

UN CATÁLOGO DE ARGAMASAS HISTÓRICAS

A CATALOG OF HISTORICAL MORTARS

Pablo Guerra García¹

¹ Doctor con Mención Internacional en Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico por la Universidad Politécnica de Madrid (2015). p.guerra.garcia@gmail.com

RESUMEN: Este artículo tiene como objetivo, por un lado, la descripción de las muestras de argamasas históricas que han sido recogidas y procesadas a lo largo de seis años de trabajo de investigación. Las muestras forman parte de una tesis doctoral que analizaba principalmente morteros romanos de cal con áridos silíceos y cerámicos. Sin embargo, a lo largo de este proceso se muestrearon también otras argamasas de diferentes tipologías y cronologías, con la finalidad de cotejar los resultados obtenidos por medio de técnicas macroscópicas y microscopía óptica polarizada. La extracción se realizó con la autorización de los directores arqueólogos de una veintena de yacimientos arqueológicos y monumentos. El tratamiento de las argamasas por medio de cortes con máquina se desarrolló tanto en el Laboratorio de Materiales de la ETSAM (UPM) como en las instalaciones del Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, perteneciente al Consiglio Nazionale delle Ricerche en Florencia (Italia), así como en el laboratorio de arqueología de la empresa Trébede Patrimonio y Cultura S.L. Como consecuencia, no solo se ha obtenido un muestrario muy completo formado por morteros que abarcan desde el calcolítico hasta época moderna, sino que se ha afianzado una metodología basada en la macroscopía, que puede servir como precedente para futuros trabajos que analicen las argamasas históricas desde una perspectiva física. Asimismo propone una secuencia de trabajo que favorece el conocimiento de este elemento constructivo, y permite el acceso de los futuros profesionales de la restauración arquitectónica a un material original, de carácter arqueológico y arquitectónico fundamental para el conocimiento

de las técnicas constructivas históricas.

PALABRAS CLAVE: argamasas, arqueometría, caracterización, cocciopesto, macroscopía.

ABSTRACT: *The objective of this paper is to describe the samples of historical mortar that have been collected and processed during six years of research work. The samples are part of a doctoral thesis that analyzed mainly Roman lime mortars with siliceous and ceramics aggregates. However, throughout this process, other mortars of different types and chronologies were also sampled, in order to compare the results obtained by means of macroscopic techniques and polarized optical microscopy. The extraction was carried out with the authorization of the archaeological directors of archaeological sites and monuments. The treatment of mortars was made by a machine disc-cutter, and developed both in the Materials Laboratory of the ETSAM (UPM) and in the facilities of the Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, belonging to the Consiglio Nazionale delle Ricerche in Florence (Italy), as well as in the archaeology laboratory of Trébede Patrimonio y Cultura S.L. As a result, a catalogue of samples has been obtained, consisting of mortars ranging from the Copper Age to the Modern Period. Although a methodology based on macroscopy has been established, serving as a model in future works analyzing the historical mortars from a physical perspective. It also proposes a sequence of work that favours the knowledge of this building material, allowing the access of professionals of architectural restoration to the original material, which moreover, became an archaeological and architectural component for the knowledge of the historical constructive techniques.*

KEYWORDS: mortar, archaeometry, characterization, cocciopesto, macroscopy.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los morteros históricos cuenta con numerosos referentes, tanto desde el punto de vista descriptivo como analítico (Middendorf, 2005a; 2005b; Miriello *et al.*, 2010; Moropulou *et al.*, 1998; Álvarez Galindo *et al.*, 1995; Alejandro Sánchez, 2002; Elsen, 2006). La inquietud por este material

constructivo se ha incrementado gracias al auge de la restauración arquitectónica, basada en la recuperación de monumentos y en la musealización de yacimientos arqueológicos (Alarçao, 2008; Robador González, 2002). A su vez, esta nueva tendencia ha implicado un mejor y mayor conocimiento de las argamasas en cuanto a sus características físicas, químicas y mineralógicas, aplicando nuevas técni-



FIG1. Origen de algunas de las muestras recogidas: a) Sé Catedral de Santa María (Idanha-a-Velha, Portugal); b) Yacimiento de Las Arenas (Medellín, Badajoz); c) Yacimiento de Val de la Viña (Alovera, Guadalajara); d) Yacimiento de Rotonda de Mejorada (Torrejón de Ardoz, Madrid). Fuente: el autor.

cas de caracterización e implicando a profesionales de diferentes especialidades y academias como la geología (Ontiveros Ortega, 2003), la biología o la arqueología (Rodríguez Gutierrez *et al.*, 2000), además de la arquitectura o la restauración (Aku Amezugbe, 2013; Balbas *et al.*, 2002).

En lo relativo a la colección de argamasas que aquí se presenta, las muestras tomadas han contando con la ayuda y colaboración de los responsables de los proyectos arqueológicos. Esta colaboración fue, en ocasiones, fruto del espíritu por ampliar el conocimiento en aspectos relacionados con el con-

Muestra	Yacimiento	Localidad	Conglomerante	Áridos	Cronología
MG	La Magdalena	Alcalá de Henares (Madrid)	Mortero de cal	Arenas y cerámicas	Romana
CB	Cerro del Bu	Toledo	Mortero de cal	Arenas	Edad del Bronce
VV	Val de la Viña	Alovera (Guadalajara)	Mortero de cal	Arenas y cerámicas	Romana
LA	Las Arenas	Medellín (Badajoz)	Mortero de cal	Arenas y cerámicas	Romana
CL	Casas de Luján	Saelices (Cuenca)	Mortero de yeso	Arenas	Romana
AT	Estación de Atocha	Madrid	Hormigón	Cemento Pórtland y arrastres	Contemporánea
SP	Santa Potenciana	Villanueva de la Reina (Jaén)	Mortero de cal Hormigón	Arenas	Romana Islámica
LL	Llanos de Pinilla	Saelices (Cuenca)	Mortero de cal	Arenas y dolomías	Romana
IV	Sé Catedral de Santa María	Idanha-a-Velha	Mortero de cal	Arenas y cerámicas	Moderna

Tabla 1. Contexto arqueológico y datos físicos de las muestras.

texto arqueológico que se está investigando. Otras veces la colaboración surgió ante la duda sobre la naturaleza de una estructura, o de un material, y por lo tanto se recurre al análisis de la argamasa. En cualquier caso, la colaboración multidisciplinar, aplicada de una forma horizontal o transdisciplinar, ha dado como resultado un método de trabajo que podría aplicarse a otros materiales constructivos como la madera, el ladrillo o la piedra.

En definitiva, no solo se trata de un catálogo de muestras de argamasas históricas, sino que se trata de un gran repertorio de procedimientos y metodologías cruzadas que ha permitido la documentación exhaustiva de algunos contextos arqueológicos desde el Calcolítico hasta la Modernidad. La presentación de las muestras, originales y en buen estado de conservación, representa el culmen de un estudio que pretende complementar los trabajos desarrollados en otros países como Italia (Pecchioni *et al.*, 2008), o en Francia (Coutelas *et al.*, 2004), en donde los catálogos de materiales son tan comunes como necesarios (A.A.V.V. 2008; Potenza, 2009).

2. YACIMIENTOS Y MATERIALES

Las argamasas pertenecen al ámbito geográfico de España y Portugal, y corresponden en su mayoría a morteros de cal con árido silíceo (Fig. 1). En líneas generales su consistencia es buena (es decir, no se desprenden granos al tacto), y no ha sido necesario ningún tratamiento de consolidación.

Aunque son muchas las muestras presentes en el inventario, en la Tabla 1, se ha hecho una selección acorde a sus características compositivas y al contexto arqueológico al que pertenecen. Todas en conjunto representan a la perfección el procedimiento seguido durante estos últimos trabajos de investigación.

Durante los trabajos arqueológicos se identificaron no solo los tipos de morteros, sino su emplazamiento. La mayor parte pertenecen a suelos, pero también se han identificado molduras, morteros de junta o de cimentaciones. En la primera fase de documentación es importante tanto la caracterización visual de las argamasas como también su procedencia. Es por ello que se ha empleado un modelo de ficha en el que se incluyen los detalles más relevantes de las muestras, así como las analíticas llevadas a cabo (Fig. 2).

3. MÉTODO Y DESARROLLO

La extracción de las muestras se desarrolló de dos formas: por toma directa, es decir, del propio edificio o elemento edificado; o bien durante la documentación estratigráfica de los materiales cronoculturales del yacimiento. Así por ejemplo, las muestras procedentes de Llanos de Pinilla (Saelices, Cuenca) fueron extraídas directamente de las paredes de las grandes piletas de decantación. Esto pudo realizarse ya que el yacimiento se encontraba en pleno proceso de excavación de urgencia, y por lo tanto los restos inmuebles debían retirarse para el paso de una conducción de agua. Por lo tanto, y ante la pérdida total de las estructuras excavadas, no existía ningún impedimento para tomar varias muestras de un yacimiento que dejaría de existir meses después. Esto mismo sucede en otras muestras como las extraídas de Rotonda de Mejorada (Torrejón de Ardoz, Madrid) o Las Arenas (Medellín, Badajoz).

Otras muestras, como las tomadas en el yacimiento de Santa Potenciana, en Villanueva de la Reina (Jaén) se tomaron directamente de los estratos arqueológicos, una vez quedaban documentados los restos y sin deteriorar estructura alguna. Merece especial atención las muestras tomadas del yaci-

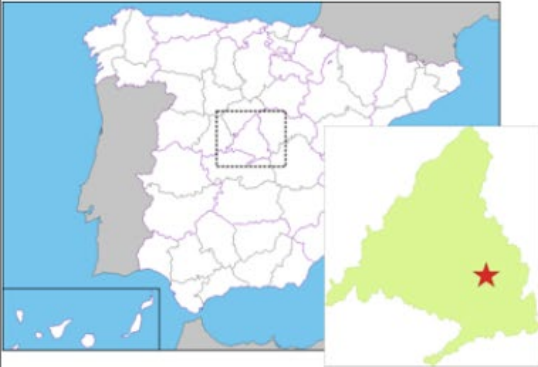
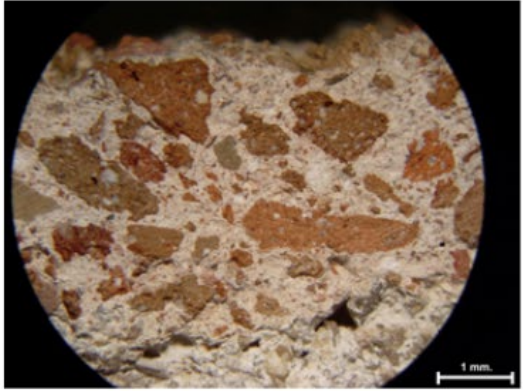
MACROSCOPIA	
Ficha N°: RMJ01 Fecha de extracción: Jun. 2011 Muestra: RMJ Yacimiento: Rotonda de Mejorada (T. Ardoz, Madrid)	
Descripción La muestra RMJ aparenta poca consistencia especialmente en la parte interior del mortero. La parte exterior, con agregados cerámicos, está más compacta. A simple vista se observan bien los fragmentos de cerámica, presentes en la capa exterior. Los agregados se distribuyen de forma más o menos regular, presentando más orden en la capa hidráulica.	
Localización 	
Imagen 1 	
Imagen 2 	
Caracterización En la muestra RMJ se pueden observar al menos dos capas microestratigráficas. En ambas los agregados áridos son cuarzos, feldespatos y micas. Los cuarzos son en su mayoría angulados y de color blanco. Parece que para este mortero sí se efectuó algún tipo de selección del grano, a la vista de las dispersiones en ambas capas (más redondeados en la capa exterior). Las dimensiones son bastante homogéneas y están distribuidos de forma regular. Los agregados cerámicos sólo se presentan en la capa exterior del mortero, con una orientación transversal con respecto a la mezcla.	
Imagen 3 	

FIG2. Detalle de la ficha elaborada por el investigador principal (los derechos sobre esta ficha recaen en el autor de la tesis doctoral defendida en el 2015 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, aunque en la actualidad se encuentra en fase de revisión. Fuente: Guerra García, 2015).

miento de Cerro del Bu, en Toledo, ya que pertenecen a un asentamiento de cronología prehistórica, algo poco habitual incluso en yacimientos donde se documenta una ocupación prehistórica (Ponce *et al.*, 2015). También cabe destacar la muestra tomada durante las obras de la estación de Atocha en Madrid, pues es un hormigón del tipo Jet-Grout de cronología reciente, pero que en su penetración por los suelos arrastró materiales de diferentes cronologías como metales, cerámicas o lozas. Aunque es una técnica constructiva de aplicación actual (Muzas Labad, 1989; Ovando Pineda, 2011) esta peculiaridad le ha servido para estar incluido en el repertorio de argamasas históricas.

Las extracciones se llevaron a cabo con medios mecánicos manuales y sin el empleo de productos

químicos. Previamente se desarrolló una documentación fotográfica completa de los puntos de toma y del procedimiento. En algunos casos, como en la Tumba de Servilia (Carmona, Sevilla) se procedió a la realización de una serie de microtomas por medio de una macroscopía no intrusiva de alta resolución (M.N.I.A.R.), ya que las muestras recogidas proceden de los taludes y caballones del yacimiento, al no ser posible la extracción de muestras de mortero por motivos de conservación de los materiales originales (Fig. 3).

Las muestras que sí pudieron extraerse fueron embolsadas y almacenadas siguiendo un estricto procedimiento de conservación (Fig. 4), establecido por algunos estamentos académicos y científicos, como la International Union of Laboratories and Experts



FIG3. Proceso de monitorización por medio de una macroscopía no intrusiva de alta resolución (M.N.I.A.R.) en el yacimiento de La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid). Fuente: Trébede Patrimonio y Cultural S.L.

in Construction Materials, Systems and Structures –RILEM- (Van Hees, 2004). Además, esta fase, tan importante como las siguientes, queda recogida en algunos trabajos sobre las técnicas de muestreo o sampling, imprescindibles para que los materiales lleguen en perfecto estado y con la consistencia necesaria para poder desarrollar los ensayos programados (Hughes y Callebaut, 2000).

La fase de procesado de muestras (limpieza, corte y pulido) se ha desarrollado en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, en el laboratorio del Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali, situado en Florencia (Italia) y perteneciente al Consiglio Nazionale delle Ricerche, y en una fase final se procesaron muestras en el laboratorio de arqueología de la empresa Trébede Patrimonio y Cultura S.L. (Fig. 5).

Esta fase de procesado ha consistido en la limpieza y en el corte de las muestras (Fig. 6). Previamente, los morteros fueron analizados de visu, observando su consistencia y a la espera de localizar elementos orgánicos o componentes que pudieran resultar relevantes para análisis paralelos, o que se pudieran alterar durante los cortes, como capas pictóricas, decoraciones, espatulados o estucados. Una vez seleccionadas se trocearon aquellas muestras que por su consistencia no quedasen deshechas o trituradas, y por lo tanto, inútiles para otros análisis en el futuro. Este proceso de corte y preparación está documentado en algunos trabajos similares, incluso en otros materiales constructivos (Alonso Rodríguez, 2002; Matysek, 2016).

Las probetas generadas presentan una apariencia limpia, no tanto pulida, pues ese aspecto se le confiere por medio de una pulidora de disco, que en



FIG4. Secuencia de trabajo de procesamiento de las muestras: a) almacenamiento, b) selección, c) troceado y d) documentación previa. Fuente: el autor.



FIG5. a) y b) Almacenamiento de algunas "galletas" y probetas de mortero; c) visualización previa por medio de lupas binoculares. Fuente: el autor.

este no se ha aplicado. Gracias a este proceso de tratamiento de las muestras de mortero, es posible profundizar en los siguientes aspectos morfológicos:

Microestratigrafía: situación de las capas constructivas de adentro hacia afuera, pudiendo establecer una secuencia cronológica relativa por la disposición de los estratos, en este caso, constructivos.

Granulometría: métrica de los áridos en cuanto a su tamaño, estableciendo una relación entre el propio árido y el aglomerante, tamaño medio, dimensión media por tipo de árido (silíceo, cerámico), dimensiones por capa microestratigráfica, etc. Además se pueden establecer clasificaciones del árido empleando, entre muchas otras, la clasificación de Raymond (Pecchioni *et al.*, 2008: 15) que establece una tipología de granos en función de la forma (angular, circular, subangular, etc.).

Distribución: reparto de los áridos en función del

aspecto de corte, que puede ser regular, irregular, ordenada, desordenada. Esta variable permite establecer patrones de fabricación, diferentes si estamos ante un mortero de áridos finos o ante un hormigón de gravas.

Caracterización de componentes: permite identificar los elementos que se encuentran en el mortero, tanto orgánicos (fibras, semillas, insectos, huesos, hojas, pelo, carbones) como inorgánicos (cuarzos, feldespatos, micas, olivinos, cerámica, arcilla).

Esta secuencia de estudio, basada en la macroscopía, se fundamenta en diversos trabajos publicados que refuerzan el uso de estas técnicas como un primer paso en la caracterización de argamasas históricas (Inhgam, 2010; Leslie y Eden, 2008; Pecchioni *et al.*, 2008).

Finalmente, la forma de estas probetas no solo facilita la visualización de un tipo determinado de mortero, sino que el proceso de fabricación facilita



FIG. 6. Maquinaria de corte con hoja hidratada, para cortes masivos (a) y sin hidratar, para cortes finos y acabados (b).
Fuente: el autor.

la ejecución posterior de otros análisis de caracterización más técnicos, como la microscopía óptica de polarización, una técnica sobradamente considerada en la caracterización de morteros (Arpin *et al.*, 2002; Baronio *et al.*, 1999; Elsen *et al.*, 2004). Estas probetas pueden ser recortadas hasta alcanzar las dimensiones necesarias para ser encapsuladas en epoxi o productos de consolidación similares como el Cyclododecane. Además, los cubos facilitan la labor del técnico de laboratorio a la hora de realizar láminas delgadas, y evitando errores de marcación (Fig. 7).

En ocasiones estos errores se deben a que la lámina delgada no se hace en la sección adecuada para un estudio vertical de paramentos, es decir, de dentro a fuera de las capas constructivas, por lo que quedan sin caracterizar algunas superficies del mortero porque no han sido seleccionadas.

4. RESULTADOS PREVIOS

En la actualidad la investigación sigue su curso con la incorporación de nuevas muestras de morteros procedentes de la península Ibérica. Además, algunas argamasas ya procesadas no cuentan con la totalidad de los resultados analíticos. Como ejemplos, además de las muestras mencionadas de la tumba de Servilia en Carmona, destacan los análisis que se están desarrollando en muestras de yacimientos como Albalat (Romangordo, Cáceres) o Jamila (Villanueva de los Infantes, Ciudad Real), con cronologías que abarcan desde la Tardoantigüedad hasta el medievo.

En cualquier caso, las muestras que ya se encuentran analizadas han facilitado unos datos muy interesantes en cuanto a la tipología de argamasas, componentes, adiciones e incluso daños. Desde el

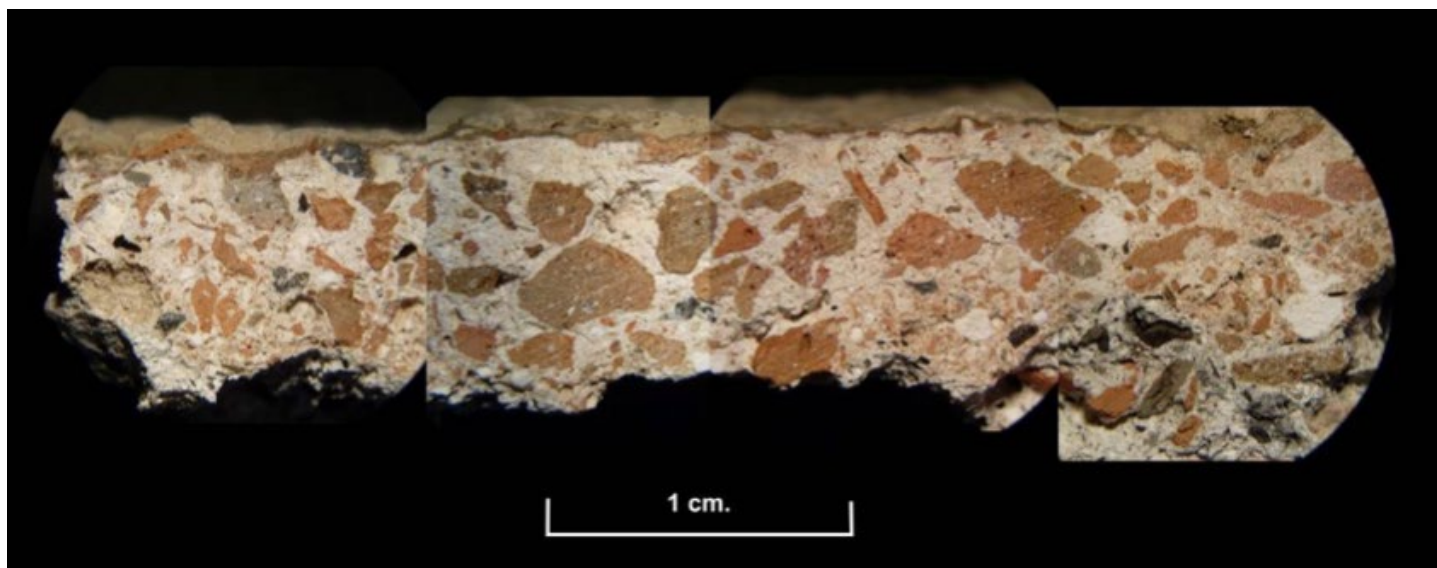


FIG7. Aspecto de una de las probetas correspondientes con la muestra MG, del yacimiento de La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid). Fuente: Guerra García, 2015.

punto de vista de la caracterización más básica, en líneas generales se aprecia una gran variedad de áridos empleados. Resultan especialmente significativos los áridos cerámicos, o puzolánicos, de los que contamos con una completa bibliografía y referencias directas:

“These characteristics were achieved as early as the X century BC through the addition of volcanic ash or crushed bricks and tiles (cocciopesto) to the lime binder used in the construction of aqueducts, ports, tanks and other hydraulic works” (texto de Sabbioni et al., 2002: 84).

Estos áridos corresponden en su mayoría a frag-

mentos de tejas, ladrillos y desechos cerámicos variados, que en su mayoría fueron reutilizados por los constructores romanos para la elaboración de morteros con un carácter hidráulico, en sustitución de los aditivos volcánicos o puzolanas, más empleados en la zona itálica. Además de la denominación de cocciopesto a la mezcla con áridos cerámicos, como se ha visto en la cita anterior, existen otras como la mezcla de la chamota (González Cortina, 2000) o el comúnmente utilizado *opus signinum*, que en la actualidad se encuentra en entredicho (Puche Fontanilles, 2015). En cualquier caso, los fragmentos cerámicos se distribuyen de forma distinta por los niveles constructivos, teniendo unos

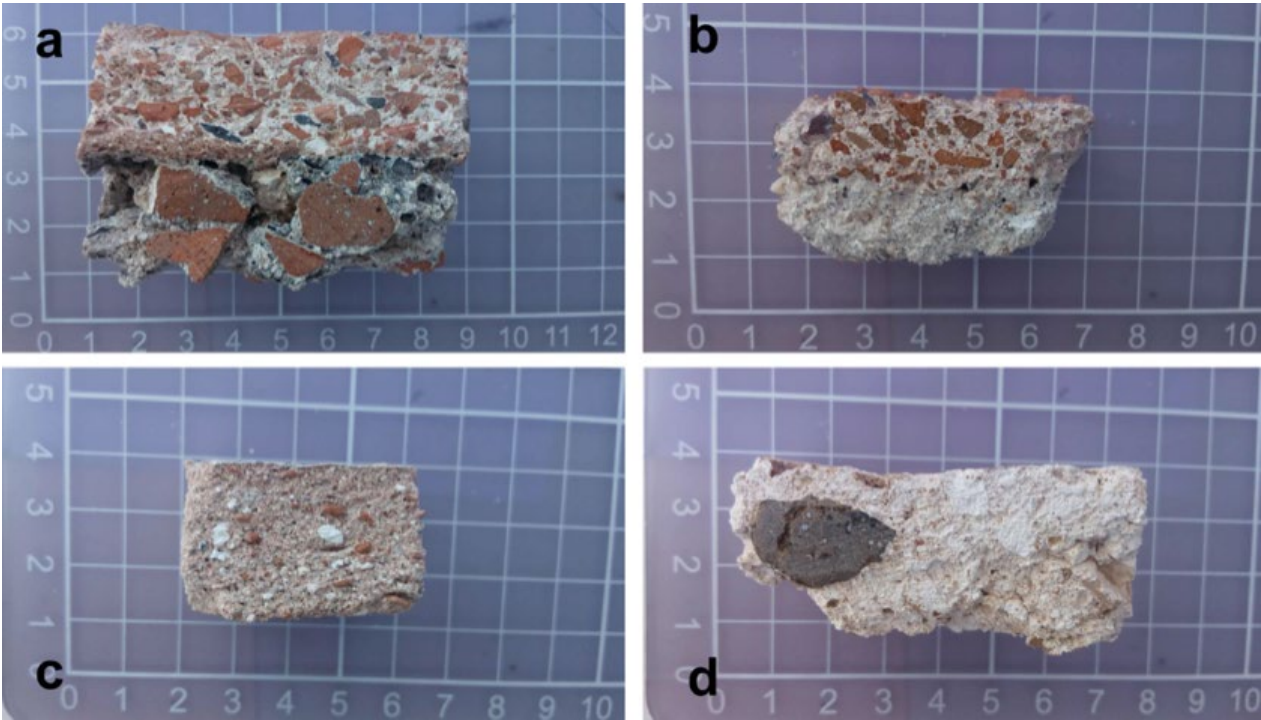


FIG8. Diversos morteros analizados tras el corte, en donde se aprecian distintas granulometrías y distribuciones del cocciopesto: a) presencia de áridos cerámicos en todas las capas; b) ausencia de áridos cerámicos en algunas capas; c) tamaño mínimo de los áridos cerámicos; d) y tamaño desproporcionado de los áridos cerámicos con respecto al resto de adiciones. Fuente: el autor.

morteros hidráulicos con árido muy bien decantado en las capas exteriores (al contacto con los líquidos), mientras que las capas de agarre están formadas por morteros con fragmentos desiguales, de gran tamaño y en ocasiones, mezclados con ceniza, carbones, fibras vegetales, etc.

Comparando las muestras analizadas, existen grandes diferencias entre los morteros destinados a suelos de uso industrial, y los revestimientos de paredes de piletas o cubetas. Esto se aprecia bien comparando los morteros del yacimiento de Las Arenas, en Medellín (Badajoz) y los del yacimiento de Llanos de Pinilla, en Saelices (Cuenca). Mientras que en las primeras los áridos cerámicos presentan dimensiones que superan los 2 cm de diámetro

medio, en las segundas apenas alcanzan 1 cm de media. Además, el cocciopesto de Las Arenas es de naturaleza arcillosa mientras que el documentado en Cuenca presenta una naturaleza dolomítica, propia de la cocción de dolomías, su fractura y su uso como árido, no como conglomerante. Este aspecto se ha conocido gracias al desarrollo de una microscopía óptica polarizada, con la que se han visualizado los cristales de magnesio en la interfaz de los áridos (Fig. 8).

Precisamente, en lo que respecta al árido principal en los morteros de este catálogo, en general estaría compuesto por arenas de cuarzo, feldespatos y mica. Caso aparte merece el mortero documentado en

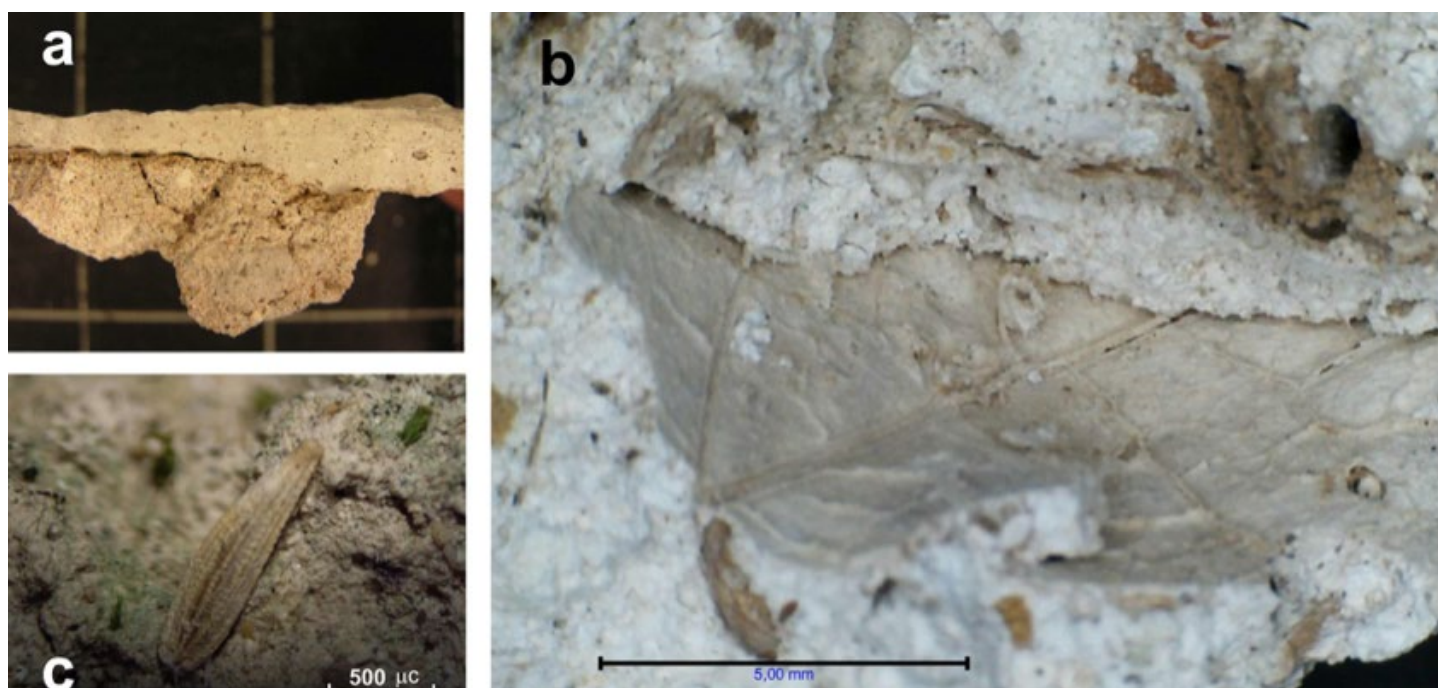


FIG9. Algunos elementos destacables, hallados en los morteros: a) capa de revestimiento de yeso en Casa de Luján (Saelices, Cuenca); b) hoja impresa en un mortero de yeso en La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid); c) semilla probablemente de umbelliferae en hormigones de Santa Potenciana (Villanueva de la Reina, Jaén). Fuentes: J. Morín de Pablos, C. Heras Martínez, A. Bastida Ramírez y J. Nicás Perales.

Casas de Luján, en Saelices (Cuenca), perteneciente a un revestimiento de un complejo termal. La macroscopía determinó la presencia de unos áridos de granulometría muy fina, quizá en exceso. Asimismo se observaron pequeños cristales de yeso sin cocer dentro de la matriz, lo que unido a los resultados de una difracción de Rayos X se determinó que se

trataba de un mortero de cal con una generosa dosificación de yeso.

En el otro extremo se encuentran los hormigones con gravas, y que corresponden en su mayoría a argamasas de cronologías medievales y modernas, destacando una granulometría más heterométrica

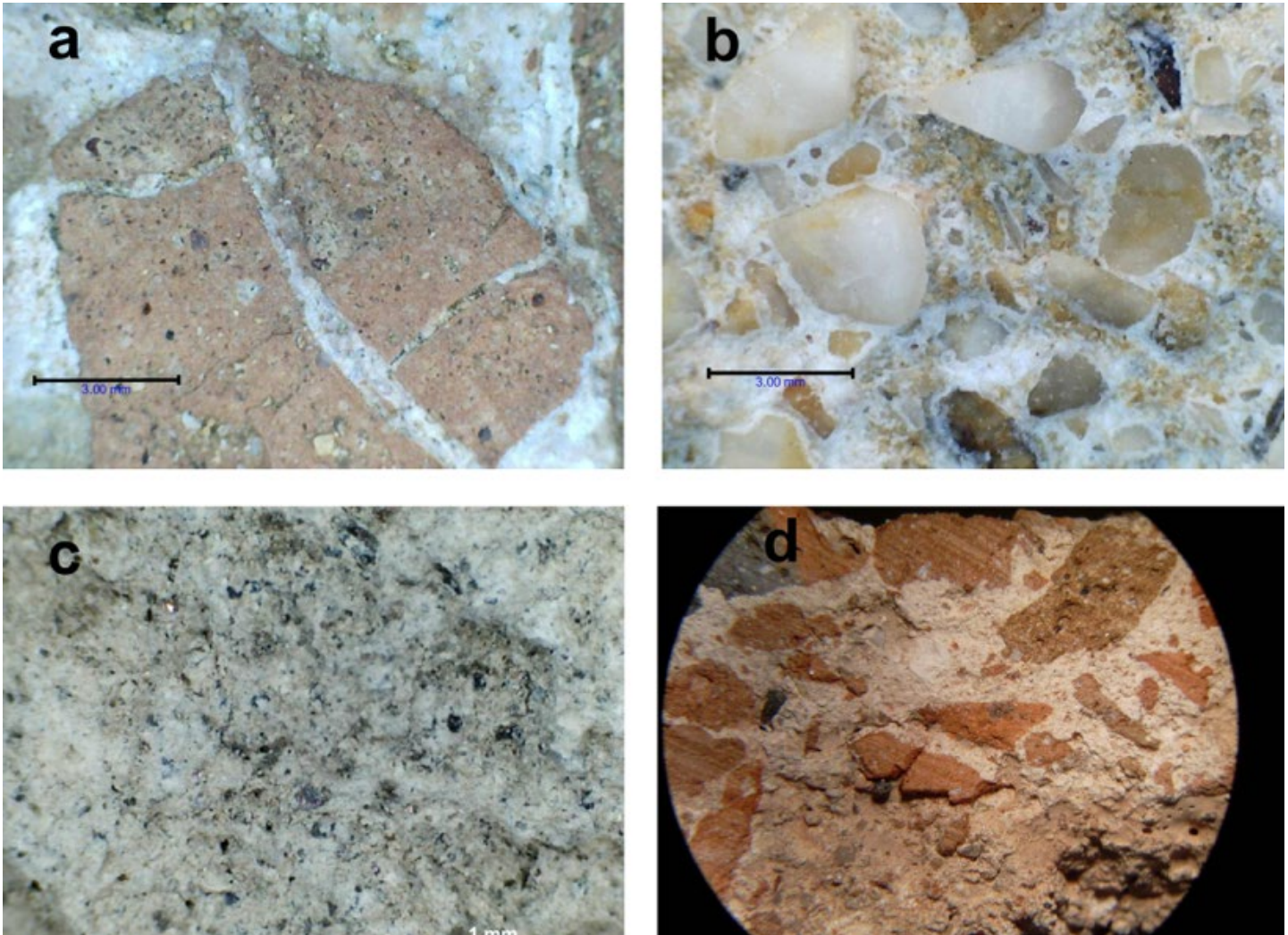


FIG10. Caracterización y diferenciación de los áridos en diferentes morteros: a) áridos cerámicos en morteros de la tumba de Servilia (Carmona, Sevilla); b) ausencia de áridos cerámicos en el mismo yacimiento; c) granulometría de los áridos en el mortero de la Edad de Bronce del Cerro del Bu (Toledo); d) distribución de los áridos por capas en un mortero con cocchiopesto en La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid): Fuentes: I. Rodríguez Temiño, J. M. Rojas, C. Heras Martínez y A. Bastida Ramírez.

e irregular con numerosos poros y nódulos de carbonatación. Destacan, por ejemplo, las argamasas de Santa Potenciana, en las que se han documentado restos orgánicos mezclados con la matriz, fibras vegetales o fitolitos e intrusiones orgánicas como plantas o líquenes (Fig. 9).

Aunque en la conservación de los morteros inte-

ractúan otras variables, este aspecto contrasta, por ejemplo, con los morteros romanos de La Magdalena, los cuales muestran una apariencia mucho más cuidada (Guerra García *et al.*, 2017). Esta diferencia de facturas no debe relacionarse con la época, aunque como indica José Ignacio Álvarez Galindo: “Griegos y romanos perfeccionaron enormemente

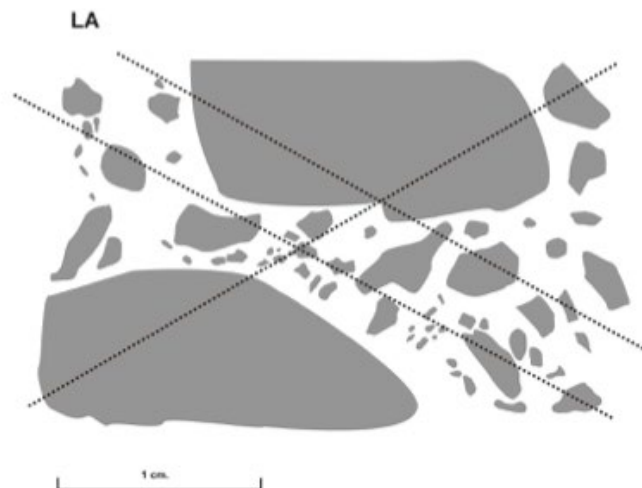
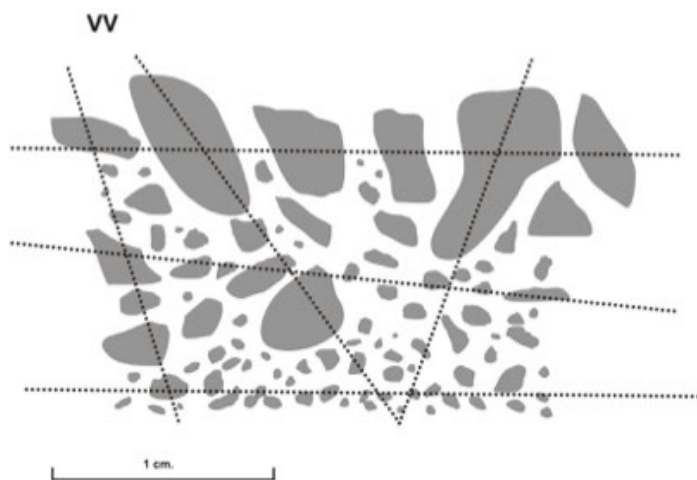


FIG 11. Vectores de distribución de aditivos en dos muestras de morteros diferentes: a) pileta de decantación de vinos en Val de la Viña (Alovera, Guadalajara); b) mortero de suelo industrial para tránsito en Las Arenas (Medellín, Badajoz). Fuente: Guerra García, 2015.

la técnica de mortero de cal, mientras que los egipcios dominaban la preparación y aplicación de los morteros de yeso. En el medievo la situación socioeconómica influyó de forma decisiva en que no se destacara ningún progreso técnico notable” (Álvarez Galindo *et al.*, 1995: 53).

El mismo autor añade que a partir de la Edad Me-

dia los artesanos siguen empleando las mismas técnicas que en época romana, pero sin realizar una selección tan depurada de los materiales (Álvarez Galindo *et al.*, 1995: 56). Esto puede apreciarse en cierta manera en las argamasas analizadas (Fig. 10), en donde encontramos unos emplastos de arcillas con arenas muy irregulares e isódromas en las muestras de la Sé Catedral de Idanha-a-Velha

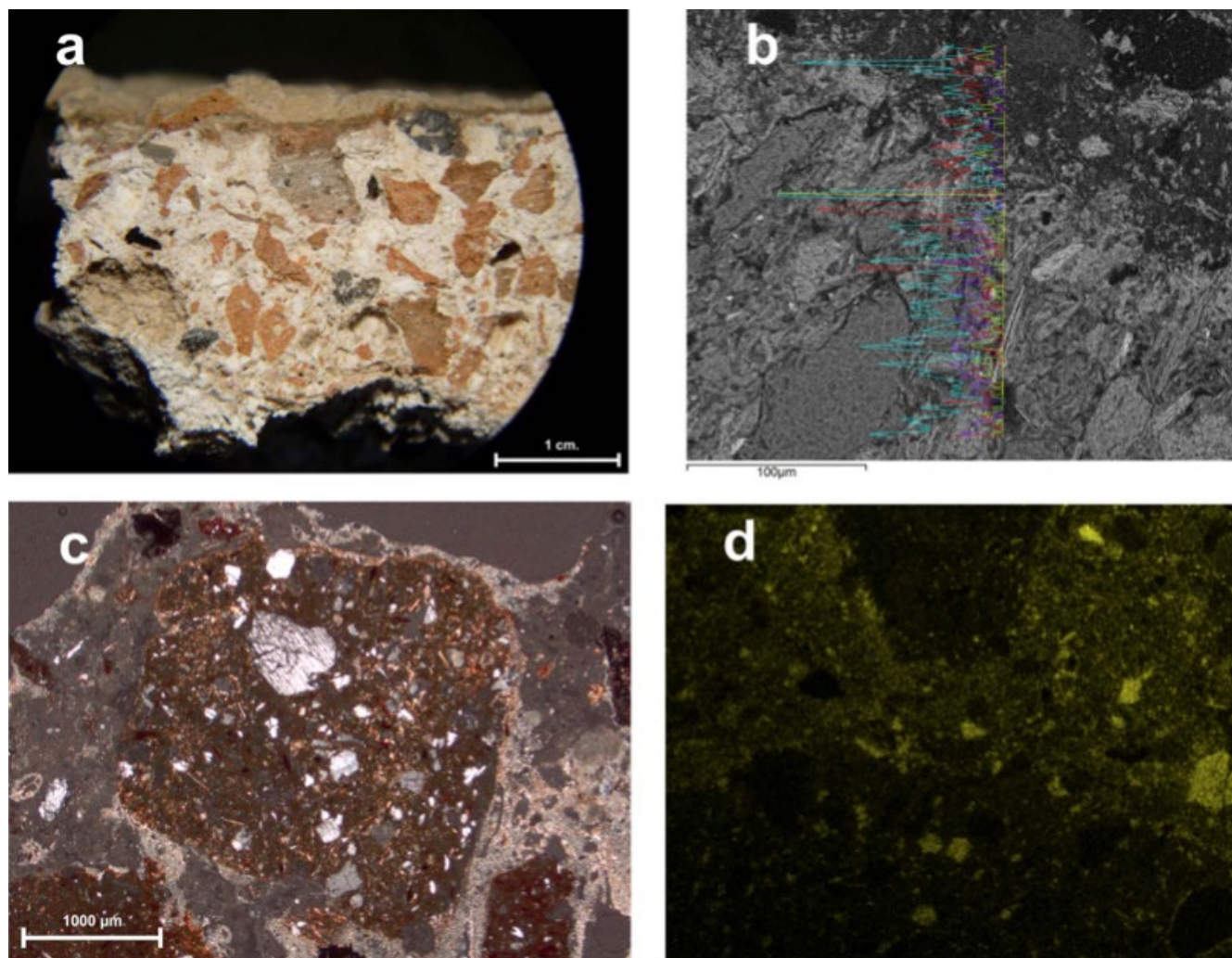


FIG. 12. Resultado final de la mejora de la metodología, aplicada a morteros de La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid): a) macroscopía; b) SEM-EDX lineal; c) selección de granos por microscopía óptica polarizada; d) mapping químico (Ca). Fuente: el autor.

(Ss. XIV-XV) frente a las mezclas depuradas de Val de la Viña en Alovera (Guadalajara), con una selección muy fina tanto de los áridos silíceos como del conglomerante de cal (Fig. 11). Es precisamente éste último uno de los más interesantes, pues se ha constatado arqueológicamente que el mortero pertenecía a un torcularium o estructura de prensas para elaborar vino (Morín de Pablos *et al.*, 2007). Conseguir una relación entre argamasa y funcionalidad de estructuras es uno de los principales objetivos de este trabajo.

Finalmente, como complemento a los análisis macroscópicos, algunas muestras fueron analizadas microscópica y químicamente. El objetivo era caracterizar desde el punto de vista químico, los anillos de reacción presentes en los granos cerámicos de algunos morteros, conocer cuáles eran los cambios que se producían y sobre qué variables, relacionando este aspecto cromático con el potencial hidráulico. El planteamiento proponía desarrollar una macroscopía completa a todas las muestras, seleccionar aquellas que fuesen más evidentes y desarrollar microscopía óptica polarizada, mapping de elementos químicos y SEM-EDX (Fig. 12). El resultado demostró que se produce un incremento de los porcentajes de calcio en la interfaz del árido cerámico con la matriz de cal. Este efecto ya se conocía parcialmente (Nezerka *et al.*, 2015; Kramar *et al.*, 2015), aunque no se habían realizado cuantificaciones por medios analíticos, hasta la presente tesis doctoral (Guerra García, 2015).

Éste es un claro ejemplo de la utilidad de esta metodología, aplicada al análisis de las argamasa en todo su contexto. Los procedimientos de procesamiento, corte y macroscopía no intrusiva permiten la realización de una primera selección, tanto de las muestras a analizar como de los elementos que lo

componen, áridos, fases, conglomerantes, aditivos o adiciones. Esto es muy importante, ya que los ensayos de caracterización, tanto mineralógica como química, son ensayos destructivos, por lo que la muestra se pierde. De esta manera, seleccionando cubos de cada muestra, similar al sistema que establece la normativa de probetas estandarizadas, se crea un inventario físico de los morteros para hacer nuevos ensayos. Como ya se ha comentado anteriormente, es necesario un catálogo físico de argamasas históricas, que conlleve una publicación como ya sucede en otros países (Price, 2008; Catanni y Fedrizzi, 2005).

5. CONCLUSIONES

La aplicación de las técnicas macroscópicas sobre argamasas históricas no habría tenido unos resultados tan positivos de no haber desarrollado una metodología de procesamiento de muestras, tal y como ya desarrollan algunos investigadores como Gordana A. Topličić-Ćurčić, quienes aplican ensayos macro y microscópicos tras obtener una sección cruzada limpia de los componentes (Topličić-Ćurčić *et al.* 2014: 193).

La creación de probetas, siguiendo en cierto modo el modelo de las normas estandarizadas para ensayos físico-mecánicos, ha servido por un lado, para crear un archivo documental con los originales, como si de un depósito bibliográfico se tratase. Por otro lado, ha permitido el desarrollo de otros análisis mineralógicos y químicos, con buenos resultados como se ha indicado en la tesis doctoral mencionada anteriormente. Además, ha permitido ampliar la caracterización macroscópica hasta establecer patrones de distribución de áridos, disposición de las unidades microestratigráficas o determinar una granulometría básica. Estas técnicas de estudio ya

se desarrollan con asiduidad por especialistas de la talla de Domenico Miriello o Rosario Veiga (Miriello, 2010; Santos Silva, *et al.*, 2012).

Más aún, la existencia de un catálogo de muestras de argamasas originales, de todas las cronologías y en buen estado de conservación, será una herramienta indispensable para los futuros profesionales de la restauración arquitectónica, permitiendo una visualización directa de los morteros, yesos y cementos de épocas tan variadas como la romana, la islámica o la moderna. Y lo positivo es que este catálogo no ha concluido, pues es constante la incorporación de nuevas muestras de argamasas, las cuales son procesadas y analizadas, para terminar depositadas en un inventario que permitirá seguir indagando en las peculiaridades físico-químicas de este material. Como se ha comentado en este artículo, esta idea se viene desarrollando ya en países como Italia, en donde instituciones como Opificio delle Pietre Dure en Florencia tienen su depósito de piedras naturales, y elaboran atlas de muestras como los editados por Fabio Fratini, Elena Pecchioni y Emma Cantisani (Pecchioni *et al.*, 2008).

Fruto del presente trabajo se observan claras diferencias entre los morteros con árido cerámico pertenecientes a estructuras industriales de producción de vino. Nada tienen que ver, por ejemplo, con morteros fabricados ex profeso, para revestimientos de paredes, enlucidos o intonacos, estucos o simplemente, solados de sacrificio destinados al desgaste. La distribución de los elementos también responde a una función y por qué no decirlo, a la mano humana o a la habilidad del artesano. Lejos quedan las teorías que hablaban de un Tratado de la Arquitectura de Vitruvio como un manual universal de la construcción (Plommer, 1973). Este factor se aprecia en la diferencia de dosificaciones del cocchiopesto, más tosco en unas fá-

bricas que en otras incluso dentro del mismo asentamiento, como sucede en La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid).

En definitiva, el presente trabajo es fruto de muchos años de investigación, durante los cuales se han estudiado no solo las técnicas constructivas sino los materiales empleados en la fabricación de un material constructivo tan abundante como determinante en la evolución de las sociedades. Los morteros, los cementos, los yesos y las argamasas en general, han significado la evolución de la arquitectura a pasos agigantados, no solo desde época romana hasta nuestros días, sino desde las últimas dos centurias con la incorporación de los cementos hidráulicos o los hormigones modernos. Tan importante es un *opus caementicium* romano como lo es un bianco di San Giovanni, un mocárabe de yesería, un pastat de porc mallorquín o un arrizzio italiano. Todos configuran un catálogo único en nuestro Patrimonio Arquitectónico, y deben ser conocidos e investigados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración de todos los arqueólogos directores de las distintas intervenciones, yacimientos y monumentos, que no solo facilitaron las muestras o permitieron la toma, sino que cedieron parte de los resultados de las investigaciones, incluso sin estar terminadas o publicadas. El agradecimiento es extensivo al personal del Laboratorio de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (UPM); al profesor Fabio Fratini y al equipo de investigación del Consiglio Nazionale delle Ricerche en Florencia, por ceder sus instalaciones; y a los gerentes de la empresa Trébede Patrimonio y Cultura S.L., César Heras y Ana Bastida, por adecuar el laboratorio de arqueología de Torres de la Alameda (Madrid) a la fase de corte y procesamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aku Amezugbe, F. (2013): The performance of natural and synthetic fibers in low strength mortar: a pilot study of six selected fibers. Tesis Doctoral [inédita]. University of La Florida.
- Alarçao, P. (2008): “Conservación y puesta en valor de las ruinas de Conímbriga”. En: Actas de la III Bienal de Restauración Monumental: sobre la des-Restauración, 3. pp. 649-655. Sevilla: Junta de Andalucía.
- Alejandro Sánchez, F.J. (2002): Historia, caracterización y restauración de morteros. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Alonso Rodríguez, F.C. (2002): “Ensayos físicos de caracterización y comportamiento de materiales”. En Gisbert Aguilar, P. (ed. y coord.): I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración, I. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. Pp. 149-169.
- Álvarez Galindo, J.I.; Martín Pérez, A. y García Casado, P.J. (1995): “Historia de los morteros”. En: Boletín Informativo del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, 13. Sevilla: Junta de Andalucía. Pp. 52-59.
- Arpin, T.L.; Mallol, C. y Goldberg, P. (2002): “Short contribution: a new method of analyzing and documenting micromorphological thin sections using flatbed scanners: applications in geoarchaeological studies”. En: Geoarchaeology, 3. Wiley Online Library. pp. 305-313.
- AA.VV. (2008): Atlante delle Pierta Trentina. Antichi e Nuovo Percorsi. Guida Practica all’Utilizzo. Trento: Camera di Comercio I.A.A.
- Balbas, A.; Delgado, S.; Recuenco, J.L. y Pavía, S. (2002): “Caracterización de morteros”. En Gisbert Aguilar, P. (ed. y coord.): I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura, Escultura y Restauración, I. pp. 113-145. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Baronio, G.; Binda, L. y Tedeschi, C. (1999): “Microscopy study of byzantine mortars: observation of reaction layers between lime and brick dust”. En: Proceedings of the 7th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Delft. pp. 407-416.
- Catanni, E. y Fedrizzi, F. (2005): Atlante della pietra trentina. Antichi e nuovi percorsi. Guida pratica all’utilizzo. Trento: Setella.
- Coutelas A.; Godard G.; Blanc P.; Person A. (2004): “Les mortiers hydrauliques: synthèse bibliographique et premiers résultats sur des mortiers de Gaule romaine”. En: Revue d’archéométrie, 28, Pôle éditorial archéologique de l’Ouest-Laboratoire d’archéométrie. pp. 127-139.

Elsen, J.; Brutsaert, A.; Deckers, M.; Brulet, R.; Broekmans Maarten, A.T.M. (2004): "Microscopical study of ancient mortars from Tournai (Belgium). Conférence: EMABM Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 9, Trondheim, Norway". En: *Materials Characterization A*, 53, 2-4. Elsevier. pp. 289-294.

Elsen, J. (2006): "Microscopy of historic mortars: a review". En: *Cement and Concrete Research, Actas del X Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials*, June 21-25, 2005, University of Paisley, 36, 8. Elsevier. pp. 1416-1424.

González Cortina, M. (2000): *Recuperación de morteros romanos de cal y chamota en aplicaciones actuales*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Guerra García, P. (2015): *Sola Romani. Morteros hidráulicos romanos en la Península Ibérica*. Tesis Doctoral [inédita]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Guerra García, P.; Heras Martínez, C. y Bastida Ramírez, A. (2017): "Técnicas constructivas y estructuras microestratigráficas en elementos industriales de carácter hidráulico documentados en el yacimiento romano de La Magdalena (Alcalá de Henares, Madrid)". En: *Zona Arqueológica. Especial Vides monumenta veterum: Madrid y su entorno en época Romana*, 20. Madrid: Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid. Pp. 469-476.

Hughes J. y Callebaut, K. (2000): "Practical sampling of historical mortars". En Bartos, P.; Groot, C. y Hughes, J.J. (eds.): *Proceedings of the RILEM International Workshop Historic Mortars: characteristics and tests*. Paisley. Escocia. pp. 17-26.

Ingham, J. (2010): *Geomaterials under the microscope*. Manson: CRC Press.

Kramar, S.; Zalar, V.; Urosevic, M.; Körner, W.; Mauko, A.; Mirtič, B.; Lux, J. y Mladenović, A. (2011): "Mineralogical and microstructural studies of mortars from the bath complex of the Roman villa rustica near Mošnje (Slovenia)". En: *Materials Characterization*, 60. Elsevier. Pp. 1042-1057.

Leslie, A. B. y Eden, M. (2008): "A code of practice for the Petrographic examination of mortars, plasters, renders and related materials". En *Applied Petrography Group*, 1. Londres: Geological Society.

Matysek, P. (2016): "Compressive strength of brick masonry in existing buildings-research on samples cut from the structures". En C. Modena, F. da Porto y M.R. Valluzzi (eds.): *Brick and Block Masonry: Proceedings of the 16th International Brick and Block Masonry Conference –IBMAC*. Taylor & Francis. Pp. 1741-1747.

Middendorf, B.; Hughes, J.J.; Callebaut, K.; Baronio, G. y Papayianni, I. (2005a): "Investigative methods for the characterisation of historic mortars. Part 1: Mineralogical characterisation". En: *Materials and Structures*, 38. Rilem. Pp. 761-769.

- Middendorf, B.; Hughes, J.J.; Callebaut, K.; Baronio, G. y Papayianni, I. (2005b): "Investigative methods for the characterisation of historic mortars. Part 2: Chemical characterisation". En: *Materials and Structures*, 38. Rilem. Pp. 771-780.
- Miriello, D. (2010): "Characterisation of archaeological mortars from Pompeii (Campania, Italy) and identification of construction phases by compositional data analysis". En: *Journal of Archaeological Science*, 37, 9. Elsevier. pp. 2207-2223.
- Miriello, D.; Barca, D.; Bloise, A.; Ciarallo, A.; Crisci, G.M.; De Rose, T.; Gattuso, C.; Gazineo, F.; La Russa, M.F. (2010): "Characterisation of archaeological mortars from Pompeii (Campania, Italy) and identification of construction phases by compositional data analysis". En: *Journal of Archaeological Science*, 37. Elsevier. Pp. 2207-2223.
- Morín de Pablos, J.; Agustí García, E.; López Fraile, F. J. y de Almeida, R. (2007): "El yacimiento de Val de la Viña (Alovera, Guadalajara). Un asentamiento agropecuario altoimperial en la Vega del Henares". En: *I Simposio Audema. La investigación arqueológica en el marco de la iniciativa privada*. Madrid: Audema SA. Pp. 195-220.
- Moropoulou, A.; Maravelaki-Kalaitzaki, P.; Borboudakis, M.; Bakolas, A.; Michailidis, P. y Chronopoulos, M. (1998): "Historic mortars technologies in Crete and guidelines for compatible restoration mortars". En: *Journal of the European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology*, 55. Estrasburgo: PACT. Pp. 55-72.
- Muzas Labad, F. (1989): "Reflexiones sobre el jet grouting". En: *Revista de Obras Públicas*, 136. Madrid: Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Pp. 89-94.
- Nežerka, V.; Nemecek, J.; Slížková, Z. y Tesárek, P. (2015): "Investigation of crushed brick-matrix interface in lime-based ancient mortar by microscopy and nanoindentation". En: *Cement and Concrete Composites*, 55. Elsevier. Pp. 122-128.
- Ontiveros Ortega, E. (2003): Programa de normalización. Morteros, aglomerante y agua de amasado. En: *PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 45. Sevilla: Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Pp. 90-96.
- Ovando Pineda, H. A. (2011): Inyección de suelo por medio de la técnica de jet grouting. Trabajo Final de Graduación [inédito]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.
- Pecchioni, E.; Fratini, F. y Cantisani, E. (2008): *Le malte antiche e moderne: tra tradizione ed innovazione*. Bolonia: Pàtron Editore.
- Plommer, H. (1973): *Vitruvius and Later Roman Building Manuals*. Cambridge University Press.

Ponce, G.; Ortega, L. A.; Zuluaga, M. A.; Alonso, A.; Murelaga, X. y Solaun, J. L. (2015): “Caracterización de morteros del Castillo de Portilla (Álava) y problemática asociada a su datación por 14C”. En: Macla, Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, 20. Vitoria: Universidad del País Vasco. Pp. 119-120.

Potenza, D. (2009): Atlante contemporaneo dei marmi e delle pietre di Puglia. Area Politiche per lo Sviluppo Economico. Regione Puglia: Sprint.

Price, M. T. (2008): Atlante delle pietre decorative. Guida tecnica illustrata. Milán: Hoepli.

Puche Fontanilles, J. M. (2015): “In signinis operibus. Sobre el significado real de Opus Signinum”. En: *Bulletí Arqueològic*, V, 36-37. Tarragona: Reial Societat Arqueològica Tarraconense. Pp. 7-28.

Robador González, M.D. (2002): “Tradición y actualización en la protección de la arquitectura de piedra con finas capas de mortero de cal”. En: *RE: Revista de Edificación*, 31-32. Pamplona: Universidad de Navarra. P. 41.

Rodríguez Gutierrez, O.; Jesús Rodríguez Medina, J.; Pinto Puerto, F. y Angulo Fornos, R. (2016): “Refuerzo de fustes de columna en la arquitectura monumental de Italica (prov. Baetica). Aplicación de nuevas tecnologías para la reconstrucción de una práctica singular”. En Stefano Camporeale, Janet DeLaine y Antonio Pizzo (eds.): *Arqueología de la arquitectura. Ejemplar dedicado a: Materiales, transporte y producción. Arqueología de la Construcción*, 13. Vitoria: Universidad del País Vasco.

Sabbioni, C.; Bonazza, A. y Zappia, G. (2002): “Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal”. En: *Journal of Cultural Heritage*, 3. Elsevier. Pp. 83-88.

Santos Silva, A.; Borsoi, G.; Veiga, M. R.; Fragata, A.; Tavares, M.; Llera, F.; Barreiros, B. y Teixeira, T. (2012): “Diagnosis, Characterisation and Restoration of the Internal Renders of Santíssimo Sacramento Church in Lisbon”. En Válek J., Hughes J., Groot C. (eds): *Historic Mortars. RILEM Bookseries 7*. Springer, Dordrecht. Pp. 175-194.

Topličić-Ćurčić, G. A.; Grdić, Z. J.; Ristić, N. S.; , Grdić, D. Z.; Mitković, P. B.; Bjelić, I. S. y Momčilović-Petronijević, A. J. (2014): “Characterization of roman mortar from The Mediana archeological site”. En: *Tehnicki Vjesnik* 21(1). University of Osijek. Pp. 191-197.

Válek, J. y Veiga, R. (2005): “Characterisation of mechanical properties of historic mortars – testing of irregular samples”. En: *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture*, 8. WIT Press. Pp. 367-374.

Van Hees, R. P. J.; Binda, L.; Papayianni, I. y Toubakari, E. (2004): “Recommendations of RILEM TC 167-COM: Characterization of old mortars Characterisation and damage analysis of old mortars”. En: *Materials and Structures*, 37. RILEM Publications SARL. Pp. 644 – 648.