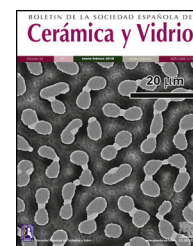




BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE  
**Cerámica y Vidrio**

[www.elsevier.es/bsecv](http://www.elsevier.es/bsecv)



# Ánforas prerromanas y romano-republicanas (siglos III-I a. C.) procedentes de contextos productivos del Bajo Guadalquivir: caracterización técnica y composicional

Violeta Moreno-Megías<sup>a</sup>, Francisco José García-Fernández<sup>a</sup>,  
 Juan Jesús Martín-del-Río<sup>b,\*</sup>, Mercedes Borreguero-Cid<sup>b</sup> y Pedro José Sánchez-Soto<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>b</sup> Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>c</sup> Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto CSIC-Universidad de Sevilla, Sevilla, España

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 28 de enero de 2021

Aceptado el 29 de marzo de 2021

On-line el 12 abril 2021

Palabras clave:

Ánforas

Turdetania

Análisis multivariante

Análisis mineralógico

Petrografía

## R E S U M E N

El presente trabajo aporta una investigación arqueométrica sobre piezas cerámicas de los siglos III-I a. C. halladas en contextos alfareros de la ciudad de Sevilla (Palacio Arzobispal) y Carmona (zona del Arrabal), pertenecientes en su mayoría a ánforas de tradición púnica y turdetana, o bien ya romanizadas. Entre los principales objetivos se ha pretendido su caracterización tecnológica y composicional, la comparación de las características de cada tradición productiva y la confirmación de la posible procedencia local de estas producciones.

En total, han sido 13 las muestras estudiadas con análisis petrográfico de láminas delgadas, análisis químico mediante fluorescencia de rayos X y análisis mineralógico por difracción de rayos X. Los resultados químicos muestran su carácter sílico-aluminoso y cálcico, con contenidos variables de óxido de hierro, así como otros elementos minoritarios y trazas. El tratamiento estadístico ha diferenciado 3 conglomerados y una muestra que se distingue del resto. El análisis mineralógico ha identificado 8 fases cristalinas, unas ya presentes en las materias primas y otras formadas por tratamiento térmico. Destacan la illita, identificada como fase deshidroxilada, anortita, diópsido y gehlenita. En cuanto al análisis petrográfico, se han identificado tres grupos petrográficos que se corresponden composicionalmente con el contexto de origen de las muestras, diferenciando entre las piezas procedentes de Sevilla, las formas romanizadas de Carmona y la cerámica común y formas de imitación de este mismo enclave.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [jjdelrio@us.es](mailto:jjdelrio@us.es) (J.J. Martín-del-Río).

<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.03.008>

0366-3175/© 2021 SECYV. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Se realiza una estimación de las temperaturas de cocción, entre unos 820 °C y 850 °C en atmósfera oxidante. Por último, se ha discutido la procedencia de las materias primas empleadas, proponiéndose materias primas illítico-calcáreas con un origen localizado en el valle del Guadalquivir. Los resultados permiten corroborar la procedencia local de estas piezas, probablemente relacionadas con los hornos donde aparecieron, y aportan nuevas perspectivas para el estudio de la tradición alfarera local y los cambios que se operan con la implantación productiva romana.

© 2021 SECV. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Pre-Roman and Republican amphorae (III-I centuries b.C.) from production contexts of the Guadalquivir Basin: technical and compositional characterization

#### A B S T R A C T

#### Keywords:

Amphorae

Archaeometry

Multivariate analysis

Mineralogical analysis

Petrography

The present work consists of an archaeometric investigation concerning ceramic samples, mostly unpublished, of the III-I centuries b.C. They were found in connection with kilns of the city of Sevilla (Archbishop's Palace) and the countryside (Arrabal zone, Carmona). They are identified with evolved variations of Iron Age amphorae of Punic and Turdetanian tradition, or already Roman typologies. The main objectives of this research include their technological and compositional characterization as well as the comparison of the characteristics of each manufacture tradition.

An assemblage of 13 samples has been studied through petrographic analysis of thin sections, chemical analysis (X-ray fluorescence) and mineralogical analysis (X-ray diffraction). The chemical results showed the silico-aluminous and calcitic character of the samples, with variable contents of iron oxide as well as other minor elements and traces. The statistical treatment of the data by multivariate analysis has differentiated 3 conglomerates and one sample as an outsider. The mineralogical analysis has identified 8 crystalline phases, several of them already present in the raw materials and others formed by thermal treatment. It is interesting to note the illite, identified as dehydroxylated phase, anorthite, diopside and gehlenite. The petrographical analysis has identified 3 different petro-groups, which are correlated by a compositional point of view with the original context of the samples. Thus, according to these results, it has been possible to distinguish the manufactures of Sevilla from the Roman shapes, the common ware and the imitation types of Carmona.

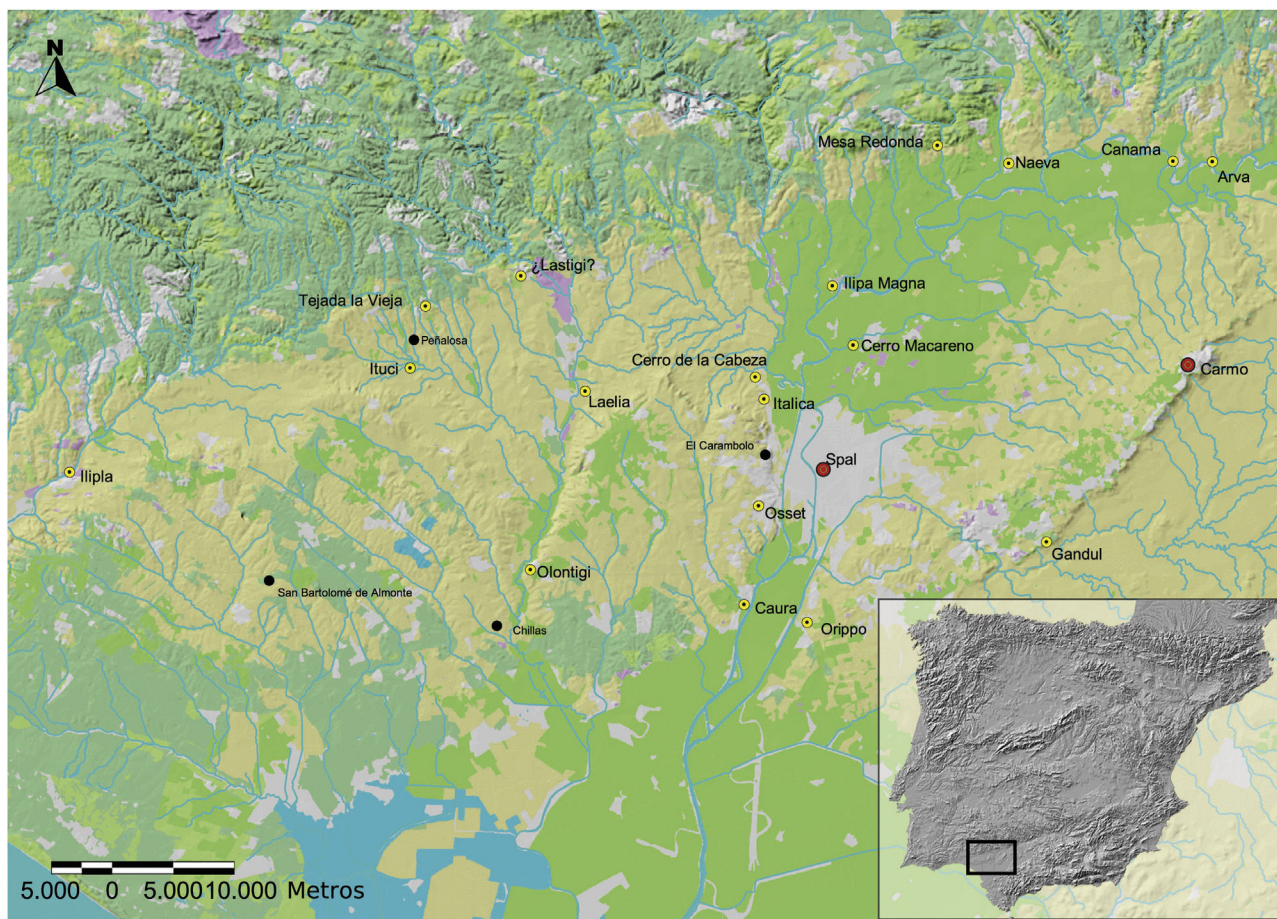
It has been discussed the possible solid-state reactions which yielded the crystalline phases identified by X-ray diffraction, besides an estimation of firing temperatures between 820–850 °C in an oxidant atmosphere. Finally, the possible sources for the raw materials used in the fabrication of these amphorae have been proposed in the Guadalquivir River valley, considering their illitic-calcitic characteristics.

© 2021 SECV. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción y objetivos

El Bajo Guadalquivir y, en general, la antigua Turdetania de los textos clásicos, se convirtió a finales de la Edad del Hierro en un área económicamente muy dinámica, a medida que se iba integrando en los mercados mediterráneos y atlánticos a través del comercio con los grandes centros púnicos de la costa, una situación que no solo se mantendrá, sino que se potenciará tras la conquista romana [1,2]. Ello se refleja en la proliferación a partir del siglo V a. C. de centros alfareros dedicados a la manufactura de recipientes cerámicos de distintos tipos y funciones. Entre estos destacan las ánforas, envases no retornables destinados al transporte y almacenamiento de excedentes agropecuarios producidos en el valle bético y sus

campiñas interiores, como vino, aceite o derivados cárnicos [3,4]. En este periodo, y hasta la eclosión de las grandes explotaciones rurales en época imperial, los alfares se situaron en la periferia de los principales centros de población, en áreas industriales espacialmente separadas de las zonas de hábitat y próximas a las vías de salida de las mercancías [5]. Estas eran prioritariamente los cursos navegables de los ríos, por lo que la mayor parte de los alfares se concentraron en los emporios fluviales del Guadalquivir, por ejemplo, Sevilla, la antigua *Spal*, ubicada en aquel momento en el interior de su estuario, aunque en ocasiones también los podemos encontrar en relación con las rutas terrestres que conectaban las áreas productoras del interior con los canales de distribución, como debió ocurrir con el caso de *Carmona*-Carmona, desde su privilegiada posición



**Figura 1 – Mapa del Bajo Guadalquivir con los principales asentamientos de la Edad del Hierro. Se resaltan en rojo los casos de Sevilla (Spal) y Carmona (Carma). El color de la figura solo puede apreciarse en la versión electrónica del artículo.**

en altura sobre el extremo norte de la comarca de Los Alcores (fig. 1).

Las estructuras de producción, especialmente los hornos –que, por lo general, suele ser la parte mejor conservada, cuando no la única que ha llegado hasta nosotros–, son una herencia de la tradición alfarera próspero oriental introducida durante la colonización fenicia y perfeccionada bajo la influencia púnica [6]. Ello es evidente sobre todo en sus rasgos formales y constructivos, aunque probablemente sea también extensivo a otros aspectos relacionados con los procesos técnicos, la organización espacial de la producción, la cadena operativa y los actores implicados. Lo mismo cabe decir de los recipientes fabricados en ellos, que son el resultado de la hibridación entre el repertorio local de finales de la Edad del Bronce y las nuevas clases y formas cerámicas importadas por los alfareros orientales a inicios de la Edad del Hierro. Aunque estas últimas se acabaron imponiendo, reemplazando las producciones modeladas a mano, no es menos cierto que el elenco resultante se adaptó a las necesidades de sus nuevos usuarios, dando lugar a la denominada «cerámica turdetana» [7]. En el caso de las ánforas, su génesis a partir de los prototipos fenicios es evidente, de manera que los envases turdetanos surgen y se desarrollan de forma paralela a los púnicos de la costa gaditana a lo largo de la II Edad del Hierro,

como ocurre con otras áreas productoras surgidas al calor de la presencia oriental, con las que también se producen contactos y convergencias [8,9]. Solo tras la conquista romana se introducirán nuevos prototipos, que acabarán cristalizando a lo largo del siglo I a. C. en un nuevo repertorio anfórico provincial del que derivarán posteriormente las producciones altoimperiales [10].

Sin embargo, son escasos los estudios arqueométricos destinados a la caracterización técnica y composicional de estos recipientes, en relación con las fuentes de materias primas y sus propiedades [11–16], tanto menos los realizados sobre ejemplares registrados en contextos de producción [17]. Para el periodo y contexto geográfico tratado, estos se limitan a algunas muestras de distintas clases cerámicas obtenidas de los hornos excavados en la Plaza de Lasso de Carmona [18], que pueden ponerse en relación con los análisis realizados sobre las arcillas locales [19], a los que se suma posteriormente el estudio de varios conjuntos de piezas procedentes tanto de esta localidad como de otros posibles centros alfareros del Bajo Guadalquivir, como Cerro Macareno, Itálica y Sevilla [20,21]. Para este último caso contamos también con el estudio de los materiales cerámicos asociados a los hornos documentados en el Hospital de las Cinco Llagas, que puede servir de referencia para caracterizar las pastas –y las arcillas de origen– de



este sector del valle bético, aunque teniendo en cuenta que se trata en todo caso de producciones de época imperial romana [22,23].

La presente contribución aporta a estos estudios un conjunto de piezas, en su mayoría inéditas, que ofrecen como principal novedad su hallazgo en clara relación con estructuras de combustión, en este caso documentadas en Sevilla y Carmona, y su pertenencia a variantes evolucionadas de tipos anfóricos de tradición púnica y turdetana, o bien ya romanizadas, las cuales apenas han sido objeto de análisis de este tipo. Entre sus principales objetivos figura:

- Caracterizar tecnológica y composicionalmente tipos anfóricos producidos en la región turdetana a finales de la Edad del Hierro e inicios de la presencia romana.
- Establecer las diferencias y similitudes entre ánforas de tradición turdetana y púnico-gaditana con respecto a las primeras producciones romanizadas.
- Comprobar si se puede hablar de una evolución tecnológica más allá de las diferencias entre unas áreas productoras y otras.
- Determinar la procedencia de estos envases y confirmar o descartar su producción local en los contextos alfareros a los que se encuentran asociados.

### Procedencia de las muestras y contextos arqueológicos

Las muestras proceden de dos centros productores y redistribidores clave en lo que se refiere a las redes de comunicaciones regionales (fig. 1). El primero (*Spal*-Sevilla) se asentaba en una pequeña península en el interior del antiguo estuario del Guadalquivir, justo en el punto hasta el que, según el geógrafo griego Estrabón, era posible la navegación con barcos de gran calado [24]. El segundo (*Carmona*-Carmona) ocupaba y ocupa una posición estratégica en el escarpe de Los Alcores, dominando visualmente buena parte del valle del Guadalquivir y la campiña de Sevilla y controlando las vías de comunicación que conectaban ambas comarcas en sentido N-S y E-O.

Por lo que respecta a su composición, ambos conjuntos son complementarios entre sí, ya que las muestras procedentes de Sevilla corresponden a ánforas de tradición púnica y turdetana datables, como se verá a continuación, a finales de la Edad del Hierro e inicios de la ocupación romana (siglos III-I a. C.), mientras que los materiales ofrecidos por las dos excavaciones de Carmona estudiadas en este artículo pertenecen ya a formas romanizadas, amortizadas en contextos de los siglos I a. C. y I d. C. (fig. 2). En ambos casos se cuenta, además, con elementos de comparación para valorar su posible fabricación local. Los hornos hallados en el Palacio Arzobispal de Sevilla han proporcionado algunos fragmentos de ánforas sobrecocidos que podemos considerar desechos del alfar. Por su parte, en los hornos de Carmona se han registrado abundantes cerámicas comunes y materiales constructivos asociados a niveles de amortización que parecen proceder verosímelmente del mismo contexto productivo (tabla 1).

### Hornos del Palacio Arzobispal (*Spal*-Sevilla)

Las excavaciones realizadas a cabo en 2003 en los sótanos del Palacio Arzobispal permitieron documentar niveles de ocupación de época prerromana, así como estructuras industriales situadas al pie del antiguo *oppidum* protohistórico, en una posible zona portuaria vinculada a un antiguo brazo del Guadalquivir en funcionamiento a finales del I milenio a. C. [25]. En esta campaña se practicaron tres sondeos (I, II y IV), así como un control general de los movimientos de tierra [26].

El sondeo I, de 3 x 4 m de extensión y 3,50 m de profundidad, aportó varios niveles de ocupación conservados muy parcialmente que pueden fecharse entre finales del siglo IV o inicios del III y el I a. C. El más interesante tanto por su función como por los materiales proporcionados es el nivel más reciente, correspondiente a la cámara de combustión de un horno de planta circular. Este se encuentra excavado sobre un relleno de tierra de 1,30 m de potencia con abundantes cerámicas (UE 46), entre las que destacan tres bordes de ánfora turdetana Pellicer D (muestras E-04 y E-05), varias asas pertenecientes a contenedores púnicos (T-8.2.1.1 o T-9.1.1.1), así como un arranque de asa de un ánfora ibicenca de tipo indeterminado que se fechan al siglo II a. C. Por su parte, el interior del horno fue relleno con un depósito de arena y desechos de cocción (UE 52). Aquí encontramos dos bordes de ánfora Pellicer D, uno de T-12.1.1.1/2, el cuello de un ánfora itálica Dressel 1, además de varios fragmentos indeterminados pasados de cocción (muestras E-01 y E-02). A ellos se suman un cuenco de cerámica «tipo Kuass» correspondiente a la forma IX-A de Niveau de Villedary y una pátera de campaniense B, que proporcionan una fecha *post quem* de inicios del siglo I a. C. [27].

El sondeo II (de 3 x 3 m de extensión y 3,60 m de potencia máxima) es el que ha aportado hasta la fecha la secuencia más nítida, desde finales del siglo IV a. C. hasta la conquista romana, aunque no está asociado a instalaciones productivas. La muestra seleccionada procede de la amortización del segundo nivel de ocupación, formado por dos muros de piedra y guijarros trabados con barro. No ha sido posible definir la superficie de uso original de esta estructura, ya que parece haber sido parcialmente destruida por los niveles constructivos posteriores. El relleno que la cubre (UE 81) está constituido únicamente por ánforas Pellicer D (muestra E-06) y cerámicas comunes de producción local (cuencos de borde biselado, cuencos lucerna, etc.), que fechan el final de esta fase en la primera mitad del siglo III a. C. [27].

El sondeo IV, de 2,55 x 4,24 m de extensión y 5,54 m de profundidad, solo permitió documentar muy parcialmente dos episodios constructivos que se suceden casi sin interrupción entre los siglos II y I a. C. Al primero de ellos corresponden los restos de un posible horno del que solo se ha podido registrar una pequeña superficie de poco más de 1 m<sup>2</sup>. Se trata de un muro de tendencia circular de 85 cm de recorrido realizado con pellas de adobe y fragmentos cerámicos (UE 133). La parte excavada, correspondiente a la cámara de cocción, estaba cerrada por una bóveda hemisférica de la que únicamente se han conservado las primeras hiladas. La cámara de combustión y la parrilla, situada a una cota inferior, no ha podido ser documentada. Entre material recuperado de las

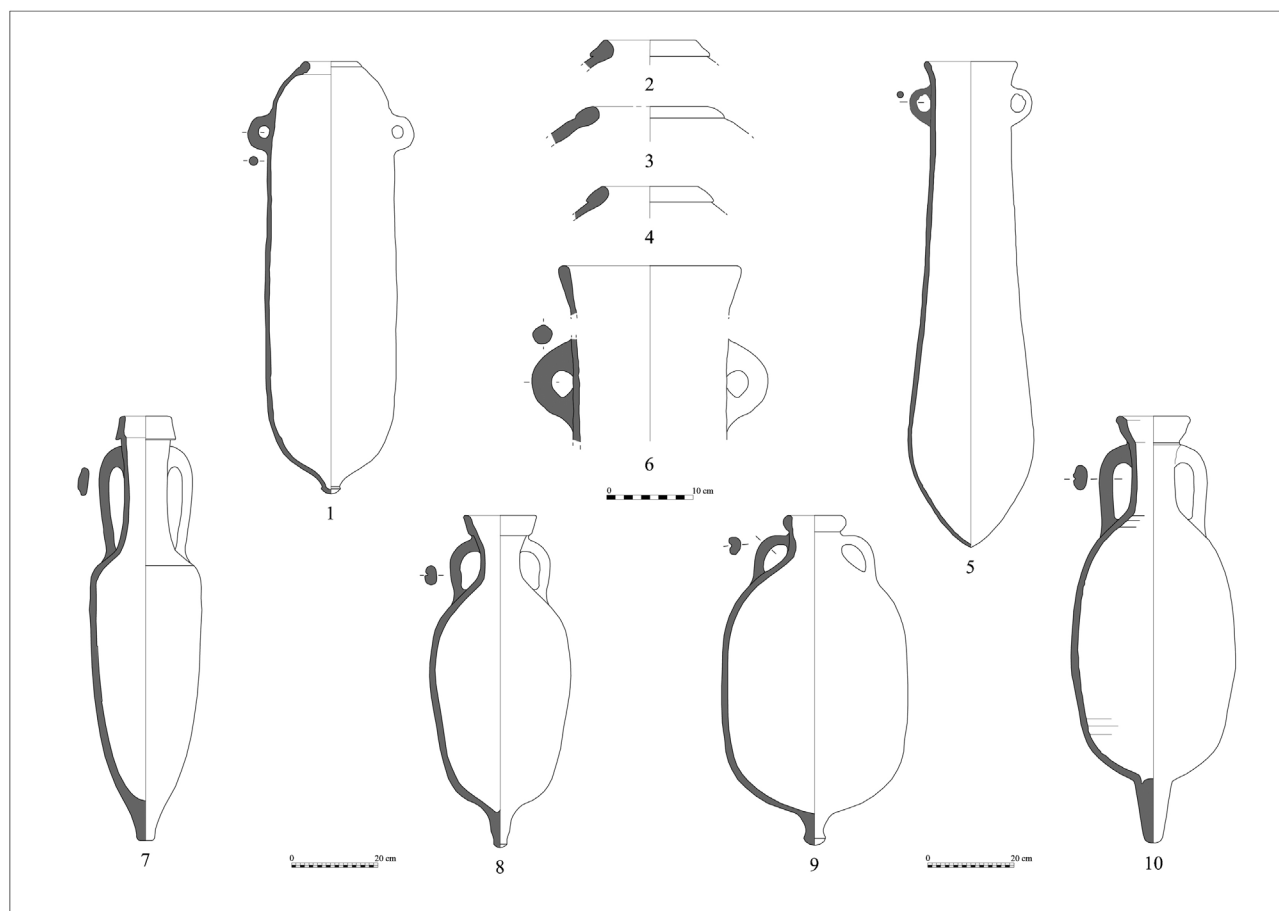


Figura 2 – Prototipos de las formas anfóricas correspondientes a las muestras tratadas en el texto: Pellicer D (1), T-8.1.1.2 (5), Dressel 1 (7), Ovoide 6 (8), Ovoide 4 (9), Haltern 70 (10). Dibujo de detalles de las muestras E-04 (2), E-05 (3), E-06 (4) y E-03 (5).

Tabla 1 – Identificación, contextualización, tipología y cronología de las muestras analizadas, junto a su clasificación según análisis petrográfico

Muestra	Yacimiento	Excavación	Contexto	Tipo	Cronología	Grupo petrográfico
E-01	Sevilla	P. Arzobispal (sondeo I)	UE-52 (38)	Indeterminado	Inicios I a. C.	Outsider
E-02	Sevilla	P. Arzobispal (sondeo I)	UE-52 (39)	Indeterminado	Inicios I a. C.	Outsider
E-03	Sevilla	P. Arzobispal (sondeo IV)	UE-133 (1)	T-8.2.1.1	II a. C.	1B
E-04	Sevilla	P. Arzobispal (sondeo I)	UE-46 (1)	Pellicer D	II a. C.	1A
E-05	Sevilla	P. Arzobispal (sondeo I)	UE-46 (2)	Pellicer D	II a. C.	1B
E-06	Sevilla	P. Arzobispal (sondeo II)	UE-81 (1)	Pellicer D	1.ª mitad III a. C.	1A
F-01	Carmona	González Parejo 19A	UE-14 (6)	Haltern 70	Inicios I d. C.	2
F-02	Carmona	González Parejo 19A	UE-14 (3)	Ovoide 6	Inicios I d. C.	2
F-03	Carmona	González Parejo 19A	UE-14 (3)	Ovoide 4	Inicios I d. C.	2
F-04	Carmona	Montánchez 4	Int. horno (223)	Lebrillo común	Mediados I d. C.	3B
F-05	Carmona	Montánchez 4	Int. horno (114)	Indeterminado	Mediados I d. C.	3B
F-06	Carmona	Montánchez 4	Int. horno (141)	Plato tipo Kuass	Mediados I d. C.	3A
F-07	Carmona	Montánchez 4	Int. horno (119)	Dressel 1	Mediados I d. C.	3A

paredes del horno se hallaron fragmentos de al menos tres ánforas púnicas T-8.2.1.1 (muestra E-03), así como un pie anular perteneciente a un mortero de tradición púnica, lo que permite fechar su construcción en torno al siglo II a. C. [27].

#### Hornos de la zona del Arrabal (Carmona-Carmona)

Este sector productivo se instala a finales del primer milenio a. C. en el borde noroeste del primitivo núcleo urbano, ya

extramuros de la ciudad romana, una vez abandonado el antiguo barrio industrial de la zona del Albolón, continuando su actividad al menos hasta fines del siglo I d. C. [28]. Se conoce gracias a las excavaciones realizadas en las últimas décadas en varios solares situados al norte de la Puerta de Sevilla que han permitido documentar un nutrido número de estructuras de producción alfarera asociadas en algunos casos a vertederos o a niveles de colmatación [29]. En este trabajo nos centraremos en las muestras obtenidas en dos de ellas.

La primera se llevó a cabo en 1989 en la c/ Montánchez 4, donde se practicaron cuatro cuadrículas de distinto tamaño y posición [30]. Aquí se identificaron dos hornos y una instalación anexa, aunque solo se pudo excavar el primero de ellos ya que las otras estructuras se extendían casi por completo bajo la casa vecina y la vía pública. El horno documentado corresponde al tipo Ia de Cuomo di Caprio, de planta ovalada y pilar central, con unos 320 cm de diámetro máximo en la parrilla. El suelo de la cámara de combustión estaba cubierto por los restos del combustible de la última hornada (UE 25), entre los que se registraron también desechos de alfar, *tegulae* y cerámica común, entre ellos grandes recipientes de almacenamiento (muestra F-04), que permitieron fechar su abandono en el siglo I d. C. Por su parte, sobre el derrumbe de los revestimientos y de parte de la cubierta del horno se depositaron poco después una serie de capas de vertido procedentes de la limpieza y vaciado de una estructura próxima (UE 20, 21 y 22), solo algo posterior, a juzgar por los materiales asociados. Están compuestos por cerámica común, en algunos casos con defectos de cocción, material constructivo (ladrillos, *tegulae* y *laterculi*) y algunos fragmentos de ánforas, que han podido identificarse posteriormente en la revisión de los materiales. De aquí proceden probablemente las muestras F-05, F-06 y F-07, aunque estas dos últimas, un plato que parece imitar una forma de la vajilla púnica «tipo Kuass» y un ánfora de tipología itálica, probable imitación de las Dressel 1, deben interpretarse como material residual de cronología anterior.

La segunda excavación tuvo lugar casi dos décadas después en la c/ González Parejo 19A [31]. En este caso se practicó una única cuadrícula de 4 x 5 m que se excavó hasta agotar la estratigrafía casi por completo. A pesar de las reducidas dimensiones del corte se pudieron diferenciar dos fases. La primera estaba formada por un rebaje natural en la base geológica del alcor donde se habían abierto dos fosas de tendencia circular con un diámetro máximo de 2,50 m y 2,10 m respectivamente, en una de las cuales se localizó parcialmente el suelo de la cámara de combustión de un horno. Ambas se encontraban rellenas con los escombros procedentes de la destrucción de los hornos y fueron amortizadas con una serie de capas de tierra y fragmentos de adobe acompañados de restos de materiales constructivos, cerámica común y ánforas, tanto de tradición turdetana (forma Pellicer D principalmente) como itálica. Ello situaría este primer momento de ocupación industrial de la zona en torno al siglo I a. C. El último nivel de amortización, que sirve ya de base a la siguiente fase de actividad alfarera, comprende una potente capa de vertidos con abundantes materiales, tanto constructivos (ladrillos de distintos tipos y *laterculi*) como cerámicos. Entre estos últimos destacan de nuevo las producciones comunes y las ánforas, especialmente las formas ovoides ya romanizadas, a las que corresponden las muestras F-01, F-02 y F-03. Aunque estos ejemplares son claramente más antiguos, la cronología final de este depósito la marca la vajilla importada, especialmente un fragmento de base de Terra Sigillata Itálica con sello *in planta pedis* de ATEI que se fecha en el segundo decenio del siglo I d. C. [32].

## Metodología y técnicas experimentales

En primer lugar, se ha llevado a cabo un estudio petrográfico perpendicular a la superficie, incluyendo la sección entera de las paredes de los recipientes en aquellos puntos que no menoscaban su perfil completo. Se prepararon láminas delgadas de las trece muestras estudiadas, con una superficie mínima de 4 cm<sup>2</sup>. Posteriormente fueron analizadas mediante un microscopio de luz polarizada (Nikon Eclipse E200) en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla, utilizando magnificaciones entre 2x y 20x. La composición y microestructura de las muestras fueron definidas a partir de los métodos habituales para la descripción petrográfica de cerámicas arqueológicas [33-35]. Finalmente, las muestras fueron agrupadas en función de su concordancia en aspectos tecnológicos y compositivos, considerando su fracción gruesa, fracción fina, matriz y microestructura.

Se realizaron análisis químicos mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) en pastillas obtenidas de muestras en polvo prensadas utilizando un equipo Axios PANalytical B.V., ubicado en el Centro de Investigación Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS), con un tamaño de muestras de un máximo de 51,5 mm de diámetro y 40 mm de altura, a 0,5 rev/s de giro. El tubo de rayos X es de ventana final superfina, con aislamiento cerámico de ánodo estándar de Rh y transmisión ultraalta. El tipo de goniómetro es  $\theta/2\theta$  desacoplado con el sistema de posición óptica directa, precisión angular 0,0025° $\theta$  y 2 $\theta$ . El conteo electrónico se llevó a cabo con un analizador doble multicanal con un procesador de señales digitales con corrección automática de tiempo muerto. Los cristales analizadores fueron: LiF420. LiF220. LiF200. Ge111 (plano/curvado), recubierto de TlAP, PX1, PX4, PX5, PX6, PX7 y PX9. El equipo empleado de FRX permite el análisis químico cualitativo y cuantitativo desde el oxígeno (O) al uranio (U) en un amplio rango de concentraciones que van desde los componentes mayoritarios hasta las trazas.

La calidad de los resultados analíticos en cuanto a sus características precisas y exactas se comprobó mediante mediciones con materiales certificados estándar en el CITIUS, como son los designados como GEOPT19, GEPT20 y NCS DC7 1301 de la Asociación Internacional de Geoanalistas, recomendados después de las pruebas de aptitud para los laboratorios de geoquímica analítica [36], con resultados experimentales y certificados de los elementos analizados y con un control de calidad de los análisis realizados en cuanto a límites de detección y cuantificación, así como los errores relativos de los elementos medidos [37].

El análisis estadístico multivariante es una herramienta de utilidad que introduce la importancia de la química y la quimiometría en la clasificación de las muestras [38-40], así como en estudios arqueométricos de materiales arqueológicos [41,42]. Se utiliza, a menudo, en una inspección inicial de resultados debido a que es una técnica eficiente para la evaluación de las relaciones entre un número relativamente grande de muestras analizadas, de tal modo que pueden clasificarse en distintos grupos.

En el caso del presente estudio, los datos químicos obtenidos se trataron estadísticamente utilizando varios enfoques multivariantes. Los análisis de conglomerados («Cluster Analysis», también denominado «análisis clúster») se realizaron con el programa StatGraphics Centurión XVIII, siguiendo los métodos de distancia euclidiana cuadrada y de vinculación media. Cuarenta variables correspondientes a 40 elementos químicos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$ , As, Ba, Cl, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, La, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sc, Sm, Sr, Ta, Th, Tl, V, U, W, Y, Yb, Zn, Zr) se han considerado para el tratamiento de los análisis de conglomerados con un tratamiento descriptivo.

Para el estudio mineralógico o análisis de fases cristalinas de estas muestras mediante la técnica de difracción de rayos X, se molieron con cuidado pequeñas porciones de las mismas utilizando un mortero de ágata y pistilo del mismo material, alcanzando un total de unos 200 miligramos, aproximadamente que se envasaron en viales antes de su análisis. Para la obtención de los difractogramas de rayos X de estas muestras se ha empleado un difractómetro Bruker-AXS, modelo D8I-A25, equipado con filamento de cobre  $\text{Cu K}\alpha$  ( $\lambda=1.5405\text{Å}$ ), con una ventana Bragg-Brentano  $\theta$ - $\theta$ , filtro de níquel y detector lineal, utilizando la técnica de polvo cristalino sin orientar. Esta técnica analiza el microdominio coherente de difracción de las fases con carácter cristalino, esto es, con periodicidad a largo alcance. Por tanto, la presencia o contenido de fases de carácter amorfo, que no presentan microdominios coherentes de difracción, no se pueden determinar y constituyen el fondo del diagrama obtenido al coexistir con fases cristalinas. Las fases cristalinas se determinaron por medio de sus difracciones características o picos diagnósticos del Joint Committee for Powder Diffraction Files. Para este análisis se evitaron, en lo posible, las fuentes de error que influyen en la forma de los picos de difracción, como son la orientación preferencial y la molienda intensiva que produce alteraciones en los cristales.

## Resultados y discusión

### Análisis petrográfico

El análisis petrográfico ha permitido diferenciar distintos grupos de muestras que presentan rasgos comunes en cuanto a su composición y microestructura, más allá de los componentes principales químicos y mineralógicos. En concreto, se han podido clasificar las muestras en función de la presencia, asociación, distribución y frecuencia de determinadas inclusiones de fragmentos de roca, minerales y bioclastos, la adición de desgrasante no naturalmente presente y una serie de rasgos tecnológicos que pueden definirse como «elecciones de alfarero» [43] a la hora de seguir una determinada receta cerámica.

De manera general, destaca la independencia de las dos series analizadas, E y F, que a pesar de sus iniciales rasgos similares no comparten las mismas características petrográficas exactas.

En total, han podido identificarse tres grupos petrográficos principales que coinciden con los contextos productivos de procedencia, junto a dos muestras clasificadas como *outsider* (fig. 3). La serie E está compuesta por el primero de los

grupos petrográficos, dividido en dos subgrupos (1A y 1B), junto a las muestras *outsider* E-01 y E-02, cuyo carácter de desecho de cocción dificulta la descripción petrográfica de las mismas. Por su parte, las muestras de la serie F se dividen entre los grupos petrográficos 2 y 3, este último dividido igualmente en dos subgrupos (3A y 3B). La adscripción de cada muestra puede consultarse en la tabla 1.

El grupo petrográfico 1 se caracteriza de forma general por una matriz densa de tonalidades marrones oscuras, con bajo índice de porosidad y ópticamente no activa. Sus inclusiones principales están representadas por granos de cuarzo subredondeado policristalino y, en menor medida, rocas calizas bioclásticas, con presencia muy escasa de fragmentos de rocas metamórficas (mica-esquistos). La orientación de poros e inclusiones es muy clara, de forma paralela a las paredes de las piezas. Como características texturales se aprecian restos de otras arcillas mal amasadas sin bordes concretos. Este grupo puede subdividirse en dos conjuntos de muestras, sin embargo, son muy cercanos en sus características composicionales:

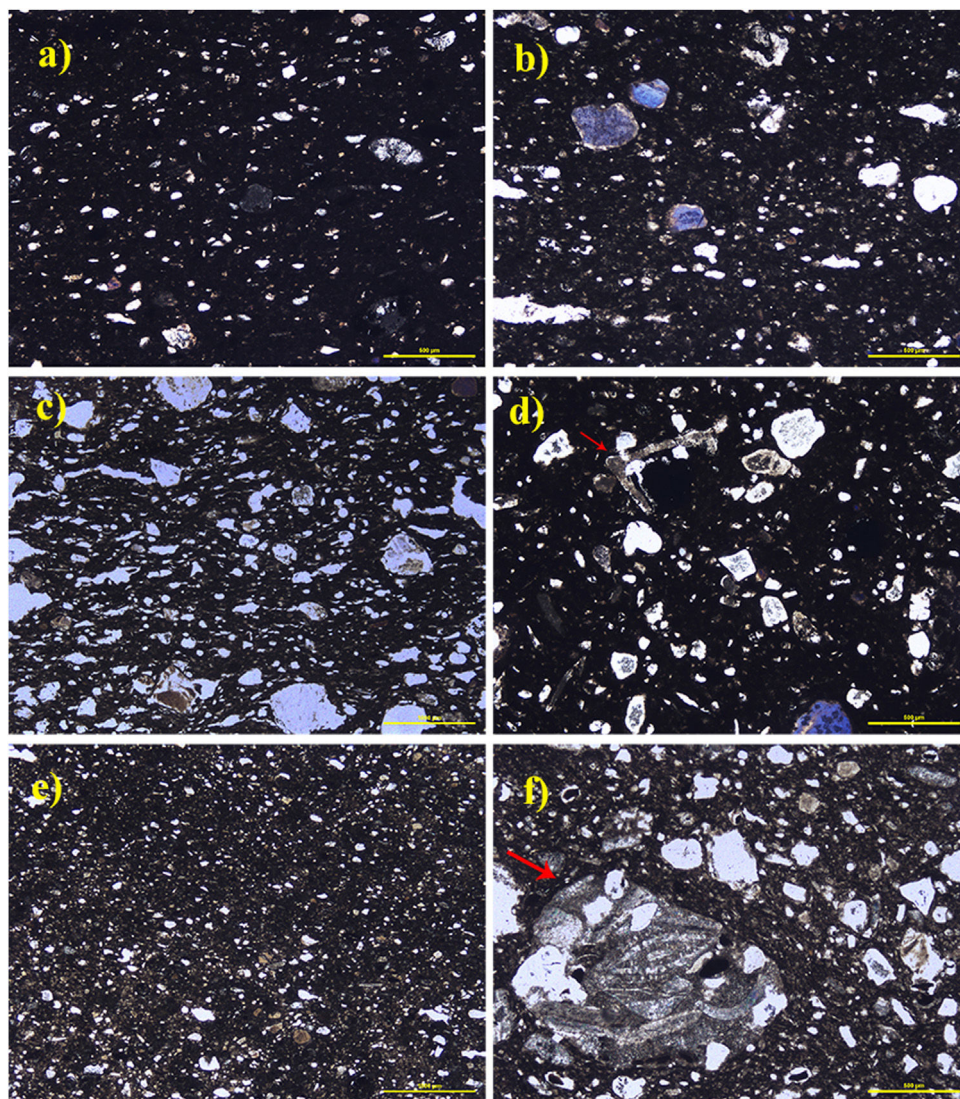
- Subgrupo 1A (fig. 3a), en la que se encuentran las muestras E-04 y E-06, poseen una distribución unimodal de los clastos, predominantemente de tamaño meso, matriz de granulometría fina-media y baja porosidad.
- Subgrupo 1B (fig. 3b), en la que se encuentran las muestras E-03 y E-05 con una distribución bimodal irregular y un tamaño predominante más grueso de las inclusiones, así como mayor granulometría de la matriz y porosidad más alta que el subgrupo 1A.

En el grupo petrográfico 2 (fig. 3d), se encuentran las muestras F-01, F-02 y F-03, se caracteriza por su matriz calcárea de granulometría gruesa, ópticamente no activa, distribución de los clastos claramente bimodal y una composición dominada por los granos de cuarzo y los fragmentos de rocas calizas fosilíferas, de tamaño meso-macro y forma subredondeada, además de escasos microfósiles. La porosidad es baja y de pequeño tamaño, no orientada de forma paralela indicando una mezcla homogénea de la materia prima.

El grupo petrográfico 3, por su parte, está compuesto por un tipo de pasta cerámica muy característica, identificada fácilmente por su composición. Destaca, al igual que en el grupo anterior, la presencia de fragmentos de rocas calizas fosilíferas y bioclastos (frecuentes microfósiles) y una menor presencia de granos de cuarzo, aunque la preparación de la pasta resulta diferente, con menor espaciado entre las inclusiones de pequeño tamaño y con una evidente ausencia del esquema bimodal que caracterizaba al grupo 2. Este grupo petrográfico puede subdividirse en dos conjuntos:

- Subgrupo 3A (fig. 3e), se encuentran las muestras F-06, F-07, definido en general por un mayor cuidado en el tratamiento de la mezcla. Distribución más homogénea, mayor porosidad de pequeño tamaño y matriz más fina.
- Subgrupo 3B (fig. 3f), se encuentran las muestras F-04 y F-05, caracterizado por una porosidad muy orientada de forma paralela a los bordes, así como la orientación de todos los clastos alargados. Distribución y clasificación más irregular de los fragmentos de roca bioclástica con cuarzo





**Figura 3 – Fotografías de láminas delgadas realizadas al microscopio de luz polarizada, nícoles cruzados:** a) Muestra E-06, perteneciente al grupo petrográfico 1A, en la que se aprecia la distribución unimodal y regular de los clastos. b) Muestra E-03, perteneciente al grupo petrográfico 1B, con una composición similar a la anterior pero con una distribución mucho más irregular. c) Muestra E-01, considerada *outsider*. Puede observarse la orientación ondulada de las frecuentes vacuolas. d) Muestra F-01, perteneciente al grupo petrográfico 2, compuesto principalmente por granos de cuarzo, y se observan también microfósiles de gran tamaño (indicado con flecha). e) Muestra F-07, perteneciente al grupo petrográfico 3A, cuyas inclusiones presentan un tamaño mucho menor. f) Muestra F-04, perteneciente al grupo petrográfico 3B. Se observa con claridad un fragmento de roca bioclástica (indicado con flecha), que caracteriza al subgrupo.

redondeado, predominantes, y mayor representación de microfósiles.

Por último, las muestras E-01 y E-02 quedan como *outsiders* fuera de los tres grupos petrográficos identificados. Se definen a grandes rasgos por una matriz de orientación ondulada con frecuentes poros de tamaño macro y misma orientación (fig. 3c). Su clasificación es claramente bimodal y las inclusiones son de gran tamaño, de espaciado estrecho. Posiblemente se les aportó granos de cuarzo de hasta 0,70 mm como desgrasante añadido, mientras que las inclusiones naturalmente presentes incluyen cuarcita, escasos fragmentos de rocas esquistosas, mica moscovita y otros granos de cuarzo en

la fracción fina. El hecho de tratarse de muestras sobrecocidas, desechos de cocción descartados, hace que su composición se encuentre probablemente alterada, pero resultan un interesante indicador de la composición habitual de las piezas manufacturadas en los hornos del Palacio Arzobispal de Sevilla, y en ese sentido se encuentran más cercanas al subgrupo 1B.

En general todos los grupos son compatibles con su contexto de origen. Es destacable el caso de los grupos 2 y 3, totalmente reconducibles a las características geológicas típicas de las arcillas alfareras de la zona de Carmona, si bien sus diferencias apuntan hacia una tradición tecnológica diversa entre ellas a pesar de compartir los mismos puntos de



**Tabla 2 – Composición química de elementos mayoritarios en las muestras estudiadas (resultados en porcentajes en peso %)**

Samples	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	LOI
E-01	62,77	12,32	4,55	0,05	2,19	7,70	2,35	4,08	0,67	0,21	0,05	2,08
E-02	62,60	12,3	4,60	0,06	2,18	7,80	2,15	4,10	0,68	0,20	0,06	2,01
E-03	50,05	13,00	5,6	0,06	2,45	13,50	0,60	2,59	0,67	0,3	0,18	4,31
E-04	53,46	14,97	6,03	0,06	2,35	12,80	0,66	2,64	0,76	0,34	0,17	5,60
E-05	51,42	13,28	5,46	0,07	2,55	13,72	0,63	2,61	0,66	0,29	0,16	8,60
E-06	53,30	14,8	5,96	0,05	2,30	12,70	0,65	2,60	0,75	0,33	0,19	5,80
F-01	58,10	10,90	4,10	0,04	1,69	13,55	0,70	2,50	0,70	0,15	0,15	7,91
F-02	58,21	11,07	4,21	0,05	1,70	13,55	0,72	2,57	0,72	0,14	0,14	7,15
F-03	57,75	10,74	4,09	0,05	1,64	13,58	0,69	2,49	0,71	0,12	0,17	7,36
F-04	52,78	12,15	5,48	0,05	2,15	15,27	0,53	2,31	0,63	0,26	0,39	8,38
F-05	54,15	11,48	4,81	0,04	1,75	15,42	0,53	2,09	0,60	0,19	0,27	8,33
F-06	53,12	12,25	5,24	0,05	2,00	15,25	0,52	2,35	0,61	0,28	0,36	8,20
F-07	53,10	12,10	5,10	0,05	2,03	15,30	0,53	2,40	0,60	0,30	0,37	8,10

LOI: «loss on ignition» = pérdida de peso por tratamiento térmico a 1000 °C.

aprovisionamiento de la materia prima. El Grupo 1 concuerda con la composición de las cerámicas protohistóricas tradicionales del Bajo Valle del Guadalquivir, si bien se trata de una serie de componentes comunes que podrían encontrar coincidencia geológica en otros puntos de la región. La presencia de ocasionales fragmentos de rocas metamórficas del estilo de las registradas para este Grupo 1 se relaciona con otras ánforas de similar tipología documentadas en el ámbito productivo del cercano yacimiento de Itálica [20].

### Análisis químico (FRX)

Los resultados de análisis químico elemental obtenidos por medio de la técnica FRX correspondiente al conjunto de muestras estudiadas se presentan en la tabla 2, expresados en óxidos. Puede observarse que existe una composición mayoritaria de sílice (máximo 62,77% en peso en la designada E-01) y de alúmina (máximo de 13,79% en la designada E-02), con un contenido variable de óxido de hierro (máximo de 6,03% en la muestra E-04), óxido de calcio (máximo 16,66% en la muestra F-07) y otros componentes en menor proporción. La composición química (en ppm) de las muestras estudiadas en cuanto al contenido en elementos minoritarios y trazas se presenta en la tabla 3.

Los análisis numéricos indican que hay 40 variables a considerar: 12 macro y microelementos y 28 elementos traza (tabla 3). Los macroelementos son los siguientes: SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub>. Los elementos restantes solo representan el 0,06%. En consecuencia, los elementos traza no fueron significativos.

Los porcentajes de elementos mayoritarios y la pérdida por calcinación se analizaron estadísticamente con el objeto de generar diferentes clústeres a los que se pudieran adscribir cada una de las piezas. Por un lado, se realizó el estudio estadístico solamente a los valores de los elementos mayoritarios de las dos series por separado (fig. 4a y b), y por otro en conjunto (fig. 5a), de manera que se observara si alguno de los componentes en particular influía en la pertenencia de un ejemplar a un grupo arqueológicamente determinado.

Los resultados obtenidos en la gráfica de distancia de aglomeración (fig. 5b), permiten observar que existe un salto

brusco en la etapa 11, por lo que, al haber 13 muestras en total en este trabajo, se pueden considerar 3 conglomerados. En consecuencia, se ha realizado el mismo estudio para 3 conglomerados. Los resultados de dicho estudio se presentan en la figura 6, en la cual se aprecia que las muestras designadas E-01 y E-02 quedan totalmente distinguidas del resto. Las demás muestras quedan agrupadas en 4 clústeres de la misma manera que se han podido determinar por la técnica de petrografía.

### Análisis mineralógico (DRX)

A continuación, se presentan los resultados del estudio realizado por difracción de rayos X de polvo cristalino en las muestras cerámicas estudiadas: ánforas de las series E y F, que en total suman 13 muestras.

Se han identificado las fases cristalinas (fig. 7), que inicialmente están presentes en las materias primas de partida, que deben tener su origen en la mezcla con las arcillas utilizadas como materias primas, que son las que se transforman por cocción, caso típico del cuarzo utilizado como desgrasante, carbonato de calcio (identificado como calcita), posiblemente hematites, illita/mica moscovita que es el único silicato laminar componente típico de las arcillas y que persiste por tratamiento térmico, y los feldespatos. Entre estos últimos, se mencionan el silicato de aluminio y sodio (albita) y el silicato de aluminio y calcio (anortita), que poseen difracciones muy similares y pueden solaparse sus picos en los difractogramas obtenidos. Por tanto, en este último caso puede ser difícil distinguirlos y se deben tomar los resultados en una primera aproximación.

La illita es uno de los mayores componentes de las arcillas y son las más utilizadas tradicionalmente en la producción de materiales cerámicos [44,45]. Así, se emplean arcillas, que serían «arcillas illíticas» o bien «caolínico-illíticas», para la fabricación de materiales cerámicos que contienen caolinita (20-80% en peso), illita (0-60% en peso), cuarzo (0-60%) y feldespatos (0-30%) y proporciones variables de otros minerales (como pueden ser calcita, dolomita, óxidos de hierro y de titanio). Básicamente, esta sería la composición general de las

**Tabla 3 – Composición química de elementos minoritarios y trazas en las muestras estudiadas (resultados en ppm)**

Muestras	As	Ba	Cl	Co	Cr	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sm	Sr	Ta	Th	Tl	V	U	W	Y	Yb	Zn	Zr
E-01	N.D.	527,2	2290,1	112,9	73,8	27,4	16,2	5,4	25,7	2,5	15,1	31,3	50,5	4,2	105,5	12,6	5,4	389,2	13,8	13,2	1,3	94,2	4,1	1870,9	23,8	4,1	94,5	176,2
E-02	N.D.	248,2	N.D.	30,2	93,8	33,8	15,9	5,0	34,6	2,0	6,6	24,4	32,0	4,0	71,4	12,9	5,7	433,3	N.D.	7,8	0,9	109,8	1,4	279,4	19,7	2,8	121,5	152,2
E-03	N.D.	296,2	51,9	43,7	84,1	21,3	16,1	6,8	27,5	2,4	19,2	30,7	33,4	7,5	84,3	16,6	5,6	312,2	1,2	12,1	0,9	91,3	2,4	514,8	22,2	2,6	102,9	213,1
E-04	4,5	320,9	162,2	37,3	128,5	23,6	17,7	6,3	29,1	2,2	14,7	29,7	55,2	11,8	93,1	18,8	5,8	404,5	N.D.	10,8	1,1	139,4	3,6	516,5	22,3	2,7	125,3	163,2
E-05	2,4	353,4	162,1	25,5	90,5	13,6	15,2	5,0	38,6	2,0	8,1	32,6	40,0	11,5	90,2	14,1	5,7	418,4	1,2	8,8	0,9	127,9	1,4	228,2	21,0	2,3	117,1	161,9
E-06	16,2	485,8	57,1	34,7	98,5	21,7	15,9	5,0	29,4	2,4	16,0	24,0	34,1	7,0	80,5	16,9	5,1	339,4	N.D.	11,8	1,0	126,9	2,5	337,3	20,9	2,6	115,8	142,4
F-01	2,4	222,6	69,8	58,8	96,8	8,3	14,9	4,3	25,0	1,8	2,2	26,6	52,1	4,7	66,4	13,4	4,4	398,5	N.D.	6,0	0,8	111,3	1,0	571,4	18,4	2,7	113,9	162,2
F-02	N.D.	298,8	196,4	46,7	70,2	18,2	13,9	6,0	25,5	2,3	16,8	23,5	40,1	10,9	88,9	14,2	4,6	299,7	9,0	12,9	1,0	78,3	4,1	391,6	23,2	2,4	106,7	270,0
F-03	N.D.	297,0	276,5	50,4	76,0	24,3	14,6	7,0	30,3	2,3	15,9	27,6	37,4	8,1	87,9	15,2	5,9	301,6	4,7	12,6	1,1	81,3	3,4	511,6	22,5	2,5	103,5	321,9
F-04	3,9	162,2	134,6	25,6	75,1	3,5	14,8	5,0	29,6	2,3	16,9	27,1	41,8	37,4	70,2	14,0	5,7	355,2	0,0	12,2	1,0	103,5	1,9	130,9	19,5	2,3	114,1	146,1
F-05	13,9	151,0	142,4	18,3	94,4	4,2	16,0	5,0	31,7	2,4	17,0	28,6	35,0	7,6	71,2	12,2	4,9	406,9	3,7	12,1	1,0	103,9	2,3	143,0	19,7	2,4	109,7	135,8
F-06	3,9	277,4	135,1	25,5	76,0	4,1	13,3	6,1	29,3	2,5	16,5	27,3	41,5	37,1	70,5	13,7	5,2	354,2	0,0	12,5	0,9	102,5	1,8	135,9	18,5	2,5	113,8	145,8
F-07	10,9	278,4	93,6	34,2	50,6	7,1	14,3	6,1	31,6	2,2	12,0	24,2	32,1	0,8	82,4	14,9	4,7	292,0	2,7	10,8	0,9	73,4	2,3	369,8	21,9	2,2	100,9	184,7

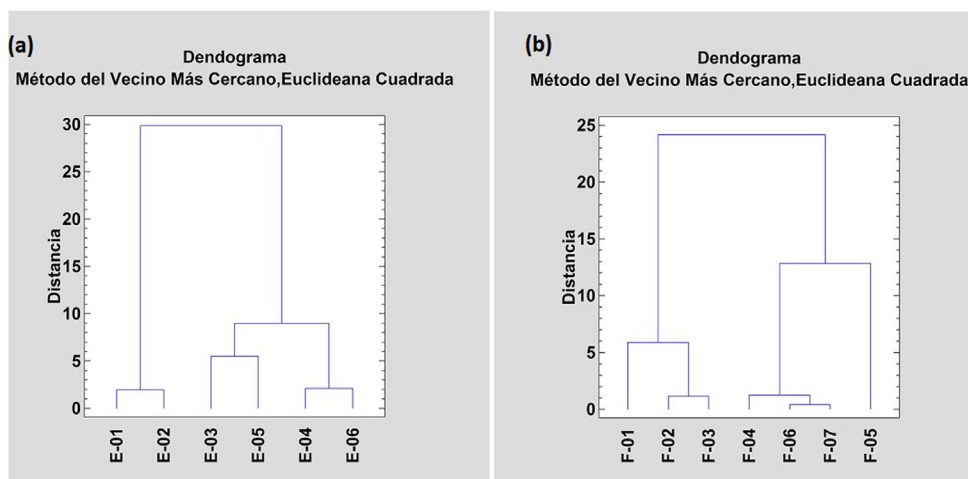


Figura 4 – Estudio de conglomerados (análisis clúster) de elementos mayoritarios serie E a), elementos mayoritarios serie F b).

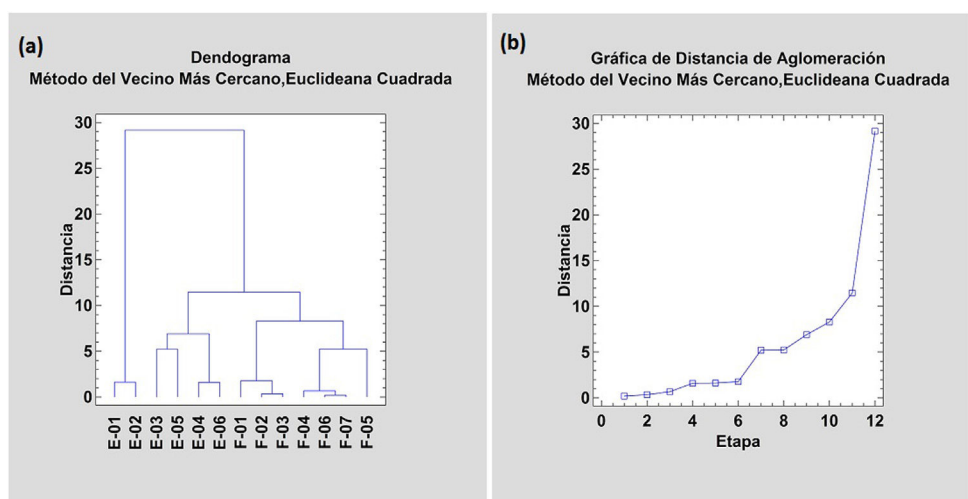


Figura 5 – Estudio de conglomerados (análisis clúster) de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas a); estudio de distancia de aglomeración del conglomerado anterior b).

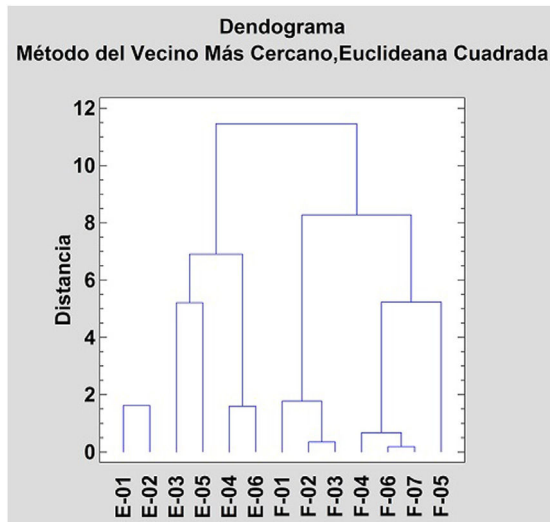
materias primas arcillosas que se emplearían para la manufactura de las ánforas estudiadas en el presente trabajo.

Otras fases cristalinas son producto del tratamiento térmico realizado en la cocción a determinadas temperaturas, por efecto y acción de reacciones químicas que se podrían considerar parte de la química de las «reacciones incompletas» y en no equilibrio, como son las diversas reacciones en estado sólido entre las arcillas y carbonato de calcio, dando origen a la formación de fases cristalinas, como son anortita ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_8$ ), diópsido ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) y de más alta temperatura relativa de síntesis, la gehlenita ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ). Esta última fase cristalina contiene también aluminio en su estructura cristalina y se forma, como se ha mencionado, por reacción a una mayor alta temperatura.

Una vez realizadas estas consideraciones, se presentan y discuten los resultados obtenidos del estudio por DRX de las muestras arqueológicas investigadas, de forma semicuantitativa (tabla 4) como resumen del estudio realizado, indicando

las fases cristalinas identificadas (fig. 7). Una primera estimación semicuantitativa, realizada a través del software Diffrac.EVA midiendo las alturas relativas del patrón de cada fase cristalina y de los valores  $I/I_{\text{cor}}$ , realizada también en algunas de estas muestras, ha indicado que los porcentajes relativos de cada fase guardan muchas similitudes entre dichas muestras, como era previsible según los resultados de la figura 7. No resulta fácil realizar estos cálculos por diversas causas de error ni tampoco se logra distinguir más allá de un  $\pm 10\%$  entre las fases identificadas, con estimaciones de fases inferiores al 5% y asumiendo, además, que no exista material amorfo. Evidentemente, el material amorfo debe estar presente a juzgar por la naturaleza de las muestras, tratadas térmicamente dando lugar a fases no cristalinas en transición a su cristalización, y el fondo de muchos difractogramas. Así pues, los resultados obtenidos de las fases cristalinas identificadas en los difractogramas de las dos series de muestras (E y F), que se incluyen en la figura 7, se presentan





**Figura 6 – Estudio de conglomerados de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas.**

en forma tabulada en la [tabla 4](#) para una mejor comparación de los mismos.

Todas las fases cristalinas que se han identificado en estas muestras de ánforas (como son diópsido, gehlenita, cuarzo, anortita) son típicas de proceder en su origen de una materia prima como son las arcillas comunes, ya que estos productos se obtienen en el rango de temperatura de 800 °C-1000 °C, aquellos productos que se obtienen a una mayor temperatura 1100 °C-1300 °C son procedentes de arcillas intermedias [46].

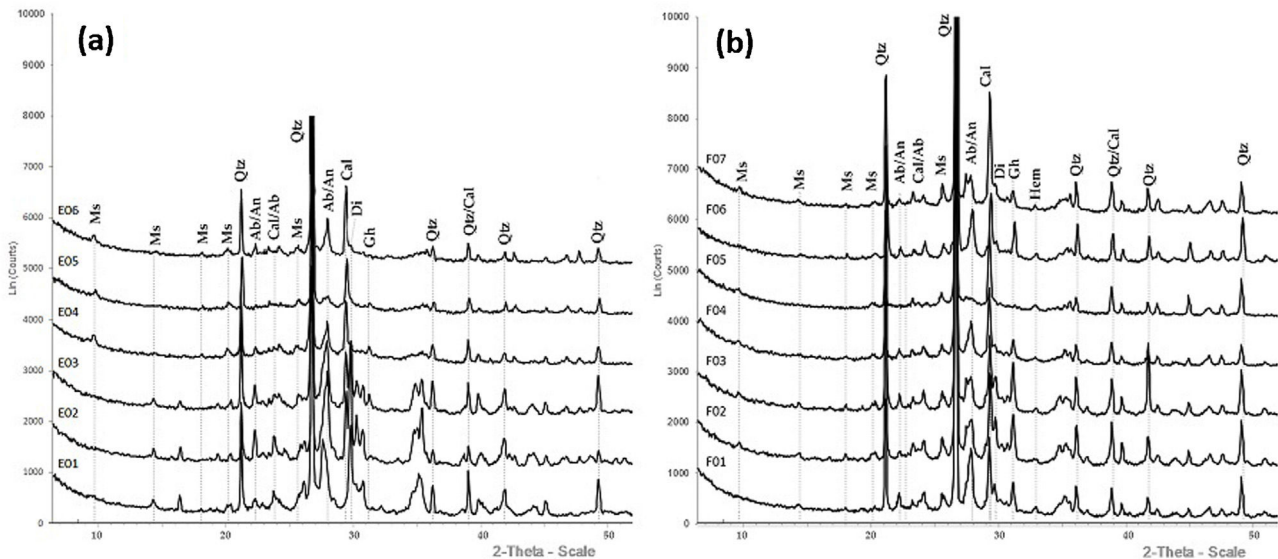
En primer lugar, puede destacarse la gran similitud entre las dos series de muestras E y F en cuanto a las fases identificadas por la técnica DRX, que suelen ser cuarzo, illita/mica/moscovita deshidroxilada, calcita, hematites (solo identificada

en las muestras de la serie F), anortita, diópsido, gehlenita y feldespato sódico (albita).

Las muestras presentan un elevado contenido en cuarzo que, sin duda, proviene de la materia prima original. Respecto a la calcita, en todas las muestras se ha detectado en contenidos medios y solo en una (E-01) en contenido más bajo. Esta calcita se ha producido porque quedaban restos de CaO de la muestra original, siendo la calcita una fase estable hasta los 900 °C. Posteriormente, el CaO se hidrataría al estar expuesto a condiciones atmosféricas donde exista un alto porcentaje de humedad, dando lugar a la formación del hidróxido  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  denominado portlandita [47]. La portlandita puede posteriormente recarbonatarse produciéndose calcita, conociéndose comúnmente a este efecto como «efecto caliche» por la expansión que se produce en los materiales [48,49].

En cuanto a las muestras arqueológicas de la serie E, existe una gran similitud entre las muestras E-02 y E-03 con presencia de fases de alta temperatura, diópsido y gehlenita, lo que indica que la temperatura alcanzada en el horno durante la cocción debió superar los 800 °C, aunque también estaría el efecto del «ciclo de cocción», no solo la temperatura de tratamiento en un horno que seguro posee gradientes térmicos, sino también el tiempo que se ha mantenido a esa temperatura e incluso el factor de influencia de la atmósfera del horno. Sobre esto se volverá a discutir más tarde. La existencia de gehlenita es una indicación de que la cerámica fue fabricada a partir de una arcilla de grano relativamente grueso [50,51].

La presencia de diópsido (silicato de calcio y magnesio  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) en algunas muestras indica que en las materias primas utilizadas se encontraba presente un componente que aporta magnesio, como es el carbonato doble de calcio y magnesio, dolomita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], o bien un aporte de óxido de magnesio de otros minerales (como las esmectitas), formándose esta fase según la siguiente reacción, la cual comienza a producirse a la temperatura de 900 °C, según Cultrone et al. [52]:  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 \text{ ---- } > \text{CaMgSi}_2\text{O}_6$



**Figura 7 – Difractogramas de rayos X comparativos de las dos series de muestras: Serie E a) y Serie F b) con los minerales identificados (véase [tabla 4](#)).**

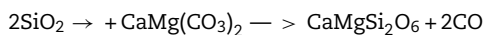
**Tabla 4 – Composición mineralógica\* de las muestras estudiadas determinada por DRX**

Muestras	Qtz	Cal	An	Ab	Gh	Di	Ms	Hem
E01	++++	++	+++	+++	—	++	+	—
E02	++++	+++	+++	+++	—	++	+	—
E03	++++	+++	+++	+++	+	++	+	—
E04	++++	+++	+++	+++	+	+	+	—
E05	++++	+++	++	++	+	—	+	—
E06	++++	+++	+++	+++	—	+	+	—
F01	++++	+++	+++	+++	++	+	+	+
F02	++++	+++	++	++	++	+	+	+
F03	++++	+++	+++	+++	++	+	+	+
F04	++++	+++	+++	+++	++	+	+	+
F05	++++	+++	+++	+++	—	—	+	+
F06	++++	+++	+++	+++	++	+	+	+
F07	++++	+++	+++	+++	++	+	+	+

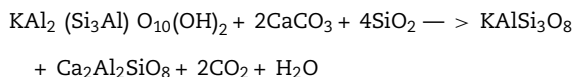
Ab: albita; An: anortita; Cal: calcita; Di: diópsido; Gh: gehlenita; Hem: hematites; Ms: muscovita (illita); Qtz: cuarzo; + + + +: muy abundante; + + +: abundante; + +: contenido medio; +: trazas; —: no detectado.

\* Fases minerales identificadas, siguiendo la notación de L. Donna W. y W. E. Bernard. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am Miner.* 95(2010) pp 185–187.

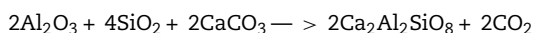
La dolomita se descompone por tratamiento térmico y es capaz de reaccionar con la sílice originando diópsido, de acuerdo con la siguiente reacción [48]:



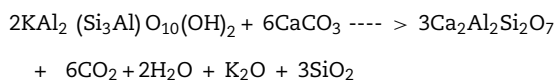
También puede darse la formación de anortita a expensas de la calcita y teniendo en cuenta que están presentes illita y cuarzo, formándose además un feldespató potásico (sanidina), según la reacción en estado sólido:



Sin embargo, no se ha identificado sanidina en estas muestras (fig. 7), por lo que o bien es una fase transitoria y no ha podido detectarse por DRX, o su proporción relativa es muy baja. Probablemente lo que suceda en estos materiales que la anortita se haya formado también por reacción en estado sólido entre los minerales de la arcilla, descompuestos en sílice y alúmina, con la calcita presente, de acuerdo con la reacción siguiente [48]:

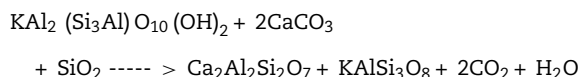


Por otra parte, la formación de la fase gehlenita (silicato de calcio y aluminio,  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ) fase que comienza a formarse a 800 °C, alcanza su máximo desarrollo a 900 °C y, posteriormente, se descompone al aumentar la temperatura [50,51], puede darse a partir de una reacción en estado sólido entre minerales de la arcilla, como son las esmectitas y la illita, y la calcita [53]:



También es posible otra reacción entre illita, sílice (cuarzo presente y sílice de la descomposición de los silicatos) y

calcita, en menor proporción estequiométrica de esta última, con formación de sanidina y gehlenita [48], de acuerdo con la ecuación:



Todo lo anterior da idea de la complejidad que puede existir en el origen de las fases formadas a partir de arcillas por efecto de los tratamientos térmicos, los cuales, en la mayoría de los casos, son incompletos y originan fases que se forman y descomponen.

Las muestras E-04, E-05 y E-06 presentan cierta similitud, sin formar fases minerales de alta temperatura en proporciones relativas considerables, por lo que las temperaturas de cocción de estas muestras se estima que han sido un poco menores.

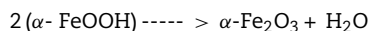
En particular, la muestra E-01 presenta una composición diferente a las demás. Este hecho también se ha visto reflejado en el estudio estadístico de los análisis químicos de clúster (fig. 6), en la que dicha muestra puede ser diferenciada del resto.

En las muestras de la serie F sí se ha identificado la presencia de estas fases de alta temperatura (anortita, diópsido, gehlenita), salvo en F-05. Todas las demás contienen prácticamente los mismos compuestos cristalinos. Es de interés resaltar que la coexistencia de fases cristalinas, como la calcita, junto a los silicatos de alta temperatura como son gehlenita y diópsido, conlleva a pensar que la mayor temperatura de cocción del horno donde se obtuvieron estos materiales mediante tratamiento térmico pudo estar entre 820 °C-850 °C.

Es importante mencionar un estudio sobre cerámicas antiguas, realizado por Papachristodoulou et al. [41]. Estos autores estimaron una «temperatura de cocción» de 800 °C, o incluso algo por debajo de esta, en una serie de muestras de cerámicas arqueológicas que analizaron, de acuerdo con la identificación por DRX de picos de illita/mica muscovita (fase deshidroxilada)

bastante bien preservados, algo de calcita y débiles picos de plagioclasas, como anortita.

Además, también se puede mencionar otra fase cristalina presente comúnmente en materiales cerámicos arqueológicos, identificada por DRX, que es la hematites ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). En el presente estudio, esta fase solo se ha detectado en las muestras de la serie F (tabla 4), siendo una diferencia a destacar con las muestras de la serie E. Dicha fase cristaliza a partir de geles amorfos de óxidos de hierro [54,55] o mediante reacción de fases cristalinas, como la limonita [56] o la goethita ( $\alpha$ -FeOOH) [57], que pierden agua de su estructura a unos 400-500 °C, según la reacción:



Esta reacción en estado sólido es la responsable del cambio de coloración de amarillo a rojo, rojo intenso o pardo en los materiales que contienen hematites y que caracteriza a este óxido de hierro, utilizado como pigmento desde antiguo [55]. Es importante también mencionar que la hematites, en una atmósfera con contenido bajo en oxígeno (atmósfera reductora) y a mayor temperatura, por encima de 900 °C, puede ser reducida a magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), con cambio de coloración de rojo a negro [57]. En las muestras estudiadas no se ha detectado magnetita por DRX, lo que confirma que la temperatura que alcanzaron las arcillas empleadas en la manufactura de estas ánforas no superaría los 900 °C y, además, que se usaría una atmósfera oxidante.

No obstante, la estimación directa y absoluta de la «temperatura de cocción» de un material cerámico arqueológico, en términos arqueométricos, nunca se puede realizar, como ya se puso de manifiesto en un trabajo previo [58]. Efectivamente, no es posible determinar ciertos parámetros y las condiciones del ciclo de cocción, como pueden ser la atmósfera del tratamiento térmico y la duración de este. Es necesario utilizar el concepto de «temperatura de cocción equivalente». Como ya se puso de manifiesto, se trata de «una aproximación indirecta a la temperatura de cocción teniendo en cuenta los cambios mineralógicos y microestructurales que experimenta la materia prima con la que se manufacturó la cerámica» [58]. Además de lo anterior, de acuerdo con la bibliografía [59-61], en los procesos de tratamiento térmico con medios tradicionales se pueden dar diferencias de temperatura de más de 100 °C dentro de una misma estructura. Por consiguiente, este hecho hace aún más complejo este tipo de estimaciones.

Por último, quedaría pendiente aún otra cuestión que merece una discusión aparte y es el origen de las materias primas empleadas en la manufactura de estos recipientes. Aunque todo podrían ser conjeturas, está demostrado de forma indirecta en esta investigación que las arcillas empleadas para este fin han sido arcillas illíticas con variables contenidos en calcita (arcillas illíticas calcáreas) y, en el caso de algunas de las muestras, si fueron muy plásticas debido a las esmectitas (montmorillonita) que estuvieran presentes, se les añadió cuarzo como desgrasantes. Este tipo de arcillas se pueden encontrar en sedimentos del Terciario próximos a Sevilla. Se trata de las denominadas «margas azules» de la Formación Écija y posiblemente algunos otros materiales de la denominada «Serie de Transición» [62-65], en general con una composición química bastante similar a la mostrada en la

tabla 2, excepto la muestra E-01 (que, recordemos, constituye un fragmento sobrecocido). Esto último también confirmaría el resultado encontrado en el análisis de conglomerados (fig. 6) y es compatible con las conclusiones de su estudio petrográfico, si bien diferenciando entre las características de ambos grupos de muestras según su origen geográfico (ámbito de Sevilla/alrededores de Carmona).

Las características tecnológicas de los sedimentos terciarios de la margen derecha del río Guadalquivir han sido estudiadas por diversos autores en trabajos, ya clásicos, realizados en el último cuarto del siglo pasado [13,62,66]. Sus conclusiones fueron importantes, ya que demostraron que estas materias primas arcillosas reúnen buenas cualidades para obtener productos cerámicos tradicionales, como son ladrillos [62] y azulejos [63], añadiendo como desgrasantes materiales con carácter arenoso procedentes del aluvial del Guadalquivir. Las buenas aptitudes cerámicas de las arcillas mencionadas, además de su cercanía y proximidad a Sevilla (Spal), Carmona (Carmo) y otros grandes centros de población hace pensar que, lógicamente, se hayan empleado como materias primas desde muy antiguo para las industrias cerámicas locales. Entre ellas debe incluirse la manufactura de ánforas de diferentes tipologías destinadas al envase y transporte de excedentes agropecuarios.

## Conclusiones

Desde el punto de vista petrográfico se ha podido confirmar la compatibilidad composicional de las piezas con sus contextos de origen, así como diferenciar distintos subgrupos en función de características tecnológicas y procedimentales en la preparación de la materia prima. De esta forma, dejando de lado el primer grupo petrográfico en el que se reúnen los ejemplares de Pellicer D y el de ánfora T-8.2.1.1, los grupos petrográficos 2 y 3 son ambos un reflejo de las producciones típicas de Carmona. Sin embargo, se diferencian en dos tendencias, una con mayor similitud con las recetas cerámicas de la zona durante la Segunda Edad del Hierro (Subgrupo 3A, formado por imitaciones de formas romanas y púnicas y cerámica común) y una tradición alfarera con un tratado diferente y novedoso de las mismas materias primas (Subgrupo 3B, formado por formas ya originales romanas). Además de lo anterior, se ha concluido del análisis petrográfico que coincide con las principales cuestiones determinadas por los análisis químicos y mineralógicos. No obstante, se ha observado que dos muestras del conjunto estudiado, las designadas E-01 y E-02, quedan lejos de las caracterizaciones del resto de piezas, lo que se asocia a su carácter de sobrecocción, especialmente en el caso de la primera de ellas. Por ello, ha quedado fuera de las clasificaciones en todos los tipos de análisis efectuados.

Los resultados químicos, en general, han permitido conocer el carácter sílico-aluminoso y cálcico de estas muestras, con contenidos variables de óxido de hierro, así como otros elementos minoritarios y trazas. Por medio de un tratamiento estadístico de los resultados se han logrado diferenciar 4 clústeres y dos muestras (designadas E-01, E-02) que se distinguen del resto, lo que coincide también con las conclusiones del análisis petrográfico realizado.



Asimismo, el análisis mineralógico ha permitido identificar varias fases cristalinas, siendo en total 8. Dichas fases o bien estaban ya presentes en las materias primas, como el cuarzo, calcita y albita, o se formaron mediante un tratamiento térmico que produjo diversas reacciones en estado sólido. Se han identificado illita deshidroxilada, anortita, dióxido, gehlenita y hematites. En el estudio llevado a cabo se han puesto de manifiesto las posibles reacciones en estado sólido que han originado estas fases cristalinas. A partir de estos resultados, se ha realizado una estimación de las temperaturas de cocción que se pueden deducir teniendo en cuenta las fases observadas, estableciéndose que ha sido inferior a 900 °C, entre 820 °C-850 °C, en una atmósfera oxidante. Por último, se ha propuesto que las materias primas utilizadas en la preparación de estos materiales cerámicos son de naturaleza illítico-calcárea con buenas aptitudes cerámicas y un origen localizado en el valle del Guadalquivir, aunque si hubiesen sido muy plásticas se habrían añadido como desgrasantes materiales de carácter arenoso de tipo aluvial.

Una vez satisfecho el primer y principal objetivo, quedan patentes las diferencias entre las ánforas de tradición turdetana y púnico-gaditana, representadas por las muestras E-03 a E-06, a las que se suman los dos especímenes considerados *outsiders* (E-01 y E-02), y las producciones ya romanizadas (F-01 a F-03, F-05 y F-07), tanto en la selección y manipulación de las materias primas –las denominadas recetas cerámicas–, como en los procesos relacionados con la cocción de las piezas. Es más, se aprecian también diferencias entre las primeras formas romanizadas (F-07 y probablemente F-05), más próximas a la tradición tecnológica local –como queda reflejado también en sus concomitancias con las formas comunes utilizadas como contraste (F-04 y F-06)–, y las ánforas ovoideas propiamente dichas, de finales de época republicana o temprano-augustea, cuyas recetas cerámicas preludian ya los procedimientos de fabricación que se extenderán y estandarizarán a inicios de época imperial (F-01 a F-03). En este sentido, se puede hablar de una evolución tecnológica que va más allá de los matices que distinguen a unos talleres de otros, normalmente relacionados con las materias primas disponibles o con las propias «elecciones de artesano» en el tratamiento de las mismas, y que apuntan a un cambio tanto en los procesos productivos como en los propios modos de producción, orientados a satisfacer una demanda cada vez más grande y especializada [66].

Asimismo, estos resultados permiten confirmar la procedencia local de los envases estudiados en ambas localidades y probablemente también su fabricación en los contextos alfareros a los que se encuentran asociados.

En el caso de las ánforas documentadas en el área industrial del Arrabal de Carmona, esto parece fuera de toda duda, ya que no solo presentan una composición compatible con las arcillas locales, sino que guardan claras similitudes con otros materiales del mismo origen dados a conocer en publicaciones anteriores e incluso con las muestras de cerámica común analizadas, que debieron ser producidas en los mismos talleres. Esto no es una cuestión baladí, teniendo en cuenta que supondría la confirmación de una hipótesis, propuesta en los últimos años sobre la base de distintas evidencias, que defiende la posibilidad de que en Carmona se manufacturaran

ánforas de tipología ovoide a finales de la República, conjuntamente con las últimas producciones de tradición turdetana [66]. Ello constituye al mismo tiempo una prueba de la capacidad de adaptación de la tradición alfarera local, que arranca a principios de la Edad del Hierro y continúa a lo largo de todo el I milenio a. C. sin aparente solución de continuidad hasta enlazar con la producción de formas romanizadas, tanto de ánforas como también de cerámica común.

Por lo que respecta a los ejemplares registrados de los hornos excavados en el Palacio Arzobispal de Sevilla su procedencia es más controvertida, tanto por la escasa representatividad de las pastas, con componentes y tratamientos muy comunes que podrían remitir a diferentes áreas productoras, como por la ausencia de referencias de arcillas o manufacturas cerámicas claramente locales. A ello se une el grado de alteración de los dos fragmentos pasados de cocción (E-01 y E-02), que impide asociarlos a los grupos de pasta identificados, si es que no corresponden a una receta distinta, no representada en el resto de las muestras de la serie. Aún así, las analogías entre estos grupos de pasta (1A y 1B) y los descritos recientemente para una proporción considerable de las ánforas documentadas en los contextos asociados al horno de Pajar de Artillo (Itálica), pertenecientes mayoritariamente también al tipo D de Pellicer, con los que comparte algunos componentes característicos, como son ciertos fragmentos rocosos metamórficos [20], podría estar sugiriendo el uso de las mismas materias primas para la elaboración de estos envases, que habría que buscarlas en algún punto próximo de la vega del Guadalquivir, entre Santiponce y Sevilla.

De ser así, llama poderosamente la atención la presencia en el grupo 1A de un ejemplar de ánfora T-8.2.1.1 (E-03), una forma de origen púnico cuyo origen se encuentra muy probablemente en los talleres insulares gadiritas. Aunque se ha planteado la posible existencia de otras áreas productoras para estos envases, tanto en la costa del Estrecho como en el interior de las campiñas de Cádiz, e incluso del Guadalquivir [67,68], hasta el momento no se había constatado arqueométricamente su manufactura con arcillas de esta última región, a pesar de su presencia en contextos industriales, como ocurre en el caso de Carmona, de donde procede la denominación más común de estos envases «tipo Carmona» [69]. Así pues, a la luz de estos indicios es probable que las ánforas T-8.2.1.1 se fabricaran junto con las Pellicer D, y quizá también con otras formas más tardías, en los alfares del Bajo Guadalquivir, o al menos con las mismas recetas cerámicas que los tipos locales. La otra alternativa es pensar que los grupos de pasta representados en esta serie pudieran corresponder a producciones costeras indeterminadas y, por lo tanto, que las ánforas que conforman la muestra (Pellicer D y T-8.2.1.1) fueran en realidad importaciones consumidas y amortizadas en la antigua Spal. Sin embargo, como ya se ha avanzado, tanto la presencia de componentes característicos del valle bético en sus pastas como la ausencia de otros, que son frecuentes en las manufacturas gaditanas, como es el caso de las hematites, parecen descartar esta posibilidad.

En cualquier caso, solo la realización de futuros análisis sobre un conjunto más amplio de muestras de distintas procedencias permitirá corroborar, completar o matizar los resultados aquí propuestos, que ponen de relieve la dimensión

y complejidad de la producción anfórica en el Bajo Guadalquivir en los momentos transicionales entre la Edad del Hierro y los inicios de la presencia romana.

## Financiación

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto «Tarteso Olvidado (en los Museos)» (PGC2018-097131-B-I00), aunque parte de los análisis se habían sufragado con cargo al proyecto «Sociedad y Paisaje: Alimentación e Identidades Culturales en Turdetania-Bética» (Siglos VIII a.C. - II d.C.) (HAR2011-25708). Agradecemos a los responsables de las excavaciones arqueológicas su amabilidad al cedernos las muestras estudiadas en este trabajo, en especial a G.M. Mora Vicente y M<sup>a</sup>.T. Gómez Saucedo, así como al Museo de la Ciudad de Carmona, donde tuvimos oportunidad de examinar algunas de ellas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Ferrer Albelda, F.J. García Fernández, J.L. Escacena Carrasco, El tráfico comercial de productos púnicos en el antiguo estuario del Guadalquivir, *Mainake* XXXIII.1. (2010) 61-89.
- [2] A.M. Sáez Romero, Apuntes sobre las dinámicas comerciales de Gadir entre los siglos VI y III a.C., *Gerión* 36.1 (2018) 11-40.
- [3] F. Chaves Tristán, F.J. García Fernández, E. García Vargas, E. Ferrer Albelda, M.L. de la Bandera Romero, M. Oria Segura, Economía rural y consumo urbano en el sur de la Península Ibérica: el Bajo Guadalquivir (siglos V a.C. - II d.C.), en: *L'África Romana XVIII*, Olbia (Italia) (2010) 1082-1100.
- [4] F.J. García Fernández, E. Ferrer Albelda, P. Álvarez Mateos, M<sup>a</sup>.M. Durán Barrantes, Análisis de residuos orgánicos y posibles contenidos en ánforas púnicas y turdetanas procedentes del valle del Guadalquivir, *Sagvmtvm* 48 (2016) 43-71.
- [5] G. Chic García, E. García Vargas, Alfares y producciones cerámicas en la provincia de Sevilla Balance y perspectivas, en: L. Lagóstena Barrios, D. Bernal, Casasola (Eds.), *Actas del Congreso Internacional FIGLINAE BAETICAE*. Talleres alfareros y producciones cerámicas en la Bética romana (ss. II a.C. - VII d.C.), *BAR International Series* 1266, I, Archaeopress, Oxford, 2004, pp. 279-348.
- [6] F.J. García Fernández, E. García Vargas, Los hornos alfareros de tradición fenicia en el valle del Guadalquivir y su perduración en época romana: aspectos tecnológicos y sociales, *Spal* 21 (2012) 9-38.
- [7] E. Ferrer Albelda, F.J. García Fernández, La cerámica turdetana, en: D. Bernal Casasola, A. Ribera i, Lacomba (Eds.), *Cerámicas hispanorromanas. Un estado de la Cuestión*, Universidad de Cádiz, Cádiz, 2008, pp. 202-219.
- [8] M.B. Deamos, Ánforas de los siglos VI-IV a.C en Turdetania, *Spal* 15 (2006) 217-246.
- [9] F.J. García Fernández, A.M. Sáez Romero Las ánforas turdetanas: actualización tipológica y nuevas perspectivas, Editorial Universidad de Sevilla, Sevilla. (en prensa).
- [10] E. García Vargas, R.R. de Almeida, H. González Cesteros, Los tipos anfóricos del Guadalquivir en el marco de los envases hispanos del siglo I a.C Un universo heterogéneo entre la imitación y la estandarización, *Spal* 20 (2011) 185-283.
- [11] M.C. González Vílchez, G. García Ramos, F. González García, M. Pellicer Catalán, Cerro Macareno (Sevilla) pottery: the nature and provenance of amphoras and other earthenware pots from VIII to III centuries b.C., en: *Proceedings of the 22nd Symposium on Archaeometry*, University of Bradford, Bradford, 1983, pp. 388-403.
- [12] M.C. González Vílchez, F. González García, G. García Ramos, Las arcillas cuaternarias del valle inferior del Guadalquivir y las cerámicas del Cerro Macareno (Sevilla), *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular* 5 (1983) 125-154.
- [13] M.C. González Vílchez, F. González García, G. García Ramos, Materias primas y datos tecnológicos de piezas cerámicas antiguas del yacimiento arqueológico de Cerro Macareno (Sevilla), *Bol.Soc.Esp.Ceram.V* 24.3 (1985) 173-186.
- [14] M.C. González Vílchez, G. García Ramos, F. González García, Materias primas y datos tecnológicos de piezas cerámicas antiguas del yacimiento arqueológico de Cerro Macareno (Sevilla) (II), *Bol.Soc.Esp.Ceram.V* 24.4 (1985) 219-232.
- [15] M.C. González Vílchez, G. García Ramos, F. González García, Productos de alfarería de Cerro Macareno (Sevilla). Naturaleza y procedencia de las ánforas y otros objetos cerámicos Siglos VIII al III a. J. C, *NAH* 21 (1985) 157-174.
- [16] M.A. Gómez Morón, J. Polvorinos del Río, Informe de la caracterización mineralógica química y óptica de piezas cerámicas arqueológicas del yacimiento de la Casa del Marqués de Saltillo (Carmona, Sevilla), en: M. Belén Deamos, al. et (Eds.), *Arqueología en Carmona (Sevilla). Excavaciones en la Casa Palacio del Marqués de Saltillo*, Junta de Andalucía, Sevilla, 1997, pp. 313-334.
- [17] T. Cordero Ruiz, L. García Sanjuán, V. Hurtado Pérez, J.M. Martín Ramírez, A. Polvorinos del Río, R. Taylor, La arqueometría de materiales cerámicos: una evaluación de la experiencia andaluza, *Trabajos de prehistoria* 63. 1 (2006) 9-35.
- [18] M.A. Gómez Morón, J. Polvorinos del Río, Caracterización de cerámicas y materiales constructivos de los hornos de la plaza de Lasso (Carmona, Sevilla), *Caesaraugusta* 73 (1999) 131-139.
- [19] A. Polvorinos del Río, A. Gómez Morón, Replicate of archaeological ceramics from Carmona (Seville Spain), en: M. Ortega-Huertas, A. López-Galindo, I. Palomo-Delgado (Eds.), *Advances in Clay Minerals: Proceedings of the Spanish-Italian Meeting on Clay Minerals*, Granada, Sociedad Española de Arcillas, Universidad de Granada, 1996, pp. 298-300.
- [20] V. Moreno Megías, Del campo a la ciudad. La producción y comercialización de recipientes anfóricos en el Bajo Guadalquivir durante la II Edad del Hierro (tesis doctoral inédita), Universidad de Sevilla, Sevilla, 2017.
- [21] V. Moreno Megías, Nuevos datos sobre la fabricación de ánforas turdetanas. Una revisión de las fases y manufacturas de producción de Cerro Macareno (La Rinconada, Sevilla), *Lucentum* XXXVIII (2019) 153-170, <https://doi.org/10.14198/LVCENTVM2019.38.07>.
- [22] A. Polvorinos del Río, V. Flores Alés, M.A. Tabales Rodríguez, M.J. Hernández Arnedo, Caracterización y tecnología de materiales cerámicos romanos de los ss. I a III d.C. procedentes del Hospital de las Cinco Llagas de Sevilla, *Bol.Soc.Esp.Ceram.V* 42.2 (2003) 93-99.
- [23] A. Guiraum Pérez, J. Barrios Sevilla, V. Flores Alés, Caracterización de ladrillería tradicional producida en la vega del Guadalquivir, en zonas próximas a Sevilla, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* 38 (1) (1999) 29-34.
- [24] Str. 3.2.3. Estrabón, Geografía de Iberia, Traducción de J. Gómez Espelósín, presentaciones, notas y comentarios de G. Cruz Andreotti M.V. García Quintela y J. Gómez Espelósín, Alianza, Madrid, 2007.
- [25] M.A. Barral Muñoz, Estudio geoarqueológico de la ciudad de Sevilla, Universidad de Sevilla, Sevilla (2009).

- [26] G.M. Mora Vicente, A.S. Romo Salas, Intervención arqueológica de urgencia en el Palacio Arzobispal de Sevilla. Sectores de Archivo y Tribunal. Primera fase de los trabajos. Sondeos I-II-IV, Aportaciones a la Sevilla republicana, Anuario Arqueológico de Andalucía 2003 III.2 (2006) 179–196.
- [27] F.J. García Fernández, E. Ferrer Albelda, Das turdetanische Emporion Spal. Der punische Handelsverkehr im vorrömischen Sevilla (5. – 2. Jahrhundert v. Chr.), Madrider Mitteilungen 52 (2011) 335–374.
- [28] I. Rodríguez Rodríguez, Las áreas artesanales: los alfares, en: A. Caballos Rufino (Ed.), Carmona Romana. II Congreso de Historia de Carmona, Ayuntamiento de Carmona-Universidad de Sevilla, Carmona, 2001, pp. 311–320.
- [29] A. Ortiz Navarrete, E. Conlin Hayes, Actividad arqueológica preventiva en c/Doctor Fleming 13-15 de Carmona (Sevilla), Anuario Arqueológico de Andalucía (2007) (e.p.).
- [30] R. Cardenete López, M.T. Gómez Saucedo, A. Jiménez Hernández, R. Lineros Romero, I. Rodríguez Rodríguez, Excavaciones arqueológicas de urgencia en el solar de la calle Montánchez 4, Carmona (Sevilla), Anuario Arqueológico de Andalucía 1989 III (1991) 585–591.
- [31] M.<sup>a</sup>.T. Gómez Saucedo, Actividad Arqueológica de Urgencia en C/Gonzalez Parejo n° 19A de Carmona (Sevilla), Anuario Arqueológico de Andalucía (2007) (e.p.).
- [32] J. Vázquez Paz, Contextos ceramológicos de la Carmona romana altoimperial, Revista de Estudios Locales, Carel. Carmona, 2006, pp. 1641–1670.
- [33] I.K. Whitbread, A proposal for the systematic description of thin sections towards the study of ancient technology, en: Y. Maniatis (Ed.), Archaeometry. Proceedings of the 25 th International Symposium (Athens, 19 to 23 May 1986), Elsevier, Amsterdam, 1989, pp. 127–138.
- [34] I.K. Whitbread, Greek transport amphorae. A petrographical and archaeological study, British School at Athens, Atenas, 1995.
- [35] P.S. Quinn, Ceramic Petrography. The interpretation of archaeological pottery and related artifacts in thin section, Archaeopress, Oxford, 2013.
- [36] E. De Sena, S. Langsberger, J.T. Pena, S. Wisseman, Analysis of ancient pottery from the Palatine hill in Rome, J. Radioanal. Nucl. Chem. 196 (1995) 223–234.
- [37] E. Garzón, L. Morales, J.M. Martínez-Blanes, P.J. Sánchez-Soto, Characterization of ashes from greenhouse crops plant biomass residues using X-ray fluorescence analysis and X-ray diffraction, X-Ray Spectrom. 46 (2017) 569–578.
- [38] M.J. Baxter, Exploratory multivariate analysis in archaeology, Edinburgh University Press, Edinburgh, 1994.
- [39] H. Mommsen, Provenance determination of pottery by trace element analysis: problems, solutions and applications, J. Radioanal. Nucl. Chem. 247 (2001) 657–662.
- [40] E. Garzón, E. Romero, Sánchez-Soto P.J., Correlation between chemical and mineralogical characteristics and permeability of phyllite clays using multivariate statistical analysis, Appl. Clay Sci. 129 (2016) 92–101.
- [41] C. Papachristodoulou, A. Oikonomou, K. Ioannides, K. Gravani, A study of ancient pottery by means of X-ray fluorescence spectroscopy, multivariate statistics and mineralogical analysis, Anal. Chim. Acta 573–574 (2006) 347–353.
- [42] E.H. Bakraji, Application of multivariate statistical methods to classify archaeological pottery from Tel-Alramad site, Syria, based on x-ray fluorescence analysis, X-Ray Spectrom. 35 (2006) 190–194.
- [43] B. Sillar, M.S. Tite, The Challenge of «Technological Choices» for Material Science Approaches in Archaeology, Archaeometry 42 (2000) 2–20.
- [44] D.K.H. Reddy, S.-M. Lee, J.-O. Kim, A review of emerging applications of natural sericite and its composites, World Appl. Sci. J. 27 (2013) 1514–1523.
- [45] M. Dondi, M. Raimondo, C. Zanelli, Clays and bodies for ceramic tiles: reappraisal and technology classification, Appl. Clay Sci. 96 (2014) 91–109.
- [46] E. Galán, P. Aparicio, Materias primas para la fabricación de cerámicas. Seminarios Sociedad Española de Mineralogía, 2 volumen: Utilización de rocas y minerales industriales, Universidad de Alicante, Alicante, 2006, pp. 31–48.
- [47] R.S. Boynton, Chemistry and technology of lime and limestone, Wiley, New York, 1980, 2nd ed.
- [48] C. Rathossi, Y. Pontikes, Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour, J. Eur. Ceram. Soc. 30 (2010) 1841–1851.
- [49] B. De Rosa, G. Cultrone, Assessment of two clayey materials from northwest Sardinia (Alghero district, Italy) with a view to their extraction and use in traditional brick production, Appl. Clay Sci. 88–89 (2014) 100–110.
- [50] M. Maggetti, R. Heimann, Bildung und stabilität van Gehlenit in romischer Feinkeramik, Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 59. 3 (1979) 413–417.
- [51] M. Maggetti, G. Galetti, Chemischer Herkunftsmachweis der «schwarzen Sigillata» vom Magdalensberg, Magdalensberg Grabungsbericht 15 (1986) 391–431.
- [52] G. Cultrone, C. Rodríguez-Navarro, E. Sebastian, O. Cazalla, M.J. de La Torre, Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing, Eur. J. Miner. 13 (2001) 621–634.
- [53] T. Peters, R. Iberg, Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays, Am. Ceram. Soc. Bull. 57. 5 (1978) 503–509.
- [54] G. Perinet, L. Courtois, Évaluation des températures de cuisson de céramiques et de vaiselles blanches néolithiques de Syrie (1), Bull. Soc. Préhistorique Française 80. 5 (1983) 157–160.
- [55] D. Hradil, T. Grygar, J. Hradilová, P. Bezdička, Clay and iron oxide pigments in the history of painting, Appl. Clay Sci. 22 (2003) 223–236.
- [56] P. Romero Gómez, J.C. González, A. Bustamante, A. Ruiz, P.J. Sánchez-Soto, Estudio in situ de la transformación térmica de limonita utilizada como pigmento procedente de Perú, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 52 (2013) 127–131.
- [57] C. De Vito, L. Medeghini, S. Mignardi, D. Orlandi, L. Nigro, F. et al. Spagnoli, Technological fingerprints of Black-Gloss Ware from Motya (Western Sicily, Italy), Appl. Clay Sci. 88–89 (2014) 202–213.
- [58] M. García-Heras, J. Reyes Trujeque, R. Ruiz Guzmán, M.A. Avilés Escaño, A. Ruíz Conde, P.J. Sánchez-Soto, Estudio arqueométrico de figurillas cerámicas mayas de Calakmul (Campeche, México), Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 45 (2006) 245–254.
- [59] P.M. Rice, Pottery Analysis: a Sourcebook, Chicago University Press, Chicago, 1987.
- [60] M. García Heras, Estudio arqueométrico de la cerámica de Izana (Soria) y de otros yacimientos celtibéricos del Alto Duero, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 33 (1994) 315–325.
- [61] M.S. Tite, Firing temperature determinations. How and why?, 37–42, en: A. Lindahl, O. Stilborg (Eds.), The Aims of Laboratory Analyses of Ceramics and Archeology (Historie och Antikvitets Akademien, Konferenser 34), Estocolmo, 1995.
- [62] F. González García, G. García Ramos, Arcillas cerámicas de Andalucía: III. Yacimientos terciarios de la margen derecha del Guadalquivir, en la provincia de Sevilla, Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. 5 (1966) 229–245.



- [63] E. Galán, J.L. Pérez Rodríguez, M.G. Díaz, I. González, C. Maqueda, A. et al. *Polvorinos, Geología de Sevilla y alrededores y características geotécnicas de los suelos del área urbana*, Ayuntamiento de Sevilla, Sevilla, 1989.
- [64] S. Leguey, M.I. Carretero, B. Fabbri, E. Galán, *Caracterización mineralógica y química de los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla: una aproximación a la temperatura de cocción y origen de las materias primas*, *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 40 (2001) 455–459.
- [65] F. González García, G. García Ramos, V. Romero Acosta, M. González Rodríguez, *Arcillas empleadas en la fabricación del azulejo artístico de Sevilla. Propiedades y transformaciones por cocción. I. Materiales que contienen carbonato de calcio*, *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 27 (1988) 2215–2223.
- [66] E. García Vargas, H. González Cesteros, R. de Almeida, *Ovoid Amphorae as the first Roman provincial repertoire in Hispania Ulterior (Guadalquivir Valley)*, en: E. García Vargas, R. de Almeida, H. González Cesteros, A.M. Sáez Romero (Eds.), *The Ovoid Amphorae in the Central and Western Mediterranean. Between the last two centuries of the Republic and the early years of the Roman Empire (Roman and Late Antique Mediterranean Pottery 13)*, Archaeopress, Oxford, 2019, pp. 62–111.
- [67] A. Sáez, Romero, Ramon T-8211 (Costa Bética Ulterior), en: *Amphorae ex Hispania Paisajes de producción y de consumo*. [consultado 27 Ene 2021] Disponible en: <http://amphorae.icac.cat/amphora/ramon-t-8211-baetica-ulterior-coast> (2016).
- [68] P. Carretero Poblete, *Las producciones cerámicas de ánforas tipo 'Campamentos Numantinos' y su origen en San Fernando (Cádiz): los hornos de Pery Junquera*, en: L. Lagóstena Barrios, D. Bernal Casasola (Eds.), *Actas del Congreso Internacional FIGLINAЕ BAETICAE. Talleres alfareros y producciones cerámicas en la Bética romana (ss. II a.C. – VII d.C.)*, vol I (BAR International Series 1266), Archaeopress, Oxford, 2004, pp. 427–440.
- [69] A. Rodero Riaza, *Las ánforas del Mediterráneo Occidental en Andalucía*, *Trabajos de Prehistoria* 48 (1991) 275–298.