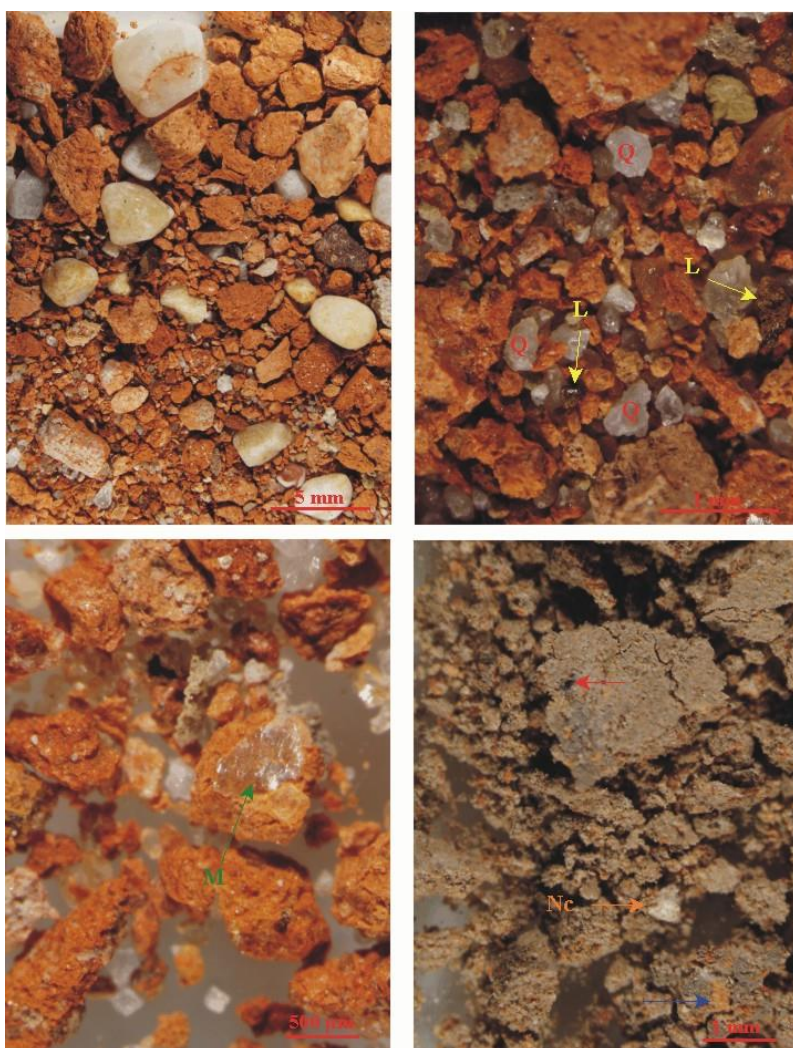


Figura 5.145.- Detalles a la lupa binocular del residuo insoluble del mortero M7/CV38. En las imágenes se identifican granos de cuarzo (Q), fragmentos cerámicos (flechas azules), algo de limolita (L), granos de moscovita (M), nódulos de cal (Nc) y granos de carbón (flechas rojas).



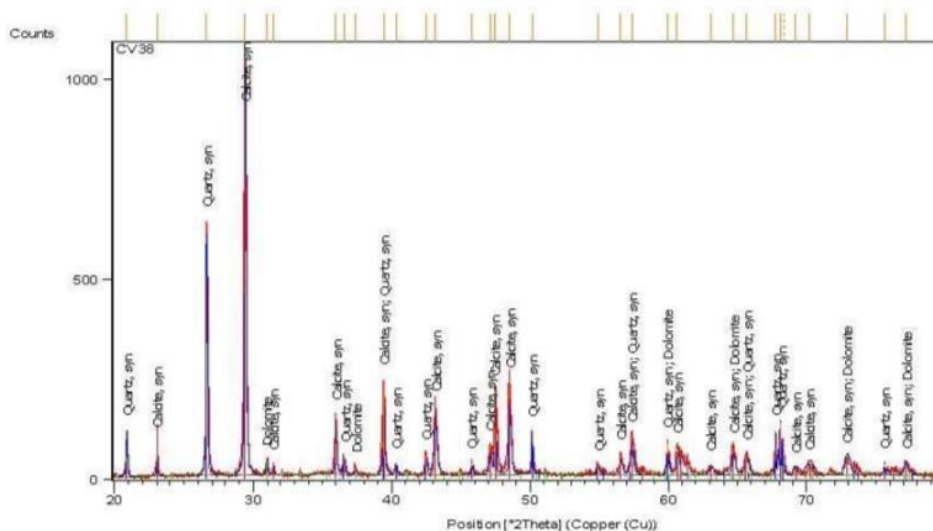


Figura 5.146.- Difractograma de la muestra de mortero M7/CV38. Los minerales detectados por difracción de rayos X en proporciones superiores al 1,5% han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

### Muestra M8/CV39

Corresponde a un mortero que revoca el tramo oriental de la fachada sur de la nave sur, entre los dos contrafuertes orientales (Fig. 5.147). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado mayoritariamente por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de color beige-blanquecino (Fig. 5.148).

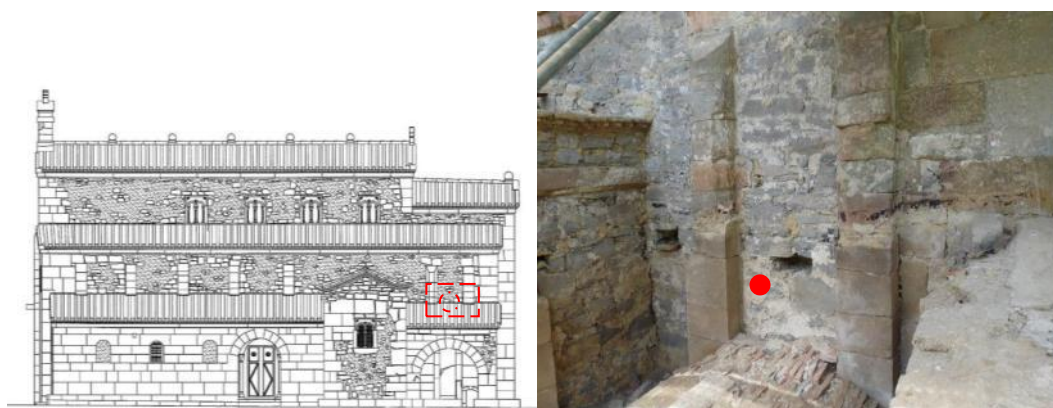


Figura 5.147.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M8/CV39.



Figura 5.148.- Aspecto macroscópico del mortero M8/CV39 a la lupa binocular. En la imagen inferior se observan granos de cuarzo, fragmentos de carbón y algo de limolita. Los espacios vacíos son tipo poro.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:4. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (16%) y una fracción limosa-arcillosa (5%), presentando entre ambas una relación de 3:1 (Figs. 5.149). Microscópicamente en la fracción

gruesa, se identifican granos de cuarzo (97%) y microclina (2%), fragmentos de limolita (1%), granos de carbón (<1%) y fragmentos cerámicos (<1%). La mayoría de los granos de cuarzo presentan tamaño de grano arena fina (250-150  $\mu\text{m}$ ). Dentro de la fracción fina, minoritaria, con tamaño de grano limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ), además de arcillas, se observan nódulos de cal. La morfología de los granos varía de subredondeada a subangulosa (0,7), con una esfericidad baja (0,5) (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955). Su análisis mineralógico, por rayos X, ha detectado calcita, cuarzo y microclina (Fig. 5.150).



Figura 5.149.- Izquierda: aspecto a la lupa binocular de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero M8/CV39. En las imágenes se observan abundantes granos de cuarzo, además de fragmentos cerámicos (flechas azules), granos de carbón (flechas rojas), fragmentos de limolita (L) y microclina (m). Derecha: detalles de la fracción fina del residuo insoluble del mortero. En las imágenes inferior se identifican granos de cuarzo, reubiertos mayoritariamente por arcillas, limolita (L) y algún nódulo de cal (Nc).

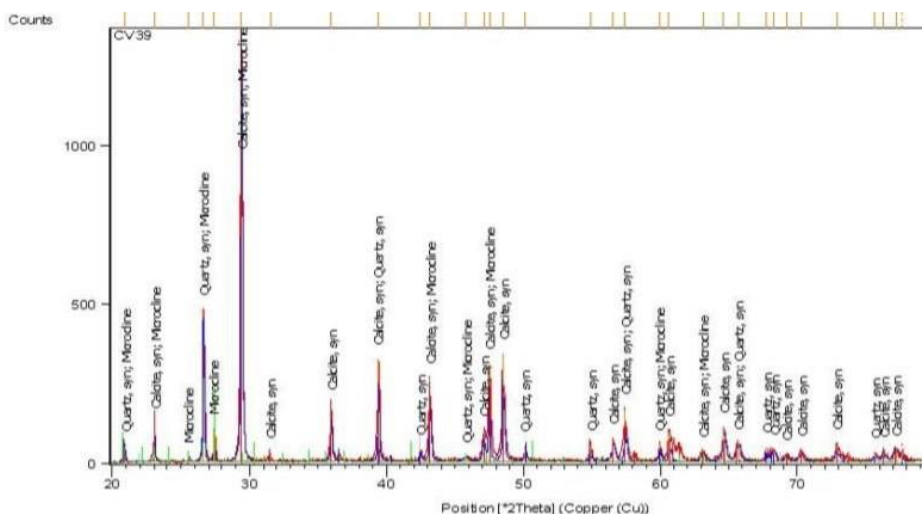


Figura 5.150.- Difractograma de la muestra de mortero M8/CV39. Los minerales detectados por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y microclina ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ).

### Muestra M9/CV40

Corresponde a un revoco recogido en la fachada este de la capilla sur, al lado del contrafuerte (Fig. 5.151). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado por granos de cuarzo y nódulos de cal inmersos en una matriz aglomerante de color beige (Fig. 5.152).



Figura 5.151.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M9/CV40.

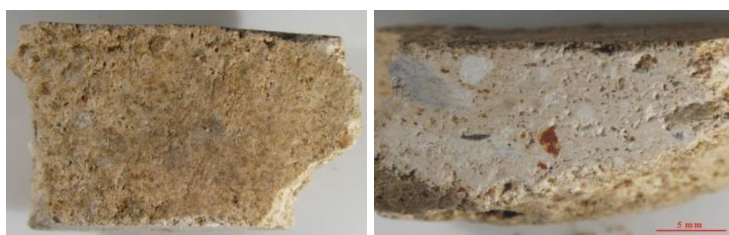


Figura 5.152.- Aspecto macroscópico de la muestra de mortero M9/CV40, a la lupa binocular, en superficie y en corte transversal. A esta escala se identifican granos de cuarzo (flechas rojas), granos de carbón, nódulos de cal y fragmentos cerámicos. Los espacios vacíos tipo poro son de reducido tamaño.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:5. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (12%) y una fracción fina, limo-arcillosa (6%), (Figs. 5.153 a 5.154). La relación entre ambas fracciones es de 2:1. Microscópicamente, se identifican granos de cuarzo (95%), cristales de moscovita (<1%) y turmalina (<1%), fragmentos de limolita (<1%), fragmentos cerámicos (5%), granos de carbón (<1%) y nódulos de cal (<1%). La granulometría del árido varía de arena fina (250-150  $\mu\text{m}$ ) a limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ) y la morfología del cuarzo, componente mayoritario, es preferentemente subredondeada-redondeada (0,7-0,9), con esfericidad elevada (0,9). Los minerales identificados, por DRX en la muestra total, han sido cuarzo y calcita (Fig. 5.155).



Figura 5.153.- Detalles a la lupa binocular de la fracción fina del residuo insoluble del mortero M9/CV40. En la imagen inferior, además de cuarzo y arcillas, se identifican granos de carbón (flechas rojas) y fragmentos cerámicos (flechas azules).

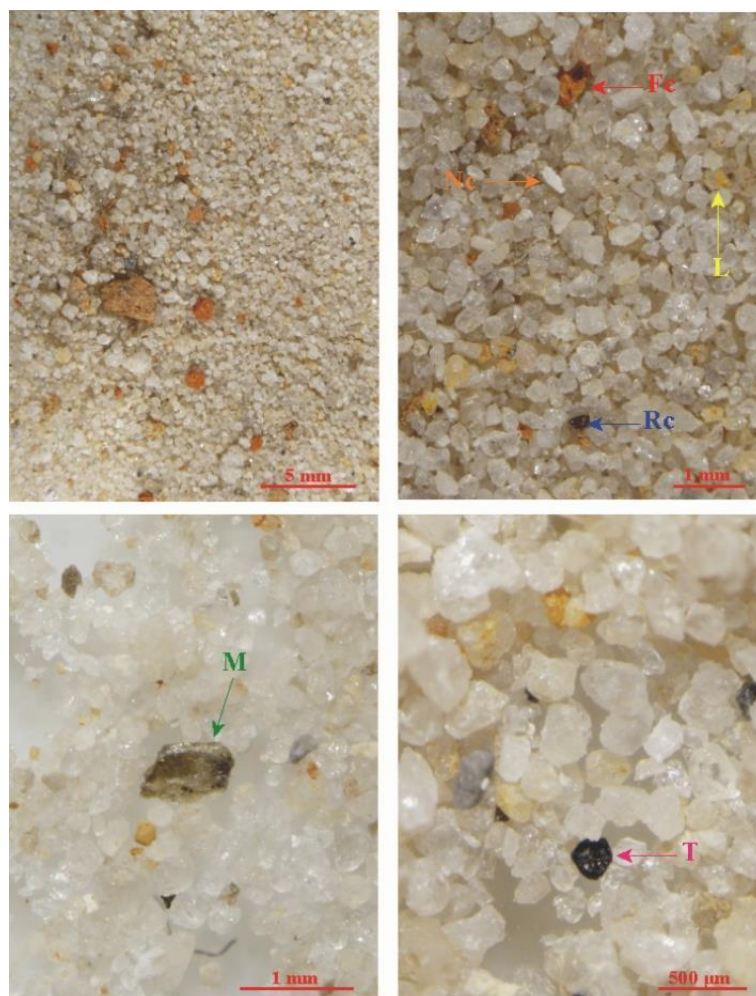


Figura 5.154.- Detalles a la lupa binocular de los cristales constituyentes de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble del mortero M9/CV40. En las imágenes destaca la presencia mayoritaria de granos de cuarzo. También se identifican fragmentos cerámicos (Fc), nódulos de cal (Nc), algo de limolita (L), fragmentos de carbón (Rc), cristales de micas del tipo moscovita (M) y algún grano de turmalina (T).

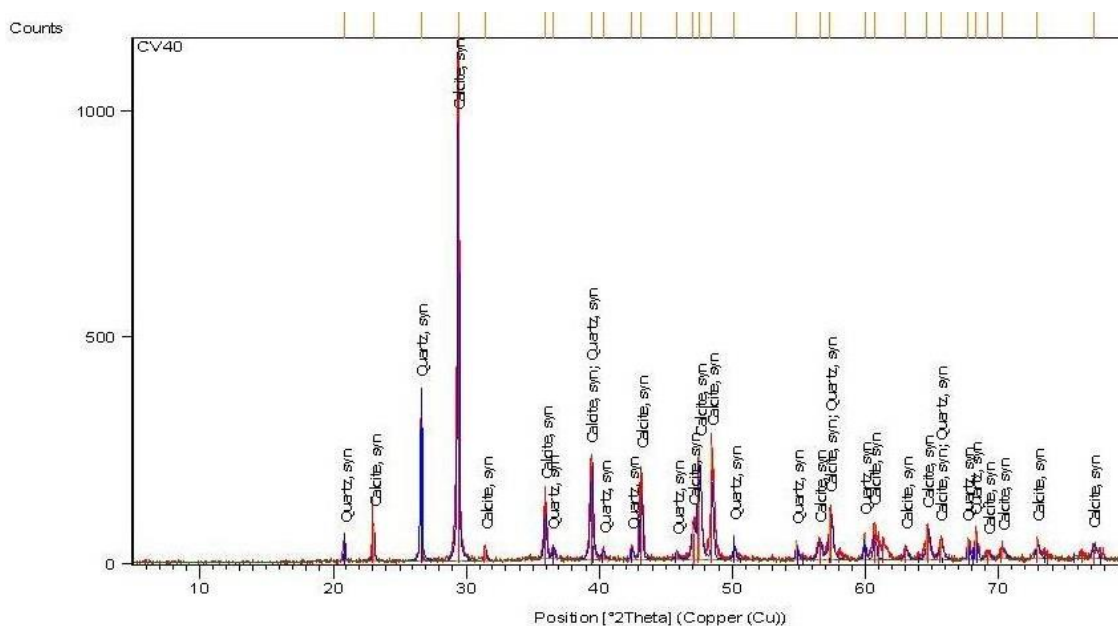


Figura 5.155.- Difractograma de la muestra de mortero M9 /CV40. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

### Muestra M10/CV41

Corresponde a un mortero de juntas del aparejo de ladrillo, recogido en la rosca de la bóveda (trasdós) de la capilla de los Obispos (Fig. 5.156). Es un mortero coherente, homogéneo y compacto, constituido por granos de cuarzo inmersos en una matriz de color beige-pardo (Fig. 5.157).

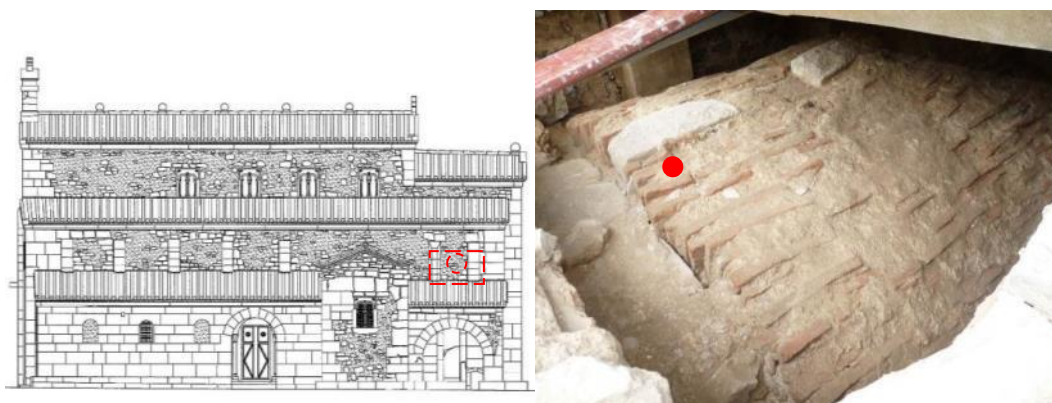


Figura 5.156.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M10/CV41.



Figura 5.157.- Aspecto macroscópico de la muestra M10/CV41, a la lupa binocular, en superficie y en corte transversal. A esta escala únicamente se identifican granos de cuarzo, aglutinados en una matriz carbonatada. Los espacios vacíos tipo poro presentan elevados radios de acceso.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:9. En el residuo insoluble se diferencia una fracción gruesa, arenosa (4%) y una fracción fina, limo-arcillosa (6%), lo que implica una relación entre ambas alrededor de 1:1 (Fig. 5.158). Microscópicamente, se identifican granos de cuarzo (99%) y microclina (<1%), fragmentos de limolita (<1%) y granos de carbón (1%). Respecto a los tamaños de grano, existe una amplia distribución, diferenciándose claramente tres poblaciones; una con tamaños de grano canto-grava muy fina (5-2 mm), otra con tamaño de grano arena muy gruesa (2-1 mm) y una más fina con tamaño limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ). La morfología de los granos de cuarzo varía entre subredondeada y redondeada (0,7-0,9) con una esfericidad elevada (0,9). Por difracción de rayos X se ha detectado calcita, cuarzo y dolomita como minerales esenciales del mortero (Fig. 5.159).

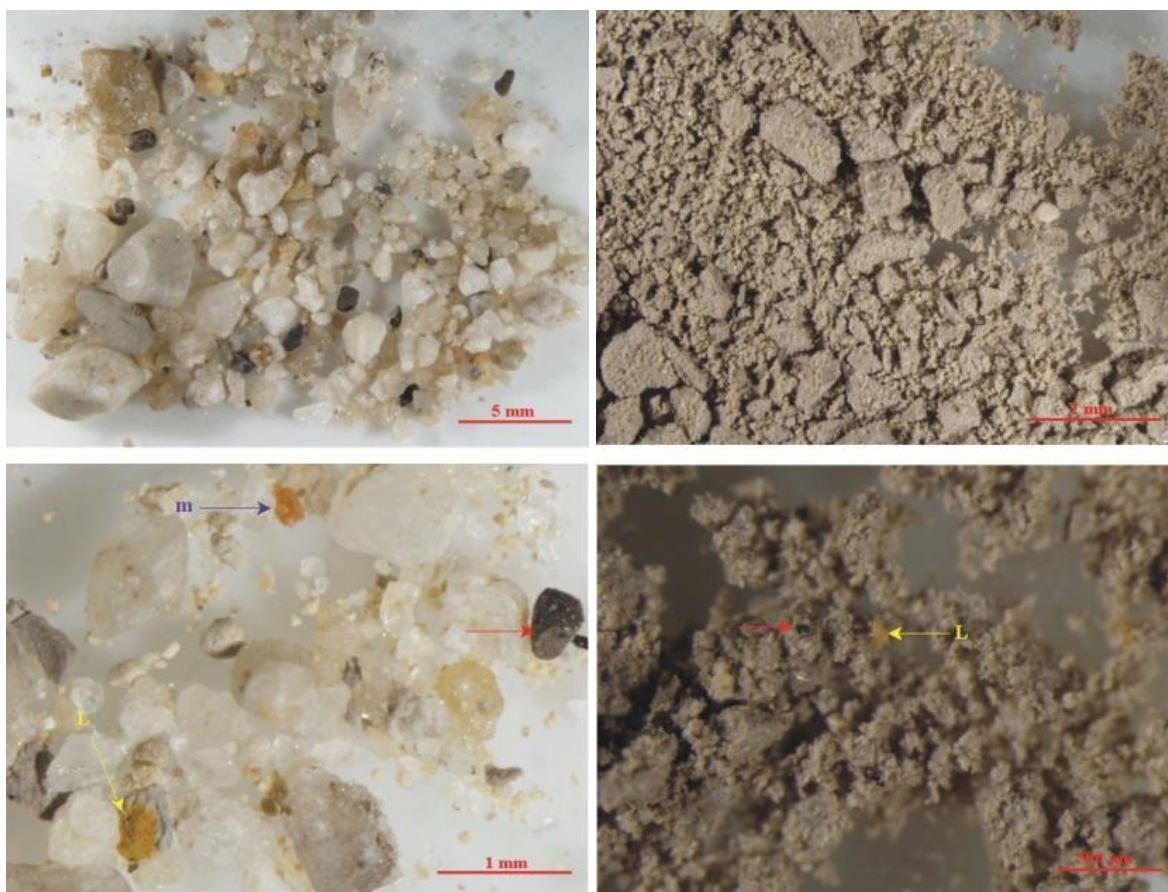


Figura 5.158.- Izquierda: detalles de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero M10/CV41. En las micrografías destaca la presencia mayoritaria de granos de cuarzo. Puntualmente se identifica algún fragmento de carbón (flechas rojas), de limolita (L) y granos de microclina (m). Derecha: Detalles de la fracción fina del residuo insoluble del mortero M10 / CV41. Entre las escamas y aglomeraciones de material arcilloso de observa algún grano de carbón (flechas rojas) y algún fragmento de limolita (L).

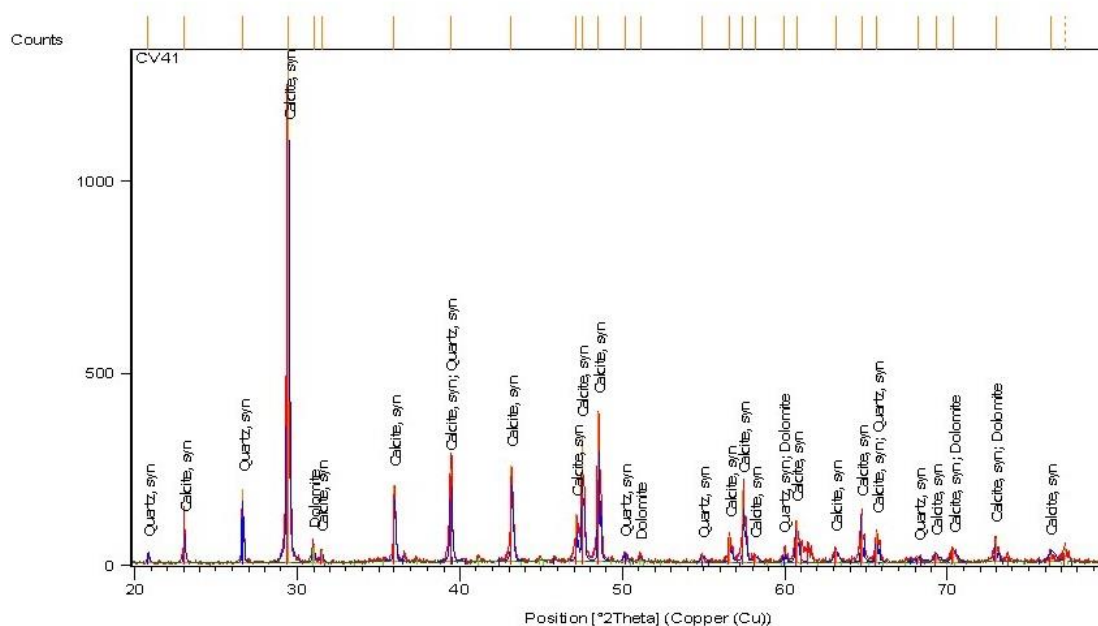


Figura 5.159.- Difractograma de la muestra de mortero M10 /CV41. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

### Muestra M11/CV42

Corresponde a un mortero procedente de la 1ª capa del encapotado, recogido en bóveda de la cubierta, vertiente sur de la capilla mayor (Figs. 5.160 a 5.161). Se trata de un mortero coherente, homogéneo y compacto, constituido por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de color beige (Fig. 5.162).

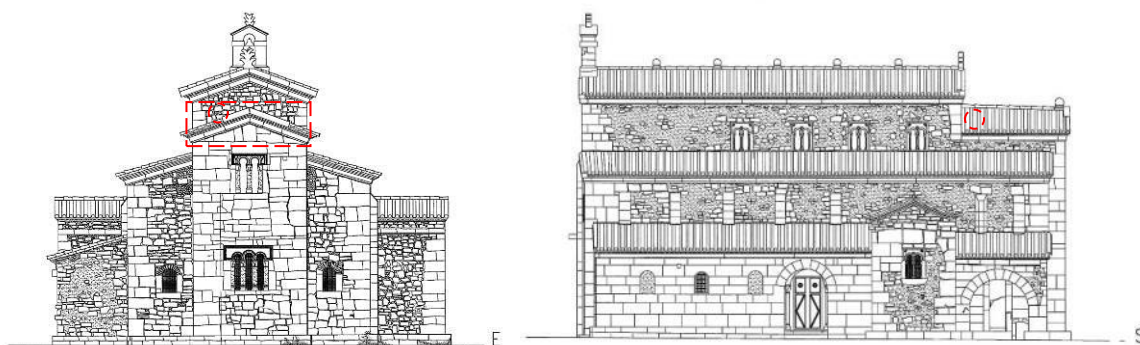


Figura 5.160.- Localización de la muestra de mortero M11/CV42.



Figura 5.161.- Aspecto «in situ» de la muestra de mortero M11/CV42.



Figura 5.162.- Aspecto macroscópico, a la lupa binocular, del mortero M11/CV42 en superficie y en corte transversal. A esta escala se identifican granos de cuarzo, algún fragmento de carbón, algo de limolita y nódulos de cal.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:7. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (3%) y una fracción limo-arcillosa (10%), lo que implica una relación entre ambas de 1:4 (Figs. 5.163). Microscópicamente, en el residuo insoluble se identifican, granos de cuarzo (96%) y de micas del tipo moscovita (2%), granos de carbón (2%) y fragmentos cerámicos (<1%). El tamaño medio de los granos de cuarzo es arena media (500-250  $\mu\text{m}$ ) dentro de la fracción gruesa y limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ), dentro de la fina,

observándose en esta última una composición muy similar a la anterior. La morfología de los granos de cuarzo oscila entre subredondeada y redondeada. El análisis difractográfico ha detectado calcita, cuarzo, dolomita y moscovita (Fig. 5.164).

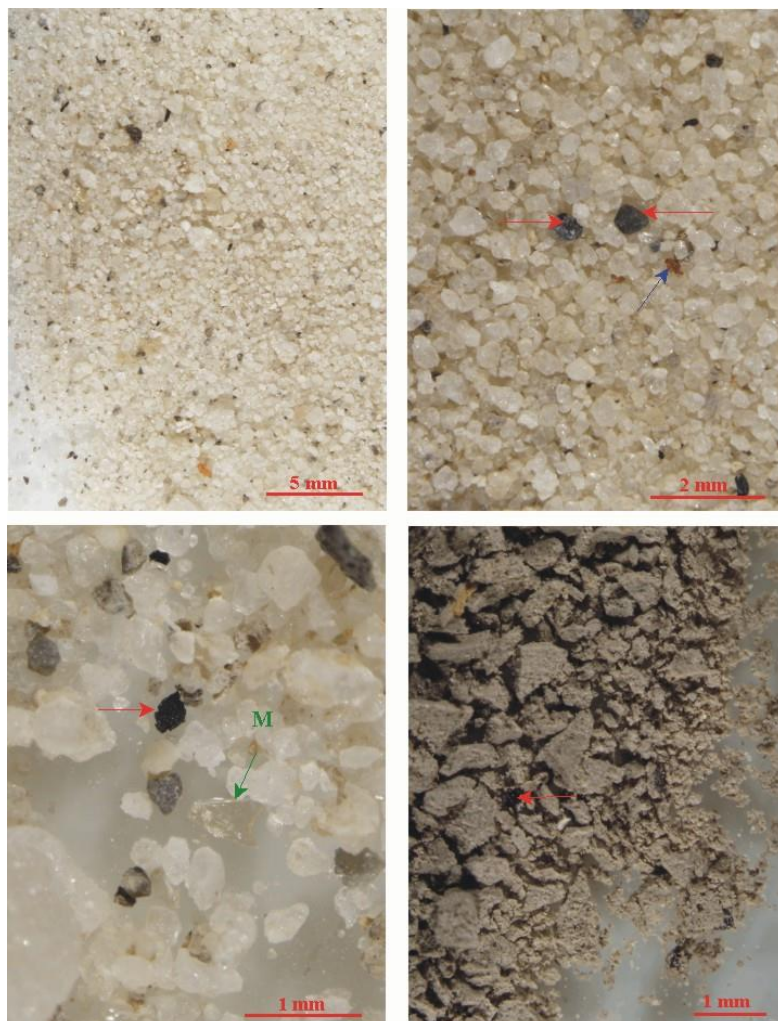


Figura 5.163.- Detalles a la lupa binocular del residuo insoluble del mortero M11/CV42. En las micrografías se observa que la fracción gruesa está constituida mayoritariamente por granos de cuarzo, granos de carbón (flechas rojas) y fragmentos cerámicos (flecha azul). En las imágenes inferiores, detalle de los granos de moscovita (M) y granos de carbón (flechas rojas).

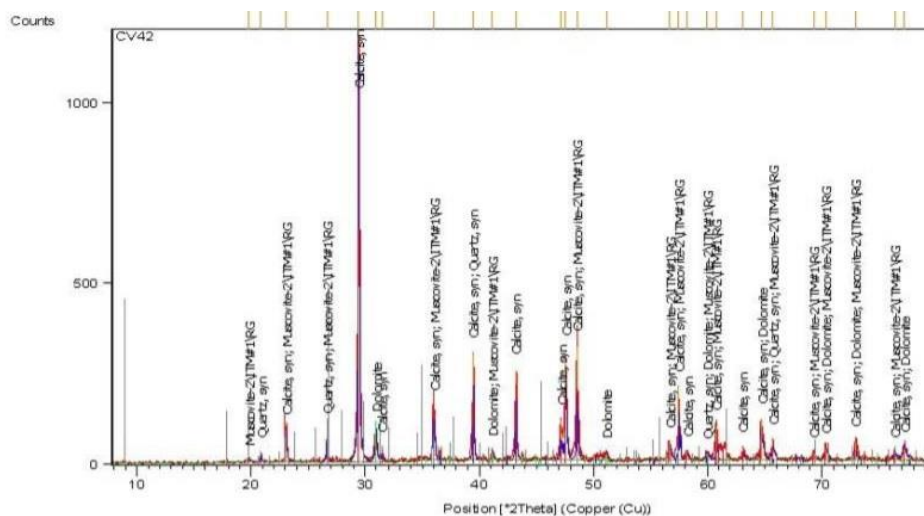


Figura 5.164.- Difractograma de la muestra de mortero M11/CV42. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), dolomita ( $\text{MgCO}_3\text{Ca}$ ) y moscovita [ $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ].



### Muestra M12/CV43

Corresponde al mortero de la 2ª capa del encapotado de la bóveda de la cubierta de la capilla mayor, en su vertiente sur (Figs. 5.160 a 5.161). Macroscópicamente, es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de color beige (Fig. 5.165).



Figura 4.165.- Aspecto macroscópico del mortero M12/CV43 en superficie y en sección transversal. En las imágenes se observan granos de cuarzo, fragmentos de carbón y nódulos de cal.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:2. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción gruesa, arenosa (28%) y una fracción fina, limo-arcillosa (6%), lo que implica una relación entre ambas de 4:1 (Figs. 5.166). Microscópicamente, entre los áridos se identifican granos de cuarzo (99%) y moscovita (<1%), algo de limolita (<1%), granos de carbón (<1%) y fragmentos cerámicos (1%). Los tamaños de grano varían de arena muy gruesa-arena gruesa (2-0,5 mm) a limo-arcilla (<62,5 µm). La morfología del cuarzo varía entre subredondeada y subangulosa (0,7) con una esfericidad elevada (0,9) (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955). El análisis mineralógico ha identificado calcita, cuarzo y dolomita.

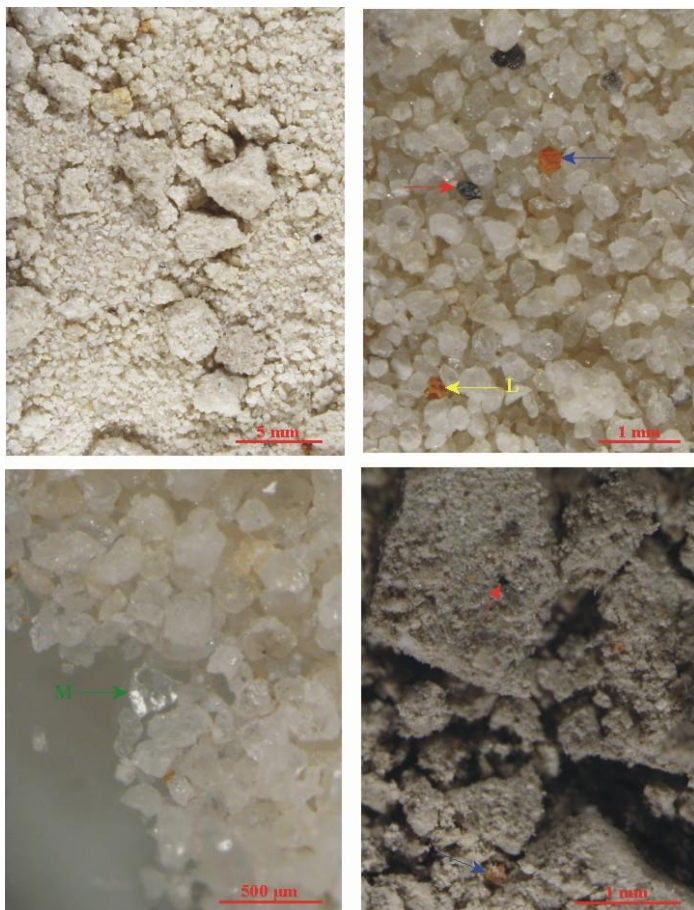


Figura 5.166.- Detalles a la lupa binocular de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble del mortero M12/CV43. En las micrografías destaca la presencia mayoritaria de cuarzo de color gris translúcido. En proporciones muy inferiores se detectan fragmentos de carbón (flechas rojas), fragmentos cerámicos (flecha azul) y limolita (L) y algún grano de moscovita (M).

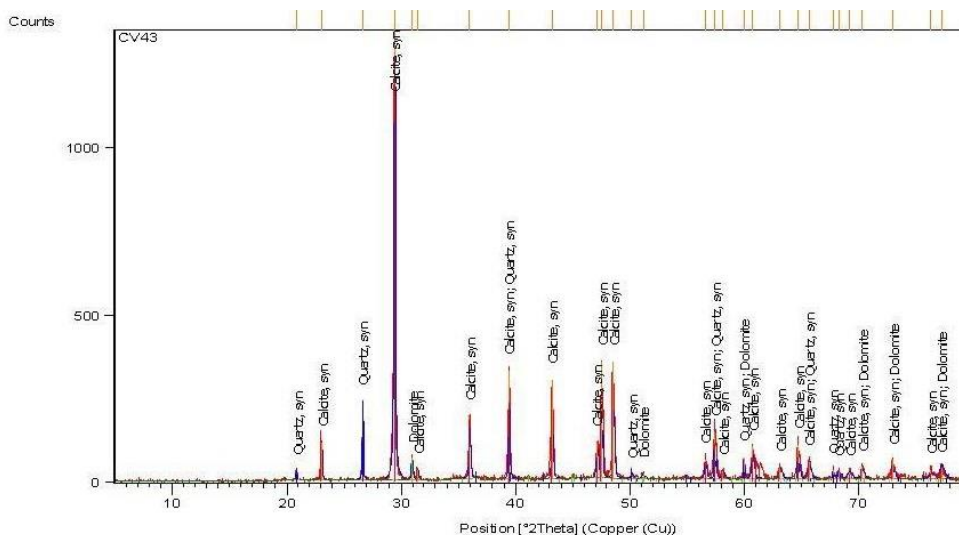


Figura 5.167.- Difractograma de la muestra de mortero M12 / CV43. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y dolomita ( $\text{MgCO}_3\text{Ca}$ ).

### Muestra M13/CV44

Corresponde al mortero de juntas, localizado en el intradós de la bóveda de la cámara supraabsidal (Fig. 5.168). Macroscópicamente, se trata de un mortero coherente, homogéneo y compacto, constituido por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de color beige (Fig. 5.169).



Figura 5.168.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M13/CV44.



Figura 5.169.- Aspecto general del mortero M13/CV44 en superficie y en sección transversal. A esta escala se identifican granos de cuarzo, fragmentos de limolita y nódulos de cal.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:10. Dentro del residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (3%) y una fracción limo-arcillosa (6%), con una relación entre ambas de 1:2 (Figs. 5.170). Microscópicamente, en el residuo se identifican granos de cuarzo (87%), granos de microclina (2%), fragmentos cerámicos (10%), granos de carbón (1%) y nódulos de cal (<1%). Granulométricamente se diferencian tres poblaciones de tamaños de grano. La primera corresponde a un conjunto de granos con tamaño de arena muy gruesa (2-1 mm); la segunda de tamaño arena gruesa-arena media (1-0,25 mm) y la tercera de tamaño limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ). La morfología de los granos de cuarzo varía de subredondeada a subangulosa. Los minerales detectados, por DRX en este mortero, han sido calcita, cuarzo y microclina (Fig. 5.171).

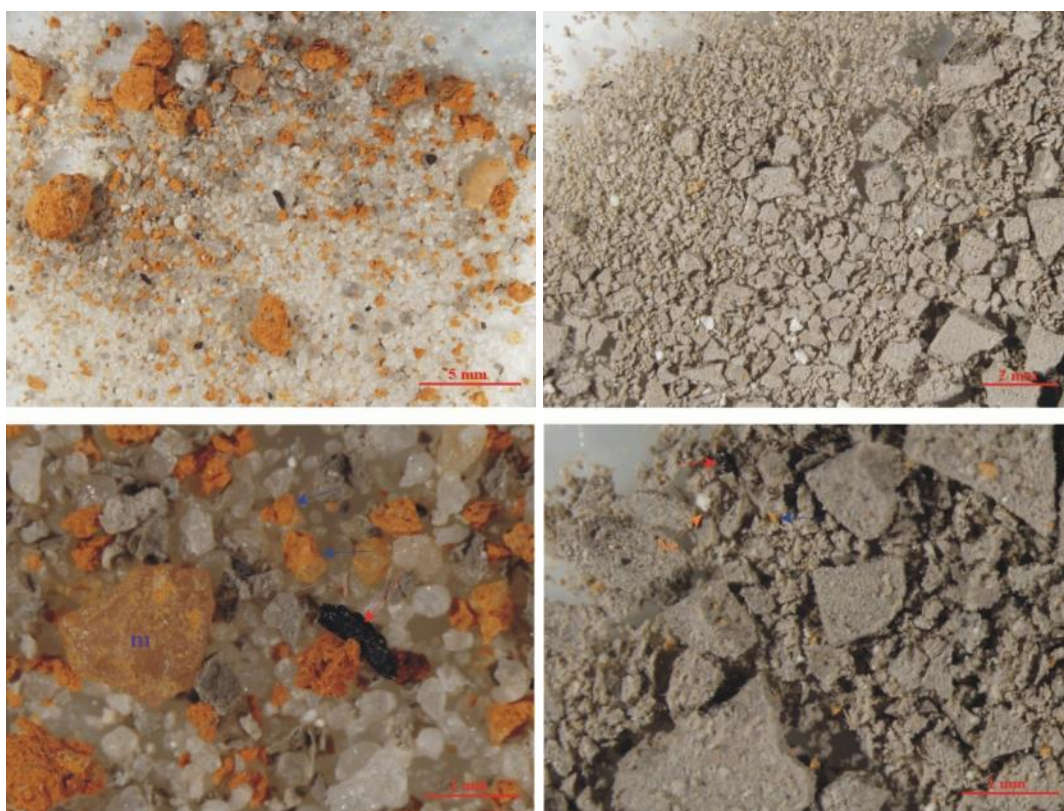


Figura 5.170.- Izquierda: detalles a la lupa binocular de los granos minerales constituyentes del residuo insoluble de la fracción gruesa del mortero M13/CV44. En las micrografías destaca la presencia mayoritaria de granos de cuarzo de color gris translúcido y de fragmentos cerámicos (flechas azules) de color anaranjado. A esta escala también se identifican granos de carbón (flechas rojas) y algún cristal de microclina (m). Derecha: detalles de la fracción fina del mortero. En las micrografías pueden identificarse, inmersos en escamas arcillosas, granos de carbón, nódulos de cal (Nc) y fragmentos cerámicos.

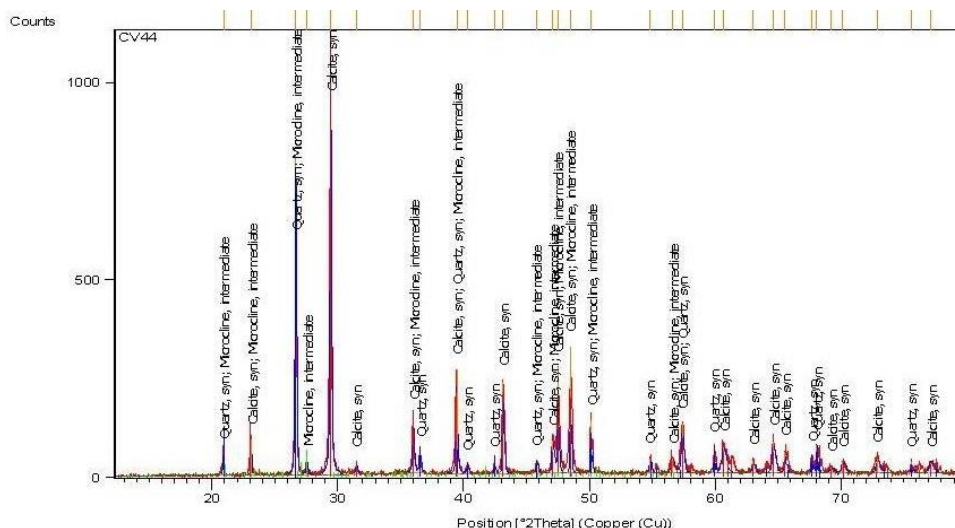


Figura 5.171.- Diffractograma de la muestra de mortero M13 / CV44. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y microclina ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ).

### Muestra M14/CV45

Corresponde a una capa de mortero recogido en el pavimento de la cámara supraabsidial (Fig. 5.172). Se trata de un mortero coherente, homogéneo y compacto, constituido mayoritariamente por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de color beige (Fig. 5.173).

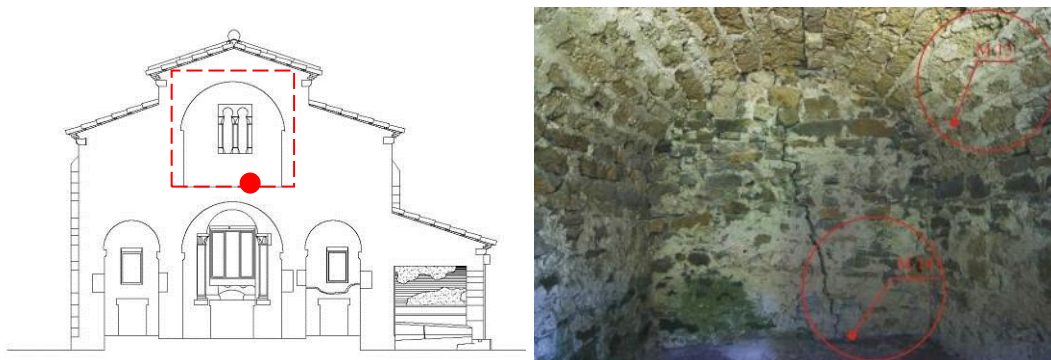


Figura 5.172.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M14/CV45.



Figura 5.173.- Aspecto macroscópico del mortero M14/CV45 en superficie y en corte transversal. A esta escala se identifican granos de cuarzo, limolita, nódulos de cal y espacios vacíos de tipo poro y tipo fisura.

Mediante ataque químico se ha determinado que presenta una relación en peso árido-matriz de 1:9. En el residuo insoluble se diferencia una fracción arenosa (6%) y una fracción fina, limo-arcillosa (5%), (Fig. 5.174). La relación entre ambas es de 1:1. Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa del residuo, se identifican granos de cuarzo (99%), fragmentos de carbón y limolita; ambos

en proporciones inferiores al 1%. El tamaño de los granos de cuarzo varía entre arena gruesa (1-0,5 mm) y limo-arcilla (< 62,5 µm) y su morfología varía entre subredondeada y subangulosa. En la fracción fina, además de minerales arcillosos se observan abundantes nódulos de cal. Los minerales detectados en el mortero por difracción de rayos X, han sido calcita y cuarzo (Fig. 5.175).

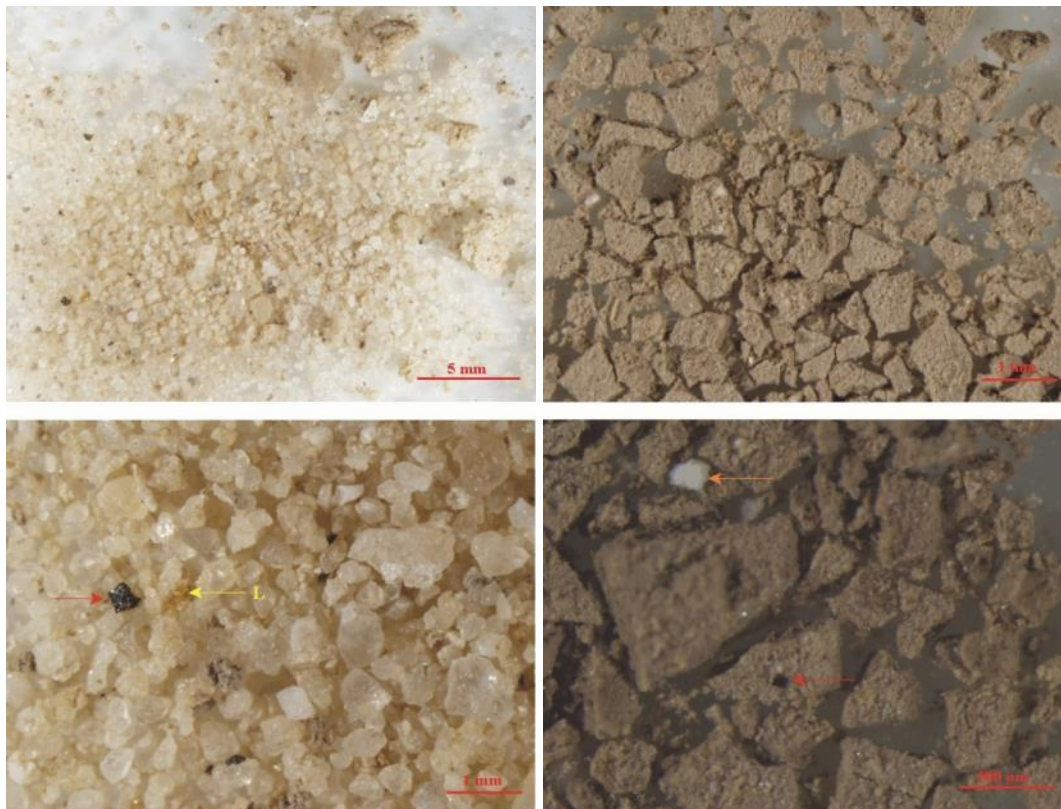


Figura 5.174.- Izquierda: detalles a la lupa binocular de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero M14/CV45. Está constituida mayoritariamente por granos de cuarzo, aunque también se identifica algún grano de carbón (flecha roja) y limolita (L). Derecha: detalles de la fracción fina del mortero M14/CV45. En la imagen inferior, inmersos en escamas de arcillas se observan pequeños granos de carbón (flecha roja) y nódulos de cal (Nc).

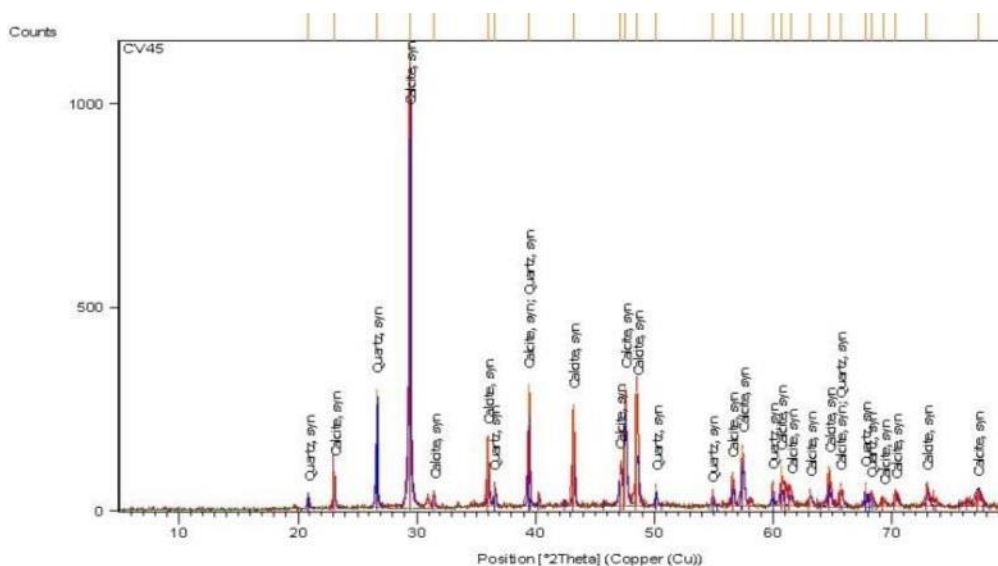


Figura 5.175.- Difractograma de la muestra de mortero M14/CV45. Los minerales detectados por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5%, han sido calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

### Muestra M15/CV46

Corresponde al mortero del encapotado de la bóveda, recogido en el pórtico sur (Fig. 5.176). Macroscópicamente es un mortero coherente, homogéneo y compacto, formado principalmente por granos de cuarzo, inmersos en una matriz aglomerante de color beige-pardo (Fig. 5.177).



Figura 5.176.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero M15/CV46.



Figura 5.177.- Aspecto macroscópico del mortero M15/CV46 en superficie y sección transversal. A esta escala se identifican granos de cuarzo, fragmentos de carbón, limolita y nódulos de cal

Mediante ataque químico se obtiene que la relación en peso árido-matriz ha sido 9:1. Dentro del residuo se diferencia una fracción arenosa (86%) y una fracción limo-arcillosa (5%), lo que implica una relación entre ambas de 9:1 (Fig.5.179). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa, se identifican granos de cuarzo (97%) y microclina (2%), fragmentos de limolita (<1%) y granos de carbón (1%). La granulometría del árido presenta una amplia distribución, caracterizada por tres poblaciones: canto-grava muy fina (5-2 mm), arena media (500-250  $\mu\text{m}$ ) y limo-arcilla (<62,5  $\mu\text{m}$ ). La morfología de los granos de cuarzo, varía de subredondeada a subangulosa. Los minerales, detectados por DRX, en la muestra total han sido cuarzo, calcita y microclina (Fig. 5.178).

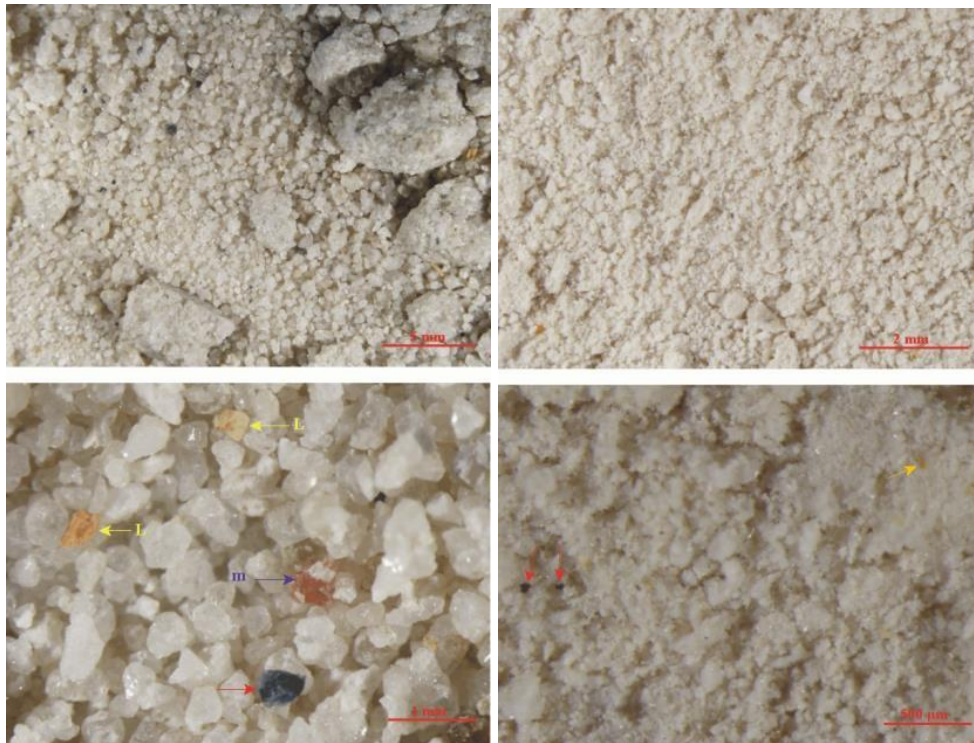


Figura 5.178.- Izquierda: detalles a la lupa binocular de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero M15/CV46. En las micrografías se observa que la fracción gruesa está constituida mayoritariamente por granos de cuarzo, granos de carbón (flecha roja), limolita (L) y microclina (m). Derecha: detalles de la fracción fina. En la imagen inferior se observan pequeños granos de carbón (flechas rojas) y limolita (flecha amarilla).

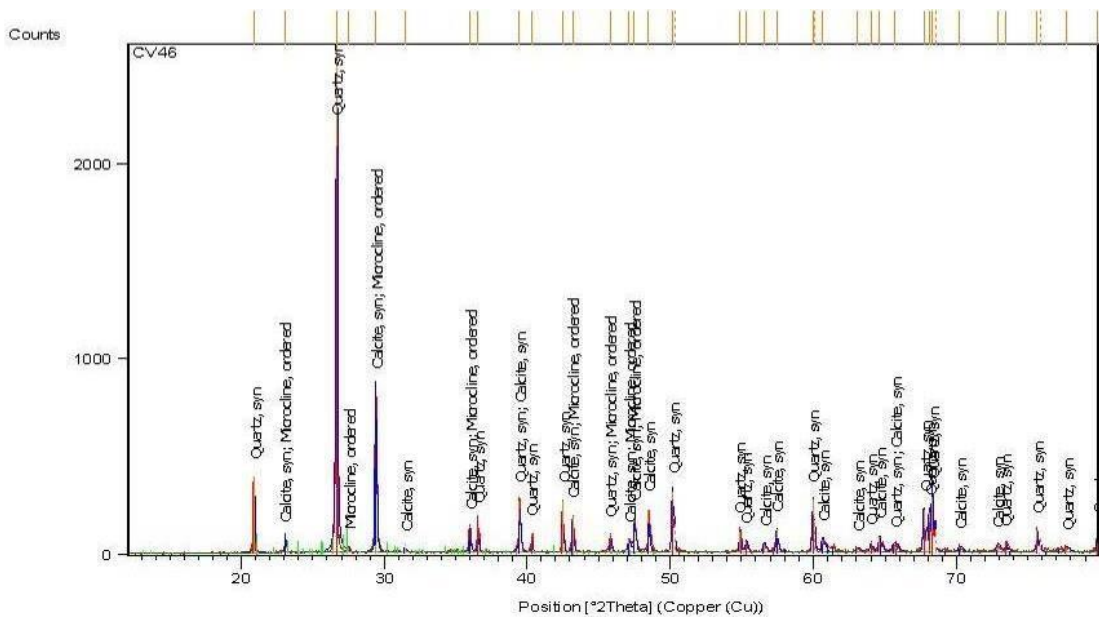


Figura 5.179.- Difractograma de la muestra de mortero M15/CV46. Los minerales detectados por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y microclina ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ).

En las tablas 5.8A a 5.8B se presenta un resumen comparativo de los morteros estudiados, procedentes de las cubiertas de Valdediós. Las correlaciones cronológicas entre los diferentes morteros estudiados se establecen en el capítulo cuatro de interpretación de resultados.

Tabla 5.8A.- San Salvador de Valdediós: resumen comparativo de los morteros.

Referencia / muestra	Descripción	Composición mineralógica (> 1,5%)	Componentes accesorios	Dosificación árido/matriz	RI* Fg/Ff	Tamaño fracción gruesa	Moda árido
M4 / CV35	Enlucido de la vertiente norte de la bóveda de la nave central	Calcita, cuarzo, y moscovita	Cerámicos y carbón		1:1	250 µm – 500 µm	400 µm
M7 / CV38	Enlucido sobre 2ª capa del encapotado de la bóveda de la nave sur	Calcita, cuarzo y dolomita	Cerámicos, carbón y moscovita	1:3	3:1	250 µm – 500 µm 2 mm – 5 mm	500 µm
M1 / CV32	Revoco contrafuerte de la fachada este de la capilla sur	Calcita y cuarzo	Carbón, moscovita y microclina		3:1	250 µm – 500 µm	250 µm
M3 / CV34	Hormigón del encapotado de la vertiente norte de la bóveda de la nave central	Calcita, cuarzo y moscovita	Cerámicos y carbón	1:1	2:1	250 µm – 1 mm	200 µm
M5 / CV36	Hormigón de la 1ª capa del encapotado de la bóveda de la nave sur	Calcita, cuarzo, ortosa y dolomita	Carbón y moscovita		5:1	125 µm – 500 µm	125 µm
M6 / CV37	Hormigón de la 2ª capa del encapotado de la bóveda de la nave sur	Calcita y cuarzo	Carbón, microclina y cerámicos		4:1	500 µm – 2 mm	300 µm
M8 / CV39	Revoco la fachada sur oriental de la nave sur, (tramo situado entre los dos contrafuertes orientales).	Calcita, cuarzo y microclina	Cerámicos y carbón	1:4	3:1	150 µm – 250 µm	200 µm



Tabla 5.8B - San Salvador de Valdediós: resumen comparativo de los morteros.

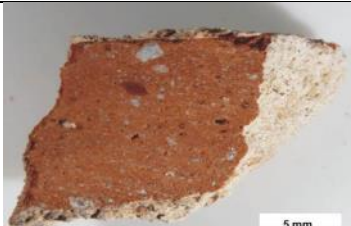

Referencia / muestra	Descripción	Composición mineralógica (> 1,5%)	Componentes accesorios	Dosificación árido/matriz	RI* Fg/Ff	Tamaño fracción gruesa	Moda árido
M15 / CV46	Mortero del encapotado de la bóveda del pórtico sur	Cuarzo, calcita y microclina	Limolita y carbón	9:1	19:1	2 mm – 5 mm 250 µm – 500 µm	300 µm
M9 / CV40	Mortero al lado del contrafuerte sur de la fachada este de la capilla sur	Calcita, cuarzo y dolomita	Cerámicos, carbón y moscovita	1:5	2:1	150 µm – 250 µm	200 µm
M2 / CV33	Revoco del extradós de la bóveda de la capilla de los Obispos	Calcita, cuarzo, dolomita y moscovita	Cerámicos y carbón	1:5	1:8	125 µm – 500 µm	250 µm
M11 / CV42	Mortero de la 1ª capa de encapotado de la capilla mayor	Calcita, cuarzo, dolomita y moscovita	Carbón y cerámicos	1:7	1:4	250 µm – 500 µm	300 µm
M12 / CV43	Mortero de la 2ª capa de encapotado de la capilla mayor	Calcita, cuarzo y dolomita	Carbón cerámicos, y moscovita	1:2	4:1	250 µm – 500 µm	300 µm
M10 / CV41	Mortero de juntas del aparejo de ladrillo del trasdós de la rosca de la bóveda de la capilla de los Obispos.	Calcita, cuarzo y dolomita	Carbón y microclina	1:9	1:1	2 mm – 5 mm 1 mm – 2 mm	500 µm
M13 / CV44	Mortero de juntas del intradós de la bóveda de la cámara supraabsidial	Calcita, cuarzo y microclina	Cerámicos y carbón	1:9	1:2	1 mm – 2 mm 100 µm – 300 µm	300 µm
M14 / CV45	Mortero del pavimento de la cámara supraabsidial.	Calcita y cuarzo	Carbón	1:9	1:1	500 µm – 1 mm	350 µm

RI\* Fg/Ff - Relación fracción gruesa – fracción fina del residuo insoluble.

### 5.3.2.-DATACIÓN ABSOLUTA

La datación de carbono 14 se ha realizado en las muestras de mortero M3/CV34 y M13/CV44 (Tabla 5.9). La primera corresponde al hormigón del encapotado de la vertiente norte de la bóveda de la nave central y la segunda al mortero de juntas del intradós de la bóveda de la cámara supraabsidial. Se eligieron estas dos muestras porque ambas se presuponen originales y además las dos presentaban abundantes fragmentos de carbón vegetal en la fracción fina. A pesar de la abundancia de estos últimos, el tamaño de los carbones no fue lo suficientemente grande al requerido para la medición radiocarbónica, por lo que se optó por medir el  $^{14}\text{C}$ , a partir de los carbonatos de la matriz del mortero. En la figura 5.180 se presenta el aspecto macroscópico de las muestras, sometidas al pre-tratamiento ácido-álcali-ácido por Beta Analytic Inc y en las figuras 5.181 a 5.182 y tabla 5.10 se presentan los resultados proporcionados por el laboratorio. La técnica usada para medir el contenido en  $^{14}\text{C}$  de las muestras fue la espectrometría de masas con aceleradores (AMS). Los procedimientos de análisis de han detallado el capítulo tres.

Tabla 5.9.- San Salvador de Valdediós: Muestras seleccionadas para su datación por radiocarbono

Procedencia	Referencia	Tipo de mortero	Localización	Aspecto macroscópico
San Salvador de Valdediós	M3/CV34	Hormigón	Cubierta nave central	
	M13/CV44	Mortero de juntas	Cámara supraabsidial	

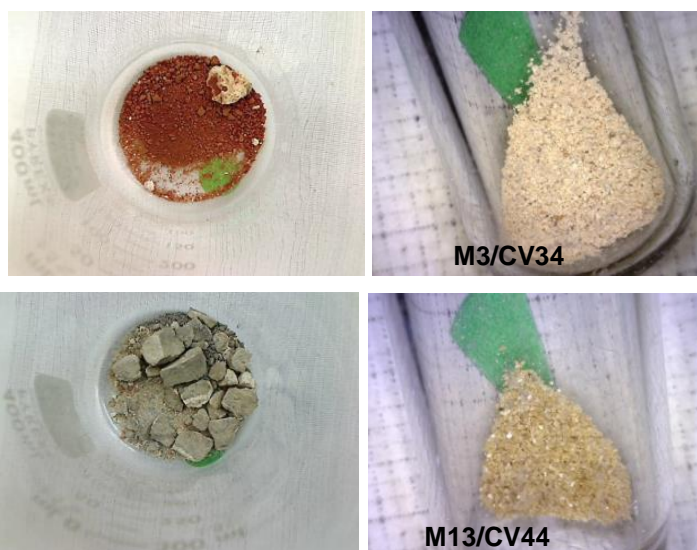


Figura 5.180.- Imágenes de las muestras realizadas por Beta Analytic, después del pretratamiento de las muestras de mortero.

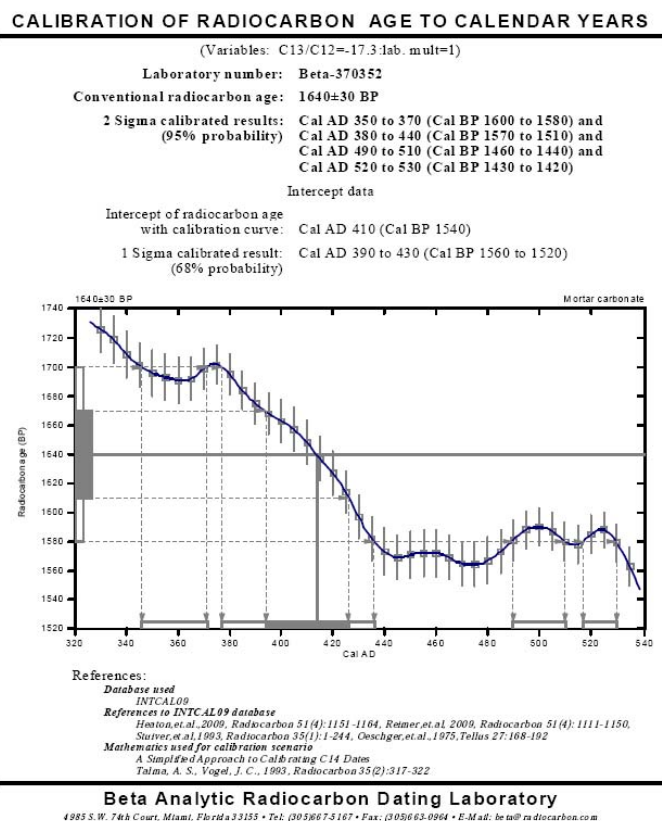


Figura 5.181.- Resultados del análisis radiocarbónico de la muestra de mortero M3/CV34. En el eje de abscisas se representa la edad radiocarbónica convencional, en el de ordenadas la escala cronológica solar, obtenida después de la calibración.

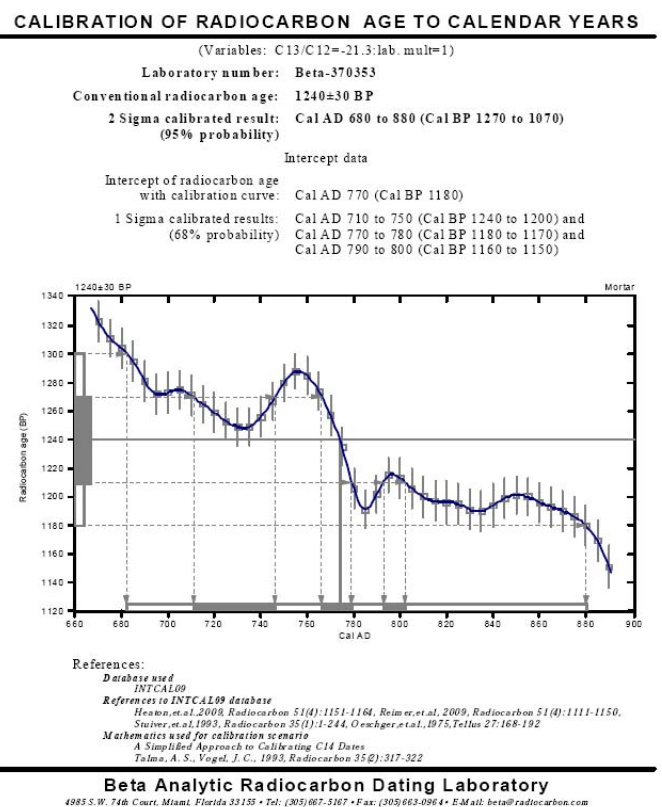


Figura 5.182.- Resultados del análisis radiocarbónico de la muestra de mortero M13/CV44.

Tabla 5.10.- San Salvador de Valdediós: Fechas calibradas

Referencia	Referencia Beta Analytic	Tipo de mortero	Localización	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Edad radiocarbónica convencional (cal BP)	Intersección de la edad radiocarbónica con la curva calibrada	Fecha calibrada 1 Sigma (68% probabilidad)	Fecha calibrada 2 Sigma (95% probabilidad)
M3/CV34	Beta-370352	Hormigón	Cubierta nave central	-17,3	1640±30 BP	Cal AD 410 (Cal BP 1540)	Cal AD 390-430 (Cal BP 1560-1520)	Cal AD 350-370 (Cal BP 1600-1580) Cal AD 380-440 (Cal BP 1570-1510) Cal AD 490-510 (Cal BP 1460-1440) Cal AD 520-530 (Cal BP 1430-1420)
M13/CV44	Beta-370353	Mortero de juntas	Cámara subraabsidial	-21,3	1240±30 BP	Cal AD 770 (Cal BP 1180)	Cal AD 710-1150 (Cal BP 1240-1200) Cal AD 770-780 (Cal BP 1180-1170) Cal AD 790-800 (Cal BP 1160-1150)	Cal AD 680-880 (Cal BP 1270-1070)

BP (Before Present) - equivale a los años transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el año 1950 de nuestro calendario (cero BP se define como AD 1950).

Analizando la tabla y las figuras 5.181 a 5.182 se comprueba que la curva de calibración no establece una relación biunívoca entre la escala cronológica radiocarbónica y la escala cronológica solar, por lo que a una misma fecha radiocarbónica le corresponde más de una fecha solar o viceversa. Debido a esto la distribución de probabilidad de la verdadera fecha calibrada es una distribución de probabilidad asimétrica que puede presentar varias modas, alrededor de las cuales se definen uno o más intervalos de probabilidad. Asumiendo que el error de medición presenta una distribución normal, los intervalos tienen una probabilidad del 68,3% (una desviación estándar alrededor de la edad media) o del 95,4% (dos desviaciones estándar), de modo que la fecha experimental tenga una amplitud equivalente a una o dos veces la desviación típica<sup>274</sup>.

Si comparamos las fechas obtenidas y asumimos que las de un mismo edificio deberían de ser prácticamente sincrónicas, se observa que esto no ocurre. Existe discordancia entre los valores obtenidos para las dos muestras. El elevado envejecimiento observado en la muestra M3/CV34, invalida la fecha radiocarbónica obtenida, al ser reflejo de una evidente e intensa contaminación. Como ya se ha explicado en el capítulo tres, el peligro de la datación a partir de la matriz del mortero es la presencia de contaminaciones fósiles originadas por dos factores fundamentales:

- Que la calcinación de la cal, no haya sido eficiente, quedando restos del carbonato cálcico original.
- Que los aditivos mortero pueden contener materiales carbonatados

En ambos casos el mortero presentaría contaminación fósil y la fecha obtenida habría de considerarse como un «terminus post quem» (fecha más antigua o lejana a la aparición de un objeto), (Mestres, 2010).

<sup>274</sup> Mestres i Torres J. (2003). "La química i la cronología: la datació per radiocarboni". Revista de la sociedad catalana de química 4/2003 p 10-25.

## 5.4.- SANTA CRISTINA DE LENA

En este edificio, al igual que en Valdediós, los resultados de los estudios se presentan en dos apartados diferentes. El primero corresponde a los estudios petrológicos que posteriormente se utilizarán para definir la cronología relativa de los morteros y otro, donde se presentan las edades absolutas obtenidas por métodos radiométricos de  $^{14}\text{C}$ .

### 5.4.1.-DATACIÓN RELATIVA

Durante la actuación arqueológica, realizada en 2012, ligada a las obras de restauración de Santa Cristina de Lena se han recogido ocho morteros; muestras S.C.3./(M.E.1)/ue 1210, S.C.4./(M.E.2)/ue 1212, S.C.5./(M.E.3)/ue 1204, S.C.6./(M.E.4)/ue 1209, S.C.7./(M.N.1)/ue 1110, S.C.8./(M.N.2)/ue 1111, S.C.9./(M.N.3)/ue 1101 y S.C.10./(M.N.4)/ue 1109]. La caracterización petrográfica de estos morteros se presenta a continuación.

#### Muestra S.C.3./(M.E.1)/ue 1210

El mortero procedente de la fachada de la capilla este se localiza en el relleno de la cornisa norte y corresponde a la tongada en la cual se embuten canecillos y metopas, sobre los que se asientan las lajas de arenisca del alero (Fig. 5.183). Macroscópicamente es un mortero de color ocre-amarillento a gris, de compacidad y coherencia moderadas y textura heterogénea (Fig. 5.184).

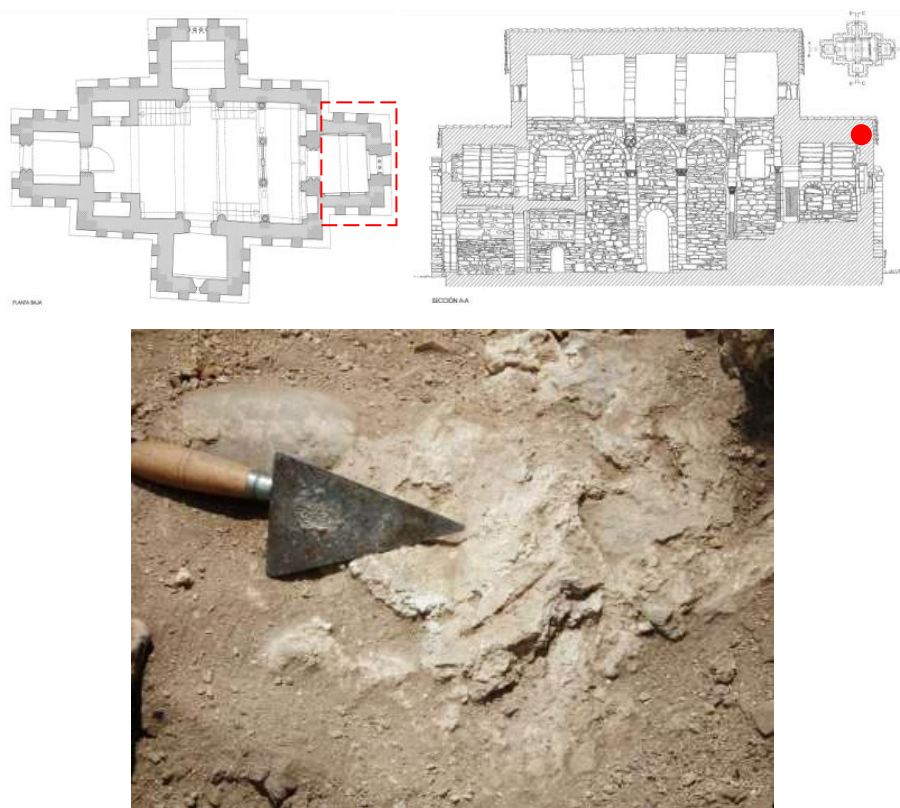


Figura 5.183.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero S.C.3./(M.E.1)/ ue 1210.

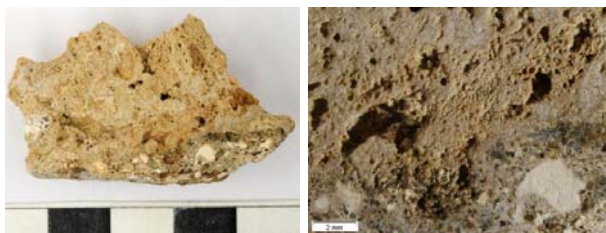


Figura 5.184.- Aspecto macroscópico y estereoscópico del mortero S.C.3. (M.E.1)/ue 1210. A esta escala de observación se identifican granos de cuarzo, nódulos de cal y abundantes espacios vacíos tipo poro.

Mediante ataque químico se ha determinado que el mortero presenta una relación en peso árido-matriz de 1:5. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (5%) y una fracción limo-arcillosa (13%), con una relación entre ambas de 1:2 (Fig. 5.185). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (58%) de color gris translúcido y blanco, fragmentos de roca siliciclástica (40%) con colores que varían del gris oscuro al amarillento, algún cristal de moscovita (<1%), algún fragmento cerámico (<1%) y nódulos blanquecinos de cal (2%). Dentro de la fracción fina, además de minerales arcillosos, se identifican algún grano de carbón de tamaño limo. La granulometría del árido es amplia amplia (100  $\mu\text{m}$ -3 mm), con un tamaño medio arena fina-media (200-300  $\mu\text{m}$ ), correspondiendo los mayores valores a los fragmentos de roca. La morfología de los granos varía de redondeada a subangulosa (0,9-0,7), con una esfericidad media moderada (0,7) que es baja (0,3) en los fragmentos de roca. El análisis mineralógico, mediante difracción de rayos X, indica que se trata de un mortero elaborado a base calcita, cuarzo, moscovita y caolinita (Fig. 5.186).

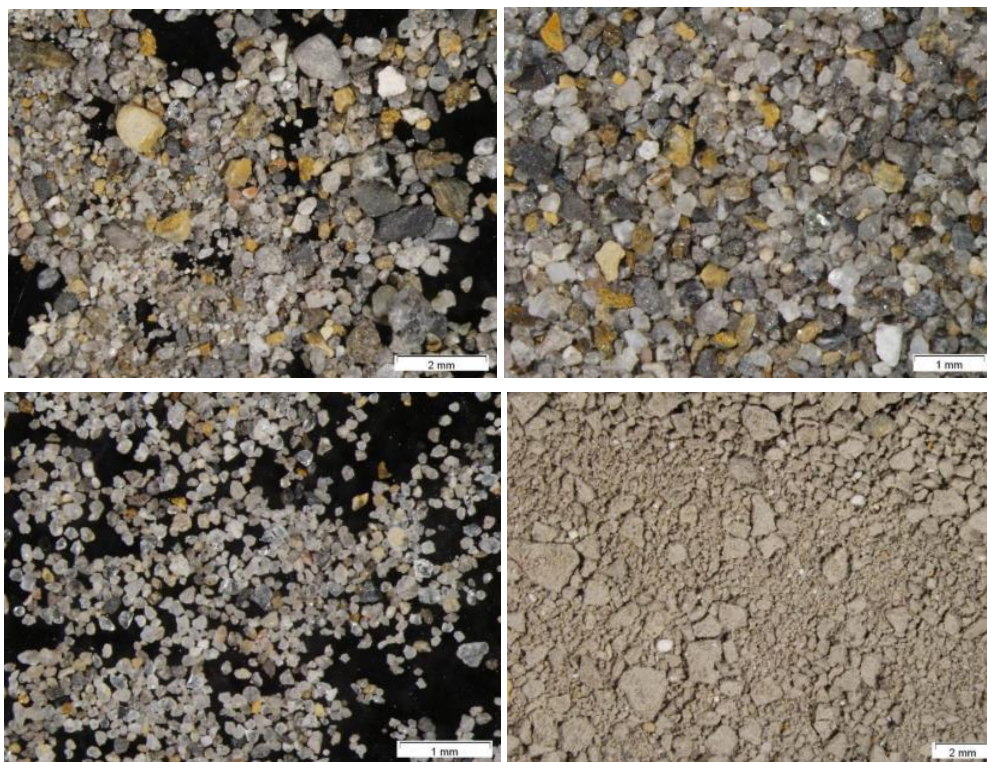


Figura 5.185.- Arriba: detalles del residuo insoluble del mortero S.C.3. (M.E.1)/ue 1210. A esta escala se identifican fragmentos de roca grisáceos y amarillentos, granos de cuarzo translúcidos y blanquecinos y cristales de moscovita. El tamaño medio de los granos es de 250  $\mu\text{m}$ . Abajo: detalles de la fracción fina del residuo insoluble, representada por abundantes escamas que engloban granos minerales de menor tamaño.

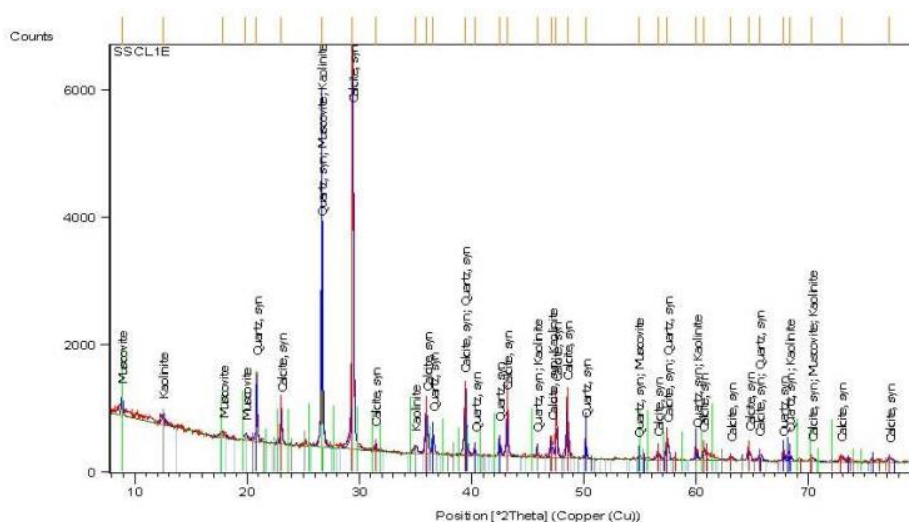


Figura 5.186.- Difractograma del mortero S.C.3/ (M.E.1)/ue 1210. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), moscovita ( $\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ) y caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ).

Muestra S.C.4./ (M.E.2)/ue 1212

Corresponde a un mortero de juntas, recogido entre las dovelas de la bóveda de la capilla este (Fig. 5.187). Macroscópicamente, es un mortero de textura homogénea, de compacidad y coherencia moderadas. A esta escala es posible observar áridos de diferente naturaleza, entre los que se identifican fragmentos de roca de colores oscuros y granos de cuarzo transparentes, inmersos en una matriz de color blanco (Fig. 5.188).

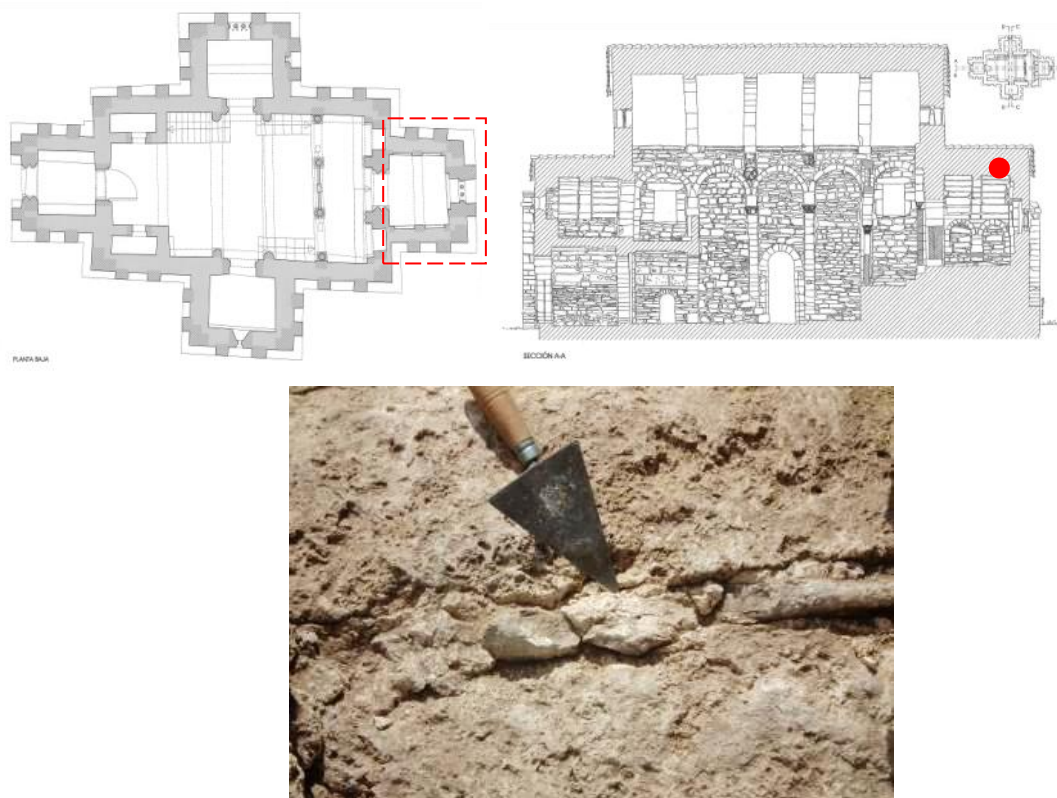


Figura 5.187.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero S.C.4./ (M.E.2) ue 1212.

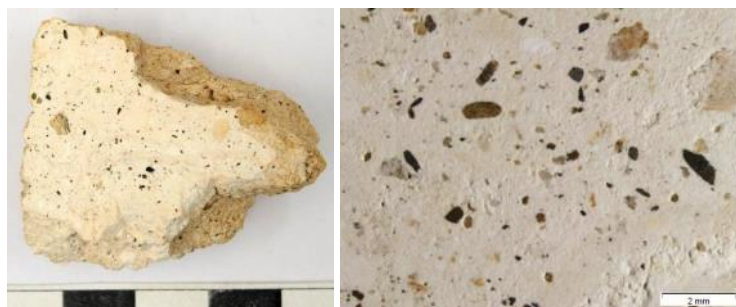


Figura 4.188.- Aspecto macroscópico del mortero S.C.4./M.E.2 ue 1212. Los áridos, constituidos por fragmentos de roca y granos de cuarzo, aparecen inmersos en una matriz blanquecina. Los espacios vacíos tipo poro son escasos y de tamaño reducido.

Mediante ataque químico, se ha determinado una relación en peso, árido- matriz de 1:10. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (6%) y una fracción limo-arcillosa (3%), con relación entre ambas fracciones de 2:1 (Figs. 5.189). Microscópicamente dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (60%) translúcidos y blancos, fragmentos de rocas siliciclástica (40%) de color gris oscuro, beige y granate, alguna microclina, de tono asalmonado (<1%) y algún fragmento cerámico (<1%). Dentro de la fracción fina beige, además de minerales arcillosos, se identifican restos de cal y algún grano de carbón. El residuo insoluble presenta una amplia distribución de tamaños comprendida entre 200  $\mu\text{m}$  y 3,3 mm, correspondiendo los mayores tamaños a los fragmentos de roca. El tamaño medio de los granos minerales es de 400-600  $\mu\text{m}$  (arena media-gruesa) y la morfología varía de redondeada a subangulosa (0,9-0,7), con una esfericidad moderada (0,7) (Powers, 1953 y Krumbein y Sloss, 1955), más baja (0,3) en los fragmentos de roca. De su análisis difractográfico del mortero se deduce que está compuesto mayoritariamente por calcita y cuarzo (Fig. 5.190).



Figura 5.189.- Arriba: fracción gruesa del residuo insoluble de la muestra S.C.4./M.E.2 ue 1212. Se identifican fragmentos de roca, granos de cuarzo y algún cristal de microclina. El tamaño medio de los granos es de 500  $\mu\text{m}$ . Abajo: detalles de la fracción fina del residuo insoluble, constituida mayoritariamente por granos de cuarzo y arcillas.



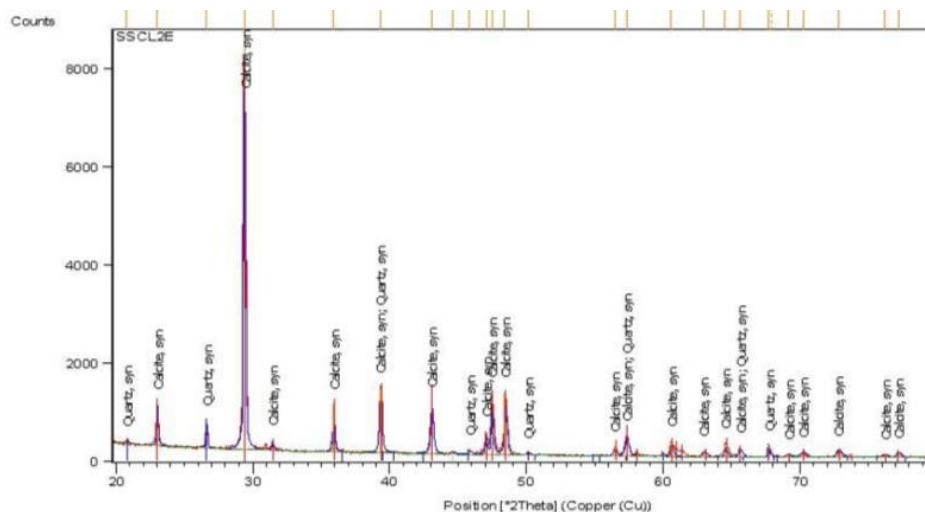


Figura 5.190.- Difractograma del mortero S.C.4./M.E.2/ue 1212. Los minerales detectados, en proporciones superiores al 1,5%, han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

Muestra S.C.5./M.E.3/ue 1204

Corresponde a una muestra de mortero de la obra de mampostería (arenisca, caliza y toba) del remate del muro testero de la capilla este (Fig. 5.191). Macroscópicamente, es un mortero poco compacto y coherente, de textura heterogénea. Su color es beige y en sección transversal se diferencian abundantes áridos de tonalidades variables entre los que se identifican nódulos de cal y fragmentos de roca, unidos por una matriz blanquecina-beige (Fig. 5.192).

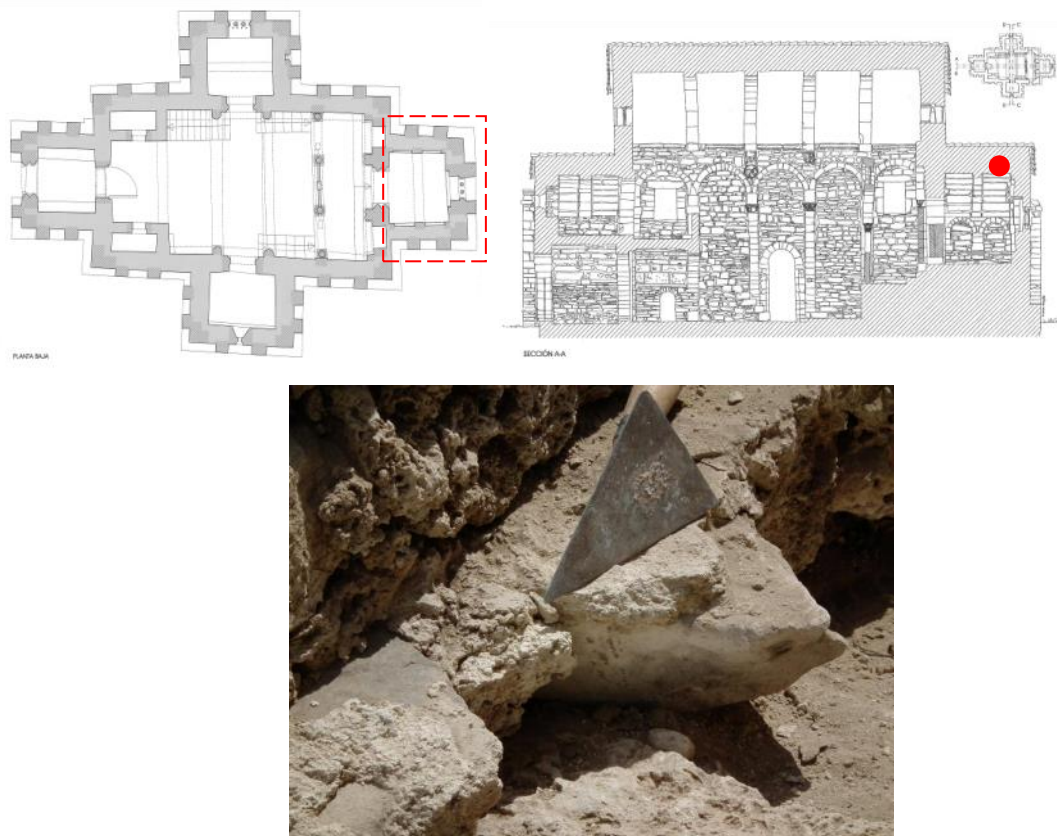


Figura 5.191.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero S.C.5./M.E.3/ue 1204.



Figura 5.192.- Aspecto macroscópico y estereoscópico del mortero S.C.5/(M.E.3)/ue 1204.. A esta escala se identifican abundantes áridos de diversa naturaleza y espacios vacíos tipo poro con radios de acceso de gran tamaño.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación en peso, árido-matriz de 1:1. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (29%) y una fracción limosa-arcillosa (15%), con una relación entre ambas de 2:1 (Figs. 5.193). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (50%), fragmentos de roca siliciclástica (35%) y nódulos de cal (15%). También se ha detectado algún fragmento cerámico y granos de carbón. La granulometría del árido sigue una distribución amplia (100  $\mu\text{m}$ -6 mm), siendo los fragmentos de roca y los nódulos de cal los que presentan los mayores valores que en ocasiones alcanzan el centímetro. El tamaño medio del árido es de 20-300  $\mu\text{m}$  (arena fina-media). La morfología varía de redondeada a subredondeada (0,9), con una esfericidad moderada (0,7), algo más baja (0,3) para los fragmentos de roca. En superficie presenta una pátina ocre-amarillenta. El análisis mineralógico del mortero muestra una composición a base de calcita y cuarzo y moscovita (Fig. 5.194).

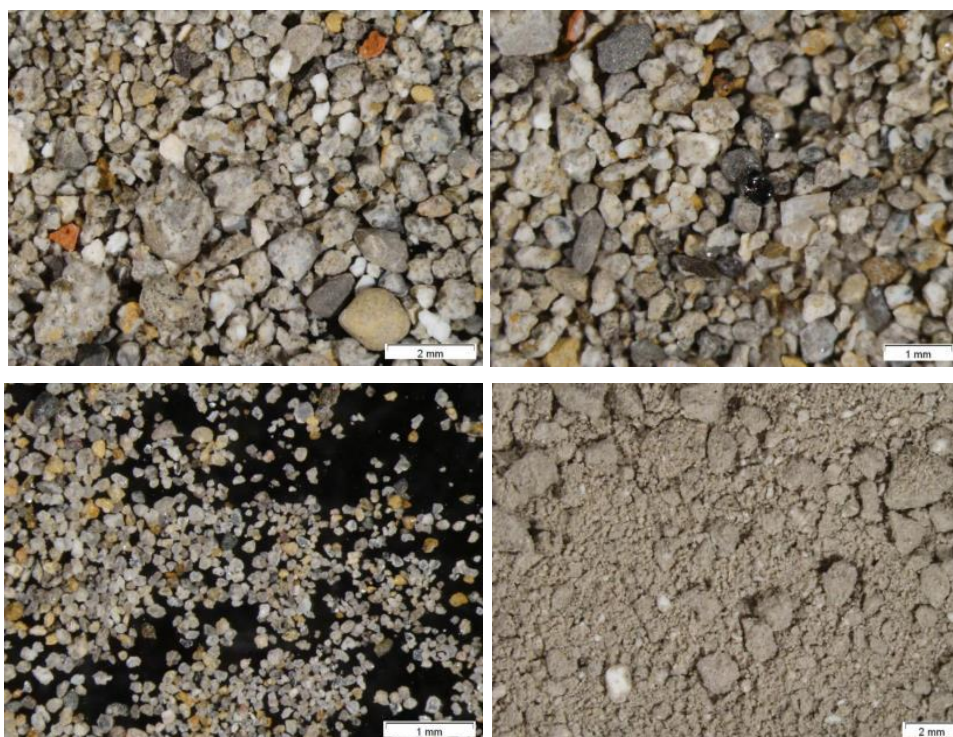


Figura 5.193.- Arriba: detalles de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero S.C.5/(M.E.3)/ue 1204. Los fragmentos anaranjados corresponden a material cerámico y los granos de color negro brillante a fragmentos de carbón. Abajo: detalles de la fracción fina, representada por granos de cuarzo y material arcilloso.

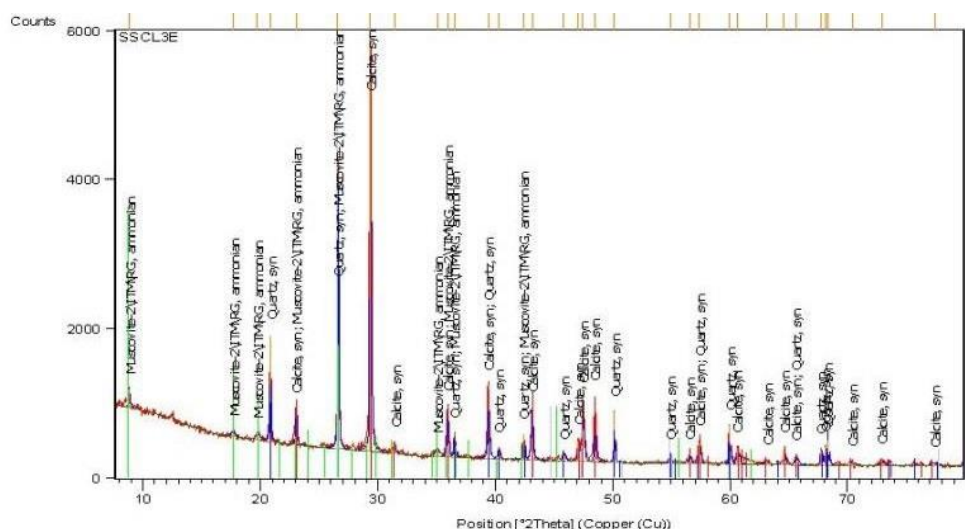


Figura 5.194.- Difractograma del mortero S.C.5./(M.E.3)/ue 1204. Los minerales detectados, han sido: calcita (CaCO<sub>3</sub>), cuarzo (SiO<sub>2</sub>) y moscovita [KAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>AlO 10(OH)<sub>2</sub>].

Muestra S.C.6./(M.E.4)/ue 1209

Corresponde a una muestra de mortero recogida en el encapotado de la bóveda de la capilla este (Fig. 5.195). Macroscópicamente es un mortero poco compacto y coherente, de textura heterogénea. Su color es pardo-beige y en sección se diferencian abundantes áridos de tonalidades diferentes, entre los que se identifican nódulos de cal y fragmentos de roca, unidos por una matriz blanquecina-beige. Su aspecto es muy similar al mortero S.C.5./(M.E.3)/ue 1204 (Fig. 5.196).

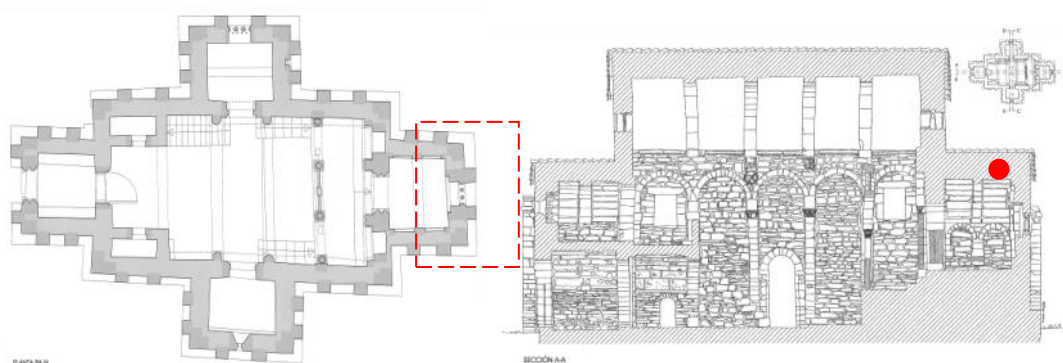


Figura 5.195.- Localización de la muestra S.C.6. (M.E.4) / ue 1209.



Figura 5.196.- Aspecto «in situ» de la muestra S.C.6. (M.E.4) / ue 1209.

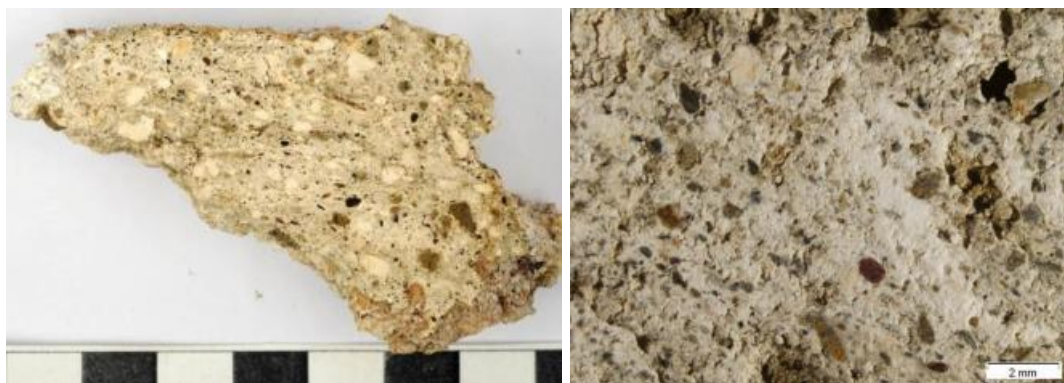


Figura 5.197.- Aspecto macroscópico del mortero la S.C.6. (M.E.4) / ue 1209. Los áridos son muy abundantes, identificándose, a esta escala, nódulos de cal y fragmentos de roca. A esta escala se observan espacios vacíos de tipo poro y fisurales.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación, en peso árido-matriz de 1:2. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (22%) y una fracción limo-arcillosa (16%) (Fig. 5.198), lo que implica una dosificación entre ambas de 1:1. Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (50%), fragmentos de roca siliciclástica (35%), nódulos de cal (15%) y algún fragmento cerámico y de carbón (<1%). La granulometría del árido es amplia con una distribución de tamaños comprendidos entre 100  $\mu\text{m}$  y 4 mm, con un valor medio de 200-300  $\mu\text{m}$  (arena fina-media), siendo los fragmentos de roca y los nódulos de cal los que alcanzan los mayores valores. La morfología de los granos varía de redondeada a subangulosa (0,9-0,7), con una esfericidad moderada (0,7), inferior en los fragmentos de roca. Mineralógicamente, el mortero está compuesto por calcita, cuarzo, moscovita y caolinita (Fig. 5.199).

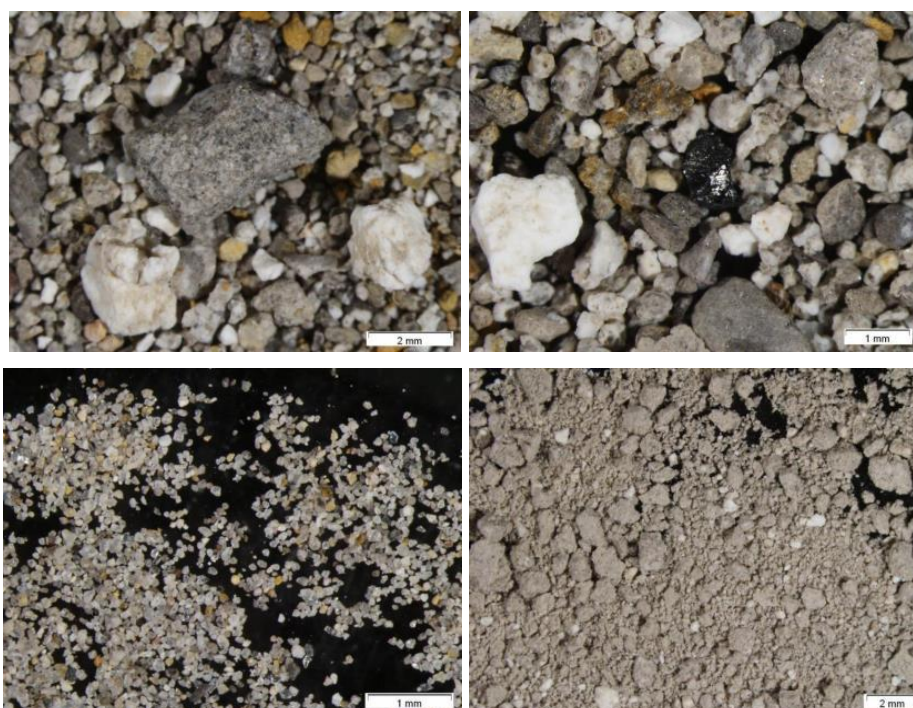


Figura 5.198.- Arriba: detalles del árido del mortero S.C.6./(M.E.4)/ue 1209, donde se identifican fragmentos de roca silíceas (esféricos y elongados) y nódulos de cal. En la imagen de la derecha se observa un grano de carbón y abundantes granos de cuarzo que forman parte de la fracción fina. Abajo: detalles de la fracción fina donde se identifica cuarzo, arcillas y algún nódulo de cal.

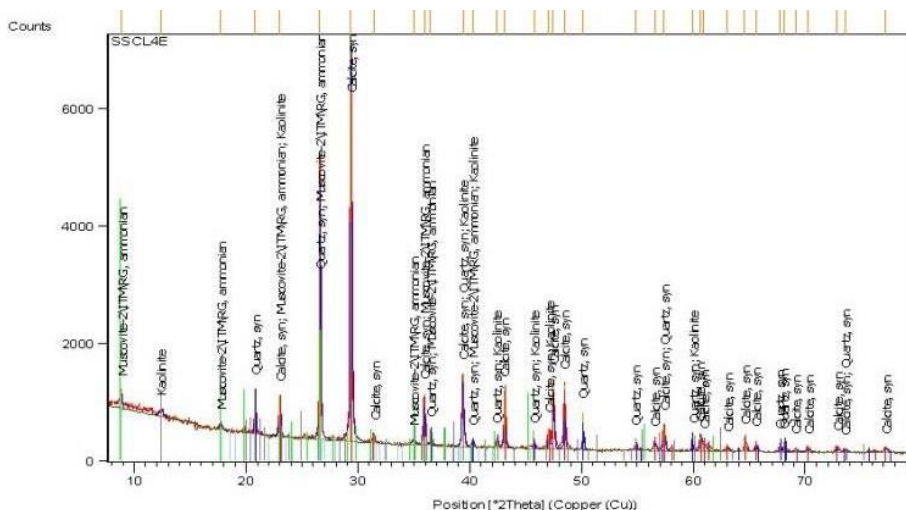


Figura 5.199.- Difractograma del mortero S.C.6./(M.E.4)/ue 1209. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), moscovita [ $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ] y caolinita [ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ].

Muestra S.C.7./(M.N.1)/ue 1110

Corresponde a una muestra de mortero recogido en las juntas, entre dovelas de la bóveda de la capilla norte (Fig. 5.200). Macroscópicamente es un mortero poco compacto y coherente, de textura heterogénea que presenta una superficie endurecida. Su color es rosado y en sección se diferencian áridos de diferentes tonalidades, unidos por una matriz blanquecina (Fig. 5.201).

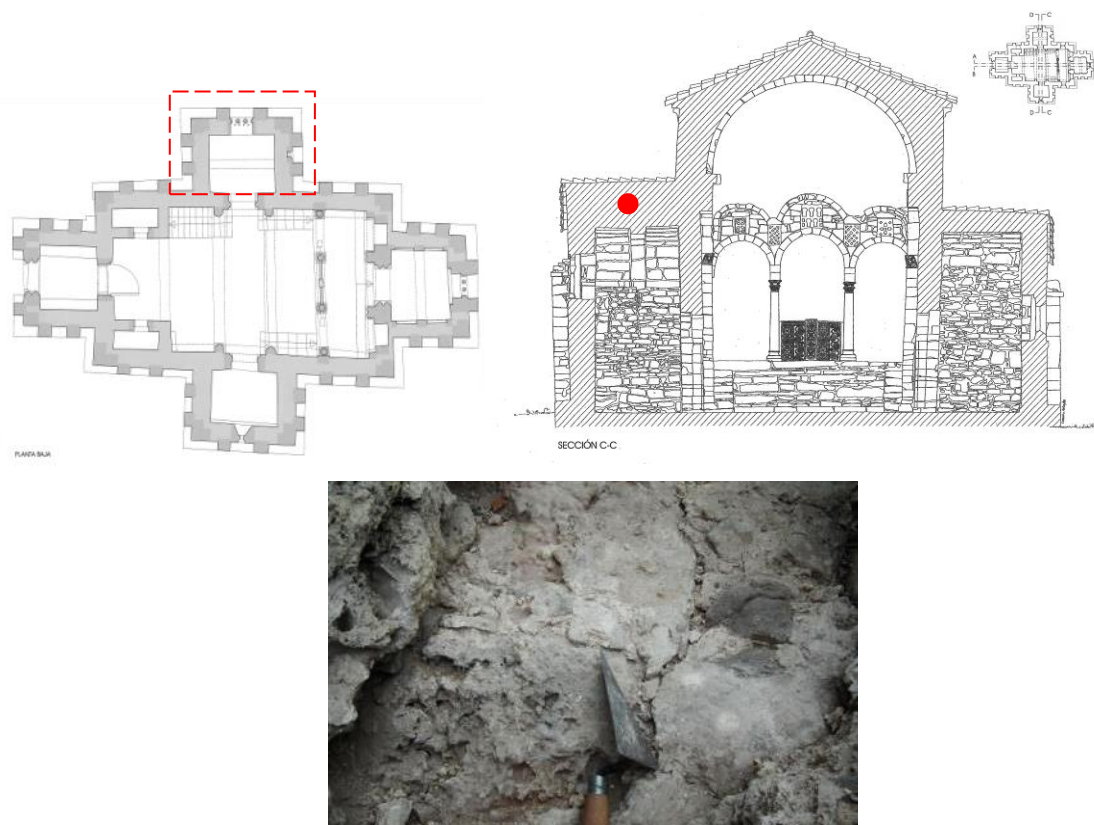


Figura 5.200.- Localización y aspecto «in situ» de la S.C.7./(M.N.1)/ue 1110.

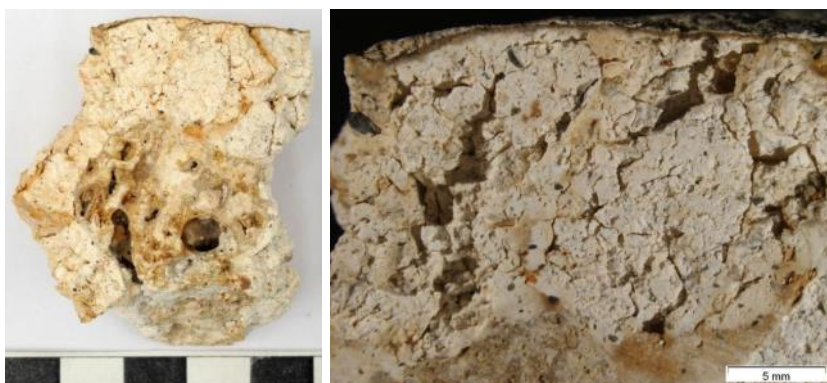


Figura 5.201.- Arriba: detalles de la fracción gruesa del árido del mortero S.C.7./(M.N.1)/ue 1110. A esta escala se identifican fragmentos de roca de naturaleza siliciclástica grisáceo.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación, en peso árido-matriz de 1:11. Dentro del árido se diferencia una fracción gruesa o arenosa (3%) y una fracción fina, limosa- arcillosa (4%), con una relación entre ambas de 1:1 (Figs. 5.202). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (45%), fragmentos de roca siliciclástica (35%) -gris, amarillenta y granate- y nódulos de cal (20%). Puntualmente se identifican fragmentos cerámicos, algún cristal de microclina y granos de carbón. Inmersos en la fracción más fina, además de minerales arcillosos se identifica algún fragmento de madera. El árido presenta una amplia distribución de tamaños (180  $\mu\text{m}$ -4 mm) con un valor medio de 400-600  $\mu\text{m}$  (arena media-gruesa). Los fragmentos de roca son los que alcanzan los mayores tamaños. La morfología de los granos varía de redondeada a subangulosa (0,9-0,7), con una esfericidad moderada (0,7). El análisis difractográfico del mortero ha detectado calcita, cuarzo y moscovita (Fig. 5.203).

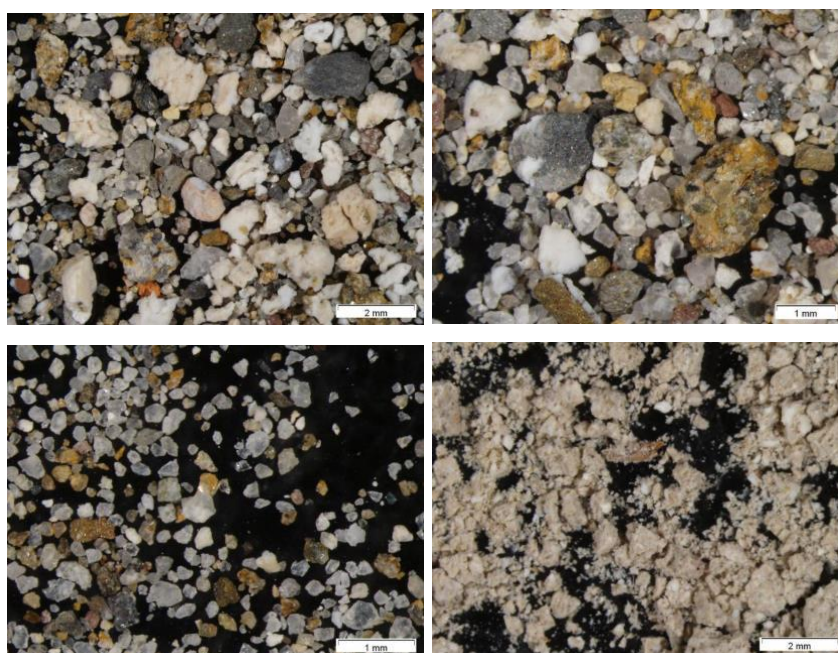


Figura 5.202.- Arriba: detalles de la fracción gruesa del árido del mortero S.C.7./(M.N.1)/ue 1110. A esta escala se identifican fragmentos de roca de naturaleza siliciclástica grisáceos y amarillentos, granos de cuarzo y nódulos de cal. Abajo: detalles de la fracción fina, donde entre los minerales arcillosos se detecta algún fragmento de madera.

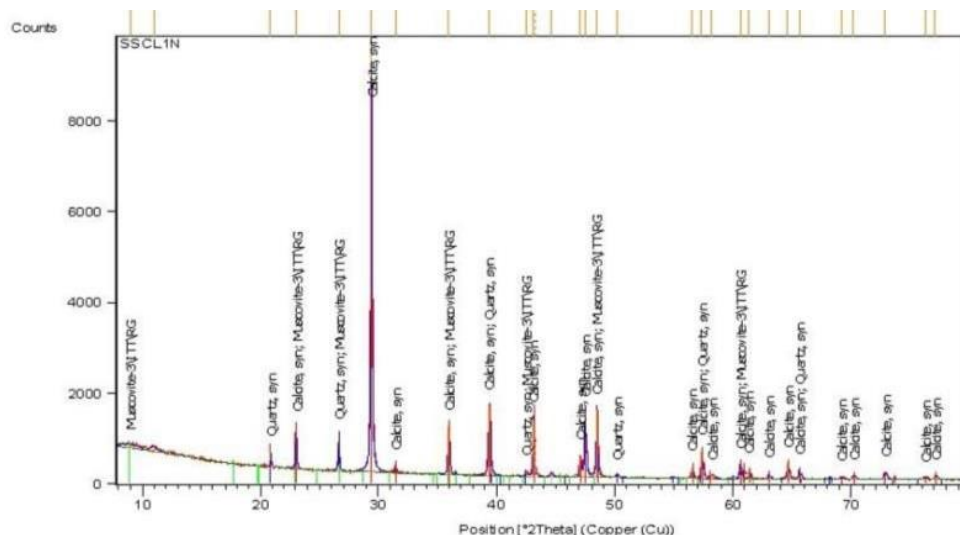


Figura 5.203.- Difractograma del mortero S.C.7./(M.N.1)/ue 1110. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y moscovita [ $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ].

Muestra S.C.8./(M.N.2)/ue 1111

Corresponde a una muestra de mortero recuperada del aparejo de la fachada norte de la capilla norte, a nivel del trasdós de la bóveda (Fig. 5.204). Macroscópicamente, es un mortero poco compacto y coherente, de textura heterogénea que presenta la superficie externa endurecida. Su color es rosado y en sección se diferencian áridos de distintas tonalidades, entre los que se identifica un fragmento de arenisca de tamaño centimétrico, inmerso en la matriz blanquecina (Fig. 205).

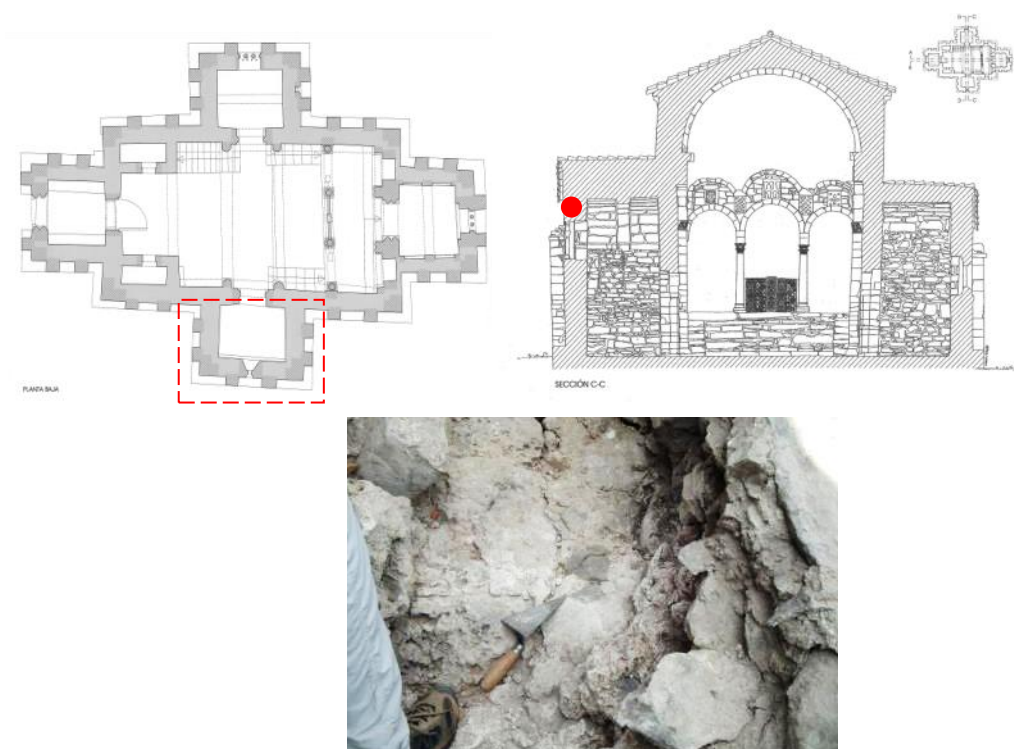


Figura 5.204.- Localización y aspecto «in situ» de la S.C.8./(M.N.2)/ue 1111.



Figura 5.205.- Aspecto macroscópico del mortero S.C.8/(M.N.2)/ue 1111. Los áridos presentes en el mortero aparecen inmersos en una matriz blanquecina. A esta escala destaca un fragmento de arenisca, de tamaño centimétrico.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación en peso árido-matriz de 1:1. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (39%) y una fracción limo-arcillosa (3%). La relación entre ambas de 12:1 se ha visto incrementado por la presencia de un gran fragmento de arenisca (Figs. 4.205). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (78%), fragmentos de arenisca (20%) y nódulos de cal (2%), (Fig. 5.206). También se identifica algún fragmento cerámico y de carbón vegetal (<1%). El árido presenta una amplia distribución de tamaños (180  $\mu\text{m}$ -8 mm), siendo los fragmentos de roca los que alcanzan los mayores tamaños, llegando en algún casos a superar 1,5 cm. Su tamaño medio es de 200-400  $\mu\text{m}$  (arena fina-media). Dentro de la fracción fina, además de minerales arcillosos de tamaño limo (<62  $\mu\text{m}$ ), se identifican fragmentos de madera. La morfología de los granos varía de redondeada a subangulosa (0,9-0,7), con una esfericidad moderada (0,7) que será puntualmente elevada (0,9) en algún fragmento de arenisca. En el análisis mineralógico del mortero, por difracción de rayos X, se ha detectado calcita como elemento principal y cuarzo, como mineral secundario (Fig. 5.207)

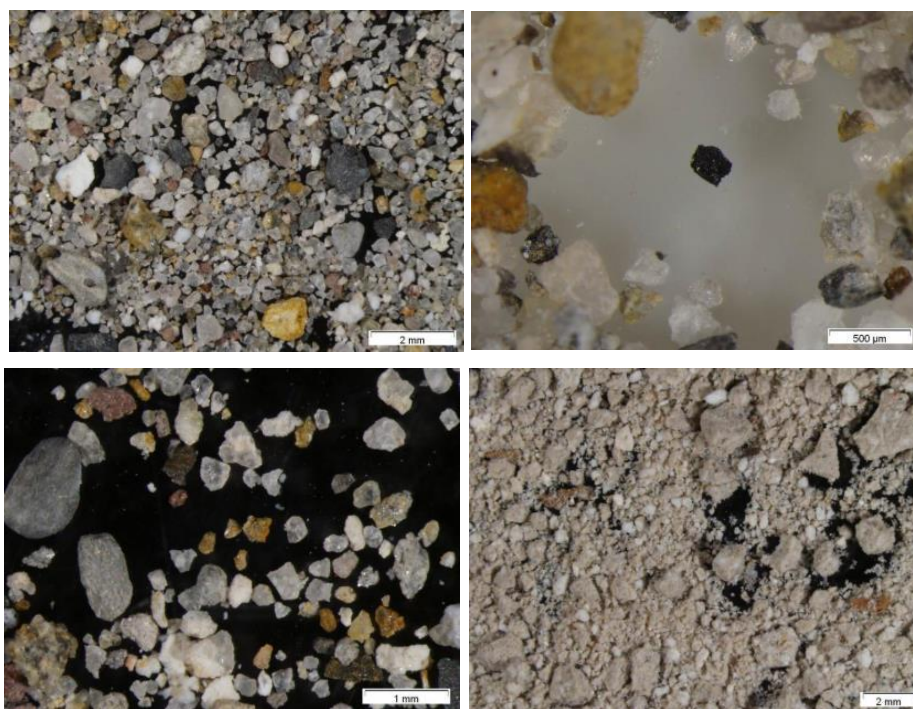


Figura 5.206.- Arriba: detalles del árido del mortero S.C.8/(M.N.2)/ue 1111. Se identifican granos de cuarzo, fragmentos de arenisca, algún nódulo de cal y algún fragmento de carbón. Abajo: detalles de la fracción fina del residuo, donde se identifican fragmentos de madera, inmersos entre escamas arcillosas.



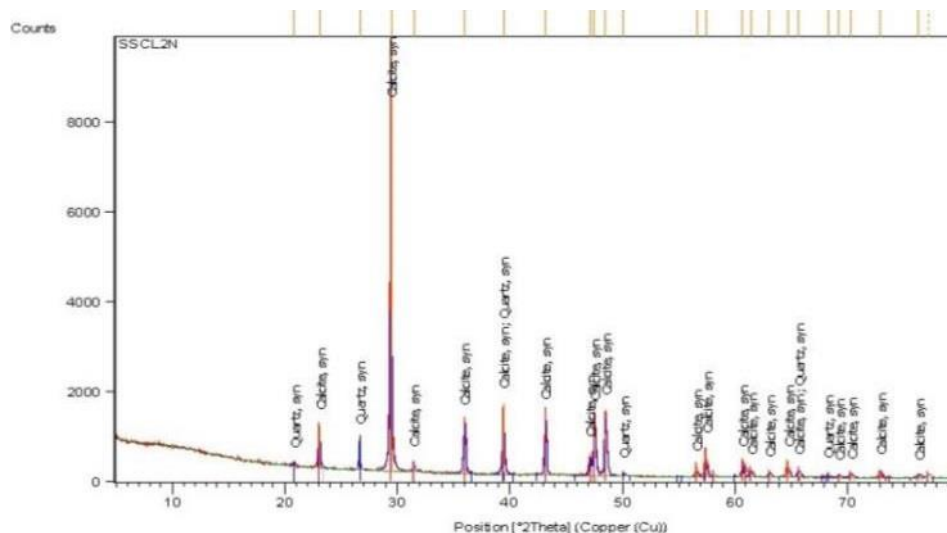


Figura 5.207.- Difractograma del mortero S.C.8./M.N.2/ue 1111. Los minerales detectados han sido: calcita (CaCO<sub>3</sub>) y cuarzo (SiO<sub>2</sub>).

Muestra S.C.9./M.N.3/ue 1101

Corresponde a una muestra de mortero recuperada del aparejo de la refacción del remate de la fachada norte, de la capilla norte (Fig. 5.208). Macroscópicamente es un mortero poco compacto y coherente, con textura heterogénea. Exteriormente presenta color marrón y en corte fresco adquiere tonalidades blanquecinas. En sección transversal se diferencian áridos, de colores diferentes, entre los que se identifican fragmentos de roca, embebidos en una matriz de color blanco (Fig. 5.209).

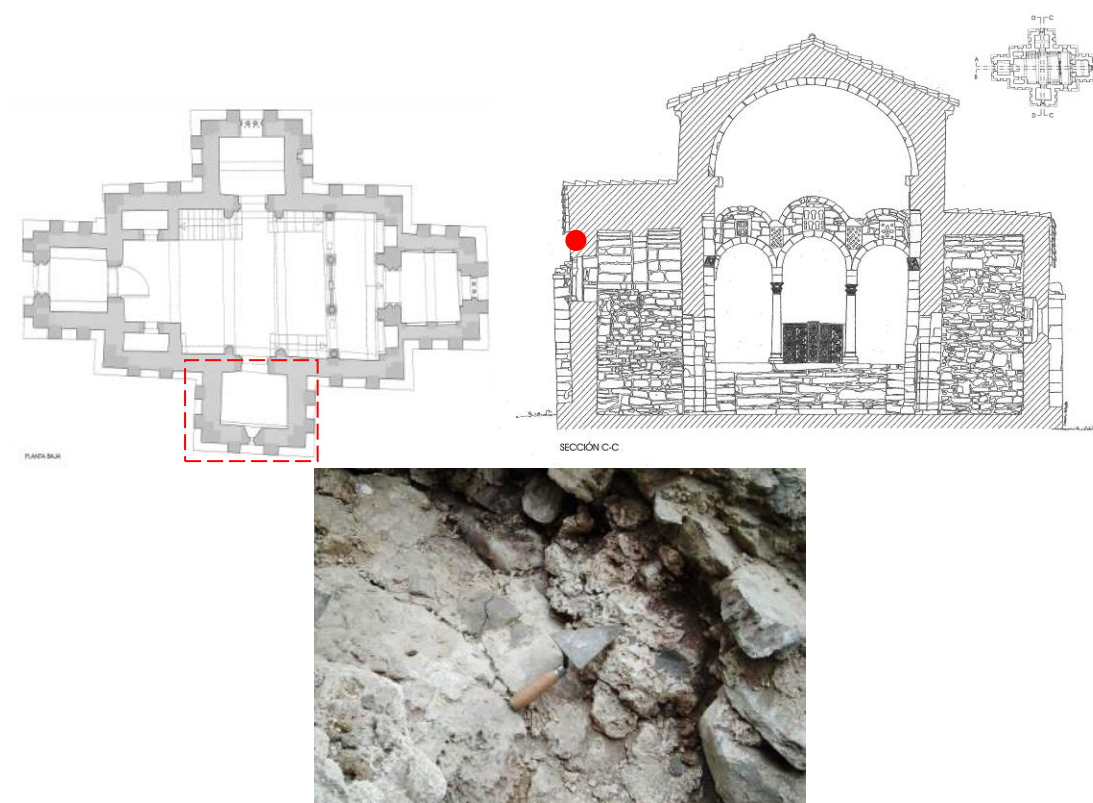


Figura 5.208.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero S.C.9./M.N.3/ue 1101.

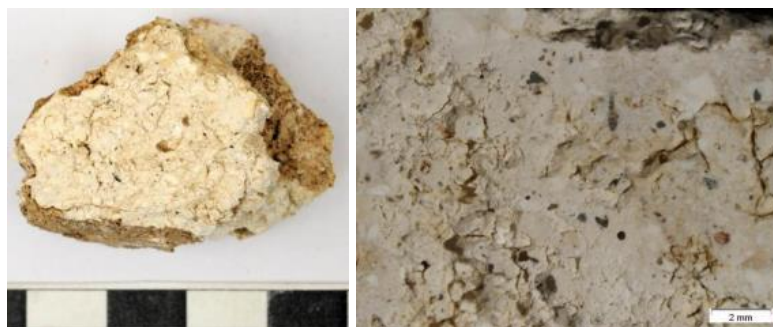


Figura 5.209.- Aspecto macroscópico y estereoscópico del mortero S.C.9./ (M.N.3)/ue 1101. Los áridos se encuentran inmersos en una matriz blanquecina. Los espacios vacíos son mayoritariamente de tipo fisural.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación, en peso, árido- matriz de 1:15. Dentro del árido se diferencia una fracción gruesa o arenosa (3%) y una fracción fina, limosa-arcillosa (4%), con una relación entre ambas de 1:1 (Fig. 5.210). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (55%), fragmentos de roca siliciclástica (43%) y nódulos de cal (2%). También algún fragmento cerámico y de carbón vegetal (<1%). El árido presenta una amplia distribución de tamaños (170  $\mu\text{m}$ -2,5 mm), siendo los fragmentos de roca los que alcanzan los mayores tamaños, con un tamaño medio de 300  $\mu\text{m}$  (arena media). La morfología varía de redondeada a subredondeada (0,9), con una esfericidad moderada (0,7), aunque los fragmentos de roca pueden tener una esfericidad baja (0,3). La composición mineralógica, obtenida por difracción de rayos X, ha sido calcita y cuarzo (Fig. 5.211).

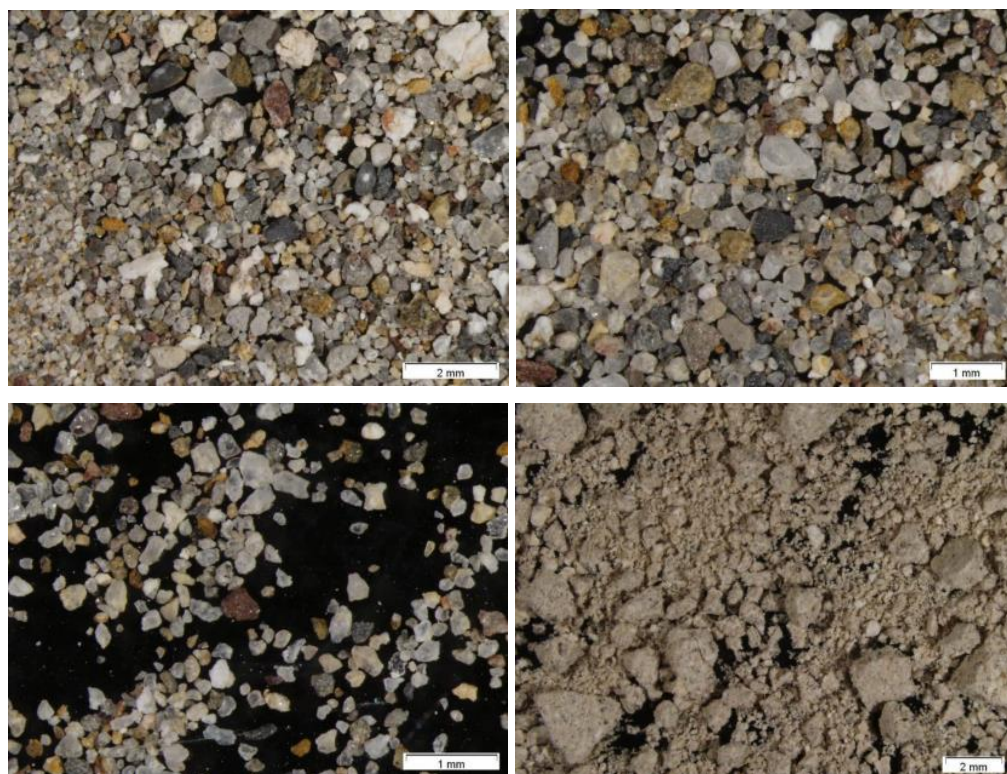


Figura 5.210.- Arriba: detalles de la fracción gruesa del árido del mortero S.C.9. (M.N.3)/ue 1101. Se identifican fragmentos de roca arenisca grisáceos, amarillentos y agranados, además de granos de cuarzo y nódulos de cal. Abajo: detalles de la fracción fina del residuo insoluble.

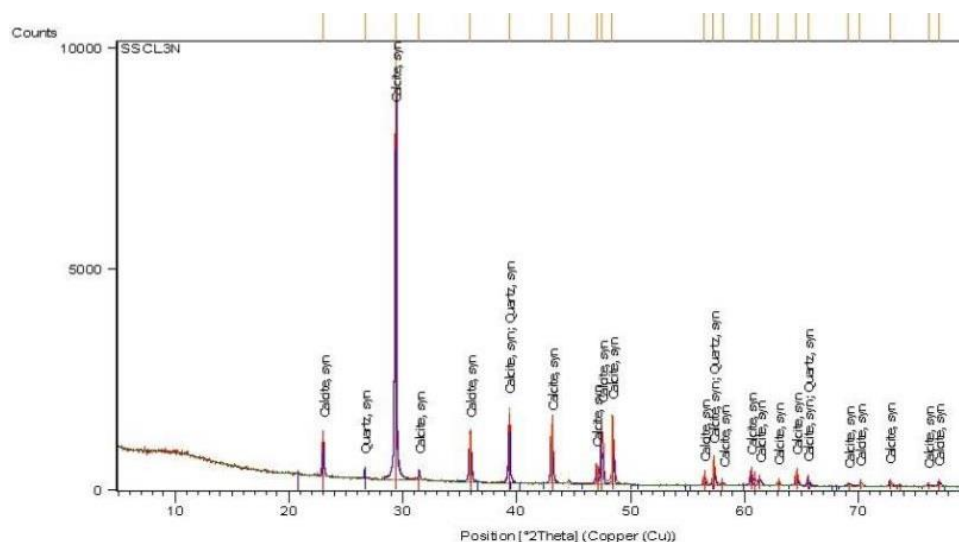


Figura 5.211.- Difractograma del mortero S.C.9./ (M.N.3)/ue 1101. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

Muestra S.C.10./ (M.N.4)/ue 1109

Corresponde a una muestra de mortero recogida en el encapotado de la bóveda de la capilla Norte (Fig. 5.212). Macroscópicamente, es un mortero compacto y coherente, con textura heterogénea y señales evidentes, de haber sufrido procesos de recarbonatación. Su aspecto general recuerda al de una toba calcárea. De color beige–ocre, presenta una superficie endurecida con abundantes espacios vacíos, de considerable tamaño, originados por procesos de disolución. En sección transversal de corte fresco no es posible identificar la presencia de áridos en este mortero (Fig. 5.213).

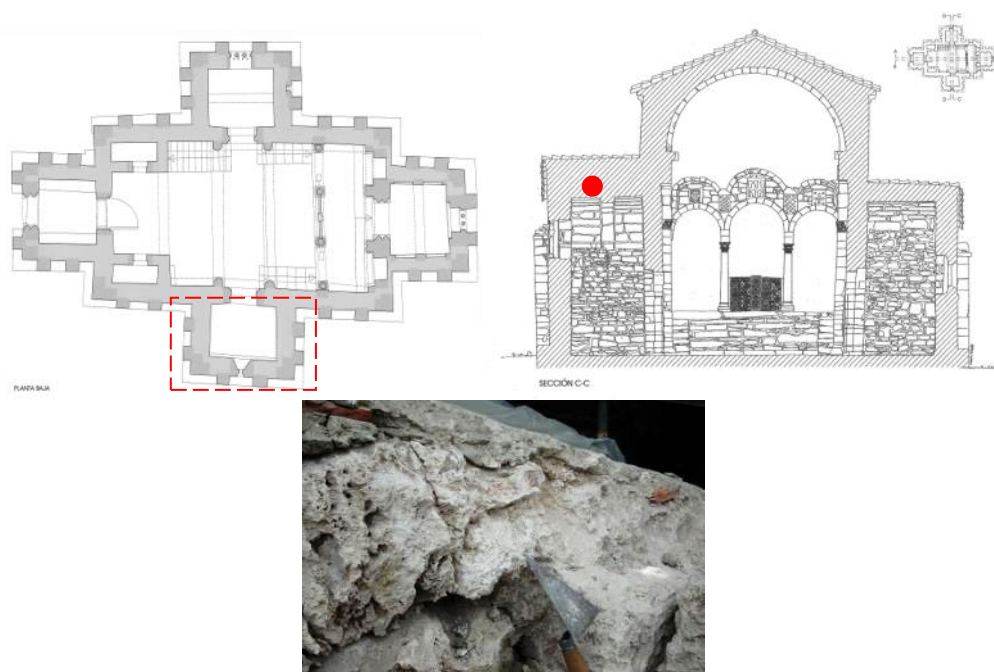


Figura 5.212.- Localización y aspecto «in situ» de la muestra de mortero S.C.10./ (M.N.4)/ue 1109.



Figura 5.213.- Aspecto macroscópico y estereoscópico del mortero S.C.10./(M.N.4)/ue 1109. Su aspecto recuerda al de una toba calcárea, originada por precipitación de carbonato cálcico disuelto en agua en forma de finas capas.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación en peso árido-matriz de 1:10. Dentro del árido se diferencia una fracción arenosa (5%) y una fracción fina, limosa-arcillosa (4%), en relación 1:1 (Fig. 5.214). Microscópicamente, dentro de la fracción gruesa se identifican granos de cuarzo (55%) y fragmentos de roca arenisca (45%). Ocasionalmente se observan nódulos de cal y algún grano de carbón (<1%). Los áridos presentan una amplia distribución de tamaños (180  $\mu\text{m}$ -1,5 cm), con un valor medio de 200-400  $\mu\text{m}$  (arena media). Los mayores tamaños corresponden a los fragmentos de roca. La morfología de los granos minerales es redondeada-subangulosa (0,9-0,7), con una esfericidad moderada (0,7), tendiendo los fragmentos de roca a formas más angulosas (0,3). La calcita, el cuarzo y la moscovita han sido los minerales identificados, mediante difracción de rayos X (Fig. 5.215) en la muestra de mortero.

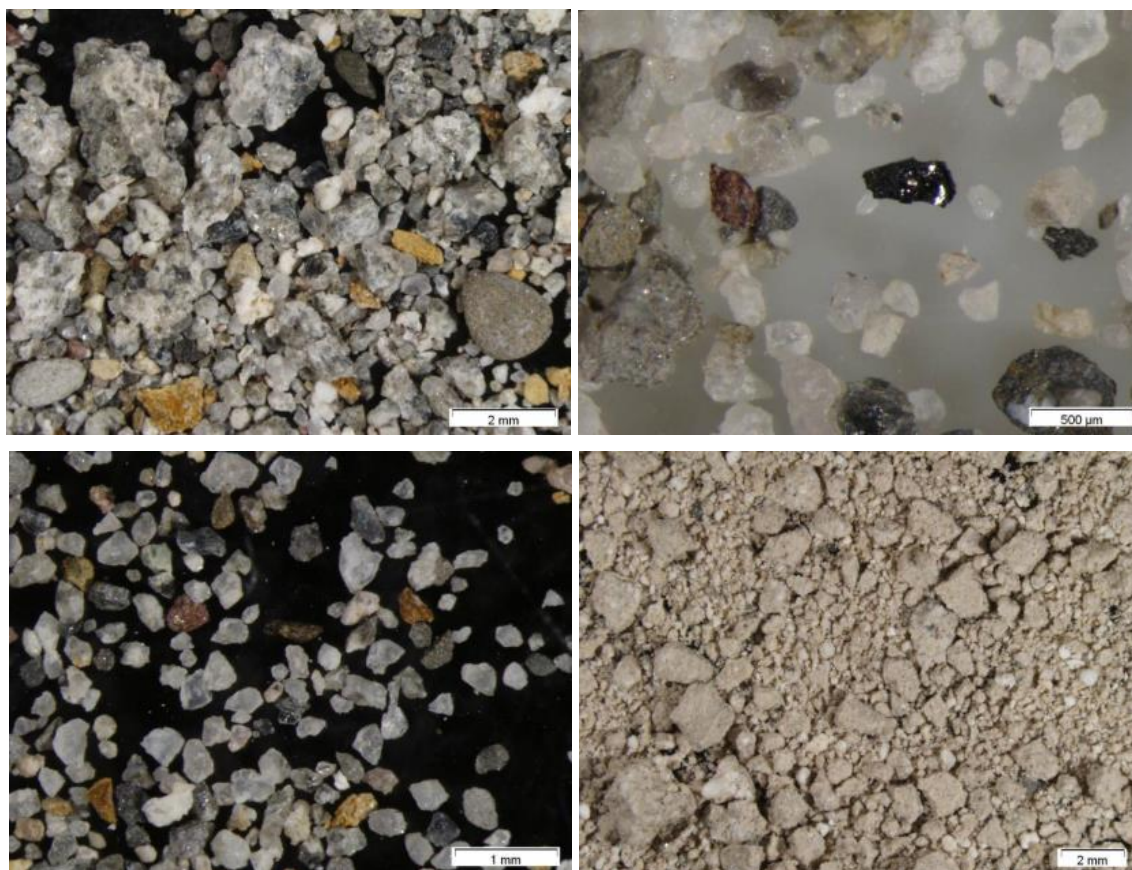


Figura 5.214.- Arriba: detalles del árido del mortero S.C.10./(M.N.4)/ue 1109. En las fotografías se identifican fragmentos de arenisca, además de granos de cuarzo, nódulos de cal y fragmentos de carbón. Abajo: detalles de la fracción fina, constituida por granos minerales tamaño arena fina y arcillas.

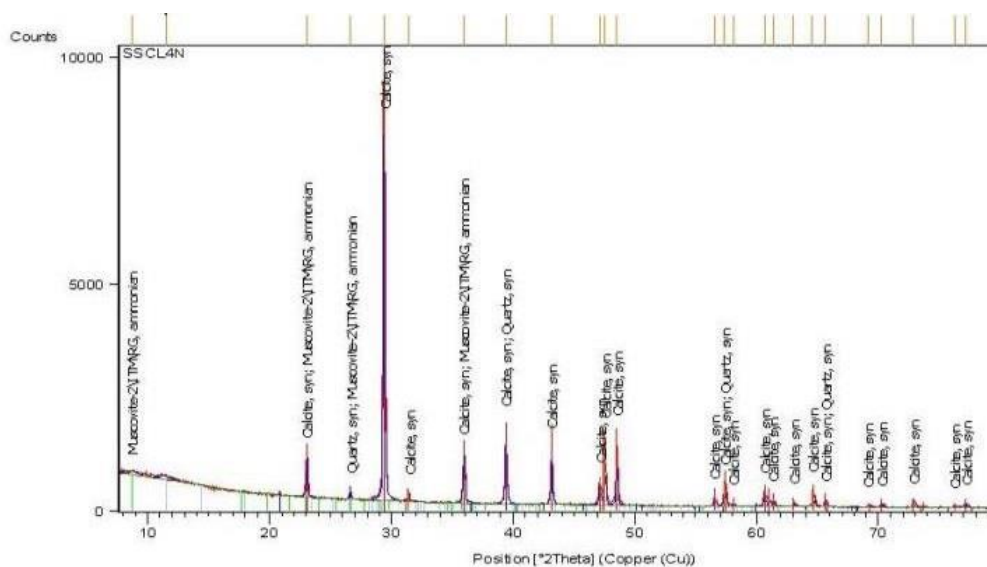


Figura 5.215.- Difractograma del mortero S.C.10./M.N.4/ue 1109. Los minerales detectados, por difracción de rayos X, han sido: calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y moscovita [ $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ ].

En la tabla 5.11 se presenta un resumen comparativo de los morteros estudiados en este edificio. Una de las singularidades de estos morteros es que todos presentan abundantes fragmentos de roca. En el capítulo cuatro se establecen sus correlaciones cronológicas.

Tabla 5.11.- Santa Cristina de Lena: Resumen comparativo de los morteros

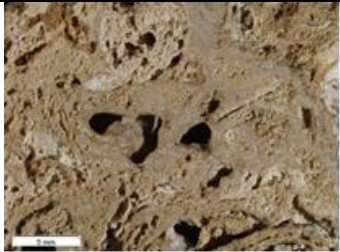

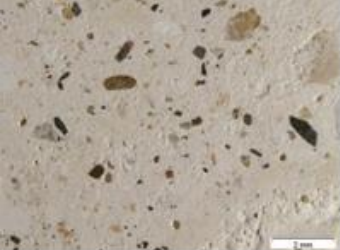
Referencia / muestra	Descripción	Composición mineralógica (> 1,5%)	Componentes accesorios	Dosificación árido/matriz	RI* Fg/Ff	Tamaño fracción gruesa	Moda árido
S.C.3. (M.E.1)/ue.1210	Mortero de relleno de la cornisa norte de la fachada norte de la capilla este	Calcita, cuarzo, moscovita y caolinita	Fragmentos de roca*, cerámicos y carbón	1:5	1:2	100 µm – 3 mm	212 µm
S.C.4. (M.E.2)/ue.1212	Mortero de juntas entre dovelas de la bóveda de la capilla este	Calcita y cuarzo	Fragmentos de roca*, cerámicos, microclina y carbón	1:10	2:1	200 µm – 3 mm	319 µm
S.C.5. (M.E.3)/ue.1204	Mortero de la mampostería de remate del muro testero de la capilla este	Calcita, cuarzo y moscovita	Fragmentos de roca*, cerámicos y carbón	1:1	2:1	100 µm – 6 mm	256 µm
S.C.6. (M.E.4)/ue.1209	Mortero del encapotado de la bóveda de la capilla este	Calcita, cuarzo, moscovita y caolinita	Fragmentos de roca*, cerámicos y carbón	1:2	1:1	100 µm – 4 mm	319 µm
S.C.7. (M.N.1)/ue.1110	Mortero de juntas entre dovelas de la bóveda de la capilla norte	Calcita, cuarzo y moscovita	Fragmentos de roca*, cerámicos, microclina, carbón y madera	1:11	1:1	180 µm – 4 mm	425 µm
S.C.8. (M.N.2)/ue.1111	Mortero del aparejo de la fachada norte de la capilla norte	Calcita y cuarzo	Fragmentos de roca*, cerámicos, carbón y madera	1:1	12:1	180 µm – 8 mm	311 µm
S.C.9. (M.N.3)/ue.1101	Mortero de la refacción del remate de la fachada norte de la capilla norte	Calcita y cuarzo	Fragmentos de roca*, cerámicos y carbón	1:15	1:1	170 µm – 3 mm	256 µm
S.C.10. (M.N.4)/ue.1109	Mortero del encapotado de la bóveda norte de la capilla norte	Calcita, cuarzo y moscovita	Fragmentos de roca* y carbón	1:10	1:1	180 µm – 8 mm	319 µm

RI\* Fg/Ff - Relación fracción gruesa – fracción fina del residuo insoluble  
 Fragmentos de roca\* - todos los fragmentos de roca contienen moscovita

### 5.4.2.-DATACIÓN ABSOLUTA

A continuación, e igual que en el caso de San Salvador de Valdediós se presentan las muestras (N4/ue.1109, M.N.1/ue.1110, E2/ue.1212) susceptibles de datación radiocarbónica por presentar como aditivo carbón vegetal (Tabla 5.12). El tamaño de los fragmentos de carbón aislado no resultó suficiente para la datación de las muestras por lo que una vez informados por el laboratorio del escaso tamaño de los carbonos se optó por medir el  $^{14}\text{C}$  a partir del carbonato presente en la matriz de los morteros. Igual que en el caso de Valdediós, las muestras pre-tratadas por el procedimiento de ataque ácido-álcali-ácido (Fig. 5.216) fueron datadas mediante AMS. Los resultados aportados por Beta Analytic INC. se presentan en las figuras 5.217 a 5.219 y en la tabla 5.13.

Tabla 5.12.- Santa Cristina de Lena: Muestras seleccionadas para su datación por radiocarbono

Procedencia	Referencia	Tipo de mortero	Localización	Aspecto macroscópico
Santa Cristina de Lena	N4/ue.1109	Encapotado bóveda	Bóveda N	
	N1/ue.1110	Mortero de juntas entre dovelas		
	E2/ue.1212	Mortero de juntas entre dovelas	Bóveda E	

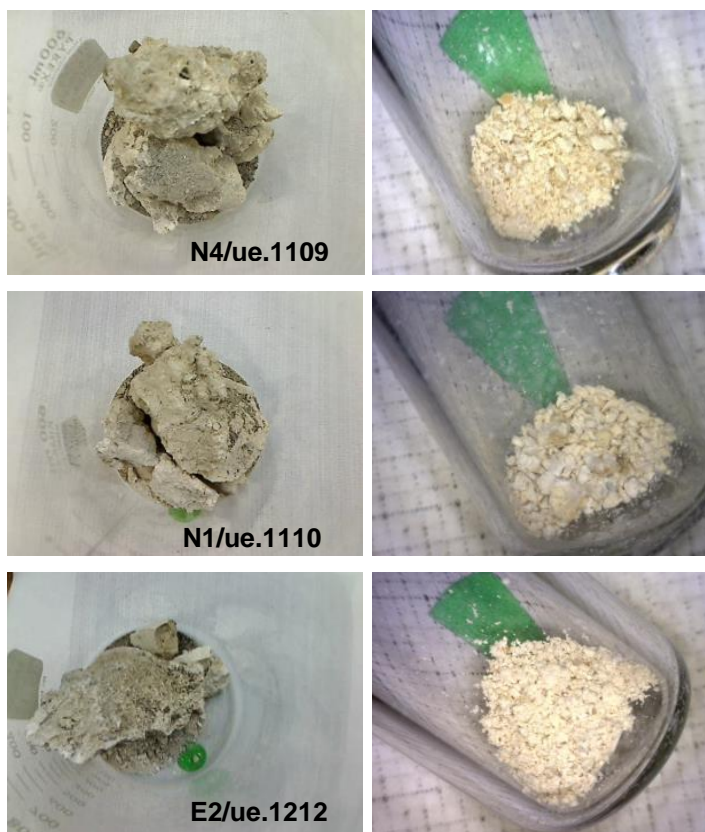
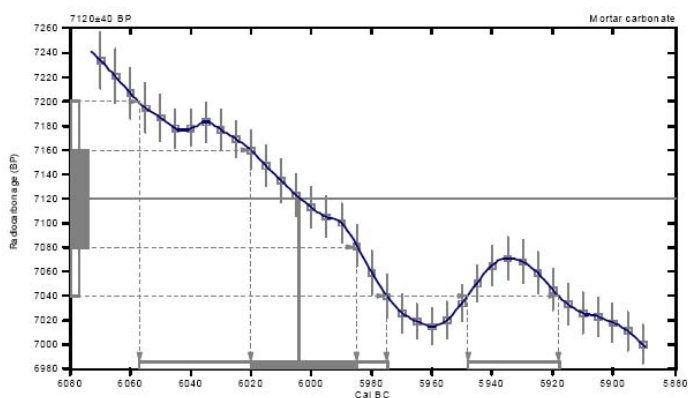


Figura 5.216.- Imágenes de las muestras realizadas por Beta Analytic Inc., después del pretratamiento.

### CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-12.3 lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-370351  
 Conventional radiocarbon age: 7120±40 BP  
 2 Sigma calibrated results: Cal BC 6060 to 5980 (Cal BP 8010 to 7920) and  
 (95% probability) Cal BC 5950 to 5920 (Cal BP 7900 to 7870)  
 Intercept data  
 Intercept of radiocarbon age  
 with calibration curve: Cal BC 6000 (Cal BP 7950)  
 1 Sigma calibrated result: Cal BC 6020 to 5980 (Cal BP 7970 to 7940)  
 (68% probability)



References:  
 Database used  
 INTCAL09  
 References to INTCAL09 database  
 Heston, et al., 2009, Radiocarbon 51(4):1151-1164, Retmer, et al., 2009, Radiocarbon 51(4): 1111-1150.  
 Stuiver, et al., 1993, Radiocarbon 35(1):1-244, Oeschger, et al., 1975, Tellus 27:168-192  
 Mathematics used for calibration scenario  
 A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates  
 Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2):317-322

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 7th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)675-167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

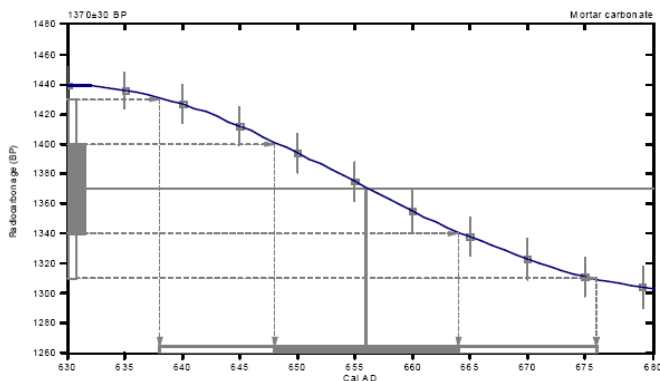
Figura 5.217.- Resultados del análisis radiocarbónico de la muestra de mortero N4/ue.1109.



**CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS**

(Variables: C13/C12=-15.9;lab. mult=1)

Laboratory number: **Beta-370349**  
 Conventional radiocarbon age: **1370±30 BP**  
**2 Sigma calibrated result:** Cal AD 640 to 680 (Cal BP 1310 to 1270)  
 (95% probability)  
 Intercept data  
 Intercept of radiocarbon age  
 with calibration curve: Cal AD 660 (Cal BP 1290)  
**1 Sigma calibrated result:** Cal AD 650 to 660 (Cal BP 1300 to 1290)  
 (68% probability)



References:  
 Database used  
 INTCAL09  
 References to INTCAL09 database  
 Houton, et al., 2009, Radiocarbon 51(4):1151-1164, Reimer, et al. 2009, Radiocarbon 51(4):1111-1150,  
 Stuiver, et al. 1993, Radiocarbon 35(1):1-244, Oeschger, et al., 1975, Tellus 27:168-192  
 Mathematics used for calibration scenario  
 A Simplified Approach to Calibrating C-14 Dates  
 Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2):317-322

**Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory**

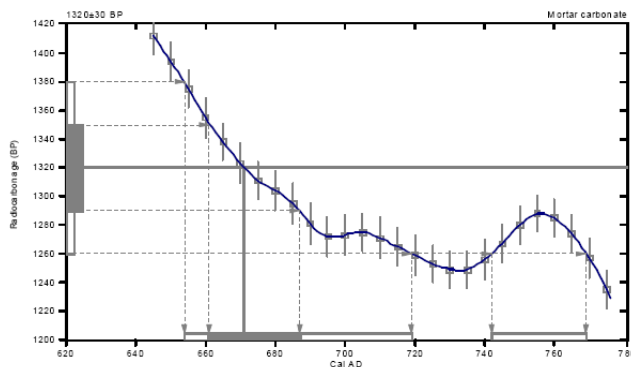
4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Figura 5.218.- Resultados del análisis radiocarbónico de la muestra de mortero N1/ue.1110.

**CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS**

(Variables: C13/C12=-13.7;lab. mult=1)

Laboratory number: **Beta-370350**  
 Conventional radiocarbon age: **1320±30 BP**  
**2 Sigma calibrated results:** Cal AD 650 to 720 (Cal BP 1300 to 1230) and  
 Cal AD 740 to 770 (Cal BP 1210 to 1180)  
 Intercept data  
 Intercept of radiocarbon age  
 with calibration curve: Cal AD 670 (Cal BP 1280)  
**1 Sigma calibrated result:** Cal AD 660 to 690 (Cal BP 1290 to 1260)  
 (68% probability)



References:  
 Database used  
 INTCAL09  
 References to INTCAL09 database  
 Houton, et al., 2009, Radiocarbon 51(4):1151-1164, Reimer, et al. 2009, Radiocarbon 51(4):1111-1150,  
 Stuiver, et al. 1993, Radiocarbon 35(1):1-244, Oeschger, et al., 1975, Tellus 27:168-192  
 Mathematics used for calibration scenario  
 A Simplified Approach to Calibrating C-14 Dates  
 Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2):317-322

**Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory**

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Figura 5.219.- Resultados del análisis radiocarbónico de la muestra de mortero E2/ue.1212.

Tabla 5.13.- Santa Cristina de Lena: Fechas calibradas

Referencia	Referencia Beta Analytic	Tipo de mortero	Localización	$\delta^{13}C$ (‰)	Edad radiocarbónica convencional (cal BP)	Intersección de la edad radiocarbónica con la curva calibrada	Fecha calibrada 1 Sigma (68% probabilidad)	Fecha calibrada 2 Sigma (95% probabilidad)
N4/ue.1109	Beta-370351	Encapotado bóveda	Bóveda N	-12,3	7120±40 BP	Cal AD 6000 (Cal BP 7950)	Cal AD 6020-5590 (Cal BP 7970-7940)	Cal AD 6060-5970 (Cal BP 8010-7920) Cal AD 5950-5920 (Cal BP 7900-7870)
N1/ue.1110	Beta-370349	mortero de juntas entre bóvedas		-15,9	1370±30 BP	Cal AD 660 (Cal BP 1290)	Cal AD 650-660 (Cal BP 1300-1290)	Cal AD 640-680 (Cal BP 1310-1270)
E2/ue.1212	Beta-370350	mortero de juntas entre bóvedas	Bóveda E	-13,7	1320±30 BP	Cal AD 670 (Cal BP 1280)	Cal AD 660-690 (Cal BP 1290-1260)	Cal AD 650-720 (Cal BP 1300-1230) Cal AD 740-770 (Cal BP 1210-1180)

BP (Before Present) - equivale a los años transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el año 1950 de nuestro calendario (cero BP se define como AD 1950).

Si comparamos las fechas obtenidas y asumimos que las muestras deberían de ser prácticamente sincrónicas, se observa que esto no ocurre. Hay una muestra, la N4/ue.1109 (Fig. 5.217), incongruente con las muestras N1/ue.1110 y E2/u.e.1212 (Figs. 5.218 a 5.219) lo que induce a pensar que la primera está claramente contaminada por carbono fósil, que se traduce en un envejecimiento del mortero hacia fechas más antiguas. Como ya se ha comentado con anterioridad, el peligro de la datación a partir del conglomerante del propio mortero es la presencia de contaminaciones fósiles. La causa de la intensa contaminación de la muestra N4/ue.1109 podría estar relacionada con la presencia de fragmentos de piedra toba en el interior del mortero. Durante su descripción macroscópica se mencionó el hecho de que texturalmente era similar a este tipo de material carbonatado, pero se pensó que el mortero podría haber estado sometido a procesos de disolución y precipitación, asociados a eventuales entradas de agua en la cubierta. Esta hipótesis hubiera rejuvenecido la fecha radiocarbónica experimental hacia épocas más recientes, cosa que no ocurre, sino lo contrario. Si asumimos que la muestra N4/ue.1109 presenta una intensa contaminación, no se puede descartar que las otras (muestras N1/ue.1110 y E2/ u.e.1212) puedan estar también afectadas, en mayor o mayor medida, por el mismo proceso, ya sea por la presencia del carbonato relicto de la roca fuente a partir de la cual se ha elaborado la cal o por lixiviación de aguas carbonatadas procedentes de la disolución de la piedra toba con la que están fabricadas las bóvedas de las capillas.

## **5.5.- SAN MIGUEL DE LILLO**

En Lillo, como San Salvador de Valdediós y Lena, los resultados derivados del estudio de los morteros se integran en dos apartados de datación, el primero relativa y el segundo absoluta. En el primero se incluyen los estudios de caracterización petrofísica de morteros y análisis estratigráfico de pintura mural y capas pictóricas. En el segundo se recogen los datos radiométricos de <sup>14</sup>C, obtenidos en diferentes épocas y a partir de muestras recogidas en el interior y exterior del edificio.

### **5.5.1.- DATACIÓN RELATIVA**

En Lillo como en la Cámara Santa se analizaron 56 muestras de mortero y 48 de pintura mural. El estudio de los primeros ha resultado indispensable para deducir las secuencias estratigráficas de las pinturas altomedievales, afectados por numerosos repintes. Es fundamental conocer la naturaleza del soporte de la pintura mural para poder deducir las intervenciones que han podido afectar al interior de este edificio. Los estudios de caracterización de los morteros se integran posteriormente con los resultados aportados por el análisis estratigráfico de la pintura mural.

Antes de presentar los resultados derivados de estos estudios cabe hacer una referencia al avanzado estado de deterioro que presenta estos materiales (morteros y pintura). Recordemos que Lillo, desde sus inicios se ha visto afectado por la ruina parcial de gran parte de su estructura con lo que ello conlleva, sin olvidar las numerosas intervenciones a las que se ha visto sometido a lo largo de los años, algunas de ellas bien documentadas. Con estos antecedentes y con un emplazamiento al borde de una ladera con escasa ventilación, en un enclave extremadamente húmedo y con un diseño arquitectónico poco favorable a la correcta evacuación de las aguas pluviales, tanto los morteros como la pintura, han sido los materiales más susceptibles al deterioro. Los agentes antrópicos y la falta de mantenimiento durante largos períodos de tiempo ha propiciado la situación ante la cual nos encontramos: morteros agrietados, desprendidos, abombados o con poca adherencia a las fábricas y en ocasiones perdidos, y pinturas aparentemente disgregadas y afectadas por supuestas y también abundantes, eflorescencias salinas. Por todas estas razones surge la necesidad abordar una restauración integral del edificio, ya iniciada en 2011 con el cambio de cubiertas y la urbanización del terreno circundante. En esa intervención también se abordó una limpieza somera de los muros exteriores y se retacaron las juntas perdidas por lavados continuados de agua desde las cubiertas o los contrafuertes. La deficiente conservación de las juntas entre sillares y el propio diseño arquitectónico del edificio han propiciado que las aguas pluviales vayan ido vertiendo de las cubiertas superiores a las inferiores, para acabar discurriendo por las tapas de los contrafuertes o directamente por los muros, hasta el exterior de las fábricas. Este hecho se ve agravado en la fachada norte, permanente sombría y con escasa ventilación. En esta zona el agua tiende a ser retenida y acaba salpicando los muros e incluso en determinadas zonas, infiltrándose hacia el interior del edificio, por la escasa pendiente del terreno, en alguna zona incluso a favor de la construcción. Tampoco se deben desestimar las humedades de condensación que afectan tanto al

interior como al exterior del edificio, a lo largo de todo el año, aunque con picos estacionales marcados.

Llegados a este punto y ante el escaso conocimiento de los morteros y pinturas altomedievales de San Miguel de Lillo, ha resultado indispensable su caracterización para poder abordar con garantías, la redacción del futuro proyecto de restauración. El estudio previo de morteros y pinturas supone una aproximación a la problemática actual del edificio, a la vez que amplía nuestro conocimiento sobre la naturaleza y evolución de los diferentes morteros (originales y de reposición), y de la pintura mural, en deficiente estado de conservación. Estos estudios permitirán además, delimitar la extensión de la pintura original altomedieval y determinar los posibles repintes que la hayan podido afectar. Es por ello, que la toma de muestras ha sido exhaustiva, en cada uno de los elementos arquitectónicos, inspeccionados con la ayuda de una plataforma elevadora por el equipo de restauradoras. A pesar de ello, han quedado zonas inaccesibles cuyos estudios tendrán que ser abordados antes y durante las futuras labores de restauración. Antes de presentar los resultados obtenidos en este estudio preliminar, se esquematiza brevemente, la estructuración de los mismos. Los morteros y la pintura se clasifican en función de su localización de recogida. Al final de cada apartado se presentan unas tablas resumen. Posteriormente en el capítulo cuatro se interpretan los resultados, a continuación expuestos.

## MORTEROS

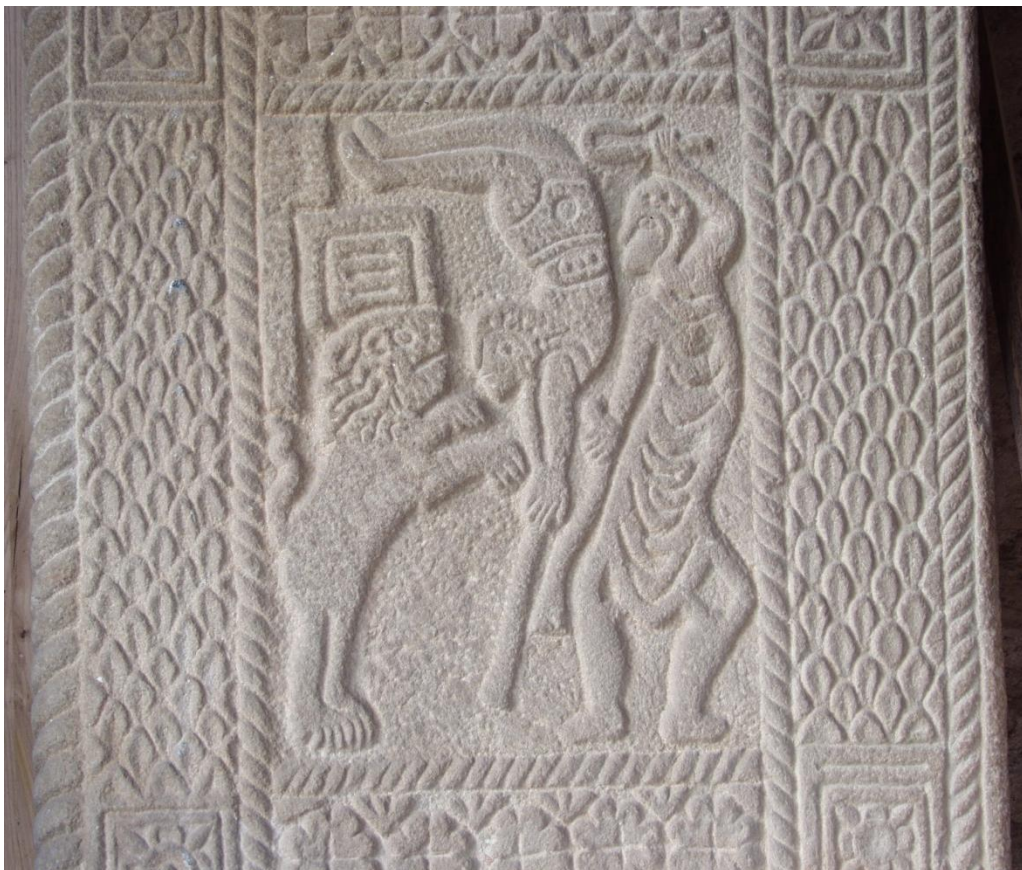
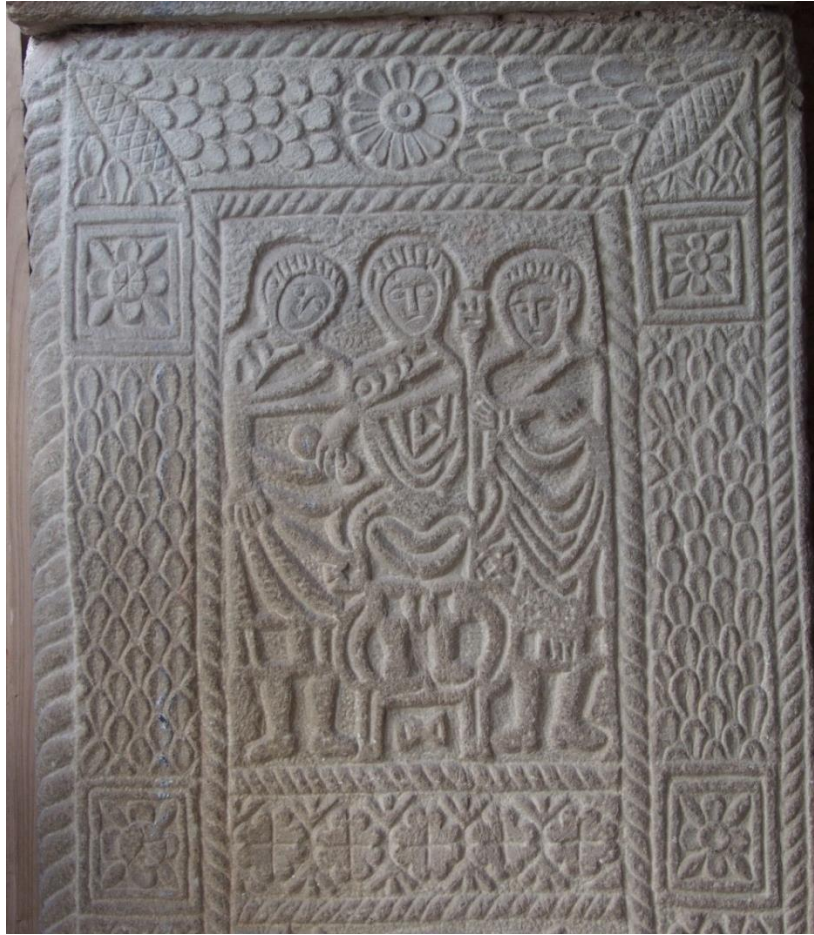
- **Interiores:** mMortero de fábrica altomedieval (Tipo I), enlucido o revoco altomedieval (Tipo II), mortero del pórtico (Tipo III), mortero de reposición (Tipo IV), mortero del ábside (Tipo V), mortero del cierre del arco diafragma (Tipo VI) y mortero de reintegración (Tipo VII)
- **Exteriores:** mortero de juntas (Muestras SML30 y SML39), mortero del ábside (Muestra SML36), otros (Muestras SML43, SML44, SML45, SML46, SML47)

## PINTURA MURAL

- Cajas de escaleras
- Habitaciones laterales
- Bóveda del pórtico
- Bóveda de la tribuna
- Nave sur (lateral este y sur)
- Nave norte
- Nave central (bóveda, lateral sur, lateral oeste, lateral norte y lateral este)
- Ábside (bóveda, lateral norte, lateral sur y lateral este)

## CAPAS PICTÓRICA

- Muestras exteriores sobre elementos escultóricos



### 5.5.1.1.- MORTEROS

#### ***Interiores***

##### Mortero de la fábrica altomedieval (Tipo I)

Corresponde al mortero original de la fábrica, recogido entre la mampostería del muro este de la habitación lateral sur del edificio y se ha podido acceder a él al quedar al descubierto por la pérdida del revoco que recubre los lienzos. Se trata de un mortero de color beige, heterogéneo, compacto y coherente, representado por 2 muestras (HLSLE2 y MRM). En la figura 5.220 puede observarse su aspecto macroscópico en muestra de mano y en sección transversal. En sección estratigráfica, presenta color beige y aspecto cristalino, con una fisuración más o menos desarrollada. El árido de este mortero presenta un carácter heterométrico muy marcado y está constituido por: granos de cuarzo, fragmentos de roca y nódulos de cal. La morfología de los granos varía de subangulosa a redondeada, predominando esta última en los granos de mayores dimensiones.

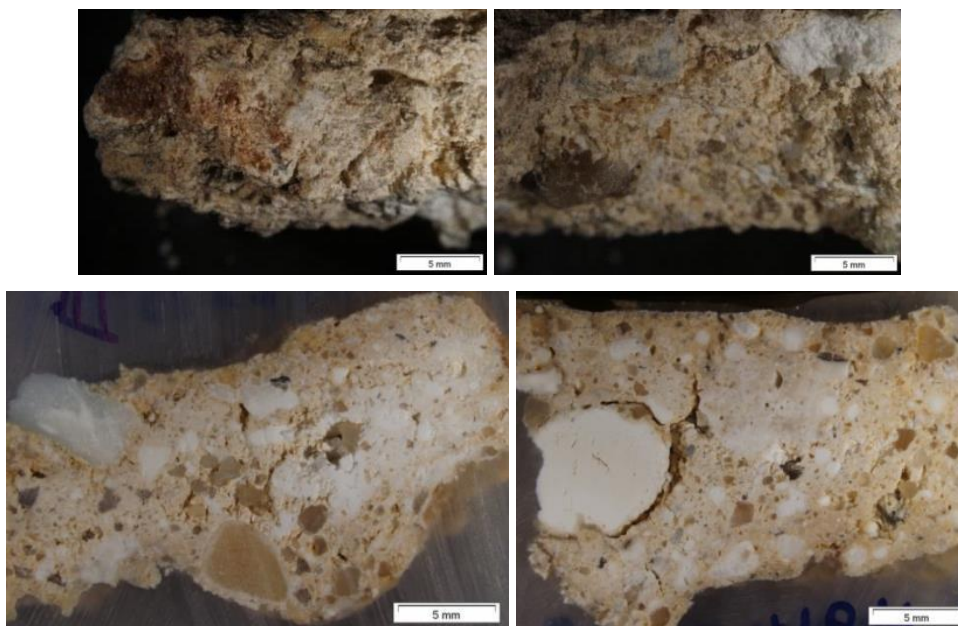


Figura 5.220.- Aspecto macroscópico, a la lupa binocular, del mortero *tipo I*, en la muestras HLSLE2 y MRM (arriba y abajo, respectivamente. Los morteros presentan una matriz de tonalidad beige.

Microscópicamente, al POL, presenta una textura matriz–soportada, constituida por una matriz de calcita, tamaño micrita y microesparita, en la que aparecen inmersos, abundantes granos de cuarzo de tamaño seriado (20  $\mu\text{m}$ –1 mm) y morfologías preferentemente angulosas-subangulosas (Figs. 5.221 a 5.223). El cuarzo es mayoritariamente monocristalino aunque también se detectan granos policristalinos o compuestos. Los cuarzos presentan morfologías elongadas, con contornos suturados o bordes rectos y hábitos equidimensionales. También se identifican granos de rocas carbonatadas, con morfologías angulosas-subredondeadas y tamaños próximos a 500  $\mu\text{m}$ , óxidos de hierro, con tamaños medios de 100  $\mu\text{m}$  y escasos nódulos carbonatados. Los espacios vacíos de

este mortero son de tipo fisural, con distribución homogénea y morfología irregular, extensión milimétrica y grosores máximos de 100  $\mu\text{m}$ . En menor proporción se identifican espacios vacíos tipo poro, con morfologías irregulares y tamaños, en ocasiones, superiores a 1 mm. Estos últimos, a veces aparecen rellenos de cristales subhedrales de calcita esparítica. Al POL se estima que el mortero está compuesto por matriz (40%), granos de cuarzo (35%), fragmentos de roca caliza (5%) y espacios vacíos (20%). Del análisis mineralógico, realizado por difracción de rayos X, se deduce que el mortero está constituido por cuarzo (63%), calcita (28%) y microclina (9%), (Fig. 5.224).

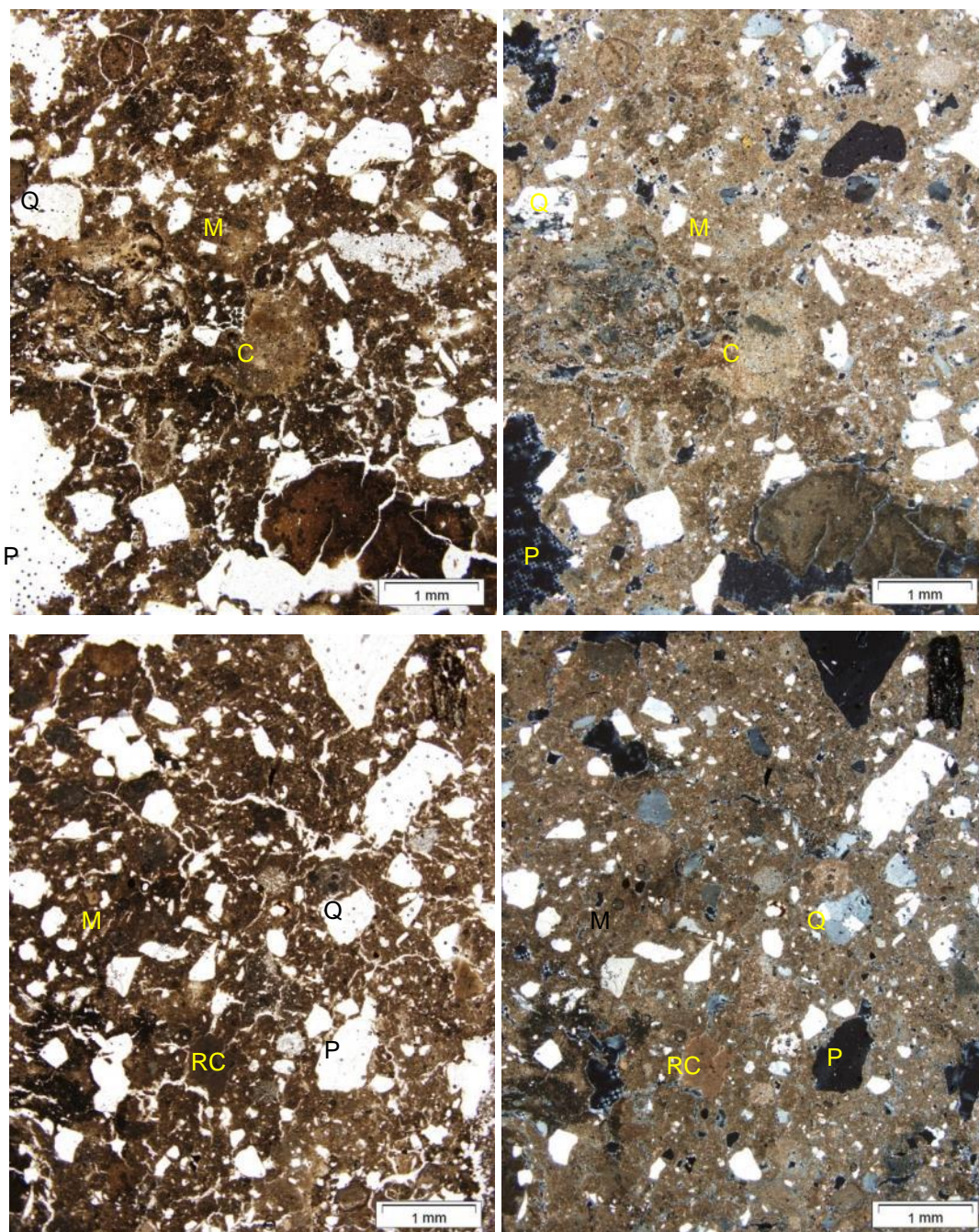


Figura 5.221.- Aspecto general de la textura del mortero *tipo I* (muestra MRM) al POL, las de la izquierda (NPX25), las de la derecha (NCX25). A esta escala se identifican abundantes granos de cuarzo (Q), algún fragmento de roca caliza (RC) y nódulos de cal (C), inmersos en una matriz micrítica (M). También se observan espacios vacíos tipo poro (P).

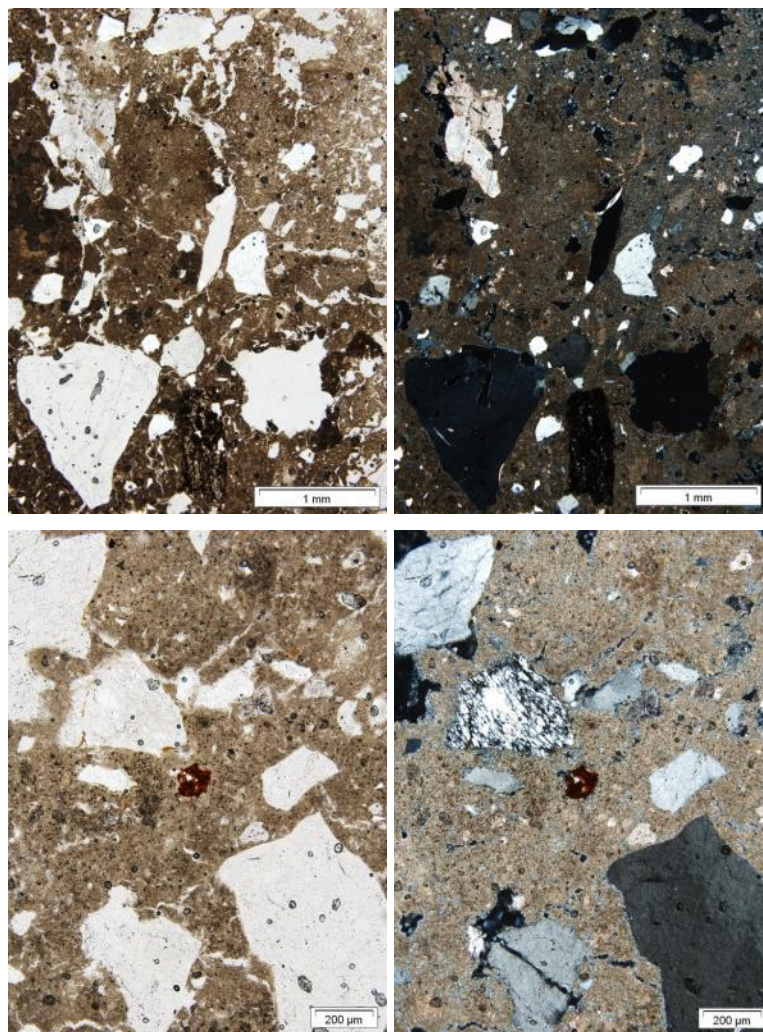


Figura 5.222.- Detalles al POL, arriba: (NPX40 y NCX40, a izquierda y derecha, respectivamente), abajo: (NPX100 y NCX100, a izquierda y derecha, respectivamente). Destacan los granos de cuarzo (Q) y los óxidos de hierro (OX), inmersos en una matriz micrítica.

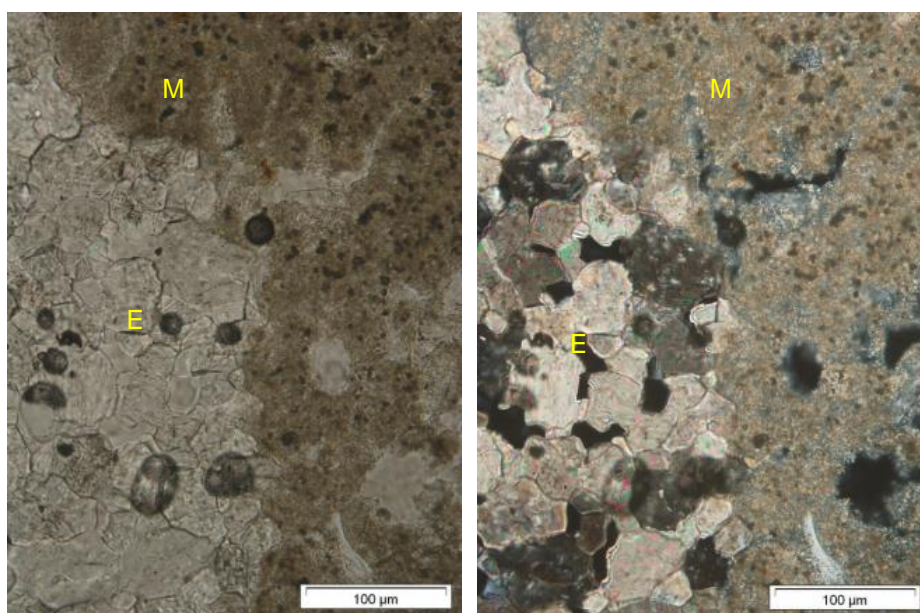


Figura 5.223.- Detalles al POL, a (NPX400) y (NCX400) a izquierda y derecha, respectivamente. La matriz es mayoritariamente micrítica (M), aunque también se identifican cristales de esparita (E) que en ocasiones, aparecen relleno de espacios vacíos.



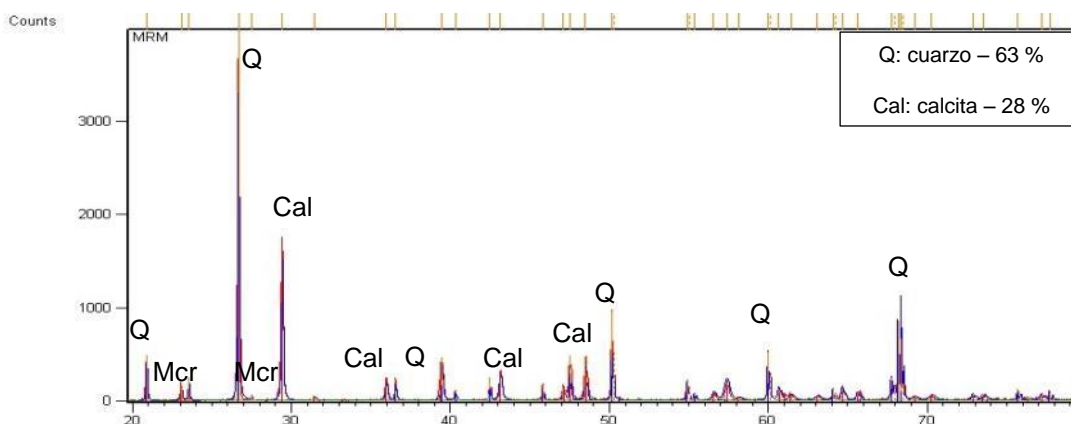


Figura 5.224.- Difractograma de la muestra MRM, correspondiente al mortero tipo I. Las fases mineralógicas identificadas por rayos X, en proporciones superiores al 1,5%, han sido cuarzo, calcita y microclina.

Mediante ataque químico de la muestra HLSLE2, con ácido clorhídrico diluido al 15%, se ha obtenido una dosificación en peso árido-matriz de 1:1. El residuo insoluble está compuesto por una fracción gruesa (41%) y una fracción fina (7%). Dentro de la fracción gruesa se identifican: granos de cuarzo de color gris translúcido, lechoso y rosado, con tamaños seriados (65  $\mu\text{m}$ -1 mm), con un tamaño más frecuente de 400  $\mu\text{m}$ . La morfología de los granos es mayoritariamente angulosa, en los menores tamaños y subredondeada, en los granos de mayores dimensiones (Fig. 5.225). En menor proporción, se observan granos de diversas coloraciones, tamaños y morfologías, entre los que se identifica turmalina negra, con tamaños medios de 200  $\mu\text{m}$ . La fracción fina, está constituida por abundantes arcillas de tonalidad parda, entre las cuales se identifican escasos restos vegetales, y fragmentos de madera, además de granos de moscovita de muy pequeño tamaño (Fig. 5.226). La muestra MRM presenta un residuo insoluble constituido por una fracción arenosa (44%) y una fracción limo-arcillosa (8%), (Fig. 5.227). La primera está formada principalmente por granos de cuarzo, seriados, transparentes, lechosos y ahumados, con tamaños comprendidos entre 70  $\mu\text{m}$  y 2 mm, con una moda de 800  $\mu\text{m}$ . Las morfologías de estos granos varían de angulosas en los más pequeños a subredondeadas en los de mayor tamaño. Ocasionalmente se detectan granos de cuarzo de tonos pardo amarillentos, morfologías redondeadas y tamaños milimétricos. También se identifican óxidos de hierro de color rojizo y cristales de microclina, de 100  $\mu\text{m}$  de tamaño. La fracción fina se compone de arcillas pardas, entre las que se puede distinguir granos de tamaño limo (<62  $\mu\text{m}$ ), similares a los de la fracción gruesa, fibras vegetales, algún grano de carbón y pequeños cristales de micas, del tipo moscovita (Fig. 5.228). El mortero de trabazón de la fábrica presenta una relación fracción gruesa/fracción fina de 7:1 - 5:1.

Las secciones estratigráficas de estos morteros han sido estudiadas al SEM-EDX (Fig. 5.229). Los análisis morfoquímicos y los mapeos de elementos mayoritarios sobre micrografías indican que el árido de este mortero está constituido esencialmente por granos de naturaleza silicatada, aunque se aprecia un porcentaje pequeño, de granos de composición carbonatada. En lo que respecta a la matriz, los análisis al SEM-EDX, muestran una composición elemental a base de O, C, Ca, Si, Al, Mg, Sr y S (Fig. 5.230). De los porcentajes atómicos de estos elementos se deduce que la matriz del mortero está compuesta por calcita, algo de dolomita y cantidades variables de sulfato de estroncio.

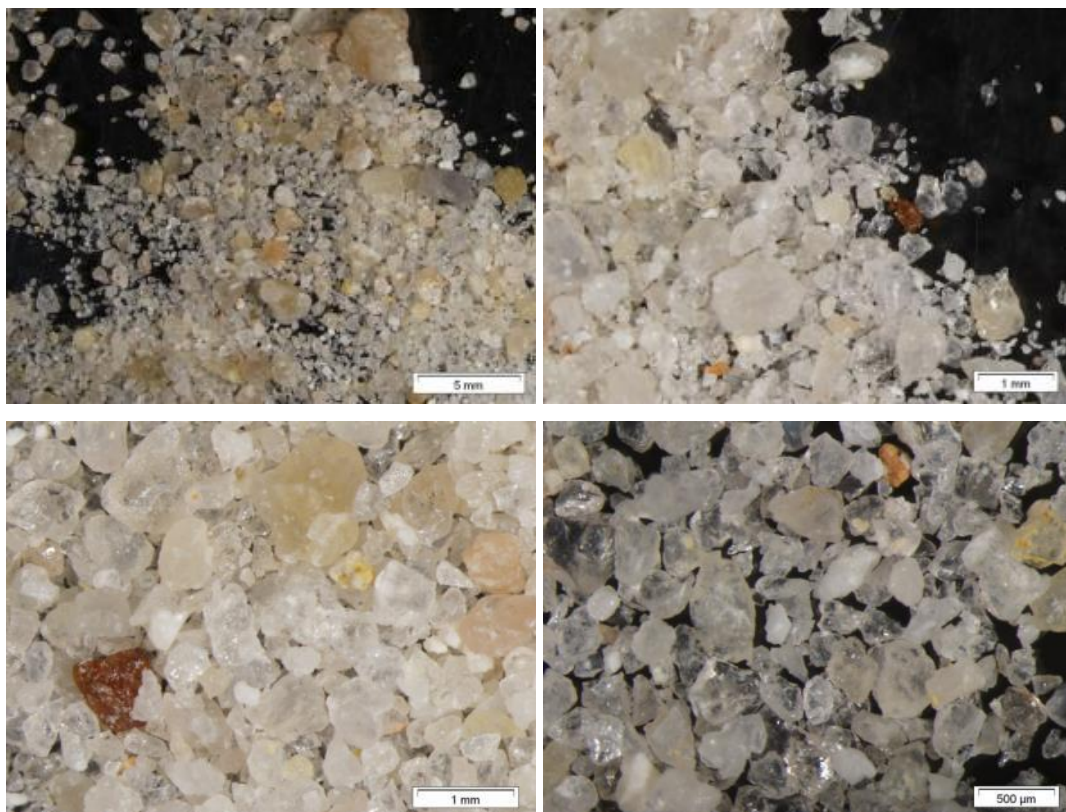


Figura 5.225.- Aspecto general y detalles de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero tipo I (muestra HLSLE2).

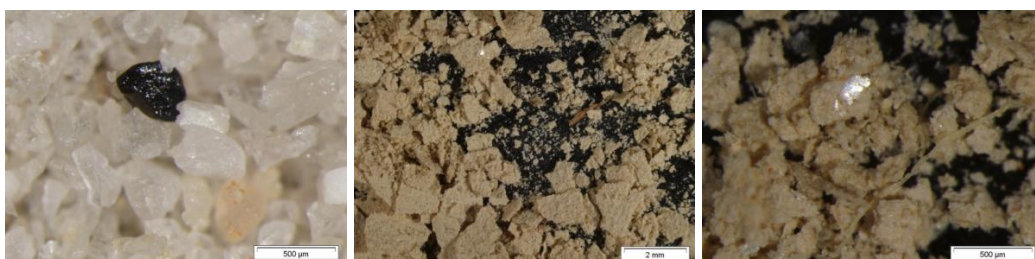


Figura 5.226.- Izquierda: detalle de un grano de turmalina, en medio y a la derecha: detalles de la fracción fina del mortero tipo I (muestra HLSLE2).

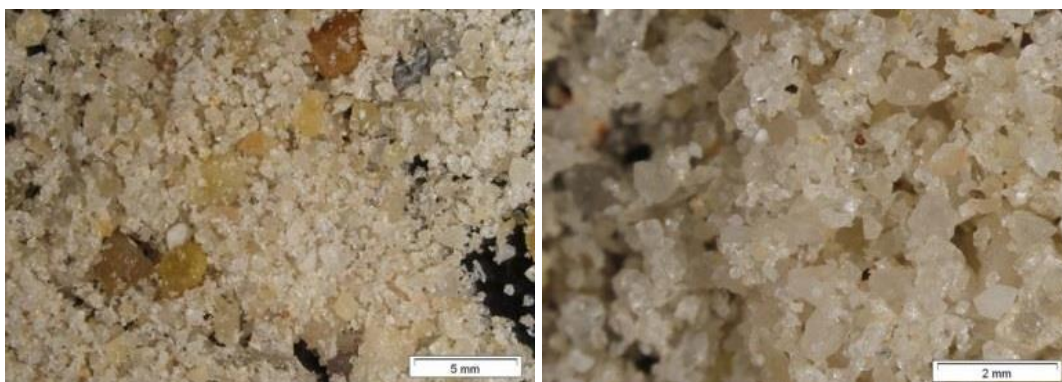


Figura 5.227.- Aspecto general y detalles de la fracción gruesa del residuo insoluble del mortero tipo I (muestra MRM).

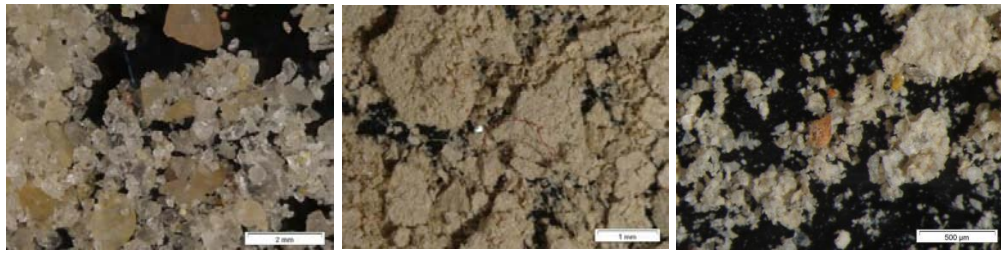


Figura 5.228.- Detalles de la fracción gruesa y fina del residuo del mortero tipo I (muestra MRM).

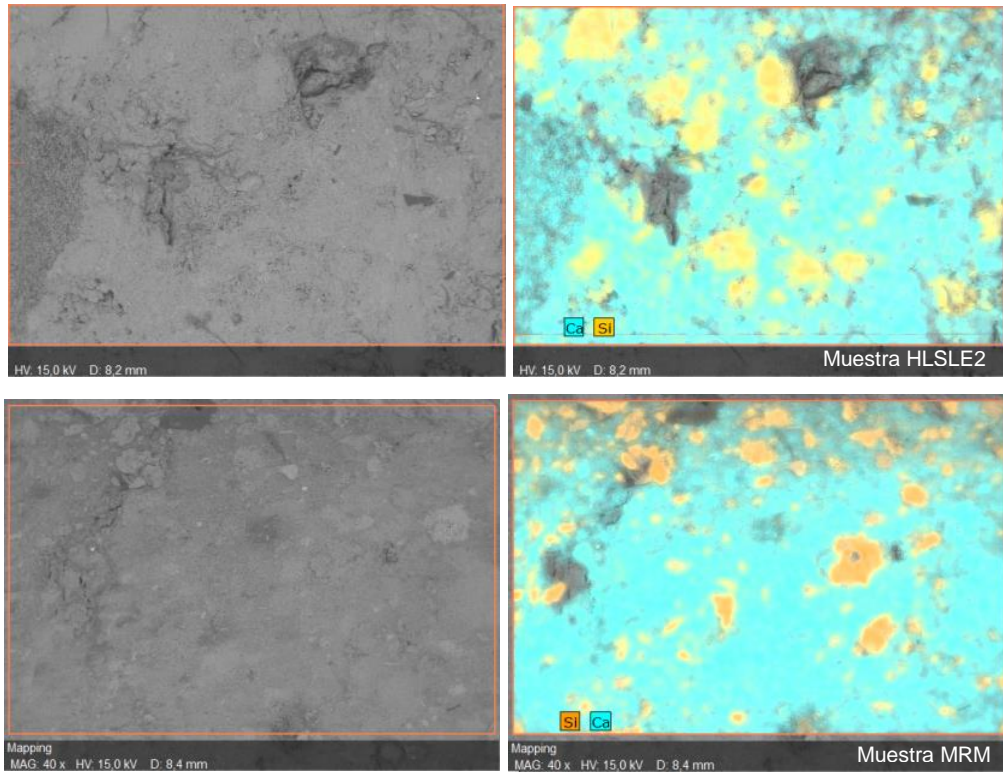


Figura 5.229.- Micrografía y mapeos sobreimpuestos, al SEM-EDX, de los elementos más abundantes de las muestras HLSLE2 (arriba) y MRM (abajo), clasificadas como mortero tipo I: calcio (Ca) en turquesa y silicio (Si); en naranja La composición de la fase aglomerante es principalmente calcárea, mientras que la fase granuda está formada mayoritariamente por granos de cuarzo.

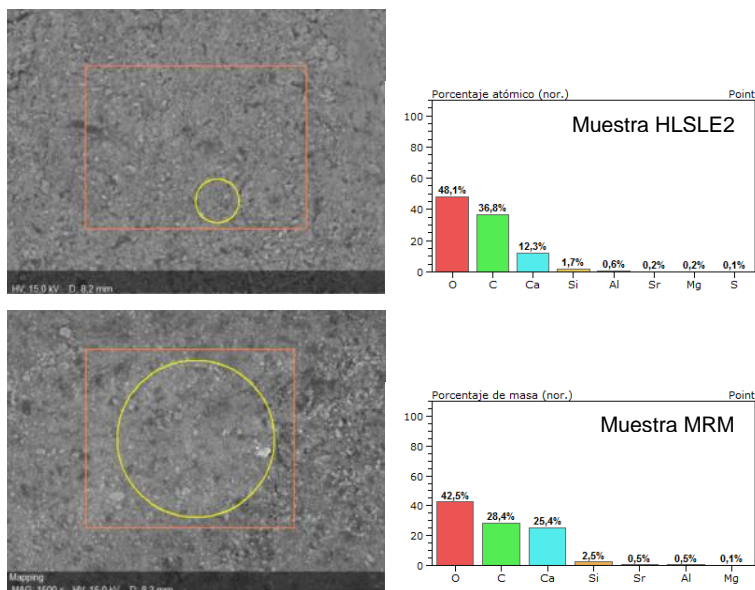


Figura 5.230.- Micrografías y análisis morfoquímicos, mediante SEM-EDX, con sus correspondientes espectros e histogramas de porcentajes atómicos de las matrices de las muestras HLSLE2 (arriba) y MRM (abajo), correspondientes a la tipología de mortero tipo I. Destaca la presencia mayoritaria de oxígeno (O), carbono (C) y calcio (Ca) y minoritaria de magnesio (Mg), aluminio (Al), azufre (S) y estroncio (Sr).

### Enlucido o revoco altomedieval (Tipo II)

Esta tipología se ha identificado en 20 muestras (BT1, BT2, CENLO1, CESLO2, HLSLE1, HLSLE3, NC1, NCLO1, NCLO2, NCLO3, NCLO4, NCLS1, NNB1, NNLE1, NNLN1, NNLS1, NSLO1, NSLO2, NSLO3 y NSLS1), (Fig. 5.231). Es el mortero sobre el que se sitúa la pintura mural. Macroscópicamente, es de color blanco, homogéneo, compacto y coherente y está constituido por granos heterométricos de cuarzo, de morfologías redondeadas, inmersos en una matriz blanca.

En las secciones transversales, se aprecia la textura: la distribución, morfología y tamaño de los áridos, así como las características de la matriz (Fig. 5.232) y en el difractograma de la figura 5.233 se comprueba su composición a base de cuarzo (55%) y calcita (8%). Estas secciones estratigráficas muestran el tono blanquecino de matriz, la distribución homogénea del árido y la microfisuración que, en ocasiones presenta. El árido está compuesto por granos heterométricos de cuarzo, de tonos grises y pardos, de hábitos equidimensionales y morfologías que varían de angulosas, en los de menor tamaño, a redondeadas, en los de mayores dimensiones. A esta escala también es posible identificar algún fragmento de roca y escasos fragmentos cerámicos. Microscópicamente, al POL, este mortero presenta una textura matriz-soportada, compuesta por una matriz de calcita micrítica (<4 µm) y microesparítica (<16 µm) y una fase granular de cuarzo heterométrico, de tamaño seriado, comprendido entre 30 µm y 2 mm (Figs. 5.234 a 5.236). Al POL, la morfología de los cuarzoes varía de angulosa a redondeada, dependiendo de que se trate de menores o mayores tamaños de grano, respectivamente (Figs 5.234 a 5.236). Estos granos son mayoritariamente policristalinos, presentan los bordes rectos y algunos extinción ondulante. También se identifican nódulos de calcita de morfologías redondeadas y tamaños comprendidos entre 0,5 y 1 mm, así como algún grano de microclina. En lo que se refiere a los espacios vacíos se observa una red microfisural de distribución homogénea sin desarrollo de orientaciones preferentes. Estas microfisuras, de espesor máximo de 100 µm, alcanzan en ocasiones longitudes milimétricas y a veces presentan recristalizaciones de calcita en sus bordes. También se aprecian espacios vacíos tipo poro, de morfologías irregulares y tamaños de hasta 1 mm. Algunos de estos poros aparecen rellenos de cristales euhedrales-subhedrales de esparita, monocristalinos o policristalinos. Se estima que presenta una porosidad aparente del 15% y que está compuesto por un 40% de árido y una 45 % de matriz.

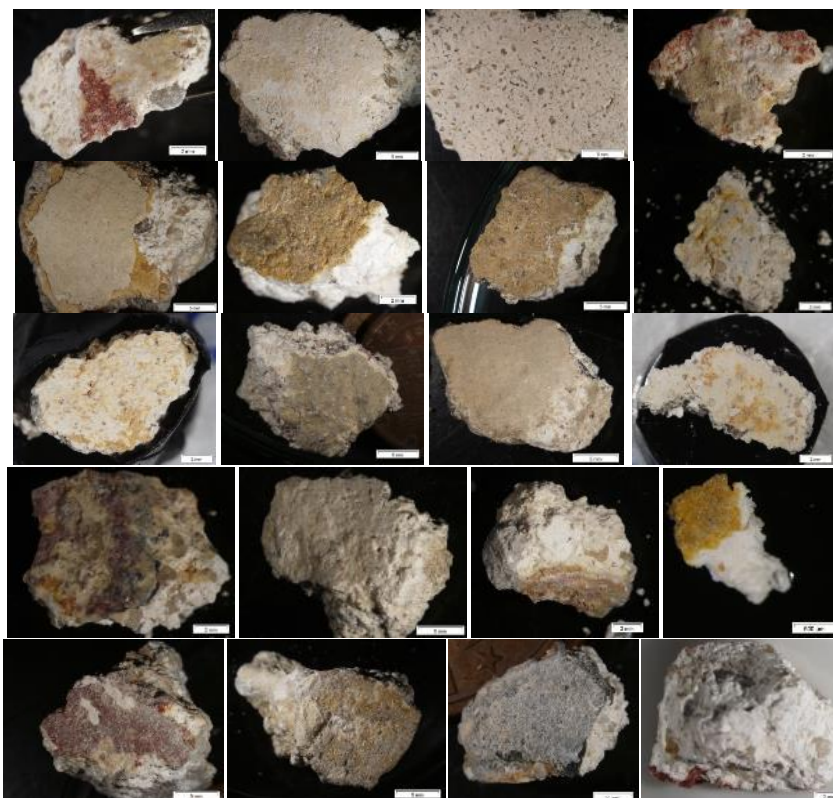


Figura 5.231.- Aspecto macroscópico, a la lupa binocular, del mortero original *tipo II*. De izquierda a derecha y de arriba abajo: BT1, BT2, CENLO1, CESLO2, HLSLE1, HLSLE3, NC1, NCLO1, NCLO2, NCLO3, NCLO4, NNB1, NNLE1, NNLN1, NNLS1, NSLO1, NSLO2, NSLO3 y NSLS1. Sobre algunas de las superficies se detecta la pintura mural de color ocre-amarillento y rojo.

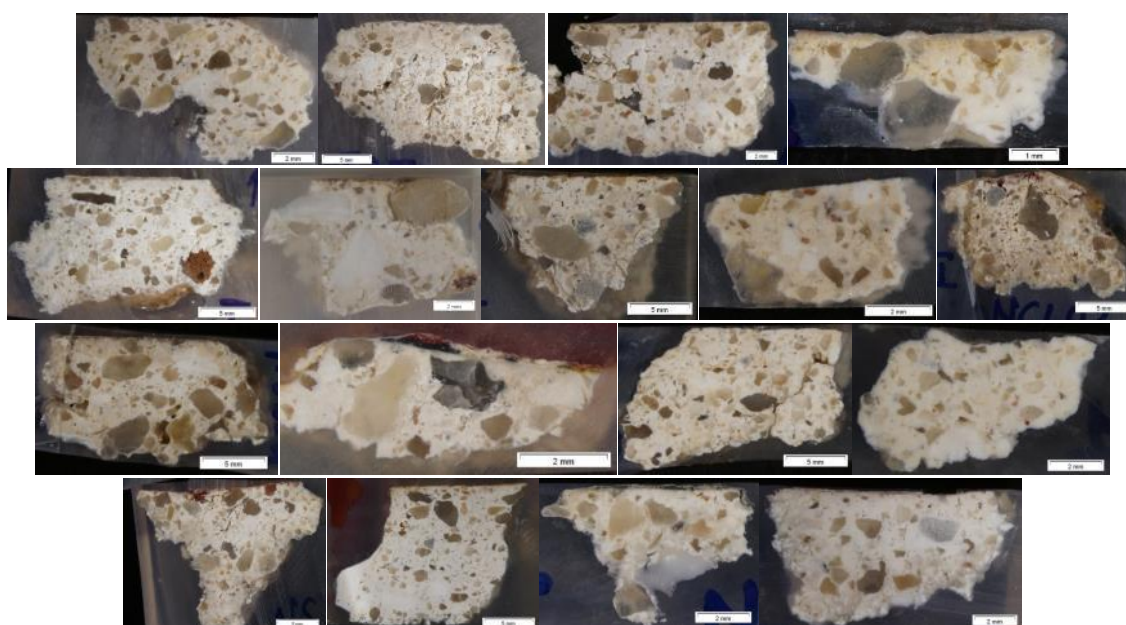


Figura 5.232.- Secciones estratigráficas del mortero *tipo II*. De izquierda a derecha y de arriba abajo: muestras BT1, BT2, CENLO1, CESLO2, HLSLE1, HLSLE3, NC1, NCLO1, NCLO3, NCLO4, NNB1, NNLE1, NNLN1, NSLO1, NSLO2, NSLO3 y NSLS1.

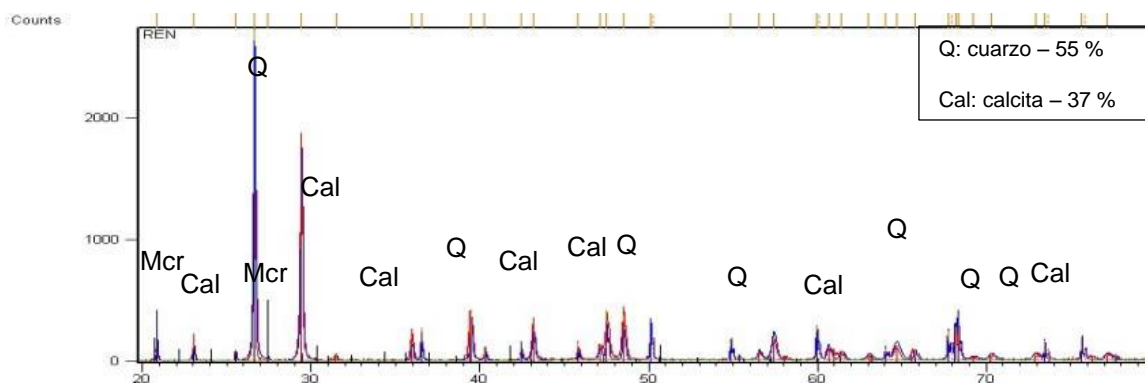


Figura 5.233.- Difractograma de las fases minerales detectadas en la muestra del mortero *tipo II* (muestra CENLO1).

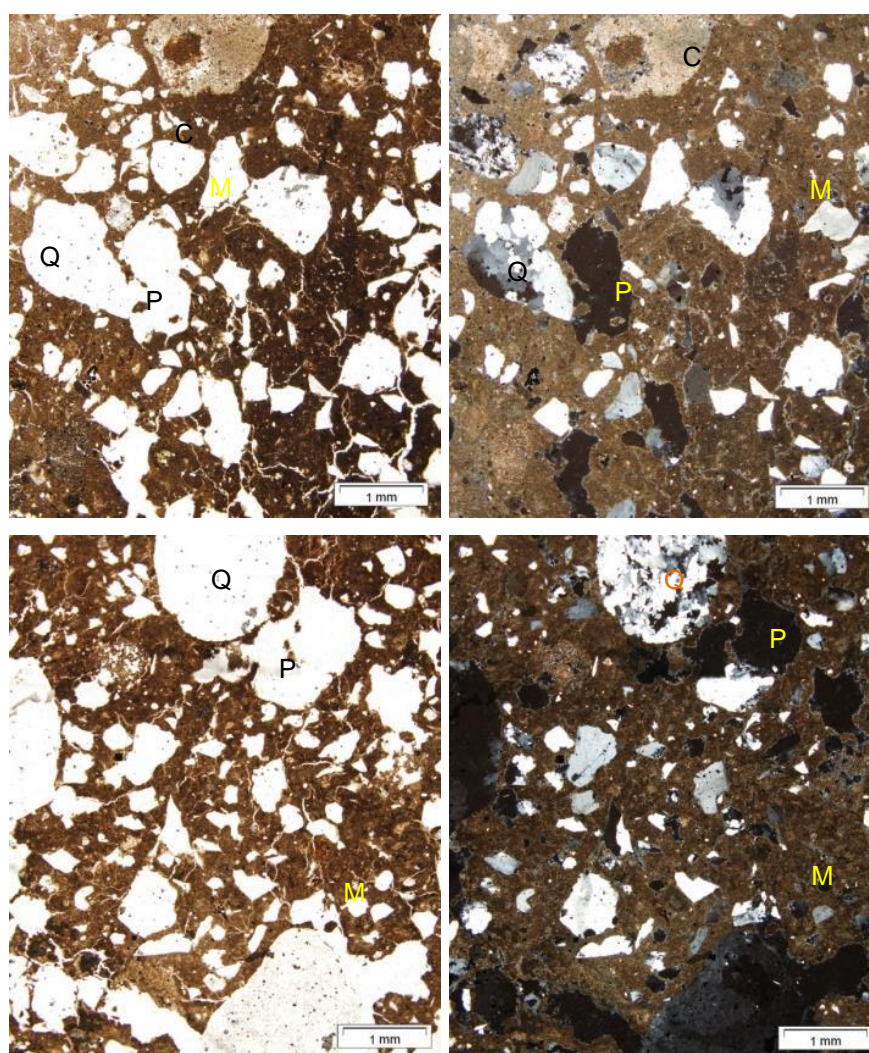


Figura 5.234.- Aspecto al POL de la muestra de mortero CENLO1, a (NPX25) a la derecha y (NCX25) a la izquierda. Se aprecia la textura general del mortero, constituida por una matriz de naturaleza carbonatada, tamaño micrita (M), granos de cuarzo (Q), nódulos de cal (C) y espacios vacíos tipo poro (P).

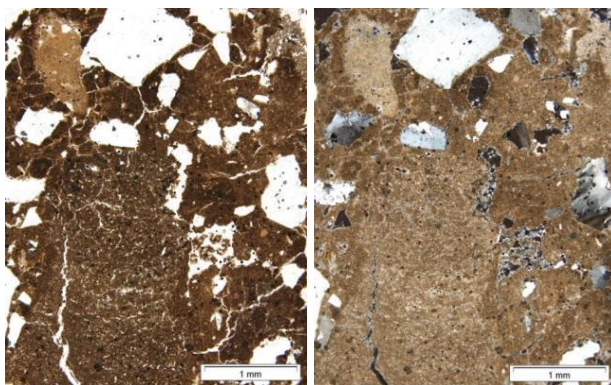


Figura 5.235.- Detalles, al POL, de la muestra CENLO1, (x40NP) a 40 aumentos, con nicols paralelos y cruzados a izquierda y derecha, respectivamente. En las micrografías se observa la matriz micrítica, los granos de cuarzo, los nódulos de cal y los espacios vacíos fisurales y tipo poro.

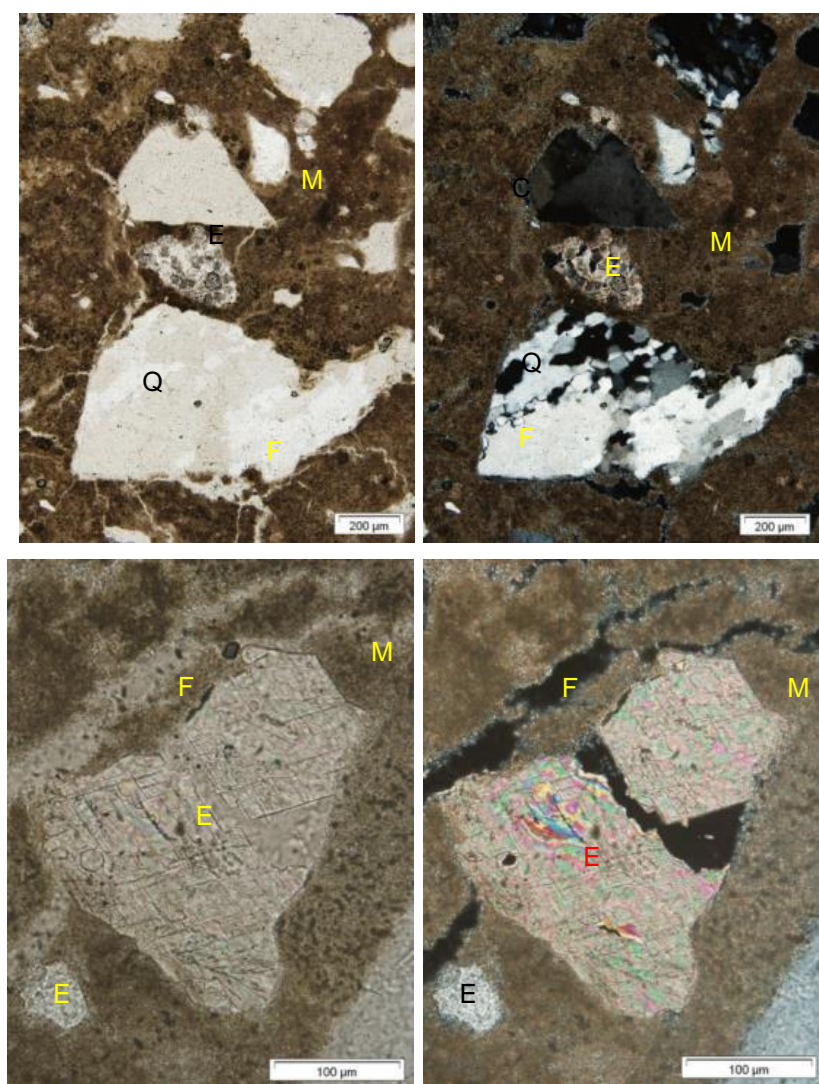


Figura 5.236.- Detalles al POL del mortero tipo II (muestra CENLO1), a 100 y a 400 aumentos (arriba y abajo, respectivamente), con nicols paralelos y cruzados; a izquierda y derecha, respectivamente. En las micrografías, además de la matriz micrítica (M) y los granos de cuarzo (Q), se observan zonas con porosidad de tipo fisural (F) y cristales de calcita de tamaño esparita (E), relleno de algunos espacios vacíos.

Las muestras sometidas al ataque químico han sido las referenciadas como NCLO3, NCLO4 y CENLO1. Las dosificaciones, en peso, árido-matriz obtenidas han sido 2:1 para la muestra NCLO3 y 1:1 para las muestras NCLO4 y CENLO1. La fracción gruesa de la muestra NCLO3 (65%) está

formada por granos de cuarzo mayoritariamente transparentes, siendo menos abundantes, los cuarzos rosados, lechosos y ahumados (Fig. 5.237). Estos granos presentan tamaños seriados, comprendidos entre 120  $\mu\text{m}$  y 2 mm, y una moda de 700  $\mu\text{m}$ . Sus morfologías varían de angulosas, en los granos de menor tamaño a subredondeadas, en los de mayores dimensiones. Ocasionalmente, aparece algún grano de cuarzo con coloraciones pardo-amarillentas y tamaños variables que pueden alcanzar dimensiones centimétricas. También se detecta algún cristal de feldespato. La fracción fina (2%) está compuesta por abundantes restos de madera de diferentes tamaños, escasas arcillas de tono beige, fibras de origen vegetal y granos tamaño limo (<62  $\mu\text{m}$ ), de la misma naturaleza que los de la fracción gruesa. La fracción gruesa de la muestra NCLO4 (49%) está formada por: granos de cuarzo translúcido y lechoso, cuarzos rosados y amarillentos, granos de feldespatos y óxidos de hierro. Los cuarzos presentan tamaños seriados (90  $\mu\text{m}$ -2,5 mm), con una moda de 800  $\mu\text{m}$  y morfologías angulosas-subangulosas, en los de menor tamaño, y subredondeadas en los de mayores dimensiones (Fig. 5.238). Los escasos granos de feldespato presentan coloraciones pardas, rosadas y blanquecinas, tamaños comprendidos entre 100-1000  $\mu\text{m}$ , ocasionalmente de hasta 3 mm y morfologías subredondeadas. Los óxidos de hierro, con coloraciones rojizas y morfologías irregulares, presentan tamaños próximos a 500  $\mu\text{m}$ . La fracción fina de la muestra NCLO4 (3%) se compone de arcillas pardo-amarillentas, granos de moscovita, y fibras vegetales, tamaño limo. El residuo insoluble de la muestra CENLO1, está formado por una fracción gruesa (48%) compuesta por: granos de cuarzo transparentes y lechosos y cuarzos ahumados y rosados, con tamaños comprendidos entre 80  $\mu\text{m}$  y 1,5 mm, con una moda de 900  $\mu\text{m}$  y morfología angulosa-subangulosa (Fig. 5.239). También se identifican feldespatos de coloraciones diversas, tamaños variados y morfologías redondeadas-subredondeadas, y óxidos de hierro (hematites), de tamaño medio 200  $\mu\text{m}$ . La fracción fina (13%) contiene arcillas blanquecinas, granos de moscovita, fibras de origen vegetal, además de granos tamaño limo, similares a los de la fracción gruesa.

Complementariamente, se estudian las secciones estratigráficas al SEM-EDX (Fig. 5.240). De los análisis se deduce que los elementos químicos más abundantes en este mortero son el calcio (Ca) y el silicio (Si). El calcio (Ca) se combina con el oxígeno (O) y el carbono (C) para formar el carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), constituyente esencial de la matriz del mortero y el silicio (Si) lo hace con el oxígeno para formar cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), mineral esencial del árido. También se ha podido constatar la ausencia de fragmentos de roca de naturaleza calcárea, formando parte del árido. Las secciones analizadas muestran mayoritariamente la composición silicatada del árido y la presencia ocasional de nódulos de cal. En lo que respecta a la matriz, además de oxígeno (O), carbono (C) y calcio (Ca) se detectan pequeñas cantidades de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), estroncio (Sr) y azufre (S) (Fig 5.241). Estos elementos se combinan entre sí para formar mayoritariamente calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), algo de cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], aluminosilicatos y sulfato de estroncio, en muy baja proporción. La presencia de dolomita y sulfato de estroncio indica que el mortero ha sido elaborado con una cal que contiene impurezas magnésicas y de sulfato de estroncio.





Figura 5.237.- Aspecto general y detalles, a la lupa binocular, del residuo insoluble del mortero tipo II (muestra NCL03) obtenido después del ataque químico, donde se observa la fracción gruesa (imágenes superiores) y la fracción fina (imágenes inferiores).

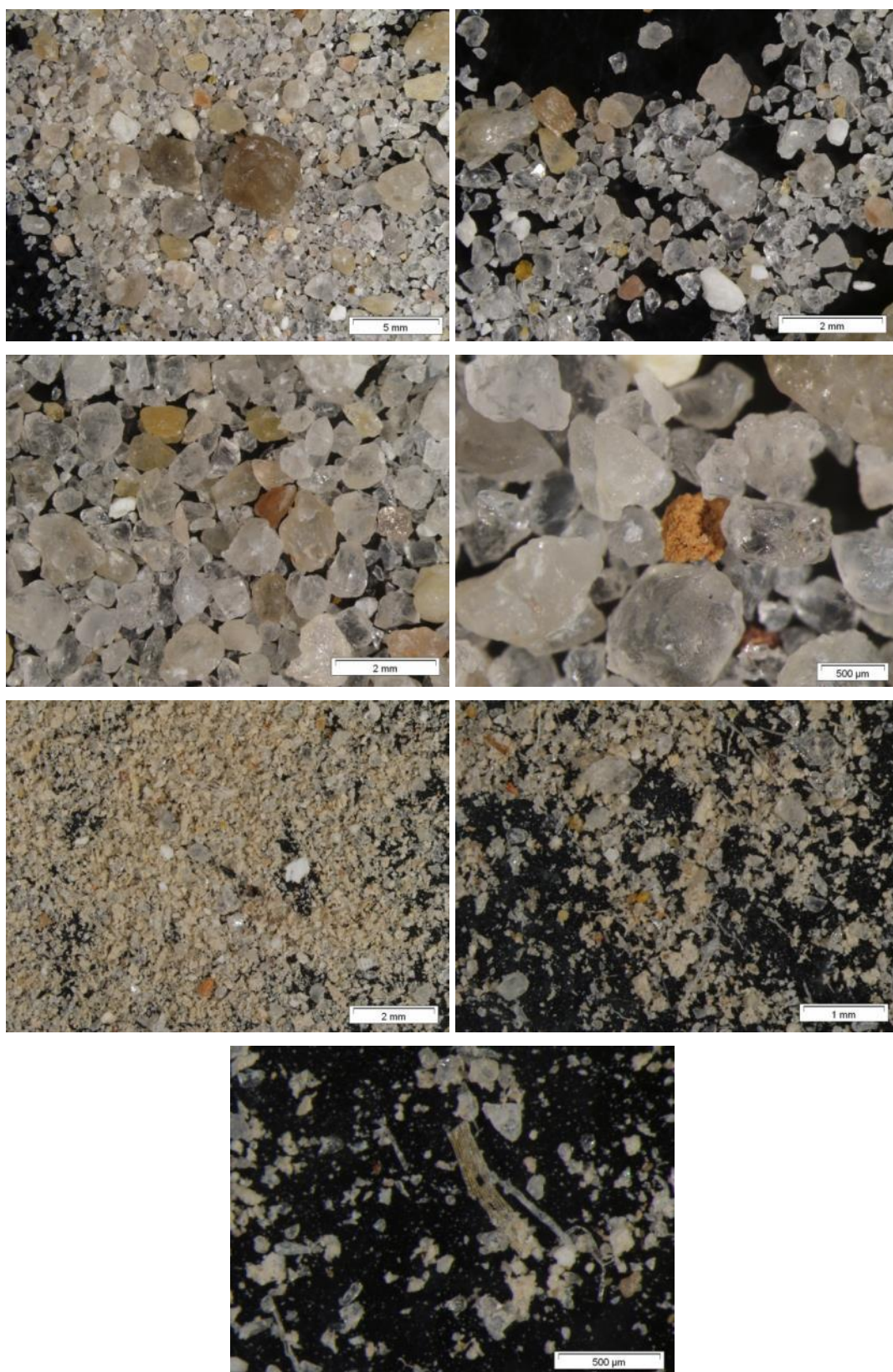


Figura 5.238.- Aspecto general y detalles, a la lupa binocular, del residuo insoluble del mortero tipo II (muestra NCL04) obtenido después del ataque químico, donde se observa la fracción gruesa (imágenes superiores) y la fracción fina (imágenes inferiores).

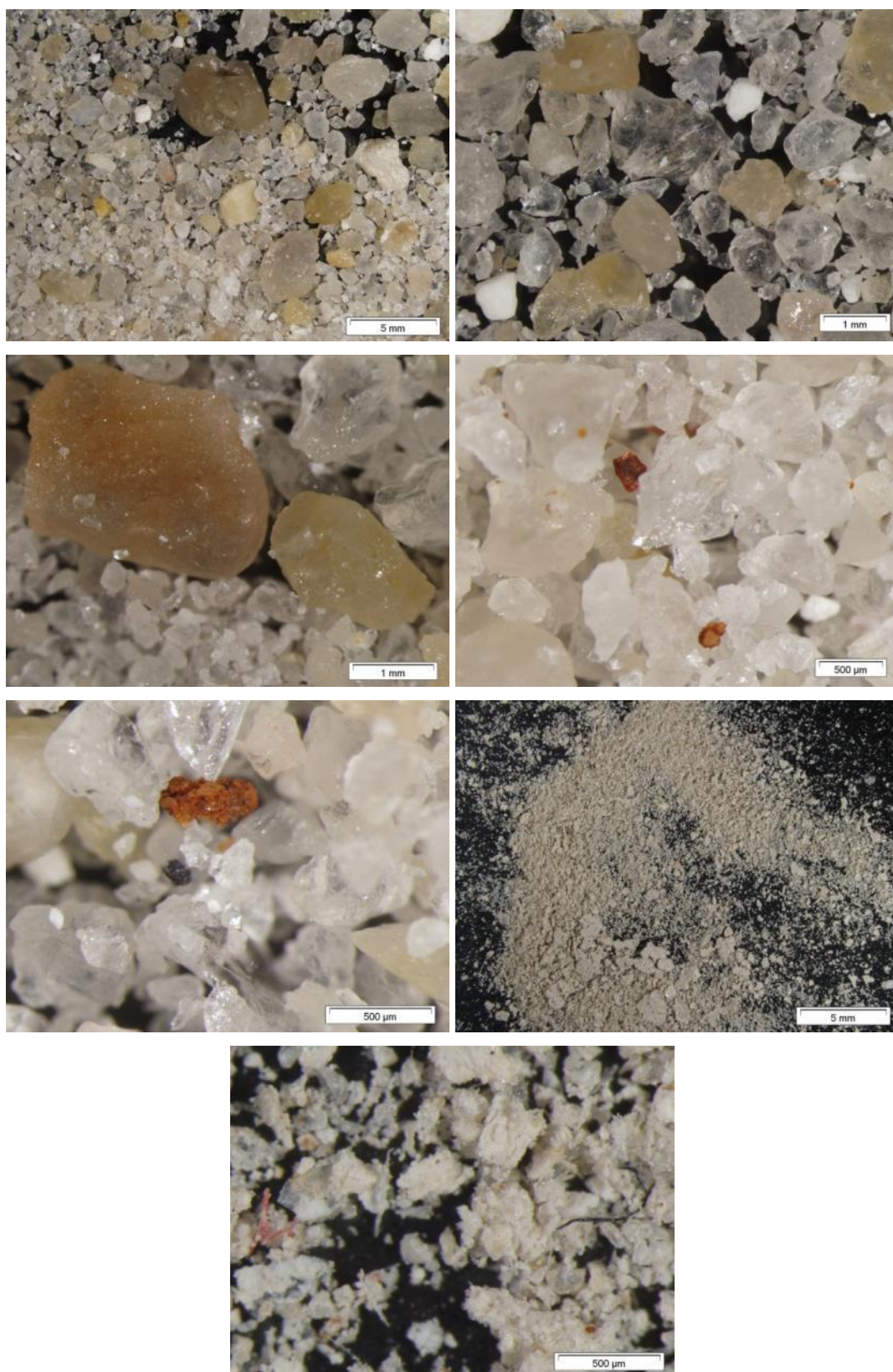


Figura 5.239.- Micrografías a la lupa binocular del residuo insoluble del mortero tipo II (muestra CENLO1). En las imágenes superiores se aprecia la fracción gruesa del residuo, mayoritariamente de cuarzos translúcidos y lechosos, subangulosos y minoritaria de óxidos de hierro. La fracción fina está compuesta principalmente por arcillas blanquecinas (imágenes inferiores).

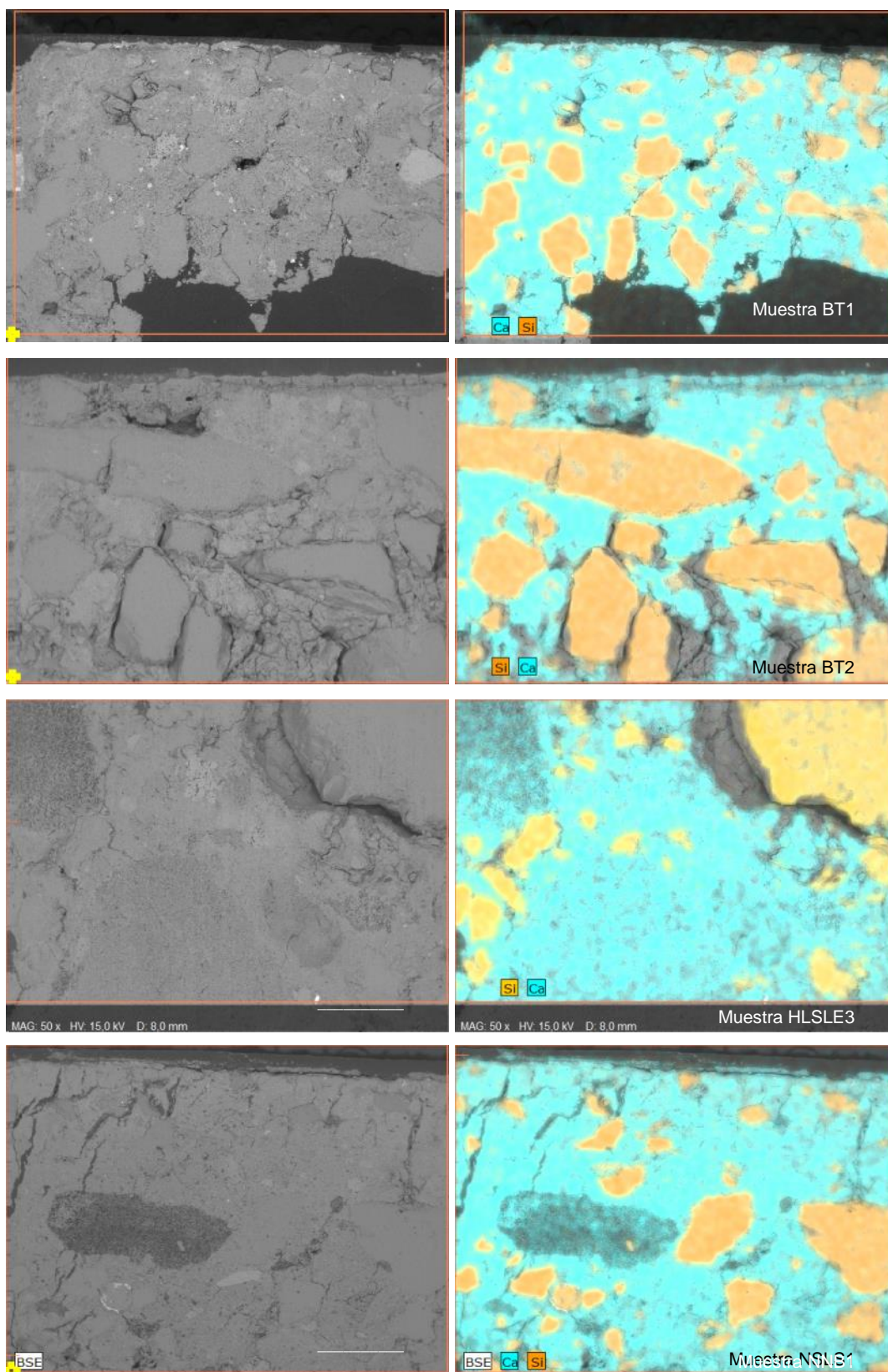


Figura 5.240.- Micrografías al SEM-EDX de secciones transversales del mortero tipo II con mapeo sobreimpuesto de calcio (Ca); en color turquesa y de silicio (Si); en color naranja. De arriba abajo las micrografías corresponden a las muestras: BT1, BT2, HLSLE3 y NSLS1. Se comprueba que el calcio es componente fundamental de matriz, mientras que el silicio lo es del árido. También es posible apreciar que ocasionalmente en la matriz se detectan nódulos de cal.

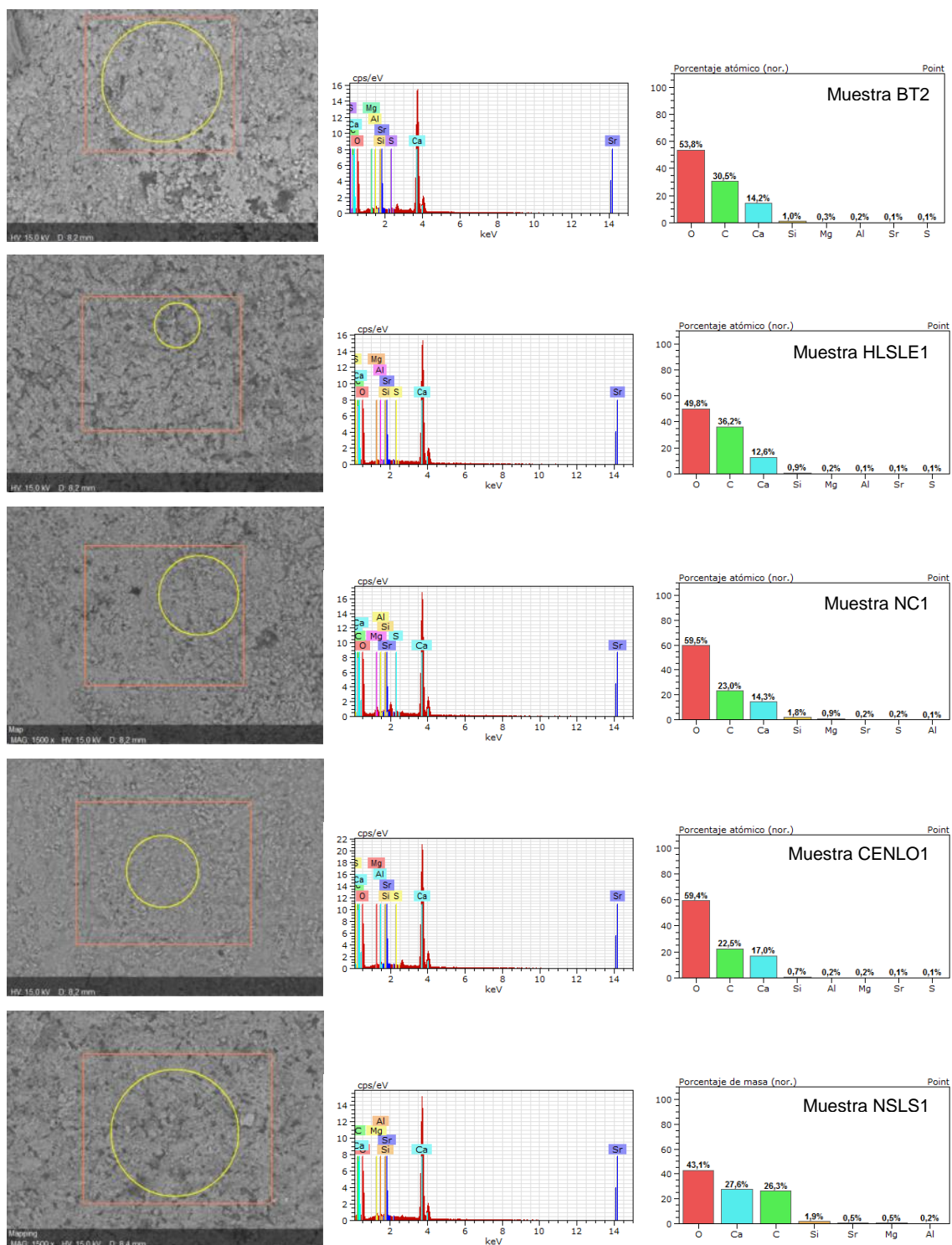


Figura 5.241.- Micrografías al SEM y análisis morfoquímicos, con sus correspondientes espectros EDX e histogramas de porcentajes atómicos de la matriz del mortero *tipo II*. Los análisis corresponden, de arriba a abajo, a las muestras: BT2, HLSLE1, NC1, CENLO1 y NSLS1. Todas presentan similar composición, con presencia mayoritaria de oxígeno (O), carbono (C) y calcio (Ca) y minoritaria de silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), estroncio (Sr) y azufre (S).

### Mortero del pórtico (Tipo III)

Esta tipología de mortero, aparentemente de reposición, se ha detectado en 7 muestras (BP, BP1, BP2, BP3, BP4, NCLO5 y NCLO6), recogidas en la bóveda del pórtico que da acceso al templo, y en el paramento occidental de la nave central, junto al arco de acceso a la cámara. El aspecto macroscópico en superficie de estas muestras puede observarse en la figura 5.242. A esta escala se aprecia una matriz de tonalidad pardo-amarillenta, homogénea, compacta y coherente en la que aparecen inmersos una serie de granos redondeados y heterométricos, de distribución irregular. En superficie presentan distintos recubrimientos.

En sección estratigráfica, observada a la lupa, esta tipología de mortero presenta una matriz de tonalidad pardo-anaranjada, bastante homogénea y de aspecto cristalino, en la cual es posible observar espacios vacíos de diversos tamaños y morfologías (Fig. 5.243). Como árido, se identifican granos heterométricos de distinta naturaleza, tonalidades blanquecinas y morfologías principalmente subredondeadas, así como granos de color ocre, pardo y gris, de morfologías angulosas-muy angulosas.

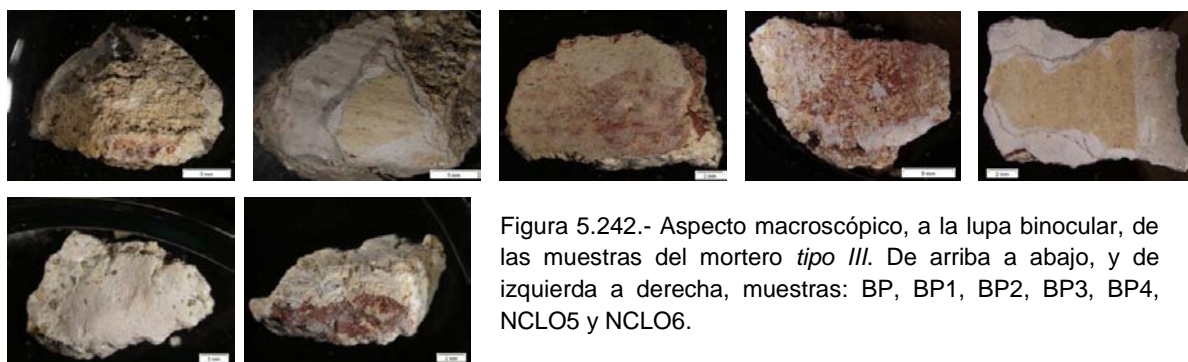


Figura 5.242.- Aspecto macroscópico, a la lupa binocular, de las muestras del mortero *tipo III*. De arriba a abajo, y de izquierda a derecha, muestras: BP, BP1, BP2, BP3, BP4, NCLO5 y NCLO6.

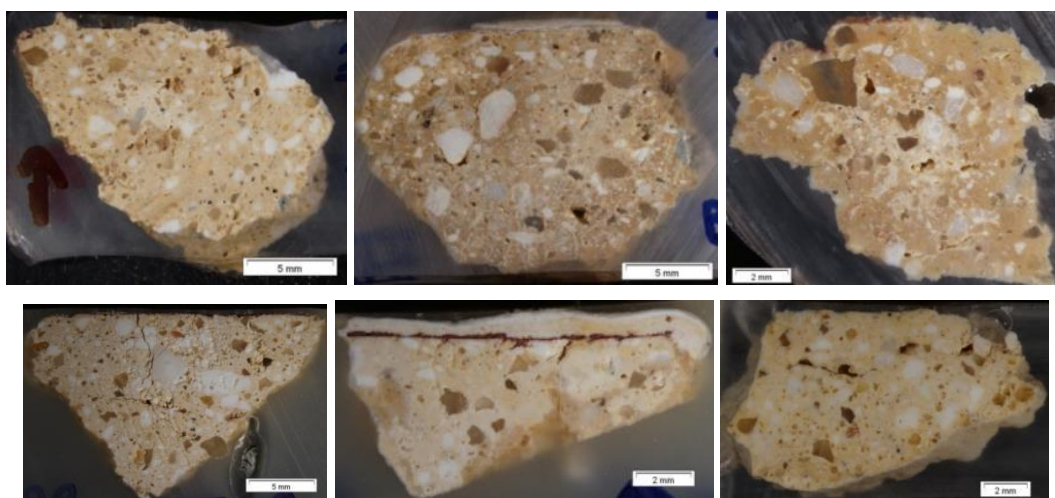


Figura 5.243.- Aspecto, a la lupa binocular, de secciones transversales estratigráficas del mortero tipo III. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: las muestras BP, BP1, BP2, BP3, BP4 y NCLO5.

Al POL, la muestra BP presenta una textura matriz–soportada, con una matriz de calcita tamaño micrítica y algo de microesparita, bastante homogénea (Figs. 5.244 a 5.246). El árido de este mortero presenta una mezcla de granos heterométricos, principalmente de naturaleza silíceo y carbonatada, con óxidos de hierro, en menor proporción. Los granos minerales más abundantes son de cuarzo, mono y policristalino, con tamaños seriados (50  $\mu\text{m}$ -1,5 mm), y morfologías muy angulosas-subredondeadas. En menor proporción, se identifican granos carbonatados, con tamaños seriados similares a los granos de cuarzo y morfologías subangulosas-redondeadas. Ocasionalmente, se identifican feldspatos parcialmente alterados y minerales opacos con tinción anaranjada, correspondientes a óxidos de hierro. Estos óxidos, de tamaños bastante regulares (50–00  $\mu\text{m}$ ), además de como granos aislados, se localizan en zonas recristalizadas y bordeando algunos granos minerales. Los espacios vacíos escasos, son de tipo poro y fisura. Los primeros con tamaños variables entre 50  $\mu\text{m}$  y 1 mm, con una moda de 100-200  $\mu\text{m}$ , pueden presentar recristalizaciones totales o parciales de esparita. La red microfisural no presenta gran desarrollo y salvo excepciones milimétricas, sus recorridos se sitúan próximos a 200  $\mu\text{m}$ , con espesores del 5-10  $\mu\text{m}$ . A partir de las estimaciones ópticas se determina que el mortero está compuesto de árido (50 %), matriz carbonatada (40%) y espacios vacíos tipo (10%).

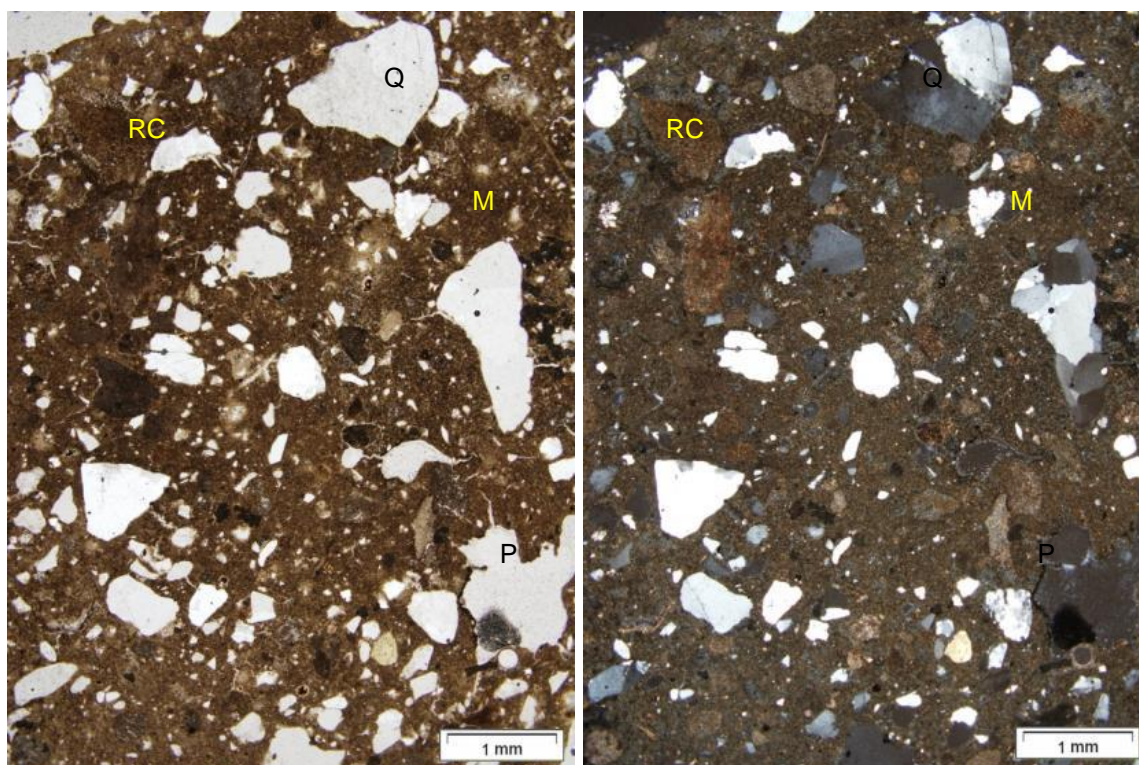


Figura 5.244.- Aspecto general de la textura del mortero tipo III (muestra BP) al POL, a NPX25 y NCX25 a izquierda y derecha, respectivamente. A esta escala se identifican abundantes granos de cuarzo (Q), algún fragmento de roca caliza (RC), inmersos en una matriz micrítica (M) y espacios vacíos tipo poro (P).

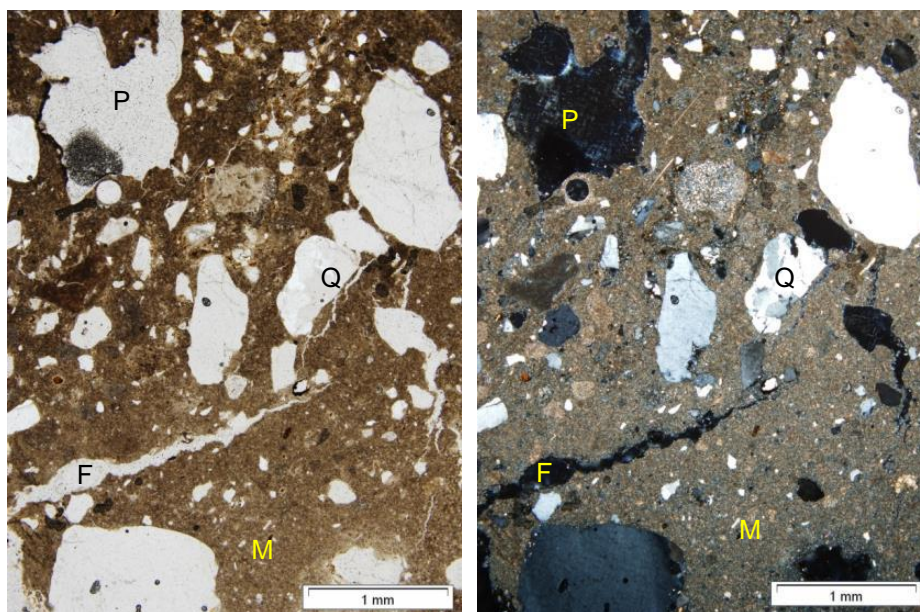


Figura 5.245.- Detalles del mortero tipo III (muestra BP), al POL: a NPX40 a la izquierda y NCX40 a la derecha. Se identifican granos de cuarzo (Q), carbonato (RC) y óxidos de hierro (Ox), envueltos en la matriz micrítica (M), además de espacios vacíos tipo poro (P) y fisura (F).

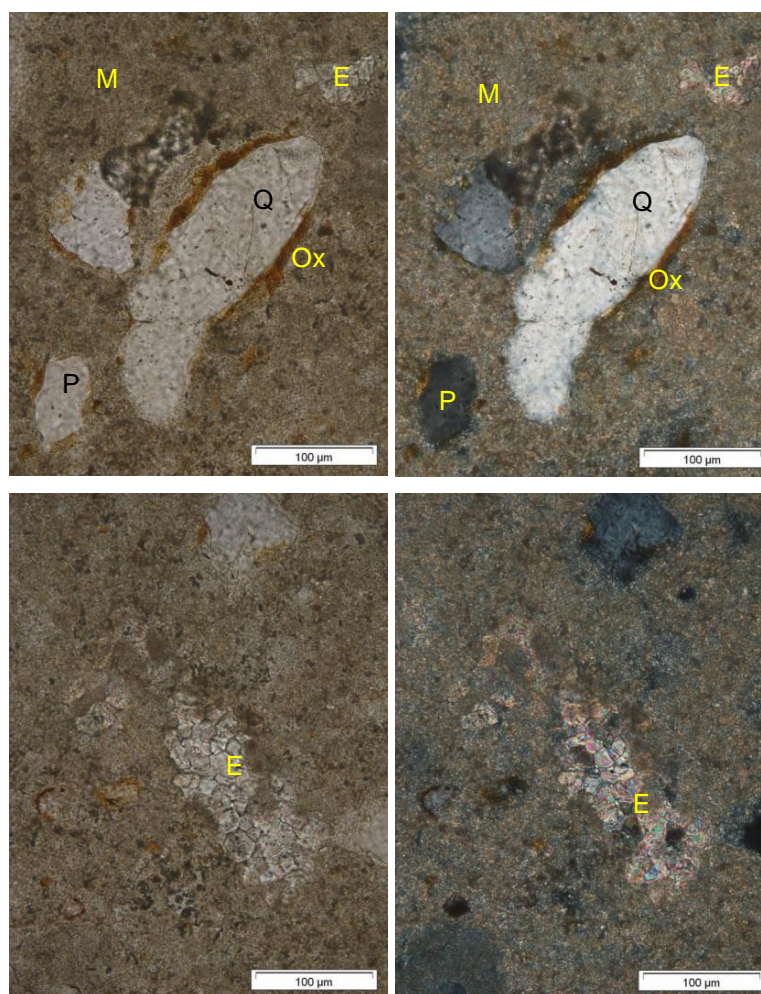


Figura 5.246.- Detalles del mortero tipo III (muestra BP) al POL, a 400 aumentos. Las imágenes de la izquierda con nicoles paralelos; las de la derecha, con nicoles cruzados. En la imagen superior se observan granos de cuarzo (Q) rodeados por minerales ricos en hierro (Ox), en la imagen inferior, cristales de esparita (E) en zonas afectadas por recristalizaciones.



Sometida la muestra BP a ataque con ácido clorhídrico diluido al 15%, se ha determinado una relación en peso árido-matriz de 1:2 que ha de ser tomada con reservas porque parte del árido carbonatado se ha disuelto en este ensayo químico. Dentro del árido se diferencia una fracción gruesa, arenosa (27%) y una fracción fina, limo-arcillosa (4%), con relación entre ambas fracciones de 7:1 (Fig. 5.247).

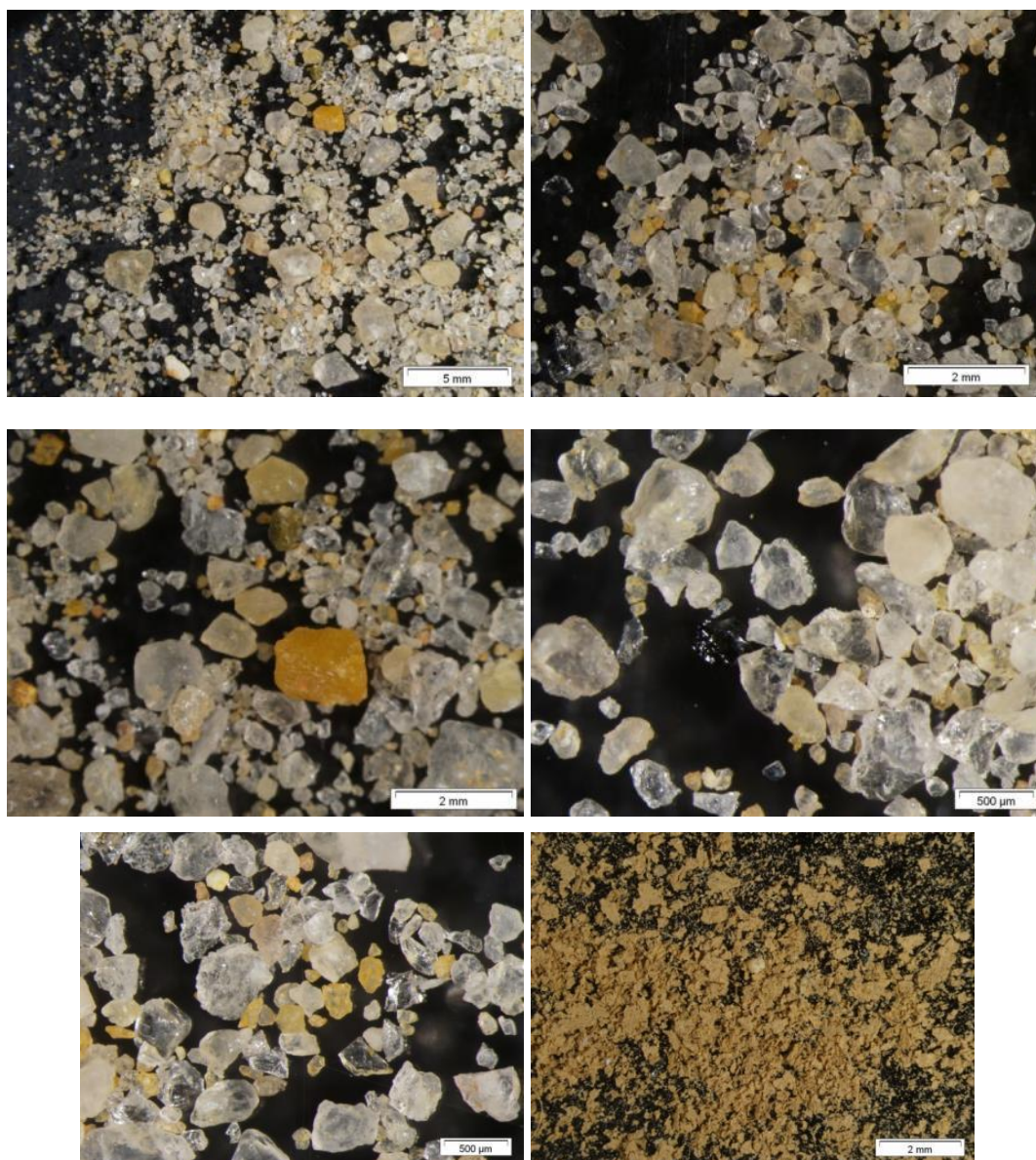


Figura 5.247.- Detalles del residuo insoluble (fracción gruesa, arriba y fracción fina, abajo) del mortero tipo III (muestra BP).

La fracción gruesa del residuo insoluble está formada por granos de cuarzo transparente y translúcido de tamaños seriadados (70 µm-2,2 mm), con una moda de 900 µm. La morfología del cuarzo varía de muy angulosas-subangulosa en los granos de menor tamaño y de subangulosa-subredondeada en los granos de mayores dimensiones. Destaca la presencia de cuarzos amarillento-anaranjados y rosados de tamaños próximos a 150-200 µm que en ocasiones pueden alcanzar 1 mm. Además se identifican granos de tamaño muy fino de turmalina y algún fragmento cerámico. La fracción fina está constituida por arcillas pardas, abundantes fibras vegetales, granos

de moscovita y fragmentos de carbón vegetal de tamaño muy fino, estos dos últimos en muy bajas proporciones.

El estudio morfoquímico, al SEM-EDX, de las diferentes secciones con mapeo sobrepuesto de los elementos químicos esenciales se presenta en la figura 5.248. De los microanálisis químicos análisis se deduce que en este mortero, una proporción considerable del árido es de naturaleza calcítica aunque gran parte presenta naturaleza silíceo o silicatada. Este hecho obliga a replantear la dosificación proporcionada por el ataque químico. Teniendo en cuenta que la dosificación obtenida por este método ha sido árido-matriz 1:2 sería más correcto proponer una dosificación 1:1. Los análisis de las matrices indican que la fase aglomerante está compuesta por: oxígeno (O), carbono (C) y calcio (Ca), como elementos mayoritarios y por silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y hierro (Fe), como elementos minoritarios (Fig. 5.249). De los porcentajes atómicos se deduce una mineralogía a base de calcita, cuarzo y aluminosilicatos ferromagnesianos, en muy baja proporción. Ocasionalmente se detectan granos ricos en hierro.

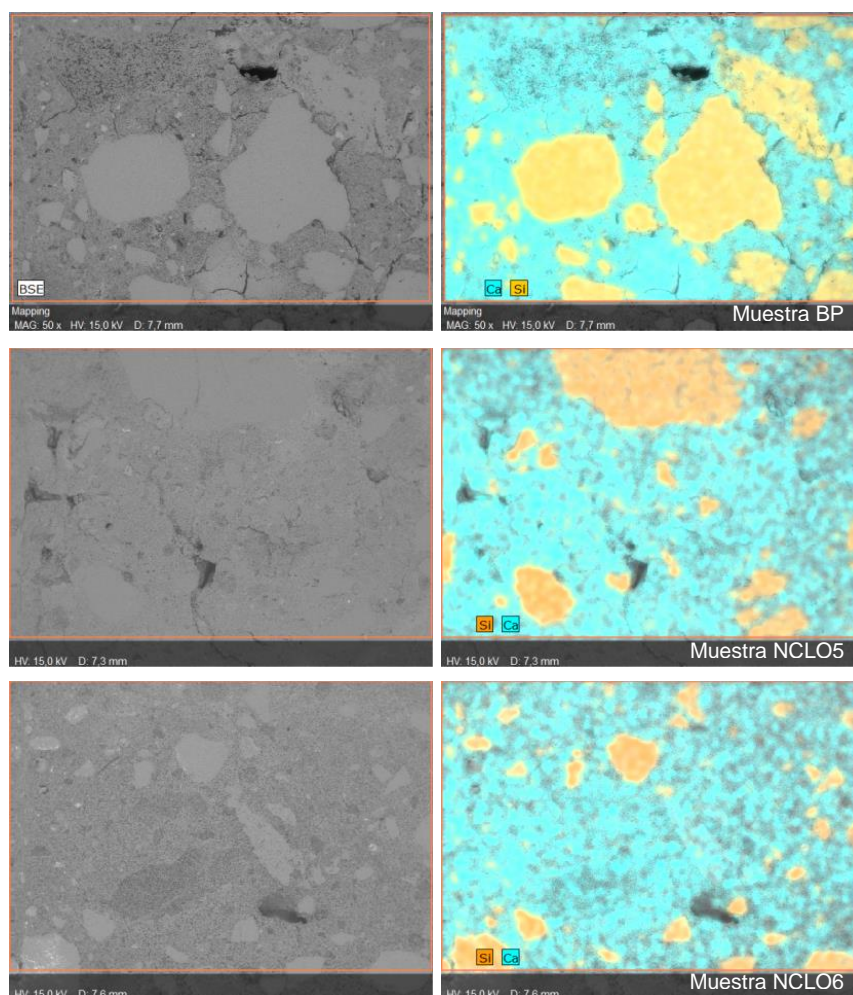


Figura 5.248.- A la izquierda: micrografías al SEM de secciones transversales del mortero *tipo III* (muestras BP, NCLO5 y NCLO6 de arriba a abajo, respectivamente). A la derecha mapeos sobrepuestos del calcio (Ca); en color turquesa y del silicio (Si); en color naranja.

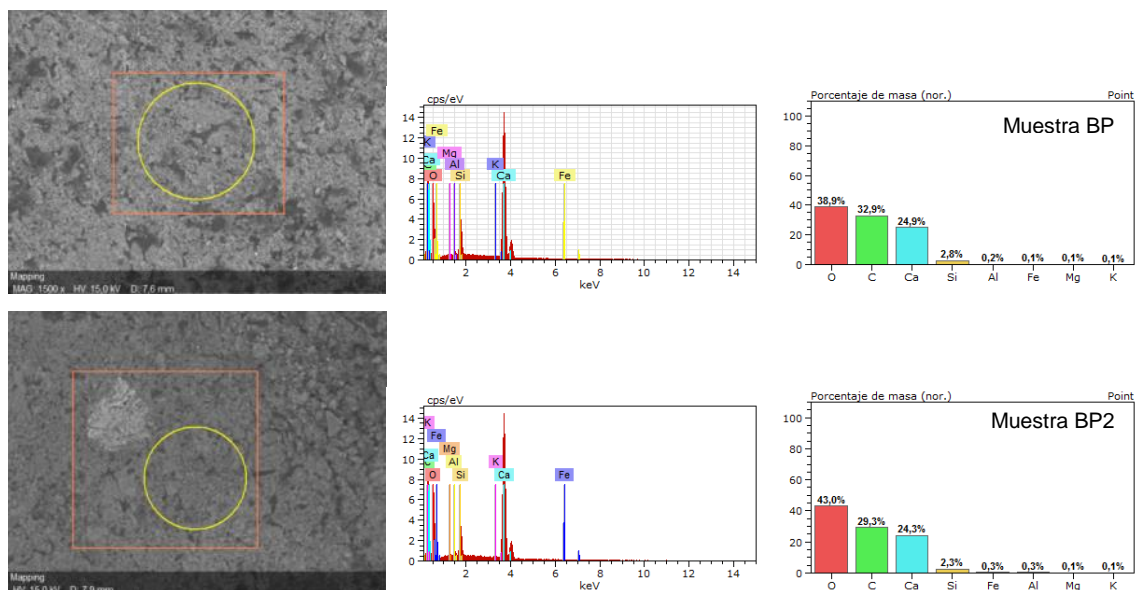


Figura 5.249.- Micrografías y análisis morfoquímicos, al SEM-EDX, de la matriz del mortero *tipo III*, (muestras BP y BP2, de arriba abajo, respectivamente). Se detecta oxígeno, carbono y calcio que se combinan entre sí y con el hidrógeno para formar calcita, cuarzo, aluminosilicatos ferromagnesianos y algún óxido o hidróxido de hierro.

#### Mortero de reposición (Tipo IV)

Esta tipología de mortero agrupa 12 muestras (ALN8, ALS1, ALS5, BT4, ALS2B, HLNLE1, HLNLE2, NCLN2, NCLS2, NSLE2, TLO1 y TLO2), localizadas en distintos paramentos y bóvedas. Es un mortero de color ocre-rojizo (Fig. 5.250) que podría corresponder al mortero de reposición, empleado en la intervención realizada en los años 1850–185, durante la cual se cierra la sacristía adosada al muro sur del ábside. A escala macroscópica, tiene aspecto homogéneo, con compacidad y coherencia medias. Los granos minerales, constituyentes del árido no son identificables a esta escala. En algunas muestras se observan nódulos de cal y restos de fibras vegetales.

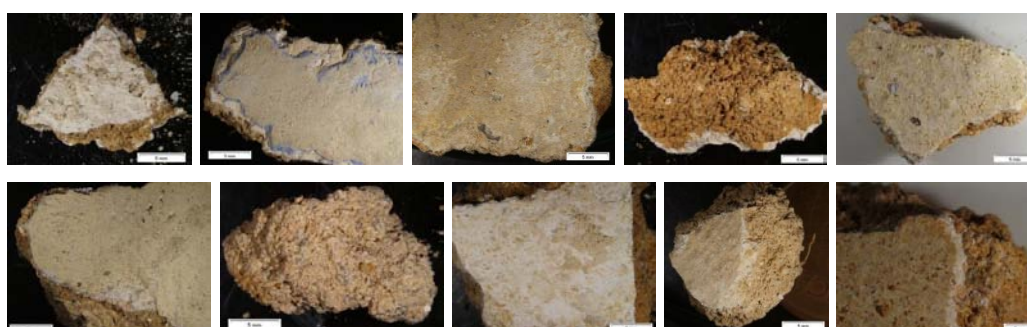


Figura 5.250.- Aspecto macroscópico superficial, a la lupa, del mortero *tipo IV*, representado por las muestras: ALN8, ALS1, ALS5, BT4, ALS2B, HLNLE1, HLNLE2, NCLN2, NCLS2 y NSLE2 de arriba a abajo, y de izquierda a derecha, respectivamente. En todas ellas se aprecia un mortero de tonalidad pardo-ocre que en superficie presenta diferentes recubrimientos.

En secciones transversales presenta una matriz de color pardo-ocre y textura cristalina homogénea, con leves cambios de tonalidad y abundantes espacios vacíos, de diferentes tamaños y morfologías (Fig. 5.251). El árido presenta una distribución homogénea y compacta, con un marcado carácter

heterométrico y con abundantes granos de tamaño fino. A esta escala se identifican granos minerales de diferentes colores (blancos, pardos y grises) y morfologías que varían de muy angulosas-redondeadas. En algunas secciones (muestra NCLS2) es posible detectar fragmentos de otros morteros, embebidos en su matriz, lo que indica que se trata de un mortero de reposición que puede englobar morteros aplicados con anterioridad.

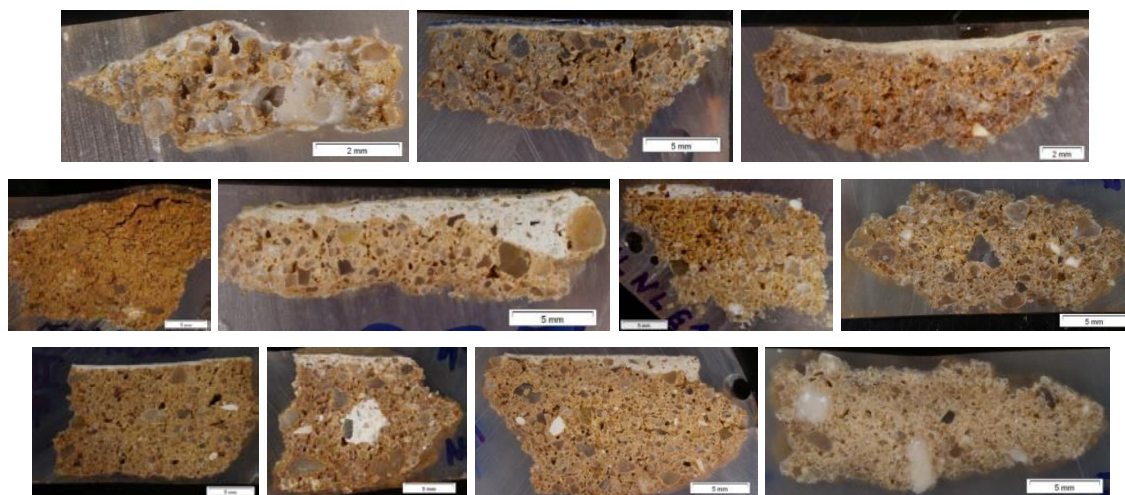


Figura 5.251.- Aspecto general, a la lupa binocular, de secciones estratigráficas del mortero tipo IV que agrupa a las muestras: ALN8, ALS1, BT4, TLO2 ALS2B, HLNLE1, HLNLE2, NCLN2, NCLS2, NSLE2 y TLO1, de arriba abajo y de izquierda a derecha, respectivamente.

Macroscópicamente, a veces presenta dos fases diferentes que presentan distinta tonalidad y granulometría del árido (muestra HLNLE1). Parece que para regularizar las superficies se aplicó el mismo mortero con una menor proporción de matriz y por el contrario mayor de árido, para acabar con otra capa de granulometría más fina y mayor porcentaje de matriz. En ambas fases, las naturalezas de la matriz y del árido aparentan ser similares.

Microscópicamente, al POL, esta tipología de mortero presenta textura matriz-soportada, con una distribución del árido muy compacta (Figs. 5.252-5.254). La fase de unión representa el 15% de la superficie de la lámina y está formada por: calcita, tamaño micrita y microesparita y granos de minerales arcillosos, de pequeño tamaño que proporcionan tonalidades pardo-rojizas. La fase granular está compuesta por: granos de cuarzo (50%) de tamaños seriados 40  $\mu\text{m}$ -2 mm) y morfologías que varían de muy angulosas, en los de menores dimensiones, a redondeadas, más frecuentes en de mayores tamaño. Cabe destacar que estos cuarzos aparecen en granos monocristalinos y policristalinos. En el segundo caso, los cristales son equidimensionales con bordes rectos o son elongados en direcciones preferentes y bordes suturados. Estos últimos pueden presentar extinción ondulante. En menor proporción, se identifican fragmentos de roca carbonatada (5%), granos de óxidos de hierro (<1%) y nódulos de cal (<1%). La porosidad aparente del mortero es del 30% y los espacios vacíos son, predominantemente de tipo poro, con morfologías irregulares y tamaños que varían entre 100  $\mu\text{m}$  y 1 mm. También se aprecian algunos espacios vacíos de tipo fisural, de escasa extensión y espesor, aunque puntualmente se detecta alguna fisura, con longitudes superiores al milímetro y grosor máximo de 200  $\mu\text{m}$ .

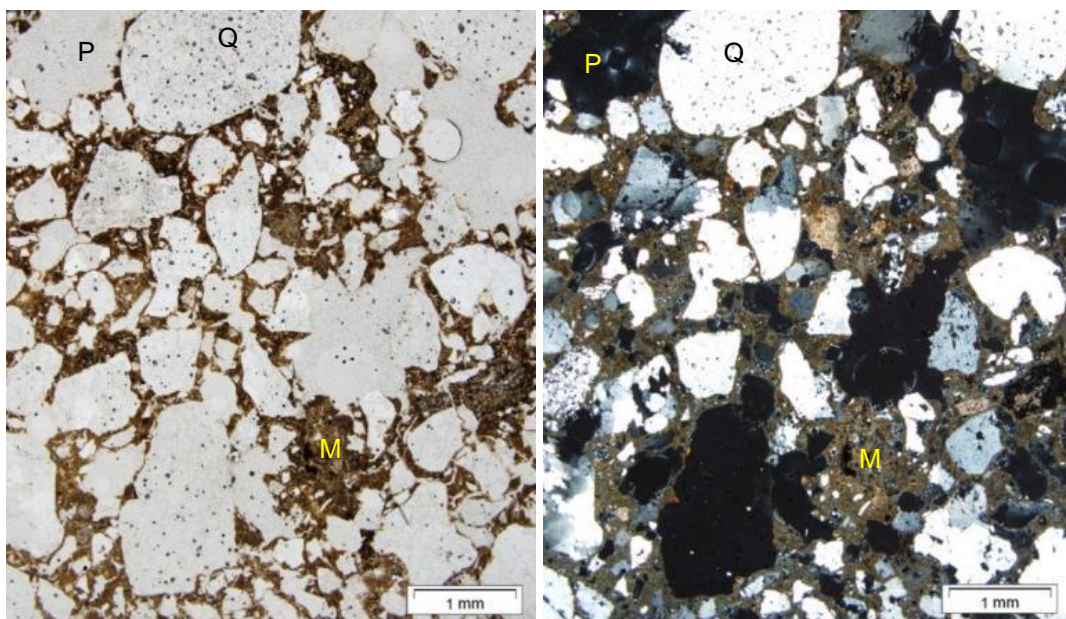


Figura 5.252.- Aspecto general al POL del mortero tipo IV (muestra ALS5), a 25 aumentos, con nicols paralelos y cruzados; a izquierda y derecha, respectivamente. A esta escala se aprecia la textura del mortero con abundantes granos de cuarzo (Q) de diferentes granulometrías, inmersos en una matriz de calcita micrítica (M). También se observan espacios vacíos tipo poro (P).

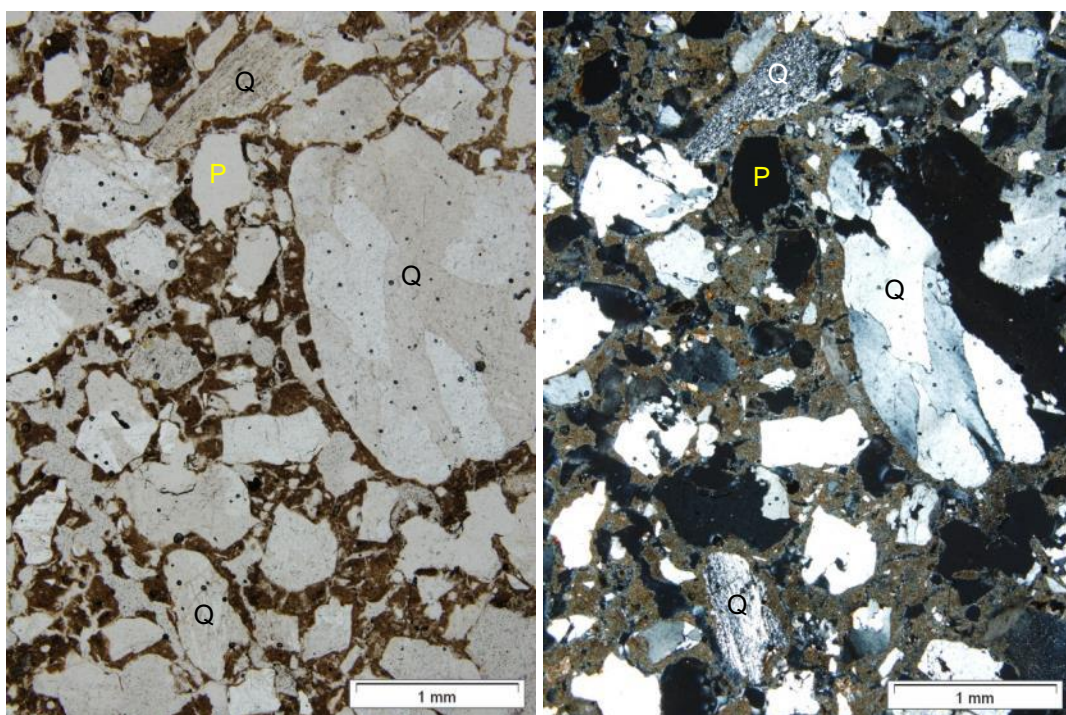


Figura 5.253.- Detalles del mortero tipo IV (muestra ALS5) al POL a 40 aumentos, con nicols paralelos y cruzados; a izquierda y derecha, respectivamente. A esta escala es posible apreciar la variedad de granos de cuarzo (Q) monocristalinos y policristalinos, espacios vacíos tipo poro (P).

Los residuos insolubles de este mortero, mediante ataque químico con ácido clorhídrico diluido al 15%, se han obtenido de las muestras: HLNLE1, HLNLE2, NSLE2 y TLO1. De la muestra HLNLE1 se ha procedido a extraer independientemente un fragmento de cada fase, referenciadas como HLNLE1.1 (interna, correspondiente al mortero de regularización) y HLNLE1.2 (externa,

correspondiente al mortero de revoco). Los resultados proporcionan dosificaciones en peso árido-matriz de 11:1 para la variedad inferior y de 8:1 para la variedad superior. Del resto de las muestras, las dosificaciones árido-matriz obtenidas han sido 4:1 (muestra HLNLE2), y 6:1 (muestras NSLE2 y TLO1). A continuación se describen en detalle los residuos insolubles obtenidos para las dos fases del mortero (HLNLE1.1 y HLNLE1.2). La muestra HLNLE1.1 se puede observar en la figura 5.255. Su fracción gruesa (77%) está compuesta por: arena de cuarzo translúcido y lechoso, de granulometría seriada (100  $\mu\text{m}$ -2 mm) y morfologías angulosas, en los granos de menores dimensiones, a subredondeadas en los mayores. Su tamaño modal se sitúa en torno a 500  $\mu\text{m}$ . También, se observan granos de cuarzo amarillento, y escasos granos de feldespatos, con tonalidad parda-amarillenta y tamaños milimétricos. Como minerales accesorios se detectan: turmalina y óxidos de hierro. La fracción fina (15%) se compone de abundantes arcillas de tonalidad beige claro, entre las cuales se observan granos de moscovita, granos de cuarzo tamaño limo y escasos fragmentos de carbón y fibras vegetales. La muestra HLNLE1.2 (Fig. 5.256) presenta una fracción arenosa (76%) compuesta por granos de cuarzo de color gris-translúcido, de tamaños seriados (250  $\mu\text{m}$ -1 mm), con predominio de los granos próximos a 600  $\mu\text{m}$ . La morfología varía de angulosa a redondeada, independientemente del tamaño de grano. Ocasionalmente se detectan cuarzos que pueden alcanzar los 5 mm de diámetro. En menor proporción se detectan: cuarzos de color amarillo, rosado y blanco y escasos feldespato milimétricos y submilimétricos. Puntualmente también se identifican granos negros de turmalina y granos rojizos de hematites. La fracción fina representa el 15% de la muestra y presenta abundantes arcillas de color pardo-amarillento, granos de moscovita y fibras vegetales de tamaño limo. La tipología IV corresponde a morteros de cal y arena, preferentemente de cuarzo, en las que la proporción de áridos gruesos y finos varía de 7:1 a 8:1.

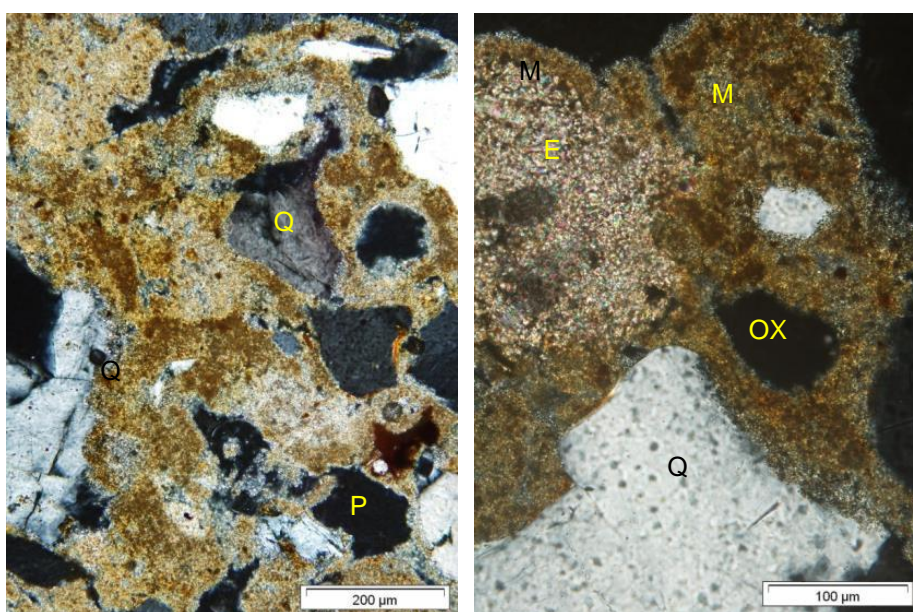


Figura 5.254.- Detalles al POL del mortero tipo IV (muestra ALS5), a 200 y 400 aumentos; a izquierda y derecha, respectivamente. Las micrografías han sido realizadas con cruzados. En las imágenes destaca la abundancia de minerales arcillosos y las tinciones producidas por la lixiviación de los óxidos hierro (OX) en la matriz de calcita micrítica (M), con zonas recristalizadas a esparita (E). También se identifican los granos de cuarzo (Q) de distinta naturaleza y los espacios vacíos tipo poro (P).

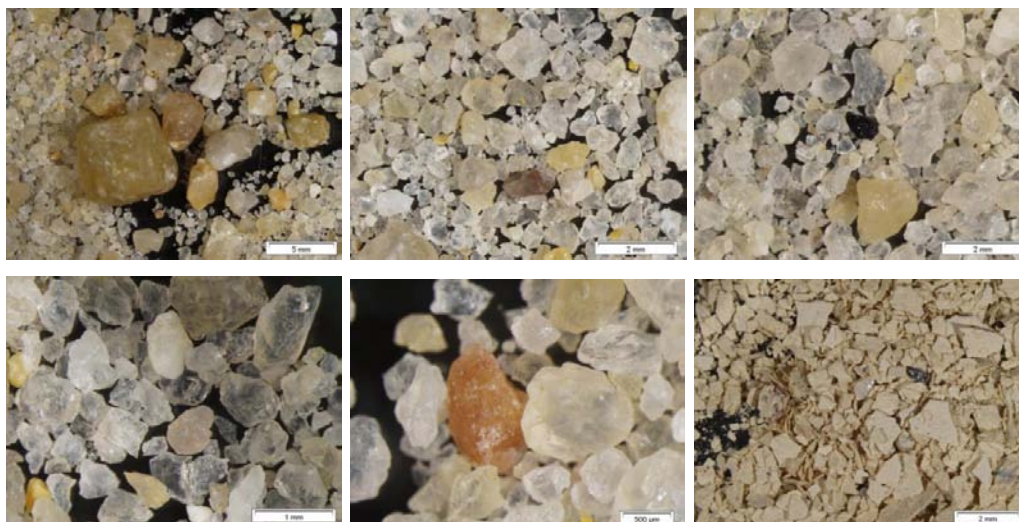


Figura 5.255.- Aspecto del residuo insoluble HLNLE1.1, clasificada como mortero tipo IV a la lupa binocular. En las imágenes se observa la fracción gruesa y fina del residuo.



Figura 5.256.- Aspecto del residuo insoluble HLNLE1.2, de la fase inferior de la muestra HLNLE1, del mortero tipo IV a la lupa binocular. En las imágenes se observa la fracción gruesa y fina del residuo.

Los mapeos al SEM-EDX sobre secciones estratigráficas de las muestras de mortero tipo IV, permiten apreciar la textura del mortero y corroborar la composición silíceo del árido, aunque puntualmente se identifica algún grano de composición calcítica (Figs. 5.257). Los análisis de las matrices muestran una composición mayoritaria a base de: oxígeno (O), carbono (C), calcio (Ca) y silicio (Si), minoritaria de aluminio (Al), hierro (Fe), potasio (K), magnesio (Mg) y extremadamente bajas de azufre (S) (Figs. 5.258). Estos elementos se combinan entre sí y con el hidrógeno para formar calcita, silicatos cálcicos, aluminatos cálcicos, aluminosilicatos ferromagnesianos y óxidos y/o hidróxidos de hierro. La presencia de silicato cálcico en la matriz indica que la cal empleada para la elaboración de este mortero ha sido hidráulica, elaborada a partir de calizas mezcladas con arcillas a altas temperaturas (1000-1300 °C), o de calizas que contienen un 20% de sílice y/o alúmina. A 900 °C se forman compuestos puzolánicos por descomposición de los carbonatos y las arcillas a 1000 °C se forman silicatos, aluminatos cálcicos y clinker.

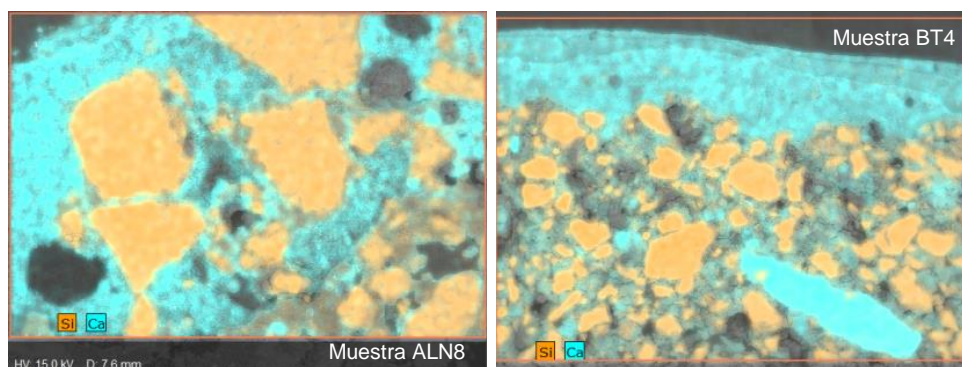


Figura 5.257.- Micrografías al SEM de secciones transversales del mortero tipo IV (muestras ALN8 y BT4), con mapeo del calcio (Ca) y el silicio (Si), en turquesa y en naranja, respectivamente.

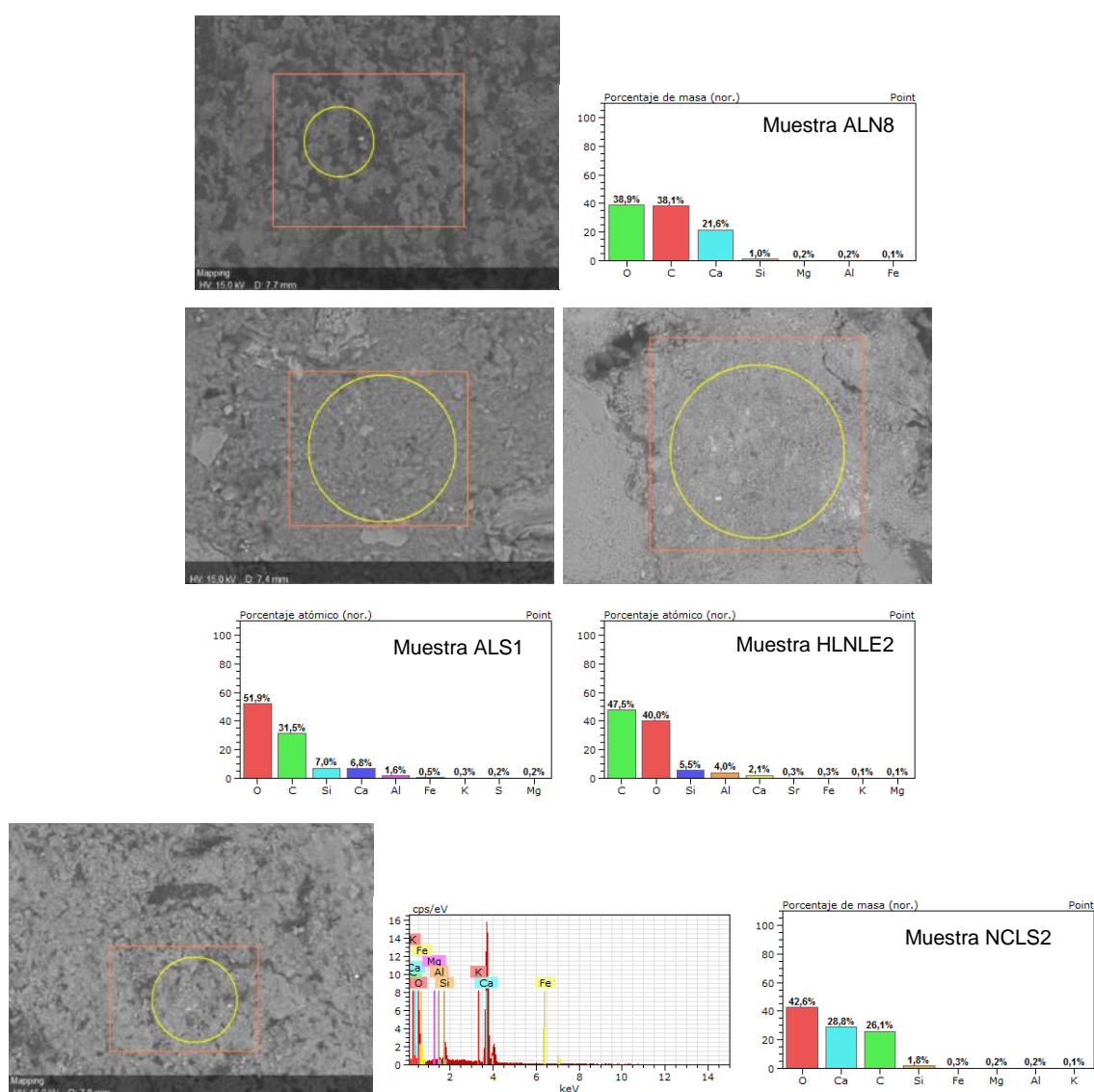


Figura 5.258.- Análisis morfoquímicos al SEM de la fase aglomerante del mortero tipo IV (muestras ALN8, ALS1, HLNLE2 y NCLS2). Los elementos detectados han sido oxígeno, carbono, calcio, silicio, aluminio, magnesio, hierro y potasio. Sus proporciones varían considerablemente de unas zonas a otras de la matriz.



### Mortero del ábside (Tipo V)

Esta tipología de mortero se detecta en 13 muestras (AB, ABN1, ALE1, ALN2, ALS4, AB1, AB2, ALS2A, NCLE1, NCLE2, NCLE3, NCLE4 y NCLN3), situadas en el ábside y en la nave central. Bajo diferentes recubrimientos, se aprecia un mortero homogéneo y uniforme, de compacidad y coherencia medias, y matriz amarilla, en la que aparecen inmersos granos pardos, grises y blancos, de diversos tamaños (Fig. 5.259).

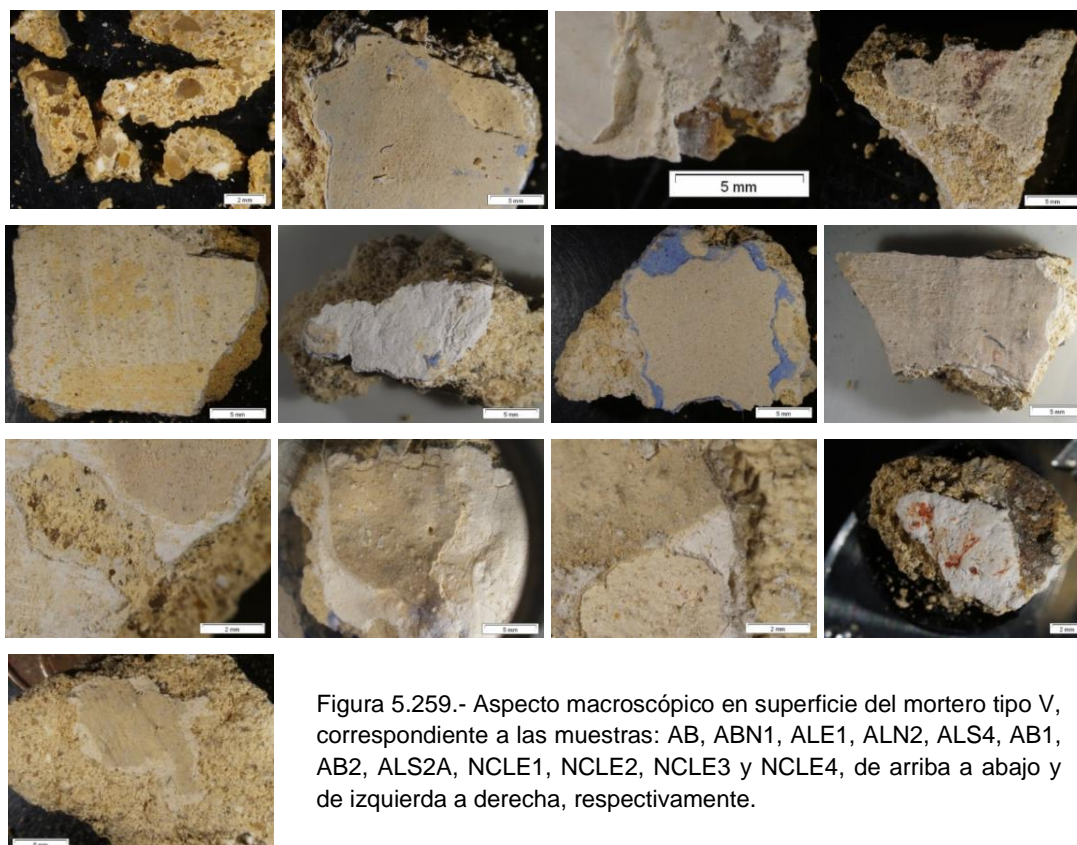


Figura 5.259.- Aspecto macroscópico en superficie del mortero tipo V, correspondiente a las muestras: AB, ABN1, ALE1, ALN2, ALS4, AB1, AB2, ALS2A, NCLE1, NCLE2, NCLE3 y NCLE4, de arriba a abajo y de izquierda a derecha, respectivamente.

En sección transversal presentan una matriz amarillenta, heterogéneamente coloreada. Esta heterogeneidad se aprecia también en su textura que varían de una sección a otra e incluso dentro de misma muestra (Figs. 5.260 a 5.261). La matriz aparece en ocasiones con textura cristalina y sin apenas porosidad, mientras que en otras presenta un aspecto deleznable y elevada porosidad y/o fisuración, dependiendo de su grado de alteración. El árido es muy heterogéneo, tanto en color, naturaleza, tamaño y distribución, como en la morfología de los granos. Se pueden observar abundantes granos de cuarzo heterométricos, granos de feldespato, además de fragmentos de roca caliza, fragmentos de carbón vegetal y nódulos de cal. El análisis mediante DRX de la muestra AB ha identificado cuarzo (70%), calcita (20%) y microclina (10%), (Fig. 5.262).

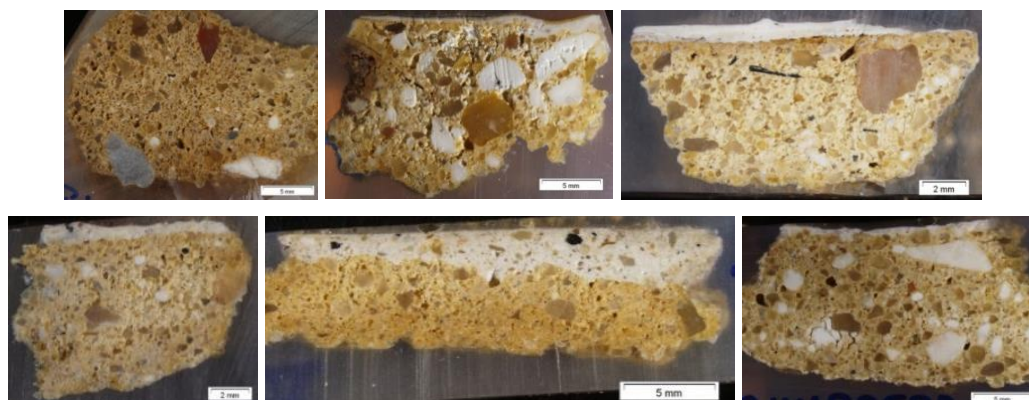


Figura 5.260.- Secciones estratigráficas transversales del mortero tipo V. Las muestras representativas de esta tipología son: AB, ABN1, ALE1, ALN2, ALS4 y AB1, de arriba a abajo, y de izquierda a derecha, respectivamente. A esta escala se identifican abundantes fragmentos de carbón, de considerables tamaños.

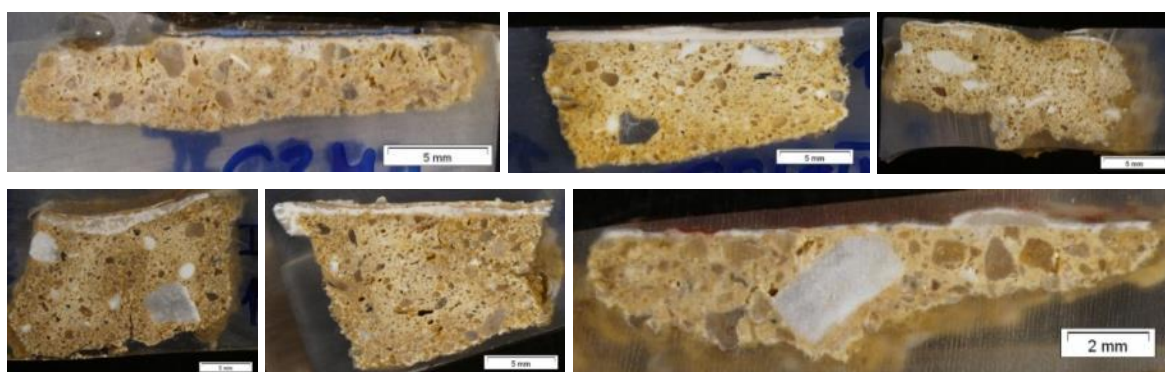


Figura 5.261.- Secciones estratigráficas transversales del mortero tipo V. Las muestras representativas de esta tipología son: AB2, ALS2A, NCLE1, NCLE2, NCLE3 y NCLE4; de arriba a abajo, y de izquierda a derecha, respectivamente. A esta escala se identifican fragmentos de roca carbonatada.

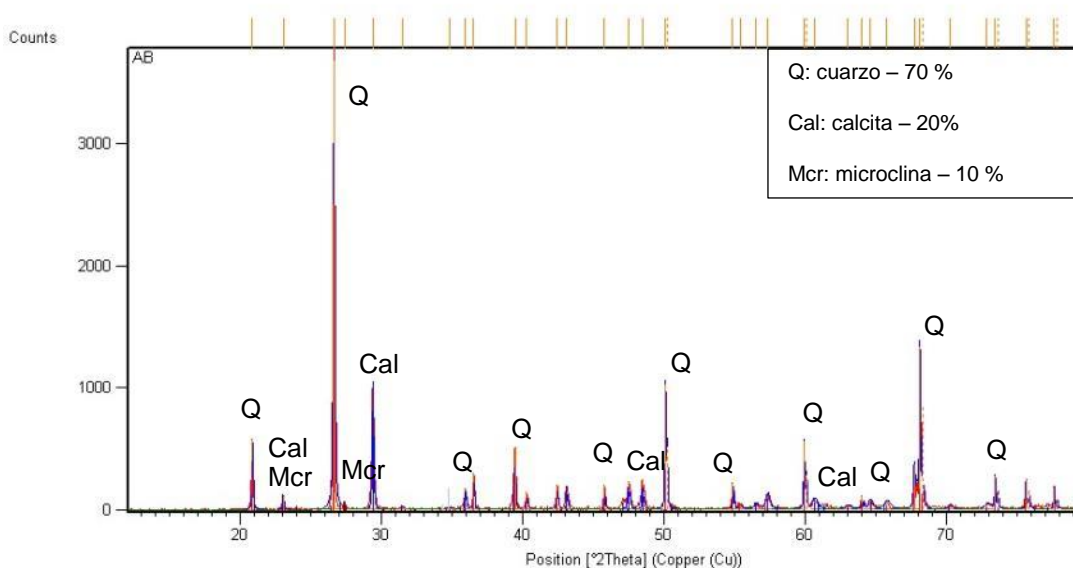


Figura 5.262.- Difractograma de la muestra AB. Las fases minerales, detectadas por difracción de rayos X, en proporciones superiores al 1,5% han sido: cuarzo, calcita y microclina.

Microscópicamente al POL la muestra AB2 presenta una textura matriz-soportada pero caracterizada por una elevado empaquetamiento de los granos minerales (Figs. 5.263 a 5.265). En la matriz de calcita, tamaño micrita y microesparita, se pueden apreciar ocasionalmente cristales de esparita, granos arcillosos de pequeño tamaño y tinciones de tonalidad parda. El árido del mortero se compone de granos de cuarzo heterogéneos, de tamaños seriados, distintas morfologías y naturalezas variadas. La granulometría de los granos silíceos está comprendida entre 10  $\mu\text{m}$  y 1,5 mm, con morfologías que varían de muy angulosas a subredondeadas, sin que éstas guarden una correlación aparente con los tamaños de grano. Los granos de cuarzo son del tipo monocristalino y policristalino, predominando los cristales de bordes rectos y hábitos equidimensionales. Formando parte del árido, aunque en escasa proporción, se identifican fragmentos de roca carbonatada, granos de micas y minerales opacos. Los espacios vacíos son esencialmente de tipo poro, con morfologías irregulares y tamaños comprendidos entre 100  $\mu\text{m}$  y 1 mm. En menor proporción y en determinadas zonas de la lámina se observa una fisuración muy poco desarrollada. Se estima que este mortero está compuesto en un 20% de fase aglomerante, un 55% de granos de cuarzo, un 5% de granos carbonatados, 3% de micas y 2% de minerales opacos, con una porosidad aparente del 15%.

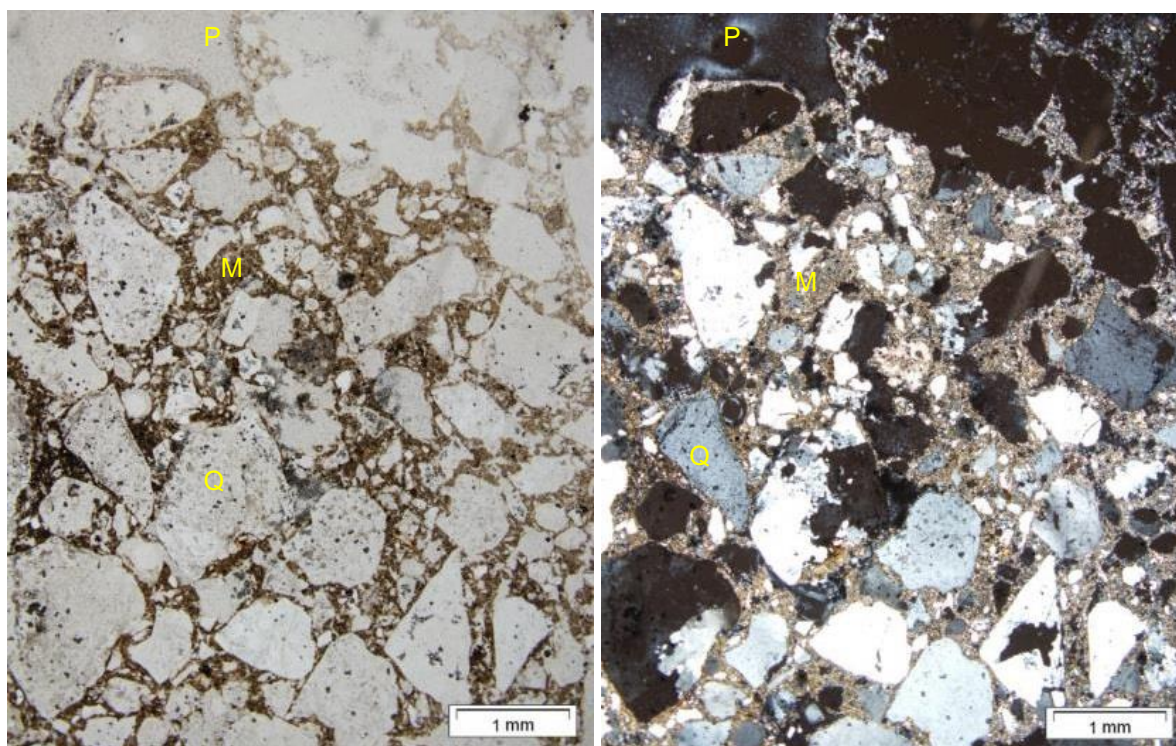


Figura 5.263- Aspecto general, al POL, de la textura de la muestra AB2, a 25 aumentos, con nicols paralelos (izquierda) y cruzados (derecha). A esta escala se identifican abundantes granos de cuarzo (Q), una matriz de calcita micrítica (M) y espacios vacíos tipo poro (P).

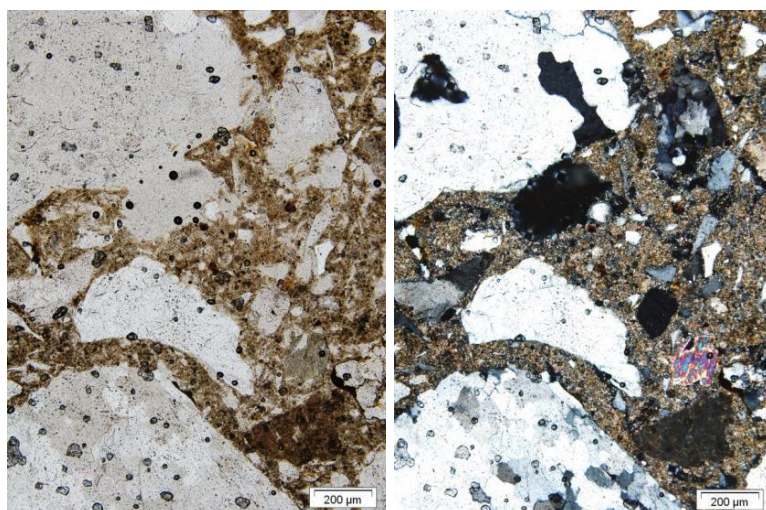


Figura 5.264.- Detalles al POL de la muestra AB2, a 100 aumentos, con nicoles paralelos;a la izquierda y nicoles cruzados a la derecha. Además de los granos de cuarzo, se identifican fragmentos de roca carbonatada y minerales micáceos.

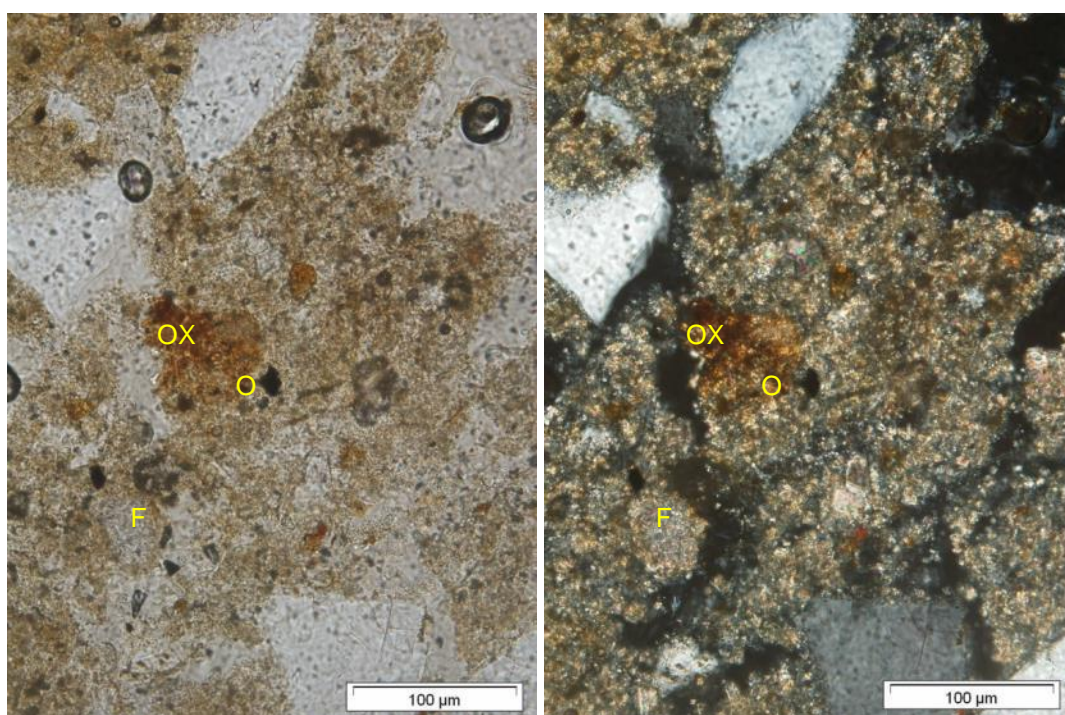


Figura 5.265.- Detalles al POL, a 400 aumentos, con nicoles paralelos (izquierda) y cruzados (derecha) de la matriz de calcita micrítica y microesparítica del mortero tipo V (muestra AB2). En las micrografías se puede observar en detalle la matriz de este mortero, en la cual aparecen también granos de pequeño tamaño de minerales opacos (O), tinciones por óxidos de hierro (OX), y espacios vacíos de tipo fisural (F).

Algunas muestras (AB, ALS4, AB1, AB2, NCLE3 y NCLN3) han sido atacadas con ácido clorhídrico diluido al 15%. La relación en peso árido-matriz, obtenido para la muestra AB ha sido de 4:1, aunque teniendo en cuenta la presencia de árido carbonatado en el mortero, esta dosificación podría alcanzar valores de 5:1 ó 6:1. La relación entre ambas es de 15:1. El residuo insoluble obtenido de la muestra ALS4 proporciona una fracción arenosa (65%) y una limo-arcillosa (15%), con una relación entre ambas también de 4:1. La muestra AB1 presenta una dosificación árido-matriz de 1:1. La obtenida para la muestra AB2 ha sido de 2:1, en ambos casos la relación fracción gruesa-fracción fina ha sido de 10:1. El residuo insoluble de la muestra NCLE3 presenta una dosificación árido-matriz de 2:1, similar a la obtenida para las muestras recogidas en la cumbre

del ábside. Las dosificaciones, árido-matriz de 4:1 coincide en las muestras recogidas en las paredes laterales del ábside, las 2:1 - 1:1 se localizan en la cumbra de este mismo ábside. La muestra NCLN3 está formada por una fracción gruesa (40%) compuesta por granos de cuarzo transparentes, lechosos y amarillentos, cuyos tamaños de grano varían entre 100  $\mu\text{m}$  y 2 mm, con una moda próxima a 500  $\mu\text{m}$  (Fig. 5.266). Los granos de menor tamaño presentan morfologías angulosas y subangulosas y los de mayores dimensiones subredondeados-redondeados. Además del cuarzo, se identifican granos blanquecinos y rojizos de feldespatos y algún grano negro de turmalina. La fracción fina (12%) está constituida por arcillas pardas, abundantes fragmentos de carbón de diferentes tamaños y morfologías, fibras vegetales y granos minerales tamaño limo, de similar naturaleza a los detectados en la fracción gruesa. La fracción arenosa (63%) de la muestra AB2 está compuesta por abundantes granos de cuarzo de aspecto lechoso, transparentes, amarillos y rosados, estos últimos en menor proporción (Fig. 5.267). Los tamaños de estos granos se sitúan entre 150  $\mu\text{m}$  y 2 mm, con una moda de 500  $\mu\text{m}$  y presentan morfologías angulosas-subangulosas, predominantes en los granos de menor tamaño, y redondeadas en los granos de mayores dimensiones. También se identifica algún grano de turmalina de color negro. La fracción fina (6%) se compone de arcillas pardas, fragmentos de madera de longitud milimétrica, fibras vegetales, fragmentos de carbón y granos tamaño limo.

Los mapeos de los elementos químicos más abundantes, realizados al SEM – EDX sobre secciones transversales, confirman la composición calcítica de la matriz, así como la existencia de árido esencialmente silicatado. Puntualmente se detectan nódulos de cal y granos de naturaleza carbonatada (Figs. 5.268 a 5.269). El análisis morfoquímico de la matriz muestra una composición mayoritaria a base de O, C, Ca y Si y minoritaria de Al, Fe, Mg y K (Fig. 5.270). De los porcentajes atómicos se deduce que la mineralogía esencial es calcita, con presencia de aluminosilicatos ferromagnesianos en muy baja proporción.

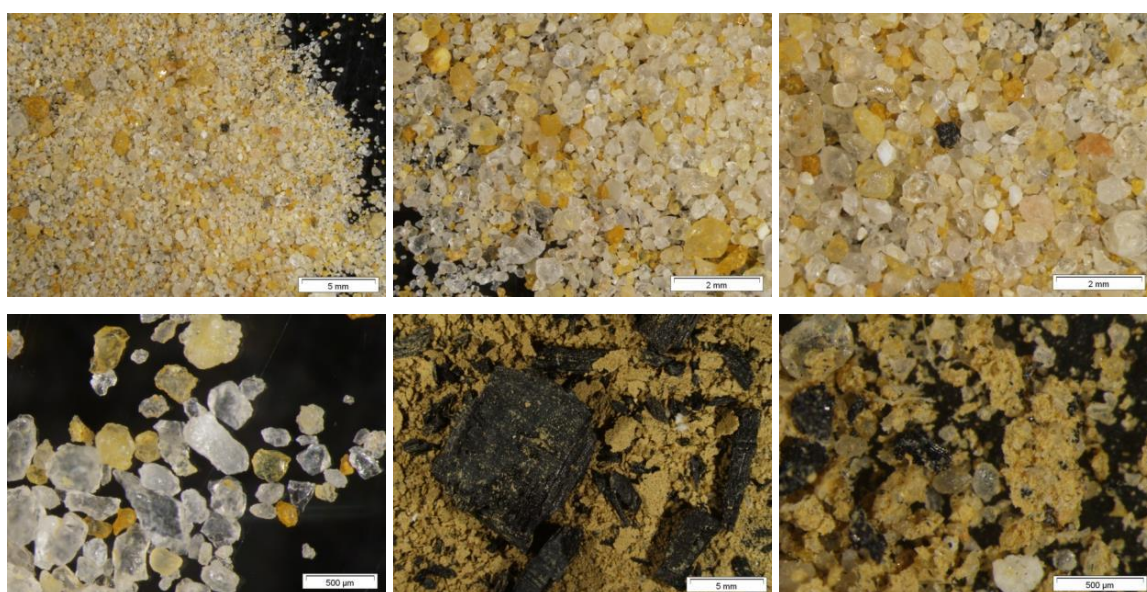


Figura 5.266.- Aspecto general y detalles, a la lupa binocular del residuo insoluble de la fracción gruesa y fina de la muestra NCLN3. La presencia de granos de carbón es extremadamente abundante en este mortero.

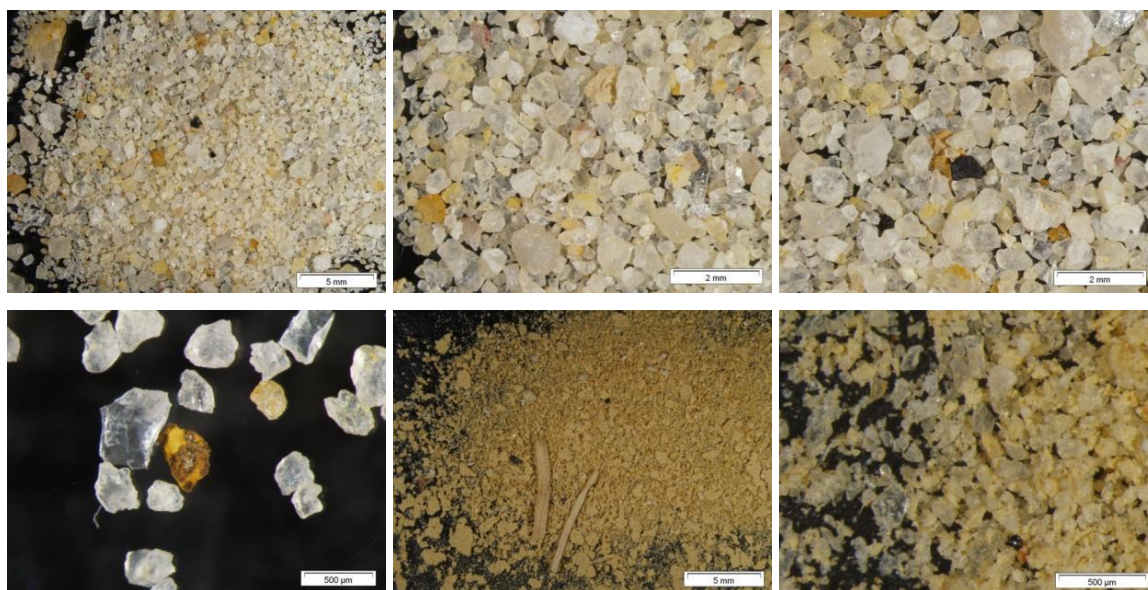


Figura 5.267.- Aspecto general y detalles, a la lupa binocular del residuo insoluble de la fracción gruesa y fina de la muestra AB2. Dentro de la fracción gruesa, se detectan abundantes fragmentos de madera.

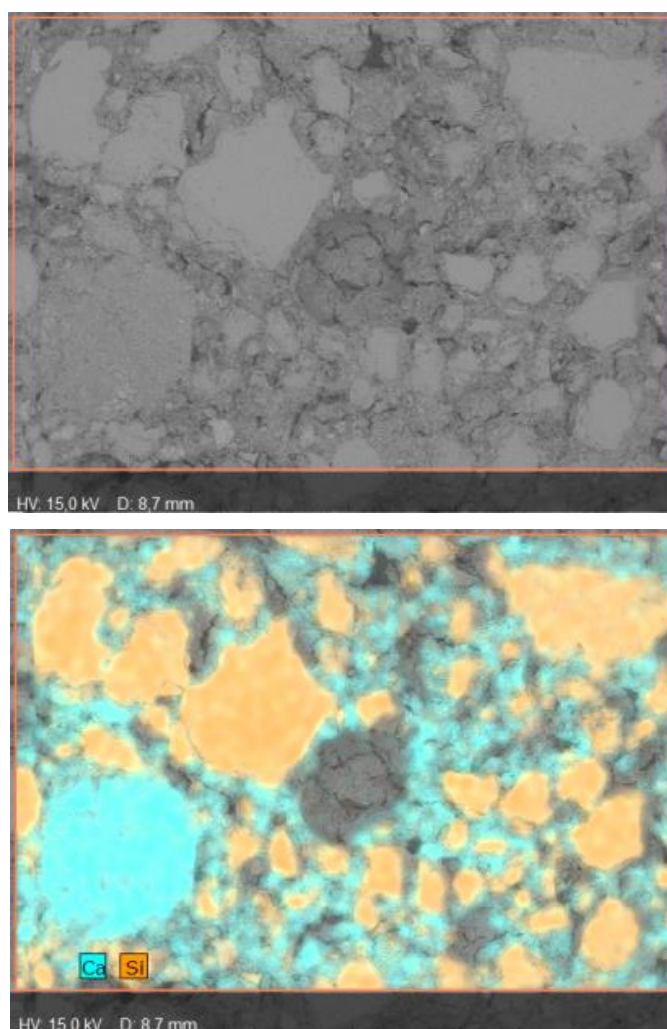


Figura 5.268.- Micrografías al SEM (arriba) y mapeos EDX (abajo) de calcio y silicio una sección transversal t de la muestras AB.

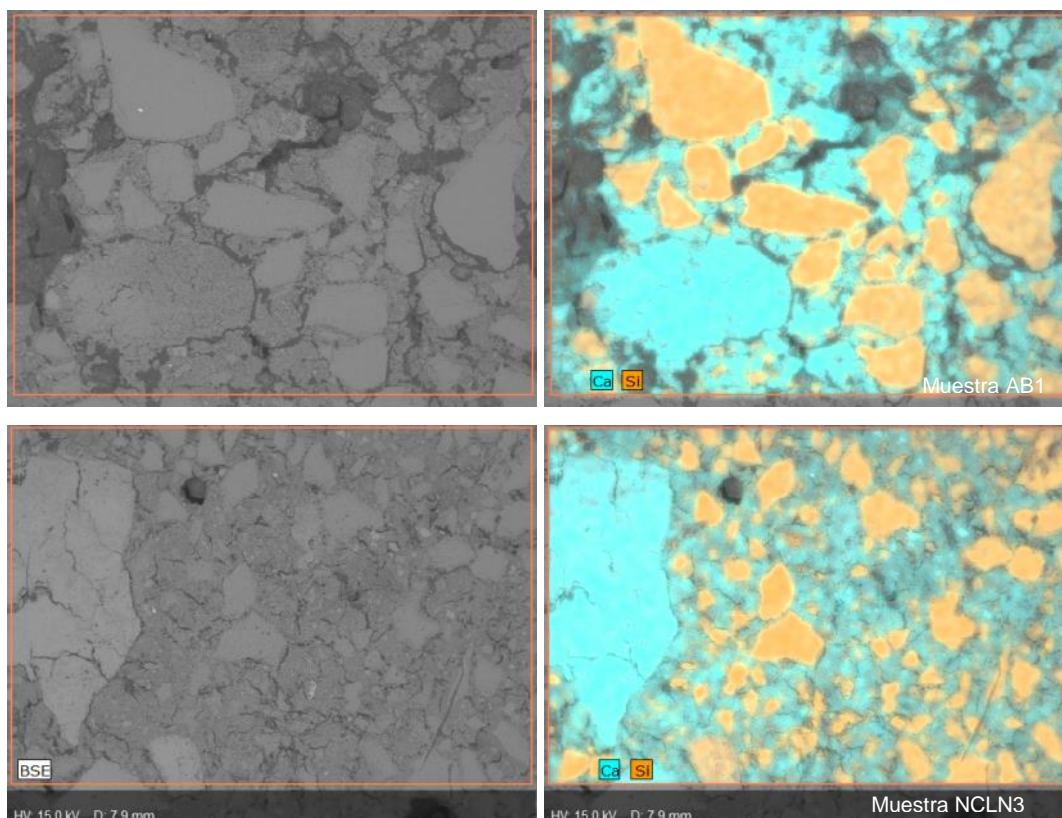


Figura 5.269.- Micrografías al SEM (izquierda) y mapeos EDX (derecha) de varias secciones transversales de las muestras AB1 y NCLN3. En ambas muestra se detectan nódulos de cal y algún fragmento de roca carbonatada, además de granos de naturaleza silicatada.

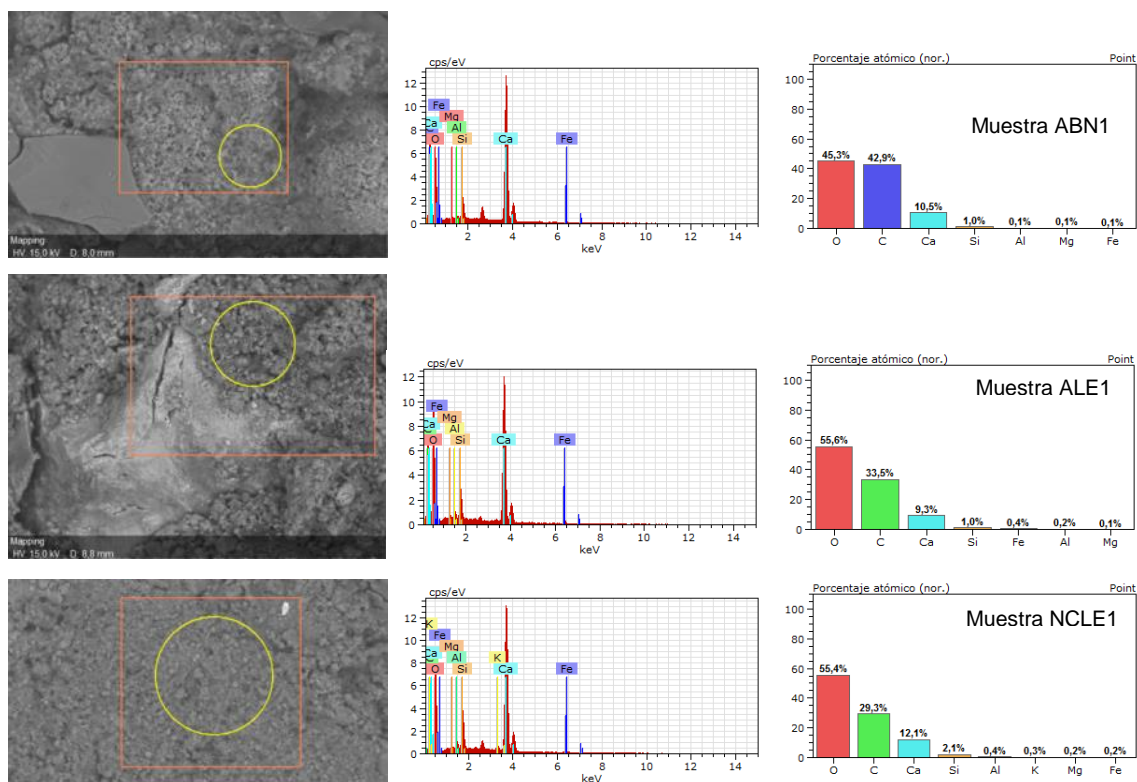


Figura 5.270.- Análisis morfoquímico al SEM-EDX de las matrices de las muestras AB, ABN1 y ALE1. Todas estas muestras tienen una composición química similar, a base de oxígeno (O), carbono (C), calcio (Ca), silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), potasio (K) y hierro (Fe).

Mortero del cierre del arco diafragma (Tipo VI)

Esta tipología de mortero se ha identificado en 3 muestras: NSLE1, NSLE3 y ALS6. Su aspecto macroscópico en superficie se pueden observar en la figura 5.271. Este mortero, de compacidad y coherencia media, presenta una matriz de tonalidad parda, homogénea, que engloba un árido constituido por granos minerales heterométricos de tonalidades pardo-grisáceas.



Figura 5.271.- Aspectos macroscópicos, a la lupa binocular, de las muestras NSLE1, NSLE3 y ALS6.

En sección transversal presenta una matriz de color pardo rosáceo, de aspecto cristalino homogéneo, en la cual se aprecian numerosos espacios vacíos de diferentes tamaños y morfologías irregulares (Fig. 5.272). Los granos que conforman el árido aparecen con granulometría muy heterométrica y aspecto bastante heterogéneo. A escala macroscópica se identifican granos de cuarzo de tonalidades pardo-amarillentas, fragmentos de roca, nódulos de cal e incluso fragmentos de mortero de diferente naturaleza. Todos estos elementos configuran la marcada heterogeneidad de este mortero.

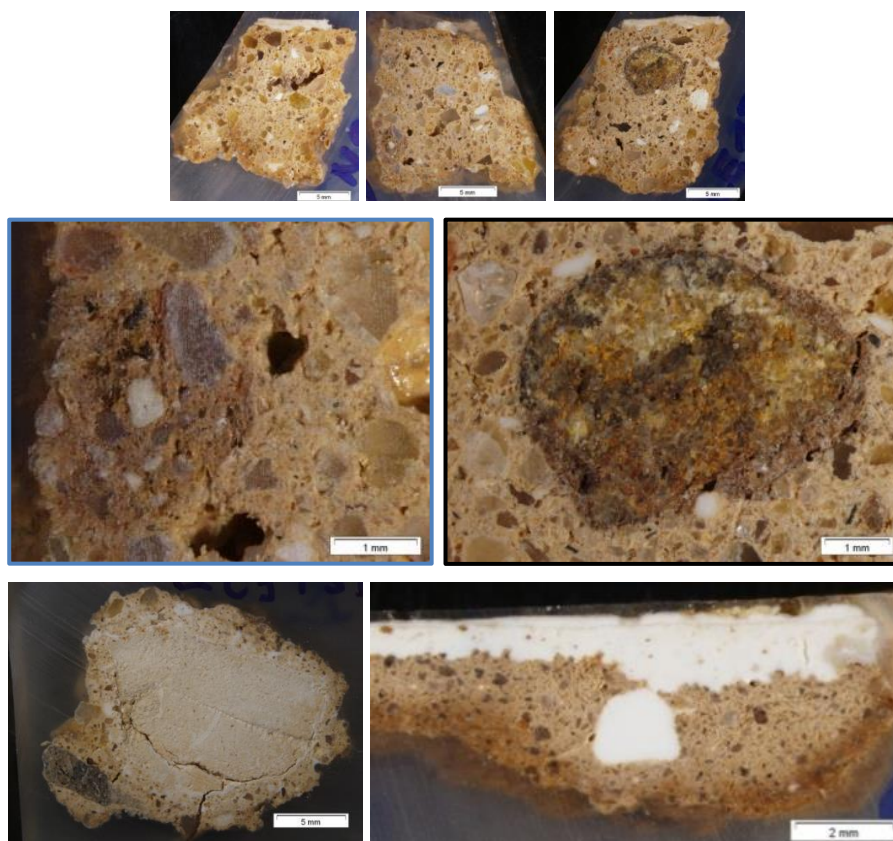


Figura 5.272.- Aspectos macroscópicos, a la lupa binocular, de las secciones de la muestra NSLE1 (imágenes superiores), y detalles de los componentes heterogéneos (imágenes inferiores).



Las observaciones ópticas al POL de la muestra NSLE1 se ilustran en las figuras 5.273 a 5.275. La matriz es de color pardo y está constituida por calcita, tamaño micrita. Inmersos en esta matriz se identifican granos de cuarzo policristalino, mayoritariamente heterométricos, con tamaños comprendidos entre 30  $\mu\text{m}$  y 1 mm y morfologías angulosas-subredondeadas, más frecuentes las primeras en los de menor tamaño. Ocasionalmente se identifica algún cuarzo policristalino de tamaño milimétrico. En otras zonas de la preparación llama la atención la presencia de una textura flotante muy porosa, en la cual se observan componentes heterogéneos de distinta naturaleza, pudiéndose identificar granos minerales opacos, y en menor proporción, fragmentos de rocas carbonatadas y detríticas, además de escasos granos de cuarzo y feldespato.

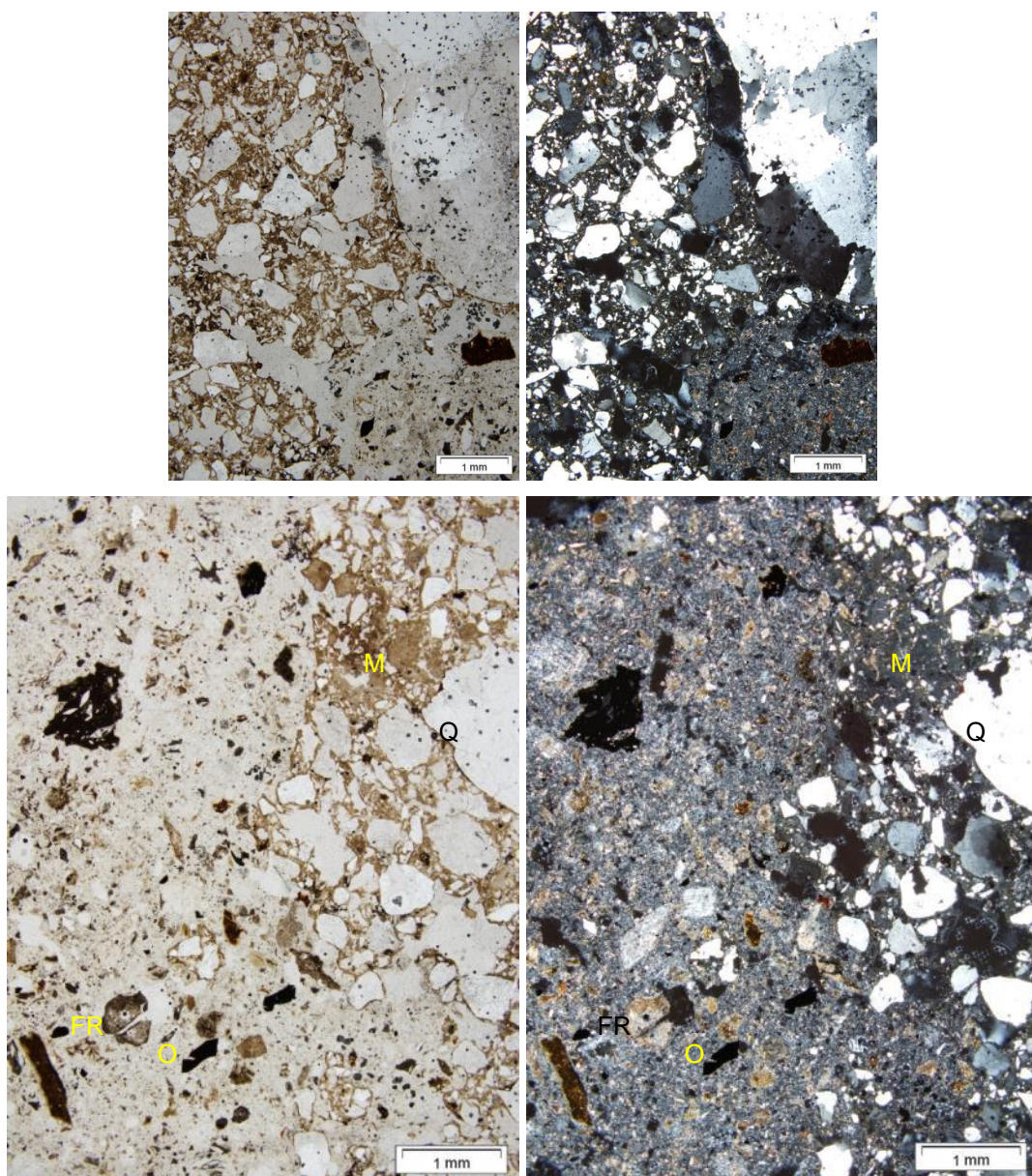


Figura 5.273.- Aspecto general al POL, de la muestra NSLE1, a 25 aumentos, con nicóles paralelos y cruzados; a izquierda y derecha, respectivamente. En las imágenes se observan los aspectos texturales correspondientes al mortero tipo VI definidos por una matriz micrítica (M) que contiene abundantes granos de cuarzo (Q); en el primer caso y por una matriz blanquecina poliminerálica, con fase granuda muy heterogénea y abundantes minerales opacos (O) y fragmentos de roca (FR); en el segundo caso.

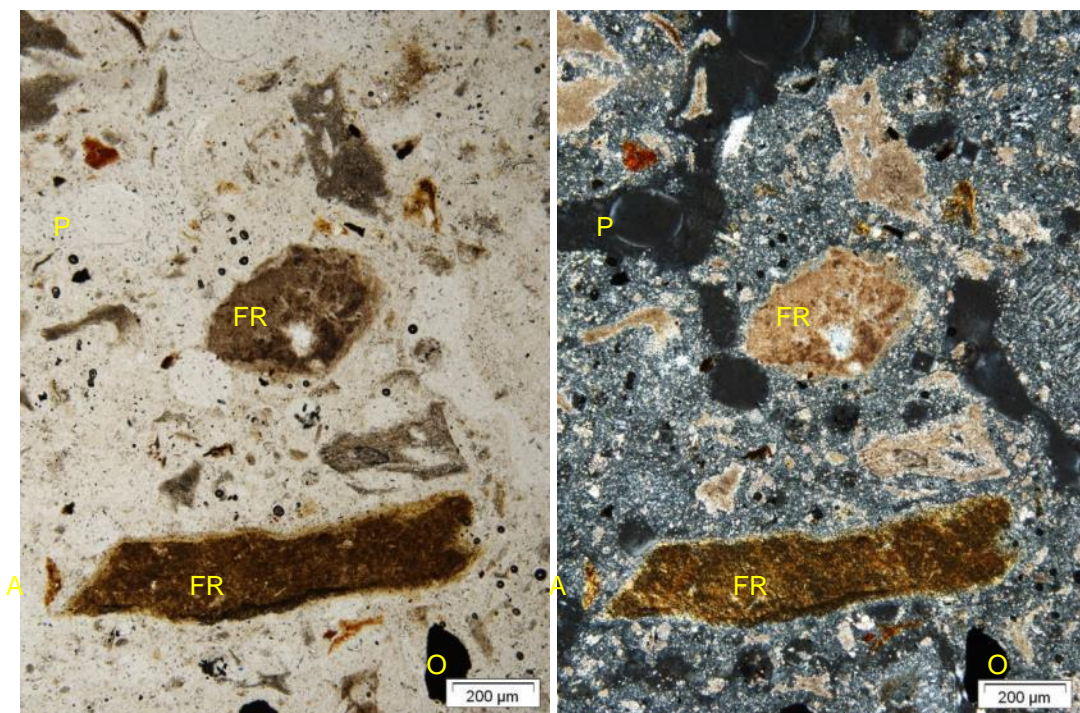


Figura 5.274.- Detalles al POL de la muestra NSLE1, a 100 aumentos. Imágenes tomadas con nicols paralelos (izquierda) y nicols cruzados (derecha). En estas micrografías se observa el aspecto textural de la matriz blanquecina y la fase granuda heterogénea, en la cual se observan recristalizaciones de calcita esparítica (E), además de fragmentos de roca carbonatada (FR), granos minerales opacos (O), pequeños granos minerales arcillosos (A) y algún espacio vacío tipo poro (P).

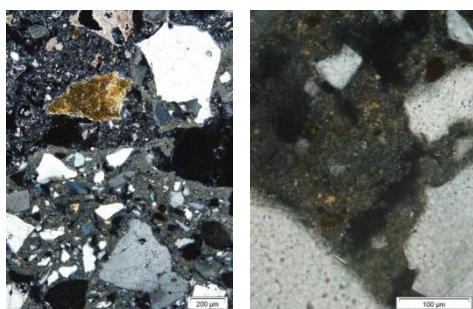


Figura 5.275.- Detalles al POL de la muestra NSLE1, a 100 y a 400 aumentos; respectivamente, con nicols cruzados, a izquierda y derecha. Se observan la textura de la muestra y detalle de la matriz del mortero.

La dosificación en peso árido-matriz, obtenida por ataque químico, ha sido de 4:1 con una relación entre fracción gruesa y fina de 5:1. La fracción gruesa, arenosa (66%) está formada fundamentalmente por granos de cuarzo y feldespato (Fig. 5.276). Los cuarzos son mayoritariamente transparentes y lechosos aunque en menor proporción también se observan granos de tonalidades amarillentas y rosadas. La granulometría oscila entre 120 µm y 1,2 mm, con una moda de 500 µm y su morfología varía de angulosa a redondeada, sin que ésta guarde relación con el tamaño de grano. Puntualmente aparece algún grano de cuarzo lechoso, de mayores dimensiones. Los granos de feldespato se presentan con tonalidades rojizas, anaranjadas y pardas y granulometría similar a la del cuarzo. La morfología de los feldespatos es predominantemente redondeada-subredondeadas. Ocasionalmente, se identifican granos de turmalina de color negro. La fracción fina, limo-arcillosa (12%) se compone de arcillas pardo-rosáceas, con abundantes fibras vegetales, granos minerales de cuarzo y feldespatos tamaño limo y pequeños granos de micas, de tipo moscovita.

El análisis al SEM-EDX de las secciones estratigráficas con mapeo de elementos mayoritarios, permite observar la textura microscópica de este mortero, donde los áridos presentan composición silícea y calcítica (Fig. 5.277). Los microanálisis específicos de la matriz detectan oxígeno (O), carbono (C), calcio (Ca) y silicio (Si) como elementos mayoritarios y aluminio (Al), hierro (Fe) y magnesio (Mg) como minoritarios o accesorios (Fig. 2.278). De las proporciones atómicas de estos elementos se deduce que la fase aglomerante es muy rica en carbonato cálcico.

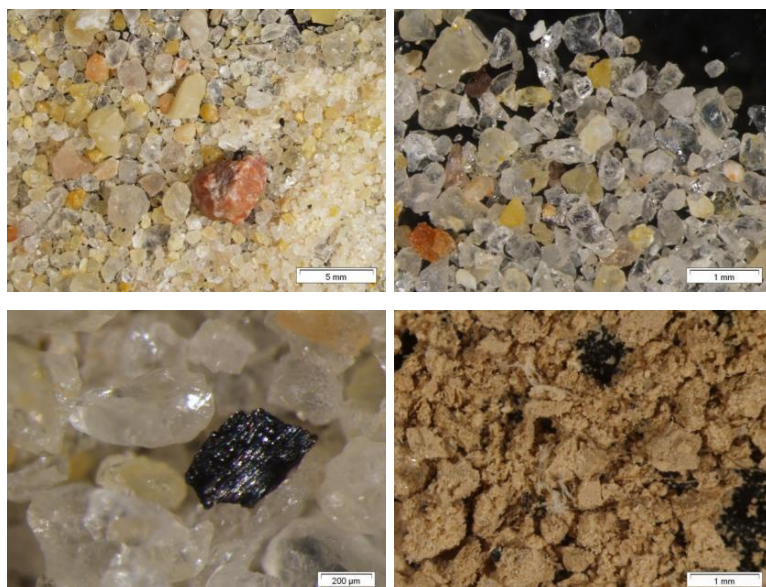


Figura 5.276.- Detalles a la lupa binocular del residuo insoluble del mortero procedente de la muestra NSLE1, con su fracción gruesa y fina. También se representan los porcentajes en peso de las diferentes fases que lo componen.

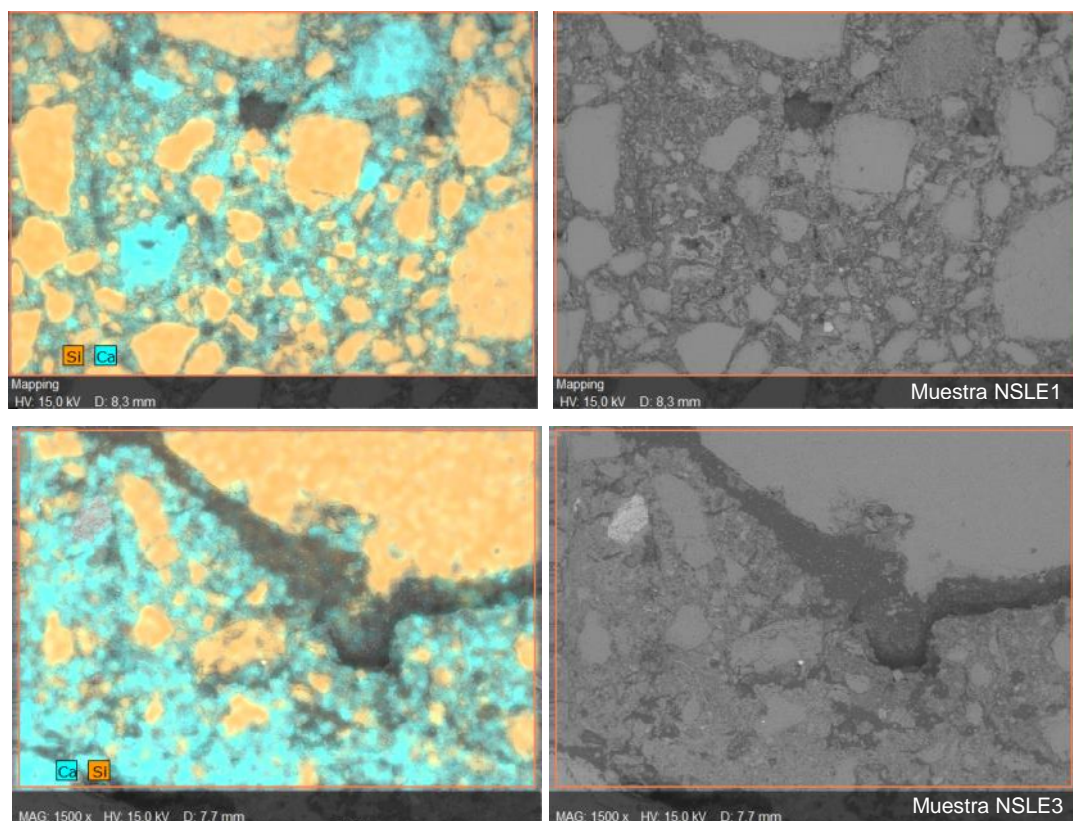


Figura 5.277.- Mapeo al SEM-EDX de las muestras NSLE1 y NSLE3, con mapeo de silicio y calcio. Abundan los granos silicatados (color naranja) aunque se observan ciertos componentes ricos en calcio (color turquesa).

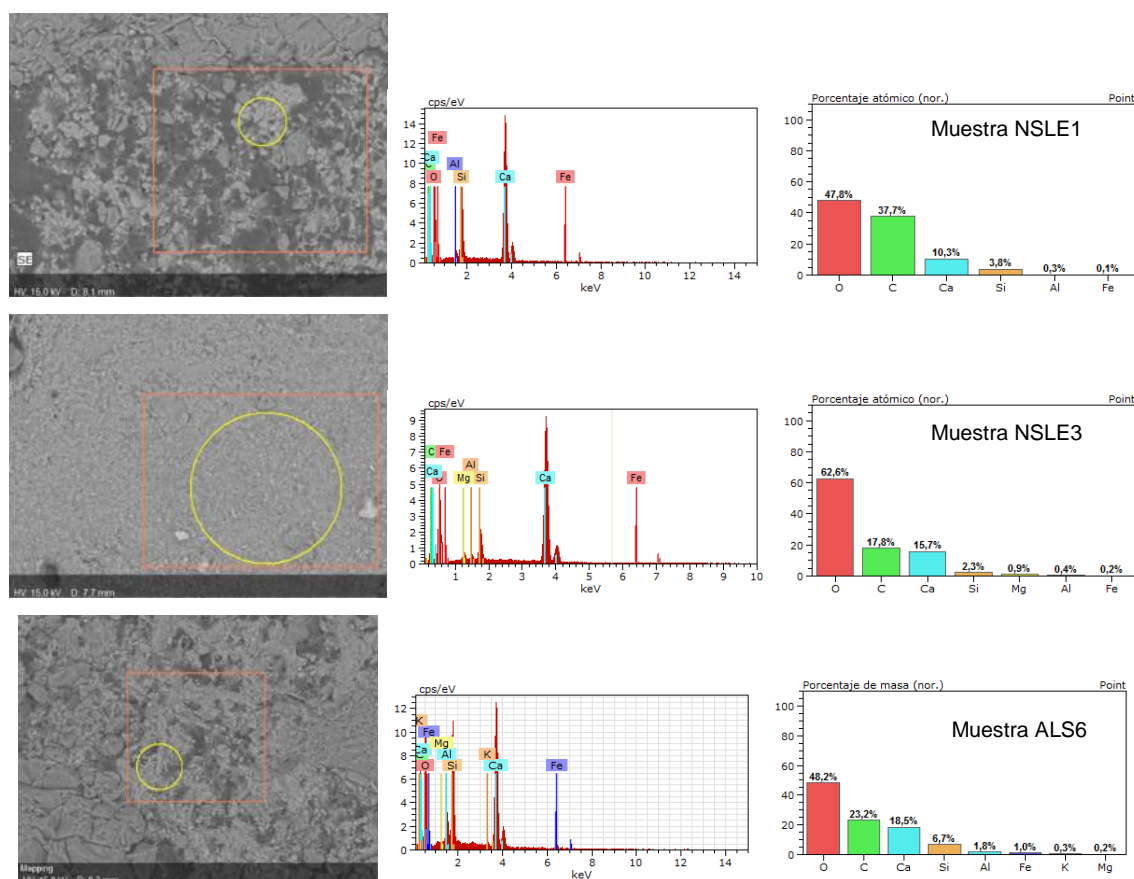


Figura 5.278- Micrografías al SEM y análisis morfoquímicos, con sus correspondientes espectros EDX e histogramas de porcentajes atómicos, correspondientes a las muestras NSLE1, NSLE3 y ALS6. De los histogramas se deduce que la matriz está esencialmente formada por calcita y escaso cuarzo, además de aluminosilicatos y óxidos de hierro en baja proporción.

### Mortero de reintegración (Tipo VII)

Esta tipología de mortero corresponde a 2 muestras de escayola, recogidas en el lateral este de la nave central (muestra NCLE1) y en la caja de escalera de la nave sur (muestra CESLO1). Este mortero de color gris claro se caracteriza por ser muy homogéneo, compacto y por presentar una textura granuda de tamaño de grano muy fino. En su superficie interna, rugosa e irregular, se conservan restos de otro mortero de tono pardo, mientras que su superficie externa, de morfología regular, no presenta recubrimientos (Figs. 5.279 a 5.280). Correspondería a la escayola incorporada en la intervención de Menéndez Pidal de 1954.

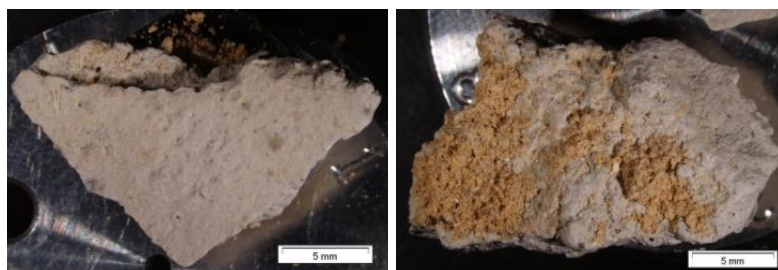


Figura 5.279.- Aspecto a la lupa binocular de un fragmento de la muestra NCLE1 (izquierda, superficie externa; derecha, superficie interna), el cual presenta un color gris claro, escasa fase granuda, y restos de otra tipología de mortero.



Figura 5.280.- Aspecto macroscópico superficial de la muestra CESLO1, recogida en la caja de escalera sur.

Al SEM-EDX (Fig. 5.281) se confirma que el mortero contiene oxígeno (O), calcio (Ca), carbono (C) y azufre (S), además de silicio (Si) y estroncio (Sr), estos dos últimos en muy baja proporción. De los porcentajes atómicos de estos elementos se deduce que se combinan entre sí y con el hidrógeno para formar mayoritariamente yeso (escayola), calcita y cuarzo. Los restos de mortero detectados en la superficie interna de la muestra tienen una composición similar a la del mortero tipo IV. Se trata por tanto de un mortero de yeso, con algo de cal.

La escayola es una argamasa industrial que se obtiene del aljez o yeso natural. Hasta principios del siglo XIX se entendía por escayola a una mezcla de yeso con yeso espático, amasado con agua de cola. Desde el punto de vista tradicional la diferencia entre el yeso y la escayola es su pureza en aljez y su diferente granulometría (la escayola es más fina). Mientras que el yeso tiene pureza mayor del 70%, la escayola ha de tener pureza mayor del 90%.

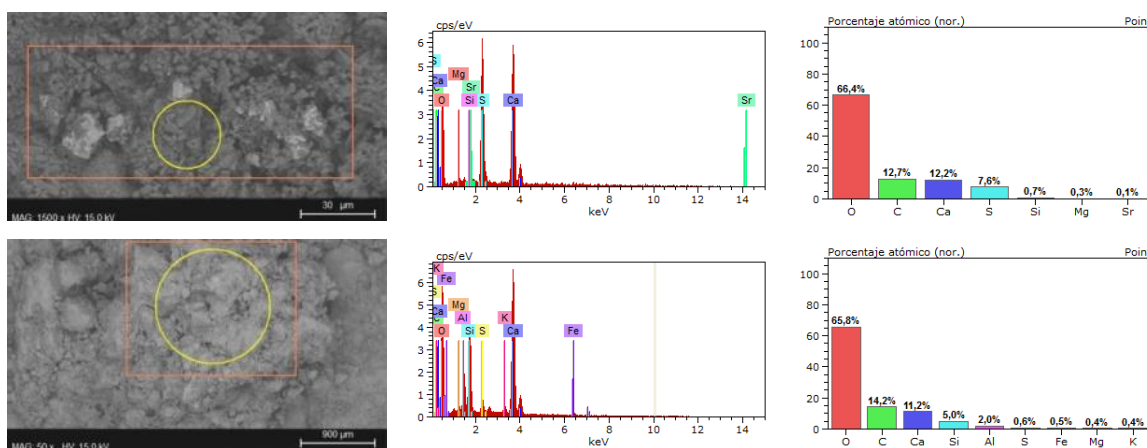


Figura 5.281.- Microanálisis realizados en la superficie externa (arriba) e interna (abajo) de la muestra CESLO1. Este mortero está compuesto por O, C, Ca y S fundamentalmente, lo que indica que está elaborado a base de yeso. El análisis realizado en la superficie interna indica una composición similar a la detectada en el mortero tipo IV.

## Exteriores

Además de los morteros del interior se presentan varias muestras procedentes de las fachadas exteriores del edificio. Estos morteros fueron recogidos para su datación radiocarbónica, durante la intervención de 2011, por indicación de la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del principado de Asturias. El objetivo de los análisis de ataque químico realizados, fue aislar los posibles fragmentos de carbón vegetal o madera, adicionados a estos morteros, para su posterior datación con  $^{14}\text{C}$ .

### Muestras SML30 y SML39

El aspecto macroscópico de las muestras de mortero «in situ» puede observarse en las figuras 5.282 a 5.283. Se trata de morteros de juntas de color blanquecino-beige, recogidos en la fachada oeste del edificio. Mediante ataque químico, por disolución con ácido clorhídrico, se ha determinado que las muestras presentan una dosificación árido-matriz de 1:4.

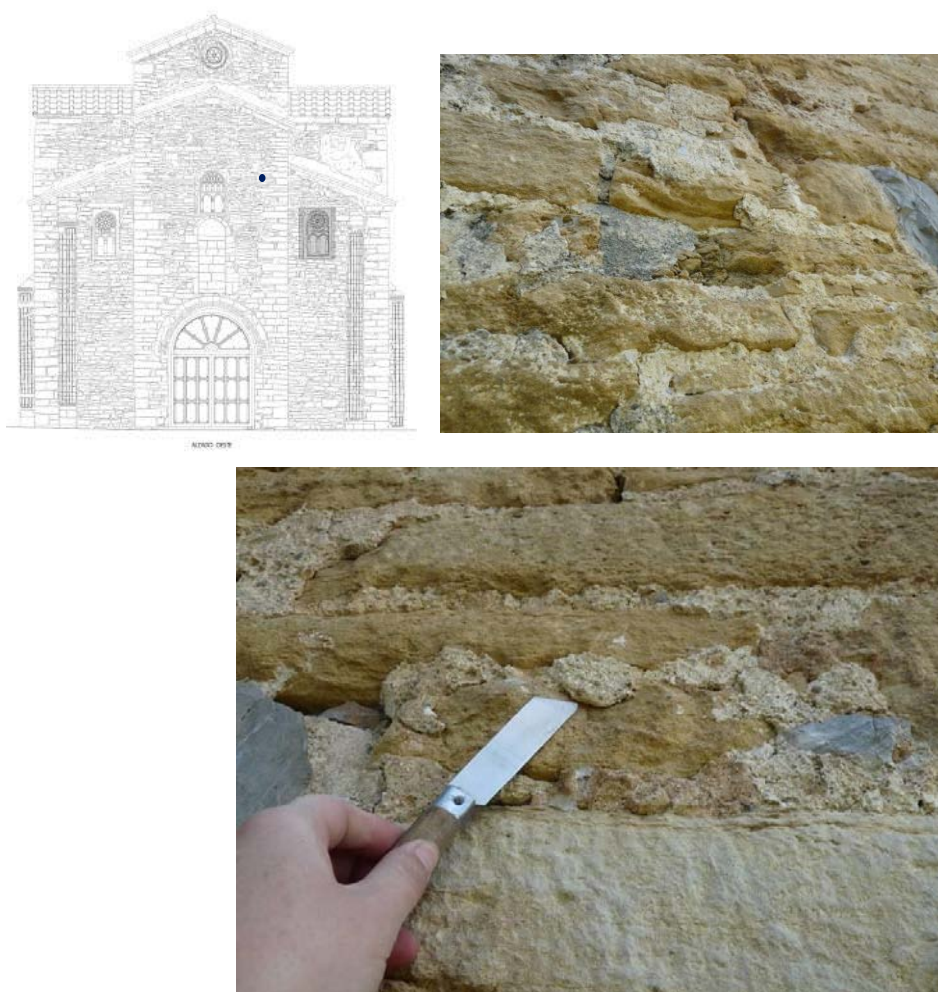


Figura 5.282.- Punto de extracción y aspecto macroscópico «in situ» del mortero SML30.

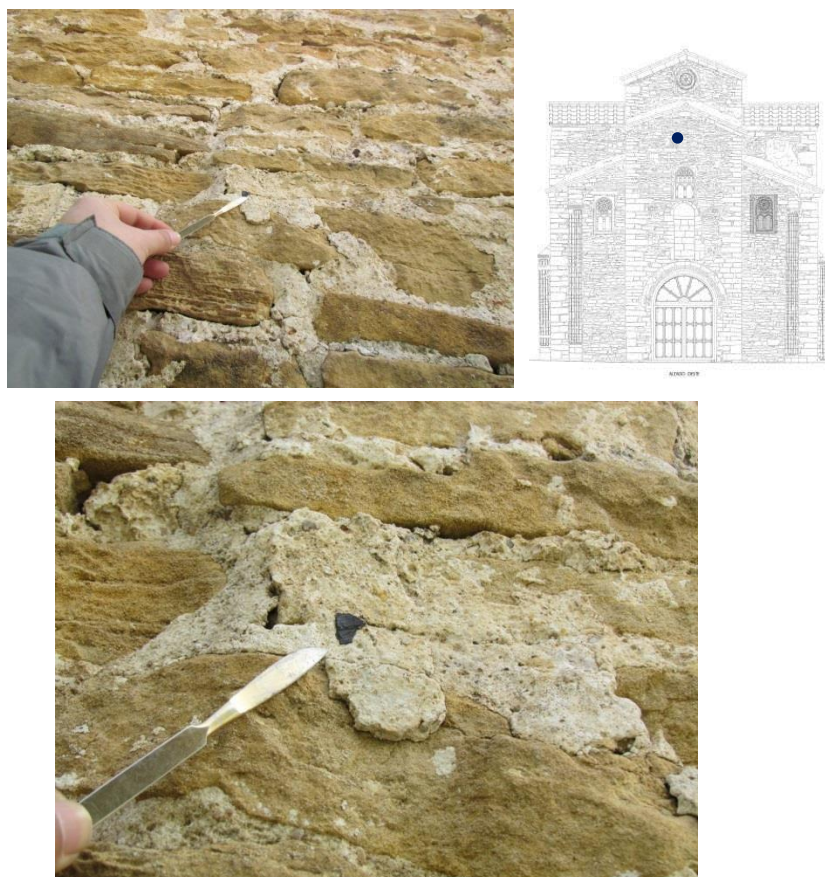


Figura 5.283.- Punto de extracción y aspecto macroscópico «in situ» del mortero SML39. A simple vista se observan los fragmentos de carbón vegetal presentes en el mortero.

El residuo insoluble de la muestra SML30 presenta una fracción gruesa o arenosa (97%) constituida granos de cuarzo (86%), fragmentos de cerámicos (5%) y unos fragmentos grisáceos que pudieran corresponder a restos de cemento (5%), aplicados en intervenciones posteriores (Fig. 5.284). Como accesorios se identifican granos de turmalina (1%) y restos de yeso. La morfología de los granos varía entre subredondeada y redondeada y en cuanto a la granulometría, se diferencia un conjunto minoritario de granos con tamaños grava muy fina (2-4 mm) y otra población con tamaños que varían de arena gruesa a arena fina (0,125-1mm). En la fracción fina (3 %), con tamaño de grano limo-arcilla (< 62,5  $\mu\text{m}$ ), abunda los minerales arcillosos. También se identifican restos de carbón y granos de moscovita, además de algún resto de organismos. En el residuo insoluble de la muestra SML39, dentro de la fracción gruesa (95 %), se distinguen: granos de cuarzo (54%), fragmentos de carbón (40%) y restos cerámicos (1%) (Fig. 5.285). Como accesorios (<1%) se identifican: granos de turmalina, feldespatos y algún grano de microclina. La morfología de los granos varía de subredondeada a redondeada pero los fragmentos de carbón son más angulosos. Respecto a la distribución de tamaños predomina el tamaño arena muy gruesa-arena fina (1,5 - 0,125 mm). En la fracción fina (5 %), con un tamaño de grano limo-arcilla (< 62,5  $\mu\text{m}$ ) abundan los fragmentos de carbón y los minerales arcillosos. Su composición mineralógica es muy similar. Los minerales detectados por difracción de rayos X en proporciones superiores al 1,5% han sido: calcita, cuarzo y moscovita (Figs. 5.286 a 5.287). Ambas muestras tienen dosificación 1:4 y similar composición mineralógica.

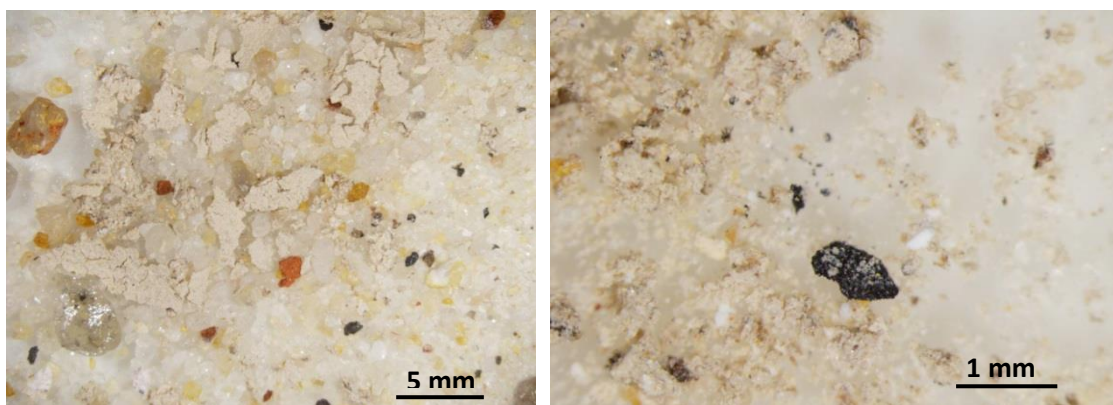


Figura 5.284.- Aspecto general y detalle del residuo insoluble del mortero SML30. Además de la presenta mayoritaria de cuarzo, se identifican escasos fragmentos cerámicos y granos de carbón. Los minerales arcillosos engloban a los granos de tamaño limo.

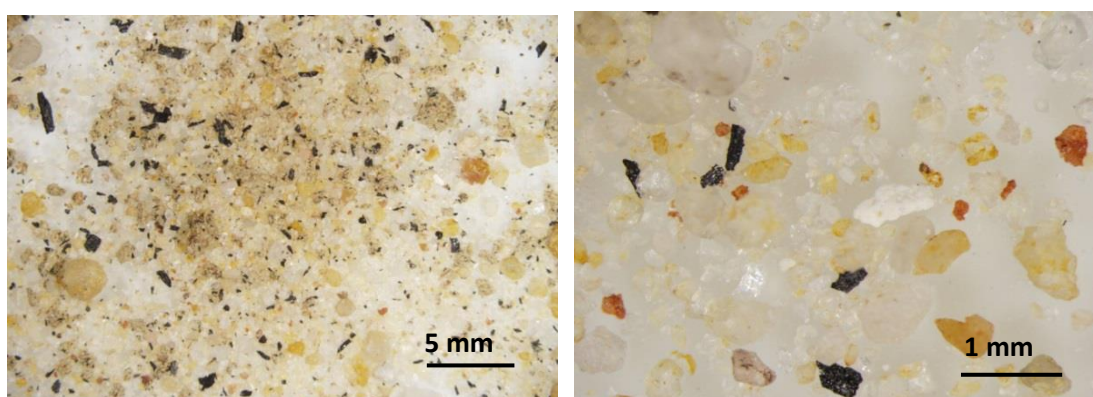


Figura 5.285.- Aspecto general y detalle del árido presente en el residuo insoluble del mortero SML39. Además de la presenta mayoritaria de cuarzo, se identifican fragmentos cerámicos, granos de carbón y algún feldespato de color blanco.

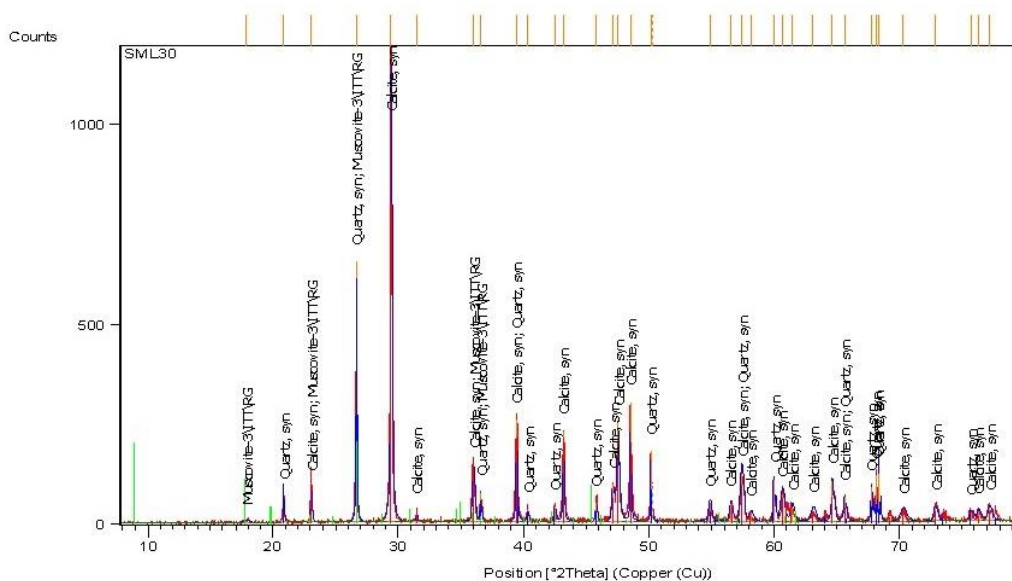


Figura 5.286.- Difractograma de la muestra de mortero de juntas SML30. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y moscovita [ $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ].



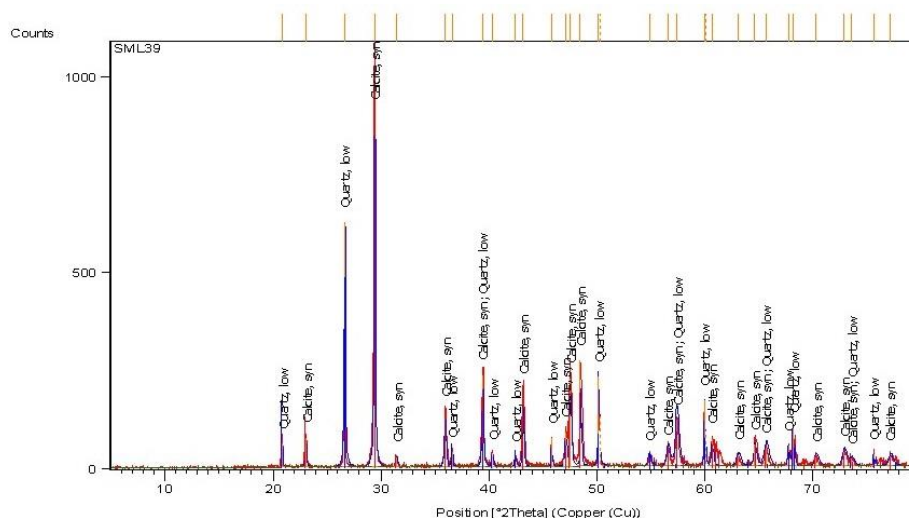


Figura 5.287.- Difractograma de la muestra de mortero de juntas SML39. Los minerales detectados han sido: calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) y cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ).

### Muestra SML36

El aspecto macroscópico de la muestra de mortero «in situ» y su punto de extracción puede observarse en la figura 5.288. Se trata de un mortero de fábrica que liga la mampostería del muro de la fachada este. Este mortero ha sido descubierto al eliminar unos parches de cemento que rellenaban una fisura longitudinal, localizada en el muro exterior del ábside. Macroscópicamente, se trata de un mortero homogéneo y muy deleznable, donde a simple vista se identifican granos de cuarzo y abundantes fragmentos de carbón de gran tamaño, englobados en una masa aglomerante de tonos pardo–amarillentos. Corresponde al mismo mortero recogido en el interior del edificio y descrito anteriormente como Tipo V o mortero del ábside.



Figura 5.288.- Punto de extracción y aspecto «in situ» del mortero SML36. El mortero de fábrica de color pardo presenta abundantes fragmentos de carbón.

Mediante ataque químico se ha determinado una relación árido-matriz de 2:1. Microscópicamente en la fracción gruesa (80%) del residuo insoluble se identifican: granos de cuarzo (69%), fragmentos de carbón (10%) y granos de microclina (1%), (Figs. 5.289). Como accesorios se identifican granos de turmalina (<1%). La morfología de los granos varía entre subredondeada y redondeada pero los fragmentos de carbón son más angulosos. La granulometría varía entre grava muy fina-arena muy gruesa (2 - 4 mm) y arena muy gruesa-arena fina (0,125 - 2 mm), aunque se observan algunos granos con tamaños mayores a 5 mm. En la fracción fina, con tamaño de grano limo-arcilla (<62,5 µm), se observa una composición similar a la de la fracción gruesa, con predominio de minerales arcillosos. También se identifican abundantes restos de carbón vegetal y algún grano de moscovita. El análisis difractográfico indica que el mortero está compuesto por cuarzo y calcita (Fig. 5.290)



Figura 5.289.- Detalles de la fracción gruesa y fina del residuo insoluble de la muestra SML36. Los minerales identificados han sido cuarzo, microclina, carbón y arcillas.

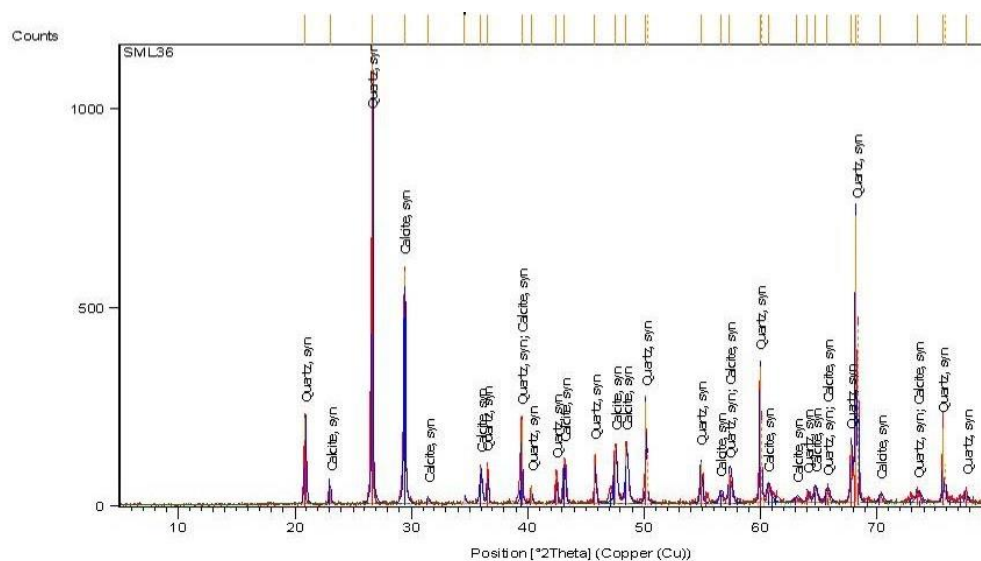


Figura 5.290.- Difractograma de la muestra de mortero de relleno de muro SML36. Los minerales detectados por difracción de rayos X han sido: cuarzo (SiO<sub>2</sub>) y calcita (CO<sub>3</sub>Ca).

### Muestras SML43, SML44, SML45, SML46 y SML47

La localización de las muestras se presenta en las figuras 5.291 a 5.292. Corresponden a morteros de juntas recogidos en las fachadas oeste, norte y sur. Los morteros SML43, SML44 y SML45 son mineralógicamente iguales, formados por calcita y cuarzo (Figs. 5.293 a 5.295), siendo las dosificaciones árido-matriz obtenidas de 1: 2 para las muestras SML43 y SML44, y 1:3 para la muestra SML45. Los morteros SML 46 y SML47 presentan igual composición mineralógica (Figs. 5.296 a 5.297) pero con dosificaciones árido-matriz diferentes; 2:1 para la muestra SML46 y 1:2 para la muestra SML47.

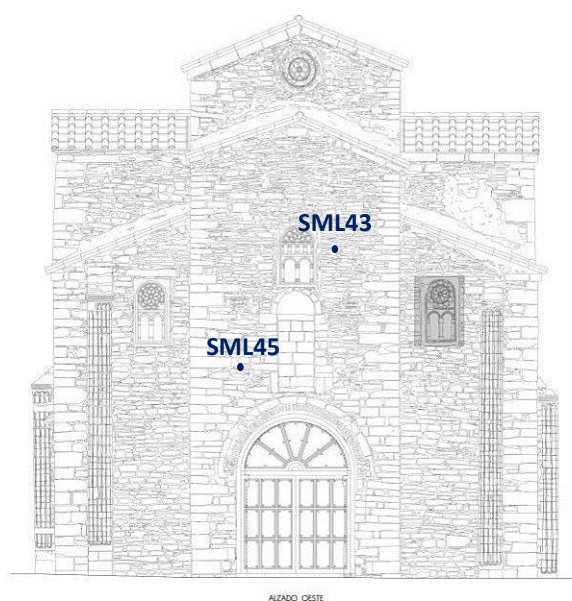


Figura 5.291.- Localización de dos morteros de juntas de la fachada oeste.

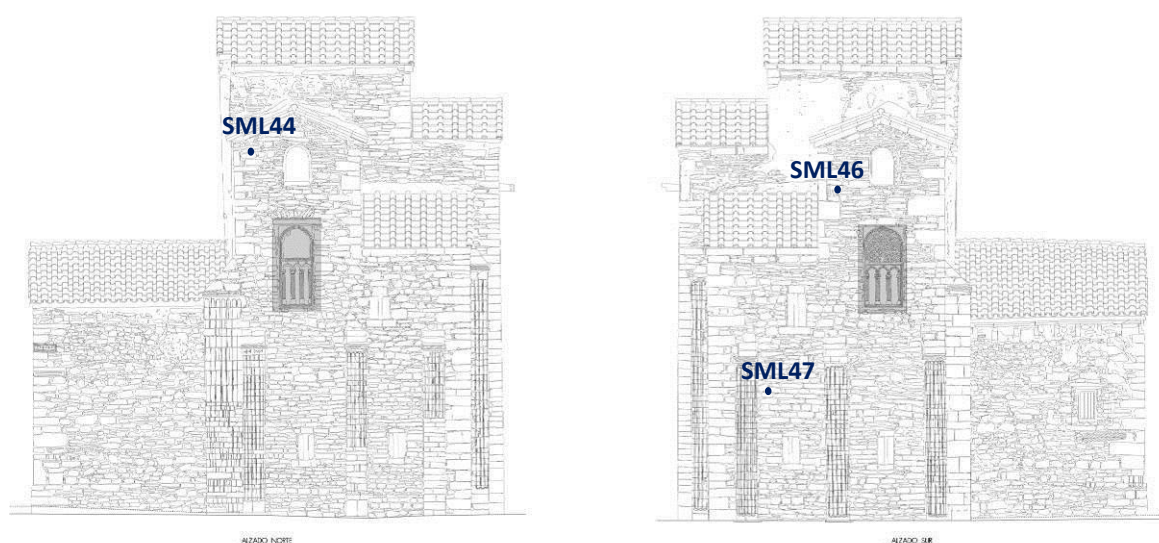


Figura 5.292.- Localización sobre alzados de Lorenzo Árias de las muestras de mortero recogidas por indicaciones del Servicio de Patrimonio de la Consejería de Cultura del Principado de Asturias.

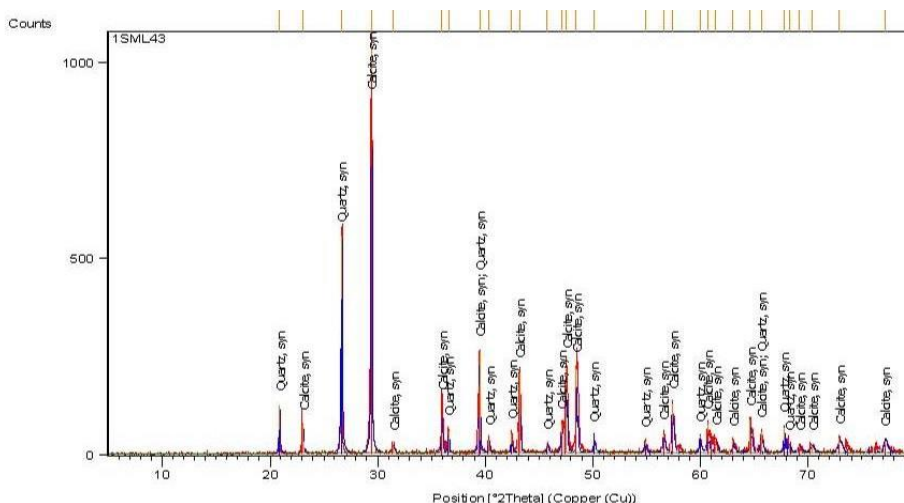


Figura 5.293.- Difractograma de la muestra de mortero SML43. Los minerales detectados por difracción de rayos X han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

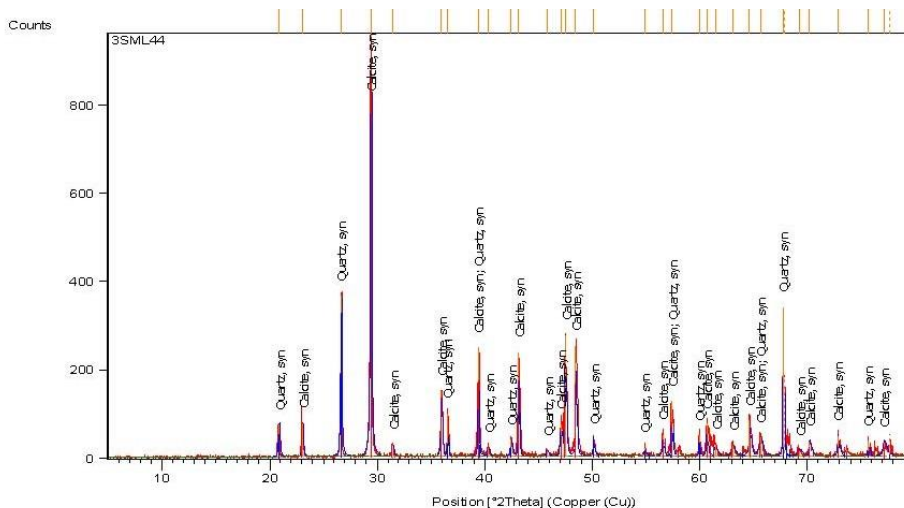


Figura 5.294.- Difractograma de la muestra de mortero SML44. Los minerales detectados por difracción de rayos X han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

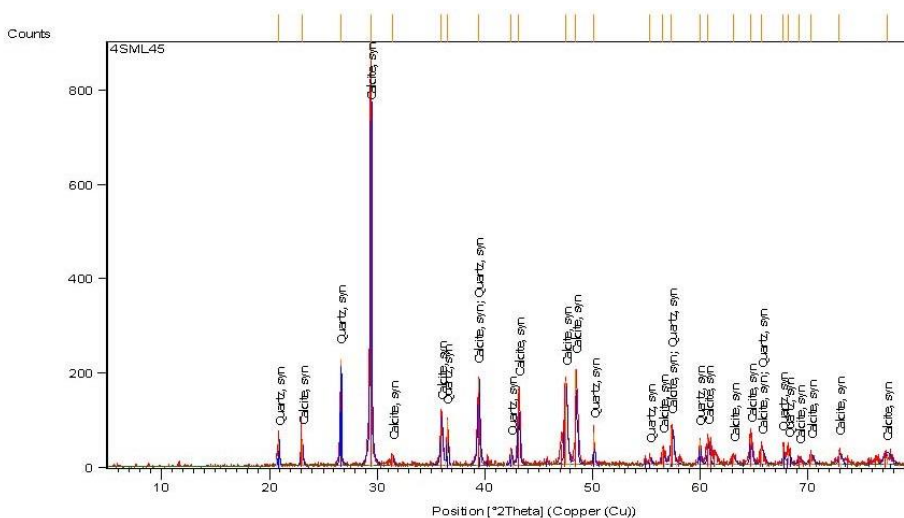


Figura 5.295.- Difractograma de la muestra de mortero SML45. Los minerales detectados por difracción de rayos X han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) y calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

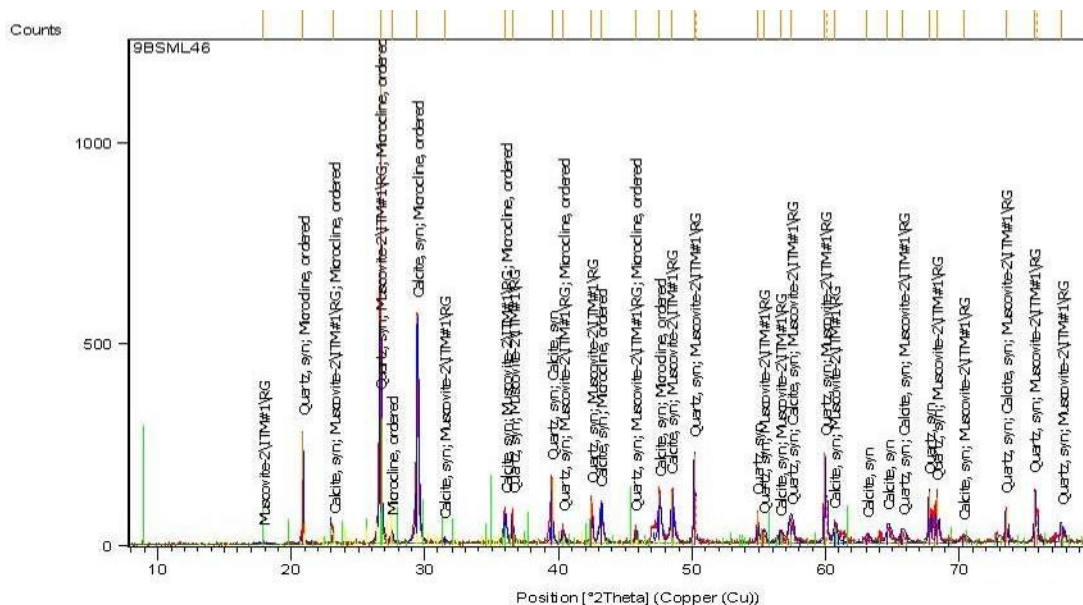


Figura 5.296.- Difractograma de la muestra de mortero SML46. Los minerales detectados por difracción de rayos X han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), moscovita ( $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ) y microclina ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ).

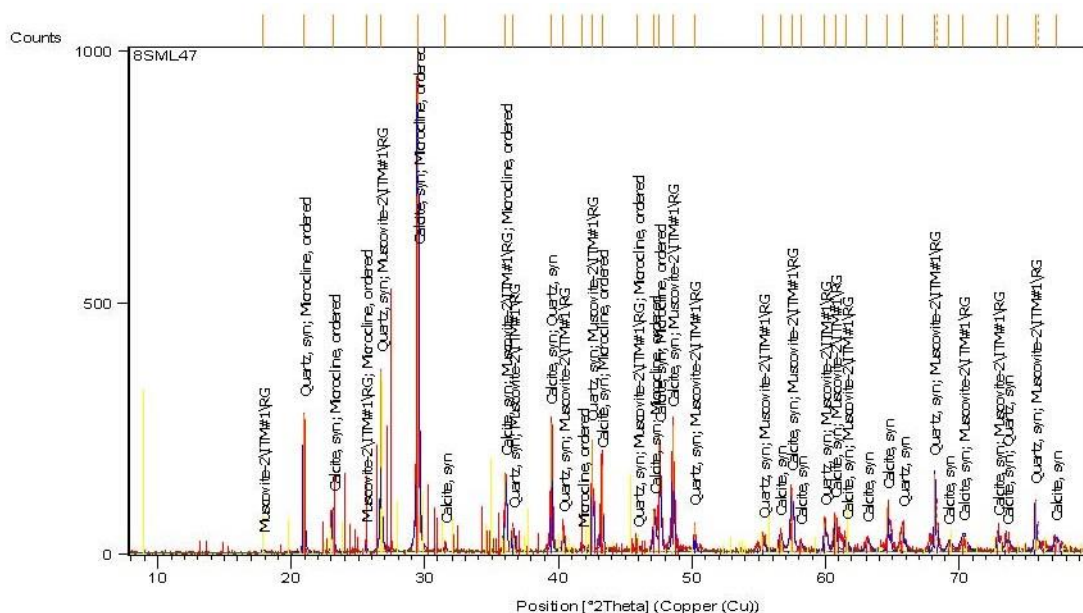


Figura 5.297.- Difractograma de la muestra de mortero SML47. Los minerales detectados por difracción de rayos X han sido: cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), moscovita ( $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ) y microclina ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ).

En las tablas 5.14A y 5.14B se presenta un resumen comparativo de los morteros estudiados, recogidos tanto en el interior como en el exterior del edificio. En el capítulo siguiente se interpreta los resultados obtenidos que se integrarán con los relativos a la pintura mural.

Tabla 5.14A.- San Miguel de Lillo: Resumen comparativo de los morteros del interior.

Tipo	Muestras	Descripción	Composición mineralógica (> 1,5%)	Componentes accesorios	Dosificación árido/matriz	RI* Fg/Ff	Tamaño fracción gruesa	Moda árido
I	HLSLE2, MRM	Mortero de juntas entre mampostería	Cuarzo, calcita y microclina	Madera, hematites, fibras vegetales, turmalina, moscovita y nódulos de cal	1:1	6:1	65 µm – 1000 µm 70 µm – 2000 µm	400 µm 800 µm
I	BT1, BT2, CENLO1, CESLO2, HLSLE1, HLSLE3, NC1, NCLO1, NCLO2, NCLO3, NCLO4, NCLS1, NNB1, NNLE1,>NNLN1,>NNLS1, NSLO1, NSLO2, NSLO3 y NSLS1	Revoco de bóveda de la tribuna, y paramentos de habitaciones laterales, cajas de escalera y nave central	Cuarzo, calcita y microclina	Madera, fibras vegetales, hematites, moscovita y nódulos de cal	1:1 2:1	16:1 44:1	120 µm – 2 mm 90 µm – 2500 µm	700 µm 900 µm
III	BP, BP1, BP2, BP3, BP4; NCLO5 y NCLO6	Revoco de la bóveda del pórtico	Cuarzo, calcita	Turmalina, moscovita, carbón, fragmentos cerámicos y fragmentos carbonatados	1:1	7:1	70 µm – 2200 µm	900 µm
IV	ALN8, ALS1, ALS2B, ALS5, ALS6, BT4, HLNLE1, HLNLE2, NCLN2, NSLE2, TLO1 y TLO2	Revoco de reposición en varias localizaciones del edificio (paramentos del ábside, bóveda de la tribuna, habitación lateral norte, nave central y nave sur)	Cuarzo, calcita	Hematites, turmalina, moscovita carbón, restos vegetales y fragmentos carbonatados	3:1	7:1	250 µm – 1000 µm 40 µm – 2000 µm	600 µm
V	AB, ABN1, ALE1, ALN2, ALS4, AB1, AB2 ALS2A, NCLE1, NCLE2, NCLE3, NCLE4, NCLN3	Mortero de fábrica y revoco del ábside (bóveda y paramentos) y paramentos de nave central	Cuarzo, calcita y microclina	Hematites, turmalina, moscovita, carbón, restos vegetales	4:1 2:1 1:1	4:1 10:1 10:1	10 µm – 1500 µm 100 µm – 2000 µm	500 µm
VI	NSLE1, NSLE3 y ALS6	Mortero de juntas del paramento este de nave sur	Cuarzo, calcita	Hematites, turmalina, moscovita, fibras vegetales	4:1	5:1	120 µm – 1200 µm	500 µm
VII	NCLE1 y CESLO1	Escayola	Yeso					

Tabla 5.14B.- San Miguel de Lillo: Resumen comparativo de los morteros del exterior

Muestras	Descripción	Composición mineralógica (> 1,5%)	Componentes accesorios	Dosificación árido/matriz	Ri <sup>k</sup> Fg/Ff	Tamaño fracción gruesa	Moda árido
SML30 y SML39	Mortero de juntas, fachada oeste	Calcita, cuarzo y moscovita	Fragmentos cerámicos, carbón, turmalina, feldespatos y moscovita	1:4	19:1	125 µm – 1000 µm 1000 µm – 2000 µm	700 µm
SML36	Mortero de juntas fachada este	Cuarzo, calcita	Carbón, microclina y moscovita	2:1	32:1	125 µm – 1000 µm 2000 µm – 4000 µm	600 µm
SML43	Mortero de juntas, fachada oeste	Calcita y cuarzo	Moscovita, microclina y carbón	1:2			
SML45	Mortero de juntas, fachada oeste	Calcita y cuarzo	Moscovita, microclina y carbón	1:3			
SML44	Mortero de juntas, fachada norte	Calcita y cuarzo	Moscovita, microclina y carbón	1:2			
SML46	Mortero de juntas, fachada sur	Cuarzo, calcita, moscovita y microclina	Carbón	2:1			
SML47	Mortero de juntas, fachada sur	Cuarzo, calcita, moscovita y microclina	Carbón	1:2			

### **5.5.1.2.- PINTURA MURAL**

En las tablas 5.15 a 5.22 se presenta la referencia de las micromuestras analizadas con su localización y orientación, acompañada de las micrografías correspondientes a la superficie externa y a sus secciones estratigráficas. Las muestras aparecen asociadas agrupadas según procedan de:

- Cajas de escalera
- Habitaciones laterales
- Bóveda del pórtico
- Bóveda de la tribuna
- Nave sur
- Nave norte
- Nave central
- Ábside

En las figuras 5.298 a 5.311 se presentan varias imágenes correspondientes al pórtico, a las cajas de escalera, a la tribuna, a las habitaciones laterales, a las naves (sur, norte y central) y al ábside.



Figura 5.298.- Arriba: Cajas de escalera de acceso a la Tribuna. Abajo: Aspecto general de Pórtico y Tribuna, desde la nave Central.





Figura 5.299.- Habitaciones laterales, bóveda pórtico y tribuna.

Tabla 5.15.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en las *cajas de escalera*.

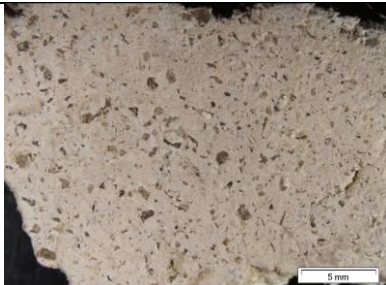





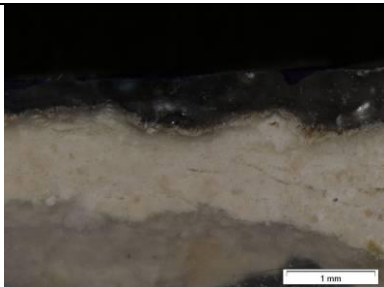
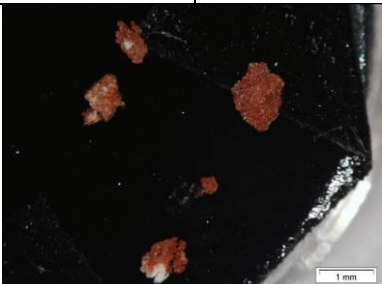
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
CENLO1	Cuerpo Occidental	Caja escalera Norte, lateral oeste
		
CESLO1	Cuerpo Occidental	Caja escalera Sur, lateral oeste
		
CESLO2	Cuerpo Occidental	Caja escalera Sur, lateral oeste
		
CSLO1	Cuerpo Occidental	Caja escalera Sur-Celosía, lateral oeste
		
CSLO2	Cuerpo Occidental	Caja escalera Sur-Celosía, lateral oeste
		

Tabla 5.16.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en las *habitaciones laterales*.







REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
HLNLE1	Cuerpo Occidental	Habitación Norte, lateral este
		
HLSLE1	Cuerpo Occidental	Habitación Sur, lateral este
		
HLSLE3	Cuerpo Occidental	Habitación Sur, lateral este
		



Figura 5.300.- Aspecto macroscópico «in situ» del mortero recogido en la habitación lateral sur.

Tabla 5.17.-San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda del pórtico.


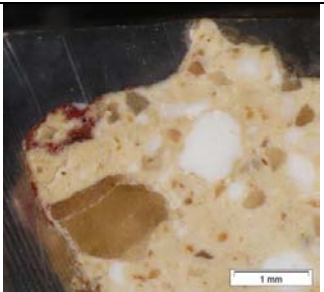



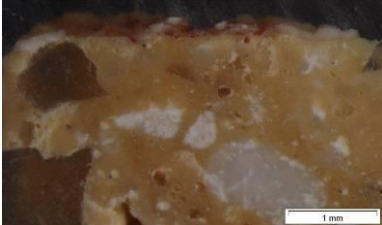



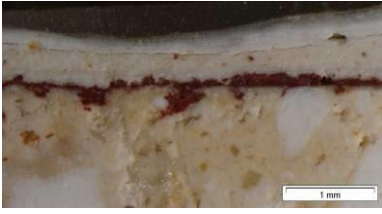
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
BP	Cuerpo Occidental	Bóveda pórtico
		
BP1	Cuerpo Occidental	Bóveda pórtico
		
BP2	Cuerpo Occidental	Bóveda pórtico
		
BP3	Cuerpo Occidental	Bóveda pórtico
		
BP4	Cuerpo Occidental	Bóveda pórtico
		

Tabla 5.18.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda de la tribuna.




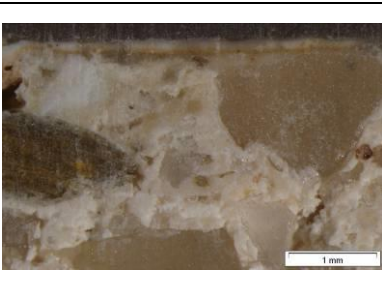

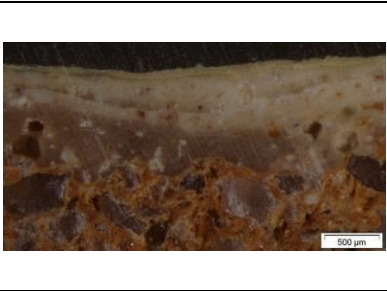
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
BT1	Cuerpo Occidental	Bóveda Tribuna
		
BT2	Cuerpo Occidental	Bóveda Tribuna
		
BT4	Cuerpo Occidental	Bóveda Tribuna
		



Figura 5.301.- Detalles de la bóveda del pórtico (izquierda) y de la tribuna (derecha).

Tabla 5.19A.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral este de la nave sur.




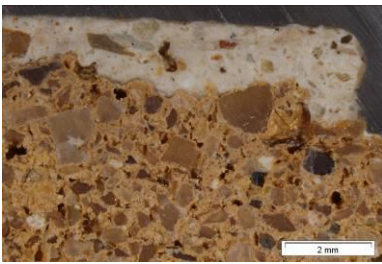







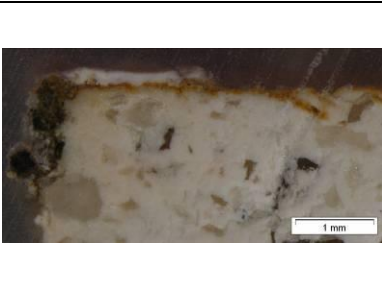

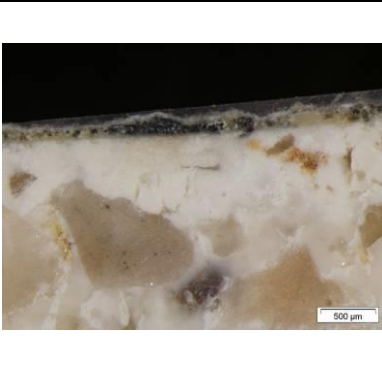

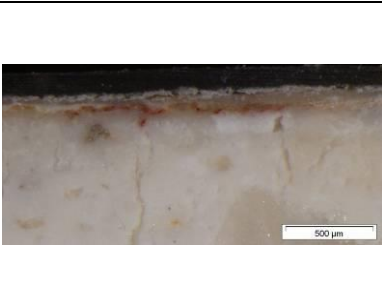
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
NSLE1	Nave Sur	Lateral Este
		
NSLE2	Nave Sur	Lateral Este
		
NSLE4	Nave Sur	Lateral Este
		
NSLE5	Nave Sur	Lateral Este
		



Figura 5.302.- Nave sur.

Tabla 5.19B.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras, recogidas en el lateral oeste de la nave sur.

REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
NSLO1	Nave Sur	Lateral Oeste
		
NSLO2	Nave Sur	Lateral Oeste
		
NSLO3	Nave Sur	Lateral Oeste
		
NSLS1	Nave Sur	Ventana del lateral Sur
		

En las figuras 5.302 a 5.306 se presentan imágenes de las naves norte y sur con su decoración pictórica.

Tabla 5.20.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la nave norte.



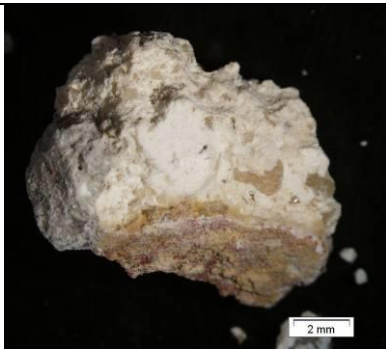
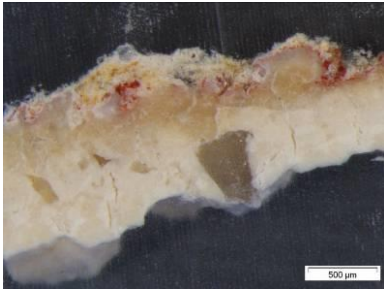




REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
NNB1	Nave Norte	Bóveda
		
NNLN1	Nave Norte	Paramento Norte
		
NNLS1	Nave Norte	Lateral Sur
		
RCN1	Nave Norte	Columna
		
RRN1	Nave Norte	Relieve
		





Figura 5.303.- San Miguel de Lillo. Naves norte y sur.



Figura 5.304.- San Miguel de Lillo. Nave sur.



Figura 5.305.- San Miguel de Lillo. Nave sur, lateral este.



Figura 5.306.- San Miguel de Lillo. Nave norte.

Tabla 5.21A.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras, recogidas en la bóveda y lateral norte de *nave central*.


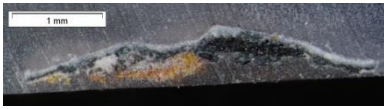












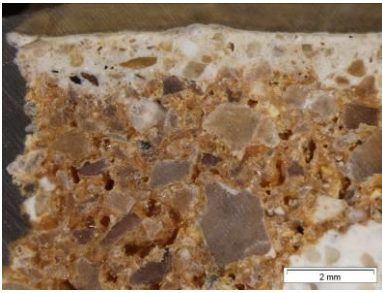
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
BNC1	Nave Central	Bóveda
		
BNCS1	Nave Central	Bóveda Sur
		
NC1	Nave Central	Bóveda
		
NCLN1	Nave Central	Lateral Norte
		
NCLN2	Nave Central	Lateral Norte
		
NCLN3	Nave Central	Lateral Norte
		

Tabla 5.21B.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral sur de la nave central.

REFERENCIA	LOCALIZACIÓN		ORIENTACIÓN	
	Nave Central		Lateral Sur	
NCLS1				
NCLS2	Nave Central		Lateral Sur	
				

Algunas imágenes de la nave central se presentan en las figuras 5.307 y 5.308.



Figura 5.307.- San Miguel de Lillo. Nave central.

Tabla 5.21C.- San Miguel de Lillo. Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral este de la *nave central*.






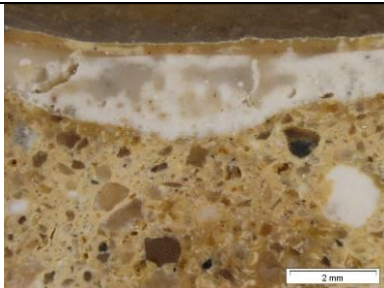

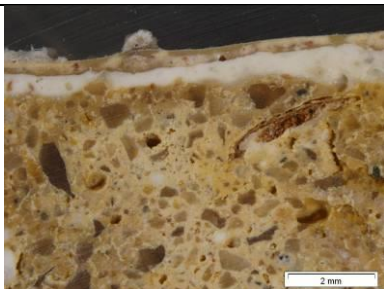


REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
NCLE1A	Nave Central	Lateral Este
		
NCLE1B	Nave Central	Lateral Este
		
NCLE2	Nave Central	Lateral Este
		
NCLE3	Nave Central	Lateral Este
		
NCLE4	Nave Central	Lateral Este
		

Tabla 5.21D.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto superficial y en sección estratigráfica de las muestras recogidas en el lateral oeste de la nave central.





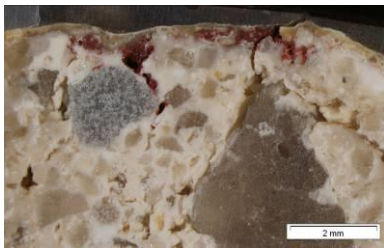



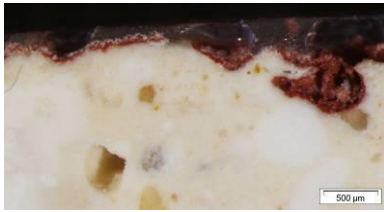
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
NCLO1	Nave Central	Lateral Oeste
		
NCLO2	Nave Central	Lateral Oeste
		
NCLO3	Nave Central	Lateral Oeste
		
NCLO4	Nave Central	Lateral Oeste
		
NCLO6	Nave Central	Lateral Oeste
		

Tabla 5.21E.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral oeste de la nave central.

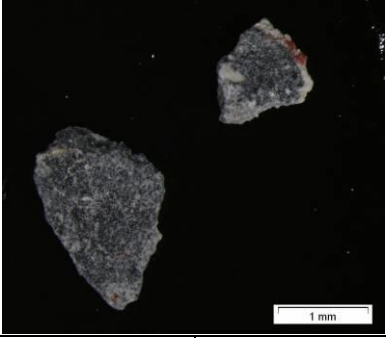



REFERENCIA	LOCALIZACIÓN		ORIENTACIÓN	
	Nave Central		Lateral Oeste	
NCLO7				
NCLO8	Nave Central		Lateral Oeste	
				



Figura 5.308.- San Miguel de Lillo. Nave central.

Tabla 5.22A.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda del *ábside*.


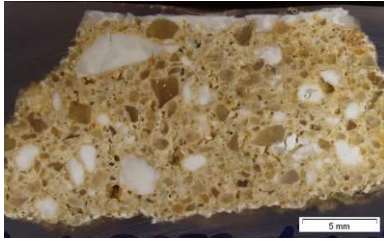
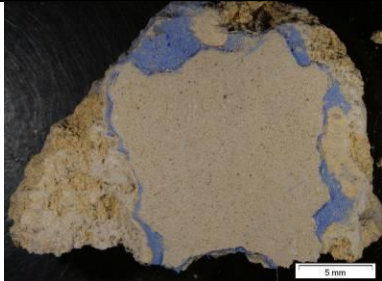
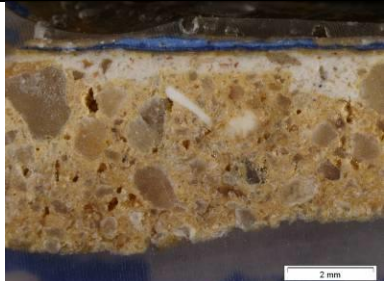
REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
AB1	Ábside	Bóveda cumbreira
		
AB2	Ábside	Bóveda cumbreira
		



Figura 5.309.- San Miguel de Lillo. Bóveda ábside



Tabla 5.22B.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda y en el lateral norte del *ábside*.



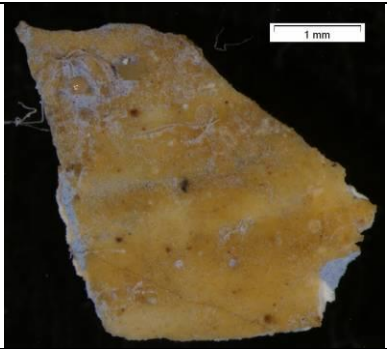

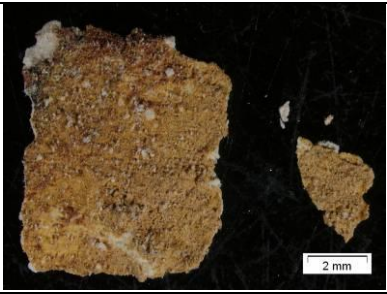


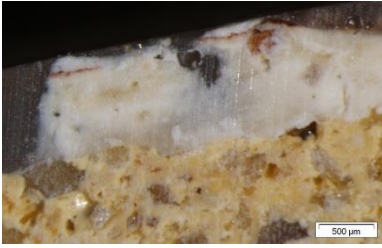



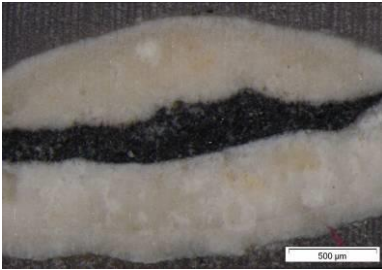
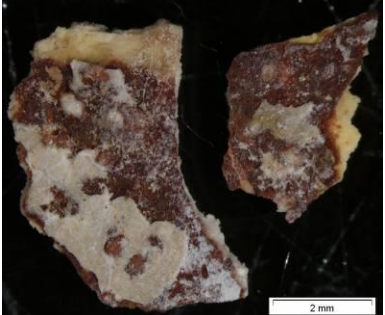




REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
ABN1	Ábside	Bóveda Norte
		
ABN2	Ábside	Bóveda Norte
		
ALN1	Ábside	Lateral Norte
		
ALN2	Ábside	Lateral Norte
		
ALN3	Ábside	Lateral Norte
		

Tabla 5.22C.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral norte del *ábside*.

REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
ALN4	Ábside	Lateral Norte
		
ALN5	Ábside	Lateral Norte
		
ALN6	Ábside	Lateral Norte
		
ALN7	Ábside	Lateral Norte
		

En las figuras 5.310 a 5.311 se puede observar la bóveda del ábside, los laterales norte y sur y el testero.

Tabla 5.22D.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral norte y sur del *ábside*.


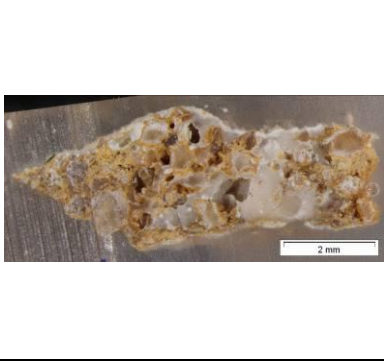



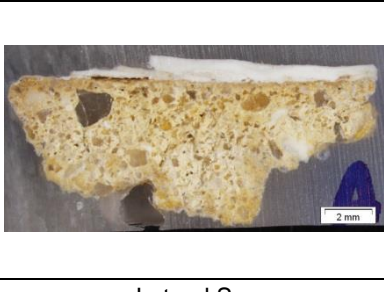




REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
ALN8	Ábside	Lateral Norte
		
ALS1	Ábside	Lateral Sur
		
ALS3	Ábside	Lateral Sur
		
ALS4	Ábside	Lateral Sur
		
ALS5	Ábside	Lateral Sur
		

Tabla 5.22E.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral sur y este del *ábside*.

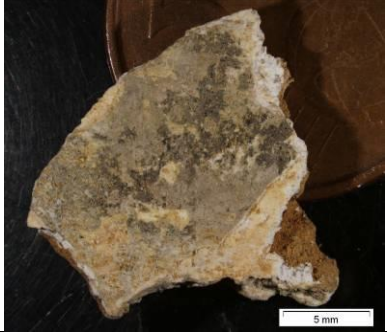
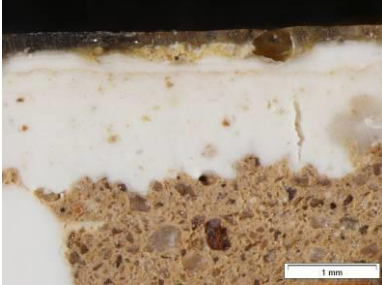






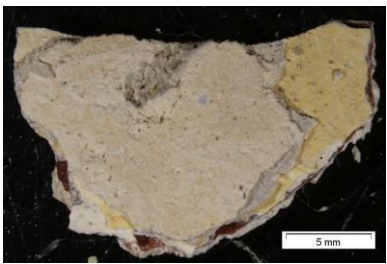

REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ORIENTACIÓN
ALS6	Ábside	Lateral Sur
		
ALS2A	Ábside	Lateral Sur
		
ALS2B	Ábside	Lateral Sur
		
ALE2	Ábside	Lateral Este
		
ALE3	Ábside	Lateral Este
		



Figura 5.310.- San Miguel de Lillo. Bóveda y lateral norte ábside (arriba) y esquina noreste del ábside (abajo).



Figura 5.311.- San Miguel de Lillo. Lateral sur del ábside y encuentro con la nave sur.

### *Secuencia estratigráfica*

El análisis composicional y textural de la pintura mural se ha realizado en diferentes fases, utilizando para ello una combinación de técnicas. Tras el análisis macroscópico de la superficie, el estudio ha continuado con la observación mediante microscopía estereoscópica y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX), obteniéndose información sobre la textura, morfología, espesor, disposición y composición química elemental de la secuencia estratigráfica constituyente de la capa pictórica. En las tablas 5.23 a 5.29 se resume la secuencia estratigráfica de cada una de las micromuestras, deducidas a partir de los análisis morfoquímicos, la composición y el espesor de cada una de las capas con la correspondiente identificación de pigmentos y aglutinantes.

Tabla 5.23.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en las *cajas de escaleras sur y norte*.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
CESLO2	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	50
	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio y tierras (b.p.)	Pintura original altomedieval	20 – 60
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	2630
CENLO1	Recubrimiento	Grasas y suciedad	Prácticamente no existe yeso de neoformación	10
	Pintura rosa	Carbonato cálcico y sulfato de estroncio (b.p.)	Tinción superficial	20
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	10000
CSLO1	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	125
	Soporte pétreo	Dolomía	Piedra de Laspra	2500
CSLO2	Pintura roja	Ocre rojo aglutinado con yeso	Repinte. No conservan pintura original	-
	Soporte pétreo	Dolomía	Piedra de Laspra	-

Tabla 5.24.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en las *habitaciones laterales norte y sur*.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
HLNLE1	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	150
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	1500
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	50 - 150
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	15000
HLSLE1	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	60
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	100
	Capa de cal			30
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio y tierras naturales (m.b.p.)	Pintura original altomedieval	100
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	12500
HLSLE3	Recubrimiento	Suciedad con fosfatos (b.p.)	Pátina de suciedad	10
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.) y tierras naturales (m.b.p.)	Pintura original altomedieval	170
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	7400

Tabla 5.25.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en la bóveda del pórtico y de la tribuna.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
BP	Pintura roja	Carbonato cálcico y hematites	Pintura del pórtico. La pintura intruye en las fisuras del mortero	35
	Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición	12000
BP1	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	50
	Capa de cal			50
	Capa de cal			80
	Capa de cal			180
	Capa de cal			100
	Pintura roja	Carbonato cálcico y hematites	Pintura del pórtico. La pintura intruye en las fisuras del mortero	30
Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición	12000	
BP2	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	175
	Pintura roja	Carbonato cálcico y hematites	Pintura del pórtico. La pintura intruye en las fisuras del mortero	50
	Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición	9800
BP3	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)		120
	Pintura roja	Carbonato cálcico y hematites	Pintura del pórtico. La pintura intruye en las fisuras del mortero	27
	Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición	10700
BP4	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	45 - 50
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	75
	Capa de cal			150
	Capa de cal			300
	Pintura roja	Carbonato cálcico y hematites	Pintura del pórtico. La pintura intruye en las fisuras del mortero	120 - 180
Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición	11500	
BT1	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	20
	Pintura roja	Hematites aglutinado con yeso y sulfato de estroncio (m.b.p.)	Repinte. Se conservan restos de pintura original altomedieval	50
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	7400
BT2	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	150
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio y tierras naturales (m.b.p.)	Pintura original altomedieval	20 - 30
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	14300
BT4	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	85
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	260
	Capa de cal			175
	Capa de cal			350
	Mortero			Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)

Tabla 5.26.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral oeste, este y sur de la nave sur.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
NSLO1	Recubrimiento	Suciedad	Pátina de suciedad	50
	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (b.p.) y minio (b.p.)	Pintura original altomedieval con repinte de rojo de plomo	30 - 215
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	19500
NSLO2	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	175
	Pintura negra	Carbonato cálcico, negro carbón y sulfato de estroncio (b.p.)	Pintura original altomedieval, no afectada por el repinte, al hallarse en el lateral de la muestra	170
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio y amarillo de plomo (b.p.)	Pintura original altomedieval con repinte de amarillo de plomo	50 - 580
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	16300
NSLO3	Recubrimiento	Suciedad	Pátina de suciedad	50
	Pintura negra	Carbonato cálcico, negro carbón y sulfato de estroncio (b.p.)	Pintura original altomedieval	35 - 150
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	5700
NSLE1	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	545
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	230
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	290
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y fragmentos de roca (Tipo VI)	Mortero de reposición. Cierre diafragma (≤ 2ª mitad siglo XI – 2ª mitad siglo XII)	16400
NSLE2	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	50
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	190 - 3160
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	12350
NSLE3	Mortero	Cal, arena de cuarzo y fragmentos de roca (Tipo VI)	Mortero de reposición. Cierre diafragma (≤ 2ª mitad siglo XI – 2ª mitad siglo XII)	14200
NSLE4	Pintura ocre	Tierras naturales, carbonato cálcico (b.p.) y hematites (m.b.p.)	Sobre columna sur de la nave central	10 - 215
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	100
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	50
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	90
NSLE5	Pintura ocre	Tierras naturales, carbonato cálcico (b.p.) y hematites (m.b.p.)	Sobre mampuestos de fábrica del cierre del arco diafragma sur	15 – 65
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	430
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	230
NSLS1	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	40
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	32
	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (b.p.) y minio (b.p.)	Pintura original altomedieval con repinte de rojo de plomo	16
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	675



Tabla 5.27.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en la bóveda norte, lateral norte, lateral sur, columnas y relieves de la nave norte.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
NNB1	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	25
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	100
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	80
	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.), hematites y minio (b.p.)	Pintura original altomedieval con dos repintes, el primero de ocre rojo y el segundo de rojo de plomo	10 - 65
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.), hematites y amarillo de plomo (b.p.)	Pintura original altomedieval con dos repintes; el primero de ocre amarillo y el segundo de amarillo de plomo	10 - 80
	Pintura negra	Carbonato cálcico, negro carbón y sulfato de estroncio (b.p.)	Pintura original altomedieval	25 - 300
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	3400
NNLN1	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	10 - 230
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico (b.p.), sulfato de estroncio (m.b.p.), tierras naturales y hematites	Pintura original altomedieval con repinte de ocre amarillo	65 - 230
	Pintura roja	Carbonato cálcico (b.p.), sulfato de estroncio (m.b.p.) y hematites	Pintura original altomedieval con repinte de ocre rojo	10 - 65
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	5400
NNLS1	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	-
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.), hematites y amarillo de plomo (b.p.)	Pintura original altomedieval con dos repintes; el primero de ocre amarillo y el segundo de amarillo de plomo	-
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	-
RCN1	Recubrimiento	Suciedad	Pátina de suciedad	50
	Pintura ocre	Tierras naturales, carbonato cálcico (b.p.) y hematites (m.b.p.)	Sobre columna nave norte	105
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	160
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	80
RRN1	Pintura ocre	Tierras naturales, carbonato cálcico (b.p.) y hematites (m.b.p.)	Sobre relieves nave norte	-
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	-
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	-

Tabla 5.28A.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en la bóveda y en el lateral sur de la nave central.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
BNC1	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	125
	Pintura negra	Carbonato cálcico, negro carbón y sulfato de estroncio (b.p.)	Pintura original altomedieval	30 – 160
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.), tierras naturales y amarillo de plomo (b.p.)	Lentejones de pintura original altomedieval con dos repintes; el primero de tierras naturales y el segundo de amarillo de plomo	0 - 240
	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.), tierra roja y minio (b.p.)	Lentejones de pintura original altomedieval con dos repintes, el primero de tierras rojas y el segundo de rojo de plomo.	
BNCS1	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, tierras naturales y amarillo de plomo (m.b.p.)	Repintes sucesivos de tierras naturales y amarillo de plomo	70
	Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición del pórtico	6700
NC1	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Restos de encalado	65
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio y tierras naturales (m.b.p.)	Pintura original altomedieval	85
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	11500
NCLS1	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (m.b.p.), tierra roja y minio (b.p.)	Restos de pintura original altomedieval con dos repintes, el primero de tierra roja y el segundo de rojo de plomo	-
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (b.p.), tierras naturales y amarillo de plomo (b.p.)	Pintura original altomedieval con dos repintes; el primero de tierras naturales y el segundo de amarillo de plomo	-
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	-
NCLS2	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	80
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	1160
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851. Este mortero lleva inclusiones del revoco altomedieval (tipo II)	12500

Tabla 5.28B.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral oeste y norte de la nave central.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
NCLO1	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	5
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (b.p.) y tierras naturales (m.b.p.)	Restos de pintura original altomedieval.	5 - 80
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	3700
NCLO2	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (b.p.) y tierras naturales (m.b.p.)	Restos de pintura original altomedieval.	-
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	-
NCLO3	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	65
	Pintura roja	Carbonato cálcico, sulfato de estroncio (b.p.) y hematites	Pintura original altomedieval con repinte de ocre rojo, igual que en el pórtico.	295
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	8700
NCLO4	Pintura amarilla	Carbonato cálcico y tierras naturales	Repinte <i>al seco</i>	40
	Mortero	Cal y arena de cuarzo (Tipo II)	Soporte pintura altomedieval (revoco)	9800
NCLO6	Recubrimiento	Carbonato cálcico - magnésico	Carbonatación superficial	15
	Pintura roja	Carbonato cálcico y hematites	Pintura original altomedieval con repinte de ocre rojo, igual que en el pórtico.	50 - 150
	Mortero	Cal, árido carbonatado y silíceo (tipo III)	Mortero de reposición del pórtico	7150
NCLO7	Pintura negra	Carbonato cálcico, negro carbón y sulfato de estroncio (b.p.)	Pintura original altomedieval <i>al seco</i>	-
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	-
NCLO8	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	1100
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	1900
NCLN1	Capa de cal	Capa de cal con tierras naturales	Capa pictórica de color ocre	210
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	450
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	2000
NCLN2	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Restos de pintura blanca orgánica	170
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	170
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	260
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	13500
NCLN3	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	110
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Restos de pintura blanca orgánica	550
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	11800

Tabla 5.28C.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral este de la nave central.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
NCLE1B	Recubrimiento	Carbonato cálcico (calcita) y sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	-
	Mortero	Sulfato cálcico (yeso) y carbonato cálcico (b.p.) (tipo VII)	Mortero de reposición (escayola). Intervención siglo XX	-
NCLE1A	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	120
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	150
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	380
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	3900
NCLE2	Capa de cal	Carbonato cálcico y tierras naturales (b.p.)	Capa pictórica de color marfileño	170
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	1000 - 2000
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	17000
NCLE3	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Restos de pintura blanca orgánica	-
	Capa de cal	Carbonato cálcico y tierras naturales (b.p.)	Capa pictórica de color marfileño	415
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	1875
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	13000
NCLE4	Recubrimiento	Sulfato cálcico (yeso)	Pátina de neoformación	10
	Pintura roja	Carbonato cálcico, tierra roja (b.p.), hematites (m.b.p.) y minio	Pintura del ábside con repinte de ocre rojo y rojo de plomo	145
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	350
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	2400

Tabla 5.29A- Estratigrafías de las muestras localizadas en la bóveda del ábside.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
AB	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	25000
ABN1	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	105
	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Capa pictórica de color azul	295
	Capa de cal	Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color ocre	35
	Capa de cal en 2 manos	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	330
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	12300
ABN2	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Capa pictórica de color azul	60
	Capa de cal	Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color ocre	40
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	45
AB2	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	115
	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Capa pictórica de color azul	100
	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Capa pictórica de color azul	45
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color ocre	135
		Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color ocre	165
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	190 – 2600
Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	4750	
AB1	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Restos superficiales de la capa pictórica de color azul	-
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	220
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	90
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	480 – 960
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	12700

Tabla 5.29B.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías de las muestras localizadas en el lateral norte del ábside.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
ALN1	Pintura roja	Carbonato cálcico, tierra roja, hematites y minio	Pintura del ábside de tierra roja con dos repintes (de ocre rojo y de rojo de plomo)	35
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, tierras naturales, hematites y amarillo de plomo	Pintura del ábside de tierra natural con dos repintes (de ocre amarillo y de amarillo de plomo)	65
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	180
ALN2	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	120
	Pintura roja	Carbonato cálcico, tierra roja, hematites (m.b.p.) y minio	Restos de pintura del ábside de tierra roja con dos repintes (de ocre rojo y de rojo de plomo)	30
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	950
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	8200
ALN3	Pintura roja	Carbonato cálcico, tierra roja, hematites y minio	Pintura del ábside a base de tierra roja con dos repintes (de ocre rojo y de rojo de plomo)	12
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, tierras naturales hematites (b.p.)	Pintura del ábside a base de tierras naturales con repinte de ocre amarillo	5 – 115
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	140 - 700
ALN4	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	505
	Pintura negra	Carbonato cálcico y negro carbón	Capa pictórica de color negro	20 - 325
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	575
ALN5	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	20 - 100
	Pintura roja	Carbonato cálcico, hematites, tierra roja (b.p.) y minio	Pintura del ábside a base de tierra roja con dos repintes (de ocre rojo y de rojo de plomo)	15 - 125
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	230 – 540
		Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	275
ALN6	Recubrimiento	Carbonato cálcico (calcita)	Restos de encalado	-
	Pintura roja	Carbonato cálcico, hematites, tierra roja (b.p.) y minio	Pintura del ábside a base de tierra roja con dos repintes (de ocre rojo y de rojo de plomo)	-
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	-
ALN7	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	95
	Pintura amarilla	Carbonato cálcico, hematites, tierras naturales (b.p.) y amarillo de plomo	Pintura del ábside a base de tierras naturales con dos repintes (de ocre amarillo y de amarillo de plomo)	25
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	310
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	100 – 1030
	Pintura ocre	Capa de cal con tierras naturales	Capa pictórica de color ocre (pintura original del ábside)	60
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	370
ALN8	Recubrimiento	Materia orgánica	Pátina biológica	-
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	100
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	2750
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	100

Tabla 5.29C.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral sur del ábside.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
ALS1	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	110
	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Capa pictórica de color azul	115
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	75
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color ocre	145
		Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color ocre	220
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	15 – 360
Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	7800	
ALS2B	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	470
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	470 – 4250
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	5000
ALS2A	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	315
	Capa de cal en dos manos	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	525
		Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	130
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	105
Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside (	7400	
ALS3	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	660
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	242
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	303
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	181
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	7000
ALS4	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	100
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	1040 – 2700
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	5000
ALS5	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	510 - 3260
	Mortero	Cal, arena de cuarzo y óxidos de hierro (Tipo IV)	Mortero de reposición. Intervención 1850 – 1851	13250
ALS6	Pintura negra	Suciedad y carbono	Pátina de suciedad con trazado discontinuo de pintura negra en superficie	-
	Recubrimiento			
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Restos adheridos del mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	200
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	275
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	1400
Mortero	Cal, arena de cuarzo y fragmentos de roca (Tipo VI)	Mortero de reposición. Cierre diafragma	3125	

Tabla 5.29D.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral este del ábside.

Muestra	Estratigrafía	Composición / Pigmentos y aglutinantes	Comentarios	Espesor (µm)
ALE2	Pintura roja	Carbonato cálcico y tierra roja	Pintura del ábside a base de tierra roja	15 - 50
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	50
	Mortero	Cal, arena de cuarzo, granos de carbón y fragmentos de madera (tipo V)	Mortero del ábside. Reconstrucción del ábside	5200
ALE3	Recubrimiento	Capa de cal con tierras naturales	Recubrimiento superficial	130
	Pintura azul	Carbonato cálcico y azul ultramar	Nódulo de capa pictórica de color azul embutido en la capa infrayacente	215
	Capa de cal	Carbonato cálcico con tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica ocre	360
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Capa pictórica de color gris	145
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	200
	Capa de cal	Carbonato cálcico con tierras naturales (m.b.p.)	Capa pictórica de color amarillento	35 – 125
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	165
	Pintura blanca	Carbono, algo de carbonato cálcico y azufre (m.b.p.)	Pintura blanca orgánica	145
	Capa de cal	Carbonato cálcico y tierras naturales (b.p.)	Capa pictórica de color marfileño	120
	Pintura negra	Carbonato cálcico y negro carbón	Capa pictórica de color negro	10 – 235
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Encalado	380
	Pintura roja	Carbonato cálcico, hematites y tierra roja	Pintura del ábside, a base de tierra roja con repinte de ocre rojo	125
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	100
	Capa de cal	Carbonato cálcico (calcita)	Base de preparación	200
	Pintura ocre	Carbonato cálcico y tierras naturales (m.b.p.)	Restos de la capa pictórica de color ocre en la parte más interna de la muestra	-

### 5.5.1.3.- CAPAS PICTÓRICAS

Igual que ocurrió con los morteros, durante la intervención de 2011 de reposición de cubiertas, se aprovechó la existencia de andamios para supervisar el estado de conservación de los paramentos pétreos, de los morteros y de los restos pictóricos, conservados sobre algunos de los elementos pétreos (Figs. 5.312 a 5.317). En el caso de las ventanas caladas, protegidas con vidrios también se observan pequeños de recubrimientos pictóricos (Figs. 5.314 a 5.317). En estas zonas la presencia de los vidrios protectores ha impedido la toma de muestras así como su intervención. Cabe resaltar que ambas ventanas presentan un intenso grado de suciedad y además en el caso de la situada en la fachada oeste, labrada en piedra de Laspra, existen descamaciones y fisuras que ponen en



riesgo la integridad parcial de estas piezas. Cabe comentar que la solución protectora de los vidrios impide la correcta ventilación del edificio, a la vez que favorece el salpiqueo del agua hacia el interior y dificulta la observación de estas piezas, al cubrirse la superficie interna de una intensa pátina de verdín.

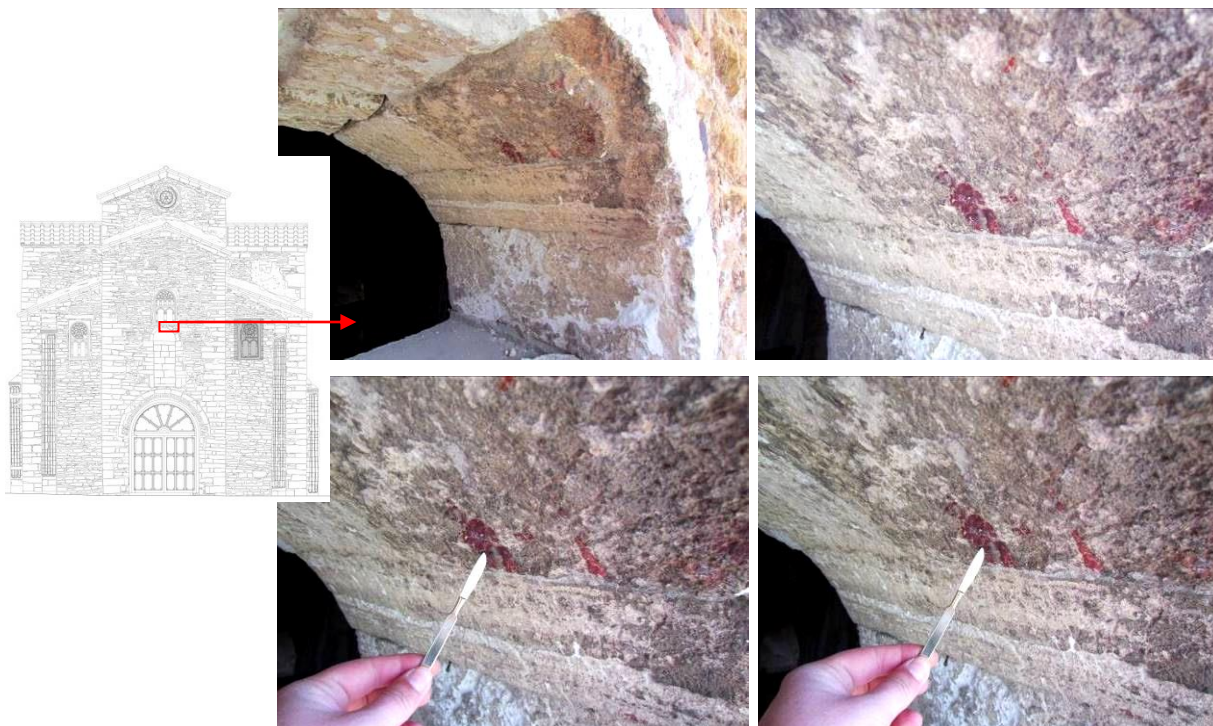


Figura 5.312.- Aspecto «in situ» de la muestra SML40 correspondiente a una capa pictórica de color rojo, localizada en el arco de acceso a la tribuna, en la fachada oeste.



Figura 5.313.- Aspecto «in situ» de la muestra SML41, localizada sobre un sillar de la fachada este.



Figura 5.314.- Aspecto «in situ» de la muestra SML42, localizada en la fachada sur.

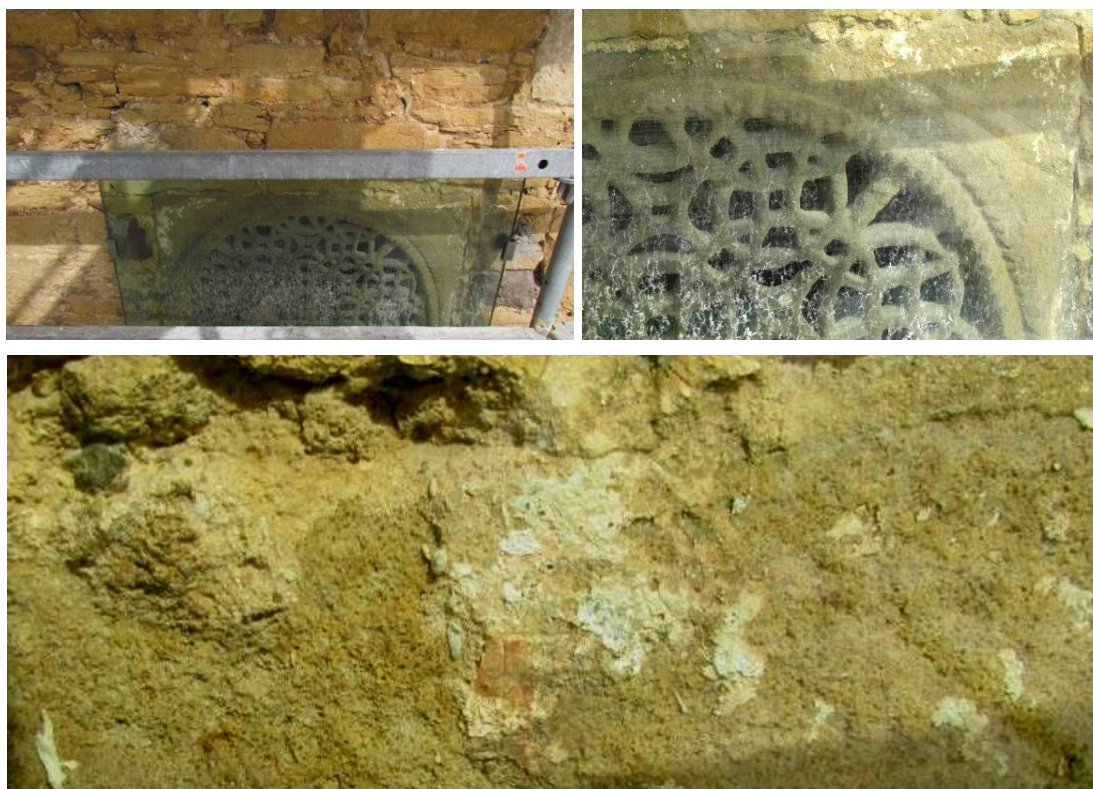


Figura 5.315.- General y detalles de la ventana calada de la fachada sur con restos pictóricos en superficie.



Figura 5.316.- Aspecto de la ventana, labrada en dolomía de Laspra, localizada en la fachada oeste. Además de la presencia de una pátina de ennegrecimiento, se intuye la existencia de restos de una pátina histórica de color asalmonado, aplicada sobre la superficie del sustrato pétreo.



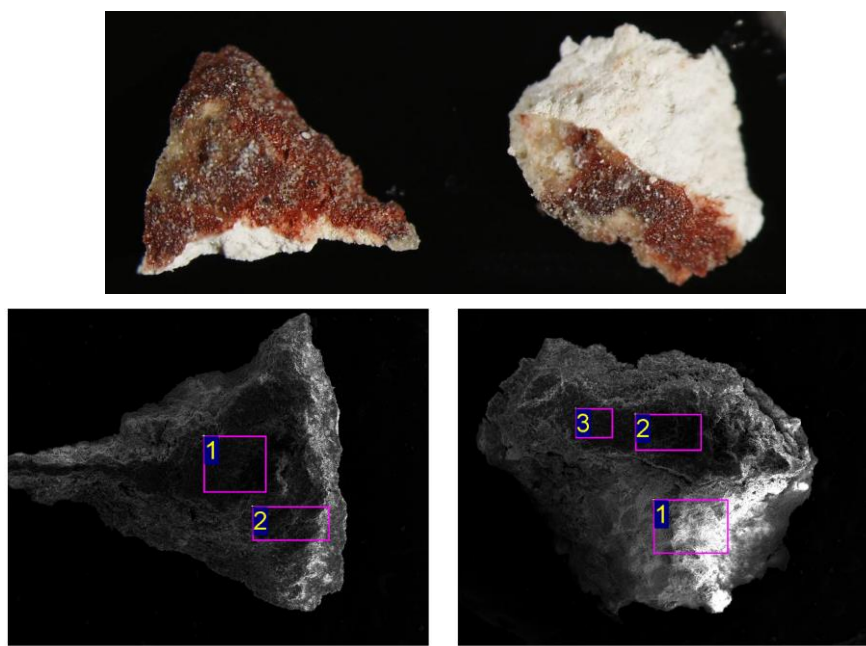
Figura 5.317.- La superficie interna del vidrio de la fachada norte presenta una intensa pátina de verdín.

### *Análisis morfoquímicos*

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis morfoquímico de los recubrimientos pictóricos realizados al SEM-EDX, de las muestras SLM40, SML41 y SML42 (Figs. 5.318 a 5.320). De los análisis EDX y de los porcentajes atómicos de los diferentes elementos químicos detectados en las muestras SML40 y SML41 se deduce un hecho común: las capas

pictóricas presentan una base de preparación de yeso, pero en el caso de la dolomía de Laspra el pigmento empleado es el hematites (Fig. 5.318) mientras que en la caliza de Piedramuelle es la tierra roja (Fig. 5.319). Este pigmento también es detectado sobre los paramentos interiores encalados. El hematites es un óxido de hierro anhidro empleado desde la antigüedad que presenta un color rojo oscuro saturado; el ocre rojo o tierra roja es un óxido de hierro anhidro, impuro de arcillas, también empleado desde la antigüedad con tonalidades variable entre el rojo y granate.

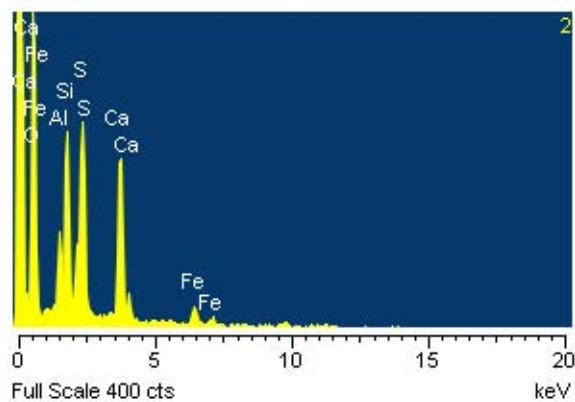
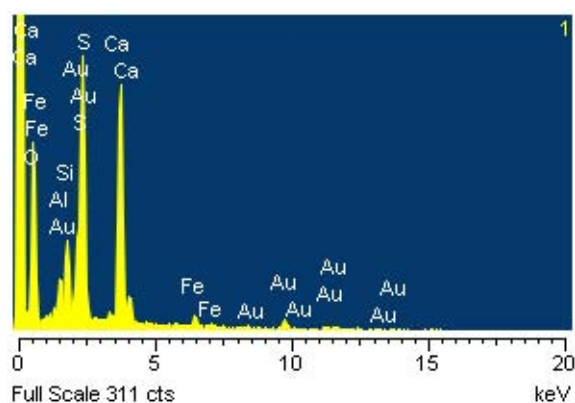
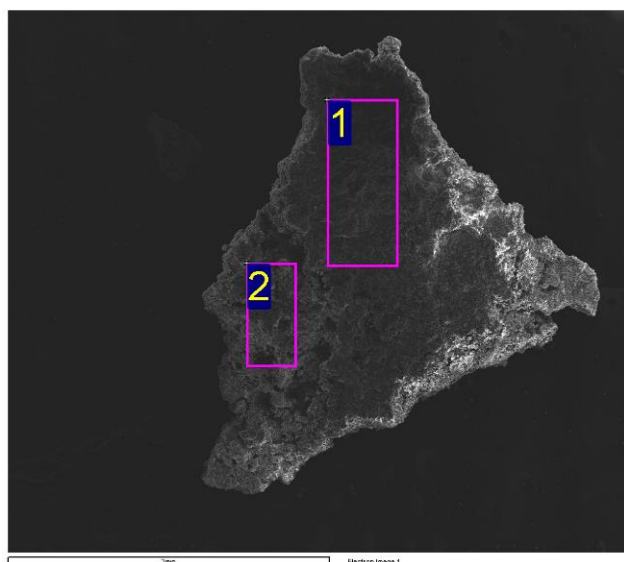
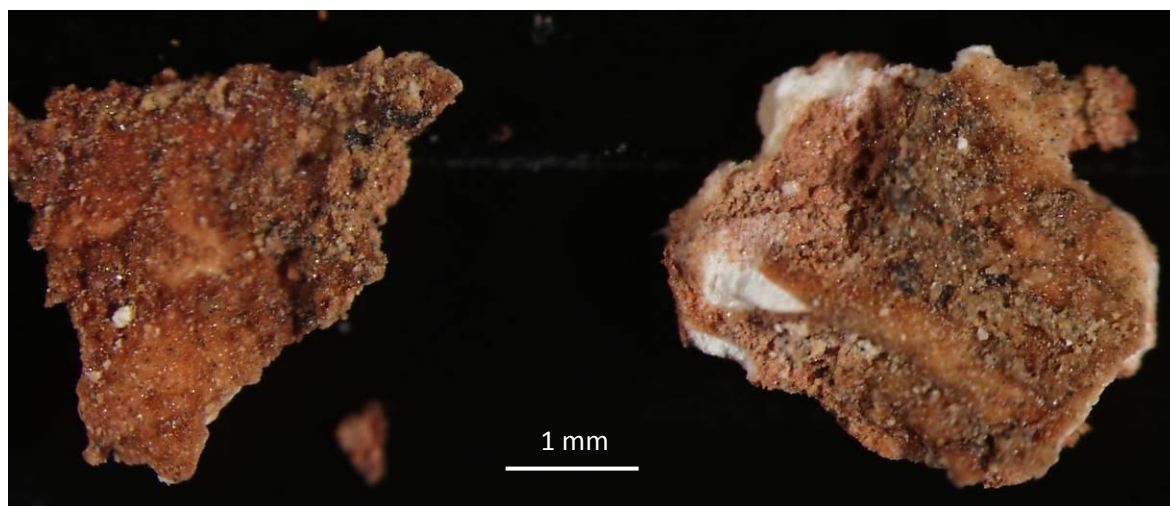
De la muestra SML42 se ha realizado una estratigrafía. Se trata de una capa pictórica localizada sobre las jambas y arco de la ventana superior de la fachada sur. El aspecto de la muestra embutida en resina y su secuencia estratigráfica se presenta en la figura estratigrafía 5.3201.



Spectrum	O	Mg	Si	S	Ca	Fe	Total
1	78.23	1.07	1.30	8.76	10.04	0.59	100.00
2	76.61	0.73	1.01	9.45	11.81	0.38	100.00

Spectrum	C	O	Mg	Si	S	K	Ca	Fe	Total
1	16.82	65.60	6.23	1.11		0.14	9.88	0.22	100.00
2		78.83	1.09	0.69	9.00		10.20	0.18	100.00
3		78.38	1.10	0.65	9.46		10.25	0.15	100.00

Figura 5.318.- Aspecto macroscópico, microscópico y análisis morfoquímico de la muestra SML40, recogida en el arco de acceso a la tribuna de la fachada oeste. Las tablas de porcentajes atómicos muestran la presencia de oxígeno (O), magnesio (Mg), silicio (Si), azufre (S), calcio (Ca) y hierro (Fe). El azufre y el calcio se combinan en proporciones 1:1 con el oxígeno e hidrógeno para formar sulfato cálcico dihidratado (yeso). Su presencia mayoritaria indica que sobre una base de preparación de yeso se ha aplicado un pigmento inorgánico de color rojo constituido esencialmente por óxidos de hierro (hematites).



Spectrum	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Total
1	77.68	1.62	2.86	8.46	8.77	0.61	100.00
2	80.21	2.51	5.40	5.67	5.22	1.00	100.00
Max.	80.21	2.51	5.40	8.46	8.77	1.00	
Min.	77.68	1.62	2.86	5.67	5.22	0.61	

Figura 5.319.- Aspecto macroscópico, microscópico y análisis morfoquímico de la muestra SML41, recogida sobre la superficie de un sillar de la fachada este. Los espectros EDX y su correspondiente tabla de porcentajes atómicos muestran la presencia de oxígeno (O), aluminio (Al), silicio (Si), azufre (S), calcio (Ca) y hierro (Fe). Los elementos químicos detectados se combinan entre sí para formar una base de yeso, sobre la que se aplica un pigmento constituido por óxido de hierro anhidro, impuro de arcillas (tierra roja).

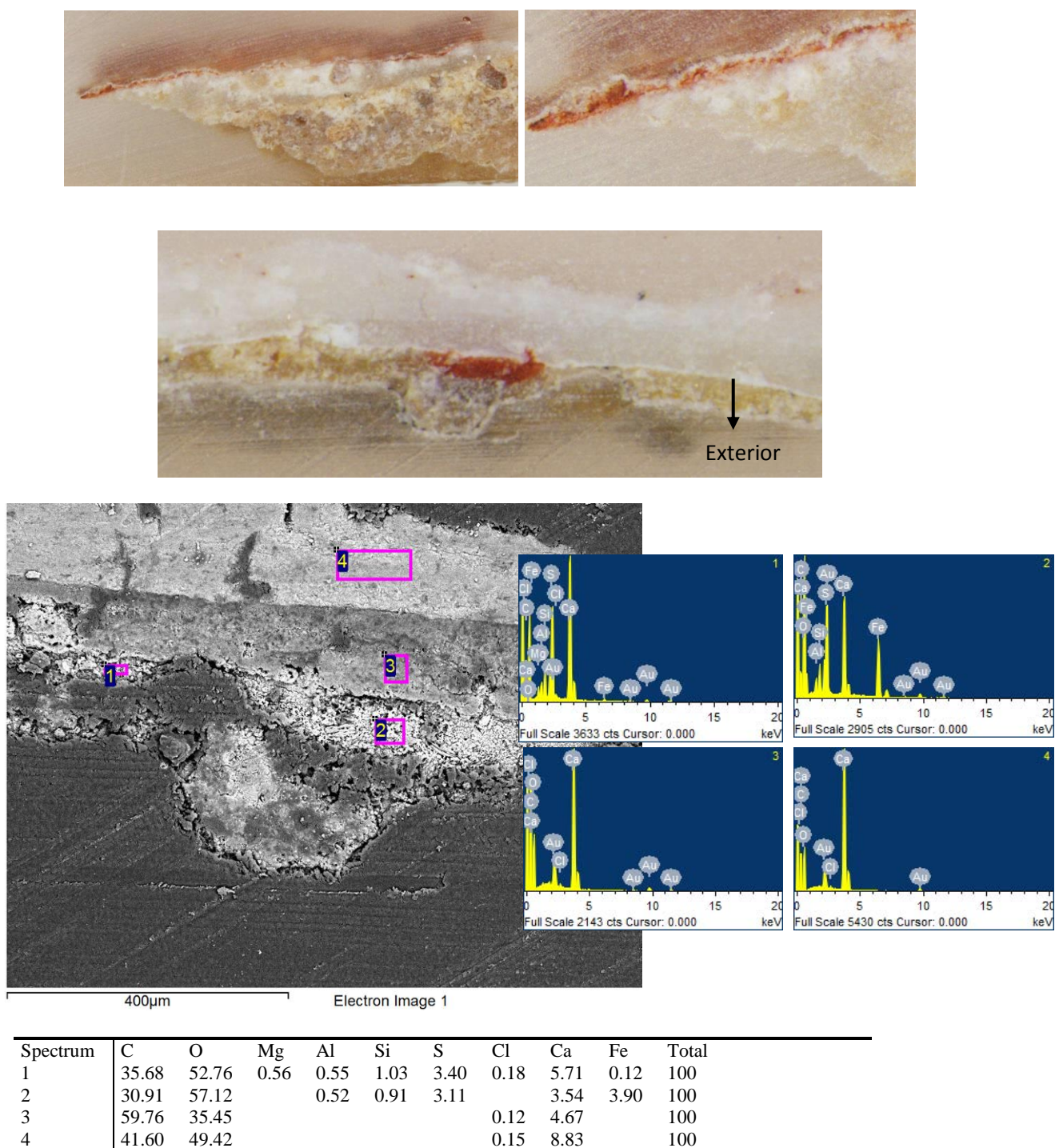


Figura 5.320.- Aspecto macroscópico, microscópico y análisis morfoquímico de la muestra SML42. De los espectros EDX y su correspondiente tabla de porcentajes atómicos se deduce que sobre dos capas de cal (espectros 3 y 4) se aplica una base de preparación de cal y yeso con rojo de hematites (espectro 2). Sobre esta capa coloreada, posteriormente se aplica una nueva capa de cal y yeso con tierras amarillas (espectro 1).

## 5.5.2.-DATACIÓN ABSOLUTA

Las dataciones absolutas de  $^{14}\text{C}$  de las muestras de morteros de San Miguel de Lillo se han realizado mediante espectrometría de masas con aceleradores (AMS) en dos laboratorios diferentes: Beta Analytic INC. (Miami, Florida, USA) y DirectAMS, Radiocarbon Dating Service (Seattle, Washinton, USA). Estos análisis separados en el tiempo, realizados en 2011 y en 2014, han seguido pre-tratamientos y procedimientos diferentes, sobre distintos tipos de muestras: carbones vegetales en el primer caso y carbonatos procedentes de la matriz y los nódulos de cal, en el segundo. Los procedimientos específicos, seguidos en cada caso, han sido anteriormente explicados, en el capítulo tres (Cap. 3: p. 54-58) y se resumen brevemente en este apartado.

La datación, efectuada en 2011 por Beta Analytic INC, afectó a fragmentos de carbón vegetal presentes en cinco morteros (muestras: SML36, SML39, SML43, SML45, SML46 y SML47), (Fig. 5.321). Las efectuadas en 2014, por DirectAMS, se realizan sobre el  $\text{CO}_2$  liberado durante la hidrólisis de los carbonatos de la matriz o de los nódulos de cal, con ácido fosfórico diluido al 85 %, (Fig. 5.322). En el primer caso las muestras correspondieron a morteros de juntas de las fachadas exteriores del edificio y en el segundo, se ha analizado una única muestra, procedente del interior de la iglesia (mortero de fábrica entre mampuestos). Esta última se ha datado, a partir de su matriz (MRM1, 1<sup>a</sup>-A, MRM1, 2<sup>a</sup>-A, MRM1, 1<sup>a</sup>-B, MRM1, 2<sup>a</sup>-B, MRM4, 1<sup>a</sup>-A, MRM4, 2<sup>a</sup>-A) o de sus nódulos de cal (MRMN, 1<sup>a</sup>-A y MRMN, 2<sup>a</sup>-A), aislando el  $\text{CO}_2$  desprendido, de forma secuenciada, durante el ataque de los carbonatos con ácido fosfórico (Capítulo 3, p. 55-58). Las muestras analizadas en este último caso corresponden a repeticiones o variaciones de distintas fracciones de la muestra MRM, según se describe a continuación:

- MRM1A, 1<sup>a</sup>-  $\text{CO}_2$  desprendido durante los primeros 10 segundos, del ensayo de ataque químico de la fracción de matriz, con granulometría inferior a 60  $\mu\text{m}$ .
- MRM1A, 2<sup>a</sup>-  $\text{CO}_2$  desprendido durante los primeros 60 segundos, del ensayo de ataque químico de la fracción de matriz, con granulometría inferior a 60  $\mu\text{m}$ .
- MRM1B, 1<sup>a</sup>-  $\text{CO}_2$  desprendido durante los primeros 10 segundos, del ensayo de ataque químico de la fracción de matriz, con granulometría inferior a 60  $\mu\text{m}$ .
- MRM1B, 2<sup>a</sup>-  $\text{CO}_2$  desprendido durante los primeros 60 segundos, del ensayo de ataque químico de la fracción de matriz, con granulometría inferior a 60  $\mu\text{m}$ .

**Nota:** La diferencia entre las muestras A y B consiste en que la primera ha sido obtenida por choque térmico (disgregación natural) y cribado del mortero (sin machaqueo) y la segunda, ha sido suavemente machacada entre el pretratamiento de choque térmico y el tamizado de las muestra.

- MRM4, 1<sup>a</sup>-  $\text{CO}_2$  desprendido durante los primeros 10 segundos, del ensayo de ataque químico de la fracción de matriz, superior a 60  $\mu\text{m}$  e inferior o igual a 120  $\mu\text{m}$ .
- MRM4, 2<sup>a</sup>-  $\text{CO}_2$  desprendido durante los primeros 60 segundos, del ensayo de ataque químico de la fracción de matriz, superior a 60  $\mu\text{m}$  e inferior o igual a 120  $\mu\text{m}$ .

**Nota:** El procedimiento seguido para la obtención de la muestra 4A es el mismo que el de la muestra 1A, aunque varía la retícula del tamiz empleado y por tanto, la granulometría de la muestra.

- MRMN, 1ª- CO<sub>2</sub> desprendido durante los primeros 10 segundos, del ensayo de ataque químico de los nódulos de cal, previamente machados.
- MRMN, 2ª- CO<sub>2</sub> desprendido durante los primeros 60 segundos, del ensayo de ataque químico de los nódulos de cal, previamente machados.

**Nota:** La muestra MRMN ha sido obtenida por machacado suave de los nódulos de cal contenidos en el mortero.



Figura 5.321.- Aspecto macroscópico de las muestras de carbón vegetal de los morteros analizados por Beta Analytic (muestras: SML39, SML36, SML43, SML45, SML46 y SML47).



Figura 5.322.- Aspecto macroscópico de los viales de CO<sub>2</sub>, capturado de forma secuenciada, durante la hidrólisis de la muestra MRM.

Después de la separación física de las diferentes fracciones de muestra a analizar y antes de abordar el ataque químico, se procedió a su análisis termogravimétrico del mortero (muestra MRM). El objetivo fue evaluar la pérdida de masa e identificar posibles compuestos, en función de la temperatura de descomposición del mortero. La muestra MRM consistía en dos pequeñas porciones



de mortero que presentaban distinta coloración, por lo que se decidió llevar a cabo el análisis de las dos submuestras (MRMm1c y MRMm2o), con dos repeticiones (r1 y r2) para cada una de ellas, con objeto de verificar la reproducibilidad de los ensayos y el grado de homogeneidad de las submuestras. Además, en cada análisis se tomaron masas iniciales diferentes, comprendidas entre 10 y 30 mg, para introducir una mayor variabilidad a los ensayos. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.30 y en la figura 5.323.

Tabla 5.30.- San Miguel de Lillo: Análisis termogravimétricos

SM Lillo	Nº Ensayos	Masa inicial (mg)	Pérdida masa (corregida la humedad) (%)	mol CO <sub>2</sub> / g muestra	Presión (atm)
MRMm1c	r1	30.5	30.6	0.134	3.3
	r2	14.8	30.9	0.135	3.3
MRMm2o	r1	10.7	22.7	0.099	2.4
	r2	18.4	26.9	0.118	2.9

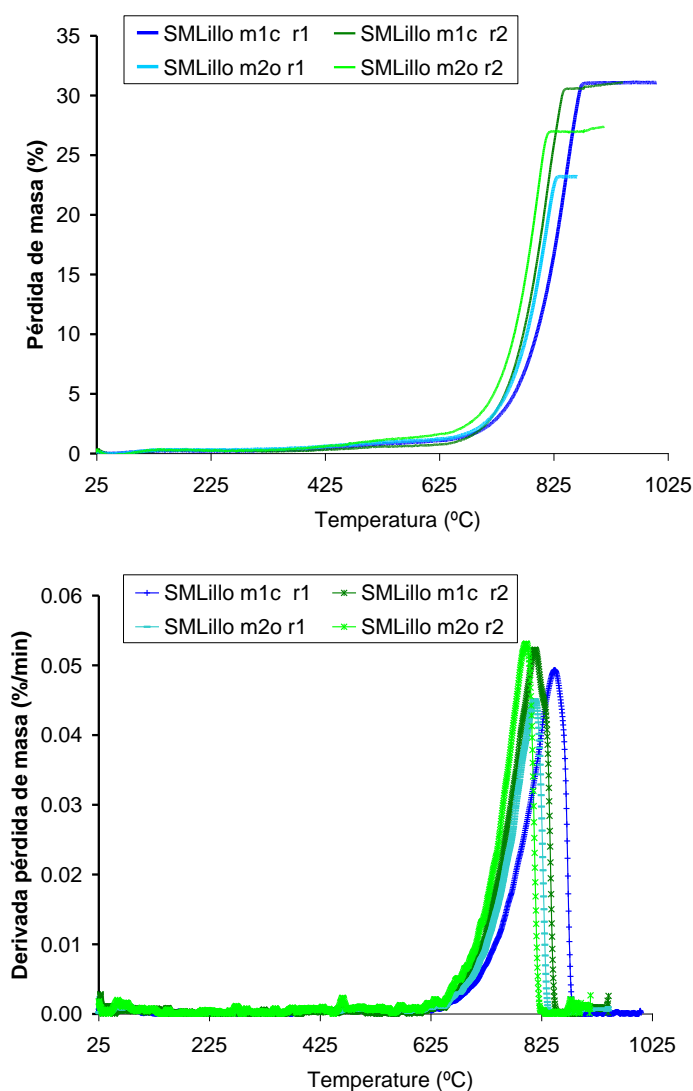


Figura 5.323.- Perfiles termogravimétricos en atmósfera inerte de varias alícuotas de la muestra de mortero MRM entre desde 25°C hasta 1000°C; (arriba) pérdida de masa y (abajo) derivada de la pérdida de masa con el tiempo. Los datos están normalizados frente a la masa inicial de la muestra por lo que pueden compararse directamente.

Observando los valores deducidos del ensayo termogravimétrico se comprueba que la reproducibilidad de las medidas es bastante buena para las submuestras MRMm1c (pérdida de masa total del 30% en ambas repeticiones (r1 y r2), pero no tanto para las submuestras MRMm2o (pérdida de masa entre 23 y 27% en ambas repeticiones (r1 y r2)). Esto indica una mayor heterogeneidad en el segundo caso, lo cual no tiene demasiada repercusión en el cálculo posterior de la cantidad de gas liberado para estimar la presión del sistema, tal como se comentará más adelante. Además, el perfil termogravimétrico es similar en todas ellas, con una sola pérdida de masa a temperaturas por encima de los 700 °C, característica de la descomposición de calcita, liberando dióxido de carbono según la reacción:  $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Por lo tanto, una vez hecha una pequeña corrección de la humedad, se puede considerar que toda la pérdida de masa se corresponde con  $\text{CO}_2$ . Teniendo en cuenta la estequiometría de la reacción, se puede cuantificar la cantidad de  $\text{CO}_2$  liberado en cada alícuota, para poder así diseñar los experimentos de ataque con ácido fosfórico, esto es, la presión generada al tratar 100 mg de mortero con  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y almacenar todo el  $\text{CO}_2$  liberado en un vial de 100 ml de capacidad, a temperatura ambiente, variable entre 2,4 y 3,3 atmósferas (la presión atmosférica es 1 atmósfera). Teniendo en cuenta que se van a hacer muestreos a diferentes tiempos, el  $\text{CO}_2$  liberado no se va a recoger íntegramente en un vial, por lo que se puede estimar que esta presión es suficientemente baja como para que los viales no sufran daños. Para 1000 mg la presión generada sería de 24-33 atmósferas, valores seguros para garantizar la estabilidad de los viales durante la toma de muestra de gas. Conocido este dato y seleccionando los viales adecuados para las presiones estimadas, las diferentes fracciones de la muestra del mortero de juntas MRM fueron atacadas con ácido fosfórico, diluido al 85 %, tal como propone el **método finlandés**, explicado en el capítulo 3 y más extensamente en el apéndice de esta tesis. El  $\text{CO}_2$  producido mediante la hidrólisis de los carbonatos fue recogido en dos fracciones de tiempo: 8-10 segundos y 60 segundos, desde el inicio del ensayo. Finalmente, en el laboratorio de análisis radiocarbónico, el  $\text{CO}_2$  producido por la adición del ácido fue criogénicamente purificado y reducido a grafito sólido, para la medición en un AMS.

Esta captura secuenciada de  $\text{CO}_2$  persigue datar los carbonatos en función de los diferentes tamaños de grano de la calcita, asumiendo la hipótesis de que los tamaños más pequeños corresponden a los carbonatos más recientemente formados y los de mayor tamaño a los granos más antiguos, o lo que es lo mismo, la calcita relictas de los procesos geológicos de formación de una roca carbonatada. Según esto, la primera fracción correspondería a la calcita formada durante el fraguado del mortero y la segunda a calcita, heredada de los procesos de calcinación deficientes. Esto sería así, siempre y cuando, los morteros no hayan estado sometidos al fuego producido por un incendio o a procesos de disolución-precipitación que conllevaría la formación de carbonatos más recientes que los propios del fraguado del mortero. En estos dos últimos casos, los datos proporcionados por la segunda fracción pasarían a ser los más exactos.

Por exactitud de una fecha radiocarbónica se entiende una buena correspondencia entre la verdadera fecha radiométrica y la fecha radiométrica experimental obtenida en el laboratorio. Esta

exactitud va a depender del procedimiento aplicado para eliminar la contaminación, de la bondad del procedimiento químico de medida y de la calidad de la medida del contenido de radiocarbono. La precisión se refiere a la amplitud del espacio de tiempo en el que existe la probabilidad de que se encuentre la verdadera fecha radiocarbónica y depende de la cantidad de material disponible para la realización del análisis. Si la fecha se expresa mediante una distribución de probabilidad de Gauss, definida por el valor experimental y su desviación típica, cuanto más estrecha es la distribución más limitado es el intervalo capaz de contener la fecha verdadera y más precisa resulta la fecha radiocarbónica.

A continuación en las figuras 5.324 a 5.336 y en las tablas 5.31 y 5.32 se presentan las fechas calibradas obtenidas para los distintos tipos de muestras, con distintos procedimientos. El análisis comparativo de los resultados obtenidos en los diferentes casos permitirá evaluar los posibles errores derivados de la contaminación fósil de las muestras. Se incluyen, también en esta tabla otras dataciones realizadas por otros investigadores y en otros laboratorios (Universidad de Granada (muestras UGRA 417 y 418, fecha de análisis 2010) y Beta Analytic (muestra Beta-359752, fecha de análisis 2013), ambas solicitadas por la Dirección General de Patrimonio del Gobierno del Principado de Asturias.

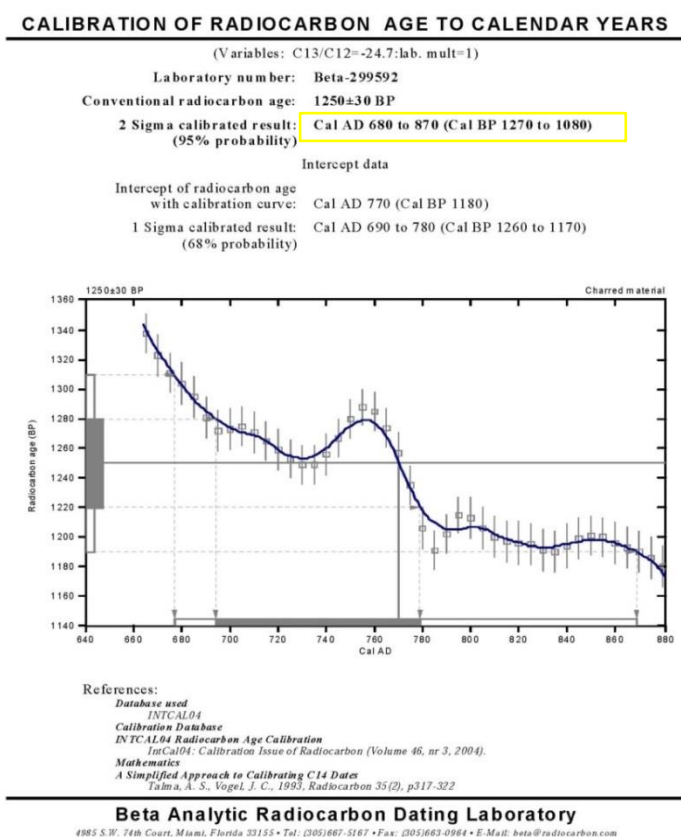


Figura 5.324.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra SML43/Beta299592, obtenida por datación de un fragmento de carbón vegetal. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-23.4;lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-299594

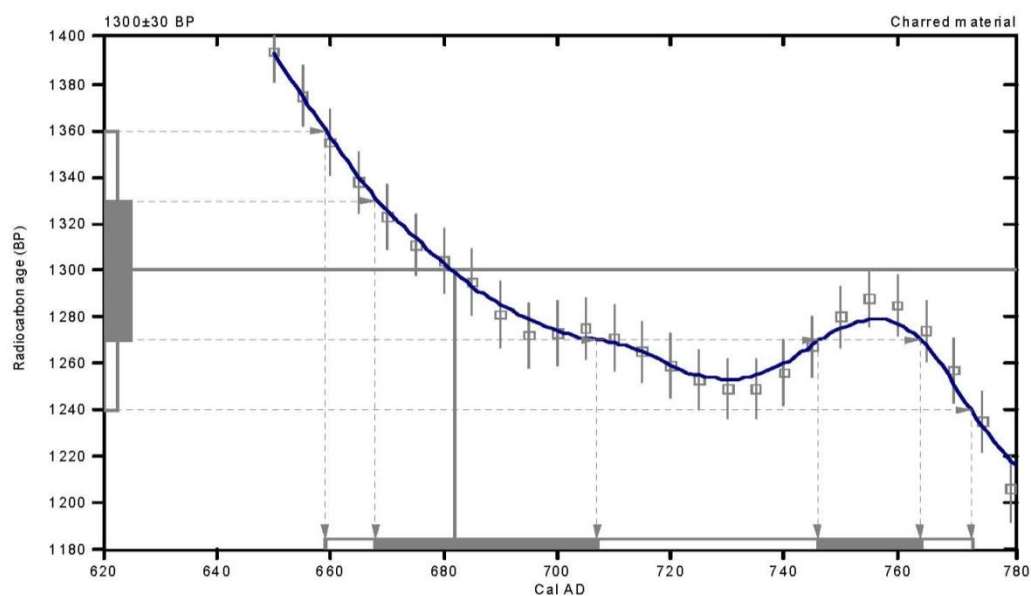
Conventional radiocarbon age: 1300±30 BP

2 Sigma calibrated result: Cal AD 660 to 770 (Cal BP 1290 to 1180)  
(95% probability)

Intercept data

Intercept of radiocarbon age  
with calibration curve: Cal AD 680 (Cal BP 1270)

1 Sigma calibrated results: Cal AD 670 to 710 (Cal BP 1280 to 1240) and  
Cal AD 750 to 760 (Cal BP 1200 to 1190)



### References:

#### Database used

INTCAL04

#### Calibration Database

INTCAL04 Radiocarbon Age Calibration

IntCal04: Calibration Issue of Radiocarbon (Volume 46, nr 3, 2004).

#### Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322

## Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Figura 5.325.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra SML45/Beta299594, obtenida por datación de un fragmento de carbón vegetal. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-24.3:lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-299595

Conventional radiocarbon age:  $300 \pm 30$  BP

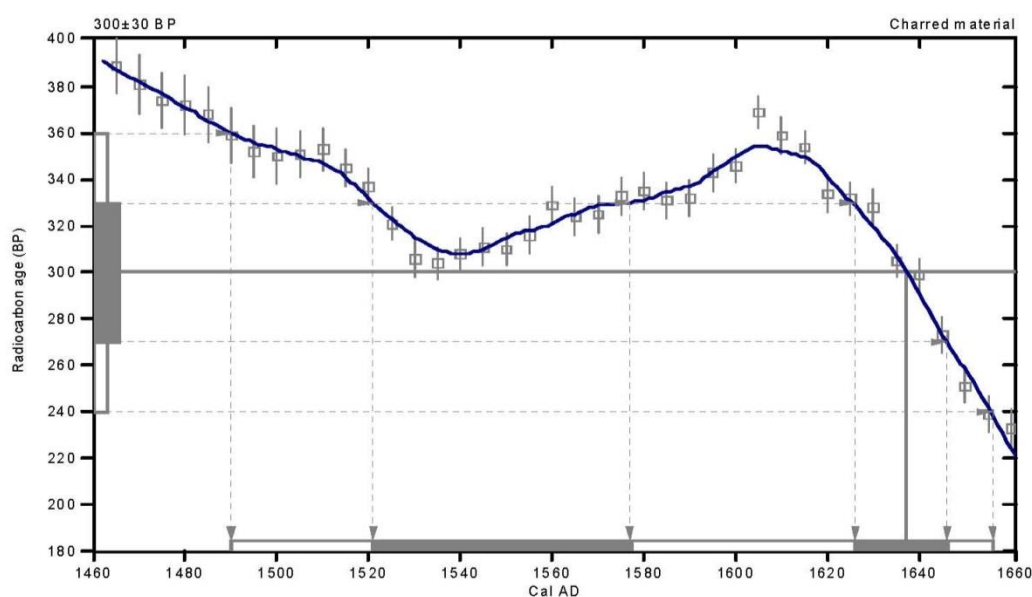
2 Sigma calibrated result: **Cal AD 1490 to 1660 (Cal BP 460 to 290)**  
(95% probability)

Intercept data

Intercept of radiocarbon age

with calibration curve: Cal AD 1640 (Cal BP 310)

1 Sigma calibrated results: Cal AD 1520 to 1580 (Cal BP 430 to 370) and  
(68% probability) Cal AD 1630 to 1650 (Cal BP 320 to 300)



### References:

#### Database used

INTCAL04

#### Calibration Database

INTCAL04 Radiocarbon Age Calibration

IntCal04: Calibration Issue of Radiocarbon (Volume 46, nr 3, 2004).

#### Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322

## Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Figura 5.326.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra SML46/Beta299595, obtenida por datación de un fragmento de carbón vegetal. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-26.3;lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-298045

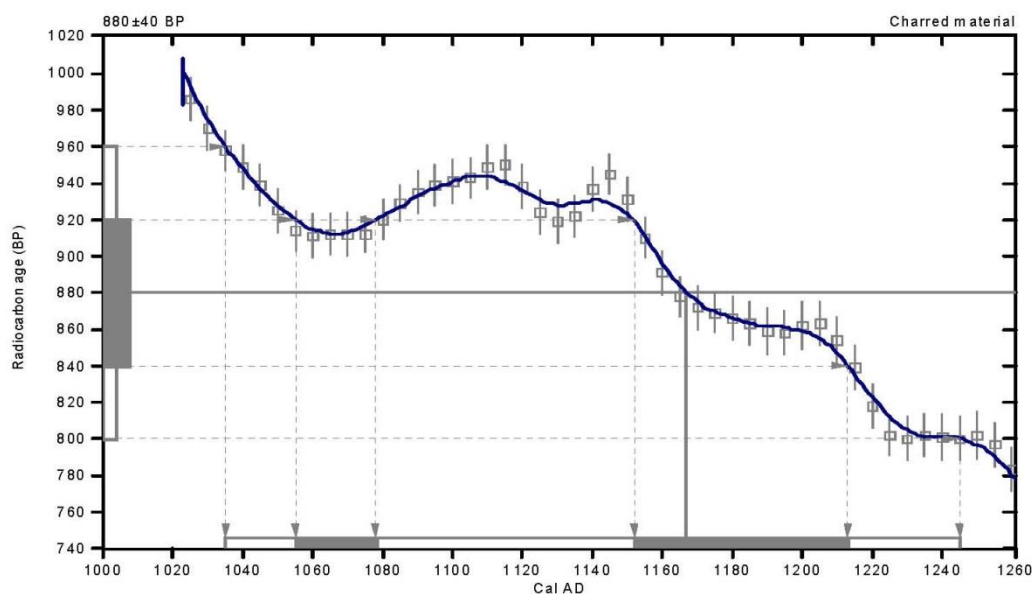
Conventional radiocarbon age:  $880 \pm 40$  BP

2 Sigma calibrated result: **Cal AD 1040 to 1240 (Cal BP 920 to 700)**  
(95% probability)

Intercept data

Intercept of radiocarbon age  
with calibration curve: Cal AD 1170 (Cal BP 780)

1 Sigma calibrated results: Cal AD 1060 to 1080 (Cal BP 900 to 870) and  
(68% probability) Cal AD 1150 to 1210 (Cal BP 800 to 740)



### References:

#### Database used

INTCAL04

#### Calibration Database

INTCAL04 Radiocarbon Age Calibration

IntCal04: Calibration Issue of Radiocarbon (Volume 46, nr 3, 2004).

#### Mathematics

A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates

Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322

## Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Figura 5.327.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra SML36/Beta298045, obtenida por datación de un fragmento de carbón vegetal. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-24.5;lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-298046

Conventional radiocarbon age: 1260±30 BP

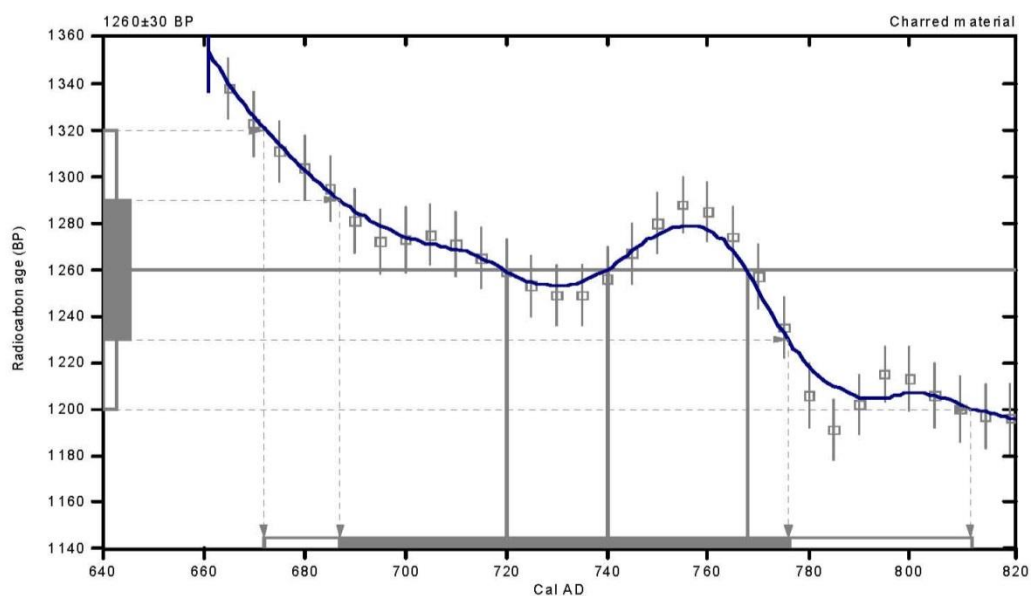
2 Sigma calibrated result: Cal AD 670 to 810 (Cal BP 1280 to 1140)

Intercept data

Intercepts of radiocarbon age

with calibration curve: Cal AD 720 (Cal BP 1230) and  
Cal AD 740 (Cal BP 1210) and  
Cal AD 770 (Cal BP 1180)

1 Sigma calibrated result: Cal AD 690 to 780 (Cal BP 1260 to 1170)



### References:

- Database used*  
INTCAL04
- Calibration Database*  
INTCAL04 Radiocarbon Age Calibration  
IntCal04: Calibration Issue of Radiocarbon (Volume 46, nr 3, 2004).
- Mathematics*  
A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates  
Talma, A. S., Vogel, J. C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322

## Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Figura 5.328.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra SML39/Beta298046, obtenida por datación de un fragmento de carbón vegetal. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

Sample Description		
Radiocarbon Age BP	1094 +/- 23	
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 900- 921	0.375
	950- 986	0.625
95.4 (2 sigma)	cal AD 892- 995	0.995
	1009- 1010	0.005
Median Probability:	951	

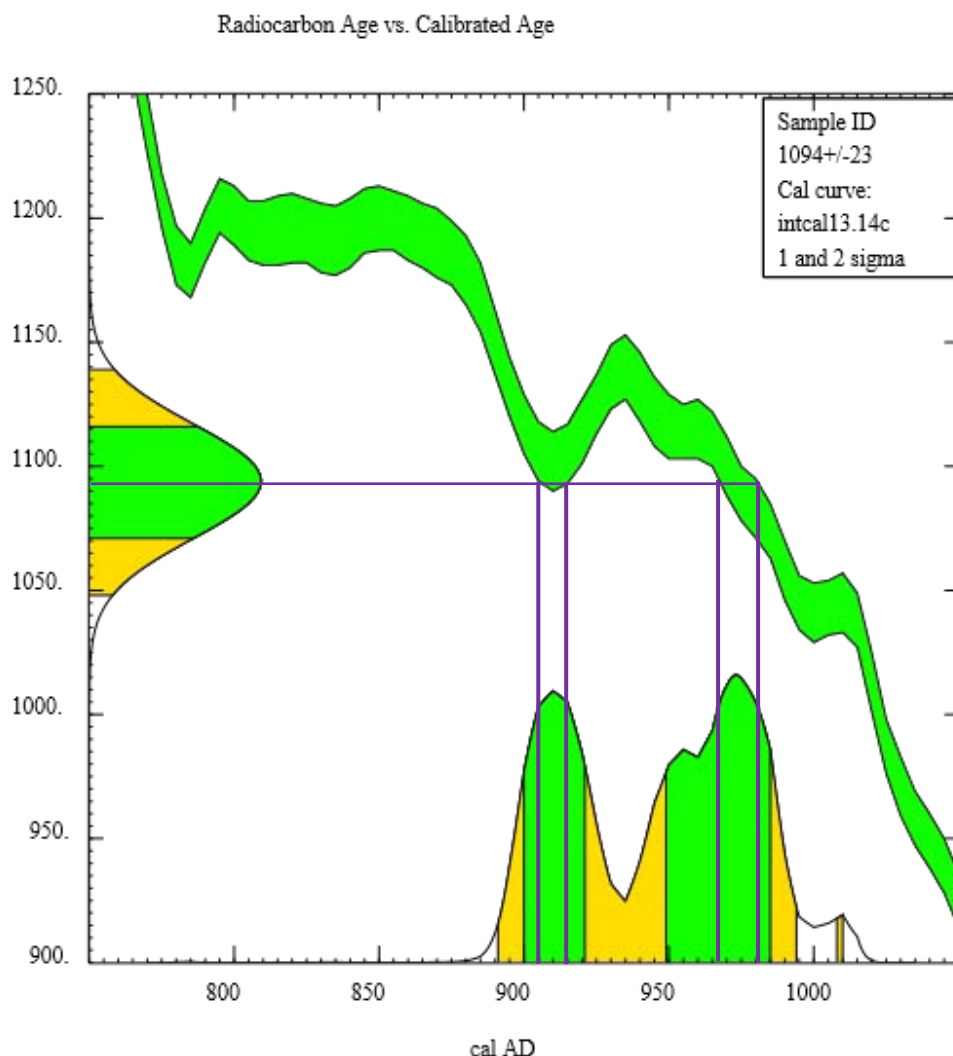


Figura 5.329.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRM1A 1<sup>a</sup>, correspondiente a la 1<sup>a</sup> fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, HattÄ© C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.



Radiocarbon Age BP	1181 +/- 22	
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 777- 792	0.188
	803- 843	0.473
	858- 886	0.339
95.4 (2 sigma)	cal AD 772- 894	0.983
	931- 937	0.017
Median Probability:	834	

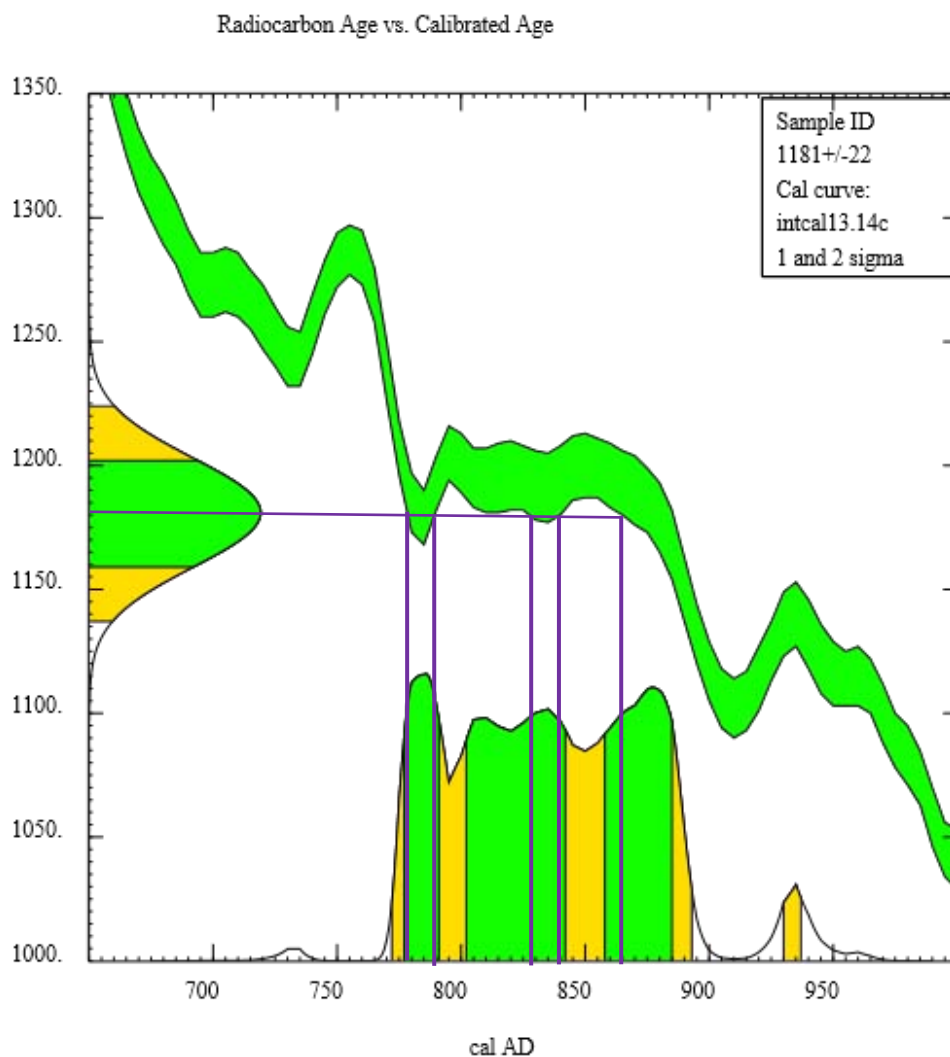


Figura 5.330.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRM1A 2ª, correspondiente a la 2ª fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hattá C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Radiocarbon Age BP	1108 +/- 25	
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 897- 926	0.477
	943- 975	0.523
95.4 (2 sigma)	cal AD 888- 990	1.000
Median Probability:	939	

Radiocarbon Age vs. Calibrated Age

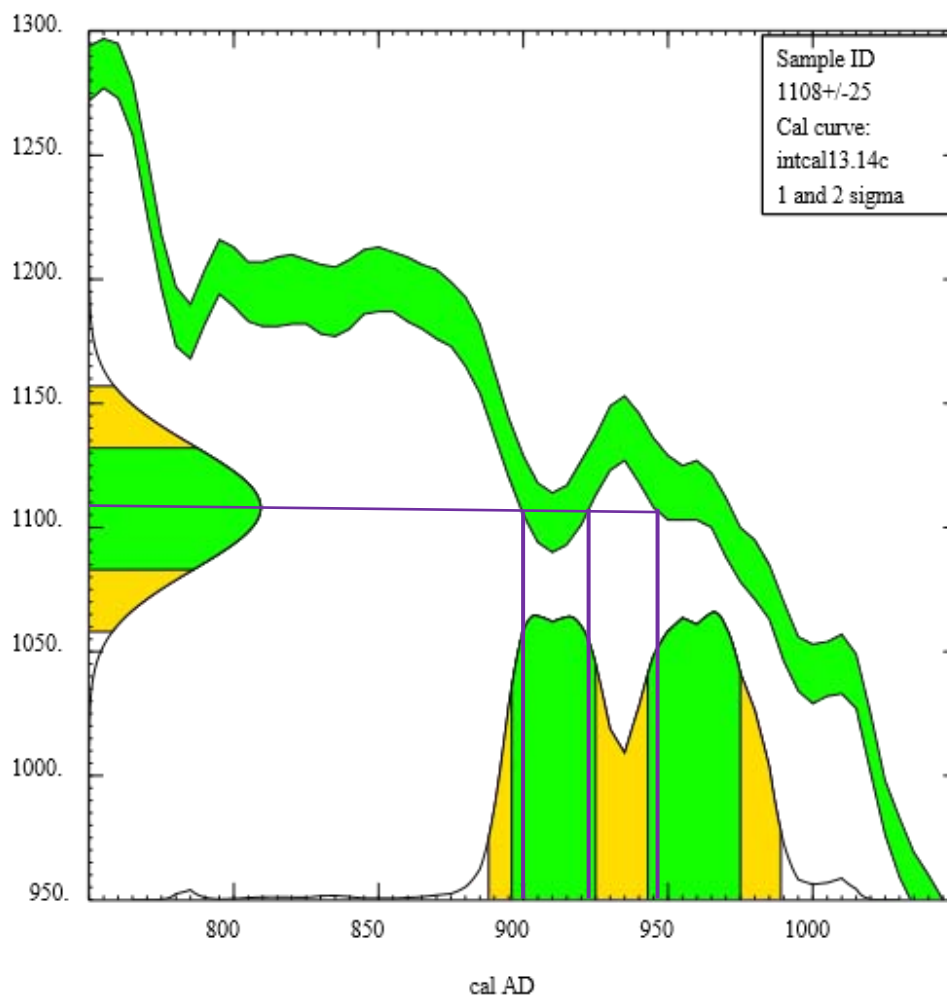


Figura 5.331.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRM1B 1ª, correspondiente a la 1ª fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, HattÄ© C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Radiocarbon Age BP	1196 +/- 25		
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013	
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under	probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 775- 779		0.049
	788- 833		0.549
	836- 869		0.402
95.4 (2 sigma)	cal AD 727- 737		0.018
	768- 892		0.982
Median Probability:	827		

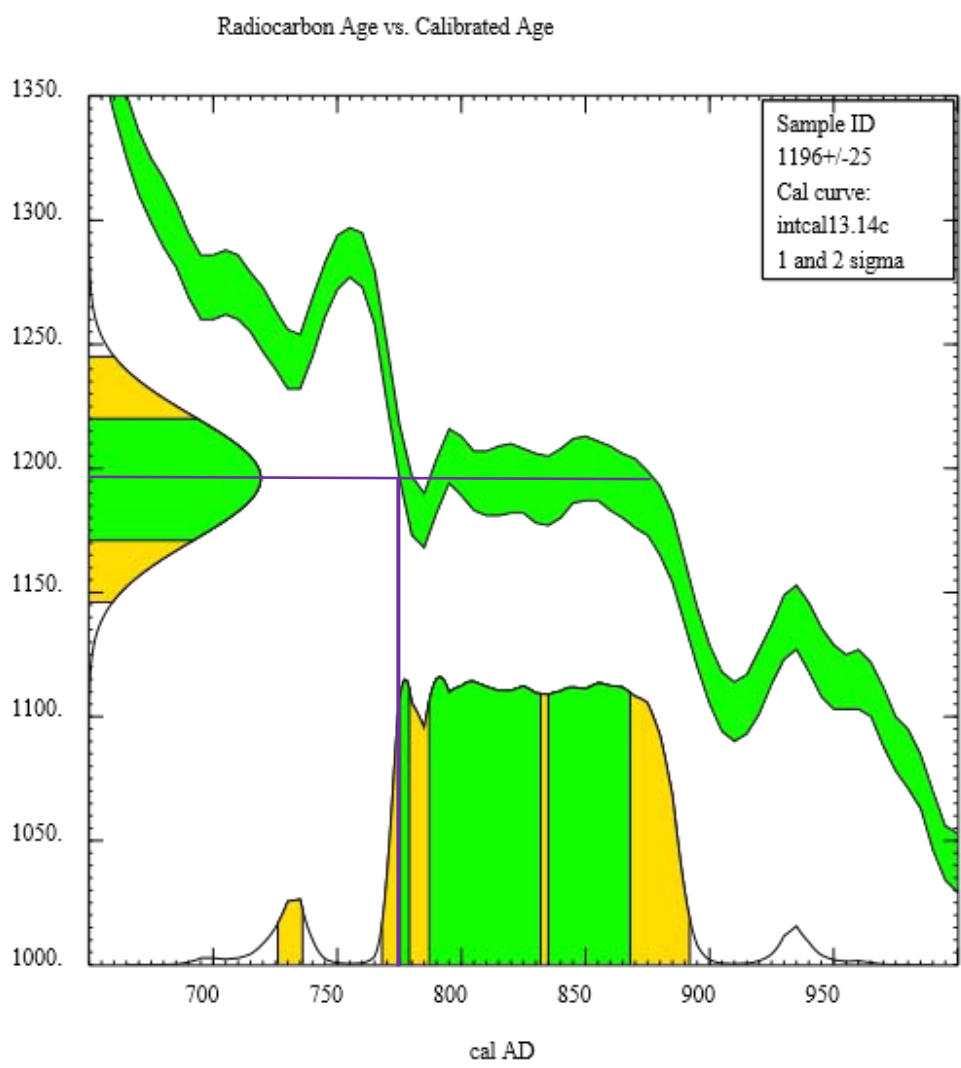


Figura 5.332.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRM1B 2ª, correspondiente a la 2ª fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, HattÄ© C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Radiocarbon Age BP	1178 +/- 20		
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013	
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under	probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 777- 792		0.200
	804- 842		0.429
	860- 887		0.371
95.4 (2 sigma)	cal AD 773- 894		0.984
	931- 937		0.016
Median Probability:	835		

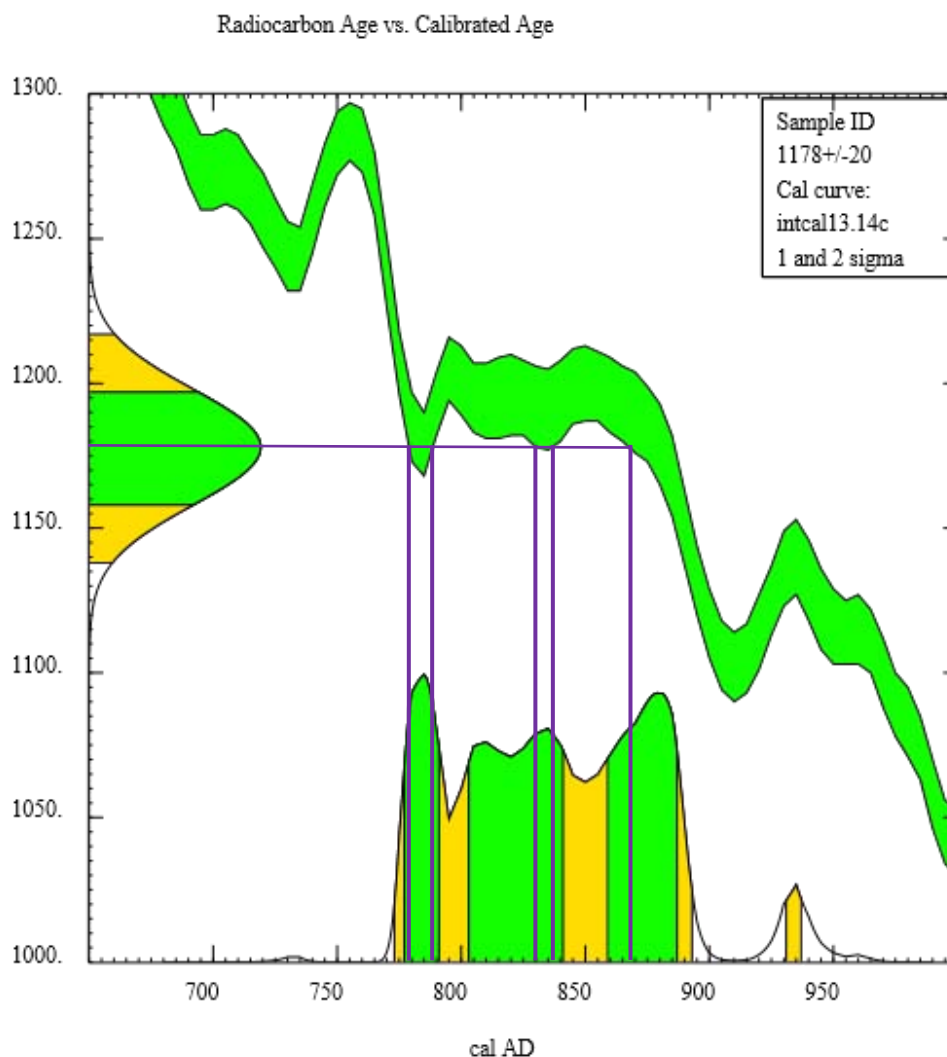


Figura 5.333.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRM4 1ª, correspondiente a la 1ª fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, HattÄ© C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP. Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Sample ID		
Lab Code		
Sample Description		
Radiocarbon Age BP	1252 +/- 22	
Calibration data set: intcal13.14c		# Reimer et al. 2013
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 694- 746	0.862
	763- 771	0.138
95.4 (2 sigma)	cal AD 676- 777	0.930
	792- 804	0.022
	812- 825	0.016
	840- 862	0.031
Median Probability:	732	

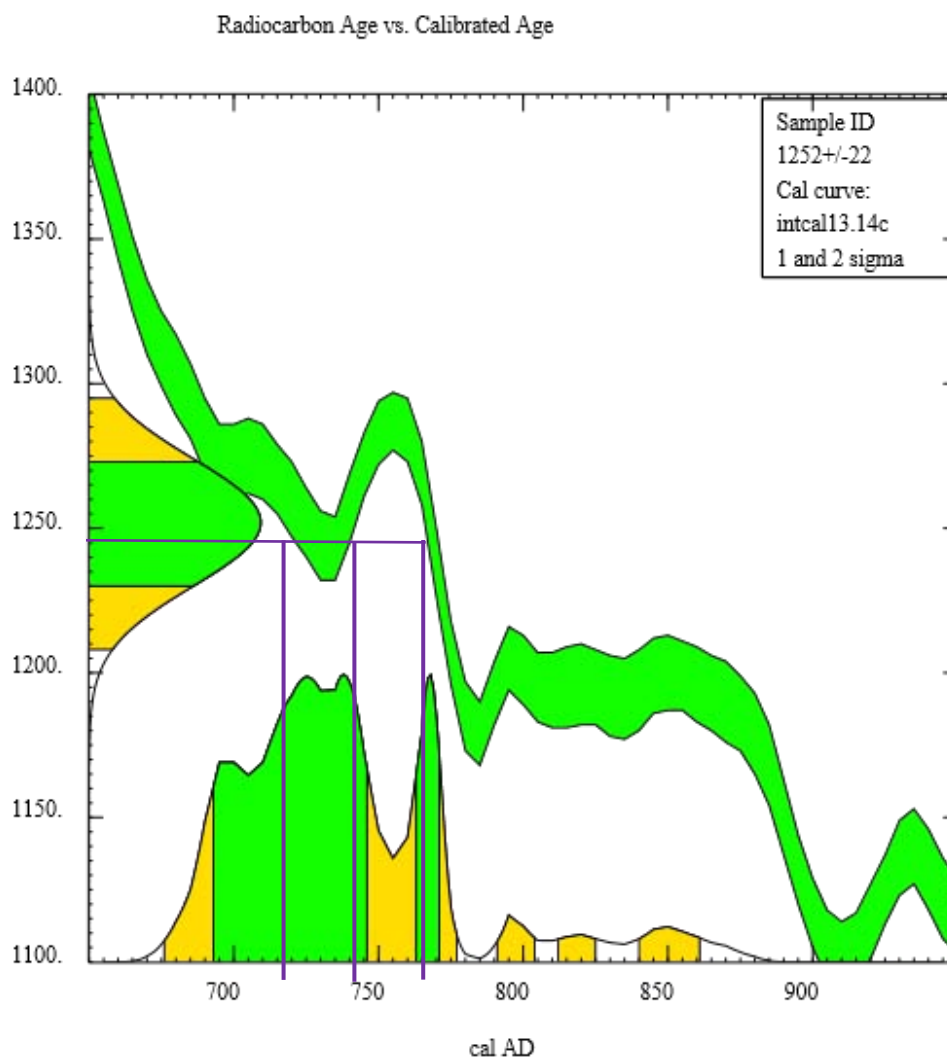


Figura 5.334.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRM4 2ª, correspondiente a la 2ª fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hattá C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. *IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP* *Radiocarbon* 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Radiocarbon Age BP	1099 +/- 21		
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013	
% area enclosed	cal AD age ranges		relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 900- 922		0.412
	949- 982		0.588
95.4 (2 sigma)	cal AD 893- 990		1.000
Median Probability:	946		

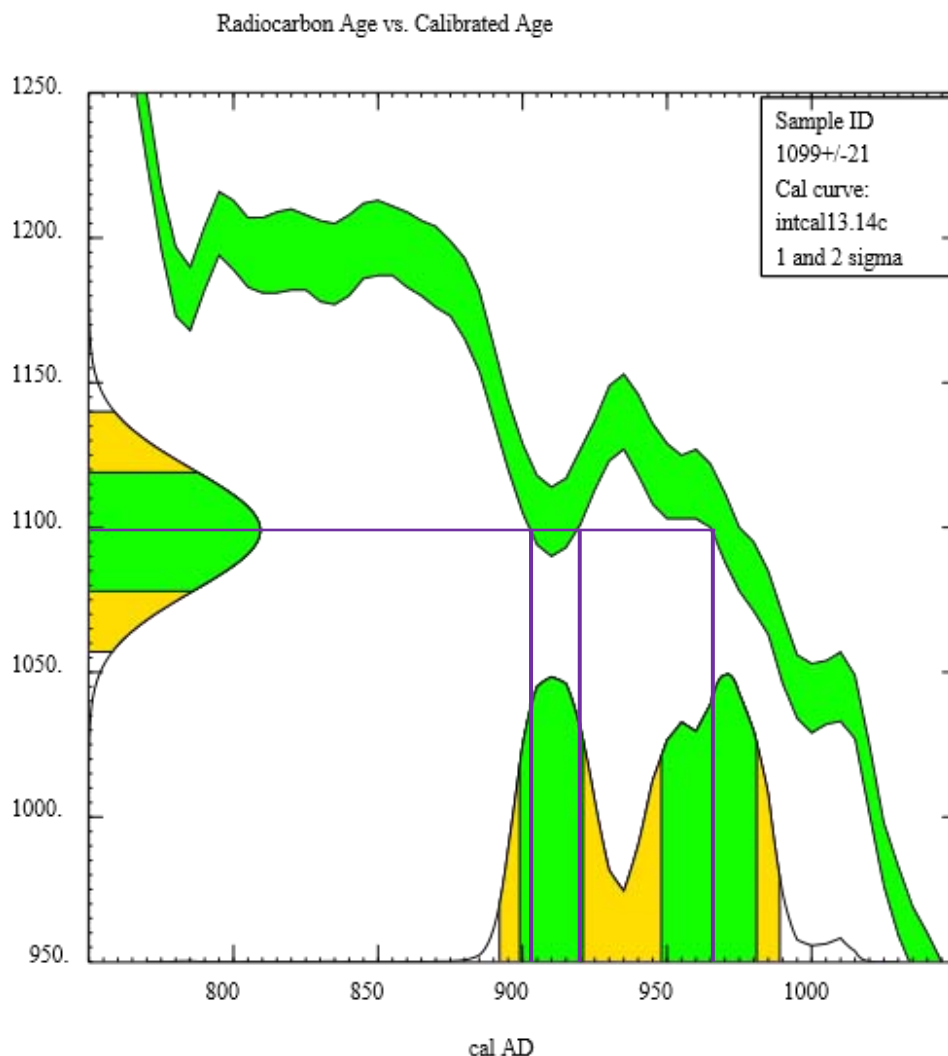


Figura 5.335.- Fecha radiocarbónica calibrada de la muestra MRMN 1ª, correspondiente a la 1ª fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hattala C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.<sup>2</sup> + curve std. dev.<sup>2</sup>), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.<sup>2</sup> + curve std. dev.<sup>2</sup>) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr

Radiocarbon Age BP	1178 +/- 45		
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013	
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under probability distribution	
68.3 (1 sigma)	cal AD 773- 893	0.988	
	934- 936	0.012	
95.4 (2 sigma)	cal AD 715- 743	0.050	
	765- 975	0.950	
Median Probability:	843		

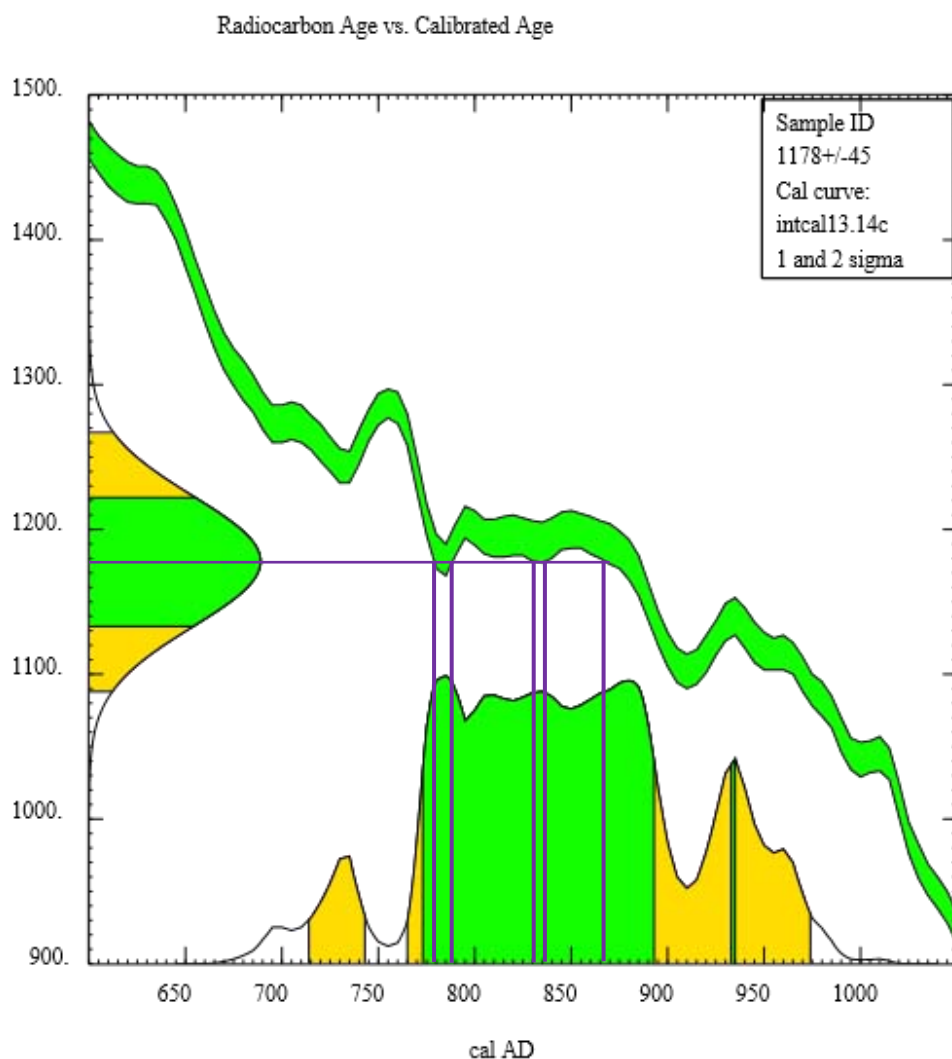


Figura 5.336. Datos de datación absoluta de la muestra MRMN 2<sup>a</sup>, correspondiente a la 2<sup>a</sup> fracción de CO<sub>2</sub> aislado. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hattala C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.<sup>2</sup> + curve std. dev.<sup>2</sup>), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.<sup>2</sup> + curve std. dev.<sup>2</sup>) where <sup>2</sup> = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Tabla 5.31.- San Miguel de Lillo: Fechas calibradas de <sup>14</sup>C de los morteros de juntas exteriores.

Referencia	Referencia Lab. AMS	Tipo de mortero	Localización	Edad radiocarbónica convencional (cal BP)	Intersección de la edad radiocarbónica con la curva calibrada	Fecha calibrada 1 Sigma (68% probabilidad)	Fecha calibrada 2 Sigma (95% probabilidad)
SML43	Beta-299592	Fachada Oeste	Fachada Oeste	1250±30 BP	Cal AD 770 (Cal BP 1180)	<b>Cal AD 690-780</b> (Cal BP 1260-1170)	<b>Cal AD 680-870</b> (Cal BP 1270-1080)
SML45	Beta-299594			1300±30 BP	Cal AD 680 (Cal BP 1270)	<b>Cal AD 670-710</b> (Cal BP 1280-1240) <b>Cal AD 750-760</b> (Cal BP 1200-1190)	<b>Cal AD 660-770</b> (Cal BP 1290-1180)
SML39	Beta-298046			1260±30 BP	Cal AD 720 (Cal BP 1230) Cal AD 740 (Cal BP 1210) Cal AD 770 (Cal BP 1180)	<b>Cal AD 690-780</b> (Cal BP 1260-1170)	<b>Cal AD 670-810</b> (Cal BP 1280-1140)
SML46	Beta-299595			1300±30 BP	Cal AD 680 (Cal BP 1270)	<b>Cal AD 670-710</b> (Cal BP 1280-1240) <b>Cal AD 750-760</b> (Cal BP 1200-1190)	<b>Cal AD 660-770</b> (Cal BP 1290-1180)
SML47	Beta-299594			Después de la bomba atómica (1950)			
SML36	Beta-298045	Carbón vegetal	Fachada Este	880±40 BP	Cal AD 1170 (Cal BP 780)	Cal AD 1060-1080 (Cal BP 900-870) <b>Cal AD 1150-1210</b> (Cal BP 800-740)	<b>Cal AD 1040-1240</b> (Cal BP 920-700)
	UGRA-417	Madera (tejo)	Cumbreira ábside	-	-	-	<b>Cal AD 770-1113</b> (Cal BP 1180-710)
	UGRA-418			-	-	-	<b>Cal AD 1027-1253</b> (Cal BP 923-697)
	UGRA			-	-	-	<b>Cal AD 1030-1106</b> (Cal BP 920-844)
Beta-359752		Madera	Nave sur	1100±30 BP	Cal AD 900 (Cal BP 1050) Cal AD 910 (Cal BP 1040) Cal AD 970 (Cal BP 980)	Cal AD 900-920 (Cal BP 1060-1030) <b>Cal AD 940-990</b> (Cal BP 1010-960)	<b>Cal AD 890-1020</b> (Cal BP 1060-940)

BP (Before Present) - equivale a los años transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el año 1950 de nuestro calendario (cero BP se define como AD 1950). Se remarcan en rojo las fechas más probables, resultado de combinar la probabilidad a 1 y 2 σ.



Tabla 5.32.- San Miguel de Lillo: Fechas calibradas de <sup>14</sup>C del mortero de juntas interior.

Referencia	Secuenciación CO <sub>2</sub>	Tipo muestra	Granulometría	Edad radiocarbónica convencional (cal BP)	Intersección de la edad radiocarbónica con la curva calibrada	Fecha calibrada 1 Sigma (68% probabilidad)	Fecha calibrada 2 Sigma (95% probabilidad)
MRM1, 1 <sup>a</sup> -A	1 <sup>a</sup> Fracción	Matriz carbonatada	≤ 60 μm	1094±23 BP	Cal AD 910 Cal AD 920 Cal AD 967 Cal AD 980	<b>Cal AD 900-921</b> (Cal BP 1050-1029) <b>Cal AD 950-986</b> (Cal BP 1000-964)	<b>Cal AD 892-995</b> (Cal BP 1058-955) Cal AD 1009-1010 (Cal BP 941-940)
MRM1, 2 <sup>a</sup> -A	2 <sup>a</sup> Fracción			1118±22 BP	Cal AD 780 Cal AD 830 Cal AD 840 Cal AD 865	<b>Cal AD 777-792</b> (Cal BP 1173-1158) <b>Cal AD 803-843</b> (Cal BP 1147-1107) <b>Cal AD 858-886</b> (Cal BP 1092-1064)	<b>Cal AD 772-894</b> (Cal BP 1178-1056) Cal AD 931-937 (Cal BP 1019-1013)
MRM1, 1 <sup>a</sup> -B	1 <sup>a</sup> Fracción			1108±25 BP	Cal AD 900 Cal AD 922 Cal AD 946	<b>Cal AD 897-926</b> (Cal BP 1053-1020) <b>Cal AD 943-975</b> (Cal BP 1007-975)	<b>Cal AD 888-990</b> (Cal BP 1062-960)
MRM1, 2 <sup>a</sup> -B	2 <sup>a</sup> Fracción			1196±25 BP	Cal AD 775	Cal AD 775-779 (Cal BP 1175-1171) <b>Cal AD 778-833</b> (Cal BP 1172-1117) <b>Cal AD 836-869</b> (Cal BP 1114-1081)	Cal AD 727-737 (Cal BP 1223-1213) <b>Cal AD 768-892</b> (Cal BP 1182-1058)
MRM4, 1 <sup>a</sup> -A	1 <sup>a</sup> Fracción			≥ 60 ≤ 120 μm	1178±20 BP	Cal AD 779 Cal AD 789 Cal AD 830 Cal AD 836 Cal AD 868	Cal AD 777-792 (Cal BP 1173-1158) <b>Cal AD 804-842</b> (Cal BP 1146-1108) <b>Cal AD 860-887</b> (Cal BP 1090-1063)
MRM4, 2 <sup>a</sup> -A	2 <sup>a</sup> Fracción	1252±22 BP	Cal AD 717 Cal AD 742 Cal AD 766		<b>Cal AD 694-746</b> (Cal BP 1256-1204) <b>Cal AD 763-771</b> (Cal BP 1187-1179)	<b>Cal AD 676-777</b> (Cal BP 1274-1173) Cal AD 792-804 (Cal BP 1158-1146) Cal AD 812-825 (Cal BP 1138-1125) Cal AD 840-862 (Cal BP 1110-1088)	
MRMN, 1 <sup>a</sup> -A	1 <sup>a</sup> Fracción	Nódulos de cal	-	1099±21 BP	Cal AD 904 Cal AD 920 Cal AD 965	<b>Cal AD 900-922</b> (Cal BP 1050-1028) <b>Cal AD 949-982</b> (Cal BP 1001-968)	<b>Cal AD 893-990</b> (Cal BP 1057-960)
MRMN, 2 <sup>a</sup> -A	2 <sup>a</sup> Fracción			1178±45 BP	Cal AD 780 Cal AD 788 Cal AD 830 Cal AD 836 Cal AD 866	<b>Cal AD 773-893</b> (Cal BP 1177-1057) Cal AD 934-936 (Cal BP 1016-1014)	Cal AD 715-743 (Cal BP 1235-1207) <b>Cal AD 765-975</b> (Cal BP 1185-975)

BP (Before Present) - equivale a los años transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el año 1950 de nuestro calendario (cero BP se define como AD 1950). Se remarcan en rojo las fechas más probables, resultado de combinar la probabilidad a 1 y 2 σ.

Complementariamente, se procedió a medir el grado de alcalinidad del mortero y al estudio isotópico ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) de las diferentes fracciones de  $\text{CO}_2$  capturadas. La determinación del grado de alcalinidad de las muestras resulta de interés para evaluar la presencia de contaminaciones fósiles ya que las muestras de mortero alcalinas pueden absorber  $\text{CO}_2$  moderno, lo que originaría un rejuvenecimiento de las edades radiocarbónicas (Ringbom *et al.*, 2003)<sup>275</sup>. Las muestras de mortero muy alcalinas con valores de pH superiores a 8,8 proporcionan edades más jóvenes de las esperadas, en las primeras fracciones del  $\text{CO}_2$  aislado (Lindros *et al.*, 2011)<sup>276</sup>. En la figura 5.337 se presentan gráficamente los valores de PH de la muestra MRM, empleando diferentes diluciones en agua destilada a lo largo de 2 días y en ninguna se alcanza dicho valor.

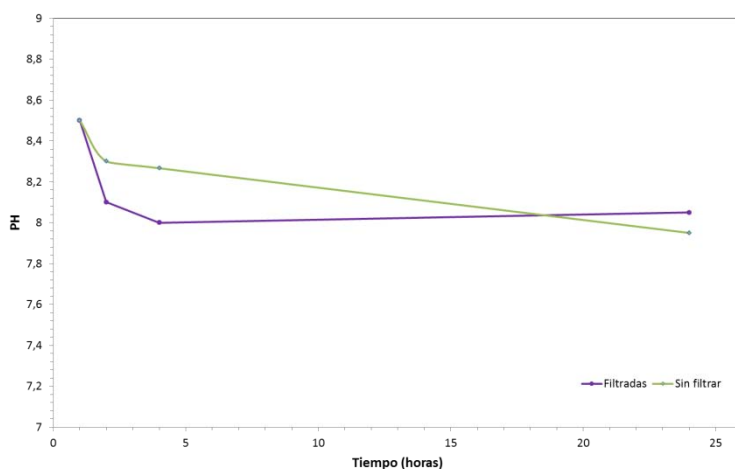


Figura 5.337. Valores de PH obtenidos para el mortero MRM, diluido en agua destilada. Los valores obtenidos han sido inferiores a 8,6. Transcurridas las primeras 4 horas, los valores de PH se estabilizan a 8, a temperaturas estándar de laboratorio. Independientemente de que las diluciones se hayan filtrado o no, a las 24 horas el PH se mantiene en torno a 8, lo que indica que la solución está saturada, en todos los casos (1, 2 y 4 mg de mortero).

En lo que se refiere al estudio isotópico, su la determinación de las concentraciones de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  se ha realizado mediante espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS). La espectrometría de masas de relación isotópica permite el análisis de las relaciones isotópicas de los elementos ligeros  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  y  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  con la precisión y la exactitud necesarias para medir las pequeñas variaciones en la abundancia isotópica -consecuencia del fraccionamiento- provocado por procesos naturales, tanto físicos como químicos. Para algunos autores, las concentraciones de estos elementos permiten evaluar el grado de contaminación en carbono fósil de las muestras (Marzaioli *et al.*, 2011<sup>277</sup>, Lindros *et al.*, 2012<sup>278</sup>), mientras que otros defienden lo contrario: la contaminación solo puede deducirse a partir del contenido en  $^{14}\text{C}$  de cada fracción (Van Strydonck

<sup>275</sup> Ringbom A., Heinemeier J., Lindros A. y Brock F. (2003). "Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations", *Dating Ancient Mortar*, American Scientist 91, Comm. Humm. Litt. Vol 128, p. 187-191.

<sup>276</sup> Lindros A., Heinemeier J., Ringbom A., Brock F., Sonck-Koota P., Pehkonen M. y Suksi J. (2011). "Problems in radiocarbon dating of Roman pozzolana mortars". *Building Roma Aeterna : Current Research on Roman Mortar and Concrete 128*, Commentationes Humanarum Litterarum Societas Scientiarum Fennica, p. 214-230.

<sup>277</sup> Marzaioli F., Lubritto C., Nonni S., Passariello I., Capano M. y Terrasi F. (2011) "Mortar radiocarbon dating: preliminary accuracy evaluation of a novel methodology". *Anal. Chem.* American Chemical Society, XXX, A-H, pubs.acs.org/ac

<sup>278</sup> Lindros A., Regev L., Oinonen M., Ringbom A. y Heinemeier (2012) "14C dating of fire-damaged mortars from medieval Finland" *Proceeding of the 6th International Radiocarbon and Archaeology Symposiu*, edited by Boaretto and N.R. Rebollo Franco Radiocarbone, Vol. 54, Nr 3-4, 2012, p. 915-931

et al, 1989<sup>279</sup>) o dicen que  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  y contaminación fósil no son fácilmente interpretables. A pesar de ello, éstos últimos defienden que los isótopos estables proporcionan información sobre el origen del  $\text{CO}_2$  y del  $\text{H}_2\text{O}$  durante la formación de la calcita y sobre sus procesos de degradación (Dotsika et al., 2009<sup>280</sup>), así como sobre los mecanismos de difusión del  $\text{CO}_2$ , medida indirecta de los procesos de elaboración de morteros (compactación, estructura y permeabilidad), (Van Strydonck et al., 1989). Es más, en los morteros de cal con o sin arenas y aditivos, existe relación entre el contenido en calcio transformado en carbonato y el fraccionamiento isotópico (Van Strydonck et al., 1989). Independientemente de que no hay consenso en el tipo de información proporcionada por el fraccionamiento isotópico, existen tendencias claras. Las muestras intensamente contaminadas presentan valores de  $\delta^{13}\text{C}$  próximos a los de una roca carbonata fósil (0 ‰), (Van Strydonck et al., 1992)<sup>281</sup>, mostrando  $\delta^{13}\text{C}$  de  $2,9 \pm 0,2$  ‰ y pMC\* de  $0,12 \pm 0,05$  ‰ para valores medios de porcentaje de carbono del  $10,2 \pm 0,2$  % (Marzaioli et al., 2011). Estos valores coinciden con los esperables para carbonatos sedimentarios (el  $\delta^{13}\text{C}$  de carbonatos cretácicos presenta valores comprendido entre +1 y +3 ‰, siendo el contenido en carbono próximo al 12%), lo cual coincide con la abundancia de radiocarbono empobrecido, relacionado con la edad antigua de materiales carbonosos (Wissler et al., 2003<sup>282</sup>). Algunos investigadores incluso relacionan valores muy negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  con daños generados por el fuego de incendios (Lindroos et al., 2012). Con el oxígeno, ocurre lo mismo. Cuanto más contaminación fósil presente el mortero, los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  tenderán a ser más positivos (Lindroos et al., 2012)<sup>283</sup>. En la figura 5.339 se representa gráficamente las fechas radiocarbónicas de la 1ª y 2ª fracción de  $\text{CO}_2$  aislado, con sus correspondientes valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  en las diferentes submuestras estudiadas (MRM1A y MRM1B, MRM4 y MRMN). En tabla 5.33, además de los valores obtenidos para las diferentes fracciones, se incluyen los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , obtenidos a partir de la datación de maderas y carbones vegetales. Los contenidos en carbono moderno son siempre mayores en las primeras fracciones de  $\text{CO}_2$ , lo cual coincide con que las segundas fracciones de  $\text{CO}_2$  presentan mayor contaminación fósil, siendo los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  más próximos a los propios de rocas carbonatadas fósiles ( $\approx 0$  ‰), (Tabla 5.33 y Fig.5.338). Los valores de  $\delta^{18}\text{O}$  también se vuelven más positivos en la segunda fracción de  $\text{CO}_2$ , excepto en una única muestra que más o menos se mantienen.

\*pMC - porcentaje de carbón moderno

---

<sup>279</sup> Van Strydonck M., Dupas M. y Keppens E. (1989). "Isotopic fractionation of oxygen and carbón in lime mortar under natural environment conditions" In Long. A. and Kra. R.S., eds, Proceeding of the 13<sup>th</sup> International 14C Conference. Radiocarbon 31(3): 610-618.

<sup>280</sup> Dotsika E., Psomiadis D., Poutoukis D., Raco B. y Gamaletsos P. (2009). "Isotopic analysis for degradation diagnosis of calcite matrix in mortar" Anal Bioanal Chem (2009) 395:2227-2234.

<sup>281</sup> Van Strydonck M.J., Van der Borg K., De Jong A.F.M. y Keppens E. (1992). "Radiocarbon dating of lime fractions and organic material from buildings". Radiocarbon, Vol. 34, N° 3, 1992 p. 873-879.

<sup>282</sup> Wissler L., Funk H., Weissert H. (2003). "Paleogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.", 2003, 200, 187-205.

<sup>283</sup> Lindroos A., Regev L., Oinonen M., Ringbom A. y Heinemeier J. (2012). "14C dating of fire-damaged mortars from medieval Finland". Radiocarbon, Vol. 54, N° 3-4, p. 915-931.

Tabla 5.33.- Valores  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  de cada una de las fracciones de  $\text{CO}_2$  aisladas (la 1ª a los 8-10 s; la 2ª a los 60 s) y valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , obtenidos en las muestras datadas mediante procedimientos tradicionales.

Método finlandés (a partir de compuestos inorgánicos)		Peso inicial (g)	Tipo de muestra	Choque térmico (ciclos)	Referencia	Peso (g)	Granulometría	Comentario	t (s)	Hidrólisis	pMC	$\delta^{13}\text{C}$ Result PDB $\pm 0.02\%$	$\delta^{18}\text{O}$ Result PDB $\pm 0.02\%$	
Método tradicional (a partir de compuestos orgánicos)	Madera	65	Mortero de cal	10	MRM1A 1ª	1	$\leq 60 \mu\text{m}$	Disgregación natural	10	1ª fracción $\text{CO}_2$	$87.3 \pm 0.3$	-13,17	-16,19	
					MRM1A 2ª	1	$\leq 60 \mu\text{m}$		60	2ª fracción $\text{CO}_2$	$86.6 \pm 0.3$	-7,27	-13,32	
		65	Mortero de cal		MRM1B 1ª	0,7	$\leq 60 \mu\text{m}$	Suave machaqueo previo	10	1ª fracción $\text{CO}_2$	$87.1 \pm 0.2$	-9,93	-13,53	
					MRM1B 2ª	0,3	$\leq 60 \mu\text{m}$	Disgregación natural Suave machaqueo previo	60	2ª fracción $\text{CO}_2$	$86.2 \pm 0.3$	-6,91	-14,00	
		65	Mortero de cal		MRM4 1ª	1	$> 60 \leq 120$	Disgregación natural	10	1ª fracción $\text{CO}_2$	$86.4 \pm 0.2$	-12,22	-15,54	
					MRM4 2ª	1	$> 60 \leq 120$		60	2ª fracción $\text{CO}_2$	$85.6 \pm 0.2$	-6,45	-13,39	
	Nódulo de cal	0,95	Nódulo de cal	MRMN 1ª	0,95	$< 60 \mu\text{m}$	Suave machaqueo previo	10	1ª fracción $\text{CO}_2$	$87.2 \pm 0.2$	-14,72	-15,31		
				MRMN 2ª	0,95			60	2ª fracción $\text{CO}_2$	$86.4 \pm 0.5$	-6,58	-12,75		
			Tipo muestra		Localización		Referencia							
			Madera		Lateral este, nave sur (arriba), bajo músico		Beta-359752							
			Carbón vegetal		Fachada Este		SML36/ Beta-298045							
							SML43/ Beta-299592							
		SML45/ Beta-299594												
		SML39/ Beta-298046												
		Fachada sur		Fachada sur		SML46/ Beta-299595								
		Fachada sur		Fachada sur		SML47/ Beta-299594								

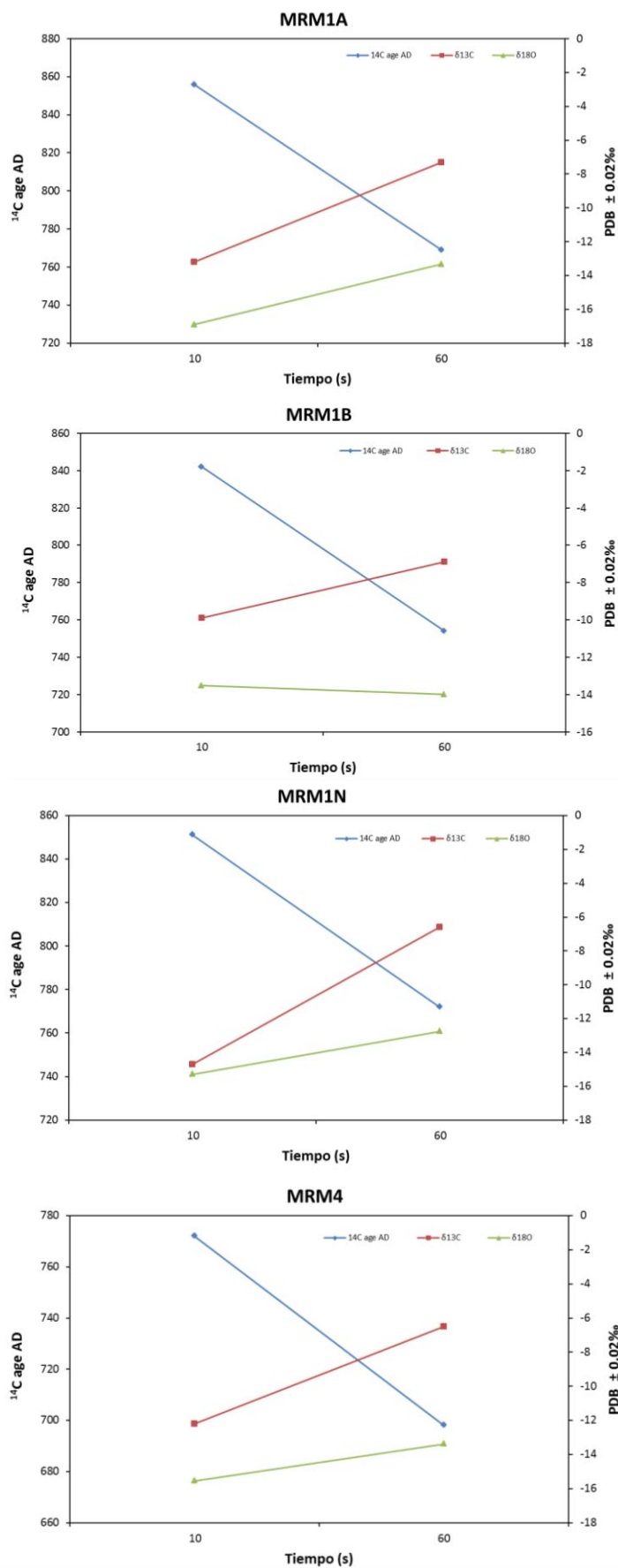


Figura 5.338.- Edad radiocarbónica calibrada (cal AD) y valores δ<sup>13</sup>C y δ<sup>18</sup>O de cada una de las fracciones de CO<sub>2</sub> aisladas (la 1ª a los 8-10 s; la 2ª a los 60 s).

Revisados los resultados de las fechas radiocarbónicas y efectuado el análisis estadístico de las muestras, mediante el programa de calibración Calib 6.1.0 para Mac (Stuiver y Reimer, 1993)<sup>284</sup> se comprueba que entre las muestras MRM1A 1ª y 2ª; MRM1B 1ª; MRMN 1ª y 2ª no existen diferencias significativas ( $\chi^2= 0.173$ , 2 df;  $p= 0,917$ ), (Fig. 5.339), por lo que podrían combinarse las 5 muestras, obteniéndose una fecha radiocarbónica convencional de  $1109 \pm 11$  BP. Durante el tratamiento estadístico de los datos también se ha comprobado que tampoco existen diferencias significativas entre las primeras y segundas fracciones de las muestras MRM1 A ( $\chi^2= 0,569$ , 1 df;  $p= 0,451$ ) y MRMN ( $\chi^2= 2,531$ , 1 df;  $p= 0,112$ ). Por tanto, las fechas de la primera y segunda fracciones casan en dos muestras (MRM1A y MRMN) y además las fechas de las primeras fracciones de MRM1A, MRM1B y MRMN también coinciden entre sí, con lo cual se cumplen varios de los criterios necesarios para validar el **método finlandés** (Cap. 3: p. 51-52 y Apéndice). Prescindiendo de la muestra MRM4, que ha evidenciado mayor contaminación fósil, por su mayor tamaño de grano, el intervalo de fechas radiocarbónicas convencionales para las 5 muestras estaría comprendido entre cal AD 830-852 (siglo IX) (Fig. 5.340). La fecha calibrada para estas muestras se presenta en la figura 5.341.

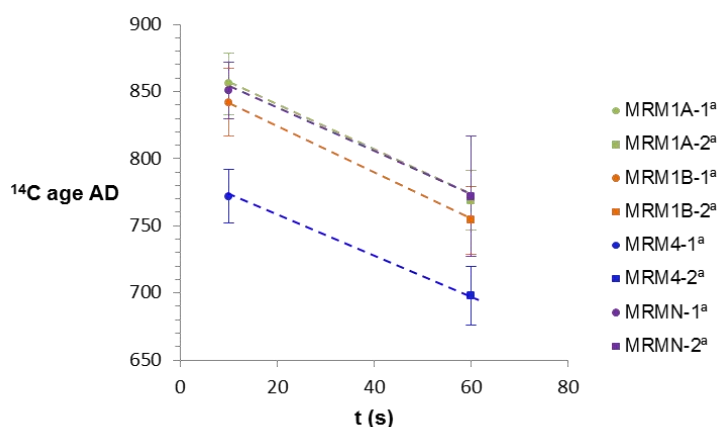


Figura 5.339.- Edad radiocarbónica convencional para las diferentes fracciones de CO<sub>2</sub> analizadas.

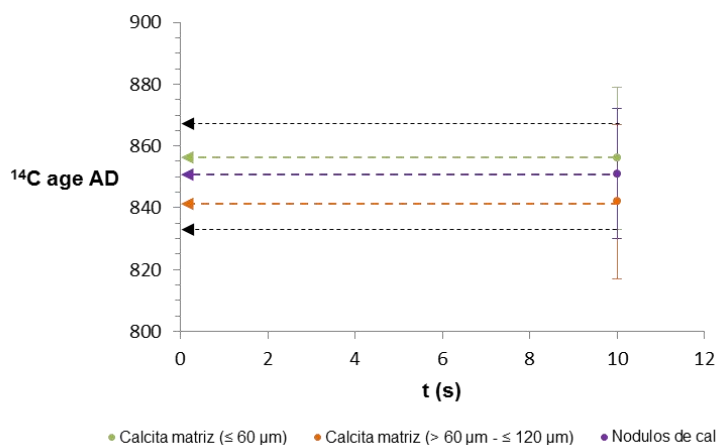


Figura 5.340.- Edad radiocarbónica convencional para las diferentes fracciones de CO<sub>2</sub> analizadas.

<sup>284</sup> CALIB RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM\* Copyright 1986-2011 M Stuiver and PJ Reimer. \*To be used in conjunction with: Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215-230.

Radiocarbon Age BP	1109 +/- 11		# Reimer et al. 2013
Calibration data set:	intcal13.14c		relative area under
% area enclosed	cal AD age ranges		probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 899- 922		0.499
	948- 971		0.501
95.4 (2 sigma)	cal AD 894- 930		0.473
	937- 980		0.527
Median Probability:	939		

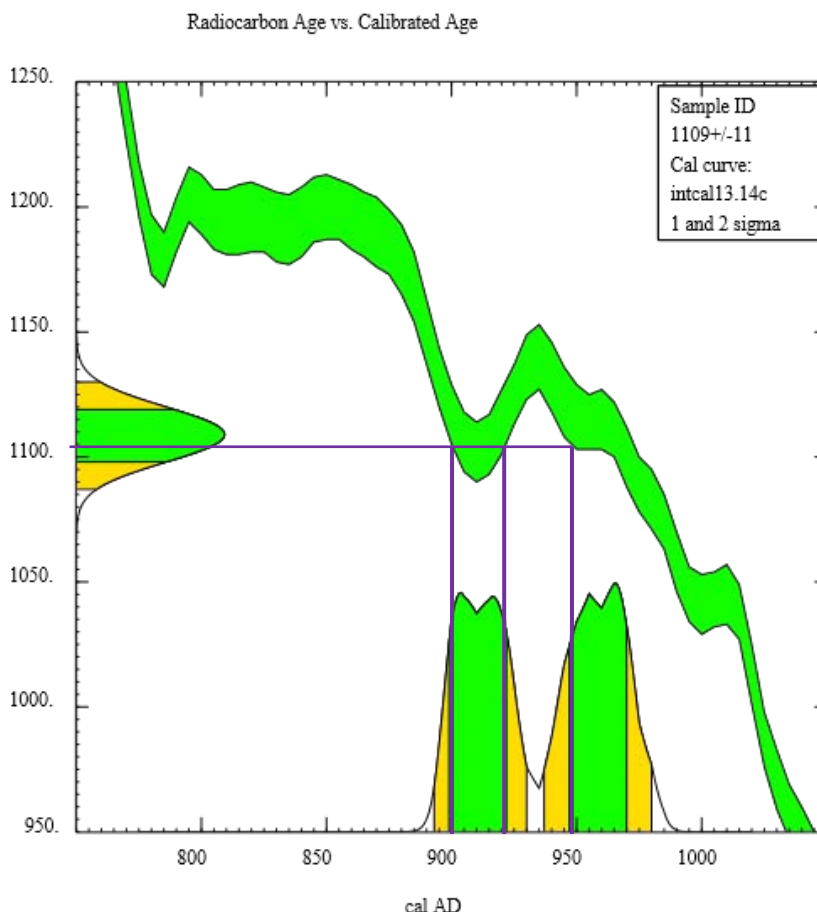


Figura 5.341.- Datación absoluta de las muestras MRM1A 1ª y MRM1A 2ª; MRM1B 1ª; MRMN 1ª y MRMN 2ª. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hattá C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP. Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947. **Comments:** \*This standard deviation (error) includes a lab error multiplier. \*\* 1 sigma = square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2), \*\* 2 sigma = 2 x square root of (sample std. dev.^2 + curve std. dev.^2) where ^2 = quantity squared. [ ] = calibrated range impinges on end of calibration data set, 0\* represents a "negative" age BP, 1955\* or 1960\* denote influence of nuclear testing C-14. **NOTE:** Cal ages and ranges are rounded to the nearest year which may be too precise in many instances. Users are advised to round results to the nearest 10 yr for samples with standard deviation in the radiocarbon age greater than 50 yr.

Analizando las áreas de probabilidad conjunta de los intervalos obtenidos a 1σ (68%) y 2σ (95 %) se deduce, que la combinación de las 5 muestras, sin diferencias significativas entre ellas, dataría en cal AD 894-930 y cal AD 937-990, finales del siglo IX y finales del siglo X, con una probabilidad del 95%. Estos valores se ajustan algo más si nos centramos únicamente en las primeras fracciones de las muestras MRM1A (<60 μm) y MRMN (nódulos de cal) cal AD 895-928 y cal AD 939-987 y más si cabe si nos centramos en la primera fracción de los nódulos de cal. En esta última, si integramos las áreas de probabilidad a 1 sigma (cal AD 900-922 y 949-982) (68%) y a 2 sigma (cal

AD 893-990) (95%) (Fig. 5.335) y calculamos el ratio entre ambas («odds ratio») se comprueba que hay casi dos veces más de probabilidad de que la muestra provenga del período comprendido entre cal AD 949 y 982. Obtenidos estos valores, se comparan con los derivados de la datación efectuada en 2013, por Beta Analytic, a partir de una muestra de madera, recogida en la nave sur y se observan diferencias. La calibración de esta muestra, con el programa Calib 7.1 para PC, ha permitido obtener la gráfica de la figura 5.342. La muestra dataría en una fecha comprendida entre cal AD 887-999 (con una probabilidad de 95%), finales del siglo IX, finales del siglo X, siendo superior la probabilidad de que la fecha calibrada esté contenida en el intervalo cal AD 944-984, por tanto, mediados del siglo X y finales del siglo X. Teniendo en cuenta que a la madera le debería corresponder una edad superior a la de la construcción, esta fecha resulta significativamente diferente a la obtenida a partir de los morteros. Igualmente, se procede a la nueva calibración de la muestra de carbón vegetal recogida en el mortero del ábside en 2011, para la cual se obtienen un intervalo de probabilidad del 95% de cal AD 1037-1225 (Fig. 5.343). Si solapamos las dos probabilidades obtendríamos una probabilidad del doble para el intervalo cal AD 1151-1216, lo que significa una fecha más probable para mediados del siglo XII y primera decena del siglo XIII.

Radiocarbon Age BP	1100 +/- 30		
Calibration data set:	intcal13.14c	# Reimer et al. 2013	
% area enclosed	cal AD age ranges	relative area under	
		probability distribution	
68.3 (1 sigma)	cal AD 898- 925		0.409
	944- 984		0.591
95.4 (2 sigma)	cal AD 887- 999		0.975
	1002- 1012		0.025
Median Probability:	944		

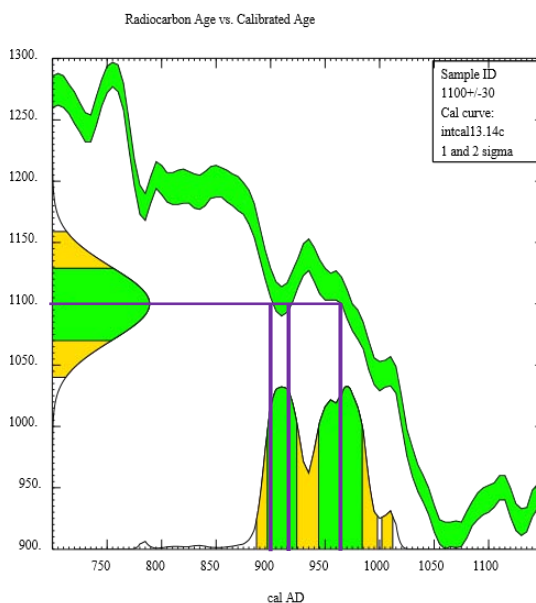


Figura 5.342.- Datación absoluta de la muestra Beta-359752. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, HattÄ© C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947.



Radiocarbon Age BP	880 +/- 40		
Calibration data set:	intcal13.14c		# Reimer et al. 2013
% area enclosed	cal AD age ranges		relative area under probability distribution
68.3 (1 sigma)	cal AD 1050- 1082		0.272
	1128- 1135		0.049
	1151- 1216		0.680
95.4 (2 sigma)	cal AD 1037- 1225		0.984
	1234- 1243		0.016
Median Probability:	1156		

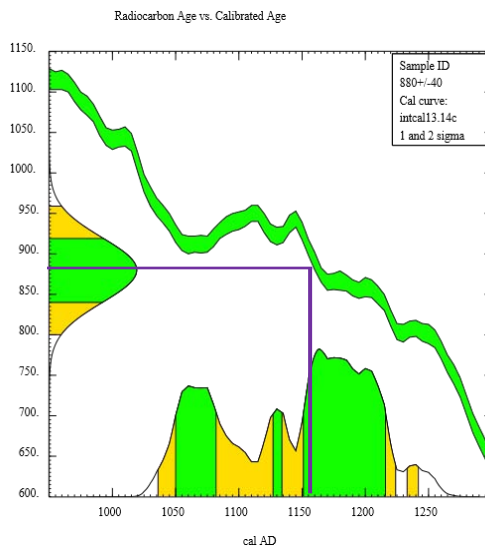


Figura 5.343.- Datación absoluta de la muestra SML36. Se marca con un recuadro el intervalo de probabilidad del 95%.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, Hattala C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947.

Respecto a los fragmentos de carbón, datados en 2011, procedentes de los morteros de juntas exteriores del edificio se comprueba que los morteros SML45 y SML46 son de la misma época con un rango de fechas calibradas 2  $\sigma$  comprendidas entre cal AD 660-730 (siglos VII y VIII) y cal AD 660-730 (siglo VIII) (Fig. 5.344). A la muestra SML39 calibrada le correspondería una fecha cal AD 669-778 (siglo VII y VIII) y a la muestra SML43, cal AD 677-779 (siglos VII y VIII) y cal AD 790-869 (siglos VII y IX). Las tres se sitúan en la misma franja de siglos, aunque cabe resaltar que la última se acerca más a las fechas proporcionadas por el mortero MRM. Conviene recordar que las fechas que proporcionan los carbones deberían de ser relativamente próximas a las de los morteros, pero más antiguas que ellos, ya que los carbones reflejarían la edad de crecimiento de las maderas que se usaron, normalmente de los anillos más antiguos, que están más protegidos cerca del centro de la sección del tronco. Así que, lejos de ser un problema, el hecho de que las fechas de carbones no solapen con las de los morteros y proporcionen en todos los casos fechas más antiguas es lo lógico y esperable, e indican que las dos series de análisis son correctas. Lo que implica esta mayor antigüedad de los carbones es la utilización de maderas maduras; lo cual también es esperable para mantener las temperaturas necesarias para el calcinado de la cal. Como se ha explicado en el capítulo tres, la datación a partir de muestras orgánicas de maderas resulta menos precisa, ya que requieren de más datos para su interpretación (Cap. 3: p. 47-49).

Radiocarbon Age BP 1300 +/- 30  
 Calibration data set: intcal13.14c # Reimer et al. 2013  
 % area enclosed cal AD age ranges relative area under probability distribution

68.3 (1 sigma)	cal AD 669- 695	0.512
	700- 710	0.144
	745- 764	0.344
95.4 (2 sigma)	cal AD 660- 730	0.677
	736- 769	0.323

Median Probability: 706

Radiocarbon Age BP 1260 +/- 30  
 Calibration data set: intcal13.14c # Reimer et al. 2013  
 % area enclosed cal AD age ranges relative area under probability distribution

68.3 (1 sigma)	cal AD 689- 751	0.853
	760- 770	0.147
95.4 (2 sigma)	cal AD 669- 778	0.899
	791- 827	0.058
	839- 863	0.043

Median Probability: 732

Sample ID  
 Lab Code  
 Sample Description  
 Radiocarbon Age BP 1250 +/- 30  
 Calibration data set: intcal13.14c # Reimer et al. 2013  
 % area enclosed cal AD age ranges relative area under probability distribution

68.3 (1 sigma)	cal AD 688- 774	1.000
95.4 (2 sigma)	cal AD 677- 779	0.785
	790- 869	0.215

Median Probability: 739

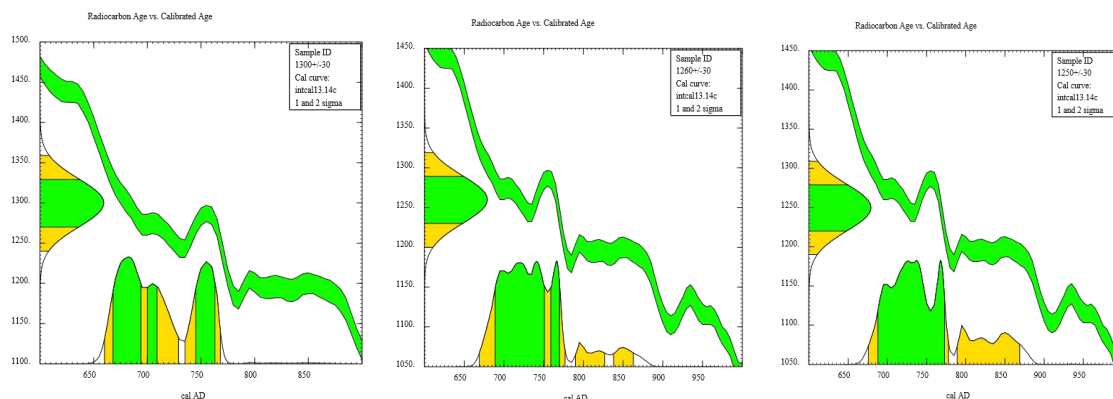


Figura 5.344.- Distribución de probabilidad de la fecha radiocarbónica calibrada de las muestras SML45 y SML46 (arriba), SML39 (en medio) y SML43 (abajo), con sus correspondientes curvas de calibración, de izquierda a derecha, respectivamente.

**References for calibration datasets:** Reimer PJ, Bard E, Bayliss A, Beck JW, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Buck CE, Cheng H, Edwards RL, Friedrich M, Grootes PM, Guilderson TP, Hafliðason H, Hajdas I, HattÄ© C, Heaton TJ, Hogg AG, Hughen KA, Kaiser KF, Kromer B, Manning SW, Niu M, Reimer RW, Richards DA, Scott EM, Southon JR, Turney CSM, van der Plicht J. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years calBP Radiocarbon 55(4). DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947.

## DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS





## 6.- DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se interpretan los resultados obtenidos para los morteros y la pintura mural de los diferentes edificios estudiados para posteriormente establecer relaciones entre los mismos.

### 6.1.- CÁMARA SANTA

En la cámara Santa se han identificado 6 morteros distintos:

- Uno correspondiente al mortero original de fábrica que traba los mampuestos de los muros (muestra mCS12).



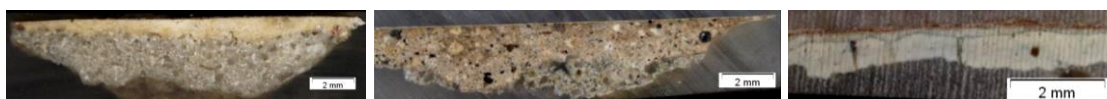
- Un revoco original, aplicado sobre la fábrica antigua y elaborado, en dos capas: enfoscado y enlucido (muestras: mcCS2inf., mcCS4, mcCS5, mcCS8inf., mCS11 y EPa33).



- Un revoco, algo más tosco, aplicado sobre el anterior, correspondiente a la reforma románica (muestras: mcCS1, mcCS2 sup., mcCS3, mcCS6, mcCS8 sup, mCS9, mCS2, mCS24 y EPa32).



- Tres revocos de reposición, empleados en posteriores intervenciones (muestras: mcCS7, mcCS18 y mCS21).



Revisando las fuentes documentales hay constancia de la presencia de morteros antiguos, durante la investigación y el desarrollo de las obras de restauración llevadas a cabo en la Cámara Santa, entre 1919<sup>275</sup> y 1920 por Víctor Hevia (Fernández Buelta *et al.*, 1984). Esta restauración tuvo por objeto eliminar: los óleos grises que recubrían los elementos pétreos de la sala de los apóstoles (grupos escultóricos, podios, capiteles, impostas y dovelas de los arcos fajones) y los blanqueos que recubrían los muros y bóvedas de la nave central y el camarín (Fig. 6.1). Eliminados los encalados, quedó al descubierto un revoco áspero lleno graffitis y con manchas rojizas, por debajo del cual aparecía otro más fino y antiguo. Estos dos revocos son los estudiados y descritos en esta tesis como revoco externo e interno



Figura 6.1.- Imágenes del archivo MAS (Institut Amatller d' Art Hispànic), de 1918. De izquierda a derecha: grupos escultóricos Santiago el Menor y San Felipe, San Pedro y San Pablo (muro sur de la nave central) y Santiago y San Juan (muro norte, nave central). Tal como se aprecia en las imágenes, los muros aparecen cubiertos por encalados. En lo que se refiere a las ventanas, todavía no había sido reabierto, la más próxima al camarín, ni destapiada, la ubicada a la izquierda de Santo Tomás y San Bartolomé. En la fotografía central también se intuye la presencia del zócalo que recubría la parte inferior de los muros.

Si se analizan las imágenes del año 1934 se comprueba que algunos morteros resistieron los destrozos de la explosión y, convenientemente fijados en la reconstrucción de 1942, conservan su posición original a día de hoy, lo que permite establecer la secuencia estratigráfica entre ellos (Figs 6.2 a 6.3). Las fotografías históricas procedentes de los archivos de la Hermandad de Defensores de Oviedo, de Menéndez Pidal, del MAS (1918) y de Pedro Díaz Gómez (1941), permiten confirmar estas observaciones. En las figuras 6.2 a 6.4 se pueden visualizar los morteros e incluso los graffitis históricos de los peregrinos, trazados probablemente en el siglo XIII, sobre el revoco de la reforma románica de la cámara Santa (siglo XII) (Fig. 6.4). Este mortero románico se dispone sobre el revoco de la fábrica primitiva altomedieval, previo picoteado de la superficie de este último (Fig. 6.2). Ambos revocos, el primero aplicado en dos capas (enlucido y enfoscado), recubren los muros interiores de la Cámara Santa, conviviendo con los morteros incorporados en intervenciones posteriores y en la reconstrucción de la capilla, en 1942 (Fig. 6.4).

<sup>275</sup> Cuesta J. y Sandoval A. (1919). "Cámara Santa. Memoria". Oviedo, Imp. "La Cruz". San Vicente nº. 10, 1919.

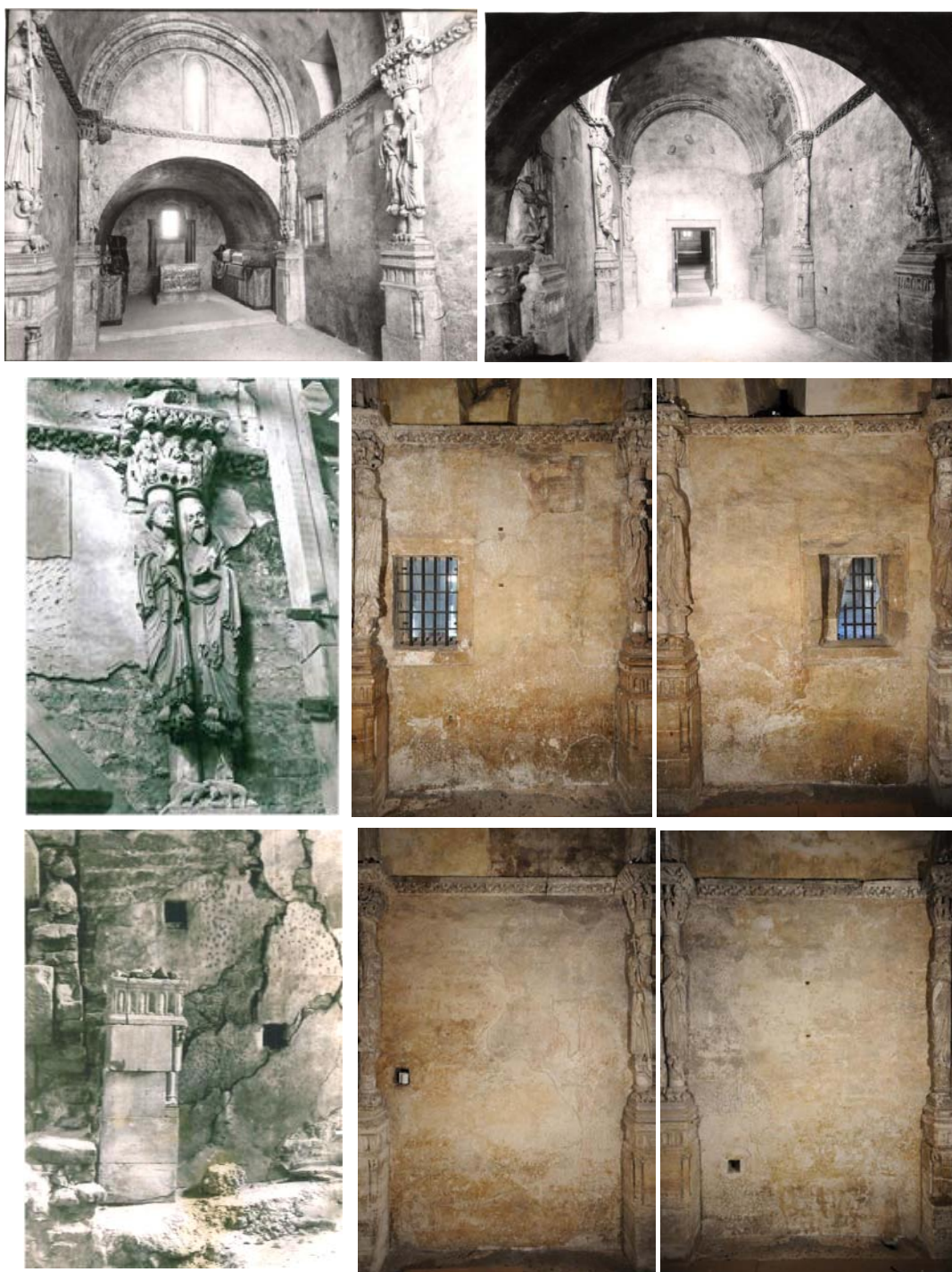


Figura 6.2.- Arriba: imágenes de la reconstrucción de la Cámara Santa en 1942. En medio y abajo: a la izquierda detalles de los destrozos de 1934 y a la derecha aspecto del muro sur y del muro norte, antes de la restauración de 2013-2014. Las imágenes de la izquierda muestran el revoco interno picoteado que en determinados puntos aparece recubierto por otro revoco externo de color grisáceo.



Figura 6.3.- Imágenes del camarín después de la restauración de 1942 y antes y después de las obras de restauración de 2013-2014.



Figura 6.4.- Aspecto de los graffitis históricos, localizados en la pared sur del camarín. Estado de conservación en 1942, después de la reconstrucción de la Cámara Santa (izquierda) y antes de la restauración de 2013-2014 (derecha). Estos graffitis han sido practicados a base de incisiones, sobre el revoco externo. Bajo este revoco se comprueba la existencia de otro anterior, y en determinadas zonas puede observarse que ambos están en contacto con otro mortero de restauración, empleado en las obras de reconstrucción de 1942 (imágenes intermedias e inferiores). El mortero incorporado en 1942, de color beige-amarillento, se separa de los anteriores, mediante unas líneas de sutura rehundidas.

### **Morteros**

Los revocos estudiados, a pesar de presentar similares dosificaciones árido-matriz (1:1) y composiciones (cal y arena de cuarzo), son muy diferentes. El más antiguo, de época fundacional (siglos VIII-IX) consta de dos capas (enfoscado y enlucido) y contiene fragmentos fósiles, mientras que el de la reforma románica (siglo XII) ha sido aplicado en una sola capa (enlucido) y presenta abundantes fragmentos de madera (Figs. 6.5 a 6.6). La granulometría y la morfología del árido empleado en cada uno de ellos también son distintas. Mientras que en el románico, la granulometría es bastante homogénea (200  $\mu\text{m}$ -1,5 mm, con una moda de 750  $\mu\text{m}$ ); en el altomedieval existen dos poblaciones de tamaño de grano ((200-400  $\mu\text{m}$ ) y (1,8-4,3



mm)); correspondientes al enlucido y enfoscado, respectivamente. La fracción del árido de mayor tamaño presenta un grado de esfericidad y redondeamiento elevado, lo que implica procesos de meteorización y transporte continuado. En el enlucido de la reforma románica la morfología es angulosa, lo que sugiere la utilización de árido, procedente de cantera (Fig. 6.6). Los dos revocos históricos han sido identificados tanto en el camarín o santuario de las reliquias, como en la nave central o sala de los apóstoles. El aspecto integral de las muestras analizadas para cada uno de estos revocos se presenta, en la figura 6.7.

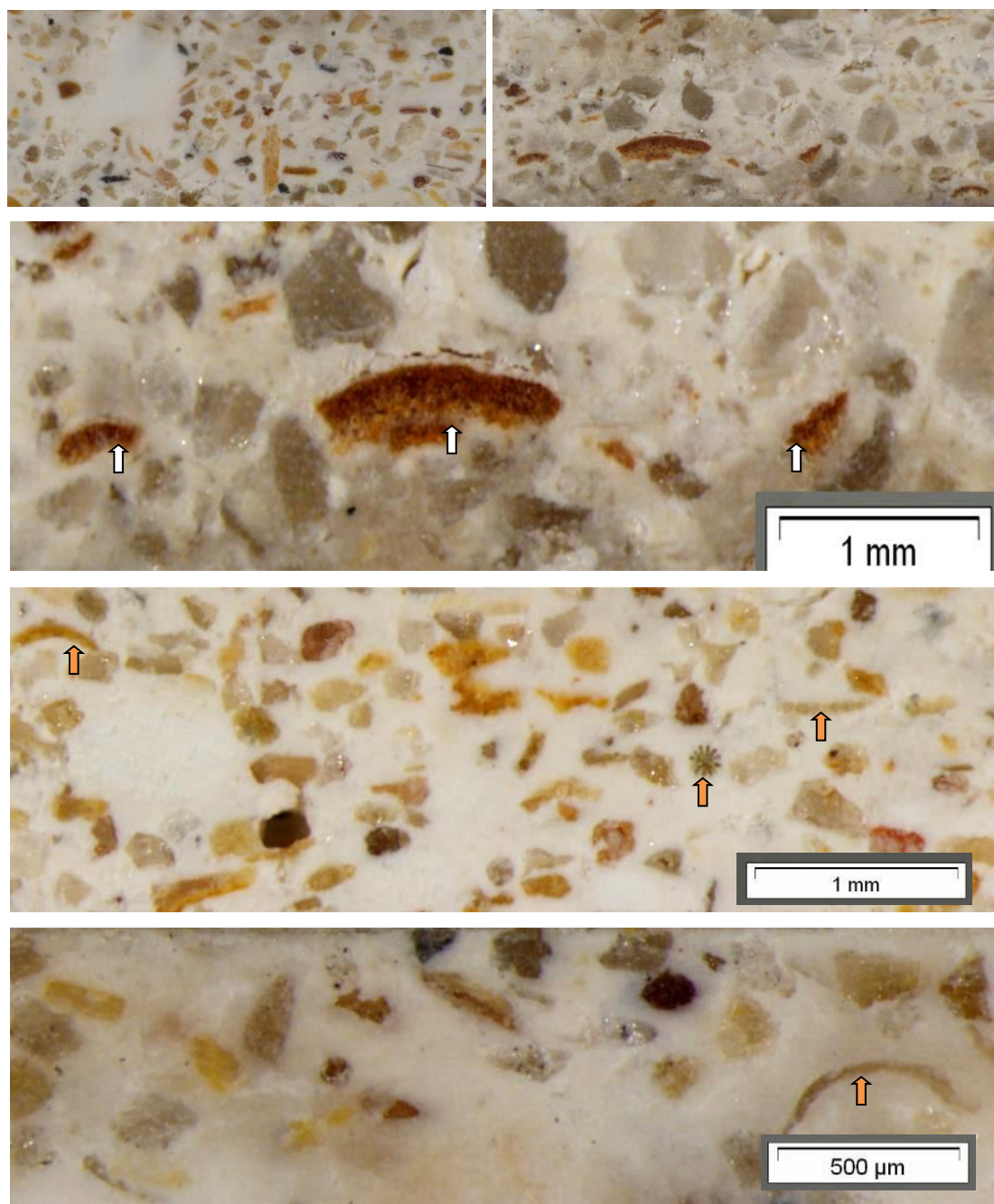


Figura 6.5.- Arriba: aspecto macroscópico del revoco románico (imágenes superiores) y del enlucido del revoco altomedieval (imágenes inferiores). Además de la diferente granulometría y naturaleza del árido, destaca la presencia de fragmentos de madera en el románico (flechas blancas) y de fragmentos fósiles en el altomedieval (flechas anaranjadas).

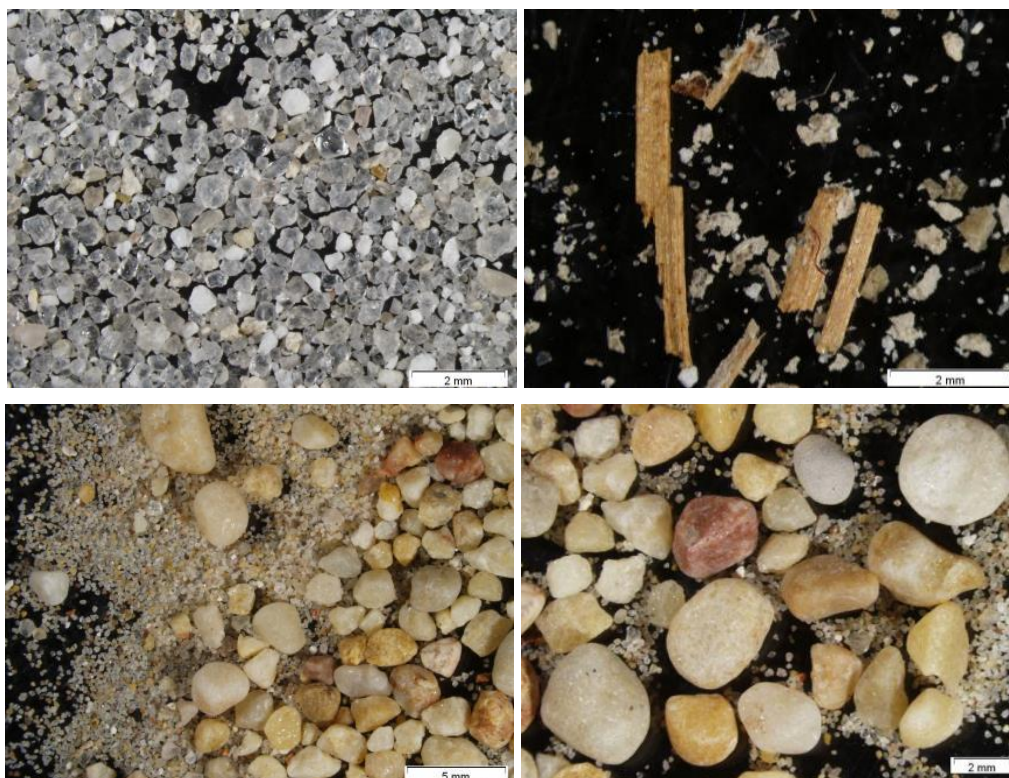


Figura 6.6.- Aspecto general del árido del revoco románico (arriba) y del altomedieval (abajo). El elevado grado de redondeamiento y esfericidad, observado en la fracción gruesa del altomedieval, induce a pensar que se trata de arena de río. Por el contrario, en el románico, el árido parece proceder de cantera, obtenido por machaqueo de rocas cuarcíticas. También se constata la incorporación de fragmentos de madera como aditivos en este último.



Figura 6.7.- Detalle de las muestras de los revoco históricos analizados, en sección transversal. La secuencia superior corresponde al revoco románico, la intermedia al altomedieval y la inferior al mortero de juntas que traba la mampostería de fábrica de la Cámara Santa.

En lo que se refiere a los dos morteros fundacionales, el de juntas que traba los mampuestos de fábrica, coincide en dosificación árido-matriz (1:1) y en composición con el enfoscado del revoco altomedieval, aunque existen ligeras diferencias en lo que al árido se refiere (Fig. 6.7). La granulometría es algo superior y seriada (0,18 – 3,7 mm), con una moda de 1-2 mm) y además de granos de cuarzo, presenta abundantes fragmentos de roca carbonatada (calizas y dolomías), ambos de morfologías subredondeadas-subangulosas. El otro, correspondiente al hormigón («opus signinum») empleado en el solado de la Cámara Santa es un mortero conglomerático, donde el árido utilizado han sido fragmentos cerámicos y de rocas carbonatadas, dispersos en un mortero de cal, con arena de cuarzo y microclina. Este tipo de materiales responde a patrones más propios de la Antigüedad, descritos por Vitrubio<sup>276</sup> (proporciones: una parte de cal, dos de arena y una de material latericio), que a los propiamente medievales (Fig. 6.8).



Figura 6.8.- «Opus signinum» empleado en el pavimento de la Cámara Santa.

### ***Pintura mural***

Sobre los dos revocos históricos, se han detectado abundantes recubrimientos y restos pictóricos de espesor variable y distribución heterogénea y que difieren de unas muestras a otras, reflejo de las numerosas intervenciones que han afectado a estos morteros. En los esquemas de las figuras 6.9 a 6.13 se presentan las estratigrafías de las muestras analizadas y sus correspondencias pictóricas. En el camarín, se detectan capas pictóricas, elaboradas a base de calcita, cuarzo y algo de yeso, normalmente sin dolomita, donde los pigmentos identificados han sido: *bermellón*, *albayalde* y *negro de humo* (muestras mcCS4, mcCS5 y mcCS6), (Fig. 6.9). Estas capas de color siempre se disponen sobre bases de preparación constituidas por: calcita, yeso y algo de cuarzo y dolomita, lo que indica que han sido aplicadas sobre mortero ya endurecido y seco. Sólo en el caso de una muestra (mCS8), la capa pictórica aparece elaborada a base de *tierra amarilla*, calcita y cuarzo, directamente aplicada sobre el enlucido fresco. Por encima de estas secuencias, en algunas muestras (mcCS2 y mCS11) se detectan varios recubrimientos, elaborados a base de: yeso, cuarzo y dolomita, calcita, cuarzo y yeso, o calcita, cuarzo y aluminosilicatos, correspondientes a sucesivas labores de blanqueo de las superficies. Así mismo, cabe mencionar la presencia de cera de abeja en algunas superficies (muestras mcS2, mcCS4, mcCS5 y mCS11), lo que no es de extrañar porque las velas fueron el sistema de iluminación de esta estancia durante siglos.

<sup>276</sup> Vitrubio Polion M. L. “Los diez libros de la Arquitectura”, Libro II, capítulo V, 7.

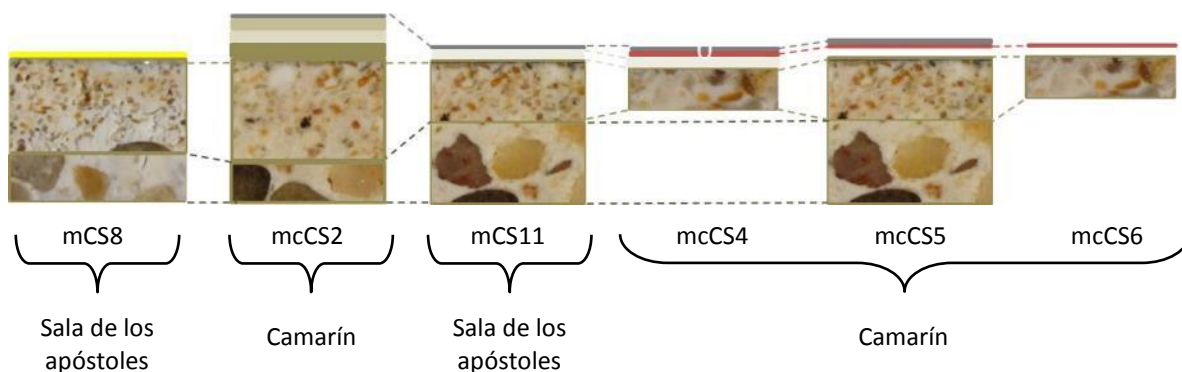


Figura 6.9.- Esquema estratigráfico de los recubrimientos y capas pictóricas identificadas sobre los enlucidos altomedieval y románico, recogidos en el camarín y en la sala de los apóstoles.

En lo que se refiere a la pintura mural sobre el enlucido de la reforma románica, en la superficie de algunas muestras, localizadas en el camarín, únicamente se detectan capas de yeso, calcita, cuarzo y aluminosilicatos, recubiertas por cera de abeja (muestras mcCS2sup. y mCS8sup.) (Fig. 6.10). Las capas pictóricas de color rojo que se conservan en otras muestras han sido elaboradas a base de: *tierra roja*, con calcita, cuarzo, dolomita y algo de yeso, y aparecen directamente aplicadas sobre la superficie del mortero cuando éste todavía estaba húmedo (muestras mcCS3, mCS9 y mCS24) (Fig. 6.10). Ocasionalmente, en una muestra (mcCS3) situada por encima de la capa roja se detecta otra de color negro, cuyo pigmento es el *negro de humo*, además de otros recubrimientos, destinados al blanqueo de superficies, elaborados a base de: yeso, calcita, cuarzo y dolomita y calcita, cuarzo, dolomita y yeso, finalmente recubiertos por una capa de cera de abeja. Este recubrimiento orgánico también se ha detectado sobre la capa pictórica de color rojo, recogida en la sala de los apóstoles (muestra mCS9). En esta sala también se ha constatado la existencia de restos de color rojo, parcialmente ocultos por una capa de *albayalde*, calcita, yeso y cuarzo (muestra mCS24). Esta última capa también ha aparecido coloreada en superficie con *tierra amarilla* (muestra mCS23), pero bajo la capa amarilla, también se han detectado enyesados y/o encalados anteriores, destinados al blanqueo de superficies.

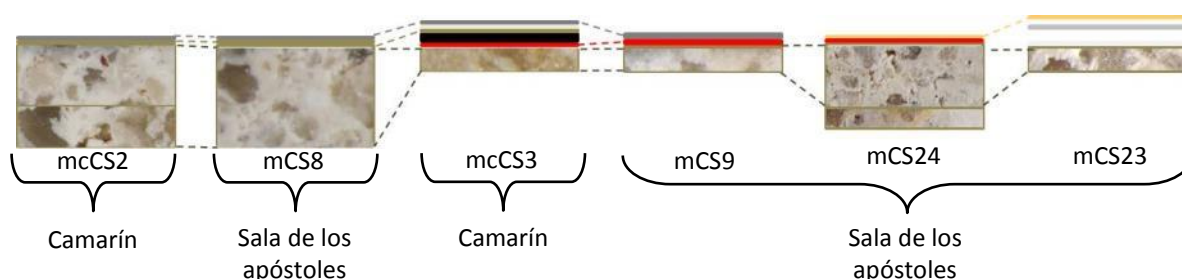


Figura 6.10.- Esquema estratigráfico de los recubrimientos y capas pictóricas detectadas sobre el enlucido de la reforma románica.

El análisis estratigráfico de los enlucidos indica que en la sala de los apóstoles todavía se conservaban restos de pintura mural altomedieval, cuando de procedió a la aplicación del

enlucido románico. Por el contrario, en el camarín no se han detectado restos de esta pintura original, aunque sí se ha comprobado la existencia de hasta tres capas de encalados y enyesados entre los enlucidos históricos (muestra mcCS2), lo que evidencia el afán que ha habido por blanquear las superficies ennegrecidas a lo largo de la historia de esta capilla (Fig. 6.11).

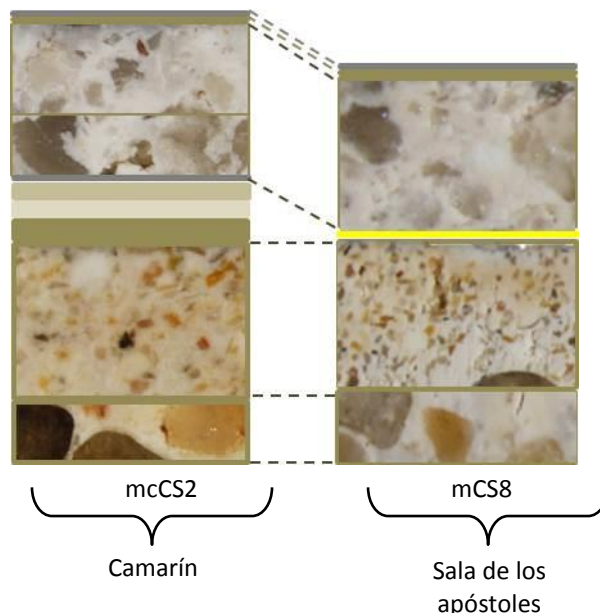


Figura 6.11.- Esquema estratigráfico del enlucido altomedieval y el enlucido románico (muestras mcCS2 y mcS8).

Volviendo a las diferentes capas de color rojo detectadas sobre el enlucido altomedieval, en el camarín se ha comprobado que existe una correspondencia de una de estas capas con la aplicada sobre el mortero de restauración que rellena a modo de repellado los huecos practicados en el enlucido altomedieval, para la posterior aplicación del enlucido románico. La composición de las capas pictóricas rojas con *bermellón* y *albayaalde*, coinciden en el enlucido original, en el revoco de la reforma románica y en el mortero de restauración (muestras mcCS4, mcCS5, mcCS6 y mcCS7), aunque se diferencian en sus bases de preparación, lo que implica que en una intervención realizada en el camarín, se procedió al repinte de algunas de las superficies, anteriormente blanqueadas. Esta composición pictórica a base de una mezcla de *albayaalde* y otros pigmentos podría ser la misma que la identificada de color amarillo, sobre el revoco románico, en la sala de los apóstoles (Fig. 6.12) o la de color rosado presente en el marco de la ventana izquierda del muro sur, sobre soporte pétreo (Fig. 6.13). En este último caso, el pigmento que aparece mezclado con el *albayaalde* es la *tierra roja*, que proporciona a la capa pictórica un color rosado.

Este mortero de restauración, aplicado en dos capas (enfoscado y enlucido) es el mismo que se ha identificado en algunas reintegraciones localizadas en el apostolado, lo que implica que corresponde al mortero elaborado por Víctor Hevia, a base de polvo de piedra de Laspra y arena de cuarzo en el enlucido, y a base de cal y arena de cuarzo en el enfoscado. Queda por aclarar si esta reintegración fue realizada durante la restauración de 1919-1920 o en la

reconstrucción llevada a cabo entre los años 1940 y 1942. Bien pudiera haber sido que este escultor-restaurador, con el mismo criterio emplease la misma técnica y los mismos materiales en dos momentos diferentes, aunque parece más lógico que esto hubiese ocurrido en las últimas fechas, debido a la profunda reconstrucción-restauración que afectó a la Cámara Santa.

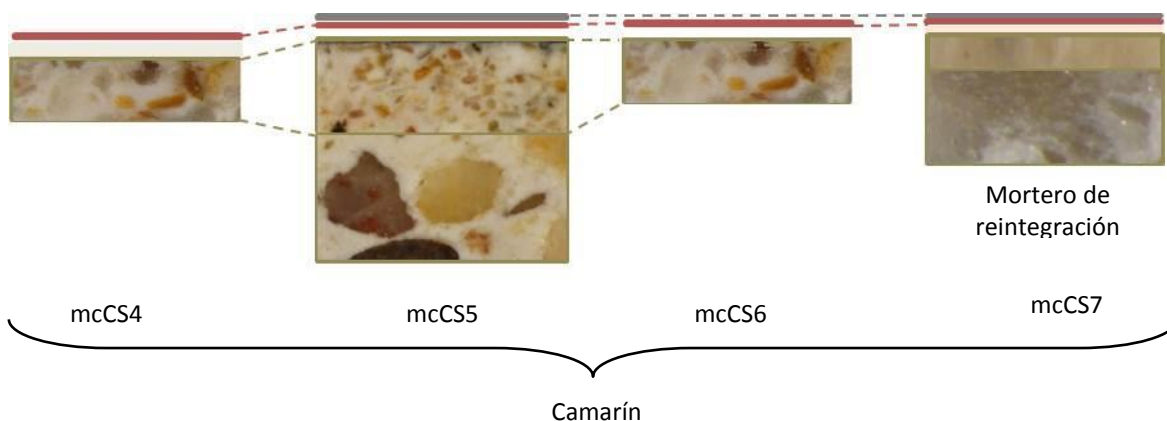


Figura 6.12.- Esquema estratigráfico de las muestras mcCS4, mcCS5, mcCS6 y mcCS7. Las muestras corresponden a una pintura roja aplicada sobre una base de preparación (calcita y cuarzo, con algo de yeso y dolomita), dispuestas sobre el revoco románico (mcCS4 y mcCS6) y el altomedieval (mcCS5) y la misma pintura, aplicada sobre una base de preparación (calcita, dolomita, cuarzo y yeso), dispuesta sobre el mortero de restauración (mcCS7).

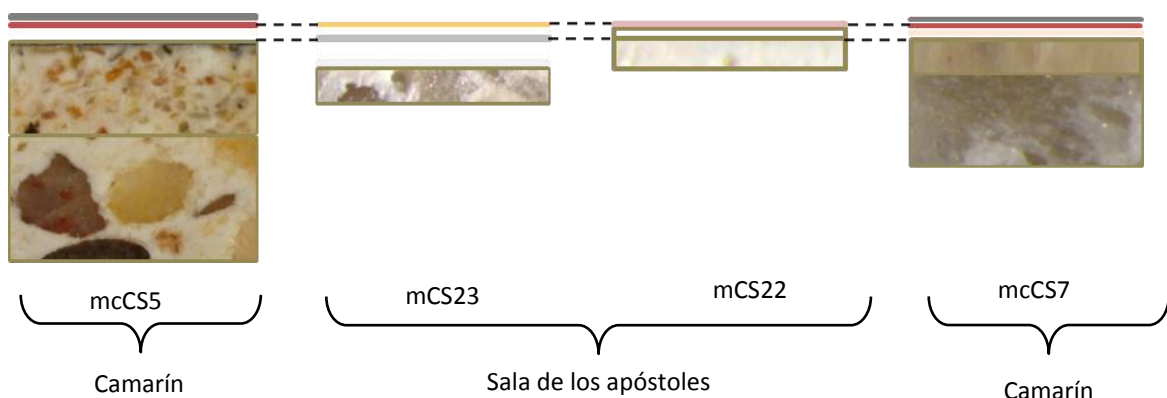


Figura 6.13.- Esquema estratigráfico donde se correlacionan las capas pictóricas elaboradas a base de *albayalde* mezclado con *bermellón* y *tierras rojas* y *amarillas*, aglutinados con cal, (muestra mCS22) con otras similares aplicadas sobre: enlucido altomedieval (mcCS5), enlucido románico (mCS23, encalados (mCS22) y mortero de restauración (mcCS7), tanto en el camarín como en la sala de los apóstoles, sobre bases de preparación diferentes.

De todo lo expuesto anteriormente puede concluirse que existen dos capas pictóricas más antiguas, correspondientes a la pintura mural, aplicadas sobre enlucido fresco altomedieval y revoco fresco románico, elaboradas a base de *tierra amarilla* en el primer caso y de *tierra roja* y *negro de humo*, en el segundo. Estas últimas corresponden a las manchas de color rojo, mencionadas por Fernández Buelta y Hevia que ellos presuponen posteriores al XIII o quizás al XIV, pues les extrañaba que los peregrinos se hubieran atrevido a rayarlas. Cuesta y Sandoval, en su segunda memoria, redactada en 1920, relativa a la restauración de la Cámara Santa y

refiriéndose al muro sur, comentan «en este muro se conserva un grande trozo del otro -enlucido románico, denominado por ellos estuco oscuro-, por haber aparecido en él perceptibles señales de una figura pintada, en su totalidad, de color rojo, y que parece que representa al Salvador, o a San Cristóbal».

En ambos casos, la pintura mural aparece en la superficie de los enlucidos, sin bases de preparación previas, lo que corresponde a una decoración, aplicada al fresco, sobre mortero húmedo.

En lo que respecta a la pintura mural altomedieval, sólo la identificada en la sala de los apóstoles, de color amarillo, bajo el revoco románico, parece corresponder a una pintura original. Como se expone anteriormente, no ha pasado desapercibido a otros observadores e investigadores el hecho de que el mortero románico presentara restos de pinturas de color rojo y/o negro, aunque no se han encontrado referencias sobre capas pictóricas relativas al enlucido original que no sean las del camarín, las cuales ahora sabemos que no son originales y que además están repintadas. Esto es debido a que los restos pictóricos altomedievales originales, donde se conservan, continúan ocultos por los parches del revoco románico, tal como se ha detectado en el paramento del muro sur, localizado entre San Santiago el Menor y San Felipe y San Pedro y San Pablo. A continuación se incluyen las referencias literales a las pinturas supuestamente altomedievales: «Las otras pinturas sobre estuco primitivo, de color rojo y negro, situadas en el arranque de la bóveda del camarín y descubiertos por Víctor Hevia tras la eliminación del estucado de yeso, aplicado en el siglo XVII» (Fernández Buelta y Hevia, 1989), «corresponden: a importantes pinturas trabajadas como las de la bóveda, sobre muy delicado estuco», «estampadas en fondo de color rojo muy vivo; fondo que en gran parte se conserva; apareciendo asimismo, con otros varios colores, dominado el tono gris con tendencia a verde, multitud de líneas negras, en las cuales personas inteligentes que han tenido ocasión de contemplar lo que se ha descubierto, están unánimes en reconocer vestigios de los paños de las figuras que allí habían sido representadas» (Cuesta y Sandoval, 1919). Estos restos pictóricos corresponderían a la decoración descrita por el cronista Ambrosio de Morales que cita: «la bóveda de esta capilla es lisa y tiene pintado a nuestro Redentor, en medio de los cuatro evangelistas, y la obra es tan antigua que asegura bien ser del tiempo de su fundador».

Estas pinturas, anteriores al siglo XVI, en el cual Morales las describe, y posteriores al siglo XIII, han sido aplicadas sobre bases de preparación, nunca directamente sobre el enlucido altomedieval. Es lógico pensar que la existencia de huecos, en el repellado del enlucido altomedieval para recibir la nueva carga románica (estuco áspero), necesitó de una posterior regularización de su superficie, antes de la aplicación de una nueva decoración pictórica. Esto implica que el revoco románico de la bóveda del camarín ya había sido eliminado, quizás por su avanzado deterioro, originado por la humedad presente en esta zona, sin resolver en la intervención de 1919–1920. Estas pinturas deben de corresponder, por tanto, a un nuevo

repertorio pictórico, posterior al altomedieval y al románico. Con toda seguridad incluido entre los siglos XIII y XVI, o más concretamente entre los siglos XIV y XVI, si damos por válida la hipótesis de Buelta y Hevia que sugiere que los peregrinos no habrían practicado incisiones, si el enlucido románico, hubiese estado pintado.

Además, las pinturas conservadas en el camarín o en la bóveda de la Cámara Santa fueron restaurados y repintados, donde había riesgo de pérdida de las mismas, durante 1920, tal como recogen Cuesta y Sandoval en su segunda memoria<sup>277</sup>: «en lo que ahora se ha ejecutado se ha procedido con la rigurosa escrupulosidad que presiden los trabajos todos que venimos practicando; habiéndonos limitado a cubrir con los convenientes colores, bien ensayados y probados, antes de empezar a hacer uso de ellos». Por ese motivo detectamos una correspondencia entre los repintes *bermellón* y *albayalde* y la pintura aplicada por Víctor Hevia, sobre el mortero de restauración.

Otras pinturas, descubiertas en 1920 y descritas como estuco rojo pálido brillantísimo, que ahora han sido analizadas, son las localizadas en la ventana situada en el muro sur, en la zona más próxima al camarín, que según Cuesta y Sandoval «estaba encajada en otra o cubre el vano de otra, la cual tenía por fuerza que ser de grandes dimensiones». Se trata de una pintura, elaborada a base de *albayalde* y *ocre rojo*, aplicada sobre cuatro capas de encalado que asientan sobre un encalado previo. Esta pintura también creemos que se ha visto afectada por el repinte de Víctor Hevia.

Las demás capas pictóricas analizadas sobre morteros, corresponden a posteriores repintes y aparecen dispuestos sobre bases de preparación, asociados a blanqueados de superficies.

Un caso aparte ocupan las capas pictóricas aplicadas sobre soporte pétreo, de las cuales se han identificado varios tipos: unas de color rojo, otras anaranjadas y otras de color verde-azulado (Fig. 6.14).

Las capas pictóricas de color rojo han sido identificadas en las dovelas de los arcos fajones y en algunos fustes de los grupos escultóricos. También han aparecido como repintes en superficies pétreas, correspondientes a algunos mantos del apostolado. La capa pictórica de color naranja está constituida por calcita, dolomita y *minio* o *rojo de plomo*. Y únicamente ha sido detectada en el manto de San Pablo. La capa pictórica de color verde turquesa ha sido localizada en alguna pieza correspondiente a la imposta sur de la sala de los apóstoles. Se trata de una capa pictórica elaborada a base de calcita y cuarzo donde el pigmento responsable del color es la *malaquita*. Podría tratarse de una pintura original correspondiente al repertorio pictórico románico. Los restos pictóricos de color verdoso, detectados, de manera

---

<sup>277</sup> Cuesta J. y Sandoval A. (1920). "Trabajos realizados en la Cámara Santa. Memoria presentada al Exmo. Cabildo". Oviedo. Imprenta La Cruz – San Vicente 10, 1920.



bastante homogénea y discontinua, sobre el apostolado después de la limpieza, corresponden a una pintura elaborada a base de *albayalde* y *resinato de cobre*. Constituyen los restos de la pintura al óleo, eliminada en 1920, que recubría los grupos y piezas escultóricas y ornamentales de la Cámara Santa, en un intento de imitar a los mármoles veteados, presentes en el camarín. Esta aplicación pictórica tuvo que ser anterior al siglo XVI ya que fue descrita por Ambrosio de Morales y porque además, en este siglo dejó de utilizarse este pigmento verde. Esta pintura al óleo, aplicada en dos manos, se dispone sobre la pintura más antigua, de color pajizo-marfileño, elaborada a base de *albayalde*, *blanco de huesos* y *tierra amarilla* (Fig. 6.15). El blanco de hueso, ha sido exclusivamente identificado en una muestra (EF25) y podría corresponder a la pintura original del apostolado.

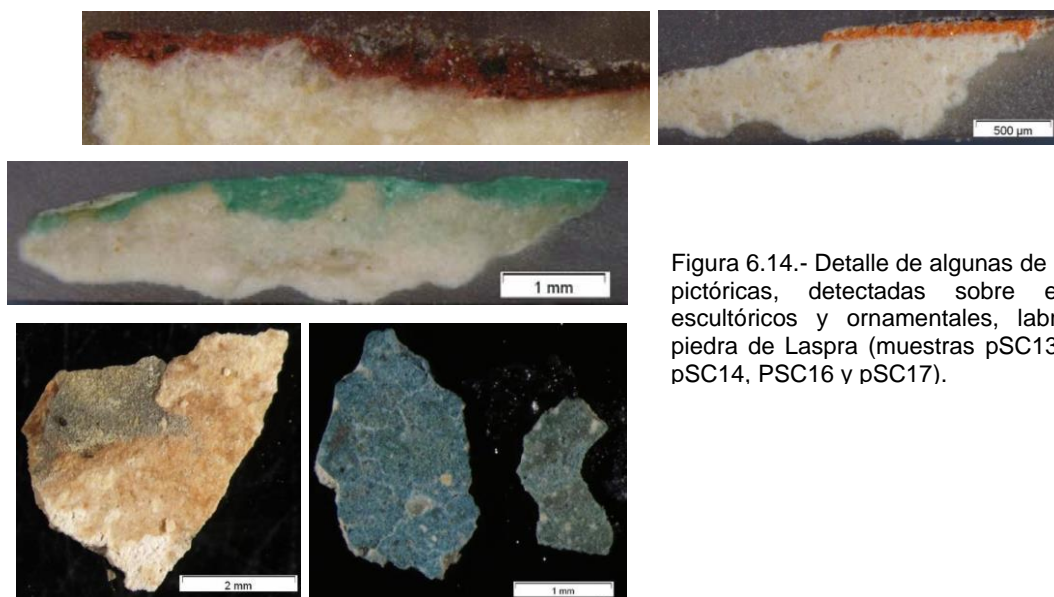


Figura 6.14.- Detalle de algunas de las capas pictóricas, detectadas sobre elementos escultóricos y ornamentales, labrados en piedra de Laspra (muestras pSC13, pSC15, pSC14, PSC16 v pSC17).

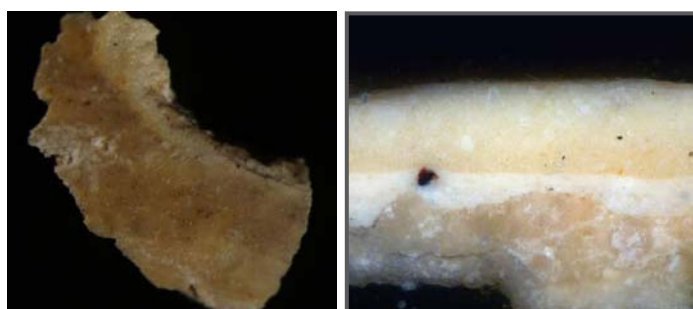


Figura 6.15.- Pintura marfileña identificada sobre la dolomía de Laspra. Sobre el soporte pétreo se detecta una base de preparación de 40 µm de espesor, elaborada con *albayalde*, calcita y silicatos. Sobre ésta base se dispone una capa beige-ocre de 110 µm, que presenta como pigmentos y/o cargas *albayalde*, *blanco de hueso* y silicatos.

Las capas pictóricas de color azul-verdoso que actualmente se conservan con mayor extensión en el podio del grupo escultórico formado por San Andrés y San Mateo, corresponden a un repinte de los óleos verdosos, elaborado a base de *albayalde* y *azul de Prusia*. Este último pigmento se descubrió en el siglo XVIII, usándose de forma generalizada a partir de 1750. Cabe mencionar que en todas las muestras de color verdoso azulado se han detectado cloruros, probablemente generados como un subproducto de la limpieza química realizada en los años 1919-1920.

La identificación de compuestos orgánicos en las muestras estudiadas ha permitido comprobar que casi todas presentan un recubrimiento en superficie de cera de abeja que en algunos casos es extremadamente grueso (muestras: Ec1, EC2, EC3, EC4, EF6, EF7, EF8, EF9, EF10, EF11, ArEB12, ArEB13, ArEB14, EF15, EF16, Ep17, Ep18, Ep19, Ac21, AC22, EF25, EF26, FF28, FF30, FF31, DC34, DC35, CF36 y DC37). Sólo se ha encontrado una muestra (EC5) en la que no aparece cera y es en ella donde se ha identificado el blanco de huesos. Esta cera aparece en la mayoría de los casos asociada con resina de colofonia. Sólo en las muestras de *albayalde gris* y de *albayalde sobre estucos* no se detecta este tipo de resina (muestras: Ec1, EF6, EF7, EF8, EF10, ArEB13, EF15, EF16, Ep17, Ep19 y Ac21). Otro compuesto orgánico detectado en muchas de las muestras es el aceite secante. Sólo en la muestra EC5 este aceite ha podido identificarse como aceite de lino. El tipo de aceite empleado se calcula a partir de las proporciones de los ácidos grasos azelaico, palmítico y esteárico, los cuales marcan las pautas para saber a qué tipo de aceite corresponde (lino, nueces o adormidera). Cuando hay ceras mezcladas, al tener éstas elevadas proporciones de ácidos palmítico y esteárico, distorsionan las proporciones detectadas en los análisis, lo que impide asignar el aceite a un tipo específico. En este caso únicamente es correcto hablar de aceite secante. Los aceites se utilizan en las técnicas al óleo u óleo-resinosas mezclados con proteínas desde el siglo XII, formando emulsiones en técnicas mixtas o témperas, o solos, fundamentalmente desde el siglo XVII en la pintura al óleo, propiamente dicha. Cabe mencionar que en la mayoría de las muestras también se han detectado oxalatos, originados por la actividad de microorganismos o por degradación oxidativa de los componentes orgánicos de la posible pintura al temple u óleo.

Otra técnica que parece haber sido empleada en la Cámara Santa es la encáustica, que utiliza cera sola o mezclada con resina, y que se emplea desde la antigüedad. Esta técnica, usada por griegos y romanos hasta la caída del Imperio, se aplica en caliente<sup>278</sup>. En los siglos XVIII y XIX vuelve a ponerse de moda con los descubrimientos arqueológicos del momento<sup>279</sup>. En su Historia Natural (siglo I d.C.), Plinio la describe distinguiendo entre pintura a la cera y pintura al encausto<sup>280</sup>. Esta última consistía en extender una capa de cera sobre la pintura o el intonaco y después pulirla con trapos de lino. Se realizaba con fines estéticos para abrillantar la superficie de las pinturas.

Del estudio de los restos pictóricos que han llegado hasta la actualidad se deduce que la técnica pictórica utilizada en el apostolado, sobre soporte pétreo, ha sido al óleo, técnica mayoritariamente empleada a partir de la segunda mitad del siglo XVI, aunque se conocen intervenciones de pintura al óleo sobre elementos de piedra labrada anteriores al siglo XIV, en

---

<sup>278</sup> Calvo, A. 1997. Conservación y Restauración. Materiales, técnicas y procedimientos De la A a la Z. Ediciones del Serbal. Cultura Artística.

<sup>279</sup> Ramer, B. 1977. Encaustic paintings in the Petrie Museum: their technology, examination and conservation.

<sup>280</sup> Giannini, C. y Roani, R. 2008. Diccionario de restauración y diagnóstico. Ed. Nerea.

el pórtico de la Catedral de Santa María<sup>281</sup>. En este pórtico, desde el siglo XV hasta la última policromía realizada en el siglo XX, los pigmentos molidos han sido diluidos en aceite secante (aceite de linaza) y en la mayoría de los casos, con algunas excepciones, se aprecia una misma secuencia estratigráfica: capa de imprimación previa a la aplicación del color con pigmentos secantes, como el *blanco* y *amarillo de plomo* mezclado con *tierras*, aunque también se ha encontrado otro tipo de imprimación elaborada a base de *blanco de hueso* mezclado con *albaya*. Estos dos tipos de imprimación también han sido identificados en el grupo escultórico del apostolado junto con otra, aplicada en épocas posteriores, de *albaya* y *tierra roja*. En el pórtico de la Catedral de Vitoria, la aplicación de la lámina de oro también está relacionada con esta técnica pictórica al óleo. Siempre que se ha encontrado esta decoración ha sido en forma de lámina metálica de oro mate sin bruñir, aplicada sobre una capa de asiento oleosa con carga de pigmentos que le dan consistencia y cuerpo y que aceleran su secado.

Paralelamente a los estudios de la Cámara Santa se ha procedido al análisis de micromuestras recogidas en la escultura de San Salvador, también labrada en piedra de Laspra, y también intervenida por Víctor Hevia, encontrándose cierto paralelismo en el empleo del *albaya* y la *tierra roja* como base de preparación de otras capas pictóricas. En estas muestras también aparece un recubrimiento de cera de abeja con restos de resina de colofonia, esta técnica encáustica pudo haber sido empleada por el escultor Víctor Hevia para la consolidación y protección de las superficies intervenidas (Rojo *et al.*, 2014)<sup>282</sup>.



Figura 6.16.- Escultura de San Salvador, labrada en dolomía de Laspra y estratigrafía de una carnación, en la que se identifican 7 capas pictóricas. Las cuatro más internas se caracterizan por presentar una base de preparación de color rojo en la que se detecta la *tierra roja como pigmento* y sobre ella se dispone una capa de color ocre constituida por *albaya* (blanco de plomo) y calcita.

De todo lo anterior se propone una secuencia cronológica relativa para la cámara Santa que se presenta a continuación, en la figura 6.17. En este esquema se pueden observar las 9 intervenciones detectadas, en el interior de la capilla.

<sup>281</sup> Cortázar, M.; Pardo, D.; Sanz, D. (2009). Estudios y restauración del pórtico. Catedral de Santa María de Vitoria – Gasteiz. Fundación Catedral de Santa María.

<sup>282</sup> Rojo A. (2014). El apostolado de la Cámara Santa de la catedral de Oviedo: estudio de materiales. Ge-conservación nº 6, Año 2014. Grupo Español de Conservación. International Institute for Conservation of historic and artistic Works, p. 162-173.

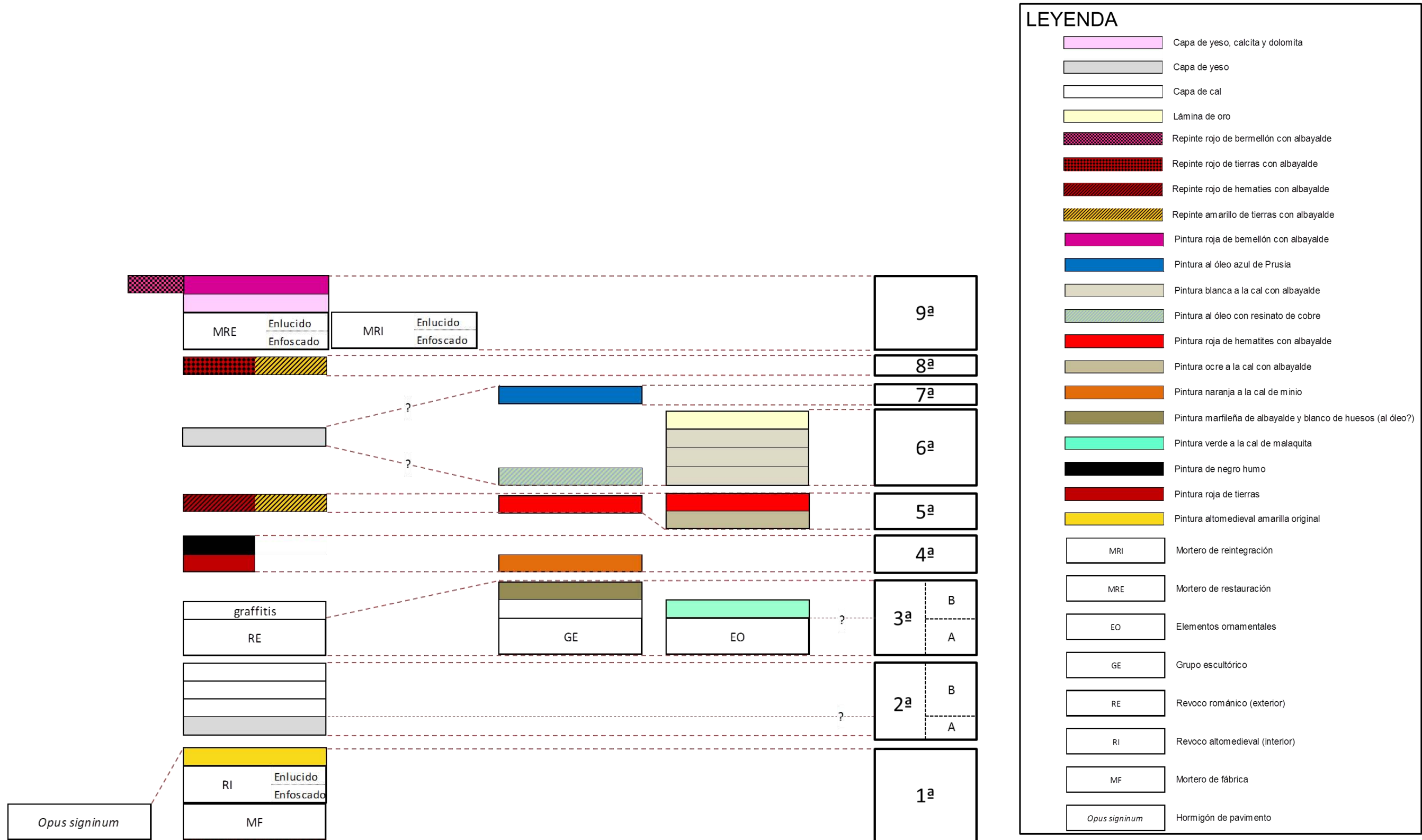


Figura 6.17.- Secuencia cronológica relativa de las muestras de morteros, pintura mural y pintura sobre soporte pétreo de la Cámara Santa

## 6.2.- FONCALADA

La caracterización de los morteros presentes en la fuente de Foncalada confirman las sospechas iniciales (ver Cap.5). Sólo se conservan restos del mortero presumiblemente original en el interior del edículo, en la bóveda de cañón y en las juntas entre dovelas de los arcos de las fachadas este y oeste (Fig. 6.18). Entre los demás aparejos de sillería sólo aparecen rellenos terrosos, totalmente disgregados o morteros de reposición aplicados en sucesivas intervenciones, habiéndose identificado hasta cuatro aplicaciones diferentes.



Figura 6.18.- General y detalles del mortero de juntas, localizado en las fachadas oeste y este de la fuente.

El mortero, presumiblemente original, es un mortero de cal, arena de cuarzo y fragmentos cerámicos, mineralógicamente compuesto por calcita, cuarzo, moscovita y montmorillonita (Fig.

6.19). Su relación árido-matriz es 1:2, y de sus observaciones ópticas se deduce una dosificación aproximada de 10 partes de cal por una de arena y 5 de material latericio. Igual que ocurría con el hormigón del pavimento de la Cámara Santa, este tipo de morteros responden a formas constructivas heredadas de la Antigüedad que coincide con la tipología de la fuente, la cual presenta, como ya queda patente en capítulos anteriores, presenta paralelismos con el legado arquitectónico del mundo romano.

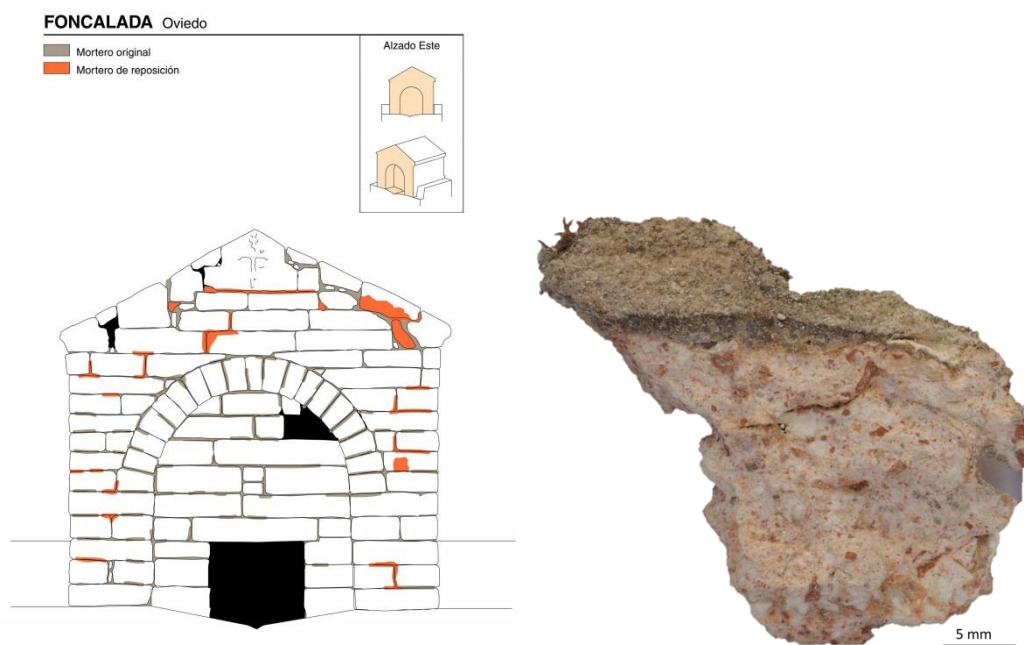


Figura 6.19.- Alzado oeste, donde se marcan en color gris los morteros originales (izquierda) y aspecto macroscópico del mortero (derecha).

La tipología inusual de esta construcción, sin precedentes en el prerrománico asturiano e incluso en el ámbito altomedieval europeo, la sitúan en una fecha comprendida entre los siglos VIII y IX, rechazando la hipótesis tradicional que atribuye su construcción a Alfonso III (866-910), por argumentos epigráficos (Ríos, 1999)<sup>283</sup>. Varios autores establecen un paralelismo de aparejo pétreo en relación con la obra de sillería de Valdediós (Manzanares, 1957<sup>284</sup> y Nieto, 1989<sup>285</sup>), aunque García de Castro<sup>286</sup> señala la diferencia en la longitud de módulo, mayor en Foncalada, así como su excelente calidad también sin precedentes, y Ríos añade «sólo similar a las estructuras exhumadas al sur de la catedral de Oviedo pero también con menor tendencia alargada». Esta analogía de estructuras también afecta a los bloques calizos de la Formación Oviedo que sirven de apoyo, tanto al edículo como a la piscina, como ocurre con los que conforman las zapatas de la torre de San Miguel y de propia Cámara Santa (Ríos, 1999). Este mismo autor señala que la utilización de grapas de fijación, como las observadas en el alero

<sup>283</sup> Ríos González S. (1999). "la fuente de foncalada: paralelos técnicos, formales y funcionales", *Zephyrus*, 52,1999, 261-278

<sup>284</sup> Manzanares Rodríguez-MIRJ. (1957). "Arte Prerrománico asturiano. Síntesis de su arquitectura", *Boletín de la Comisión Provincial de Monumentos de Oviedo*, 1, pp. 145-178.

<sup>285</sup> Nieto Alcaide V. (1989). "Arte Prerrománico asturiano" Salinas, p. 179.

<sup>286</sup> García de Castro Valdés, C. (1995). "Arqueología Cristiana de la Alta Edad Media en Asturias". Oviedo.

norte de la fuente, entronca nuevamente con la tradición constructiva romana. Cabe mencionar en ese aspecto, que en San Salvador de Valdediós también se han localizado grapas de fijación en las piezas que conforman el alero (GEA, 2011)<sup>287</sup>, (Fig. 6.20), al igual que en Santianes de Pravia (Utrero, 2006)<sup>288</sup> (Fig.6.21).



Figura 6.20.- Detalles de las grapas de fijación localizadas en las piezas del alero de la fachada oeste de la nave central, vertiente sur y fachada este, vertiente norte, así como en una pieza reutilizada en la espadaña. Todos estos detalles han podido apreciarse durante la restauración del edificio, realizada durante los años 2010-2011 en San Salvador de Valdediós.

<sup>287</sup> GEA asesoría geológica (2011). "Seguimiento petrológico de la obra de restauración de la iglesia de San Salvador de Valdediós, 1ª fase". Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Principado de Asturias, 396 p.

<sup>288</sup> Utrero Agudo M<sup>a</sup>.A. (2006). "Iglesias tardoantiguas y altomedievales en la península ibérica" Anejos de AESPA XL, Cap III, pag. 63, Archivo Español de Arqueología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid 2006, 637 p.



Figura 6.21.- Imagen de grapas de fijación, en un sillar reutilizado en el muro sur de la iglesia de Santianes de Pravia (tomada de Utreros, 2006).

En lo que respecta a los morteros de reposición estudiados (Tipo II, III, IV y V) en Foncalada, lo único común a todos ellos es la matriz de calcita microcristalina y la utilización de arena de cuarzo como árido. En casi todos ellos (excepto el Tipo I) aparecen fragmentos cerámicos, en un intento deficientemente conseguido de reproducir una textura similar a la del mortero original. Sólo se observa cierta similitud entre los morteros tipos II y III en lo que a granulometría de los áridos se refiere, además, ambos presentan fragmentos de roca caliza identificada como Formación Oviedo. El mortero Tipo I es el que presenta mayores contenidos en fragmentos cerámicos y menor tamaño de grano. Salvando las distancias, es el que más podría parecerse al mortero original, aunque la gran abundancia de minerales opacos le confiere un aspecto grisáceo. El mortero Tipo IV, presenta rasgos comunes con el de Tipo I en lo referente a tamaño de grano y presencia de opacos, pero como áridos presenta, además, fragmentos de roca arenisca, mientras que el mortero Tipo V difiere de todos los de reposición, entre otras cosas, por el tamaño relativamente grande de sus áridos silíceos. No hay ningún dato que permita establecer la secuencia de aplicación de estos morteros<sup>289</sup>.

Por último, cabe comentar que cualquiera de los morteros de reposición, aplicados en épocas presumiblemente recientes, ha evolucionado peor que el mortero original, produciéndose en muchos casos la pérdida de los mismos por su escasa adherencia al sustrato pétreo. Este despegue de las superficies puede haberse producido por sus mayores porosidades o por un exceso de dureza respecto a la de los sillares adyacentes, ya sea por dosificaciones poco adecuadas o por incompatibilidad petrofísica con el aparejo pétreo.

En lo que se refiere a la datación absoluta del aparente mortero original, todavía no se ha abordado, con lo cual, los únicos argumentos propuestos para la fecha de su elaboración (siglos VIII-IX) es la argumentada por los arqueólogos a partir del análisis tipológico, formal y funcional de la edificación.

<sup>289</sup> Rojo A., Mateos F. y Valdeón L. (2004). "Caracterización petrológica de los morteros de la fuente Prerrománica de Foncalada, Oviedo", *Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo*, 24:165-175 (2004).



### **6.3.- SAN SALVADOR DE VALDEDIÓS**

En San Salvador de Valdediós existen una serie de características petrológicas, más o menos comunes a todos los morteros procedentes de las cubiertas. La mineralogía es muy similar, todos están compuestos por cuarzo y calcita como constituyentes esenciales. Además, algunos presentan también dolomita, feldespatos de tipo microclina y micas (moscovita), en diferentes proporciones; muchos presentan como áridos fragmentos cerámicos y todos presentan granos de carbón vegetal, en mayor o menor proporción. Prescindiendo de la presencia de calcita y cuarzo, minerales mayoritarios en las muestras analizadas, se han detectado las siguientes asociaciones:

- Cerámicos, con dolomita, sin microclina y con moscovita (muestras: M9/CV40, M2/CV33, M7/CV38, M11/CV42 y M12/CV43).
- Cerámicos, sin dolomita, sin microclina y con moscovita (muestras: M3/CV34 y M4/CV35).
- Cerámicos, sin dolomita, con microclina y sin moscovita (muestras: M6/CV37, M8/CV39 y M13/CV44).
- Sin cerámicos y con dolomita (muestras: M10/CV41 y M5/CV36), teniendo en cuenta además que el primero tiene microclina y no tiene moscovita y el segundo no tiene microclina y si tiene moscovita
- Sin cerámicos y sin dolomita (muestras: M1/CV32, M15/CV46 y M14/CV45), teniendo en cuenta además que los dos primeros presentan microclina, sin moscovita y el tercero no tiene microclina ni moscovita.

Al margen de estas asociaciones (Tabla 6.I) y teniendo en cuenta las dosificaciones en peso árido–matriz, independientemente de la composición mineralógica o la procedencia de los morteros, se ha detectado unos rasgos comunes que se exponen a continuación:

- Los **enlucidos**, recogidos en la cubierta de la nave central, en la cubierta de la nave sur o en la fachada este de la capilla sur, presentan una dosificación árido–matriz de 1:3.
- Los **hormigones**, recogidos en bóvedas de cubierta, el encapotado de la nave central, vertiente norte y la 1ª capa del encapotado de la nave sur, presentan una dosificación árido–matriz de 1:1, mientras que los de 2ª capa del encapotado de la nave sur y el mortero recogido en el tramo oriental de la fachada sur, a la altura de la capilla de los Obispos, presentan una dosificación 1:4. En la capilla mayor, estas dosificaciones varían de 1:7 en la 1ª capa del encapotado a 1:2 en la 2ª capa del encapotado. El encapotado de la bóveda del pórtico sur, muy rico en árido y pobre en conglomerante, presenta una relación árido–matriz de 9:1, completamente diferente a cualquiera de la obtenida en los otros morteros.

- Existe otra coincidencia en dosificación entre el mortero recogido en el extradós de la bóveda de la capilla de los Obispos y el recogido en el lado sur del contrafuerte de la fachada este de la capilla sur, con una relación árido–matriz de 1:5.
- También se observa coincidencia entre los morteros recogidos en la cámara supraabsidal, tanto en el intradós de la bóveda como en el pavimento, con el recogido en la rosca de la bóveda de la capilla de los Obispos, correspondiente al mortero de juntas del aparejo de ladrillo. En este caso la dosificación ha sido 1:9.

Tabla 6.1.- San Salvador de Valdediós: Asociaciones mineralógicas, detectadas en los morteros procedentes de las cubiertas

Referencia	Tipo	Localización	Árido - matriz	Asociación mineralógica*	
M9/CV40	Revoco	Capilla S	1:5	<b>Cerámicos + dolomita + moscovita, sin microclina</b>	
M2/CV33	Revoco bóveda	Capilla Obispos	1:5		
M7/CV38	Enlucido	Nave S	1:3		
M11/CV42	1ª capa encapotado	Capilla mayor	1:7		
M12/CV43	2ª capa encapotado		1:2		
M3/CV34	Hormigón	Nave central	1:1	<b>Cerámicos + moscovita, sin dolomita ni microclina</b>	
M4/CV35	Enlucido		1:3		
M6/CV37	2ª capa hormigón	Nave S	1:4	<b>Cerámicos + microclina, sin dolomita ni moscovita</b>	
M8/CV39	Revoco		1:4		
M13/CV44	Mortero juntas	Cámara Supraabsidal	1:10		
M10/CV41	Mortero juntas bóveda	Capilla Obispos	1:9	<b>Dolomita, sin cerámicos</b>	Microclina
M5/CV36	1ª capa hormigón	Nave S	1:1		Ortosa + moscovita
M1/CV32	Revoco	Capilla S	1:3	<b>Sin dolomita y sin cerámicos</b>	Microclina + moscovita
M15/CV46	Encapotado	Pórtico S	9:1		Sin microclina ni moscovita
M14/CV45	Pavimento	Cámara Supraabsidal	1:9		

\*Esta asociación siempre va acompañada de calcita, cuarzo y fragmentos de carbón

De lo anterior se deduce que muchos de los morteros han sido formulados de manera similar dependiendo de su uso, aplicación o destino. De manera general puede decirse que los revocos y enlucidos presentan mayor cantidad de conglomerante que los hormigones del encapotado o que las primeras capas del encapotado. Llama la atención que los morteros recogidos en la bóveda de la capilla mayor, construida en piedra toba, como la cámara supraabsidal, muestren una tradición constructiva diferente a las observadas en el resto de las cubiertas. La técnica en este caso ha consistido en una doble capa de mortero en vez los encapotados de hormigón, quizás para evitar que se pudiera producir un exceso de peso sobre la cámara, también aligerada con piedra toba. Cabe señalar, además, que la composición de la capa de mortero más externa coincide con la detectada en un mortero empleado en la nave sur, lo que implica que ambas partes del edificio se estaban construyendo a la vez.

Examinando la tabla 6.1 que asocia datos petrográficos con lugares de procedencia de las muestras y tipos de morteros, se comprueba que dentro de un mismo elemento constructivo se han identificado distintas asociaciones mineralógicas, correspondientes a diferentes mezclas utilizadas en la elaboración de los morteros. Cabe pensar que las asociaciones mineralógicas detectadas podrían corresponder a un mismo momento constructivo o a una misma intervención o restauración posterior. La secuencia estratigráfica de las muestras y las interpretaciones arqueológicas pueden tener la clave de estas posibles agrupaciones.

La valoración histórico-arqueológica del estudio de los morteros de San Salvador de Valdediós, realizada por Sergio Ríos en 2014, dentro del proyecto «Morteros Prerrománicos: estudios petrológicos comparativos destinados a su datación cronológica», se resume a continuación. El seguimiento arqueológico de las obras de restauración llevadas a cabo entre 2010 y 2009 (Fig. 6.22) permitió recabar información a favor de la hipótesis formulada por García de Castro en 1995, de que Valdediós fue construido en dos fases: una por iniciativa de Alfonso III (866-910), a la que se adscribiría: el pórtico sur, identificado como Panteón Real, la capilla exterior «de los Obispos» que alberga la lápida conmemorativa y una posible reforma del cuerpo principal y otra anterior, quizás por iniciativa de Alfonso II (739-842). Esta hipótesis varía de la tradicionalmente aceptada, de que la iglesia fue fruto del mecenazgo de Alfonso III, por la lápida de consagración que aparece en la capilla exterior. Los datos que avalan esta primera hipótesis se enumeran a continuación:

- La bóveda de la nave central conserva sus encapotados originales, formados por capas de hormigón, aunque el alero de ladrillo es producto de una reforma posterior, también altomedieval. La nave sur participa de la misma tradición constructiva que parece compartir el pórtico sur aunque, sin embargo, es muy diferente.
- La bóveda del ábside, labrada en piedra toba, presenta una doble capa de mortero diferente a los demás encapotados aunque petrológicamente tiene similitud con el enlucido, localizado sobre el segundo encapotado de la nave sur.
- La capilla de los Obispos, con bóveda de ladrillo, carece de encapotado, lo que también supone una solución diferente al resto.
- El actual tejado de la capilla sur responde a una refacción o modificación, en la que su alzado fue recreado en un momento indeterminado. La capilla simétrica al norte responde a intervención posterior al año 1936, por lo que no tiene relación con el resto del edificio

Llegados a este punto y en relación con la fachada norte, cabe mencionar que durante las obras de restauración, realizadas en 2010-2011, en el lienzo norte se observaron restos de un mortero, con agregados cerámicos que sigue un trazado más o menos continuo que recorre todo el paño, solamente interrumpido a la altura de los contrafuertes. Estos restos de mortero podría relacionarse con un antiguo pórtico o tejazoz que debió de haber existir en esta fachada (Fig. 6.22 a 6.23).



Figura 6.22.- Aspecto macroscópico «in situ» de los restos de un mortero rojizo, localizado en la fachada norte de la iglesia.



Figura 6.23.- Detalles de los restos del mortero de color rosado que se conservan en la fachada norte. Con líneas discontinuas, en color rojo, se marcan la disposición de los mismos.

Integrando los datos derivados del seguimiento arqueológico y los proporcionados por los estudios de caracterización y el análisis estratigráfico de los morteros, se elabora una hipótesis de las fases constructivas del edificio que se describe a continuación, siguiendo una secuencia cronológica de menor a mayor antigüedad y que posteriormente será representada de forma gráfica.

La bóveda de la capilla de los Obispos, construida con ladrillos y mortero (muestra M10/CV41) se revoca en su extradós con un mortero (muestra M2/CV33) que apoya directamente sobre el lateral este de la capilla sur (muestra M9/CV40), recubriéndola parcialmente. La igualdad entre los morteros (M2/CV33 y M9/CV40) constata esta afirmación. Esto significa que la capilla sur ya existía cuando se construyó la capilla de los Obispos. Además, la solución constructiva de su bóveda a base de ladrillo y mortero de juntas, sin encapotado, con un único relleno de tierra y piedras tobas de gran volumen, difiere de las de las naves, del pórtico sur y de la cámara

supraabsidal, por no olvidar que su eje es perpendicular al resto del edificio, con cubierta a una única vertiente (Figs. 6.24). Esta capilla es el último cuerpo añadido al edificio.

Siguiendo por la capilla sur anexa a la capilla de los Obispos, durante el levantamiento de la cubierta de esta última se pudo acceder al revoco exterior de la capilla sur (muestra M1/CV32) y, una vez estudiado, resultó ser idéntico al mortero utilizado para el encapotado de la bóveda del pórtico sur (muestra M15/CV46). Esto implica que la capilla sur fue construida con anterioridad a la edificación del pórtico sur y que durante la construcción de éste último fue nuevamente revocada. Este revoco (muestra M1/CV32) se dispone estratigráficamente por debajo del empleado en el extradós de la bóveda de la capilla de los Obispos (muestra M9/CV40), lo que implica su mayor antigüedad respecto a este último (Figs. 6.24). Cabe mencionar también que durante la construcción del pórtico sur y posterior revocado de la capilla sur pudo haberse repuesto el pavimento de la cámara supraabsidal (muestra M14/CV45) ya que existen similitudes composicionales entre estos tres morteros, aunque la dosificación varía en la muestra procedente de la cámara, cosa que no ocurre en las otras dos muestras.

Ascendiendo en el edificio, se comprobó que la doble capa: enlucido de bóveda (muestra M4/CV35)–capa de hormigón (muestra M3/CV34), de la nave central corresponde a una misma aplicación, localizada, aparentemente, en las últimas fases del proyecto original. La fecha absoluta calibrada obtenida para la muestra de hormigón (siglos IV–VI) ha sido invalidada por el evidente grado de contaminación del mortero, probablemente originado, en nuestra opinión, por la presencia de considerables y abundantes fragmentos cerámicos, probablemente reutilizados de una construcción anterior. Este binomio enlucido-hormigón, a pesar de que sigue una solución constructiva similar a la de la nave norte y sur, no guarda similitudes ni paralelismos con ninguna de las otras muestras estudiadas, por lo que no se puede descartar que fuese producto de una modificación posterior de la nave central, anterior a la que apunta Ríos de modificación del alero de ladrillo (Fig. 6.24).

En lo que respecta a la nave sur, existe una correspondencia composicional clara entre el enlucido aplicado sobre la 2ª capa de encapotado (muestra M7/CV38) y la 1ª y 2ª capa del encapotado de la bóveda de la capilla mayor (muestras: M11/CV42 y M12/CV43), lo que implicaría que ambas partes del edificio se estaban construyendo a la vez. También se ha detectado otra similitud composicional entre la 2ª capa del encapotado de la nave sur (muestra M6/CV37), el mortero de juntas de la cámara supraabsidal (muestra M13/CV44) y un enlucido exterior de la fachada de la nave sur (muestra M8/CV39), lo que confirma la idea anterior de que la nave sur y la cámara supraabsidal progresaban constructivamente de forma paralela. Llama la atención, sin embargo, que el mortero empleado para elaborar la segunda capa del encapotado de la bóveda de la nave sur (M6/CV37) sea el mismo que el que posteriormente se emplea para revocar los muros exteriores (muestra M8/CV39) y no, el utilizado para enlucir el

2º encapotado de la bóveda (muestra M7/CV38) (Fig. 6.23). Pudiera haber ocurrido que finalizada la bóveda se hubiesen enfoscado y enlucido los paramentos de la fachada de la nave sur con un enfoscado y su correspondiente enlucido, y a día de hoy sólo se conserven restos del mortero subyacente. En caso de que esto hubiese ocurrido, lo que hemos estado viendo es el enfoscado y no su enlucido superior. La fecha absoluta calibrada obtenida para la muestra M13/CV44 sitúa su fraguado entre finales del siglo VIII y finales del siglo IX, pero al tener constancia de contaminación en la otra muestra datada con  $^{14}\text{C}$ , procedente de este edificio, no se tienen argumentos suficientes para asegurar que ésta no presenta también contaminación fósil. Al igual que en la Cámara Santa y Foncalada, está claro que algunos de los morteros participan de la técnicas constructivas tardorromanas aunque parece necesario seguir estudiando más muestras para poder asignar las fases constructivas aquí definidas a un época precisa.

Lo más razonable sería realizar nuevas dataciones de morteros, más numerosas y con métodos y/o procedimientos diferentes a los empleados para constatar o rechazar la validez de las fechas proporcionadas por el  $^{14}\text{C}$ , actualmente inconsistentes. También sería esclarecedor abordar la datación de los materiales cerámicos (tejas, ladrillos y piezas del alero) para contrastar esos resultados con los proporcionados por la muestra invalidada. Revisando la muestra problemática (M3/CV34), sería probable que la contaminación esté originada por la presencia de un fragmento cerámico de considerables dimensiones (Fig. 6.24). A pesar de que en el laboratorio de análisis radiométrico hayan intentado aislar el mortero de estas adiciones, la contaminación resulta evidente. Teniendo en cuenta, además, que en San Salvador de Valdediós se han descubierto piezas de tégula de adscripción romana (Fig. 6.25), no sería descabellado pensar que en el mortero analizado haya participación de los cerámicos, lo que retraería su edad a épocas más antiguas, compatibles con la presencia de estos latericios. En Puelles, localidad situada a 20 Km de Valdediós, se han excavado en 1928 restos romanos de los que apenas se tienen datos, «excepto algún elemento de datación que la sitúa en el siglo IV» (García de Castro, 1995). Si la fecha obtenida en el mortero tiene su origen en la contaminación proporcionada por el fragmento cerámico, esta fecha radiocarbónica sería compatible con la establecida en este yacimiento<sup>290</sup>. Tal como describe Fernández Menéndez, los cerámicos encontrados en Puelles corresponden a trozos de tejas y ladrillos en diversas formas: curvas o «imbrex», planas o «tégulas» y «deliaris» que llevan todas señales de alfarero a base de letras en relieve o meandros trazados con las yemas de los dedos. Estas últimas marcas también han sido observadas en algunas de las tejas presentes en las cubiertas de San Salvador de Valdediós (Fig. 6.26).

---

<sup>290</sup> Fernández Menéndez J. (1957) "Excavaciones arqueológicas en Puelles (Valdediós): La villa hispano-romana de Boides". Editorial IDAG, Oviedo.



Figura 6.24.- De arriba a abajo, y de izquierda a derecha: bóvedas de la capilla de los Obispos, capilla sur, pórtico sur, nave sur, nave central, capilla mayor y cámara supraabsidal (Imágenes: Sergio Ríos y Araceli Rojo).



Figura 6.25.- General y detalles de la cata arqueológica practicada en la nave central donde puede observarse el hormigón del encapotado (muestra M13/CV44), con abundantes fragmentos cerámicos.



Figura 6.26.- Aspecto general y detalle de las téglulas y tejas con marcas onduladas, localizadas en San Salvador de Valdediós.

Finalmente, en la figura 6.27 se presenta la secuencia cronológica de los morteros analizados. Como ya se ha comentado con anterioridad, los resultados proporcionados por la datación radiométrica no han permitido asignar esta secuencia a una época concreta.



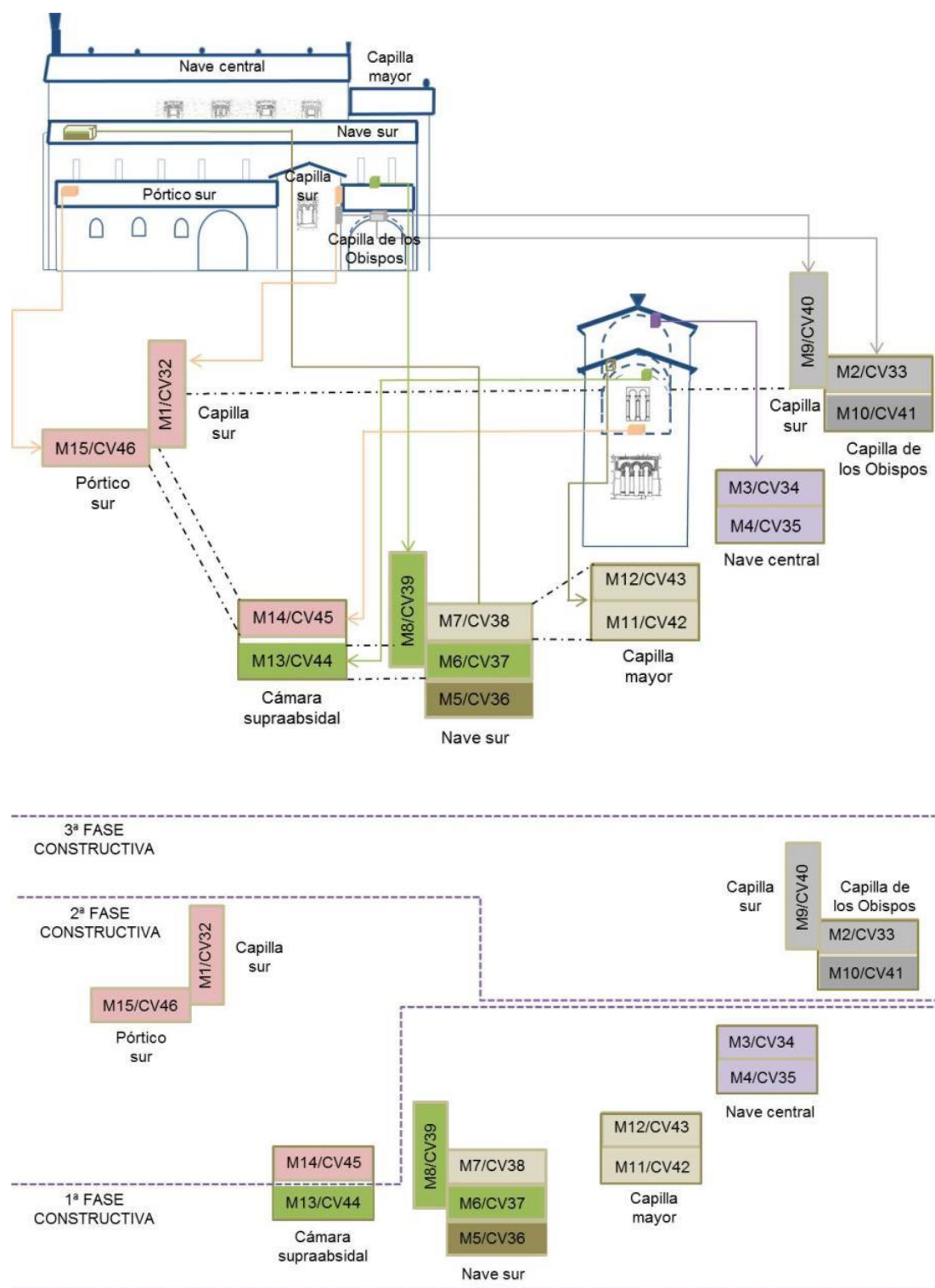


Figura 6.27.- Arriba: Representación sobre alzado de la procedencia de las muestras con su columna estratigráfica, de muro a techo. Abajo: Representación esquemática de la secuencia constructiva deducida. La primera fase constructiva correspondería al proyecto original del edificio; la segunda, se adscribe a la construcción del pórtico sur y en la tercera se desconoce su cronología.

## 6.4.- SANTA CRISTINA DE LENA

Todos los morteros analizados, procedentes de las cubiertas de las capillas este y norte de Santa Cristina de Lena (Fig. 6.28 a 6.29), presentan unas características comunes:

- Mineralógicamente están constituidos por calcita, cuarzo y moscovita. Esta última en mayor o menor proporción, dependiendo de que aparezca como granos aislados o incluida dentro de los fragmentos de roca.
- Todos ellos, además de abundante cuarzo, presentan como árido fragmentos de roca de naturaleza sedimentaria, tipo arenisca.
- Todos presentan fragmentos cerámicos en mayor o menor proporción.

Las areniscas son las rocas mayoritarias en el edificio, con una variabilidad de color que incluye tonalidades grises y rojizas–agranatadas, pasando por litologías más ocres (Álvarez *et al.*, 2005)<sup>291</sup>. Estos materiales pétreos, también empleados como áridos, pertenecen al Carbónífero Superior (Westfaliense) y afloran en el entorno geológico del templo.

La adición de tejas, ladrillos o arcillas a los morteros de cal aumenta la durabilidad y consistencia del mortero, al dotarlos de propiedades hidráulicas, a la vez que se favorecen los procesos de carbonatación de la cal al incorporar materiales más permeables al aire. Vitruvio informa sobre la adición de cenizas volcánicas o tejas trituradas en la elaboración del mortero de cal romano (Álvarez Galindo, *et al.*, 1995)<sup>292</sup>.

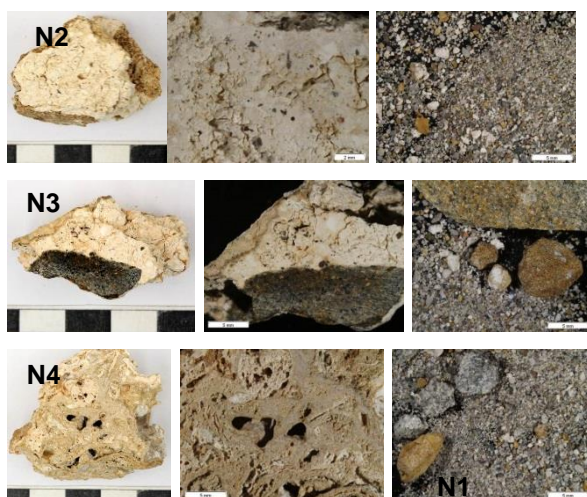


Figura 6.28.- Aspecto de las muestras de mortero de cubiertas de la capilla norte (N2)/ue.1111, N3/ue.11101, N4/ue.1109. Las muestras procedentes de esta capilla son ligeramente diferentes.

<sup>291</sup> Álvarez S., Ebert R.M<sup>a</sup>, Arias L., Sáenz R., Alonso F.J., Ordaz J., Díaz-Pache F., G. Rúiz V., Calleja L., Rodríguez A. y Suárez L.M. (2005). "Santa Cristina de Lena, un monumento enigmático del prerrománico asturiano: piedras, deterioro y sugerencias de conservación". Loggia n° 18 pp. 70 – 87.

<sup>292</sup> Álvarez Galindo J.I., Martín Pérez A. y García Casado P. (1995). "Historia de los Morteros". Revista ph, 1995 iaph n° 13 pp. 52 – 59.

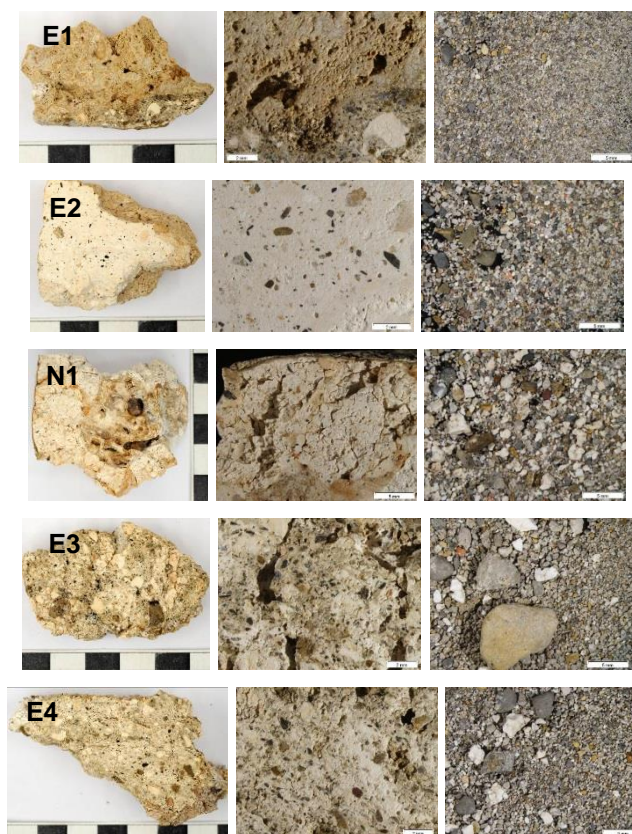


Figura 6.29.- Aspecto de las muestras de mortero de cubiertas de la capilla este (E1/ue.1210, E2/ue.1212, E3/ue.1204, E4/ue.1209) y capilla norte (N1/ue.1110). Las muestras: E2/ue.1212, N1/ue.1110 y (M.E-3)/ue 1204, E4/ue.1209 se agrupan, respectivamente, por sus semejanzas.

La incorporación de carbón de leña a los morteros de cal juega un papel similar al de los fragmentos de tierra cocida y es frecuente su aparición en las mezclas empleadas para la elaboración de morteros a partir del siglo XII, aunque también pueden incorporarse en el proceso de elaboración de cal, durante la calcinación de rocas carbonatadas. En los morteros procedentes de Santa Cristina de Lena, los fragmentos de carbón vegetal incorporados como aditivos es mayoritaria (N1/ue.1110, N2/ue.1111, N4/ue.1109, E2/ue.1212 y E4/ue.1209).

Prescindiendo de presencia de calcita y cuarzo, minerales mayoritarios en las muestras analizadas, en los morteros estudiados se han detectado las siguientes asociaciones mineralógicas:

- Sin microclina, sin cerámicos y con fragmentos de roca arenisca y moscovita (N4/ue.1109).
- Sin microclina, con cerámicos, con fragmentos de roca arenisca y sin moscovita (N2/ue.111 y N3/ue.101)
- Sin microclina, con cerámicos, con fragmentos de roca arenisca, con moscovita y con o sin caolinita (E4/ue.1209, E1/ue.1210 y E3/ue.1204).
- Con microclina, con cerámicos y fragmentos de roca arenisca, con o sin moscovita (N1/ue.1110 y E2/ue.1212)

En la tabla 6.2 se presentan estos datos asociados a los lugares de procedencia de las muestras y al tipo de mortero.

Tabla 6.2.- Santa Cristina de Lena: Asociaciones mineralógicas, detectadas en los morteros de cubiertas.

Referencia	Tipo	Localización	Árido - matriz	Asociación mineralógica*	
N4/ue.1109	Encapotado bóveda	Bóveda N	1:10	Fragmentos de roca + moscovita, sin microclina, ni cerámicos	
N1/ue.1110	Mortero de juntas entre dovelas	Bóveda N	1:11	Fragmentos de roca + microclina + cerámicos	+ Moscovita
E2/ue.1212	Mortero de juntas entre dovelas	Bóveda E	1:10		Sin Moscovita
N2/ue.1111	Entre aparejo fachada N	Bóveda N	1:1	Fragmentos de roca + cerámicos, sin microclina y sin moscovita	
N3/ue.1101	Refacción fachada N		1:15		
E4/ue.1209	Encapotado bóveda	Bóveda E	1:2	Fragmentos de roca + cerámicos + moscovita, sin microclina	+ Caolinita
E1/ue.1210	Relleno cornisa		1:5		Sin Caolinita
E3/ue.1204	Recrecido muro		1:1		

\*Esta asociación siempre va acompañada de calcita, cuarzo y fragmentos de carbón.

A partir del análisis arqueológico, realizado por Ríos en 2014, pueden considerarse pertenecientes al proyecto original una muestra de la capilla este (E2/ue.1212) y dos muestras de la capilla norte (N1/ue.1110 y N4/ue.1109). El resto de las muestras se asocian a refacciones de distinto tipo. Así por ejemplo E1/ue.1210, E3/ue.1204 y E4/ue.1209 parecen estar en relación con la reforma románica del edificio, mientras que N2/ue.1111 se vincula a una reparación de la dependencia septentrional de la fachada norte, para la que no se pudo fijar una cronología relativa a partir del registro arqueológico (Figs. 6.30 y 6.31). A partir de los datos proporcionados por la analítica se evidencia una similar relación árido-matriz, entre las muestras E2/ue.1212 y N1/ue.1110, que alcanzan valores de 1:10 y 1:11, respectivamente. Dado que la composición mineralógica es igualmente emparentable, se puede considerar ambas muestras como similares. Este hecho resulta de gran interés, dado que refrenda los resultados del análisis arqueológico, a partir del cual se dictaminó que la construcción de ambas bóvedas posiblemente se llevó a cabo al mismo tiempo. Asimismo y de acuerdo con los valores de dosificación, se puede establecer una analogía entre estas dos muestras y la muestra proveniente del encapotado de la bóveda norte, que igualmente se relaciona con el proyecto original del edificio. La diferencia que introduce esta muestra es que respecto a los componentes accesorios están ausentes los materiales cerámicos y la microclina, registrados en las muestras E2/ue.1212 y en N1/ue.1110. Los morteros arqueológicamente relacionables con la reforma románica de la capilla este corresponden a las muestras E1/ue.1210, E3/ue.1204 y E4/ue.1209 y presentan una composición mineralógica y de accesorios prácticamente idéntica, diferenciándose tan solo en la dosificación árido/matriz.

Si comparamos estos datos con las fechas calibradas de  $^{14}\text{C}$  obtenidas para este edificio y asumimos que deberían de ser prácticamente sincrónicas, se observa que esto no ocurre. Hay una muestra, la N4/ue.1109, incongruente con las muestras N1/ue.1110 y E2/ ue.1212 que induce a pensar que la primera está claramente contaminada por carbono fósil, lo que se traduce en un envejecimiento del mortero hacia fechas más antiguas. La causa de la intensa contaminación de la muestra N4/ue.1109 podría estar relacionada con la presencia de fragmentos de piedra toba en el interior del mortero. Recordemos que durante su descripción macroscópica se mencionó el hecho de que texturalmente este mortero era similar a este tipo de material carbonatado, y se pensó que la muestra podría haber estado afectada por procesos de disolución-precipitación, asociados a eventuales entradas de agua en la cubierta. Esta hipótesis hubiera rejuvenecido la fecha radiocarbónica experimental hacia épocas más recientes, en vez de ocurrir lo contrario.

Como ocurría en San Salvador de Valdediós y asumiendo que la muestra N4/ue.1109 presenta una intensa contaminación, no se puede descartar que las otras dos (N1/ue.1110 y E2 ue.1212) puedan estar también contaminadas, en mayor o mayor medida, por el mismo proceso que alteró la muestra anterior, ya sea por la presencia de material carbonato relicto de la caliza fuente, a partir de la cual se elaboró la cal, o por lixiviación de aguas carbonatadas, procedentes de la disolución de la piedra toba. Recordemos que tanto la bóveda de la capilla norte como la bóveda de la capilla este están fabricadas a base de grandes sillares de piedra toba (Fig. 6.30).

Teniendo en cuenta estos aspectos, aunque las fechas obtenidas para la muestra más contaminada desvían con absoluta seguridad la edad radiocarbónica a fechas extremadamente antiguas para la construcción de la capilla, lo que la invalida, tampoco tenemos la certeza de que los datos obtenidos para las fechas más recientes estén infraestimando la edad de los morteros aunque, al contrario que ocurre con el envejecimiento de las muestras, no tenemos ninguna evidencia directa para apoyar un posible rejuvenecimiento por contaminación. En lo que se refiere a estas últimas, las fechas radiocarbónicas proporcionadas por los análisis se situarían entre segunda mitad del siglo VII y segunda mitad del siglo VIII, congruentes entre ambas muestras (Fig. 6.32). La coherencia de ambas dataciones resulta consecuente tanto con su composición como con el contexto estratigráfico del que provienen las muestras pero esta fecha se desvía «a grosso modo» 200 años de la fecha de fundación generalmente admitida para el edificio, inferida de la construcción de Santa María del Naranco (850 y décadas posteriores), con un claro «terminus post quem» proporcionado por una de las celosías utilizada en el arco triunfal (año 643) y otras piezas reaprovechadas (del siglo VII), aunque conviene recordar que esta iglesia no figura en la documentación altomedieval.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, para Santa Cristina de Lena se deduce una secuencia constructiva que se expone a continuación (Fig. 6.33), basada en una cronología relativa.

Los morteros más antiguos, probablemente fundacionales, corresponden a las muestras E2/ue.1212 y N1/ue.1110, recogidas en las bóvedas este y norte, respectivamente (Fig. 6.33). Estas muestras son petrológicamente similares entre sí, lo que induce a pensar que ambas bóvedas fueron construidas a la vez. La distribución de probabilidad de la fecha calibrada sitúa estos morteros entre la segunda mitad del siglo VII y la segunda mitad del siglo VIII, aunque si se han visto afectados por contaminación fósil es posible que las fechas obtenidas por  $^{14}\text{C}$  se hayan retraído a fechas constructivas más antiguas. En el otro mortero (N4/ue.1109), similar en dosificación a los anteriores y en el que no se han detectado ni fragmentos cerámicos ni microclina, la fecha calibrada es reflejo de una intensa contaminación, probablemente originada por la presencia de fragmentos de toba calcárea.

En la bóveda de la capilla este se observa otra equivalencia petrográfica entre las muestras E3/ue.1204, E4/ue.1209 y E1/ue.1210, lo que se atribuye a que estos morteros fueron elaborados a la vez y en una intervención posterior a la construcción de la bóveda (Fig. 6.33). Según la interpretación arqueológica podrían corresponder con la reforma románica. No existen, sin embargo, correspondencia de este nivel con su homónimo o simétrico de la bóveda norte, lo que supone que ambas bóvedas han sufrido trayectorias reconstructivas diferentes.

No hay vestigios de materiales aportados en la fase románica en la capilla norte pero existe otra similitud mineralógica entre los morteros de la bóveda norte, en las muestras N2/ue.1111 y N3/ue.1101 (Fig. 6.33) que las sitúa en una misma época constructiva. Esto puede corresponder, según la interpretación arqueológica, con la refacción de la dependencia septentrional de la fachada norte, cuya cronología relativa no pudo ser fijada a partir del registro arqueológico. A pesar de que estos morteros presentan diferentes dosificaciones árido/matriz y distinta relación entre facción gruesa y fina del residuo insoluble, si considerásemos la relación árido+arena gruesa/arena fina+matriz, las proporciones se aproximarían a 12:1 (muestra N2/ue.1111) y a 15:1 (muestra N3/ue.1101). La datación radiocarbónica de las muestras de la segunda o de la tercera fase constructiva, permitirían confirmar si las primeras corresponden a la fase románica o no. Estos datos aportarían además una información valiosa destinada a aclarar las dudas que plantean los diagramas estratigráficos de las bóvedas, deducidos del estudio arqueológico (Ríos, 2012)<sup>293</sup> (Fig. 6.31).

---

<sup>293</sup> Ríos González S. (2004). "Actuación arqueológica relacionada con las obras de restauración de la iglesia de Santa Cristina de Lena. Año 2012, Consejería de Cultura y Deportes de Principado de Asturias, 59 p.



Figura 6.30.- Arriba: bóveda norte; abajo: bóveda este (Las imágenes escaladas, han sido cedidas por Sergio Ríos).

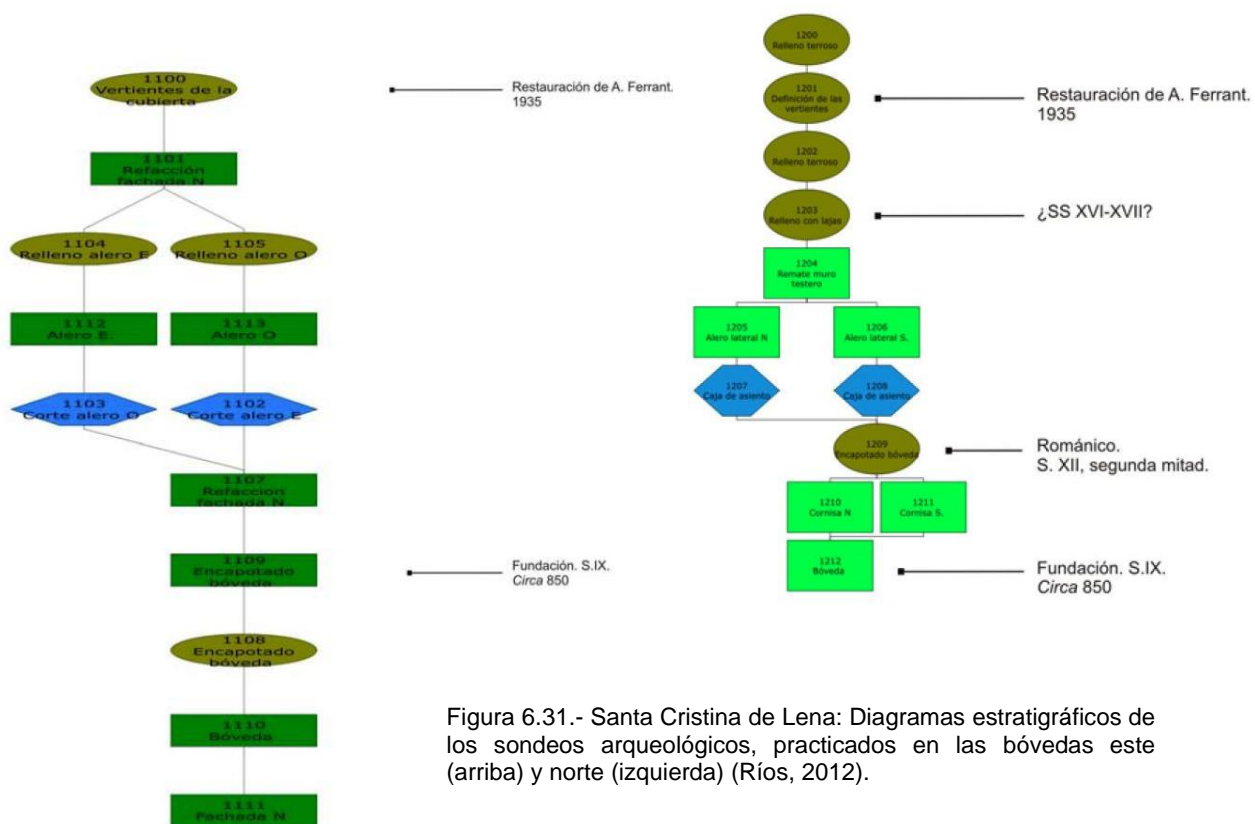


Figura 6.31.- Santa Cristina de Lena: Diagramas estratigráficos de los sondeos arqueológicos, practicados en las bóvedas este (arriba) y norte (izquierda) (Ríos, 2012).

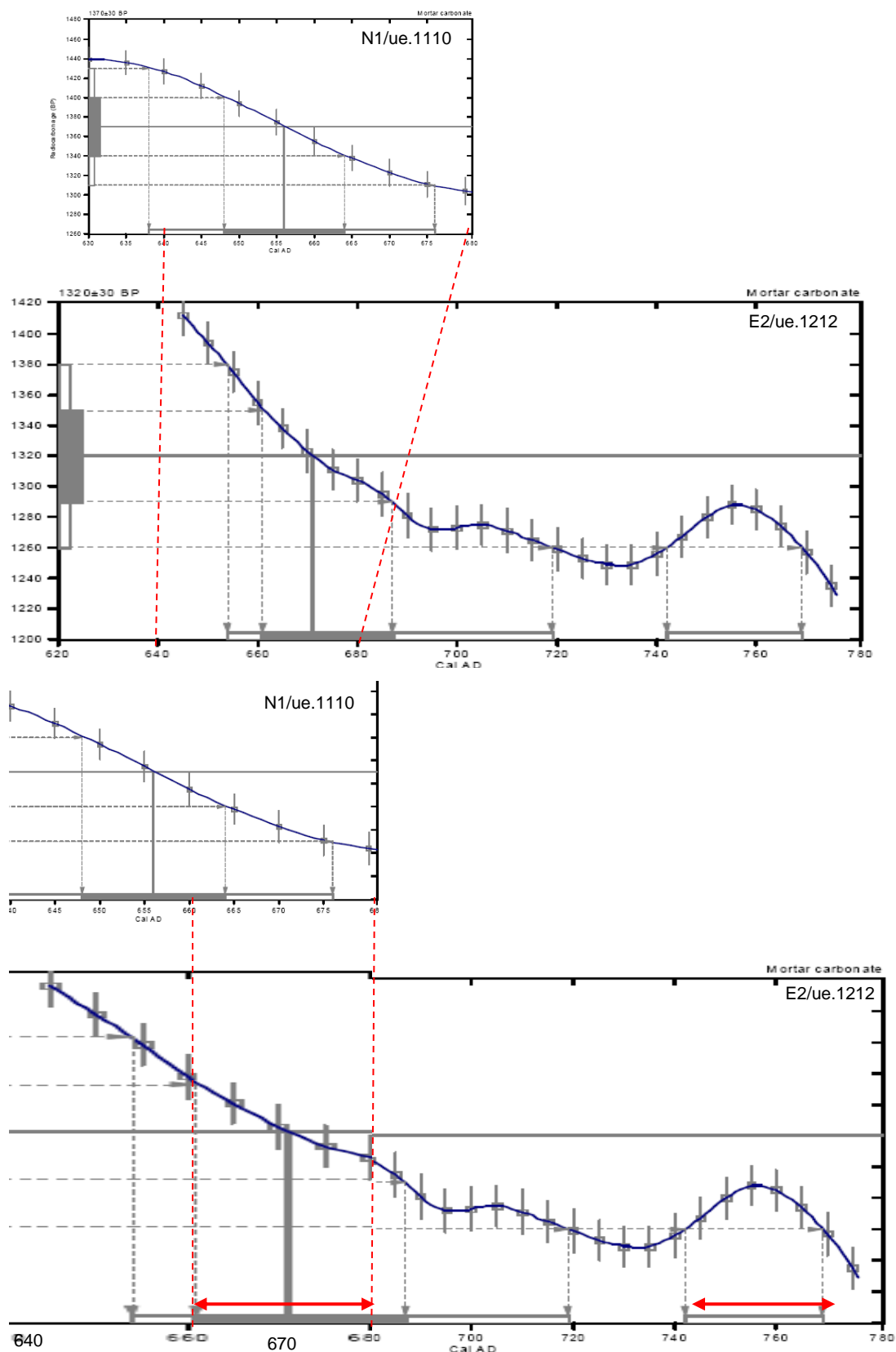


Figura 6.32.- Superposición de las curvas de calibración con la edad radiocarbónica convencional de las muestras de mortero N1/ue. 1101 y E2/ue. 1212. La distribución de probabilidad de la fecha calibrada a 2  $\sigma$  (95 % de probabilidad) sitúa a estos morteros entre segunda mitad del siglo VII (cal AD 660-680) y segunda mitad del siglo VIII (cal AD 740-770).



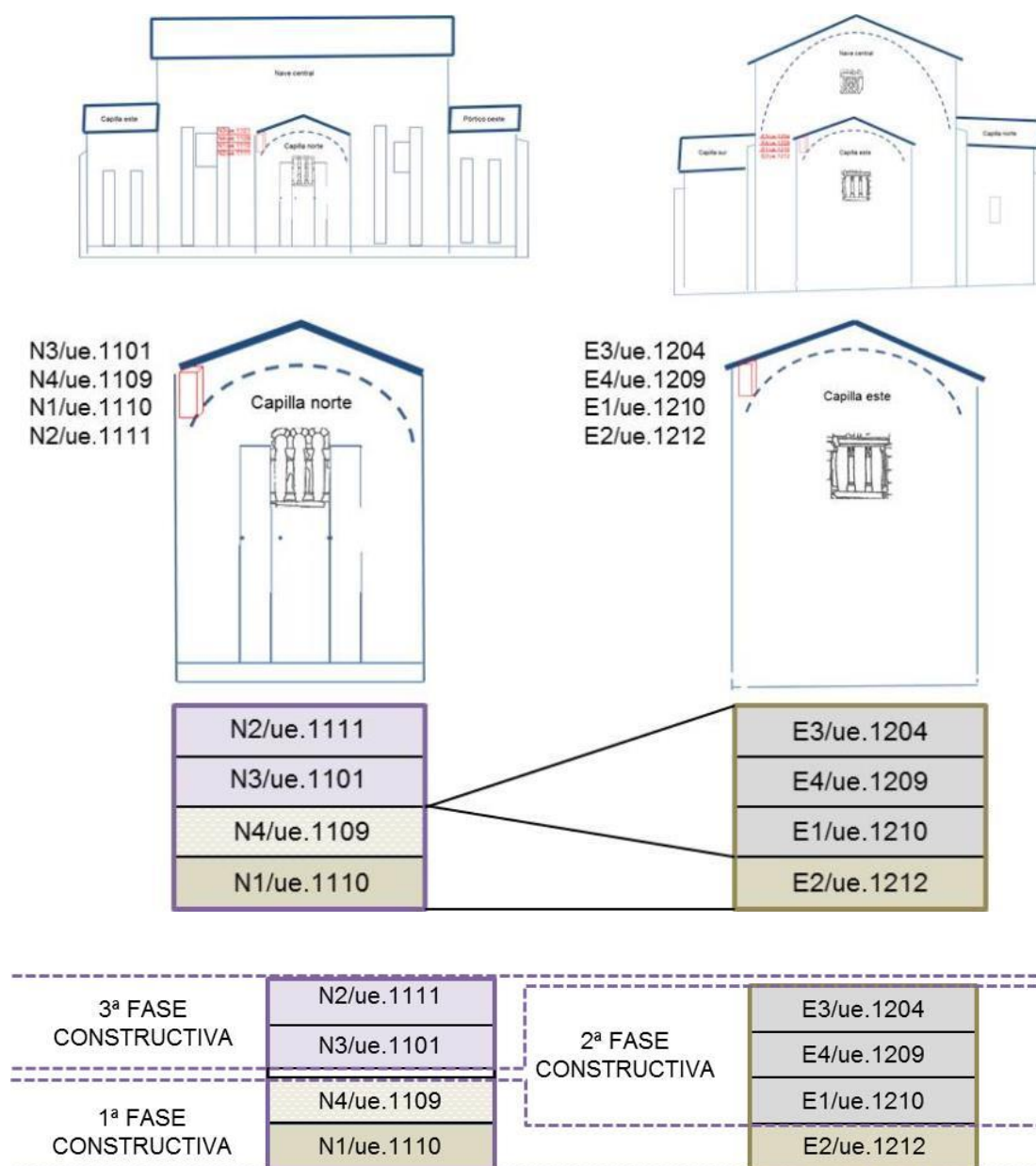


Figura 6.33.- Arriba: Representación gráfica sobre alzado de los puntos de procedencia de las muestras de mortero con su correspondiente columna estratigráfica, posicionada de muro a techo. Abajo: Representación esquemática de la secuencia constructiva de Santa Cristina de Lena, referente a las bóvedas norte y este. La primera fase constructiva corresponde al proyecto original del edificio, la segunda y tercera; se relacionan con la reforma románica y una modificación de la dependencia septentrional de la fachada norte, respectivamente.

## 6.5.- SAN MIGUEL DE LILLO

Analizados e integrados los datos obtenidos en el estudio de los materiales constructivos (morteros y piedras) y los derivados de sus recubrimientos pictóricos (pintura mural y capas pictóricas) se pueden concluir los resultados que se exponen a continuación.

### **Morteros**

En el interior de la iglesia de San Miguel de Lillo se han identificado siete tipos de morteros, de los cuales dos corresponden a la construcción original del edificio (Tipos I y II) y otros dos a la reconstrucción del ábside (Tipos VI y V), posterior al derrumbe parcial del cuerpo oriental del edificio, en torno al siglo XI. En lo que se refiere a los primeros, uno corresponde a la argamasa de ligazón de las fábricas del edificio (Tipo I) y el otro al mortero aplicado a modo de revoco o enlucido que recubre las superficies, y que sirve de soporte a la pintura mural altomedieval (Tipo II). Ambos morteros son de cal y arena de cuarzo, con una composición mineralógica similar, cuyas diferencias radican en su color, textura, granulometría de los áridos mayoritariamente de cuarzo y en su dosificación árido–matriz (Fig. 6.34). El mortero tipo II ha sido identificado en las escaleras de acceso a la tribuna, en la habitación lateral sur, en la bóveda de la tribuna, en la nave sur, nave norte y nave central.

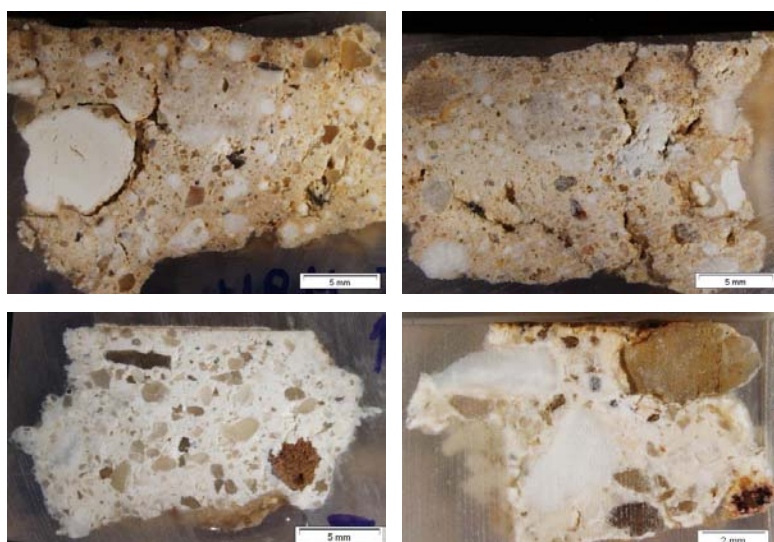


Figura 6.34.- Las imágenes superiores corresponden a secciones transversales del mortero de juntas o trabazón de los mampuestos de fábrica (Tipo I); las inferiores, al revoco que aparece tendido sobre los paramentos y que sirve de soporte a la pintura mural (Tipo II).

En las zonas reconstruidas del templo, localizadas en el antecuerpo oriental, se han identificado dos morteros distintos, uno empleado como argamasa que liga los mampuestos del cierre del arco diafragma sur (arco dispuesto en la dirección transversal a la nave sur que con otros arcos sucesivos compone la estructura y permite forjar el espacio en sentido longitudinal, reduciendo los empujes que la cubierta ejerce sobre los muro), (Tipo VI), y otro correspondiente a la reconstrucción del ábside (Tipo V), (Figs. 6.35 y 6.36). El primero es un mortero de cal y arena de cuarzo, al que además se incorporan como áridos fragmentos de

roca de las variedades empleadas en la construcción de las fábricas del edificio, lo cual tiene sentido, ya que posteriormente a la ruina parcial de la iglesia, los materiales de la ruina y derribo fueron reutilizados e incorporados a los morteros. En lo que se refiere al segundo, corresponde al mortero elaborado para la reconstrucción del ábside. Es un mortero identificable a simple vista, por su color y textura, elaborado a base de cal y arena de cuarzo, al cual se le incorporan como agregados fragmentos de madera y de carbón vegetal.

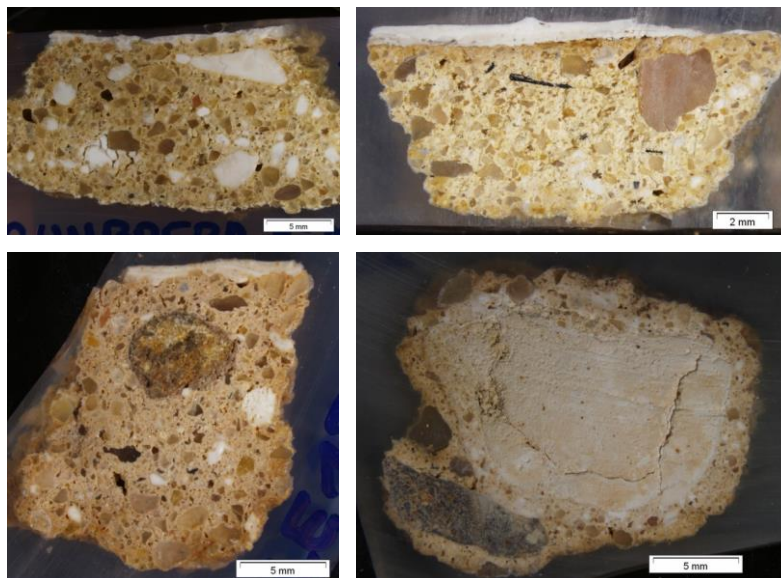


Figura 6.35.- Las imágenes superiores corresponden a secciones transversales del mortero de trabazón y revoco interior y exterior del ábside actual (Tipo V). Las inferiores al mortero elaborado para el cierre de los diafragmas de las naves norte y sur (Tipo VI).

El mortero de reconstrucción del ábside traba los sillares y mampuestos y reviste los paramentos interiores y exteriores de la actual cabecera de planta cuadrada. Esta argamasa ha sido datada por radiocarbono a partir de dos puntales de madera de tejo y de un fragmento de carbón añadidos al mortero, aportado respectivamente las siguientes fechas: siglos VIII al XII (2σ: cal AD 770-1113) y siglos XI al XIII (2σ: cal AD 1027-1253), (García de Castro, 1995)<sup>294</sup>, siglos XI al XII (Caballero 2010 y Rodríguez Trobajo, 2010)<sup>295</sup> y siglos XI al XIII (2 σ: cal AD 1040-1240) (Gea, 2011)<sup>296</sup>.

En determinadas localizaciones (en el muro sur del ábside), por debajo del mortero tipo V se identifica el mortero tipo VI (Fig. 6.36). Este último se ha localizado, además, entre los mampuestos del cierre del arco diafragma este de la nave sur, por debajo de otro mortero (Tipo IV) (Fig. 6.37), por lo que cabe pensar que la aplicación del mortero tipo VI fue algo anterior a la reconstrucción del actual ábside, tal como sugiere Caballero en 2010<sup>297</sup>, que comenta que

<sup>294</sup> García de Castro, C. 1995: *Arqueología Cristiana de la Alta Edad Media en Asturias*, Oviedo, p. 417-418.

<sup>295</sup> Rodríguez Trobajo, E. 2010: 4. Datación de dos puntales de madera en la iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias), en Caballero L. y otros: *Las iglesias de San Juan Evangelista de Santianes de Pravia y Santo Adriano de Tuñón (Asturias)*. *Arqueología de la Arquitectura*, "Anejos de AEspA", LIV, 187-192

<sup>296</sup> GEA (2011) "Estudios previos y seguimiento petrológico de la intervención en San Miguel de Lillo (Oviedo)" *Consejería de Cultura y Turismo del Gobierno del Principado de Asturias*.

<sup>297</sup> Caballero Zoreda L. (2010) "Observaciones arqueológicas sobre producción arquitectónica y decorativa de las iglesias de San Miguel de Lillo y Santianes de Pravia" Simposio "Visigodos y Omeyas VI. Asturias entre visigodos y mozárabes", celebrado en Madrid, en el Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), CSIC, durante los días 8, 9 y 10 de septiembre de 2010, 29 p

«durante la fase IIA se debió de añadir una cabecera hoy perdida, la cual es posteriormente restaurada y sustituida por el ábside actual (fase IIB)». García de Castro, argumenta al respecto que «la reconstrucción del templo debió de implicar dos fases: una de demolición de las ruinas y limpieza del terreno y otra de cierre de los diafragmas de las naves laterales norte y sur y de construcción del nuevo ábside de planta cuadrada» (García de Castro, 1995). El mortero tipo IV pensamos que corresponde a la intervención de Coello

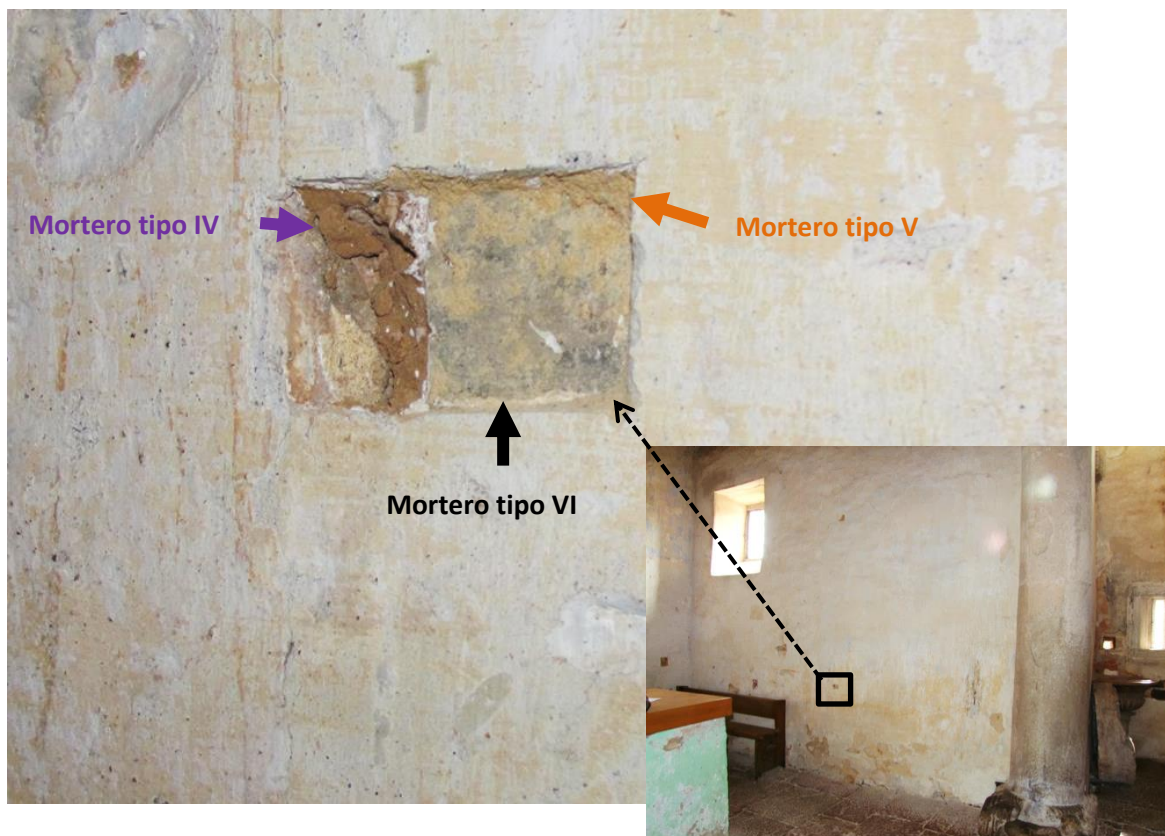


Figura 6.36.- Cata practicada en el lateral sur del ábside donde aparece el mortero tipo VI (cierre diafragma) por debajo del mortero tipo V (mortero ábside) y en contacto con el mortero tipo IV (de la intervención de Coello). Los dos morteros más antiguos del ábside aparecen superpuestos (tipo V sobre tipo VI) y yuxtapuestos a ellos aparece el mortero de la intervención de Coello (tipo IV), rellenando un hueco.



Figura 6.37.- General y detalle del mortero tipo VI, bajo el mortero tipo IV, en el arco diafragma de la nave sur.

Otro de los morteros identificados es el que se localiza en el pórtico de la iglesia, que corresponde a un mortero de cal y arena de cuarzo (Tipo III) que además, incorpora como árido

abundantes fragmentos de roca carbonatada (Fig. 6.38). Este mismo mortero se localiza también en el arco de acceso a la cámara de la nave central. Estas dos ubicaciones sugieren que se trata de un mortero de reposición del pórtico. Este último fue incorporado al interior de la iglesia en el momento en el que se traslada la puerta al exterior de la fachada oeste, ya que anteriormente formaba parte de un vestíbulo exterior, como el que aparece en la iglesia de San Salvador de Valdediós. En origen, el pórtico fue cargado en superficie con el mortero tipo II pero la susceptibilidad al deterioro de un mortero ubicado en un entorno húmedo, al exterior del edificio, pudo provocar su degradación y posterior reposición por el mortero tipo III. Junto a las jambas, situadas a ambos lados de la entrada a la iglesia, todavía se conservan restos del mortero original (Tipo II) que lógicamente tuvo que servir de soporte a la pintura mural altomedieval del pórtico (Fig. 6.38). La presencia e identificación del mortero tipo III, como un mortero de reposición del pórtico, aporta un dato revelador que implica que la pintura de círculos rojos que actualmente se conserva en la bóveda del pórtico no puede ser altomedieval. El hecho de haber localizado este mortero en las juntas entre los sillares de Laspra que conforman el arco de acceso a la cámara, sugiere que la cronología de este mortero debería situarse en una fecha anterior al siglo XVIII y bastante posterior a la de reconstrucción del ábside (probablemente el siglo XII). En 1782, Luxigo sitúa la eliminación del primer campanario de madera y su sustitución por otro segundo de fábrica, que finalmente se elimina en la intervención dirigida por Andrés Coello en el siglo XIX (García de Castro, 1995), pero no menciona nada sobre el cargado del pórtico, lo que nos hace suponer que debió de ser anterior. Por el contrario, si este mortero estuviese en relación con la primera sustitución del campanario, la fecha más probable para su aplicación se situaría a finales del siglo XVIII, muy posterior a la reconstrucción del ábside. En el apartado siguiente, correspondiente a la pintura mural, volveremos a incidir en la cronología del mortero y su recubrimiento pictórico.

Otro de los morteros identificados en San Miguel de Lillo es el mortero de cierre de la sacristía sur, empleado en la intervención de Coello en 1850–1851, referenciado como tipo IV, al que anteriormente nos hemos referido. Con este mortero se cierra el hueco de la puerta sur del ábside y se abordan otras reparaciones que afectan a la tribuna, a las habitaciones laterales norte y sur, a la nave central, a las naves norte y sur y evidentemente al ábside. Corresponde a un mortero de cal y arena de cuarzo, con abundantes óxidos de hierro, que en la mayoría de las ocasiones aparece cubierto por una gruesa capa de pintura blanca, de naturaleza mayoritariamente orgánica y textura granuda (Fig. 6.39). En tres localizaciones: nave central (NCLN2), lateral norte del ábside (ALN8) y en el lateral este de la habitación lateral norte (HLNLE1), sobre el mortero tipo IV se han identificado una y hasta dos capas de cal, lo que sugiere que la aplicación de la pintura blanca podría corresponder a la intervención de Venancio del Valle (1968) o a alguna posterior, en las que las capas de cal, aplicadas sobre el mortero tipo IV, estaban prácticamente perdidas (Fig. 6.39).

Por último señalar que la escayola, incorporada por Menéndez Pidal en el siglo XX para la consolidación, fijación y sujeción de la pintura mural, ha sido referenciada como mortero tipo VII (Fig. 6.40).

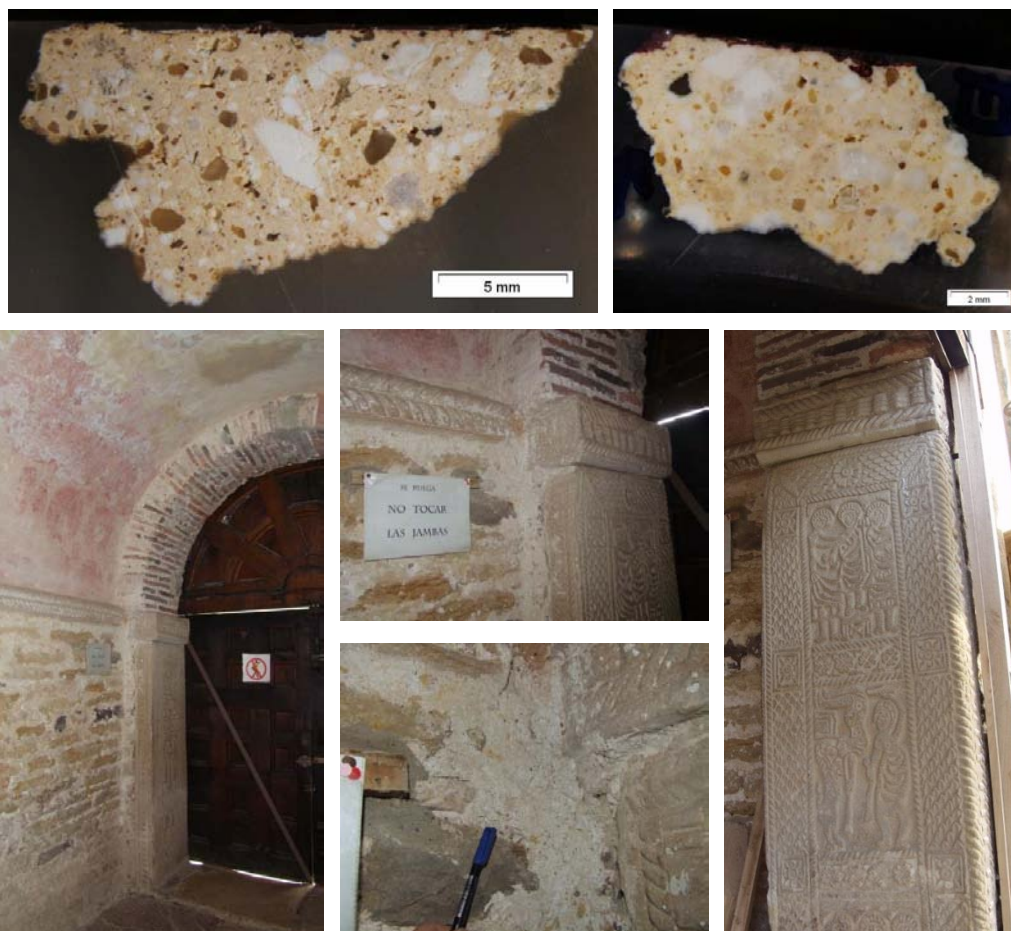


Figura 6.38.- Arriba: Secciones transversales del mortero tipo III que revoca la bóveda del pórtico y que repone juntas en el arco de acceso a la cámara, en la nave central; a izquierda y derecha, respectivamente. Abajo: Localización del mortero tipo III, revocando la bóveda del pórtico y restos del mortero original tipo II, en el encuentro entre el lateral de la jamba lateral izquierda y el paramento sur del pórtico.

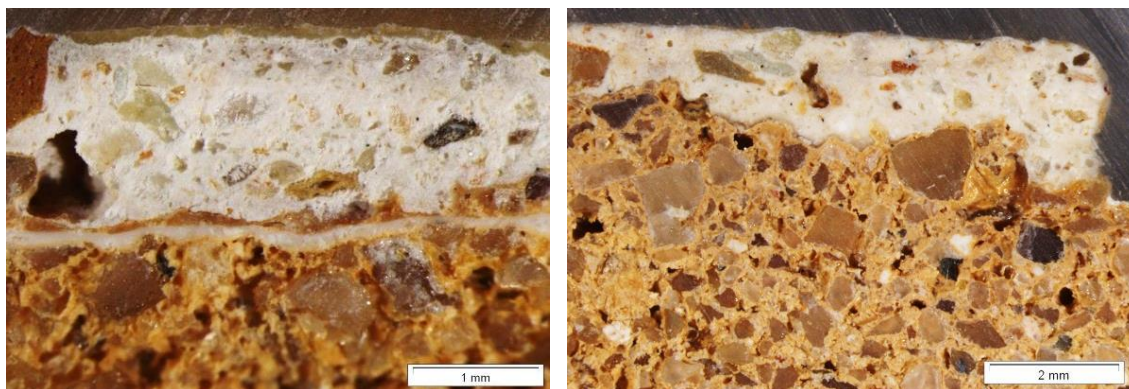


Figura 6.39.- Detalles de secciones transversales del mortero tipo IV con su capa de cal y con el recubrimiento pictórico de color blanco.



Figura 6.40.- Aspecto general y detalle de la escayola incorporada por Menéndez Pidal en la intervención de los años 1954, 1961 y 1965.

## ***Pintura mural***

### *Pintura altomedieval*

En Lillo, el boceto gráfico consta «de un entramado reticular de líneas negras, con fondos amarillos y rojos, algo diferente en la técnica de ejecución al realizado en Santullano, donde el dibujo previo se marca mediante incisión de un punzón en el estuco aún tierno» (Arias, 1999)<sup>298</sup>.

La pintura mural altomedieval se localiza sobre el soporte de mortero tipo II, descrito en el apartado anterior y aplicado en una sola capa de aproximadamente 1,2 cm de grosor. No se trata de un enlucido propiamente dicho, ya que como se comentó anteriormente, se aplicó en una única capa con una granulometría muy similar a la del mortero de juntas, recogido entre los mampuestos de fábrica. En la mayoría de las muestras analizadas el grosor de la pintura es muy escaso y en muchos casos los restos de pintura se restringen a una tinción superficial amarillenta o rojiza del mortero subyacente. Esta aparente tinción es debida a la carbonatación conjunta de la superficie del mortero húmedo y los pigmentos. Esto confirma la ejecución al fresco como la técnica pictórica en la pintura altomedieval de Lillo. Esta pintura ha sido identificada en las escaleras de acceso a la tribuna en orientación sur y norte, en la habitación lateral sur, en la bóveda de la tribuna, en la nave central y en las naves sur y norte. Ocasionalmente, en el trazado de líneas negras, el pigmento negro aparece aglutinado con una lechada de cal y aplicado sobre el revoco casi seco, tal como se deduce de los análisis morfoquímicos, lo que implica que en determinadas zonas, el perfilado de la decoración se ha realizado sobre el mortero prácticamente seco.

Composicionalmente, los pigmentos identificados en esta pintura han sido: sulfato de estroncio en todos los colores, tierras naturales en muy baja proporción, en lo que se refiere al amarillo y al rojo, y negro carbón en la pintura negra. Estos pigmentos aparecen siempre asociados a calcita y a cantidades variables de dolomita, propias de cales dolomíticas. La presencia del sulfato de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ) en proporciones muy elevadas, en la pintura amarilla y roja, es excepcional, ya que este sulfato (celestina) es habitualmente incoloro, blanco, gris y menos frecuentemente, anaranjado, azul y verde. Las cantidades extraordinariamente elevadas de

<sup>298</sup> Arias, L. (1999). "La pintura mural en Asturias en los siglos IX y X". Ed. Librería Cervantes, 199 p.

celestina, identificadas en las capas pictórica altomedievales de Lillo, corroboran la utilización de este pigmento, inusualmente de color anaranjado. Esta excepcionalidad en el color de la celestina y su escasa utilización, hace que no existan referencias de este pigmento en los tratados antiguos, tradicionales o actuales (Vitrubio 1992 y 1995, Antonio Palomino 1720, Francisco Pacheco 1795, Berlin 1969, Garate Rojas 1994, Cage 1999, Matteini y Moles 2001, Calvo 2002, Cennino 2002, Gómez 2004, Parrilla 2007, etc.), aunque este pigmento anaranjado ha sido detectado en pinturas mayas (Vázquez de Agredos, 2007), en pinturas murales romanas (Parternoster *et al.*, 2004; Civini *et al.*, 2008) y neolíticas (Roldán *et al.*, 2006, 2008), en los dos últimos casos, siempre referidos a la variedad de color blanco del sulfato de estroncio.

La existencia de yacimientos de celestina en Conil de la Frontera (Cádiz), en la Sierra Almagrera (Almería) y en Escarp (Lérida), inducen a pensar que el sulfato de estroncio de color anaranjado pudo provenir de alguna de estas zonas, teniendo en cuenta además que la corte ovetense del Reino Astur de la época de construcción de Lillo fue «centro de una importante actividad artística, ligada a las influencias foráneas, marcadas en gran medida por un desplazamiento gradual de los inmigrantes cristianos que, en corriente interrumpida, venían de Al-Ándalus desde mediados del siglo VIII» (Ruiz de la Peña, 1988).

Este mismo sulfato de estroncio ha sido detectado en 2011 en la pintura mural altomedieval de San Julián de los Prados por García y Pérez, técnicos adscritos al Instituto del Patrimonio Cultural de España del Ministerio de Cultura, y también en la pintura mural de San Miguel de Lillo, por Jesús Puras en 2013. En el primer caso se identifica el mineral pero no se atribuye a un pigmento concreto, siendo interpretada su presencia como una impureza de la cal, mientras que en el segundo caso, se omite la presencia de estroncio (Sr), detectado en los análisis y se hace una formulación química errónea, al pensar que el azufre tiene que combinarse necesariamente con el calcio, lo que lleva a la interpretación, también errónea, de la técnica de ejecución material, con la consiguiente mención de «un fino y casi imperceptible enlucido, de 1–2 mm de espesor» «donde, los pigmentos mezclados con cal son amasados, cribados y aplicados en pasta, sobre un enlucido seco» (Puras, 2013).

Subsanados los errores cometidos en la interpretación de los anteriores análisis y confirmada la presencia de la celestina de color anaranjado en San Miguel de Lillo y San Julián de los Prados, se constata la suposición de que las decoraciones de ambas iglesias pertenecen al mismo taller, a pesar de que en Lillo exista una cierta evolución respecto al tratamiento de los temas pictóricos. Además, «los frescos de la bóveda de la nave central, al igual que los de las naves laterales, permiten establecer una similitud de estilo con las pinturas murales de Santullano» (Arias, 2009<sup>299</sup>).

---

<sup>299</sup> Arias Páramo L. (2009). «San Miguel de Liño» Guías del Prerrománico asturiano, Ediciones Nobel, Oviedo 2009, p. 48.



En las figuras 6.41 a 6.48 se presenta el aspecto macroscópico de algunas muestras de pintura amarilla, en superficie y en corte estratigráfico, a la lupa y al microscopio electrónico de barrido, con detalles de los cristales de sulfato de estroncio y sus análisis correspondientes al SEM-EDX.

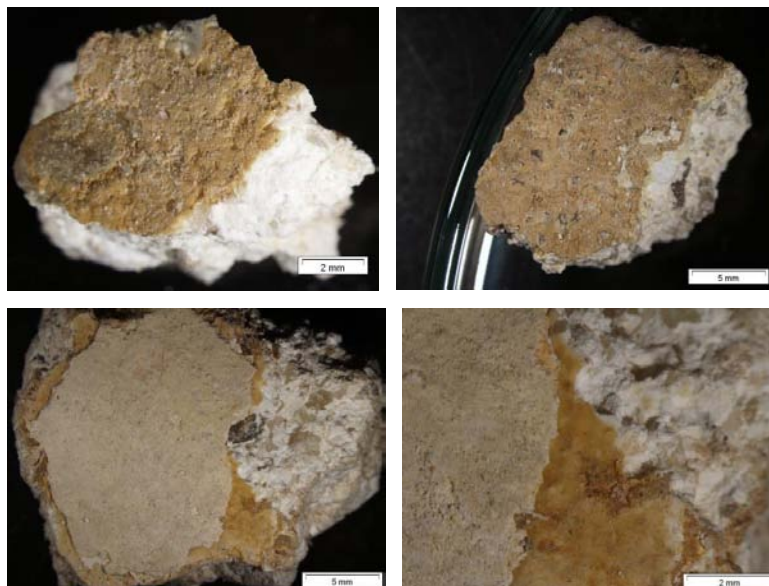


Figura 6.41.- General y detalle de varias muestras de pintura altomedieval amarilla de San Miguel de Lillo. En las imágenes inferiores se observa como la capa de pintura altomedieval, aparece oculta bajo un encalado. El color intenso de la pintura amarilla no se corresponde con ningún pigmento de hematites y la presencia de tierra amarilla es muy baja, lo que incide en el empleo del sulfato de estroncio anaranjado, empleado como pigmento.

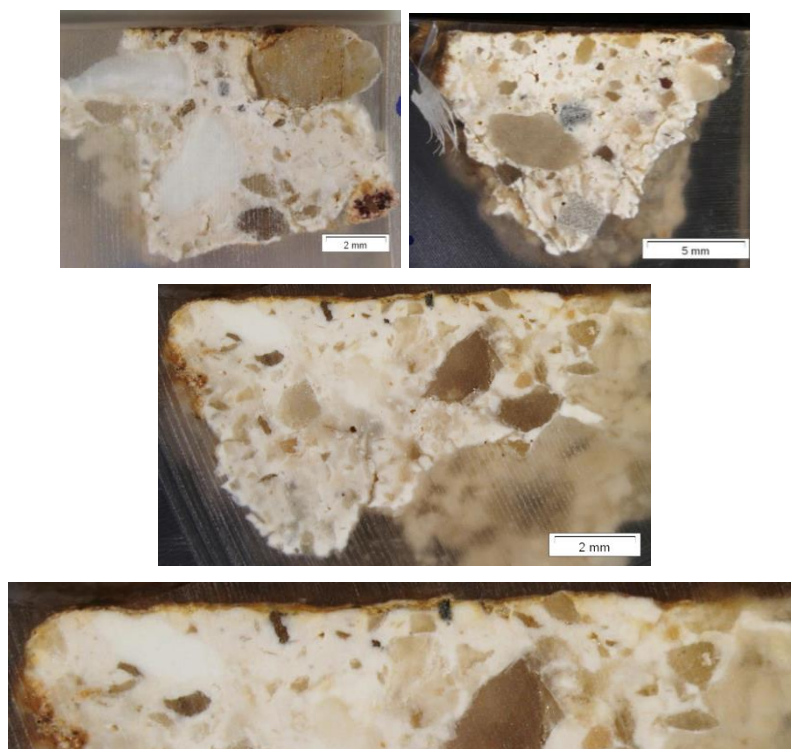


Figura 6.42.- Detalles de varias secciones estratigráficas de las muestras de pintura altomedieval de San Miguel de Lillo de color amarillo. La intensidad de color observada en la superficie de las muestras, contrasta con la leve tinción de la superficie del mortero y el escaso espesor de la capa pictórica, debido al elevado poder cubriente del sulfato de estroncio anaranjado. En las secciones también se observa la textura del mortero que sirve de soporte a la pintura mural. La elevada granulometría de los granos de cuarzo inmersos calcítica y su heterogénea clasificación, obliga a hablar de un revoco, más que de un enlucido fino.

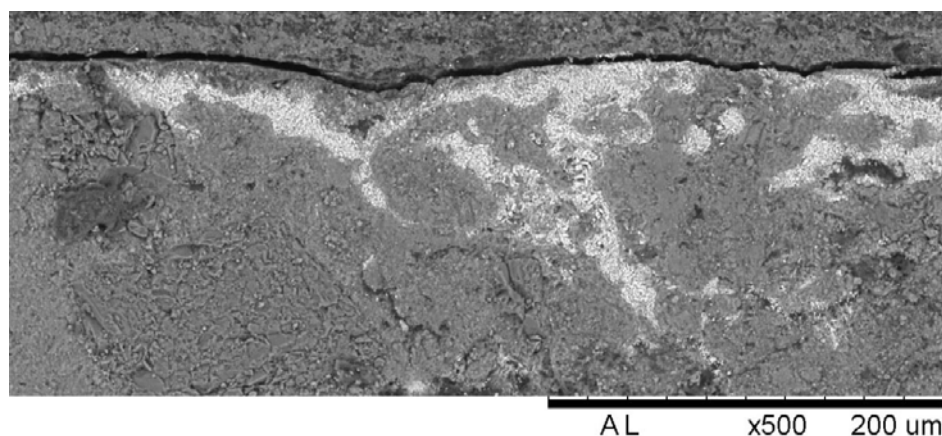
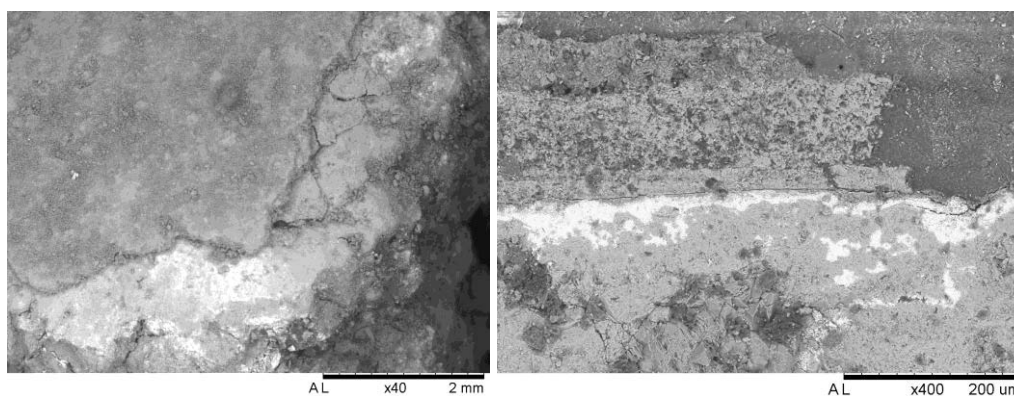
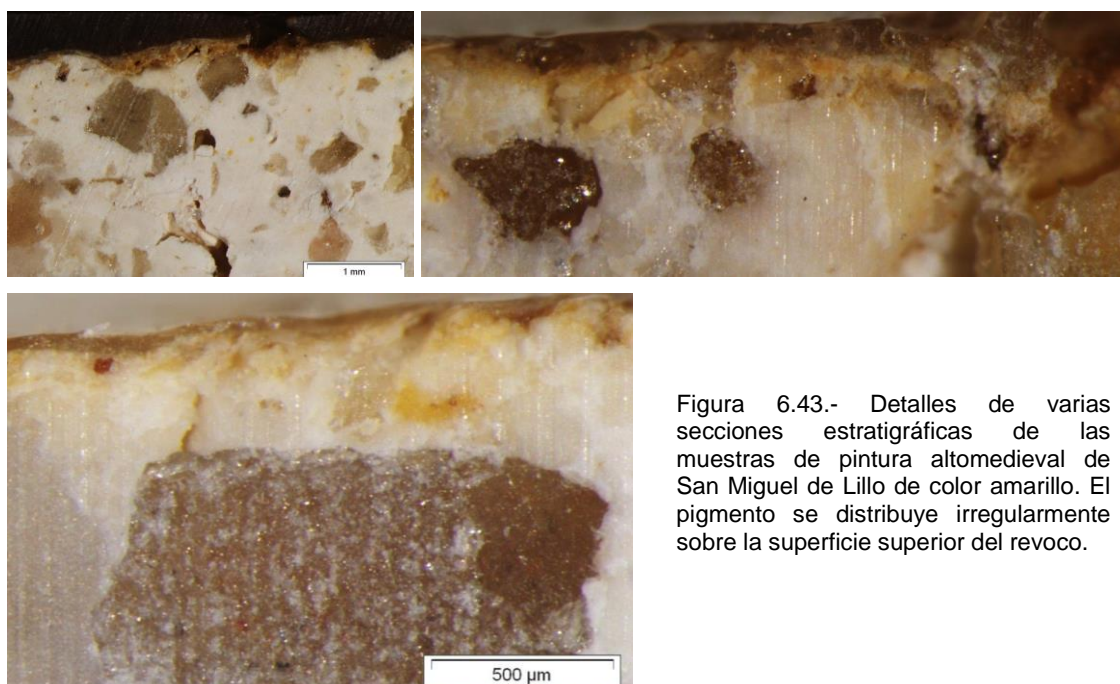


Figura 6.45.- Detalles al SEM de la pintura amarilla original en color blanco, con brillo metálico.

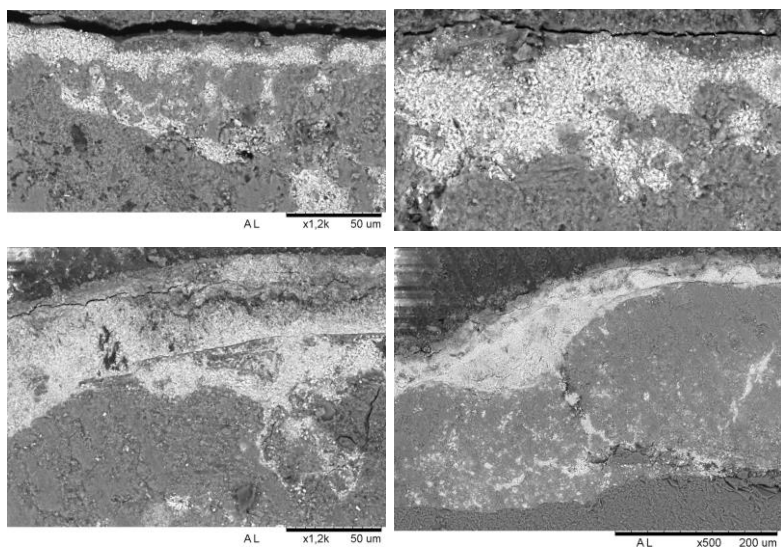


Figura 6.46.- Imágenes al SEM de la capa pictórica amarilla. La aplicación de la pintura se ha realizado mientras el mortero estaba fresco, de manera que el pigmento va adaptándose a la morfología de los granos, dispersándose por los espacios vacíos o los bordes de grano, y carbonatando con la cal del mortero.

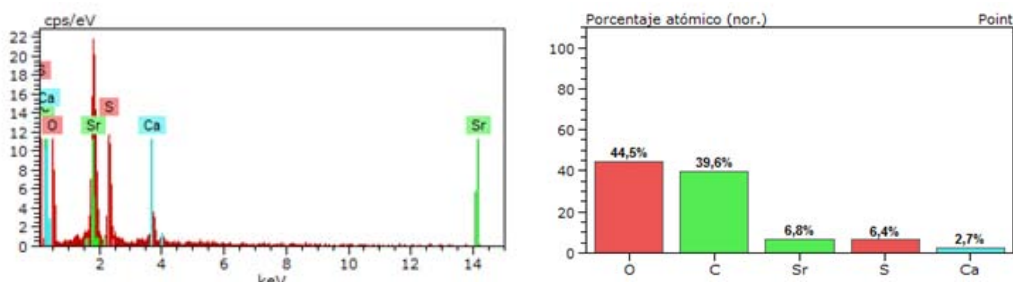
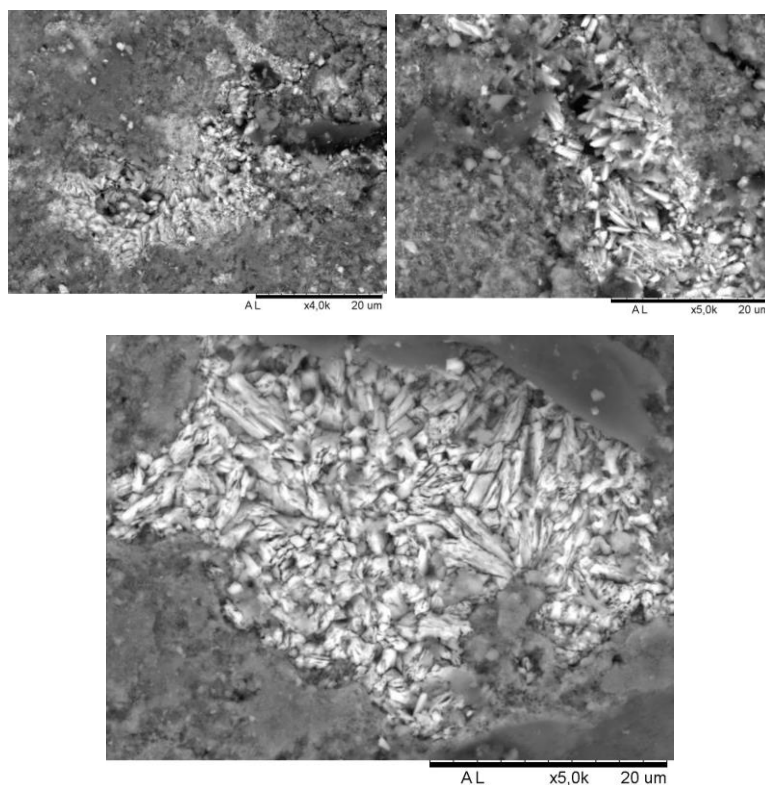


Figura 6.47.- Imágenes al SEM de los cristales de celestina, con su espectro e histograma de porcentajes atómicos. El azufre se combina con el estroncio en proporciones 1:1 y con el oxígeno para formar sulfato de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ).

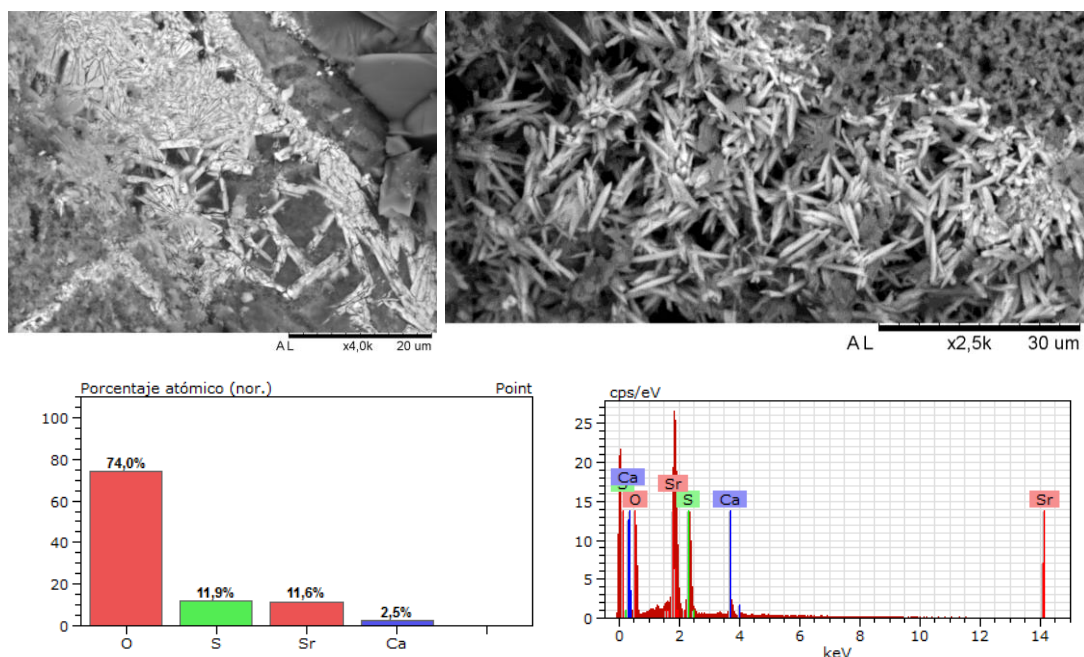


Figura 6.48.- Micrografías al SEM y análisis morfoquímico al SEM-EDX de los cristales de sulfato de estroncio (SSrO4) de la capa de pintura amarilla. Se trata de cristales tabulares, en agregados paralelos o cristales bien desarrollados, de hábito prismático.

Los colores más abundantes de pintura altomedieval que se conservan menos intervenidos y de forma más profusa son los amarillos y se localizan en la habitación lateral sur, en las escaleras, en la tribuna, en la nave central y en la nave norte. El resto de la pintura altomedieval está afectada por repintes, independientemente de que se trate de capas pictóricas de color rojo, negro o amarillo, siendo abundante la identificación de repolicromías en la nave central y en la nave norte. En las imágenes se aprecian en detalle algunas zonas de pintura original, afectas por repintes (Figs. 6.49 a 6.50).

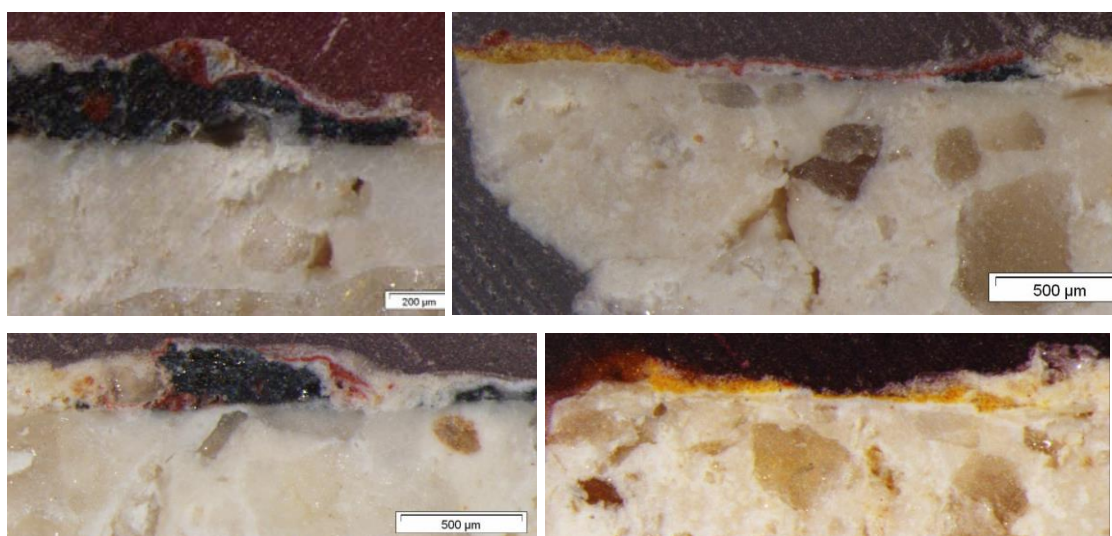


Figura 6.49.- Detalles de secciones estratigráficas de muestra de pintura altomedieval afectadas por repintes de intervenciones posteriores.

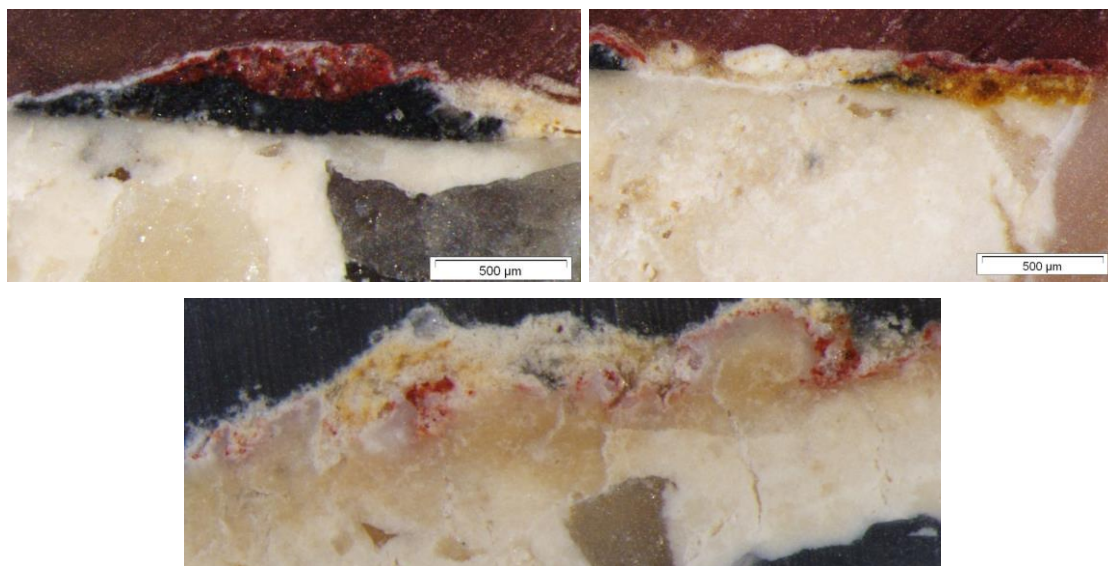


Figura 6.50.- Detalles de secciones estratigráficas de muestra de pintura mural altomedieval, afectadas por repintes.

Estos repintes son de diversas épocas y diferentes intervenciones, habiéndose identificado hasta cuatro tipos distintos combinados y a veces intercalados con una serie de capas de cal, de diferentes tonalidades que varían del blanco al ocre pasando por el beige, marfileño, y amarillo. Ordenados cronológicamente, los repintes detectados sobre la pintura mural han sido:

- Repinte de tierras naturales (amarilla y roja)
- Repinte rojo y amarillo de hematites
- Repinte rojo de minio y amarillo de plomo
- Repinte rojo de hematites, aglutinado con yeso

El primero tiene que ver con la pintura mural del ábside y afecta a la nave central; el segundo está en relación con la pintura del pórtico y afecta a la nave norte; el tercero está ligado a una intervención efectuada en el ábside y también afecta a las naves norte, sur y central, y el cuarto, únicamente afecta a parte de la tribuna (arco de acceso y bóveda) y a la celosía sur de la fachada oeste, labrada en piedra de Laspra. Este último repinte también se ha detectado en el arco exterior de acceso a la tribuna, tal como se determinó en 2011, durante el seguimiento petrológico de la intervención. Este arco de acceso a la tribuna fue sellado por Venancio del Valle en 1868. Parece probable que el repinte de ese arco, de la celosía de Laspra y de algún mortero de la bóveda pudiera tener que ver con la intervención descrita por Luxigo en 1782 (García de Castro, 1995) que también afectó a esta zona con la eliminación de la tribuna y el campanario de madera y la sustitución de este último por otro labrado en piedra, que finalmente fue suprimido por Andrés Coello en 1850.

A continuación se resume el resto de las pinturas murales, más modernas, detectadas en el ábside a partir de las catas realizadas en la cabecera del templo por el equipo de restauración, dirigido por Monserrat Álvarez en diciembre de 2014.

### *Pintura del cierre del diafragma*

El acabado del mortero (Tipo VI), empleado en el cierre del diafragma de la nave sur, consiste en una capa de encalado de carbonato cálcico, de 1,4 mm de grosor, que presenta un color muy blanco, sobre la que aparece una capa más delgada, también de carbonato cálcico (Fig. 6.51). Este mismo mortero, recogido entre los mampuestos del cierre diafragma de la nave sur, ha sido localizado en una cata realizada en el lateral sur del ábside (Fig. 6.36), superado el hueco de acceso a la sacristía sur, en dirección al testero, tapiado en la intervención de Coello de 1850. En la cata, el mortero tipo V se dispone sobre el mortero tipo VI y en la superficie de este último, sobre las capas de encalado, se intuyen los restos de una capa pictórica de color negro. Esta secuencia de encalados de color blanco también se localiza en las columnas de la nave central, cuya capa más exterior, también de carbonato cálcico, presenta color anaranjado debido a la presencia de tierras naturales como pigmentos. Pudiera ser que el mortero del primer ábside fuese encalado en superficie y sobre esta última se aplicara un despiece de sillares en color negro.

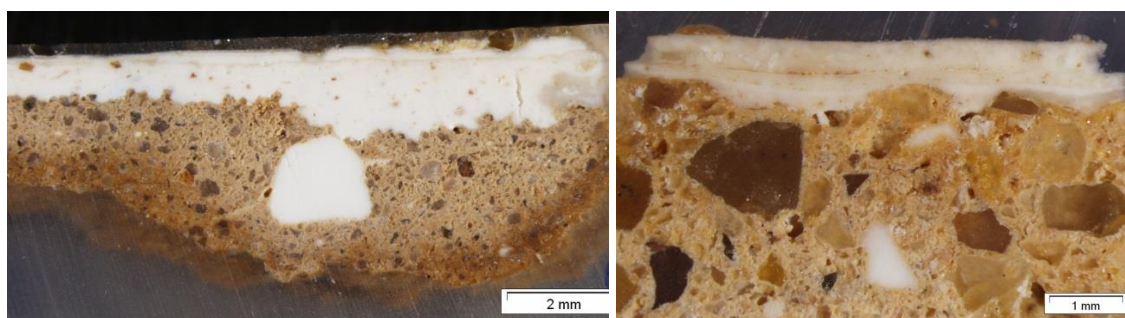


Figura 6.51.- Sección transversal del mortero tipo VI con sus recubrimientos superficiales.

La ubicación de esta cata y la secuencia superpuesta del mortero tipo V sobre el mortero tipo VI confirma que el mortero tipo VI es el del cierre del diafragma de la nave sur, lo que implica que esta obra de cierre se extendió hacia el testero del actual ábside, lo que a su vez confirma que la reconstrucción del ábside de planta cuadrada que actualmente observamos, sustituye a uno iniciado en una fecha algo anterior, redundando en la idea de una cabecera anterior. Siguiendo este hilo argumental, si el mortero tipo V es de la segunda reconstrucción del ábside y la datación de carbono 14 de las maderas y carbones lo sitúan, en intervalos de fechas más probables, entre principios del siglo XI y principios del XIII (Cal AD 1040-1240), pudiera ser que el actual ábside se construyera en cal AD 1160-1170, a finales del siglo XII (Fig. 6.52) y la anterior cabecera se construyera en el siglo XI o incluso, ambas fechas puedan ser posteriores. Cabe recordar que la fecha proporcionada por la madera o el carbón vegetal será siempre anterior a la del momento de utilización en el edificio. Convendría abordar la datación absoluta de ambos morteros a partir de sus matrices carbonatadas o sus nódulos para poder ajustar las fechas en discusión.

**CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS**

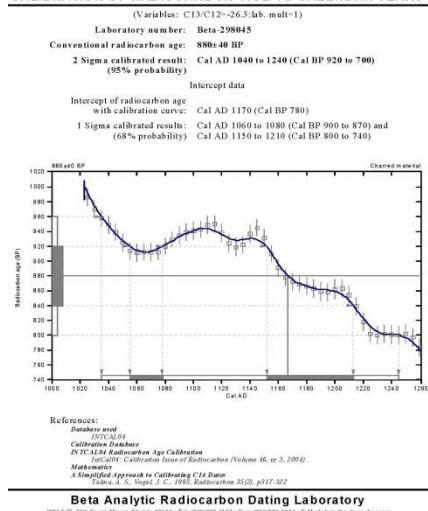


Figura 6.52.- Datación de <sup>14</sup>C de un fragmento de carbón recogido en el mortero del ábside, analizado por Beta Analytic, en 2011, durante el transcurso del seguimiento petrológico de las obras de restauración.

*Pintura mural del ábside*

De las secciones estratigráficas estudiadas a partir de las muestras procedentes del ábside se deduce que sobre el mortero tipo V, de reconstrucción del ábside, se aplicó una capa de cal entonada con tierras naturales de color ocre-marrón, sobre una base de preparación también de carbonato cálcico (Fig. 6.53). De esta capa de color ocre, únicamente se conservan restos en el lateral norte de la nave central, lógicamente por tratarse de una zona más inaccesible, porque como veremos a continuación el ábside ha estado afectado por varias intervenciones pictóricas.



Figura 6.53.- Sección transversal del mortero tipo V con el recubrimiento original pictórico del mortero de reconstrucción del ábside.

Posteriormente, este ábside fue de nuevo decorado con pinturas a la cal de color amarillo, rojo y negro (Figs. 6.54 a 6.57), sobre bases de carbonato cálcico que después se ocultan bajo una capa de cal, de color marfileño (Fig. 6.53). Esta intervención podría ser algo anterior al siglo XVI, ya que durante la visita de Ambrosio de Morales no se hace referencia a las pinturas, al

estar ocultas bajo la capa de cal, aunque también podrían corresponder a una intervención pictórica, algo anterior al siglo XVIII, fecha en la que se acomete la sustitución del primer campanario de madera. Estas pinturas se elaboran aparentemente sobre una base de preparación carbonatada con pigmentos de *tierras naturales* (rojas y amarillas) y *negro carbón*, pero presentan repintes en superficie del pigmento *rojo de hematites*, empleado en el pórtico y de *rojos y amarillos de plomo*, lo que indica que la intervención de base de preparación carbonatada y negro carbón es posterior a las anteriores (rojas y amarillas), ya que en ocasiones se ha identificado sobre repintes. Posteriormente, los repintes y la capa negra con su base de preparación son cubiertos por varias capas de cal. Con los pigmentos empleados para la elaboración de la pintura del pórtico también se realizan repintes en la nave norte, en la nave sur y en la nave central.

En el siglo XIX, el último encalado de estas pinturas se cubre con la pintura blanca que se localiza por encima de una o dos capas de cal, aplicadas sobre el mortero de cierre de la sacristía (tipo IV). A partir de ese momento se sucede una secuencia de cinco encalados, más o menos coloreados, que del interior al exterior son: blanco, amarillo, blanco, gris y ocre, alguno de los cuales se aplica en dos manos, y finaliza con una pintura de azul ultramar, también en ocasiones aplicada en dos manos, localizada en la cumbrera, en el lateral sur y en el testero del ábside. Por último y ya en pleno siglo XX, se aplica una capa de cal de color beige amarillento que recubre a todas las anteriores (Fig. 6.57), que en ocasiones aparece sobre pintura altomedieval (en la nave central, en el muro este de la habitación lateral sur y en la bóveda de la tribuna), y que también oculta parte de la pintura de la bóveda del pórtico.



Figura 6.54.- General y detalle de las catas practicadas en el lateral norte del ábside.



Figura 6.55.- General y detalle de las catas realizadas en el testero (arriba) y en el lateral del ábside (abajo).



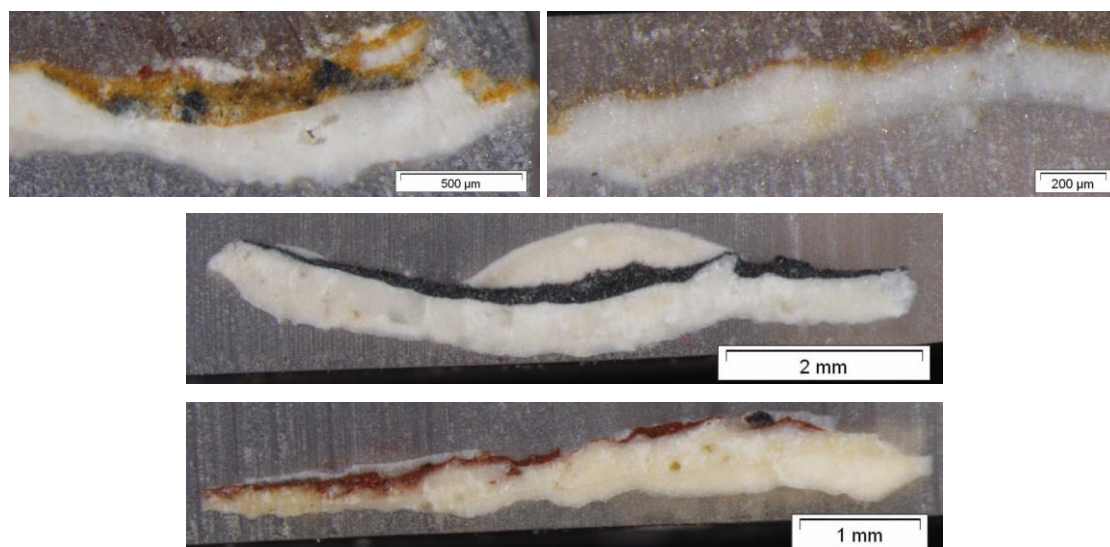


Figura 6.56- Sección transversales de las capas pictóricas correspondientes a la segunda intervención pictórica del ábside.

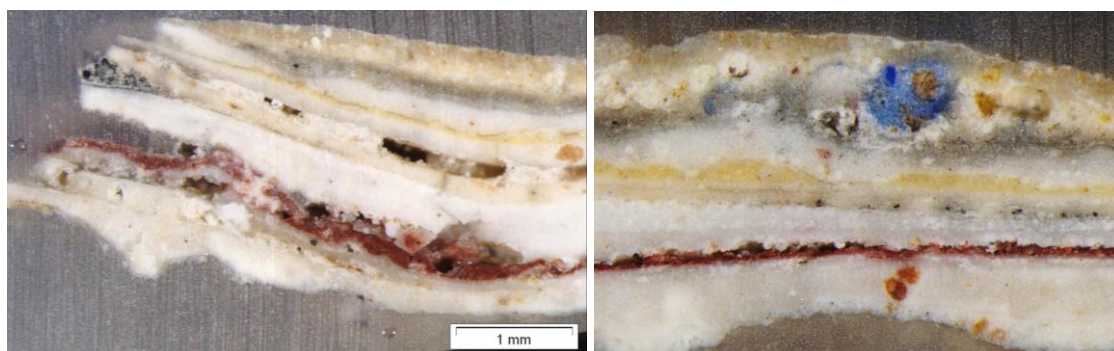


Figura 6.57.- General y detalle de una sección transversal de los recubrimientos pictóricos, localizados en el testero, sobre una capa de cal de color ocre – marrón.

### *Pintura mural del pórtico*

Como ya se comentó al hablar de los morteros, la pintura de la bóveda del pórtico se dispone sobre un mortero tipo III, aplicado como reposición del original tipo II. Sobre el mortero seco, sin base de preparación previa y sin que el sustrato base tenga una superficie enrasada, se aplica una capa de color intenso, de rojo de hematites (Fig. 6.58). La disposición morfológica de esta capa sugiere que durante el tendido del mortero y su aplicación cromática pudo transcurrir cierto tiempo. La disposición del pigmento en los espacios vacíos y rotos de este mortero corrobora que la pintura de círculos de color rojo del pórtico no es coetánea al tendido de este revoco inferior, y por supuesto, no es altomedieval. Su superficie no solo aparece microfisurada, sino que presenta una topografía de crestas y valles que sugiere un deterioro acusado del mortero antes de la aplicación cromática (Figs. 6.58 y 6.59). Con lo cual, siguiendo este hilo argumental, el repinte de su superficie podría estar relacionado con la sustitución del primer campanario por el segundo (finales del siglo XVIII) o con una intervención anterior, lo que retraería la cronología del mortero tipo III. Consecuentemente, la segunda decoración del

ábside, sería también anterior a la sustitución del primer campanario (1781), ya que esta pintura aparece afectada por el repinte de hematites.

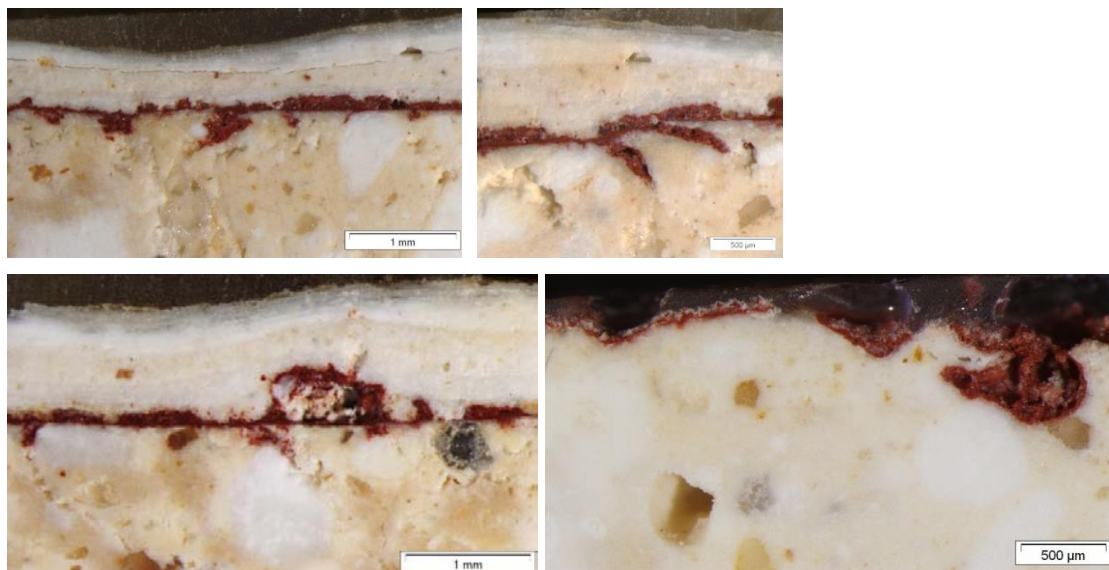


Figura 6.58.- Detalles de secciones transversales del mortero tipo III, ubicado en el pórtico y en el arco cámara. La capa pictórica intruye en las microfisuras y rotos, localizados en la superficie del mortero.

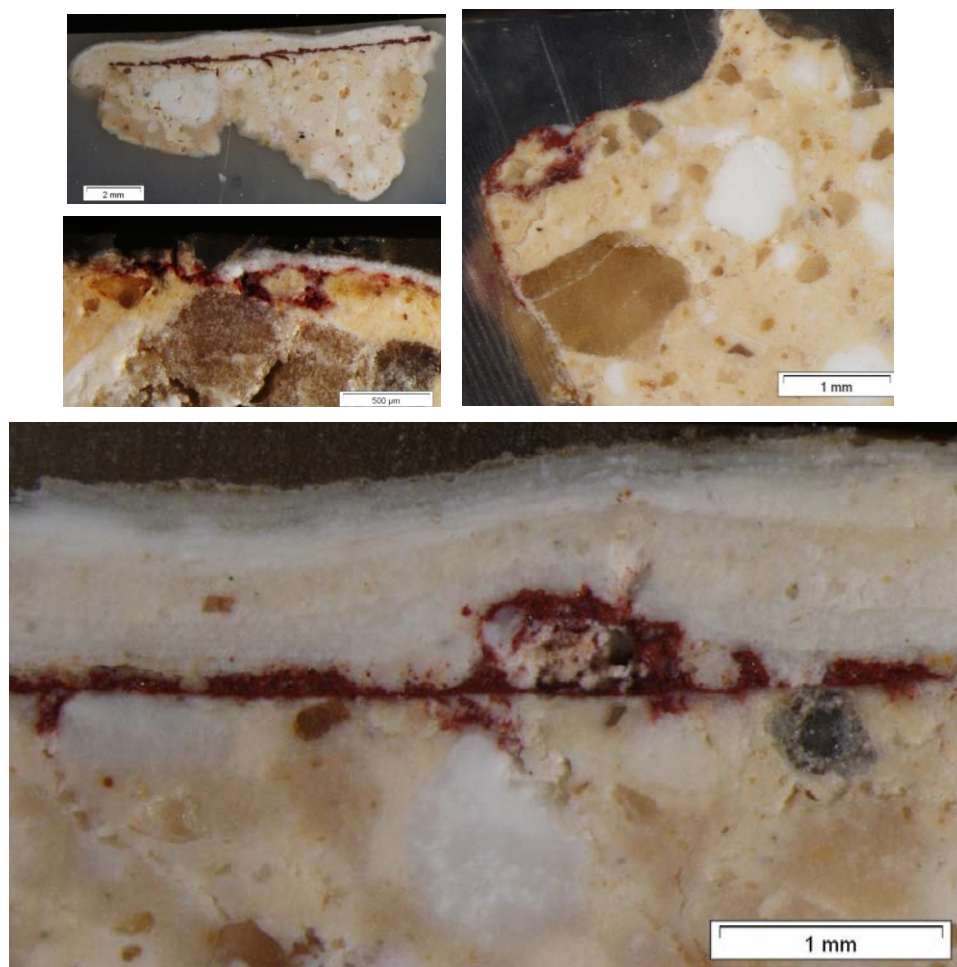


Figura 6.59.- Aspecto macroscópico en corte estratigráfico de la pintura de la bóveda del pórtico.

Por último comentar que el repinte de rojo hematites aglutinado con yeso, únicamente se ha detectado en una muestra localizada en la bóveda de la tribuna, en la celosía de Laspra del lateral sur de la fachada oeste y en el interior del arco de acceso a la tribuna (Fig. 6.60), que como se comentó, es anterior a la intervención de Venancio del Valle (1868) y que podría estar relacionada con la intervención de 1781.

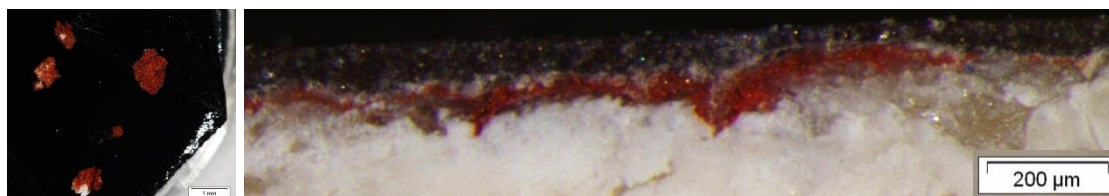


Figura 6.60.- Aspecto del repinte rojo de hematites, aglutinado con yeso, sobre Laspra (Izqda.) y sobre mortero altomedieval (Dcha.).

Alterológicamente, cabe mencionar que la presencia de una pátina de yeso de neoformación sobre la pintura mural es restringida a localizaciones muy concretas y, en la mayoría de las muestras, los recubrimientos blanquecinos corresponden a restos de encalados y a alguna carbonatación superficial. En lo que se refiere a las colonizaciones biológicas, afectan en mayor medida a la nave norte y al lateral del ábside en esa misma orientación, en ocasiones con desarrollo de algas y hongos (Fig. 6.61) pero no es una patología que afecte en gran medida a la pintura altomedieval.

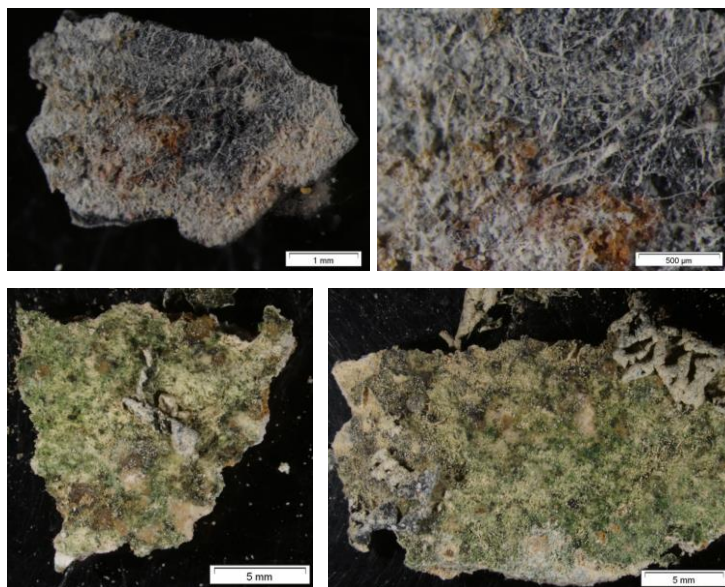


Figura 6.61.- Aspecto macroscópico de la superficie de dos muestras afectadas por colonizaciones de origen biológico.

A modo de resumen, en la página siguiente se presenta de manera esquemática las correlaciones estratigráficas de las muestras analizadas, incluyendo morteros, pintura mural, capas pictóricas y repintes (Fig. 6.62) y en la figura 6.63 la secuencia cronológica relativa, establecida a partir de las muestras estudiadas.

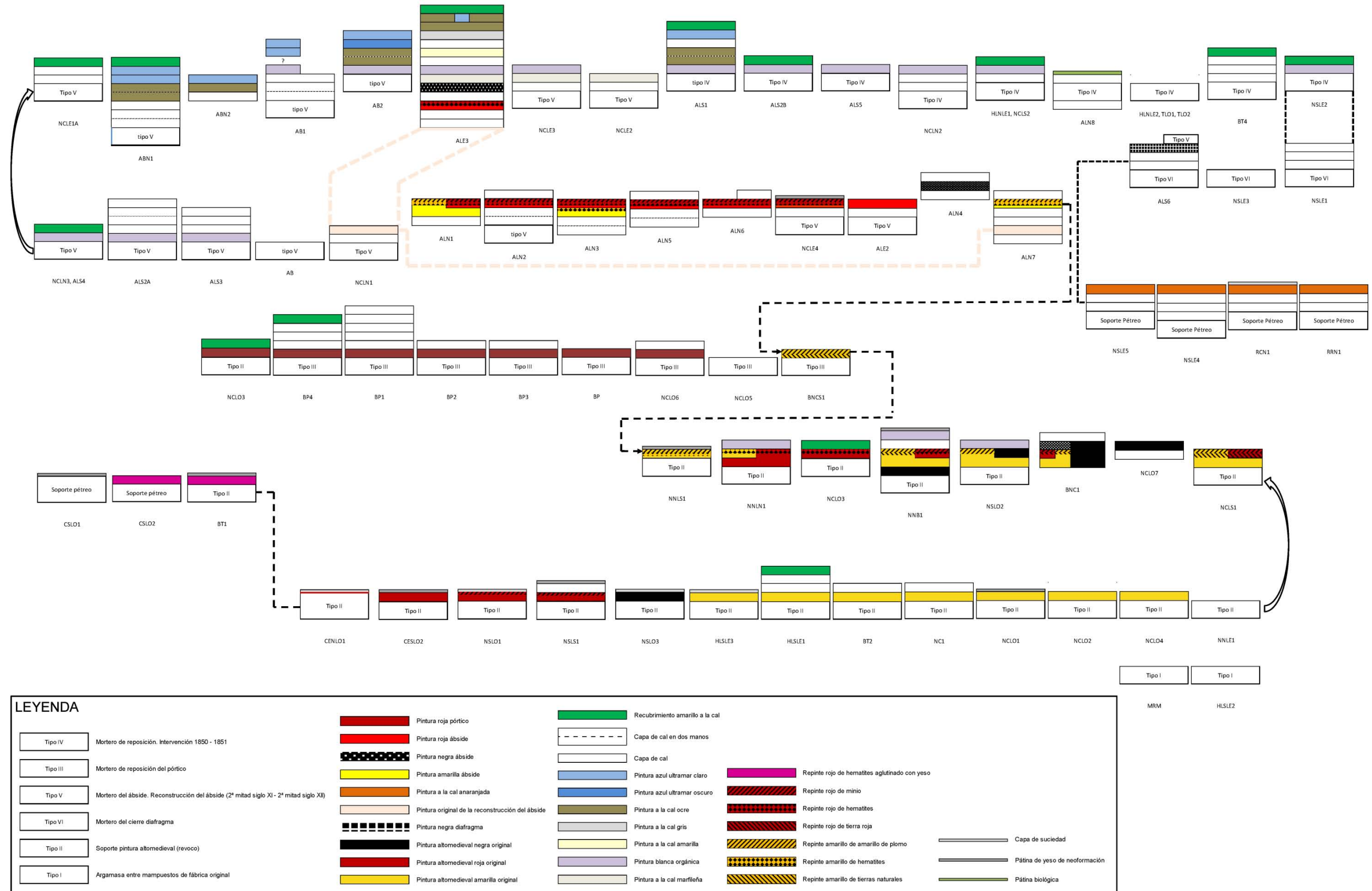


Figura 6.62.- Secuencia estratigráfica de las muestras analizadas en San Miguel de Lillo.

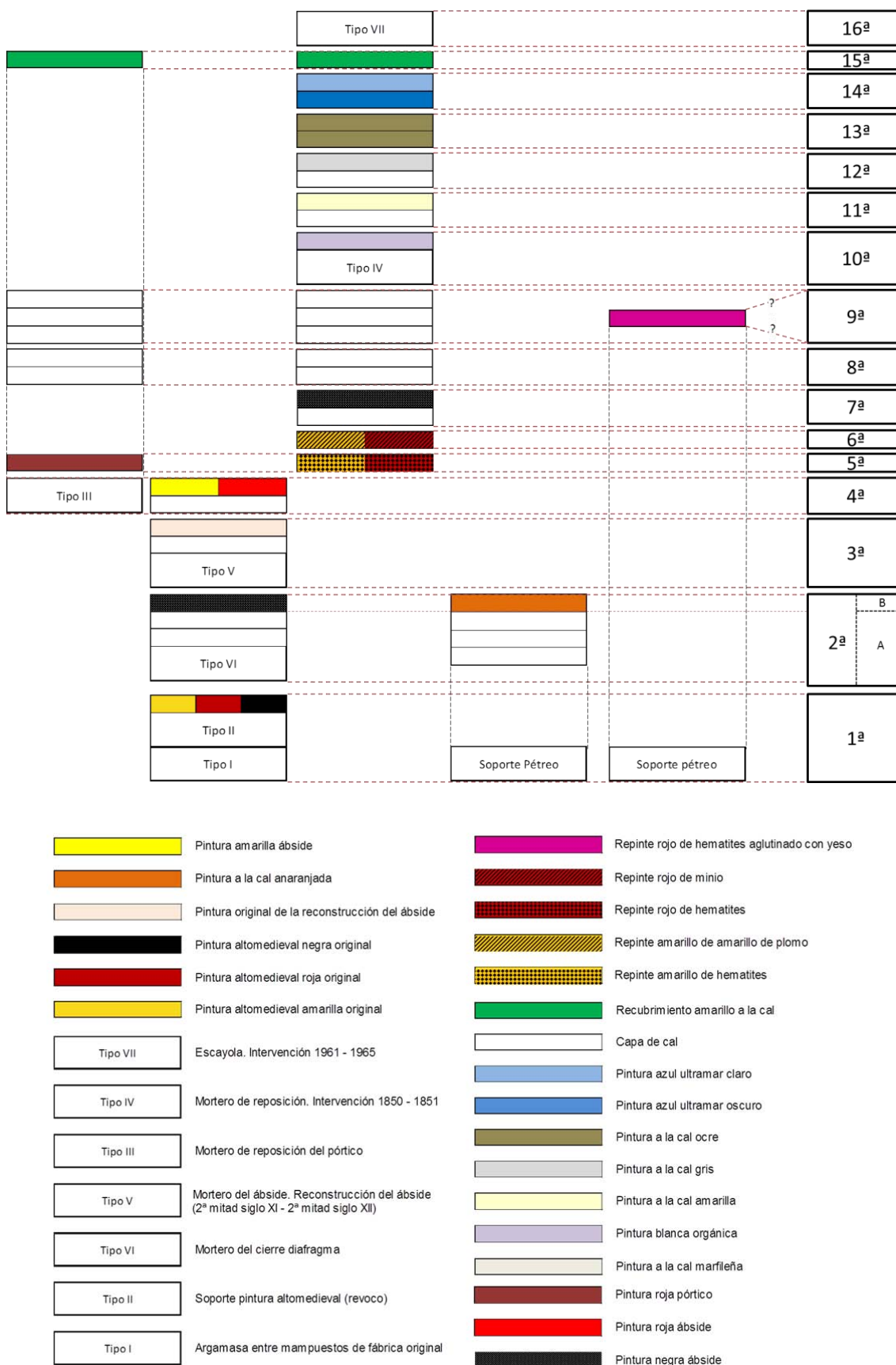


Figura 6.63.- Secuencia cronológica relativa, establecida para las muestras de mortero y pintura de San Miguel de Lillo. En el esquema se observan hasta 16 intervenciones diferentes.

### **Datación de los morteros**

Establecidas las diferentes intervenciones detectadas en el interior de la iglesia de San Miguel de Lillo se aborda la datación de  $^{14}\text{C}$  de las muestras de mortero analizadas. Los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios ya que han permitido confirmar la validez del procedimiento empleado en esta tesis. Cinco de las muestras datadas, a partir de las fracciones desprendidas de  $\text{CO}_2$ , siguiendo el **método finlandés**, no presentan diferencias significativas entre ellas. Dichas muestras confirman que a menor tamaño de grano de calcita, disminuye la contaminación fósil. Los carbonatos formados durante el fraguado de los morteros se disuelven más rápidamente que la calcita de origen geológico y biológico, ya que la calcita neoformada, que constituye la matriz del mortero, tiene menor tamaño de grano. Confirmada la hipótesis de partida, los mejores resultados han sido los obtenidos para las fracciones de menor granulometría, disgregadas por procesos naturales que evitan modificaciones inducidas en el tamaño de los carbonatos por efectos mecánicos.

La validación del empleo de los morteros de cal en las dataciones de  $^{14}\text{C}$ , siguiendo el método anteriormente indicado ha de cumplir alguno de los siguientes requisitos<sup>300</sup>, establecidos criterios por Ringbom *et al.* (2014):

**Criterio I:** Aplicable cuando las edades de las dos primeras fracciones de  $\text{CO}_2$  coinciden. En este caso una unidad de muestra por construcción es suficiente para obtener datos concluyentes.

*Este criterio lo cumplen las muestras MRM1 A ( $\chi^2= 0,569$ , 1 df;  $p= 0,451$ ) y MRMN ( $\chi^2= 2,531$ , 1 df;  $p= 0,112$ ), que no muestran diferencias significativas entre las fechas de sus primeras y segundas fracciones.*

**Criterio II:** La edad de la 1ª fracción ha de ser coincidente en tres o más muestras de la misma unidad constructiva.

*Este criterio lo cumplen las primeras fracciones de las muestras MRM1 A, MRM1 B y MRMN, que no muestran diferencias significativas en sus dataciones ( $\chi^2= 0.173$ , 2 df;  $p= 0,917$ ).*

**Criterio III:** Cuando existe coincidencia entre los datos de la 1ª fracción de 2 muestras de la misma unidad constructiva.

*Este criterio también lo cumplen las primeras fracciones de las muestras MRM1 A, MRM1 B y MRMN, que no muestran diferencias significativas en sus dataciones ( $\chi^2= 0.173$ , 2 df;  $p= 0,917$ ).*

---

<sup>300</sup> Ringbom A., Lindroos A., Heinemeier J. & Sonck-Koota P. (2014). "19 years of mortar dating: learning from experience" Radiocarbon, Vol 56 Nr 2, 2014 p 619-635.

**Criterio IV:** Cuando la 1ª fracción de una muestra de una unidad encaja con la cronología relativa.

*También se cumple ya que las muestras analizadas proporcionarían una datación situada entre finales del siglo IX y finales del siglo X, en parte coincidente con la fecha propuesta por los historiadores, adscrito a Ramiro I (842-850).*

Confirmada la validez y fiabilidad de los datos expuestos se han combinado las cinco muestras que no presentan diferencias significativas, mediante el programa de calibración Calib, para obtener un intervalo más estrecho, ajustado y fiable. Analizando las áreas de probabilidad conjunta para los intervalos obtenidos a  $1\sigma$  (68%) y  $2\sigma$  (95 %), se deduce que la muestra dataría entre, cal AD 899-922, cal AD 948-971 y cal AD 894-930, cal AD 937-980, respectivamente. Al integrar las áreas de probabilidad a  $1\sigma$  y  $2\sigma$  y calcular el ratio entre ambas («odds ratio») se comprueba que hay la misma probabilidad de que la muestra provenga de los períodos expuestos.

En lo que se refiere al resto de datos radiocarbónicos, obtenidos a partir de fragmentos de madera y fragmentos de carbón vegetal, los resultados no son tan concluyentes pero podrían aventurarse dos hipótesis:

- El ábside actual fue reconstruido entre los siglos XI y XIII ( $2\sigma$ : cal AD 1037-1225), con una probabilidad dos veces mayor de que la fecha esté contenida en el intervalo  $1\sigma$ : cal AD 1151-1216, lo que significa mediados del siglo XII - primera década del siglo XIII.
- El ábside anterior y el cierre del arco diafragma pudo haberse practicado entre el siglo XI y el siglo XIII, ya que el fragmento de madera analizado en 2013 proporciona una fecha  $2\sigma$ : cal AD 860-988, con una probabilidad tres veces mayor de que la fecha esté contenida en el intervalo  $1\sigma$ : cal AD 913-968. Dando por más probable esta fecha, su incorporación en el edificio pudo ser en el siglo XI, si asumimos que el árbol ya tenía una edad considerable cuando fue cortado.

Estas hipótesis podrían ser definitivamente confirmadas o descartadas si se pudieran ampliar los análisis de estas zonas, mediante la datación de los carbonatos de los morteros del ábside o del mortero de cierre del arco diafragma.

Interpretadas las secuencias cronológicas proporcionadas por los morteros, a continuación se realiza un análisis comparativo entre las diferentes edificaciones.

## **6.6.- ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE LOS DIFERENTES MONUMENTOS**

Si comparamos los morteros de los diferentes edificios estudiados se comprueba la existencia de dos tradiciones constructivas diferentes: una heredada de la tradición edilícea de la Antigüedad clásica y otra más propiamente medieval. A la primera se adscriben los morteros de la Cámara Santa, Foncala y San Salvador de Valdediós y a la segunda los de Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo, aunque en esta última hay que establecer diferencias en lo que a recursos materiales y técnicas constructivas se refiere, lo que sugiere una diferente capacidad y/o poderío social de los promotores de estas dos últimas edificaciones.

En la Cámara Santa el conocimiento de las técnicas de ejecución se manifiesta en la calidad de los morteros, lo cual también se refleja en su durabilidad. La elaboración del mortero de juntas, del mortero que revoca las fábricas y del «Opus signinum» del pavimento, ha sido cuidada, con una perfecta selección de áridos, cales, aditivos y dosificaciones. El mortero de trabazón de las fábricas presenta una granulometría seriada, aunque bien clasificada, en lo que a gruesos y finos se refiere, por tanto correctamente seleccionada para su uso o destino. Esto mismo ocurre con el hormigón del solado y con el revoco aplicado en dos manos, con su correspondiente capa de enfoscado y enlucido. Ambos son compactos, coherentes y aparecen intensamente carbonatados, lo que les confiere una excelente calidad que refleja el dominio y grado de conocimiento de los procesos de ejecución. La selección de los áridos ha sido extremadamente cuidadosa en lo que a naturaleza, granulometría, morfología y relación de gruesos y finos, se refiere. Esta depurada ejecución de los morteros altomedievales contrasta con el revoco incorporado en la fase románica que responde a diferentes patrones constructivos, más propios de la época medieval. En este sentido, el revoco románico ha sido aplicado en una única capa a modo de enlucido y presenta una textura más tosca, condicionada por la incorporación de abundantes fragmentos de madera y la utilización de áridos de cantera, homogéneos, peor clasificados y de morfologías preferentemente angulosas.

La tradición, heredada del mundo romano, es igualmente observada en el mortero de juntas que todavía se conserva en la fuente de Foncalada y en los morteros y hormigones empleados en las cubiertas de San Salvador de Valdediós, así como en el pavimento interior de esta iglesia.

En Foncalada, la presencia de mortero es escasa, aunque teniendo en cuenta el estado alterológico de la construcción y las dimensiones del edículo, se pone de manifiesto su extraordinaria calidad, ya que pese a haberse visto afectado por un intenso deterioro, todavía cumple su función de ligazón de la fábrica, en aquellas zonas donde se conserva.

En San Salvador de Valdediós, se mantiene el paralelismo con las edificaciones anteriores, dada la excelente calidad de morteros y hormigones. En este edificio la disponibilidad de



recursos es si cabe mayor y sorprende el empleo de cales, áridos, aditivos y dosificaciones diferentes, todo ello convenientemente utilizado para la elaboración de distintos tipos de morteros, según los usos o aplicaciones a los que en su día estuvieron destinados. En este aspecto en San Salvador de Valdediós, los morteros de juntas de trabazón de las bóvedas originales siempre presentan dosificaciones, árido-matriz, del orden de 1:9 y 1:10, llegando en ocasiones a 1:11, lo que implica que la fracción conglomerante es muy superior a la de árido, algo que se repite en las bóvedas de las capillas Norte y Este de Santa Cristina de Lena. Por el contrario, la fracción correspondiente a la matriz comienza a disminuir cuando el destino del mortero es recubrir, rellenar, encapotar bóvedas o enfoscar muros. De igual manera, al elaborar hormigones la proporción de conglomerante va disminuyendo a favor de la incorporación de áridos, tamaño grava o canto. En la Cámara Santa, las dosificaciones árido-matriz en juntas y revocos son de 1:1, aunque esta relación varía considerablemente en el enlucido, donde la proporción de matriz aumenta de forma acusada en detrimento del árido. Aunque prácticamente no se conserva pintura mural altomedieval, su aplicación al fresco hubo de requerir de una superficie lisa y homogénea, generada por un enlucido de menor granulometría y mayor porcentaje de matriz, tema sobre el que se incidirá más adelante. En Foncalada, la dosificación obtenida para el mortero ha sido de: 11 de cal, 1 de arena y 5 de material latericio.

Es común en estas construcciones la utilización de cales grasas, muy blancas, de excelente calidad (en Cámara Santa, Foncalada y Valdediós) y también magras (en Valdediós), mezcladas con áridos de río y de cantera (en Foncalada, Cámara Santa, Valdediós y Lillo) o de mar convenientemente lavados (en Cámara Santa y San Salvador de Valdediós), a las que se incorporan con fragmentos cerámicos y carbones vegetales, en mayor o menor proporción (en la Cámara Santa, Foncalada, Valdediós y Lena). A nuestro parecer, en estas construcciones se observan técnicas constructivas heredadas del período de transición entre el mundo romano y la alta edad media, denominadas «tardorromanas». No ocurre lo mismo en San Miguel de Lillo y Santa Cristina de Lena, en lo que a morteros se refiere. En el primer caso se abandonan estas tradiciones constructivas por otras propiamente altomedievales, que se descuidan llamativamente en Santa Cristina de Lena, con morteros de peor calidad que implica una escasez de recursos o una capacidad o poderío social diferente al que se intuye en San Miguel de Lillo.

En Santa Cristina, los morteros nos remiten a formas de construir menos cuidadas, propiamente medievales. Todos los morteros recogidos en este edificio presentan como áridos abundantes fragmentos de roca siliciclásticas, correspondientes a la arenisca de edad carbonífera, litología mayoritaria de la fábrica del edificio, que aflora en las inmediaciones del mismo. Salvando las distancias, estas incorporaciones de fragmentos de roca de tamaño canto o grava también se observan en la Cámara Santa o en Valdediós, aunque solo en los hormigones, elaborados para el encapotado de bóvedas o para la pavimentación de solados,

convenientemente mezclados con materiales cerámicos (fragmentos de téglulas y ladrillos). En Valdediós la naturaleza de los cantos incorporados en los hormigones corresponden a rocas calizas, litologías minoritarias de fábrica, utilizadas como mampuestos en los paños verticales que se sitúan entre los contrafuertes, pero no se han identificado fragmentos de roca formando parte del árido de los morteros.

En lo que respecta al material cerámico usado como aditivo y dejando aparte los hormigones, es frecuente su utilización en la mayoría de los morteros procedentes de Santa Cristina de Lena, en Foncalada y en San Salvador de Valdediós aunque mucho más abundantes en los dos últimos. Esta incorporación de latericios no se observa en San Miguel de Lillo. La adición de cerámicos persigue proporcionar hidraulicidad y favorecer la carbonatación de los morteros de cal, lo que redundaría en la idea de técnicas constructivas más depuradas. En Santa Cristina de Lena, aunque también se han detectado cerámicos en los morteros, su proporción es tan baja que resulta anecdótica. Por el contrario, en los morteros procedentes de Santa Cristina de Lena y San Miguel de Lillo, la presencia de carbón vegetal incorporado como aditivo es mayoritaria, aunque en Lillo se restringe a los morteros de juntas de las fachadas exteriores y al mortero empleado en la reconstrucción románica del ábside, en el cual, los fragmentos de carbón son extremadamente abundantes y de considerables dimensiones. En San Salvador de Valdediós esta adición de carbón vegetal a los morteros se ha detectado en mucha menor proporción en la mayoría de las muestras y siempre con granulometrías pequeñas.

Parece evidente que en Santa Cristina de Lena se han empleado los recursos más accesibles al edificio, proporcionados por el entorno geológico más próximo, tanto en lo que se refiere a materiales pétreos como a la elaboración de morteros. Además, cuando se observa en detalle la fracción fina de los áridos, se comprueba que en la Cámara Santa, en Foncalada, en San Salvador de Valdediós y en San Miguel de Lillo se incorporan arenas limpias, lavadas y bien calibradas, constituidas fundamentalmente por granos de cuarzo. En Lena, por el contrario, la arena, utilizada como árido al mortero, procede del deshecho o residuo de cantería de los materiales pétreos empleados como sillares y/o de la meteorización «in situ» de estas litologías.

Cabe señalar además que mientras que en la Cámara Santa, en Santa Cristina de Lena y en Lillo no se ha detectado la utilización de cales diferentes, en San Salvador de Valdediós se ha constatado la utilización de distintas partidas de cal, unas procedentes de la calcinación de rocas calizas (cales grasas) y otras elaboradas a partir de calizas dolomíticas y/o calizas y dolomías, algunas en proporciones superiores al 5 % (cales magras). Las primeras contienen carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) y las segundas carbonato cálcico-magnésico ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Este hecho provoca la aparición exclusiva de calcita o bien de la asociación mineralógica calcita-dolomita en la matriz. Este dato proporciona una información adicional que sugiere varias fuentes de aprovisionamiento de la cal y/o diferentes momentos constructivos separados en el

tiempo, en mayor o menor medida. Asimismo esta aportación abre la posibilidad de ampliar este tipo de estudios, con objeto de determinar los tipos y procedencias de las diferentes cales empleadas, propuesta que excede los objetivos abordados en esta tesis.

En Lillo, el mortero de fábrica y el revoco altomedieval, con dosificaciones de árido-matriz 1:1 y 2:1 (este último aplicado en una sola capa como enlucido destinado a servir de soporte a la pintura mural), se han elaborado con la misma cal, lo que podría indicar que entre la construcción del edificio y el cargado los muros, para su posterior decoración al fresco con su correspondiente programa iconográfico, no debió de transcurrir demasiado tiempo, ya que ambos morteros participan de la misma procedencia de la cal o incluso de la misma partida. También se aprecian semejanzas en las arenas empleadas como árido, tanto en composición como en granulometría. La diferencia estriba en que el mortero de trabazón de la fábrica presenta un menor porcentaje de arena gruesa que el enlucido, con una relación fracción gruesa:fracción fina de 7:1 a 5:1. En el enlucido esta relación varía de 16:1 a 49:1. A medida que aumenta el espectro de tamaños de grano se reduce la porosidad del mortero y aumenta su compacidad. La identificación de pequeñas cantidades de estroncio (Sr) y azufre (S), en proporciones similares, indica la existencia de cristales de sulfato de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ), inmersos en la fase aglomerante de este mortero. Esta presencia de dolomita y sulfato de estroncio parece indicar que la cal utilizada contiene impurezas magnésicas y de celestina. Estas mismas impurezas han sido identificadas en morteros originales de Santullano (García *et al.*, 2011)<sup>301</sup>, aunque no se puede descartar que estén en relación con la pintura mural, lo que en ese caso correspondería a una contaminación. Más adelante incidiremos en este último aspecto. La presencia de estroncio ligada al calcio y al azufre en morteros y pinturas ha sido referenciada en numerosas ocasiones (Roldán *et al.*, 2007<sup>302</sup>, Roldán *et al.*, 2007b<sup>303</sup>, Civici *et al.*, 2008<sup>304</sup>, Conroy *et al.*, 2004<sup>305</sup>, Castro. *et al.*, 2009<sup>306</sup>). Si la calcita presenta impurezas de estroncio cabe presuponer que ésta procede de una transformación previa de aragonito, ya que este carbonato cálcico con idéntica composición química que la calcita pero diferente estructura cristalina, pertenece a la serie isomorfa de la estroncianita, witherita, cerusita y bromlita. Esta serie de igual estructura cristalina difiere en composición química, dependiendo de que el calcio se sustituya por estroncio, bario, plomo o cinc. La mayor parte del aragonito es puro pero

---

<sup>301</sup> García M<sup>a</sup>A. y Pérez P.P. (2011). "Análisis de las muestras de procedentes de la iglesia de San Julián, Santullano (Oviedo)", Informe del Archivo General del IPCE, Madrid, 2011 p. 16.

<sup>302</sup> Roldán C., Ferrero J.L., García P., Borja I. y Sanz D. (2007) "Aportaciones al uso de pigmentos durante el neolítico antiguo en las comarcas centrales valencianas" VII Congreso Ibérico de Arqueometría, VII CIA-S6: Pigmentos y pinturas, Madrid, p. 669-674.

<sup>303</sup> Roldán C., Arasa F. y Juanes D. (2007) "Análisis de la pintura mural de una Domus excavada en la ciudad romana de Lesera (La Moleta Dels Frares, Forcall - Castellón) VII Congreso Ibérico de Arqueometría, VII CIA-S6: Pigmentos y pinturas, Madrid, p. 103-112.

<sup>304</sup> Civici N., Anastasiou M., Zorba T., Paraskevopoulos K.M., Dilo T., Stamati F, Arapi M. (2008). "Studying wall paintings in Berati Castle (Albania): Comparative examination of materials and techniques in XIVth and XVth century churches". *Journal of Cultural Heritage* 9, Elsevier p. 207-213.

<sup>305</sup> Conroy, D. W. & Atkinson, J. (2004). "Roman Wall Paintings in the Pafos Theatre". Report of the Department of Antiquities, Cyprus 2003, 2004, p. 275-300.

<sup>306</sup> Castro F., Falcucci C y Pelosi C. (2009) "The wall paintings of the crypt of the medieval church of Saint Andrew in Viterbo (Italy): Technical examination and state of preservation" Session B1 – Evaluation of Damage: Restoration and Conservation of Mobile Cultural Heritage, 4th International Congress on Science and Technology for Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin, Cairo 2009, 103-111.

pequeñas cantidades de estroncio y plomo pueden sustituir al calcio (Cornelius *et al.*, 1988)<sup>307</sup>. El aragonito está en relación con un mecanismo de precipitación química de carácter orgánico, condicionado por la presencia de caparazones de foraminíferos y otros organismos, mientras que la presencia de dolomita indica la existencia de procesos diagenéticos (López Aguado *et al.*, 1981)<sup>308</sup> en la cuenca de sedimentación. Estos minerales aportan información sobre el origen de los componentes carbonatados de las calizas de las que procede la cal empleada en este mortero. Profundizar en este estudio a partir de elementos traza, excede los objetivos de esta tesis.

Por último añadir que en lo referente a Lillo y a partir del estudio de los diferentes morteros allí identificados, se pueden deducir las numerosas intervenciones que han afectado al edificio, así como constatar algunas hipótesis relativas al momento de la destrucción parcial del edificio y su posterior reconstrucción. Como sospechaban algunos investigadores, el ábside que actualmente estamos viendo es posterior al cierre del arco diafragma y a un ábside anterior (Caballero, 2010)<sup>309</sup>.

En lo que respecta a la pintura mural altomedieval, el estudio únicamente se ha extendido a dos edificios: la Cámara Santa y San Miguel de Lillo. Como se sospechaba, ambas pinturas han sido aplicadas al fresco sobre mortero todavía húmedo. Esto es debido a que en la Cámara Santa los restos que se conservan son anecdóticos y se restringen a las zonas ocultas, bajo el mortero incorporado en la reforma románica, mientras que en Lillo las pinturas se conservan de forma más o menos generalizada, aunque en la mayoría de las localizaciones están afectadas por numerosos repintes, anteriormente explicados en este capítulo y en el anterior. Ello hace muy confusa su percepción y dificulta su restauración y posterior conservación. Si comparamos la composición de las pinturas de los dos edificios se comprueba que en la Cámara Santa, las tierras rojas y amarillas son los únicos pigmentos empleados en su elaboración, diluidos en agua sobre mortero fresco, mientras que en Lillo la composición es totalmente diferente e inusual. En Lillo el sulfato de estroncio o celestina, raramente de color naranja y más frecuentemente de color blanco, fue el pigmento empleado, mezclado con tierras para la elaboración de los colores amarillos y rojos. Como ya se ha comentado anteriormente, este pigmento procede con seguridad de los yacimientos de este mineral localizados en el sur de España, importado por tanto en la época de construcción del edificio, durante el proceso migratorio de artistas cristianos, procedentes de Al-Ándalus. Es muy curioso que este sulfato de estroncio también haya sido identificado, aunque no como pigmento, en la pintura mural

---

<sup>307</sup> Cornelius S., Hurlbut JR. Y Cornelis Klein (1988). "Manual de mineralogía de Dana" Editorial Reverté, Barcelona, 564 p.

<sup>308</sup> López Aguado F., Molina E., Ortega Huertas M. y Pina J.A. (1981) "Estudio mineralógico y paleontológico de sedimentos actuales del Mar Menor (Murcia)". Sociedad Española de Mineralogía Vol. 2, 327-337.

<sup>309</sup> Caballero Zoreda L. (2010) "Observaciones arqueológicas sobre producción arquitectónica y decorativa de las iglesias de San Miguel de Lillo y Santianes de Pravia" Simposio "Visigodos y Omeyas VI. Asturias entre visigodos y mozárabes", celebrado en Madrid, en el Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), CSIC, durante los días 8, 9 y 10 de septiembre de 2010, 29 p

altomedieval de San Julián de los Prados, de lo que se deduce que ambas pinturas pudieran pertenecer al mismo taller, aunque el proceso de ejecución difiera, con incisión a base de punzón en San Julián de los Prados y con reticulado de líneas negras en San Miguel de Lillo, y además se advierta una evolución del tratamiento de los temas pictóricos (Arias, 1997)<sup>310</sup>. Cabe resaltar el hecho, ya apuntado por este autor en 1999, de que «el número de capas de enlucido empleadas por el taller de Alfonso II, y los posteriores talleres altomedievales asturianos, se reduce en número y espesor, respecto a la pintura romana» (Arias, 1999). Este hecho ha sido constatado actualmente, pero cabe añadir que en la Cámara Santa la aparición de enlucido y enfoscado difiere de las aplicaciones algo menos depuradas de San Miguel de Lillo, San Julián de los Prados y quizás San Salvador de Valdediós. Convendría volver a examinar la pintura altomedieval de San Julián y San Salvador para seguir profundizando en la presencia de estos pigmentos. Además, consideramos que es necesario integrar estos datos con los obtenidos por otros investigadores, con objeto de poder establecer posibles coincidencias con las muestras actualmente estudiadas.

Por último, hay que añadir que los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta tesis permiten precisar las observaciones de carácter arqueológico constatadas en obra. Asimismo, han servido para contrastar otras observaciones de carácter histórico-arquitectónico, descartando otras antiguas y generando otras nuevas, gracias a la validación y el ajuste de un nuevo método y procedimiento de datación absoluta a partir de la matriz y de los nódulos de cal de los morteros, que permitirá seguir afinando algunas fechas imprecisas a las que se adscriben estos edificios. La implementación de estos métodos y procedimientos servirá para proponer secuencias cronológicas arquitectónicas y definir las tradiciones constructivas presentes en los edificios, lo que en el futuro resultará de gran utilidad a la hora de establecer conexiones con otros edificios altomedievales asturianos. Toda esta nueva sistematización y metodología de investigación abre nuevas vías de trabajo y constituye un importante avance para establecer las bases de uso de los morteros de cal para dataciones arqueológicas, arquitectónicas o de diagnosis alterológica. Asimismo, conocer la naturaleza material, la evolución, el deterioro y la durabilidad de los morteros y capas pictóricas que han llegado hasta nuestros días, es fundamental para establecer futuras estrategias, pautas o mecanismos de intervención, restauración, mantenimiento y conservación.

---

<sup>310</sup> Arias L. (1997) "Composición y proporciones en la arquitectura y la pintura mural prerrománica asturiana" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.85-96.



## CONCLUSIONES







## **7.- CONCLUSIONES**

### **Generales**

1. La metodología de estudio propuesta en esta tesis ha resultado eficaz para la datación relativa y absoluta de morteros de cal y pintura mural. La combinación de ambas aporta valiosa información sobre épocas, técnicas y fases constructivas de los edificios históricos.
2. El procedimiento metodológico seguido en los análisis ha permitido reducir el error generado por las contaminaciones fósiles y descartar secuencias imposibles o inconsistentes, convirtiéndose en una herramienta útil para establecer y definir las fases constructivas de una edificación, de extremado interés cuando no existen referencias documentales, y que tiene aplicación directa en el ámbito de la arquitectura, la arqueología y la restauración.
3. Las dataciones absolutas obtenidas a partir de materiales inorgánicos (carbonatos de la matriz de los morteros y nódulos de cal) proporcionan fechas más fiables que las que aportan los materiales orgánicos (madera y carbón vegetal).
4. Los procedimientos de preparación de muestras para la datación de morteros son esenciales para obtener fechas absolutas de  $^{14}\text{C}$  exactas y precisas.
5. La captura secuenciada del  $\text{CO}_2$  generado a partir de la hidrólisis de los carbonatos de la matriz y los nódulos de cal resulta fundamental para poder estimar el grado de contaminación fósil de los morteros.
6. Los menores tamaños de los cristales de calcita de la matriz ( $<60\ \mu\text{m}$ ) y los nódulos de cal son los más adecuados para las dataciones radiocarbónicas.
7. La datación de los nódulos de cal, pretratados con este nuevo procedimiento, proporcionan fechas coincidentes con las obtenidas por datación de  $^{14}\text{C}$  de las primeras fracciones capturadas de  $\text{CO}_2$  a los pocos segundos de comenzar la hidrólisis de los carbonatos de la matriz, en granulometrías inferiores a  $60\ \mu\text{m}$ .
8. Algunos pigmentos son característicos de una época y la mayoría sirven de capa guía para establecer secuencias estratigráficas.

### **Específicas**

- Las nuevas dataciones absolutas proporcionan una fecha de construcción para San Miguel de Lillo, situada entre finales del siglo IX y finales del siglo X. Estas fechas son coincidentes con la adscripción de San Miguel de Lillo y Santa María del Naranco a Ramiro I (842-850), aunque se prolongan a reinados posteriores.

- En Valdediós, Lena y Lillo, las fechas radiocarbónicas proporcionadas por datación absoluta con métodos tradicionales, han de tomarse con reservas, ya que son más inexactas e imprecisas que las obtenidas con las nuevas metodologías y procedimientos propuestos en esta tesis.
- En Valdediós se han identificado fases constructivas anteriores a la construcción del pórtico sur y a la capilla de los Obispos.
- En San Miguel de Lillo se ha confirmado la existencia de un ábside anterior, posterior al siglo X y probablemente construido entre finales del siglo XI y mediados del siglo XII. Para el actual ábside se propone una fecha situada entre mediados del siglo XII y principios del siglo XIII.
- En Santa Cristina de Lena, los datos obtenidos refrendan los resultados del análisis arqueológico. La construcción las bóvedas de las capillas norte y este se realizaron al mismo tiempo, aunque posteriormente sufrieron intervenciones diferentes.
- En la sala de los apóstoles de la Cámara Santa, la pintura mural altomedieval, sólo se conserva parcialmente e intacta, oculta bajo los parches del revoco de la reforma románica. En el camarín, el enlucido altomedieval están afectadas por varios repintes.
- En San Miguel de Lillo la pintura altomedieval solo se conserva intacta en localizaciones muy concretas. La mayoría de las superficies aparecen afectadas por varios repintes. La decoración de círculos rojos del pórtico no es altomedieval, así como tampoco lo es el mortero base.
- La pintura mural de San Miguel de Lillo presenta un pigmento singular de color anaranjado (sulfato de estroncio) también empleado en San Julián de los prados, lo que implica que ambas decoraciones podrían corresponder al mismo taller.
- La Cámara Santa, Foncalada y San Salvador de Valdediós participan de las técnicas constructivas «tardorromanas», herederas de la tradición edilícea de la Antigüedad Clásica, con una ejecución técnica más depurada en la primera.
- San Miguel de Lillo participa de una técnica constructiva propia, altomedieval.
- Santa Cristina de Lena, responde a patrones constructivos medievales. La escasez de recursos, de capacidad o poder social de sus promotores puede haber sido la causa de la utilización de técnicas de ejecución más precarias.

## BIBLIOGRAFÍA





## **8.- BIBLIOGRAFÍA**

- Adams, F.W. (1927). "Effect of particle size on the hydration of lime. *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 19, Nº 5, pp. 589-591.
- Adams, F.W. (1992). "Thermal analysis (TA) of lime and gypsum based medieval mortars". *Thermochimica Acta*, 211, pp. 93-106.
- Aitken, M.J. (1985), Academy Press, London
- Aitken, M.J. (1990). "Science-Based Dating in Archaeology" (London: Longman).
- Alonso F.J., Ordaz J. y Esbert R.M<sup>a</sup> (2013). "Indicators of deterioration in some building materials. Classification and analysis of damage" en COREMANS PROYECT: Criteria for working in stone materials. Ed. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones. Ministerio de Educación, Cultura y Deportes pp. 112-207.
- Alonso F.J., Requejo O., Fernández – Crespo M. y Carrizo L. (2010). "Caracterización petrográfica de morteros del conjunto medieval de la ciudad de Oviedo". *Trabajos de geología. Universidad de Oviedo* 30: 337 – 349, p. 338.
- Álvarez Galindo J.I., Martín Pérez A. y García Casado P.J. (1995). "Historia de los morteros. Materiales y Técnicas". *Revista Instituto Andaluz de Patrimonio Histórica* 1995 IAPH nº 13 pp. 52-59.
- Álvarez Galindo (1997). "Caracterización de morteros en monumentos navarros. Tesis doctoral, publicación inédita. Universidad de Navarra, 1997.
- Álvarez J.I., Navarro I., Martín A. y García Casado P.J. (2000). "A study of the ancient mortars in the north tower of Pamplona's San Cernin church" *Cem Concr Res* 2000 Sep;30(9):1413-1419.
- Álvarez S., Esbert R. M<sup>a</sup>, Arias L., Sáenz R., Alonso F.J., Ordaz J., Díaz-Pache F., G. Rúa V., Calleja L., Rodríguez A. y Suarez L.M. (2005). "Santa Cristina de Lena, un monumento enigmático del prerrománico asturiano: piedras, deterioro y sugerencias de conservación". *Loggia* nº 18 pp. 70 – 87.
- Arias Páramo L. (1994). "Guía del arte prerrománico asturiano", Ediciones Trea S.L., 126 p.
- Arias L. (1997) "Composición y proporciones en la arquitectura y la pintura mural prerrománica asturiana" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.85-96.
- Arias Páramo, L (1997) "Una visión gráfica del prerrománico asturiano: pasado, presente y futuro" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p. 74.
- Arias Páramo L (1999). "La pintura mural en el Reino de Asturias en los siglos IX y X". Ed. Librería Cervantes, 1999, 199 p.

- Arias Páramo, L. (2008). "Geometría y proporción en la Arquitectura Prerrománica Asturiana" Anejos de AEspA, XLIX, Madrid (Fig. 132).
- Arias Páramo L. (2009). "San Miguel de Liño" Guías del Prerrománico asturiano, Ediciones Nobel, Oviedo 2009, p. 48.
- Arribas J.G., Calderón T. y Blasco C. (1989), "Datación absoluta por termoluminiscencia: un ejemplo de aplicación arqueológica". Trabajos de Prehistoria 46, pp. 231 – 246.
- Arribas, J.G.; Millán, A.; Sibilia, E.; Calderón, T. (1990), "Factores que afectan a la determinación del error asociado a la datación absoluta por TL: Fábrica de ladrillos". Bol. Soc. Es. De Min. 13, 141-147
- Ascough Philipps L., Church Mike J., Cook Gordon T., Dunbar Elaine, Gestdóttir Hildur, MCGovern Thomas H-, Dugmore Andrew J., Fririksson Adolf y Edwards Kevin J. (2012). "Radiocarbon reservoir effects in human bone collagen from northern Iceland" Journal of Archaeological Science, 39(7):2261-2271.
- Ashurst J. (1983). "Mortars, plasters and renders in conservation" Ecclesiastical Architects and Surveyors Association.
- Attendorn, H.G. y Bowen, R.N.C. (1997). "Radioactive and stable isotope geology". Chapman & Hall. London, 522 pp.
- Balksten K. y Steenari B.M. (2007). "A method to recreate historic mortars applied at Norrlanda church on the Island of Gotland, Sweden". HMCO8, Historical Mortars Conference, Characterization, Diagnosis, Conservation, Repair and Compatibility.
- Bango Torviso. (1988). "Alfonso II y Santullano" en Arte prerrománico y románico en Asturias". Villaviciosa, Gijón 1988. P. 229.
- Barón Thaidigsman J. (2007) "Catálogo de la pintura asturiana del siglo XIX". Museo de Bellas Artes de Asturias, Oviedo 2007 p. 8.
- Baronio G., Binda L., Lombardini N. (1997). "The role of brick pebbles and dust in conglomerates base on hydrated lime and crushed bricks". Constr Build Mater, vol 11, pp. 33-40.
- Baxte M.S.r & Walton A. (1970). "Radiocarbon dating of mortars" Nature 225 (5236) 937-8.
- Blanco Rotea R. (1999). "San Fiz de Solovio (Santiago de Compostela – A Coruña)", Grupo de Investigación en Arqueología del Paisaje Departamento de Historia I, Universidad de Santiago de Compostela, Trabajo de Investigación, septiembre 1999, 142p.
- Borge Cordovilla F. J. (2011). "La Fuente de Foncalada (Oviedo): Aplicación de métodos gráficos e infográficos de análisis compositivo y metrológico a la formulación de una hipótesis de Anastilosis Virtual del Monumento". Virtual Archaeology Review (VAR), Volumen 2 Número 3. ISSN: 1989-9947, Abril 2011, p. 165-168.
- Bowman, S. (1990). "Radiocarbon Dating" (London: British Museum).
- Boynton R.S. (1980). "Chemistry and technology of lime and limestone. Chapter seven and nine, 2 edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Boynton R.S. (1984). "Lime and limestone". Vol. 14. Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed., pp. 343-382.

- Brock F., Higham T., Ditchfield P. y Ramsey C.B. (2010). "Current pretreatment methods for AMS radiocarbon dating at the Oxford radiocarbon accelerator unit (ORAU)" *RADIOCARBON*, Vol 52, Nr 1, 2010, p 103–112.
- Caballero Zoreda L. y Escribano Velasco C. (eds.) (1996) "Arqueología de la Arquitectura. El método arqueológico aplicado al proceso de estudio y de intervención en edificios históricos" Salamanca.
- Caballero Zoreda L. y Latorre González-Cámara P. (coord.) (1995). "Leer el documento construido" *Informes de la Construcción*, 435 (número monográfico).
- Caballero Zoreda L. (2000). "Observaciones arqueológicas sobre producción arquitectónica y decorativa de las iglesias de S. Miguel de Lillo y Santianes de Pravia". Instituto de Historia. CCHS. CSIC, p.2.
- Caballero Zoreda L., M.<sup>a</sup> Á. Utrero Agudo, F. Arce Sainz y J. I. Murillo Fragero (2008) "La iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias). Lectura de paramentos 2006, Ediciones TREA S.L. y EDIUNO - 2008 - 84pp.
- Caballero Zoreda L., Utrero Agudo, M.<sup>a</sup> de los Á., Arce, F. y Murillo Fragero, J. I. 2008 " La iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias). Lectura de paramentos.2006", "Territorio, Sociedad y Poder, Anejo", 1. P. 24.
- Caballero Zoreda L. (2010) "Observaciones arqueológicas sobre producción arquitectónica y decorativa de las iglesias de San Miguel de Lillo y Santianes de Pravia" Simposio "Visigodos y Omeyas VI. Asturias entre visigodos y mozárabes", celebrado en Madrid, en el Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), CSIC, durante los días 8, 9 y 10 de septiembre de 2010, 29 p.
- Caballero Zoreda L., Rodríguez Trobajo, E., Murillo Fragero, J. I. y Martín Talaverano, R. (2010). "Las iglesias de San Juan Evangelista de Santianes de Pravia y Santo Adriano de Tuñón (Asturias)". *Arqueología de la Arquitectura*, "Anejos de AEspA", LIV, p. 27-28.
- Caballero L., Mateos P. y García de Castro C. (2012). "Asturias entre visigodos y mozárabes", VI Visigodos y Omeyas, Madrid 2010, Anejos de AEspA.LXIII, Madrid 2012, pp. 125-145.
- Cabrera J.M.<sup>a</sup>. (2010). "La pátina como lenguaje de la piel en el patrimonio construido. Primeras referencias a la Santa Iglesia Catedral de Mallorca". Encuentro científico de conservación y restauración del patrimonio arquitectónico. Palma 11 – 13 febrero de 2010. pp 11 – 31.
- Callebaut K., Elsen J., Balen K., Viane W. (2001). "Nineteenth century hydraulic restoration mortars in Saint Michael's church (Leuven, Belgium)" *Cement and Concrete Comp*, vol 31, pp. 397-403.
- Calvo A. (1997). "Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z. Ediciones del Serbal 1997. p. 147.
- Canella, F. (1872). "Resumen de las actas y tareas de la Comisión de Monumentos Históricos y Artísticos de la provincia de Oviedo desde 1844 a 1866. Imprenta de Eduardo Uría, Oviedo, 1872, pp-13-15.
- Carandini A. (1997). "Historias en la tierra. Manual de excavaciones arqueológicas" ed. Critica, Barcelona.

- Cardoso I, Macedo M.F., Vermeulen F., Corsi C., Santos Silva A., Rosado L., Candeias A. y Mirao J. (2014). "A multidisciplinary approach to the study of archaeological mortars from the town of Ammaia in the roman province of Lusitania (Portugal)". *Archaeometry* 56, 1 (2014) pp. 1-24.
- Casadio F., Chiari G. y Simon S. (2005). "Evaluation of binder/aggregate ratios in archaeological lime mortars with carbonate aggregate: a comparative assessment of chemical, mechanical and microscopic approaches". *Archaeometry* 47, 4 (2005), pp. 671-689.
- Castro F., Falcucci C y Pelosi C. (2009) "The wall paintings of the crypt of the medieval church of Saint Andrew in Viterbo (Italy): Technical examination and state of preservation" Session B1:Evaluation of Damage: Restauration and Conservation of Mobile Cultural Heritage, 4th International Congress on Science and Technology for Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin, Cairo 2009, 103-111.
- Cazalla O. (2003). "Morteros de cal. Aplicaciones en el patrimonio histórico" Tesis doctoral, Universidad de Granada, 242 p.
- Civici N., Anastasiou M., Zorba T., Paraskevopoulos K.M., Dilo T., Stamati F, Arapi M. (2008). "Studying wall paintings in Berati Castle (Albania): Comparative examination of materials and techniques in XIVth and XVIth century churches". *Journal of Cultural Heritage* 9, Elsevier p. 207-213.
- Conroy, D. W. & Atkinson, J. (2004). "Roman Wall Paintings in the Pafos Theatre". Report of the Department of Antiquities, Cyprus 2003, 2004, p. 275-300.
- Cornelius S., Hurlbut JR. Y Cornelis Klein (1988). "Manual de mineralogía de Dana" Editorial Reverté, Barcelona, 564 p.
- Corrales I., Rosell J., Sanchez L., Vera J. y Vilas L. (1977). "Estratigrafía" Editorial Rueda, Madrid 1977, p. 3-4.
- Cortázar, M.; Pardo, D.; Sanz, D. (2009). Estudios y restauración del pórtico. Catedral de Santa María de Vitoria – Gasteiz. Fundación Catedral de Santa María.
- Craig, H. (1957). "Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide", *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 1(2),133–149.
- Crónica de España; libro III, edic. 1586, Córdoba, página 63.
- Cuesta J. y Sandoval A. (1919). "Cámara Santa. Memoria". Oviedo, Imp. "La Cruz". San Vicente nº. 10, 1919.
- Cuesta J. y Sandoval A. (1920). "Trabajos realizados en la Cámara Santa. Memoria presentada al Exmo. Cabildo". Oviedo. Imprenta La Cruz – San Vicente 10, 1920.
- Cuesta y Sandoval (1920). "3ª Memoria de las intervenciones en la Cámara Santa".
- Cultrone G., Sebastián E., Huertas M.O. (2005). "Forced and natural carbonation of lime based mortars with and without additives: mineralogical e textural changes". *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 2278–2289.
- Davis J.A., Kent D.B. (1990). "Surface complexation modeling in aqueous geochemistry". In: Hochella MF, White AF, editors. *Mineral-Water Interface Geochemistry*. Chantilly: Mineralogical Society of America. p 177–260.



- De Cobarrubias S. (1611). "Tesoro de la lengua castellana y española" en Gárate, Gárate Rojas I. (2002). "Artes de la cal" Instituto Español de Arquitectura - MRRP – Universidad de Alcalá. p. 196.
- De Llano, A. (1917). "La iglesia de san Miguel de Lillo", (1ª ed. Imprenta Gutenberg, Oviedo, 1917), Ed. fac. Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo, 1982.
- Défourneaux, M. (1951); Sánchez Albornoz, C. (1974):II, 531-51; Fernández Conde, F.J. (1992):63-77; Besga Marroquín, A. (2000):420-33; Martínez Díez, G. (2002).
- Delirias J. and Labeyrie G. (1964) "Dating of old mortars by the carbon-14 method" Nature 201, pp. 742
- Dotsika E., Psomiadis D., Poutoukis D., Raco B. and Gamaletsos P. (2009). "Isotopic analysis for degradation diagnosis of calcite matrix in mortar". Anal Bioanal Chem 2009, 395:2227-2234.
- Elsen J., Brutsaert A., Deckers M., Brulet R. (2004)."Microscopical astudy of ancient mortars from Tournai (Belgium). Mater Charact., vol 53, pp. 289-294.
- Esbert R.Mª y Marcos R.Mª. (1983). "Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración". Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Asturias", Oviedo, 1983, 147 p.
- Esbert R.Mª y Losada J.Mª (1993). "Intervention criteria in masonry materials". Revista del Instituto de Patrimonio Histórico Español, nº 2, 1993.
- Esbert R.Mª., Rojo A., Alonso F.J., Mateos F., Ordaz J. y Valdeón L. (2004). "La conservación de la piedra del claustro" en la restauración de la torre y el claustro de la catedral de Oviedo. Ediciones Nobel, Oviedo 2004, 302 p.
- Estrada García R., Ríos González S. (1995). "Excavaciones Arqueológicas en la plaza de Foncalada (Oviedo)". Excavaciones Arqueológicas en Asturias, 1991-1994. Oviedo, 1995
- Fernández Buelta J. y Hevia V. (1984). "Ruinas del Oviedo primitivo. Historia y Secuencias de unas excavaciones". Principado de Asturias. Instituto de Estudios Asturianos (DEL C.S.I.) p. 91-94.
- Fernández Conde F. J., Gutiérrez González J. A., Fernández Mier M., Suárez Álvarez Mª. J., Arias Páramo L (2009). "Poderes sociales y políticos en Asturias. Siglos VIII-X", Poder y Simbología en Europa. Territorio, Sociedad y Poder, Anejos 2, Oviedo 2009, pp.11-30.
- Fernández Menéndez J. (1957) "Excavaciones arqueológicas en Puelles (Valdediós): La villa hispano-romana de Boides". Editorial IDAG, Oviedo.
- Fernández, J. (1919). "Apuntes para la historia del arte. La basílica de San Salvador de Valdediós y su primitivo convento". Boletín de la Sociedad Española de Excursiones, II trimestre de 1919, pp. 77-78.
- Ferrete, S. (1990). Informe sobre el estado de conservación de las pinturas murales de san Miguel de Liño.
- Fischer A. y Heinemeier J. (2003). "Fresh water reservoirs effects in 14C dates of food residue on pottery". Radiocarbon 45(3): 449-466.
- Folk RL. & Valastro Jr. (1976) "Successful technique for dating of time mortar by carbon-14" Joournal of Field Archeology 3:203-208.

- Fritz, P y Fontes, J.Ch. (1986). "Handbook of Environmental isotope geochemistry". Vol. 2. The Terrestrial Environment, B. Elsevier. Amsterdam, 548 pp.
- Fritz, P y Fontes, J.Ch. (1989). "Handbook of Environmental isotope geochemistry". Vol.3. The Marine Environment, A. (1989) Elsevier. Amsterdam, 392 p.
- Fritz, P. y Fontes, J.Ch. (1980). "Handbook of Environmental Isotope Geochemistry", Vol. 1, The Terrestrial Environment, A. Elsevier, Amsterdam, 504 pp.
- Furlan V. y Bissegger P. (1975). "Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifiques". Revue suisse d'arte et d'Atchéologie, vol.32, pp. 2-14.
- Gale S.J. (2009). "Event chronostratigraphy: a high-resolution tool for dating the recente past" Quaternary Geochronology 4 (2009): 391-399.
- Gárate Rojas I. (2002) "Artes de la cal". Instituto Español de Arquitectura – MRRP – Universidad de Alcalá, Editorial Munilla-Lería, 415 p.
- García Álvarez-Busto A., Muñiz López I. (2010). "Arqueología medieval en Asturias". Premio Alfredo Quirós Fernández 2009, Ediciones TREA, S.L. 503 p.
- García Cuetos, M<sup>a</sup>.P. (1999). "El prerrománico asturiano. Historia de la arquitectura y restauración (1844-1976)". Editorial Sueve, Oviedo 1999.
- García de Castro C. (1995). "Arqueología cristiana de la alta edad media en Asturias". Cincuentenario del Real Instituto de Estudios Asturianos 1945– 995. Oviedo. 790 p.
- García de Castro, C. (2012). "La reforma románica de la Cámara Santa de la catedral de San Salvador de Oviedo". Monumentos singulares del románico. Nuevas lecturas sobre formas y usos. Fundación Santa María la Real – C.E.R. pp. 43 – 89.
- García M<sup>a</sup>A. y Pérez P.P. (2011). "Análisis de las muestras de procedentes de la iglesia de San Julián, Santullano (Oviedo)", Informe del Archivo General del IPCE, Madrid,2011 p. 16.
- García, C. y Ríos, S. (1997). "Asturias monumental: 100 referencias". Ediciones Trea, S.L.
- Gavin D. G. (2001). "Estimation of inbuilt age in radiocarbon ages of soil charcoal for fire history studies". Radiocarbon, Vol 43, Nr 1, 2001, p 27–44.
- GEA asesoría geológica (2003). "Estudio petrológico de la fuente de Foncalada (Oviedo)" Servicio de Patrimonio de Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Principado de Asturias.
- GEA asesoría geológica (2007). "Estudio de humedades en la Iglesia de San Miguel de Lillo" Consejería de Cultura y Turismo del Principado de Asturias, 106 p.
- GEA asesoría geológica (2009) "Seguimiento petrológico de una intervención realizada en la fachada norte y cubiertas de San Miguel de Lillo". Consejería de Cultura y Turismo del Principado de Asturias, 44 p.
- GEA (2011) "Estudios previos y seguimiento petrológico de la intervención en San Miguel de Lillo (Oviedo)" Consejería de Cultura y Turismo del Gobierno del Principado de Asturias.
- GEA asesoría geológica (2011)."Informe petrológico de la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo". Contratado por el Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Abril 2011.

- GEA asesoría geológica (2011). "Seguimiento petrológico de la obra de restauración de la iglesia de San Salvador de Valdedios, 1ª fase". Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Principado de Asturias, 396 p.
- GEA asesoría geológica (2012). "Estudios petrológicos complementarios en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo". Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Diciembre 2012.
- GEA asesoría geológica (2013). "Estudio higrotermométrico en la Cámara Santa de la Catedral de Oviedo. Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Diciembre 2013.
- GEA asesoría geológica (2014). "Estudios previos de caracterización de la pintura mural de la iglesia de San Miguel de Lillo en Oviedo". Servicio de Conservación, Archivos y Museos. Consejería de Cultura y Turismo, Gobierno del principado de Asturias, Diciembre 2014.
- Giannini C. y Roani R. (2008). "Diccionario de restauración y diagnostic". Ed. Nerea, p. 96.
- Gómez M<sup>a</sup>.L. (2004) "La restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte" Cuadernos Arte Cátedra. Instituto del Patrimonio Histórico Español, 436 p.
- Gómez-Moreno, M. (1934) "La Catedral de Oviedo: daños y pérdidas sufridas en ese Monumento Nacional durante los sucesos revolucionarios de octubre de 1934". Discurso leído ante la Real Academia de Historia, Madrid 1934.
- González García A. (2014). "La proyección europea del reino de Asturias: política, cultura y economía (718-910)". El futuro del pasado, 5 pp. 225-298.
- González-Fanjul, C. (1987). Informe sobre el estado de conservación de las pinturas murales de san Miguel de Liño.
- Gutiérrez Claverol, M. y Torres Alonso, M. (1995). "Geología de Oviedo. Descripción, recursos y aplicaciones". Edición Ayuntamiento de Oviedo, 276pp.
- Gutiérrez González, J.A. (2008). "Las villae y la génesis del poblamiento medieval. Las villae romanas en el occidente del imperio". Arquitectura y función. IV Coloquio Internacional de Arqueología, Edic. Trea, Gijón, 2008, pp. 215-238.
- Gutiérrez J. A. (2010) "Arqueología tardoantigua en Asturias. Una perspectiva de la organización territorial y del poder en los orígenes del reino de Asturias, La Carisa y La Mesa". Causas políticas y militares del origen del Reino de Asturias. Oviedo, 2010, pp. 52-83.
- Gutiérrez-Solana F., Jáuregui M., Bobigas R., Sarabia P. (1989). "Análisis de morteros medievales de dos castillos de Cantabria, España". *Materiales de Construcción* 1989; 39 (213):37-45.
- Hale J., Heinemeier J, Lancaster L, Lindroos A, Ringbom Å.. (2003). "Successful AMS 14C dating of non-hydraulic lime mortars from the medieval churches of Åland Islands, Finland". *Radiocarbon*, Vol 52, Nr 1, 2010, p 171-204.
- Harris E.C. (1991) "Principios de estratigrafía arqueológica" Barcelona.
- Hart J., Lovis W., Urquhart G y Reber E. (2013). "Modeling freshwater reservoir offsets on radiocarbon-dated charred cooking residues". *American Antiquity*, 78 (3): 536-552.

- Heinemeier J. and Jungner H- (1994). "C-14 Dating of Lime Mortar," *Arkaeologiske Udgravninger i Danmark 1994 (Archaeological Excavations in Denmark 1994)*, Copenhagen 1994, pp. 35-40. Cf. also illustrations (in immediately preceding Danish version), pp. 28, 31, 32.
- Heinemeier, J. and H. Jungner (1994) "C-14 datering af kalkmörtel", *Arkeologiska udgraevninger i Danmark 1994*, (in Danish with English translation), 1995, 23-40
- Heinemeier J., Jungner H., Lindroos A., Ringbom A., von Konow T. & Rud N. (1997) "A AMS 14C dating of lime mortars" *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 123 (1997) 487-495
- Heinemeier J, Ringbom Å., Lindroos A., Sveinbjörnsdóttir Á. E. (2010). "Successful AMS 14C Dating of Non-Hydraulic Lime Mortars from the Medieval Churches of the Åland Islands, Finland". *Radiocarbon*, Vol 52, Nr 1, 2010: 171-204.
- Hevia Blanco, J. (1997) "Pasado, presente y futuro de la restauración del prerrománico asturiano" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.19 -58.
- Hevia Ojanguren, P. (2006). "Oviedo: Centro artístico y cultural en la primera mitad del siglo XX. El entrono creativo de un escultor: Víctor Hevia". I Congreso de Estudios Asturianos. Tomo V. Comisión de Artes, Arquitectura y Urbanismo. Real Instituto de Estudios Asturianos pp. 151 – 175.
- <http://dx.doi.org/10.14516/fdp.2014.005.001.010>
- <http://www.elprerromanicoasturiano.com/>.
- <http://www.mecd.gob.es/cultura>.
- Iglesias Campos M. (2013). "Limpieza de los materiales constructivos en patrimonio arquitectónico. Parámetros de las técnicas físicas y mecánicas: influencia en el deterioro". Tesis doctoral, Facultat de Belles Arts, Universitat de Barcelona, 244 p.
- Kosednar-Legenstein, B., Dietzel, M., Leis, A., & Stingl, K. (2008). "Stable carbon and oxygen isotope investigation in historical lime mortar and plaster: Results from field and experimental study". *Applied Geochemistry*, 23(8), pp. 2425–2437.
- Krautheimer R. (1969). "Studies in Early Christian, Medieval and Renaissance Art". Londres
- Laborde A., Cirujano C., Alonso F.J., Blanco M., Fort R., Jiménez C., Herráenz J.A., Escudero C., Navarro J.V., Pardo D., Escartín E., García E., Gisbert J., Yanguas N., Bouzas A., Androver I., Baltuille J. M., y Amador R. (2003). "Criteria for working in stone materials. Revision 2013". COREMANS PROYECT: Criteria for working in stone materials. Ed. Secretaría General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones. Ministerio de Educación, Cultura y Deportes.
- Laird D.A., Dowdy R.H. (1994). "Preconcentration techniques in soil mineralogical analyses". In: Luxmoore R.J, editor. *Quantitative Methods in Soil Mineralogy*. Madison: Soil Science Society of America. p 236–66.

- Lalli C., Bosch Roig P., Escrivà Torres V. y Bosch Rei J. I. (2010). "Reconocimiento de los componentes físicoquímicos de las pinturas murales romanas del santuario y termas de Edeta. Valencia". ARCHÉ. Publicación del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la UPV - Núms. 4 y 5 – 2010, pp. 37-44.
- Lampéresz y Romea, V. (1930). "Historia de la arquitectura Cristiana Española en la Edad Media". Espasa Calpe S.A., 1930.
- Lancaster L. (1998). "Reconstructing the Restorations of the Colosseum after the Fire of 217", *Journal Roman Archaeology* 11 (1998) 146-174
- Ley 16/1985, art. 14.1. Son considerados bienes inmuebles los que recoge el artículo 334 del Código Civil, y cuantos elementos puedan considerarse consustanciales con los edificios y formen parte de los mismos o de su entorno o lo hayan formado, aunque en el caso de poder ser separados constituyan un todo perfecto de fácil aplicación a otras construcciones o a usos distintos del suyo original.
- Libby, W.F., 1952 (1955). "Radiocarbon Dating". 2nd edition (Chicago: Chicago University Press).
- Lindroos A, Heinemeier J, Ringbom Å, Brock F, Sonck-Koota P, Pehkonen M, Suksi J. (2008) "Problems in Radiocarbon Dating of Roman Pozzolana Mortars", 214-230 in *Building Roma Aeterna. Current research on Roman Mortar and Concrete. Proceedings of the conference March 27-29 2008*.
- Lindroos A., Heinemeier J., Ringbom A., Brock F., Sonck-Koota P., Pehkonen M. y Suksi J. (2011). "Problems in radiocarbon dating of Roman pozzolana mortars". *Building Roma Aeterna: Current Research on Roman Mortar and Concrete* 128, *Commentationes Humanarum Litterarum Societas Scientiarum Fennica*, p. 214-230.
- Lindroos A., Ringbom A., Kaisti R., Heinemeier J., Hodgins G. y Brock F. (2011). "The oldest parts of the Turku Cathedral. C-14 chronology of fire damaged mortars", *Editors Joakim Hansson, Hiekkki Ranta, Visby* 2011 pp. 108-121.
- Lindroos A., Regev L., Oinonen M. Ringbom A. Heinemier J. (2012) "14C dating of fire-damaged mortars from medieval Finland". *Radiocarbon*, Vol 54, Nr 3-4, 2012, p 915-931.
- Lindroos A., Regev L., Oinonen M., Ringbom A. y Heinemeier (2012) "14C dating of fire-damaged mortars from medieval Finland" *Proceeding of the 6th International Radiocarbon and Archaeology Symposiu*, edited by Boaretto and N.R. Rebollo Franco *Radiocarbone*, Vol. 54, Nr 3-4, 2012, p. 915-931
- Lindroos A., Ranta H., Heienemeier J., Lill J.O. (2014). "14C chronology of the oldest Scandiavian church in use. An AMS/PIXE study of lime lump carbonate in the mortar". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 331 (2014) 220-224.
- Llano Roza de Ampudia, A. de. 1917: *La iglesia de San Miguel de Lillo, Oviedo, Oviedo* (reedición 1982).
- López – Doriga I. (2014). "Por qué datar carporestos arqueológicos por radiocarbón? NAILOS: Estudios Interdisciplinares de Arqueología, N° 1, Oviedo, 2014 pp. 167-180.

- López Aguado F., Molina E., Ortega Huertas M. y Pina J.A. (1981) "Estudio mineralógico y neontológico de sedimentos actuales del Mar Menor (Murcia)". Sociedad Española de Mineralogía Vol. 2, 327-337.
- Lowe, J.J. & Walker, M.J.C. (1997). "Reconstructing Quaternary Environments". 2nd edition (London: Pearson International).
- Mackenzie W.S. and Adams A.E. (1994) "A color atlas of rocks and minerals in thin section" Manson Publishing Ltd., Londres.
- Malinowski R. (1981). "Ancient mortars and concretes, durability aspects". Mortars, Cements and grouts used in conservation of Historic Buildings, Proceeding of the symposium. ICCROM. Rome, pp. 341-350.
- Malinoswki R. (1982). "Ancient mortars and concretes: Apects of their durability". Histoire of Technology 7th Annual Volume, Marsell UK. 1982:89-101.
- Mannoni, T., 1990, "Archeometria: archeografia o archeologia?", Dialoghi di Archeologia VIII- 2, págs. 77 y ss.
- Manzanares Rodríguez-MIRJ. (1957). "Arte Prerrománico asturiano. Síntesis de su arquitectura", Boletín de la Comisión Provincial de Monumentos de Oviedo, 1, pp. 145-178.
- Marta R. (1990). "Architettura romana: Tecniche costruttive e forme architettoniche del mondo roman". Ed Kappa, Roma 86
- Martinet G., Deloye F.X., Golvin J.C. (1992) "Caractérisation des mortiers pharaoniques du temple d'Amon a Karnak" Bull.liaison Labo. Pet. Cb. Sept-oct 1992; 181:19-45.
- Marzaioli F, Lubritto C-, Nonni S., Passareillo I., Capano M & Terrasi F. (2011). "Mortar radiocarbon dating: preliminary accuracy evaluation of a novel methodology". Analytical chemistry 83 (6), 2038-2045
- Marzaioli F., Borriello G., Passariello I., Lubritto C., De Cesare N., D'Onofrio A. and Terrasi F. (2011) "Zinc reduction as an alternative method for ams radiocarbon dating: process optimization at CIRCE. RADIOCARBON, Vol 50, Nr 1, 2008, p 139-149
- Mas i Barberá X. (2006). "Estudio y caracterización de morteros compuestos, para su aplicación en intervenciones de sellados, reposiciones y réplicas, de elementos pétreos escultórico-ornamentales. Tesis doctoral. Facultat de Belles Arts de Sant Carles, Departament de Conservació i Restauració de Béns Culturals. Universitat Politècnica de València, 2006 p. 366.
- Matteini M. y Moles A. (2001). "La química en la restauración. Los materiales del arte pictórico". Ed. Nerea, Junta de Andalucía-Consejería de Cultura – IAPH, 507 p.
- Mateos, F.J.; Valdeón L. y Rojo A. (2004). "Piedras de construcción de la fuente prerrománica de Foncalada: tipos y origen" Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 24: 107-118 (2004).
- Menéndez Pidal, L. (1953). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdedíos". Rebaje del terreno que rodea al monumento, saneamiento de la humedad del edificio, 1953, A.C.M.C., sig. 71.068.
- Menéndez Pidal, L. 1954. "Los monumentos de Asturias: su aprecio y restauración desde el pasado siglo". C. Bermejo, impresor., Página 33.

- Menéndez Pidal, L. (1955). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdedíos". Recalces correspondientes al muro del costado de la epístola; aislar de humedades el monumento; construcción y colocación de nuevas puertas de madera; repaso de las fábricas de mampostería y sillería de los muros, 1953, A.C.M.C., sig. 71.068.
- Menéndez Pidal L. (1960). "La Cámara Santa de Oviedo: su destrucción y reconstrucción". Boletín del Instituto de Estudios Asturianos N° XXXIX, p. 1-34.
- Menéndez Pidal, L. (1970). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdedíos". Cuerpo edificio lateral, paramentos y retejado, 1970, A.C.M.C., sig. 71.961.
- Menéndez Pidal, L. (1971). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdedíos". Cubiertas, colocación de calvario románico, 1971, A.C.M.C., sig. 71.119.
- Menéndez Pidal, L. (1972). "Proyecto de restauración de San Salvador de Valdedíos". Fachadas evangelio, pavimento piso, 1972, A.C.M.C., sig. 71.016.
- Mestres i Torres J. (2003). "La química i la cronología: la datació per radiocarboni". Revista de la sociedad catalana de química 4/2003 p 10-25.
- Mingarro F. (1996). "Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico" Editorial Complutense, 1996 - 505 páginas, p. 181.
- Montoto M. (2003). "Petrophysics at the rock matrix scale: hydraulic properties and petrographic interpretation". Enresa, Publicación técnica 11/2003, 297p.
- Moropoulou A, Bakolas A, Bisbikou K. (2000). "Investigation of the technology of historic mortars". Journal of Cultural Heritage 1(1):45–58.
- Moropoulou A., Bakolas A., Anagnostopoulou S. (2005). "Composite materials in ancient structures". Cement Concrete Comp, vol 27, pp. 295-300.
- Musulmana. XXXVII. Al-Andalus, 407-435, 1955.
- Nanclares, F. (1997) "San Miguel de Lillo. Estudios previos" en La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Servicio de publicaciones, 1997. Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.206.
- Nawrocka D., Micheniewicz J., Pawlyta J. y Pazdur A. (2005). "Applicatopn of radiocarn method for dating of lime mortars". Geochronometria Vol. 24, pp. 109-115, 2005 – Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology.
- Nawrocka, D.; Michniewicz, J.; Pawlyta, J.; Padzur, A. Geochronometria 2005, 24, 109–115
- Nawrocka D. (2012). "Radiometric Dating" Edited by Danuta Michalska Nawrocka, Croatia 2012, 126 p
- Nieto Alcaide V. (1989). "Arte Prerrománico asturiano" Salinas, p. 179.
- Nonni S., Marzaioli F., Secco M., Passarielo I., Capano M., Lubritto C., Mignardi S., Tonhini C. & Terrasi F. (2013). "14C mortar dating: The case of the medieval Shayzar citadel, Syria". Radiocarbon, Vol 55, Nr 2-3, 2013, p 514-525.
- Ontiveros E. (2001). "Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas" Metodología de

- estudio. Fundamentos (1ª parte), Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, ISSN 1136-1867, Año nº 9, Nº 37, 2001, págs. 84-93.
- Ortega L.A., Zuluaga M.C., Insasti M., Alonso A., Ibañez A., (2009). "Morteros arqueológicos de Santa María la Real (Zarautz, Guipúzcoa): evidencia de diferentes procedencias de la cal". Munibe suplemento, nº 28, Donostia San Sebastián, pp. 162-177.
- Ortega L. A., Zuluaga M. C., Alonso-Olazabal A. Murelaga X., Insausti M. Ibañez-Etxeberria A. (2012) "Historic lime-mortar 14C dating of Santa María la Real (Zarautz,northern Spain): extraction of suitable grain size for reliable 14c dating". RADIOCARBON, Vol 54, Nr 1, 2012, p 23–36.
- Pacheco, F. 2001. "El arte de la pintura". Cátedra, Madrid.
- Parrilla Mª.A. (2007). "El arte de los pigmentos. Análisis histórico-artístico de la evolución de los pigmentos a partir de los tratados españoles de Francisco Pacheco y Antonio Palomino. Tesis doctoral. Departamento Historia del Arte, Universitat de Valencia, 2007, 446 p.
- Paternoster G., Rinzivillo R., Nunziata F., Castelluci E.M., Lofrumento C., Zoppi A., Felici A.C., Fronterotta G., Nicolais C., Piacentini M., Sciuti S. y Vendittelli M. (2005). "Study on the technique of the Romana age mural paintings by micro-XRF with Polycapillary Conic Collimator and micro.Raman analyses". Journal of Cuktural Heritage 6 (2005):21-28.
- Pensabene P. ((1989). "Reimpiego dei marmi antichi nelle chiese altomedievali a Roma"G. BORGHINI (ed.) Marmi antichi, Roma 1989, pp. 55-64.
- Pesce G.L., Micheletto E., Quarta G., Uggè S., Calcagnile L. y Decri A. (2013). "Radiocarbon dating of mortars from the baptismal font of the San Lorenzo Cathedral of Alba (Cuneo, Italy): comparison with thermoluminescence dating of related bricks and pipes". Radiocarbon, Vol 55 Nº 2-3, 2013, p.526-533.
- Pollard A. Mark, Ditchfield Peter, Mccullagh James S.O., Allen Tim G., Gibson Mark, Boston Ceridwen, Clough Sharon, Marquez-Grant Nicholas y Nicholson Rebecca A. (2011) "These boots were made for walking. The isotopic analysis of a C14 Roman inhumation from Gravesend Kent, UK" American Journal of Physical Anthropology, 146(3):446-456.
- prEN 16572:2013. Conservación del patrimonio cultural – Glosario de términos técnicos sobre morteros de mampostería, revocos y enlucidos utilizados en patrimonio cultural Traducción de los términos y definiciones para proponer que se incluyan los términos en español. SC 8/CTN 41 AENOR.
- Puras, J. (1991). "Estudios previos y proyecto de conservación de las pinturas murales y estucos de San Salvador de Valdedíos. Consejería de Cultura.
- Puras J. (1997) "Tratamiento de conservación de pinturas murales altomedievales en Asturias". En La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.262.
- Quan Hua (2009). "Radiocarbon: Achronological tool for the recent past". Quaternary Geochronology 4, 2009: 378-390.



- Quirós del Castillo J.A. (2009) "Las dataciones radiocarbónicas de yacimientos de época histórica. Problemas y experiencias de análisis en contextos de época medieval". *MUNIBE (Antropología-Arqueología)* nº 60, pp.313-324: p. 322, San Sebastián 2009.
- Quirós Castillo J.A., Marzaioli F y Lubritto C. (2011). "Datando argamasas: tres ejemplos de arquitectura medieval hispana". *Arqueología de la Arquitectura*, 8, enero-diciembre 2011 Págs. 13-24.
- Ramer, B. (1977). *Encaustic paintings in the Petrie Museum: their technology, examination and conservation*.
- Rassineux F., Petit J.C., Meunier A.(1989)."Ancient analogues of modern cement:calcium hydrosilicates in mortars and concretes from Gallo-Roman Thermal Baths of Western France". *J.Am.Ceram.Soc.* 1989; 72(6):1026-32.
- Reller A, Wilde P., Widemann H., Hauptmann H. y Bonani G. (1992). "Comparative studies of ancient mortars from Giza, Egypt and Nevali Cori, Turkey". *Material Research Society, Symp. Proc.* 267, pp. 1007-1011.
- Requejo Pagés, O., Martínez Villa, A. y Jiménez Sánchez, M. (1992): "Excavaciones arqueológicas en el Conjunto Monumental de Valdedios (Villaviciosa).1988-1989." *Excavaciones Arqueológicas en Asturias*, 2, 1987-1990. Consejería de Educación, Cultura y Deportes, Principado de Asturias (pp.179-188).
- Requejo Pages, O. (1998): "Materiales cerámicos procedentes de San Salvador de Valdedios." *Boletín Anual del Museo Arqueológico de Asturias* nº 2. Consejería de Educación y Cultura. Oviedo (pp. 19-26).
- Requejo Pagés O., Jiménez Sánchez M. y Alonso Rodríguez F.J. (2009). "La iglesia de San Miguel de lillo (Oviedo). Obras de conservación y actuación arqueológica 2005 – 2006". *Excavaciones Arqueológicas en Asturias 2003-2006*. Principado de Asturias, p. 338 – 346.
- Ringbom A., Heinemeier J., Lindroos A. y Brock F. (2003)." Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations", *Dating Ancient Mortar, American Scientist* 91, *Comm. Humm. Litt.* Vol 128, p. 187-191.
- Ringbom, Åsa (2011), "The Voice of the Åland Churches – New light on Art, Architecture and History", published by Ålands Museum, *Form: April Kommunikation*, Vaasa Graphics 2011, 160 pages, 188 images. ISBN 987-952-5614-43-8 (translation of *Åländska kyrkor berättar* from 2010). (Available via Adlibris). Download Chapter 3, *The Åland Churches Project and the Necessity of Interdisciplinary Research. The Voice of the Åland Churches*, Chapter 3.
- Ringbom Å, Heinemeier J, Lindroos A, Brock F. (2011)."Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations". 187-208 in *Building Roma Eterna. Current research on Roman Mortar and Concrete. Proceedings of the conference March 27-29 2008*. Editors Åsa Ringbom and Robert L. Hohlfelder, Assistant editors Pia Sjöberg and Pia Sonck-Koota, *Commentationes Humanarum Litterarum* 128 2011. *Societas Scientiarum Fennica*. 258 p.
- Ringbom A., Heinemeier J., Lindroos A. and Brock F. (2011) "Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations". *Building Roma Aeterna: Current Research on*

- Roman Mortar and Concrete Vol. 128, Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Humanarum Litterarum P. 187-208.
- Ringbom A. & R. Hale, J. (2014). "Recent Advances in Radiocarbon Dating of Ancient Roman Mortar and Concrete". January 2 -5 participation with a poster in the Annual Meeting of Archaeological Institute of America, Chicago 2014.
- Ringbom A. (2014). "The story of mortar dating – from an archaeological point of view". Third Mortardating Workshop in Padova, April 14-16.
- Ringbom A., Lindroos A., Heinemeier J. & Sonck-Koota P. (2014). "19 years of mortar dating: learning from experience" Radiocarbon, Vol 56 Nr 2, 2014 p 619-635.
- Ríos González S. (1999). "la fuente de foncalada: paralelos técnicos, formales y funcionales", Zephyrus, 52, 1999, 261-278.
- Ríos S. (1997) "Excavación arqueológica en La Foncalada: 1991-1995" en La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p.183 -189.
- Ríos S. (1997). "Arquitectura del agua en la Alta Edad Media. El ejemplo de Foncalada (Oviedo)". Termalismo Antiguo. I Congreso Peninsular. Actas. Madrid, 1997. Pp. 529-533.
- Ríos S. (1999). "La fuente de Foncalada: paralelos técnicos, formales y funcionales". Zephyrus, Ediciones Universidad de Salamanca p 261-278.
- Ríos S. (2012). "Actuación arqueológica relacionada con las obras de restauración de la iglesia de Santa Cristina de Lena" Servicio de Conservación, Protección y Restauración de la Consejería de Cultura del Principado de Asturias. Pp. 1 - 60.
- Rivera Blanco J. (1997). "La restauración histórica de la arquitectura de la Alta Edad Media" en *La intervención en la arquitectura prerrománica asturiana*, Universidad de Oviedo, Vice-rectorado de extensión universitaria, Colección Cursos de Verano nº 9 (Extra) p. 59 - 70
- Rockwell, P. (1992). "Lavore la pietra. Manuale per l'archeologo, lo storico dell'arte e il restauratore, Roma 1992 (1ª Ed., 1989), 202 p.
- Rodríguez Gordillo J. F. (2005). "Morteros como elementos de estudio en Arqueología-Arqueometría Medieval". Arqueometría y Arqueología Medieval, ISBN 84-609-7788-9, 2005, pp. 171-192.
- Rodríguez Trobajo, E. 2010: 4. Datación de dos puntales de madera en la iglesia de San Miguel de Lillo (Asturias), en Caballero L. y otros: Las iglesias de San Juan Evangelista de Santianes de Pravia y Santo Adriano de Tuñón (Asturias). Arqueología de la Arquitectura, "Anejos de AEspA", LIV, 187-192.
- Rojo A., Mateos F. y Valdeón L. (2004). "Caracterización petrológica de los morteros de la fuente Prerrománica de Foncalada, Oviedo", Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 24:165-175 (2004).
- Rojo A. (2014). "El apostolado de la Cámara Santa de la catedral de Oviedo: estudio de materiales" Ge-conservación nº 6, Año 2014. Grupo Español de Conservación. International Institute for Conservation of historic and artistic Works, p. 162-173.

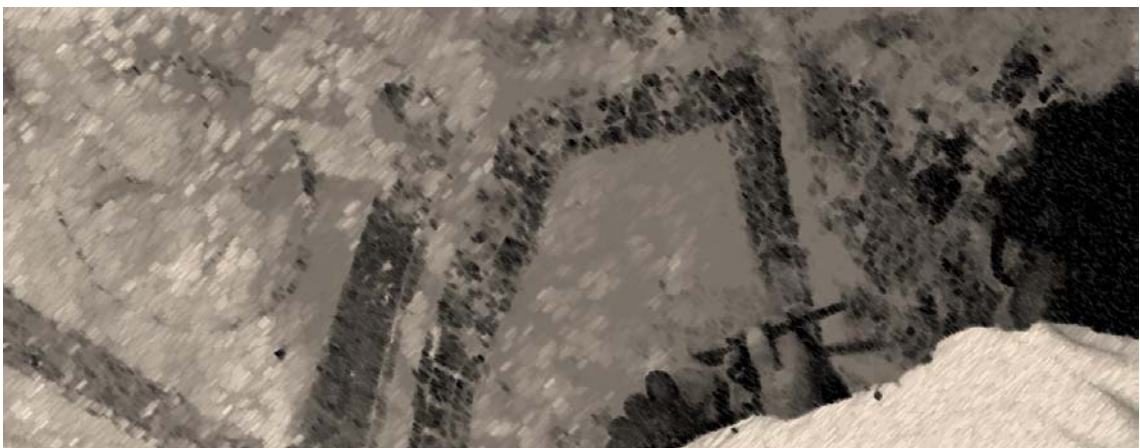
- Roldán C., Arasa F. y Juanes D. (2007) "Análisis de la pintura mural de una Domus excavada en la ciudad romana de Lesera (La Moleta Dels Frares, Forcall - Castellón) VII Congreso Ibérico de Arqueometría, VII CIA-S6: Pigmentos y pinturas, Madrid, p. 103-112.
- Roldán C., Ferrero J.L., García P., Borja I. y Sanz D. (2007) "Aportaciones al uso de pigmentos durante el neolítico antiguo en las comarcas centrales valencianas" VII Congreso Ibérico de Arqueometría, VII CIA-S6: Pigmentos y pinturas, Madrid, p. 669-674.
- Ruiz de la Peña Solar, I. (1988). "Los horizontes culturales de la corte ovetense del siglo IX: El renacimiento artístico", *Arte prerrománico y románico en Asturias*, Villaviciosa p. 195-205.
- Ruiz de la Peña I. (1997). "La etapa prerrománica de la catedral de Oviedo" en el Libro de la Catedral de Oviedo. Ediciones Paraiso, EUJOA Artes Gráficas p. 5 – 17.
- Ruiz de la Peña I. "San Salvador de Valdedíos". <http://www.monasteriovaldedios.com/san-salvador-de-valdedios.html>
- Sabbione C., Zappia G., Riontino C., Varela M.T.B., Aguilera F.P., Balen K.V., Toumbakari E.E. (2001). "Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars". *Atmos Environ*, vol 35 pp. 539-548.
- Salama A.I.A., Wilson A.D. (2000). "Mechanical techniques:particle size separation". In: Wilson AD, editor. *Encyclopedia of Separation Science*. Oxford: Academic Press. p 3277–89.
- Schlunk H. (1956). "Las pinturas de Santullano. Avance del estudio de la pintura mural asturiana de los siglos VIII y IX", *Archivo Español de Arqueología*, t. XXV, Madrid, 1952, pp.15-37.
- Schlunk H. y Berenguer M. (1957). "La pintura mural asturiana de los siglos VIII y IX" Oviedo,
- Seinfeld J.H., Pandis S.N. (2006). "Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change". Hoboken: Wiley. 1203 p.
- Sersale R. (1991). "Lime. The first in time among the justly named binding material". *Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche*, vol 40. Napoli. pp 257-275.
- Sickels L. B. (1981) "Organic Aditives in Mortars". *Edinburgh Architec Res*, vol 8, pp. 7 – 20
- Silkels L.B. (1981). "Organic vb. Synthetics: their use as additives in mortars". *Mortars Cements and Grouts used in Constraction for Historic Buildings*, *Proccedings of the Symposium, ICCROM, Rome*, pp. 25-52.
- Soriano Carrillo J. (1991). "Materias primas para conglomerantes hidráulicos". IV Congreso de Geoquímica de España. Soria, Sección 6.3, pp. 479-492.
- Stewart J., Glover R., Holmes S., Proudfoot T. and Seeley N. (2000). "Traditional lime-mortar formulations at the national trust". *Journal of Field Archaeology*. Vol. 15 nº 2, pp. 1-38.
- Taylor, R.E. (1987). "Radiocarbon Dating: An Archaeological Perspective" (Orlando: Academic Press).
- Taylor, R.E. (1992). "Radiocarbon dating of bone: to collagen and beyond", in R.E. Taylor, R. Kra, A. Long (eds), *Radiocarbon After Four Decades: An Interdisciplinary Perspective*, 375–402 (New York: Springer-Verlag).
- Taylor, R.E. (1997). "Radiocarbon dating", in R.E. Taylor, M.J. Aitken (eds), *Chronometric Dating in Archaeology*, 65–96 (New York: Plenum Press).

- Taylor, R.E. (2001). "Radiocarbon Dating", in D.R. Brothwell, A.M. Pollard (eds), *Handbook of Archaeological Sciences*, 23–34 (Chichester and New York: John Wiley).
- Timothy Jull, George S. Burr y Gregory W.L. Hodgins (2013). "Radiocarbon dating, reservoir effects, and calibration", *Quaternary International* 299 (2013) pp. 64-71.
- Torres Balbás L. (1955) "Precedentes de la Decoración Hispanomusulmana". En *Crónica Arqueológica de la España*
- Torres I. y Esbert R.Mª (2004)"Jornada sobre criterios de intervención en materiales pétreos (inédito). Coordinadores científicos Luis Torres, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México y Rosa Mª Esbert, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad de Oviedo. México D.F. Centro Cultural de España.
- Utrero Agudo Mª.A. (2006). "Iglesias tardoantiguas y altomedievales en la península ibérica" Anejos de AESPA XL, Cap III, pag. 63, *Archivo Español de Arqueología*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid 2006, 637 p.
- Utrero Mª A. y Sastre I. (2012). "Reutilizando materiales en las construcciones de los siglos VII – X. ¿Una posibilidad o una necesidad?". *Anales de Historia del Arte* 2012, Vol. 22, Núm. Especial (II), pp. 309-323.
- Valcárcel M. y Gómez A. (1990) "Técnicas analíticas de separación". Editorial Reverté, S.A., 777p.
- Van Strydonck, M., Dupas M., Dauchot-Dehon M., Pachiaudi C. and Marechal J. (1986). "The influence of contaminating (fossil) carbonate and the variation of  $\delta^{13}C$  in mortar dating". In *Proceedings, 12th International 14C conference*, eds. M. Stuiver and W.H. Waldren, *Radiocarbon* 28, 1986, 702-710.
- Van Strydonck M., Dupas M. y Keppens E. (1989). "Isotopic fractionation of the oxygen and carbon in lime mortars under natural environment conditions". *Radiocarbon*, Vol 31, Nº 3, 1989, pp. 610-618.
- Van Strydonck M., Dupas M. y Keppens E. (1989). "Isotopic fractionation of oxygen and carbón in lime mortar under natural environment conditions" In Long. A. and Kra. R.S., eds, *Proceeding of the 13<sup>th</sup> International 14C Conference*. *Radiocarbon* 31(3): 610-618.
- Van Strydonck, M. and William Hl. Waldren (1990) "Radiocarbon Dating of Lime Burials", *Pact* 29. 1990, 403-413.
- Van Strydonck, M., and M. Dupas (1991) "The classification and dating of lime mortars by chemical analysis and radiocarbon dating: A review". In *11nd Daye International Conference of prehistory*, Vol II. Eds. W.H. Waldren, J.A. Ensenyat & R. C. Kennard (BAR Interantional Series, 574), 1991, 5-43.
- Van Strydonck M., Van Der Borg K., De Jong A. and Keppens E. (1992). "Radiocarbon dating of lime fractions and organic material from buildings". *Radiocarbon*, Vol 34, Nº 3, 1992, P. 873-879.
- Vecchiattini R., Giovanni L., Pesce G., Quarta L. & Calcagnile L. (2013) "Sampling problems in the radiocarbon dating of old mortars and plasters with the pure lime lumps technique". *Built Heritage 2013 Monitoring Conservation Management* p 1066 - 1074

- Vitrubio Polion M (1787). "Los diez libros de la arquitectura", traducido y comentado por D. José Ortíz y Sanz, Madrid, Imprenta Real, año 1787.
- Von Konow T. & A. Lindroos (1997) "14C dating of lime mortar : preparation of the sample, a challenge for the geologist and the mineral chemist". Ingår i: *Iskos*, ISSN 0355-3108, 11 (1997) s. 208-213.
- Walker, M.J.C. (2005). "Quaternary Dating Methods" International Library of Archaeology, <http://historiayarqueología.com/group/library>
- Walter M. (2005). "Quaternary dating methods". John Wiley & Sons p. 19.
- Warkentin B.P., Maeda T. (1980). "Physical and mechanical characteristics of Andisols". In: Theng BKG, editor. *Soils with Variable Charge*. Lower Hutt: New Zealand Society of Soil Science. p 281–302.
- Whitman W.G. y Davis G.H.B. (1926). "The hydration of lime. Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 18, Nº 2, pp. 118-120.
- Wilson R, Spengler JD. (1996). "Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects". Cambridge: Harvard University Press. 259 p.
- Wissler L., Funk H., Weissert H. (2003). "Paleogeogr. Paleoclimatol. Palaeoecol.", 2003, 200, 187-205.



## APÉNDICE







## 9.- APÉNDICE

### EVOLUCIÓN METODOLÓGICA DE LA DATACIÓN DE LA MATRIZ DE LOS MORTEROS POR $^{14}\text{C}$

Los científicos, conscientes de las limitaciones y de las problemáticas que pueden surgir a partir de la utilización de morteros de cal para realizar dataciones absolutas, profundizan en el control de las posibles contaminaciones fósiles (Van Strydonck et al., 1986). En este sentido, Lindroos en 1994 y Heiemeier et al en 1999<sup>311</sup> desarrollan un proceso de separación mecánica destinado a eliminar la posible contaminación aportada por los agregados no calcinados de caliza. Asimismo introduce el control geológico de las muestras, usando la microscopía estereoscópica combinada con un dispositivo de catodoluminiscencia de luz fría, acoplado a la cámara (Cambridge Image Technology Ltd.<sup>312</sup>). Finalizado el proceso de separación física, las muestras son sometidas a ataque químico con ácido fosfórico al 85% y analizadas por AMS a partir de dos fracciones de  $\text{CO}_2$  capturadas, durante la separación química (Heiemeier et al., 2010<sup>313</sup>) (Fig. 9.1). El método se fundamenta en que el carbonato natural o fósil se disuelve más lentamente que el carbonato producido artificialmente durante el fraguado del mortero. O lo que es lo mismo, **la calcita de la matriz se disuelve antes que la calcita de origen geológico y/o biológico**. Los granos del aglutinante carbonatado antropogénico están peor cristalizados y se disuelven rápidamente mientras que los granos de carbonato procedentes de calizas naturales están mejor cristalizados y se disuelven más lentamente (Baxter et al., 1970)<sup>314</sup>.

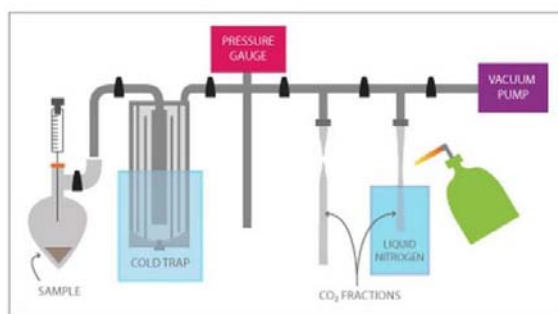


Figura 9.1.- Separación química del mortero en dos fracciones independientes de  $\text{CO}_2$  (Esquema tomado de Ringbom et al, 2014<sup>315</sup>).

<sup>311</sup> Heiemeier J., Jungner H., Lindroos A., Ringbom A., von Konow T. & Rud N. (1997) "A AMS  $^{14}\text{C}$  dating of lime mortars" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 123 (1997) 487-495

<sup>312</sup> Lindroos A., Ranta H., Heiemeier J., Lill J.O. (2014). "14C chronology of the oldest Scandinavian church in use. An AMS/PIXE study of lime lump carbonate in the mortar". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 331 (2014) 220-224.

<sup>313</sup> Heiemeier J., Ringbom Å., Lindroos A., Sveinbjörnsdóttir Á. E (2010). "Successful AMS  $^{14}\text{C}$  Dating of Non-Hydraulic Lime Mortars from the Medieval Churches of the Åland Islands, Finland". RADIOCARBON, Vol 52, Nr 1, 2010: 171-204

<sup>314</sup> Baxte M.S.r & Walton A. (1970). "Radiocarbon dating of mortars" Nature 225 (5236) 937-8.

<sup>315</sup> Ringbom A., Lindroos A., Heiemeier J. & Sonck-Koota P. (20114). "19 years of mortar dating: learning from experience" Radiocarbon, Vol 56 Nr 2, 2014 p 619-635.

El período de los años 1997 – 2000 supone un avance en la posibilidad de testar el método arqueológico clásico, a partir del análisis de morteros no hidráulicos de cal procedentes de la villa romana de Torre de Palma en Portugal<sup>316</sup>. Los resultados resultaron prometedores, usando el método propuesto por Lindroos<sup>317</sup>.

En 1998, el grupo de trabajo “International Mortar Dating Project” obtuvo importantes avances en el análisis de puzolanas hidráulicas romanas (Lancaster, 1998)<sup>318</sup>, aunque algunos de los resultados fueron difíciles de interpretar. Con la intención de tratar los problemas surgidos durante esta investigación, en 2001 se modifica el procedimiento de trabajo y se pasa a la captura de cinco fracciones de CO<sub>2</sub>, durante el ataque químico de los morteros objeto de análisis (Fig. 9.2). Además, en 2006 estudios realizados por el laboratorio AMS de Tucson (Arizona, EEUU), valoraron otros procedimientos de hidrólisis con ácido clorhídrico, en la búsqueda de las separaciones químicas óptimas (Ringbom, 2014). Finalmente, en 2008 se establecen las premisas necesarias para validar el empleo de la datación absoluta, a partir de morteros de cal, mediante fracciones de CO<sub>2</sub> asumiendo una serie de criterios que se exponen a continuación.

- *Criterio I:* los datos la 1ª y 2ª fracción de CO<sub>2</sub> coinciden
- *Criterio II:* los datos de la 1ª fracción de CO<sub>2</sub> de 3 muestras de la misma unidad coinciden

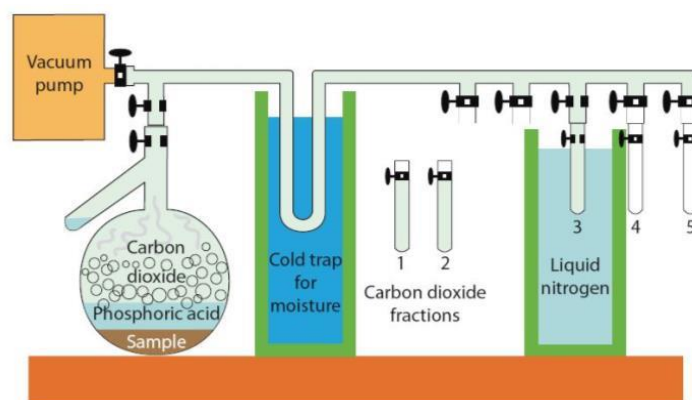


Figura 9.2.- Separación química de la muestra atacada con ácido fosfórico en cinco fracciones independientes de CO<sub>2</sub>. Al cabo de pocos minutos las dos primeras fracciones de CO<sub>2</sub> han sido capturadas. La tercera está siendo criogenizada, usando nitrógeno líquido (Esquema tomado de Ringbom et al, 2011<sup>319</sup>). La datación de carbono 14 se hace en para las 3 primeras fracciones CO<sub>2</sub> de desprendido.

<sup>316</sup> Ringbom A., Heinemeier J., Lindroos A. and Brock F. (2011) "Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations". Building Roma Aeterna: Current Research on Roman Mortar and Concrete Vol. 128, Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Humanarum Litterarum P. 187-208.

<sup>317</sup> Von Konow T. & A. Lindroos (1997) "14C dating of lime mortar : preparation of the sample, a challenge for the geologist and the mineral chemist". Ingår i: Iskos, ISSN 0355-3108, 11 (1997) s. 208-213.

<sup>318</sup> Lancaster L. (1998). "Reconstructing the Restorations of the Colosseum after the Fire of 217", Journal Roman Archaeology 11 (1998) 146-174

<sup>319</sup> Ringbom Å, Heinemeier J., Lindroos A, Brock F. (2011). "Mortar dating and Roman pozzolana, results and interpretations". 187-208 in Building Roma Aeterna. Current research on Roman Mortar and Concrete. Proceedings of the conference March 27-29 2008. Editors Åsa Ringbom and Robert L. Hohlfelder, Assistant editors Pia Sjöberg and Pia Sonck-Koota, Commentationes Humanarum Litterarum 128 2011. Societas Scientiarum Fennica. 258 pages.

Los criterios establecidos permiten concluir que cuando los datos de las dos primeras fracciones coinciden (*criterio I*) o cuando la primera fracción obtenida a partir de 3 muestras de la misma unidad son iguales (*criterio II*), se considera que casi no hay errores marginales de cronología.

Del estudio llevado a cabo en las islas Aland se deduce que cuando la edad de control se compara con otros métodos de análisis, el grado de acierto es del 96%, aunque cuando existen agregados de puzolanas, es necesario aprender a partir de análisis fallidos y resulta necesario plantear futuros estudios.

El método de ensayo puesto en marcha por estos investigadores, a partir de ahora **método Finlandés**, se centra en una primera separación mecánica de 1 mg de muestra de mortero, previo molido, cribado y tamizado de los granos de tamaño micrométrico, reservándose para los análisis la fracción granulométrica comprendida entre 45 y 75  $\mu\text{m}$  (Ringbom et al., 2010<sup>320</sup>). Posteriormente se aborda el ataque químico de la muestra, estableciéndose unos tiempos de captura de  $\text{CO}_2$  desprendido en pocos segundos para aislar la primera fracción de  $\text{CO}_2$ , de pocos minutos para la segunda fracción y de horas para la 3ª, 4ª y 5ª fracción. La disolución total del mortero se produce a 16 horas (Lindroos et al., 2011<sup>321</sup>).

En esta última publicación se previene del problema generado por la presencia de puzolanas en los morteros, ya que en estos casos hay menos matriz carbonatada que en los morteros propiamente de cal y aparecen otros carbonatos que deben de ser tenidos en cuenta como contaminantes. Se alerta además, sobre los problemas que pueden surgir en muestras procedentes de Italia, donde los jóvenes sistemas volcánicos se desarrollan bajo gruesas secuencias de calizas a las que contaminan. Se indica además, que la dureza y durabilidad de los morteros puzolánicos los hacen relativamente impermeables al  $\text{CO}_2$  atmosférico y se añade que es frecuente que este tipo de morteros presenten inclusiones alcalinas que reaccionen con el  $\text{CO}_2$  atmosférico contemporáneo, cuando estos morteros están expuestos y alterados. Además, se advierte que las construcciones emplazadas en suelos volcánicos pueden presentar severas contaminaciones, originadas por la disolución de los carbonatos transportados por las aguas subterráneas. En este sentido, recomiendan determinar la alcalinidad de las muestras cuantitativamente y advierten que valores de pH mayores de 9, normalmente aportan edades demasiado jóvenes. En estos casos proponen que la relación  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  puede ser usada como indicador de contaminación de aguas subterráneas. Si la relación  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  es menor de 1, las muestras arqueológicas o geológicas están expuestas, si

---

<sup>320</sup> Ringbom, Åsa, *The Voice of the Åland Churches – New light on Art, Architecture and History*, published by Ålands Museum, Form: April Kommunikation, Vaasa Graphics 2011, 160 pages, 188 images. ISBN 987-952-5614-43-8 (translation of *Åländska kyrkor berättar* from 2010). (Available via Adlibris). Download Chapter 3, *The Åland Churches Project and the Necessity of Interdisciplinary Research. The Voice of the Åland Churches*, Chapter 3

<sup>321</sup> Lindroos A, Heinemeier J, Ringbom Å, Brock F, Sonck-Koota P, Pehkonen M, Suksi J. Problems in Radiocarbon Dating of Roman Pozzolana Mortars, 214-230 in *Building Roma Eterna. Current research on Roman Mortar and Concrete*. Proceedings of the conference March 27-29 2008

son mayor de 1 pueden estar afectadas por aguas subterráneas y si son igual a 1 proceden de calizas que están en equilibrio. En puzolanas el valor es menor que 1 porque están expuestas.

Lindroos et al., (2011) establecen una diferencia clara entre morteros hidráulicos y no hidráulicos y aconseja que se determine el índice de hidraulicidad a partir del pH ( $\text{pH} > 8,5$ , es indicador de morteros hidráulicos). Este tipo de morteros absorben  $\text{CO}_2$  moderno con lo cual concluye que es necesario realizar pruebas de alcalinidad con phenolftaleina.

Volviendo a secuenciación de las fracciones de  $\text{CO}_2$  desprendidas durante el ataque químico de las muestras, los investigadores que participan del **método Finlandés** concluyen que las 5 primeras fracciones de  $\text{CO}_2$  corresponden aproximadamente al 20% total del gas liberado durante la separación química, representando la 1ª fracción menos del 10% del total de  $\text{CO}_2$  desprendido, y recomiendan que se usen previamente los valores isotópicos para estimar el contenido medio en  $\text{CO}_2$  de las muestras.

Respecto al sistema de ataque químico y el proceso de hidrólisis, Ringbom et al., 2014<sup>322</sup> recomiendan el uso de ácido fosfórico en mortero no hidráulicos y añaden que en este tipo de morteros, la edad radiocarbónica se estima en la primera fracción de  $\text{CO}_2$ . La hidrólisis con ácido clorhídrico, por el contrario, produce perfiles de edad confusos y la edad posible no siempre está contenida en la primera fracción de  $\text{CO}_2$  desprendido. Finalmente concluyen que los resultados no pueden ser interpretados con la misma fiabilidad que los obtenidos cuando la hidrólisis se realiza con ácido fosfórico. Por el contrario, para las muestras afectadas por fuego se recomienda el uso del ácido clorhídrico (Nonni et al, 2013<sup>323</sup>).

Cuando se usa ácido fosfórico al 85%, éste entra en contacto con la muestra, inmersa en un sistema de vacío, a través de un burete o a través de un tubo inclinado como un dedo (Fig. 9.2), aunque también se puede inyectar con una jeringa (Fig. 9.1) o se puede incorporar a través de una válvula. En esta publicación indican que la 1ª fracción se aísla a los pocos segundos de introducir el ácido y la 2ª fracción, cuando empieza la reacción.

En los morteros de puzolana el método es algo más complejo por lo que en 2002 se introducen modificaciones del procedimiento para que las fracciones de  $\text{CO}_2$  que fluyen secuencialmente puedan ser aisladas y analizadas por separado. Actualmente este es el sistema utilizado por este grupo para cualquier tipo de mortero.

En Ringbom et al., 2014, también se incide sobre los resultados de los datos obtenidos; de forma que el *criterio I* o *II*, anteriormente expuestos, pueden usarse independientemente,

---

<sup>322</sup> Ringbom A., Lindroos A., Heinemeier J. & Sonck-Koota P. (2014). "19 years of mortar dating: learning from experience" Radiocarbon, Vol 56 Nr 2, 2014 p 619-635.

<sup>323</sup> Nonni S., Marzaioli F., Secco M., Passariello I., Capano M., Lubritto C., Mignardi S., Tonghini C. & Terrasi F. (2013) "14C mortar dating: the case of the medieval Shayzar Citadel, Syria". Radiocarbon Vol 55, N° 2-3 (2013) p 514-525

cuando no existe una edad de control aportada por otras fuentes. También advierten que los daños generados en los morteros, por la acción del fuego puede ser limitante, ya que la 1ª fracción de CO<sub>2</sub> desprendido podría estar marcando la edad del incendio, mientras que la edad real se identifica en intervalos de fracciones de CO<sub>2</sub> aisladas posteriormente. Añaden que los nódulos de cal contienen muy baja contaminación en calizas y mármoles sin calcinar, lo que requiere menos fracciones de CO<sub>2</sub> para obtener resultados reales.

Volviendo a los criterios, en 2014, algunos investigadores del grupo *International Mortar Dating Project* proponen lo siguiente:

**Criterio I:**

Aplicable cuando las edades de las dos primeras fracciones de CO<sub>2</sub> coinciden. En este caso una unidad de muestra por construcción es suficiente para obtener datos concluyentes. La razón es que si no existe un gradiente de edad entre la 1ª y la 2ª fracción de CO<sub>2</sub>, estas dos fracciones están libres de contaminantes y la edad obtenida marca el tiempo de endurecimiento del mortero aunque una única fracción no asegura la precisión de resultados. La mayoría de los perfiles de edad muestran un incremento en la contaminación, a medida que aumenta el tiempo de fraccionación.

**Criterio II:**

La edad de la 1ª fracción ha de ser coincidente en tres o más muestras de la misma unidad constructiva. La razón que exponen es la siguiente, aunque el gradiente de edad indica disminución en la contaminación en la 2ª fracción, igualmente posible en la 1ª, es más probable que todas las primeras fracciones tengan insignificantes contaminaciones de caliza relicta, con lo cual todas ellas tienen el mismo contenido en contaminación, destacando el mismo exceso de edad para todas las muestras. En este caso el análisis de varias muestras no es suficientemente concluyente para datar aunque clarifica la cronología y sería necesario establecer la edad de control por otros métodos.

**Criterio III:**

Cuando existe coincidencia entre los datos de la 1ª fracción de 2 muestras de la misma unidad constructiva.

**Criterio IV:**

Cuando la 1ª fracción de una muestra de una unidad encaja con la cronología relativa.

En Heinemeier et al., 2010<sup>324</sup> se concluye que es más fácil datar morteros no hidráulicos. En esta publicación se explica el procedimiento de tamizaje de 10 g de muestra, posterior al suave machaqueo, usando tamices de tamaños menores de 100 µm y reservando la fracción granulométrica comprendida entre 46 y 75 µm. Posteriormente, con microscopía de catodoluminiscencia se separan aquellos granos que por su color rojizo – anaranjado parezcan

---

<sup>324</sup> Heinemeier J, Ringbom Å., Lindroos A., Sveinbjörnsdóttir Á. E. (2010). "Successful AMS 14C Dating of Non-Hydraulic Lime Mortars from the Medieval Churches of the Åland Islands, Finland". *Radiocarbon*, Vol 52, Nr 1, 2010: 171-204.

corresponder a granos de calizas relictas. En este estudio se comenta que, antes del 2002, la 1ª fracción se recogía en tiempos inferiores a 10 segundos y la 2ª después de pasados 20 - 40 minutos. En este caso, cuando el ácido fosfórico entra en contacto con la muestra de mortero, en la 1ª fracción se libera el 10-20% del CO<sub>2</sub> total en cuestión de segundos y la 2ª fracción correspondería a otro 10-20% del CO<sub>2</sub> siguiente, liberado en pocos minutos. Ya en 1976, Folk y Valastro<sup>325</sup>, apuntaban que sólo debían recoger y medir éstas fracciones, haciendo hincapié en que la edad proporcionada por la 1ª fracción era más real que la obtenida a partir de la 2ª fracción. De la gráfica se deduce que la 1ª fracción ha sido aislada en 8 s, la 2ª fracción en 40 s, la 3ª fracción entre 240 s y 4 horas, la 4ª fracción entre 1000 s y 16 horas y la 5ª fracción entre 5400 s y 90 horas (Heinemeier et al., 2010).

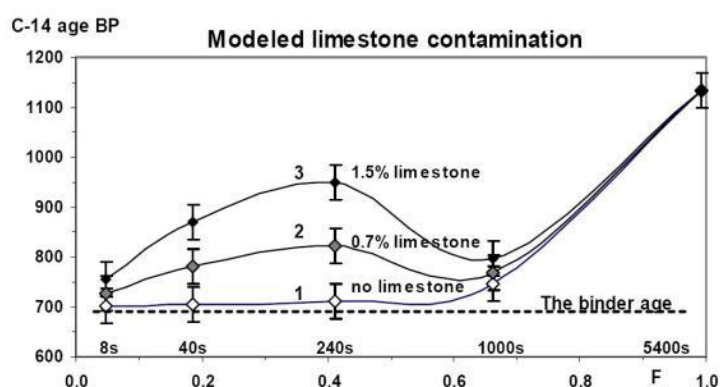


Figura 9.3.- Modelo de perfiles <sup>14</sup>C que muestran los efectos de la contaminación de rocas calizas (Grafico tomado de Heinemeier *et al.*, 2010). La edad de la muestra se sitúa en 700 BP con 3 porcentajes de contaminación en rocas calizas. En el eje de abscisas se presenta el porcentaje de disolución (F) del CO<sub>2</sub> total, con sus correspondientes tiempos, expresados en segundos.

En esta publicación interpretan los perfiles de edad <sup>14</sup>C basados en un modelo de disolución, para morteros de cal. A partir de los mismos se comprueba que la matriz de los morteros está formada por calizas calcinadas con contaminantes, granos de calizas sedimentarias y conglomerante. Este último, a su vez el aglutinante está formado por dos tipos de cristales; tipo A y tipo B. Los primeros corresponden a granos de bordes angulosos, polvo de nódulos de cal y cristales bien desarrollados; los segundos a cristales criptocristalinos impuros. Los cristales tipo A se disuelven rápidamente; los cristales tipo B, lentamente.

La cal con contenidos en carbono fósil se disuelven lentamente al final del perfil formando nódulos oxidados con hidróxidos de hierro y manganeso. Los granos calcáreos, aportadas al mortero como árido, lo hacen después de los cristales tipo A pero antes que los cristales tipo B, por lo que a mitad del perfil se detecta un pico. Estos autores añaden que el cambio de valores de  $\delta^{13}\text{C}^{326}$  puede ser usado como indicador de la contaminación, siendo:

<sup>325</sup> Folk RL. & Valastro Jr. (1976) "Successful technique for dating of time mortar by carbon-14" *Journal of Field Archeology* 3:203-208.

<sup>326</sup> Measure of the ratio of stable isotopes <sup>13</sup>C:<sup>12</sup>C, reported in parts per thousand (per mil, ‰)

$$\delta^{13}\text{C} = \left( \frac{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{sample}}}{\left( \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

aunque la presencia de nódulos de cal desvía los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ .

El valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de la calcita vieja o muerta es aproximadamente igual a 0‰ mientras que el de la calcita formado después de 2 meses a partir de cal pura es del -21,7‰ (Kosednar-Legenstein et al., 2008)<sup>327</sup>. Cuanto más elevados sean los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , más posibilidades hay de que el mortero pueda estar afectado por contaminación fósil.

A los problemas derivados las contaminaciones fósiles, hay que añadir otros problemas como los producidos por el fuego en los morteros que alteran los resultados obtenidos por la metodología de trabajo que plantea el grupo *International Mortar Dating Project*. Estudios preliminares advierten que los daños generados por incendios alteran los datos de  $^{14}\text{C}$  cuando se alcanzan temperaturas iguales o superiores a 600°C (Lindroos et al., 2012)<sup>328</sup>. En estos casos, una parte sustancial de la calcita se transforma en vaterita, que es estable durante meses hasta que el mortero se enfría. Además, los incrementos térmicos aumentan la solubilidad del mortero en ácido fosfórico y los carbonatos neoformados con el fuego, se disuelven extremadamente rápido y dificultan la captura de la 1ª fracción de  $\text{CO}_2$  en pocos segundos. En realidad, esta primera fracción es mucho más joven que las siguientes y estaría midiendo el evento del fuego. De manera más precisa, la diferencia entre la 1ª y 2ª fracción sería más amplia que la que existe entre la 2ª y la 3ª. Además los minerales silicatados muestran un incremento en su solubilidad después del tratamiento térmico que podría ser usado como indicador del daño generado por el fuego histórico o como ausencia de daño. Por otro lado, muestras afectadas por el fuego tienden a presentar señales de isótopos muy ligeros de los isótopos estables del oxígeno y el carbono en la extracción inicial de  $\text{CO}_2$ . No es necesario introducir  $\text{CO}_2$  procedente de la madera quemada para obtener valores isotópicos bajos.

Paralelamente a las investigaciones anteriormente referidas, el Centre for Isotopic Research on Cultural and Environmental heritage (CIRCLE) de la Universidad de la “Sapienza” de Roma (Italia) ha desarrollado un nuevo protocolo de datación radiocarbónica de morteros (Marzaioli, et al., 2011)<sup>329</sup>, al que a continuación nos referiremos como **método CIRCLE - Sapienza**. Con esta metodología se ha abordado el estudio de morteros medievales procedentes de varias

<sup>327</sup> Kosednar-Legenstein, B., Dietzel, M., Leis, A., & Stingl, K. (2008). "Stable carbon and oxygen isotope investigation in historical lime mortar and plaster: Results from field and experimental study". *Applied Geochemistry*, 23(8), pp. 2425–2437.

<sup>328</sup> Lindroos A., Regev L., Oinonen M., Ringbom & Heienemeier J. (2012). "14C dating of fire-damaged mortars from medieval Finland". *Radiocarbon*, Vol 54, Nr3-4, 2012, p 915-931.

<sup>329</sup> Marzaioli F, Lubritto C-, Nonni S., Passareillo I., Capano M & Terrasi F. (2011). "Mortar radiocarbon dating: preliminary accuracy evaluation of a novel methodology". *Analytical chemistry* 83 (6), 2038-2045

iglesias (Santa María de Zornoztegi, San Julián y Santa Basilia) de Álava y del castillo de Treviño en Burgos (Quirós *et al.*, 2011<sup>330</sup>) y de la fortaleza de Shayzar en Siria (Nonni, *et al.*, 2013<sup>331</sup>).

Este grupo de investigadores también profundiza en las posibles contaminaciones de los morteros, generadas por:

1. Los carbonatos residuales de calizas, incorporados en el proceso de calcinación de la cal
2. Las arenas calcáreas incorporadas en los morteros como árido
3. Otros tipos de agregados residuales, removidos de ladrillos y mármoles
4. Carbonatos reprecipitados, generados por procesos de disolución en agua de parte del CO<sub>2</sub> de los morteros y su posterior depósito

Para evitar este tipo de contaminaciones proponen un protocolo de ensayos destinado al aislamiento del aglutinante del mortero. Los resultados obtenidos a partir de la datación del aglutinante son contrastados con otros datos radiocarbónicos, obtenidos a partir de muestras orgánicas o con análisis arqueológicos.

El procedimiento de aislamiento del aglutinante, propuesto por este equipo de investigación (Marzaioli *et al.*, 2011) (Fig. 9.4) comprende los siguientes pasos:

1. *Cryobracking*: El mortero (**5-10g**) se introduce en nitrógeno líquido durante **5** minutos y rápidamente se somete a **80°C**. Este choque térmico, en 3 ciclos sucesivos, produce la disgregación de la muestra que posteriormente es suavemente machada con un martillo.
2. *Sieving*: La muestra disgregada se pasa por un tamiz y se reserva la fracción que pasa por la malla de 0,5 mm.
3. *Wet ultrasonic attack*: La fracción granulométrica obtenida, constituida mayoritariamente por el aglutinante y los relictos de la calcinación se introducen en agua desionizada y descarbonatada durante 45 minutos, bajo ataque ultrasónico. Este paso persigue el aislamiento del aglutinante, previa ruptura de los cristales y nódulos de la matriz. Esta suspensión carbonatada tiene una velocidad de sedimentación más lenta, debido al menor tamaño de partícula.
4. *Centrifuging*: La suspensión producida (50 ml) se centrifuga en tubos Falcon, durante 5 minutos a 8,5 Krpm para separar la suspensión del medio acuoso. Este último es removido y la suspensión es precipitada una noche a 70°C.
5. Finalmente la suspensión aislada en el proceso anterior que contiene 20-110 mg de material carbonatado, se completa con un ataque químico con ácido ortofosfórico

---

<sup>330</sup> Quirós Castillo J.A., Marzaioli F y Lubritto C. (2011). "Datando argamasas: tres ejemplos de arquitectura medieval hispana". *Arqueología de la Arquitectura*, 8, enero-diciembre 2011 Págs. 13-24.

<sup>331</sup> Nonni S., Marzaioli F., Secco M., Passariello I., Capano M., Lubritto C., Mignardi S., Tonhini C. & Terrasi F. (2013). "14C mortar dating: The case of the medieval Shayzar citadel, Syria". *Radiocarbon*, Vol 55, Nr 2-3, 2013, p 514-525.



( $H_3PO_4$ ) al 85%, durante 2 horas a 85°C. El exceso congelado de 85% de  $H_3PO_4$  originado en el proceso es evacuado ( $<10^{-3}$  mbar) y separado.

6. El gas producido se somete a una purificación criogénica mediante una línea de vacío para separar el  $CO_2$  que se usa posteriormente para la datación. El  $CO_2$  es separado en 2 alícuotas<sup>332</sup>; una para determinación de radio isótopos (espectrometría de masas) y otra para dataciones radiocarbónicas (AMS). Los análisis radiocarbónicos se realizan en el grafito desarrollado para la digestión de  $CO_2$  siguiendo los procesos reductores del Zinc (Marzaioli et al. 2011<sup>333</sup>).

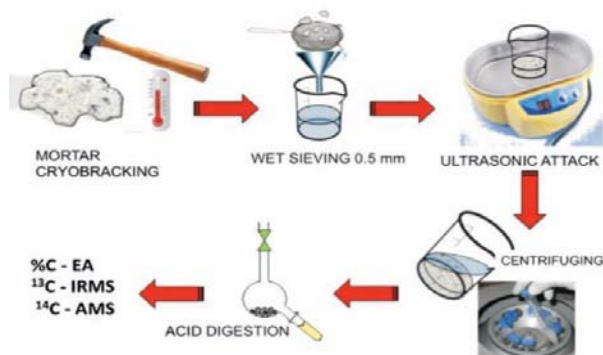


Figura 9.4.- Protocolo de separación de muestra (tomado de Quirós *et al.*, 2011)

El método seguido por estos investigadores constituye una modificación a la propuesta de Narowcka *et al.* 2005<sup>334</sup> (denominada Cryo2SoniC), basadas en la asunción de que el aglutinante carbonatado es más fácilmente rompible que cualquier otra estructura agregada al mortero.

Este grupo defiende las ventajas del **método CIRCLE - Sapienza**:

- 1.- La completa digestión de las fracciones aisladas del mortero en laboratorio evitan las dificultades ocasionadas por la evolución secuencial de las fracciones obtenida por ataque químico
- 2.- El limitado número de análisis realizados: uno por muestra, después de haberse precisado el método de evaluación mientras que otros analizan de 3 a 5 alícuotas de  $CO_2$  de cada muestra, obtenidas por la digestión ácida con ácido ortofosfórico (85wt%) o clorhídrico (solución standard 1,5N).

En la publicación de Nonni, *et al.*, (2013), describen el protocolo anterior, implementado con otras técnicas. Comienzan con un estudio de caracterización previo del mortero mediante

<sup>332</sup> Una alícuota es una parte proporcional que mide exactamente a un todo. La alícuota que se toma de un volumen (alícuota líquida) o de una masa (alícuota sólida) iniciales, tiene unas propiedades físicas y químicas y una composición que representa la de la sustancia original.

<sup>333</sup> Marzaioli F., Borriello G., Passariello I., Lubritto C., De Cesare N., D'Onofrio A. and Terrasi F. (2011) "Zinc reduction as an alternative method for AMS radiocarbon dating: process optimization at CIRCE. RADIOCARBON, Vol 50, Nr 1, 2008, p 139–149

<sup>334</sup> Nawrocka, D.; Michniewicz, J.; Pawlyta, J.; Padzur, A. Geochronometria 2005, 24, 109–115

técnicas petrográficas (POL, DRX y SEM-EDX). Durante esta caracterización preliminar analizan la naturaleza de la matriz, las calizas residuales parcialmente calcinadas que aparecen como agregados calcáreos en el mortero y las recristalizaciones de calcita. La difracción de rayos X la realizan sobre 0,25 g de fracción granulométrica de mortero inferior a 63 µm, después del machaqueo y tamizado de la muestra.

Posteriormente los análisis de  $^{14}\text{C}$  los realizan a partir de muestras sometidas a *cryobracking*, ataque ultrasónico y centrifugación, aunque describen el proceso de manera algo diferente a como lo hacen Quirós *et al.*, en 2011, introduciendo un doble paso de ataque ultrasónico. El procedimiento surge de combinar edades experimentales con tiempos de suspensión. Estas experiencias evidencian un repentino envejecimiento en edad en suspensiones iniciales (10 min) y un total rejuvenecimiento en sucesivas suspensiones posteriores, sin diferencias significativas estadísticamente cuando las suspensiones se mantienen 30 – 50 min. Esto se interpreta como que los finos carbonatos agregados entran repentinamente en suspensión, Estos materiales significativamente envejecidos en las primeras suspensiones, producidas en los primeros 10 min de ataque ultrasónico, son eliminados, produciendo las denominadas *Cryo2Sonic – fracción suspendida de arena* *Cryo2Sonic susp\_ sand fraction*.

El procedimiento de Nonni *et al.* se explica con detalle a continuación:

- 1.- 5 g de muestra de mortero se sumerge en nitrógeno líquido hasta alcanzar el equilibrio térmico, para ser inmediatamente sometida a 80°C durante varios minutos. Transcurridos 3 ciclos, los morteros se rompen con un martillo.
- 2.- Este mortero, ya disgregado se tamiza, reservando la fracción inferior a 800µm, la cual es introducida en un tubo beaker de 75 mL, en cual se incorpora 40 mL de agua desionizada y descarbonatada (DDW).
- 3.- Una vez completada la sedimentación, a las 12 horas, se recoge el polvo, el cual se vuelve a humedecer con 40 mL de agua DDW y la muestra se somete a una primera selección ultrasónica durante 10 min. Transcurrido este tiempo, el agua DDW, donde las partículas del mortero están suspendidas, es transferida a un tubo centrífugo Falcon de 75 mL. Esta fracción del aglutinante representa la fracción potencialmente afectada por el carbono muerto contaminante y que ellos denominan *susp\_sand*, debido a la probable presencia de granos de arena de naturaleza carbonatada que entran en suspensión más fácilmente y antes que las partículas del aglutinante.
- 4.- Al polvo residual, decantado en el fondo del tubo después del primer ataque ultrasónico y al total de la suspensión de arena (*susp\_sand*) se le añaden otros 40mL de DDW y se someten a ataque ultrasónico durante 30 min. Finalizado este tiempo, 30mL de agua es sifonada y recogida en otro tubo Falcon centrífugo, con cuidado de no introducir suspensión de sedimentos. Esta última fracción, representaría la suspensión que garantiza la edad correcta y la denominan suspensión (*susp*).

5.- Este tubo Falcon con la suspensión de carbonatos de la matriz (*susp*) y la otra suspensión (*susp\_sand*) son centrifugadas a 8 Krpm durante 5 min y se dejan precipitar una noche a 80°C.

6.- 40 mg de las dos suspensiones (*susp* y *susp\_sand*) son atacadas bajo vacío con ácido ortofosfórico durante 2 horas a 85°C. Las muestras de carbón incluidas en el mortero son físicamente separadas y pretratadas según protocolo de Berger's (1992). Finalmente las edades de  $^{14}\text{C}$  de las dispersiones de las dos suspensiones (*susp* y *susp\_sand*) son comparadas con las edades  $^{14}\text{C}$  de los carbones. Comparados estos resultados se concluye que los datos proporcionados por la edad de la suspensión (*susp*) son más estables y exactos que los que proporcionan la suspensión arenosa (*susp\_sand*) y generalmente concuerdan con datos los obtenidos para los carbones.

Ortega *et al.* en 2012<sup>335</sup> establecen un nuevo protocolo previo de separación mecánica. Su método se basa en la relación que existe entre el tamaño de las partículas con su origen. Según estos autores, partículas con tamaños mayores a 1  $\mu\text{m}$  corresponden a geopartículas detríticas, mientras que reacciones químicas producen tamaños de partícula muy pequeñas, tanto en ambientes subaéreos (Wilson y Spengler 1996<sup>336</sup> y Seinfeld y Pandis 2006<sup>337</sup>) como acuosos (Davis y Kent 1990<sup>338</sup>; Salama y Wilson 2000<sup>339</sup>).

La ausencia de tamaños pequeños de partícula en materiales geológicos la justifican debido al desgaste y transporte en medio acuoso, lo cual sólo afectaría al árido carbonatado. Fracciones inferiores a 1  $\mu\text{m}$  son rápidamente disueltas en agua natural después de 12 horas a PH 5-6 (Fig. 9.5). La moda es de 4  $\mu\text{m}$  aunque existe un pico a 1,5  $\mu\text{m}$  y una cola a 20  $\mu\text{m}$  (B). La mayoría de las partículas menores de 1  $\mu\text{m}$  desaparecen y además la moda pasa de 4 a 3  $\mu\text{m}$ . Esta transformación de la moda es resultado de la disolución ácida en agua. No solo las partículas menores se disuelven, si no que los granos gruesos presentan disolución parcial al SEM. Por lo tanto, partículas menores de 1  $\mu\text{m}$ , aseguran que deben de ser producidas por nucleación y crecimiento.

Estudios experimentales muestran que los aglutinantes carbonatados se caracterizan por tamaños comprendidos entre 200 y 400  $\mu\text{m}$  (Marzaioli *et al.*, 2011) debido al elevado grado de endurecimiento de los morteros de cal durante la carbonatación con la incorporación del  $^{14}\text{CO}_2$  atmosférico (Moropoulou *et al.*, 2000<sup>340</sup>, Kosednar-Legenstein *et al.*, 2008<sup>341</sup>). Según este

---

<sup>335</sup> Ortega L. A., Zuluaga M. C., Alonso-Olazabal A. Murelaga X., Insausti M. Ibañez-Etxeberria A. (2012) "Historic lime-mortar  $^{14}\text{C}$  dating of Santa María la Real (Zarautz, northern Spain): extraction of suitable grain size for reliable  $^{14}\text{C}$  dating". *RADIOCARBON*, Vol 54, Nr 1, 2012, p 23–36

<sup>336</sup> Wilson R, Spengler JD. (1996). "Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects". Cambridge: Harvard University Press. 259 p.

<sup>337</sup> Seinfeld J.H., Pandis S.N. (2006). "Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change". Hoboken: Wiley. 1203 p.

<sup>338</sup> Davis J.A., Kent D.B. (1990). "Surface complexation modeling in aqueous geochemistry". In: Hochella MF, White AF, editors. *Mineral-Water Interface Geochemistry*. Chantilly: Mineralogical Society of America. p 177–260.

<sup>339</sup> Salama A.I.A., Wilson A.D. (2000). "Mechanical techniques: particle size separation". In: Wilson AD, editor. *Encyclopedia of Separation Science*. Oxford: Academic Press. p 3277–89.

<sup>340</sup> Moropoulou A, Bakolas A, Bisbikou K. (2000). "Investigation of the technology of historic mortars". *Journal of Cultural Heritage* 1(1):45–58.

procedimiento, dicen que han optimizado el procedimiento de obtención de partículas < de 300  $\mu\text{m}$  que aseguran que todos los carbonatos separados son generados por el apagado de la cal y consecuentemente, el carbón que ellos están midiendo es el atmosférico. Esta técnica de sedimentación y centrifugación de las disoluciones es rutinariamente usada en los estudios mineralógicos de suelos y arcillas para la separación de partículas inferiores a 2  $\mu\text{m}$  (2008<sup>342</sup>). A mayor incremento de centrifugación, mayor velocidad de sedimentación.

Esta preselección del tamaño de la granulometría objeto de análisis podría implementarse a cualquiera de los métodos anteriormente propuestos.

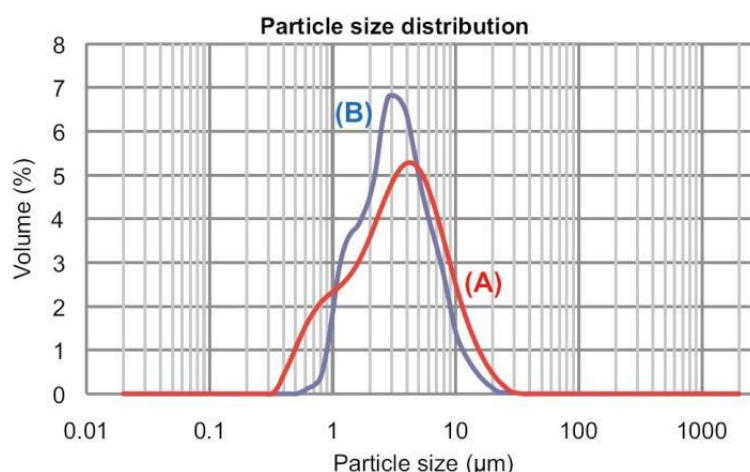


Figura 9.5.- Histogramas de distribución de molienda de calizas con rangos de tamaño de partícula comprendidos entre 0,4 y 20  $\mu\text{m}$  (curva A). La curva B muestra la distribución de las partículas después de 12 horas sumergidas en agua (PH 5-6) (tomado de Ortega *et al.*, 2012).

Se trata de obtener el menor tamaño de partícula. Para ello Ortega *et al.*, 2012 proponen:

- 1) El mortero disgregado es introducido en un baño ultrasónico con 150 mL de agua ultrapura a PH 8 durante 10 minutos para promover el desmenuzamiento.
- 2) Los 50 mL volumétricos superiores son recogidos a partir de la fracción suspendida que corresponde al tamaño de partícula inferior a 20  $\mu\text{m}$ . El histograma de distribución de tamaños presenta dos modas; una para las partículas de grano fino (0,2  $\mu\text{m}$ ) y otra para las gruesa (1,5  $\mu\text{m}$ ) con una cola próxima a los 20  $\mu\text{m}$  (Fig. 9.6).
- 3) Para separar la fracción menor de 20 $\mu\text{m}$ , la muestra se resuspende en 65 mL en medio acuoso y la suspensión se vuelve a introducir en un baño ultrasónico, promoviendo la disgregación de las partículas. El PH del medio acuoso es de 8, óptimo para la dispersión de los cristales pequeños y evita la disolución parcial de las partículas del

<sup>341</sup> Kosednar-Legenstein B., Dietzel M., Leis A., Stingl K. (2008). "Stable carbon and oxygen isotope investigation in historical lime mortar and plaster - results from field and experimental study". *Applied Geochemistry* 23(8):2425–37.

<sup>342</sup> Laird D.A., Dowdy R.H. (1994). "Preconcentration techniques in soil mineralogical analyses". In: Luxmoore RJ, editor. *Quantitative Methods in Soil Mineralogy*. Madison: Soil Science Society of America. p 236–66.

- aglutinante (Warkentin *et al.*, 1980<sup>343</sup>). Esta suspensión se centrifuga durante 60 s a 1000 rpm.
- 4) Los 15 mL volumétricos más superficiales son recogidos, los cuales corresponden a los tamaños menores de 1  $\mu\text{m}$ , con una moda de 200 nm (Fig. 9.6A).
  - 5) Esta fracción es purificada vía centrifugación a 3000 rpm, durante 10 minutos. Este procedimiento se repite las veces necesarias hasta obtener la cantidad de carbonato suficiente para el AMS. En este estudio este proceso se repitió 5 – 8 veces hasta obtener 40–80 mg de muestra.

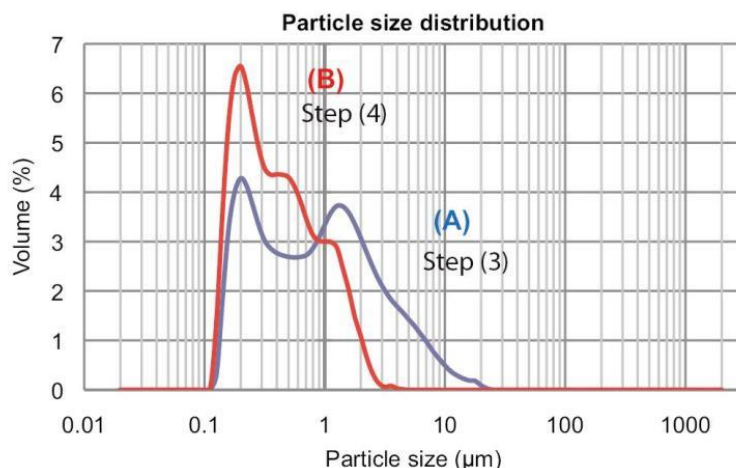


Figura 9.6.- Histograma de tamaño de grano de partículas procedentes de un mortero romano. A) La distribución después de 3 extracciones es bimodal con modas localizadas en 0,2  $\mu\text{m}$  y 1,5  $\mu\text{m}$ . B) La distribución después de 4 extracciones muestra la moda en 0,2  $\mu\text{m}$ . La distribución de tamaños se extiende hasta las 20  $\mu\text{m}$  en la curva A y hasta 4  $\mu\text{m}$  en la curva B (tomado de Ortega *et al.*, 2012).

Mediante este procedimiento se separan las partículas carbonatadas del aglutinante (formadas por la reacción de la cal con el  $\text{CO}_2$  atmosférico) de las partículas detríticas (formas aplastadas), de las calizas, no calcinada (formas redondeadas) o de otros fragmentos calcáreos agregados. De esta manera todo el carbono muerto, no atmosférico es removido, lo cual es confirmado con observaciones al SEM.

CIRCLE y Ortega critican a Heinemeier por el elevado tamaño de grano de partida, pero ellos parecen no tener en cuenta los posibles procesos de recarbonatación que rejuvenecen las edades. La recarbonatación de la matriz incorporaría carbonatos con tamaños de grano muy pequeño.

<sup>343</sup> Warkentin B.P., Maeda T. (1980). "Physical and mechanical characteristics of Andisols". In: Theng BKG, editor. Soils with Variable Charge. Lower Hutt: New Zealand Society of Soil Science. p 281–302.



## ÍNDICE DE TABLAS







## 10.- ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Asociaciones cromáticas de algunos pigmentos con sus elementos o compuestos químicos de procedencia.	23
Tabla 2.2.- Pigmentos empleados entre finales de la Edad media y la Edad moderna.	25
Tabla 2.3.- Pigmentos históricos.	25
Tabla 2.4A.- Pigmentos, clasificados por colores.	26
Tabla 2.4B.- Pigmentos, clasificados por colores.	27
Tabla 4.1A.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	72
Tabla 4.1B.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	73
Tabla 4.2A.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.	73
Tabla 4.2B.- Cámara Santa: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.	74
Tabla 4.3.- Foncalada: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	78
Tabla 4.4.- San Salvador de Valdediós: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	86
Tabla 4.5.- San Salvador de Valdediós: muestras de mortero datadas con carbono 14, mediante AMS	86
Tabla 4.6.- Santa Cristina de Lena: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	93
Tabla 4.7.- Santa Cristina de Lena: muestras de mortero datadas con carbono 14, mediante AMS.	93
Tabla 4.8A.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	108
Tabla 4.8B.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	109
Tabla 4.8C.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de morteros.	110
Tabla 4.9A.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.	111
Tabla 4.9B.- San Miguel de Lillo: tipos de análisis y técnicas empleadas para la caracterización de las pinturas.	112
Tabla 4.10.- San Miguel de Lillo: muestras de mortero datadas con carbono 14, mediante AMS.	112

Tabla 5.1.- Estratigrafía de la muestra ArEB13, donde se observa la secuencia completa de superposición de albayaldes	152
Tabla 5.2.- Cámara Santa: Morteros	182
Tabla 5.3.- Cámara Santa: Morteros y pintura mural. Secuencia estratigráfica del revoco interior.	183
Tabla 5.4.- Cámara Santa: morteros y pintura mural. Secuencia estratigráfica del revoco exterior y del mortero de restauración.	183
Tabla 5.5.- Cámara Santa: morteros y pintura mural. Secuencia estratigráfica del revoco exterior.	183
Tabla 5.6.- Tabla de porcentajes atómicos, relativas a los espectros químicos obtenidos en la muestra de mortero original, analizadas al SEM-EDX.	187
Tabla 5.7.- Foncalada: características petrofísicas de los morteros.	190
Tabla 5.8A.- San Salvador de Valdediós: resumen comparativo de los morteros.	220
Tabla 5.8B.- San Salvador de Valdediós: resumen comparativo de los morteros.	221
Tabla 5.9.- San Salvador de Valdediós: Muestras seleccionadas para su datación por radiocarbono	222
Tabla 5.10.- San Salvador de Valdediós: Fechas calibradas	224
Tabla 5.11.- Santa Cristina de Lena: Resumen comparativo de los morteros	242
Tabla 5.12.- Santa Cristina de Lena: Muestras seleccionadas para su datación por radiocarbono	243
Tabla 5.13.- Santa Cristina de Lena: Fechas calibradas	246
Tabla 5.14A.- San Miguel de Lillo: Resumen comparativo de los morteros del interior.	298
Tabla 5.14B.- San Miguel de Lillo: Resumen comparativo de los morteros del exterior	299
Tabla 5.15.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en las cajas de escalera.	302
Tabla 5.16.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en las habitaciones laterales.	303
Tabla 5.17.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda del pórtico.	304
Tabla 5.18.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda de la tribuna.	305
Tabla 5.19A.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas, en el lateral este de la nave sur	306
Tabla 5.19B.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras, recogidas en el lateral oeste de la nave sur,.	307
Tabla 5.20.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la nave norte.	308
Tabla 5.21.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda y lateral norte de la nave central	311

Tabla 5.21B.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras, recogidas en el lateral sur de la nave central	312
Tabla 5.21C.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral este de la nave central	313
Tabla 5.21D.- San Miguel de Lillo. Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral oeste de la nave central	314
Tabla 5.21E.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto superficial y en sección estratigráfica de las muestras recogidas en el lateral oeste de la nave central	315
Tabla 5.22A.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda del ábside	316
Tabla 5.22B.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en la bóveda y en el lateral norte del ábside.	317
Tabla 5.22C.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral norte del ábside	318
Tabla 5.22D.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral norte y sur del ábside.	319
Tabla 5.22E.- San Miguel de Lillo: Referencia, localización, orientación y aspecto macroscópico de las muestras recogidas en el lateral sur y testero del ábside.	320
Tabla 5.23.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en las cajas de escaleras sur y norte	322
Tabla 5.24.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en las habitaciones laterales norte y sur	322
Tabla 5.25.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en la bóveda del pórtico y la tribuna	323
Tabla 5.26.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral oeste, este y sur de la nave sur.	324
Tabla 5.27.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas la bóveda norte y lateral norte y sur, columnas y relieves de la nave norte.	325
Tabla 5.28A.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en la bóveda y lateral sur.	326
Tabla 5.28B.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en lateral oeste y norte de la nave central	327
Tabla 5.28C.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral este de la nave central.	328
Tabla 5.29A.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en la bóveda del ábside	329
Tabla 5.29B.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral norte del ábside	330

Tabla 5.29C.- Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral sur del ábside.	331
Tabla 5.29D.- San Miguel de Lillo: Estratigrafías correspondientes a las muestras localizadas en el lateral este del ábside.	332
Tabla 5.30.- San Miguel de Lillo: Análisis termogravimétricos	341
Tabla 5.31.- San Miguel de Lillo: Fechas calibradas de $^{14}\text{C}$ de los morteros de juntas exteriores.	356
Tabla 5.32.- San Miguel de Lillo: Fechas calibradas de $^{14}\text{C}$ del mortero de juntas interior.	357
Tabla 5.33.- Valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ de cada una de las fracciones de $\text{CO}_2$ aisladas (la 1ª a los 8-10 s; la 2ª a los 60 s) y valores de $\delta^{13}\text{C}$ , obtenidos en las muestras datadas mediante procedimientos tradicionales.	360
Tabla 6.1.- San Salvador de Valdediós: asociaciones mineralógicas detectadas en los morteros procedentes de las cubiertas	386
Tabla 6.2.- Santa Cristina de Lena: asociaciones mineralógicas detectadas en los morteros procedentes de las cubiertas	396

## AGRADECIMIENTOS





## **11.- AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar expresar mi agradecimiento a mis directores de tesis, Francisco Javier Alonso Rodríguez y Carlota Grossi Sampedro, por la responsabilidad que han asumido, en un tiempo record. Reconozco el esfuerzo que ha supuesto, sin haber planteado dudas de que esta tesis pudiera salir adelante. En segundo lugar agradecer la supervisión de Luis Cabo Pérez, director del Forensic and Bioarchaeology Laboratory del Mercyhurst Archaeological Institute de la Universidad de Mercyhurst, que debería figurar como el tercer director de esta tesis. Él ha sido el que me ha introducido en el mundo del carbono 14, que me tiene totalmente fascinada y siempre ha atendido mis consultas, de forma totalmente desinteresada, como sólo puede hacer un buen amigo. A Conchi Ania y a José Bernardo Parra, del Instituto Nacional del Carbón (CSIC), por su entusiasmo y puesta en marcha de la versión 1.0 de captura de CO<sub>2</sub>, sin su ayuda, esta tesis hubiera quedado inconclusa. Muchísimas gracias, me lo he pasado fenomenal y desde aquí deciros que sois unos cracks, que estoy en deuda con los dos y, que la primera versión ha resultado inmejorable. A Félix Mateos y a Luis Valdeón, por 15 años de trabajo compartido, peleando juntos para que GEA se haya ido consolidando, por lo que nos queda, que espero sea mucho, y por haberme aguantado estos últimos meses, completamente chiflada. Por supuesto, también a Verónica Fernández y a Javier Castro, con los que he trabajado codo a codo. A todos los que han participado en las obras que se presentan en esta tesis, con los que he compartido andamio, inquietudes, preocupaciones y momentos de entusiasmo. Gracias a Jorge Hevia, Cosme Cuenca, Manuel Fernández, Jaime Represa, Luis Saro, Pablo Klett, Jorge Chachero, Sara Prieto, José Prieto, Sergio Ríos, Adolfo Sánchez, Vidal Sánchez, Benito Gallego, Rafael Somoano, Agustín Hevia, Chema Hevia, Pedro Díaz, Arturo Carbajal, María Hernández, Ignacio Alonso, Javier Felgueroso, Florentino Rodríguez, Luisa M<sup>a</sup> Fernández, Eduardo Soto, Carlos Gorbea, Fernando Nanclares, Eduardo Bárzana, Enrique Escudero, Pedro Manso, Otilia Requejo, Lorenzo Arias y a Monserrat Álvarez. Ha sido un placer trabajar con vosotros. De todos he aprendido mucho aunque mi primer recuerdo en el andamio siempre estará ligado a Luisa y a Eduardo, a los cuales me une una especial amistad, de muchas horas de trabajo en común. Tanta dedicación e implicación en el trabajo, del cual me han hecho partícipe, me ha permitido ir familiarizándome con muchos aspectos, al principio ajenos a mi profesión, aunque todavía tenemos pendiente un curso de morteros, que Eduardo hace años, nos ha prometido. Tampoco me quiero olvidar de Javier Contreras, aunque los kilómetros nos separan, siempre ha compartido conmigo sus sabios y experimentados consejos. Nuestros breves pero intensos encuentros, siempre acompañados de un buen vino, me recargan de energías para seguir trabajando en lo que más me gusta y seguir peleando el día a día, que a veces es demoledor, como la vida misma. La idea de rizar el rizo y reanalizar incluso lo que parece más evidente, siempre ha sido un nexo común. A Jorge Chachero, además de por ser un excelente profesional, porque estoy endeudadísima con él. Siempre se

embarca conmigo en proyectos interesantísimos que de momento no conseguimos que salgan adelante. Algún día será verdad y mientras tanto, seguiremos disfrutando con nuestro trabajo. Besazos a Nuria porque también ella, se lo merece. A Nemesio y a Maribel, a Carlos y a Gloria, al Pérez y a María, a Gonzalo y a Maica, a Ramón y a Marité, a Rita y a Senén y a Andrés y a Sara, no necesito explicarles la razón de mi agradecimiento porque ellos ya lo saben, y además no encuentro palabras. Solo sé que él os quería y nosotras también. A Cristina y a Arturo por estar ahí siempre y para siempre. A Santi porque sí, porque con amigos como él, uno entiende perfectamente el concepto de la amistad. A Ángel, a Salva, a Carmen Gloria, a José Carlos, a Chofi, a Bea y a Javi, a Pepa, a María, a Tere y a Patricia, por haber compartido mi pasado con vosotros, y porque en el futuro no tengo ninguna duda de que seguiremos compartiendo nuestra amistad. Perdonad que os haya tenido abandonados, el Xacobiño marca los tiempos. Y por supuesto, a toda mi familia que siempre está ahí cuando los necesito. En especial a mi madre por haber seguido sin él, a Paula porque es la mejor hermana que uno puede tener y a Olga porque no tengo ninguna duda de que nos quedan muchos años por delante. A David porque es el que yo elegí, con sus virtudes y sus defectos, que mucho hay de los dos y si lo he hecho por algo será. No suelo equivocarme y además estoy segura que siempre tendremos nuestros puntos de encuentro y de encontronazo. A Jacobo, *pobriño* por lo que te queda, aunque ahí están los genes que tendrás que gestionar como buenamente puedas, y por el momento ya apuntas maneras. A Rosa Esbert porque mi carrera profesional siempre estará ligada a ella y porque siempre compartió con nosotros sus conocimientos y experiencias, además de su cariño y entusiasmo. Estoy segura de que te hubiera gustado ver esta tesis terminada. Y por último a mi padre que es el responsable de que sea como soy. De él he heredado esa genética que me ha permitido llegar hasta aquí, e incluso ser capaz de acabar esta tesis. Aunque para nosotros siempre estás, en estos momentos te echo especialmente de menos, estoy segura de que lo hubieras disfrutado.

Muchos habéis compartido estos años conmigo, siento si me he olvidado de alguno, pero es que la edad no perdona.

*Estos estudios han estado financiados por:*

- Consejería de Educación Cultura y Deporte, del Gobierno del Principado de Asturias.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de España
- Fondos propios

En este sentido, mi especial agradecimiento a:

A José Adolfo Rodríguez Asensio, a Manuel Rodríguez y a Rolando Díaz del Ayuntamiento de Lena por haber apoyado la propuesta de GEA en la SOLICITUD DE AYUDAS PARA PROYECTOS DE CONSERVACIÓN, PROTECCIÓN Y DIFUSIÓN DE BIENES DECLARADOS PATRIMONIO MUNDIAL, titulado "Morteros Prerrománicos: estudios petrológicos comparativos destinados a su datación cronológica".







Universidad de Oviedo  
Departamento de Geología