

Arqueometría de ánforas prerromanas procedentes de Lisboa (Portugal)

Juan Jesús Martín-del-Río^{a,*}, Vicente Flores-Alés^a, Francisco José García Fernández^b, Victor Filipe^c, Violeta Moreno Megías^d y Lidia Fernandes^e

^a Departamento de Construcciones Arquitectónicas II, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

^b Departamento de Prehistoria y Arqueología, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

^c UNIARQ-Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

^d Instituto del Patrimonio Cultural de España, Madrid, Grupo de Investigación HUM-152, Madrid, España

^e Museu de Lisboa/Teatro Romano/EGEAC, Lisboa, Portugal

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 6 de mayo de 2021

Aceptado el 22 de noviembre de 2021

On-line el 9 de diciembre de 2021

Palabras clave:

Ánforas

Estuario del Tajo

Edad del Hierro

FRX

DRX

Arqueometría

R E S U M E N

En los últimos años se ha puesto de relieve la existencia de un denso tejido alfarero en el estuario del Tajo durante la Edad del Hierro y en concreto en el área de Lisboa, que responde a un proceso de intensificación económica estimulado por la presencia de comerciantes fenicios. Uno de los productos más conspicuos son los envases anfóricos, recientemente identificados y clasificados a partir de los ejemplares registrados en distintas excavaciones arqueológicas. En los mismos contextos han aparecido también ánforas importadas procedentes en su mayoría del sur peninsular.

El presente trabajo tiene por objeto profundizar en la caracterización de estas producciones, tanto locales como importadas, a través del análisis de 14 muestras procedentes de varias excavaciones llevadas a cabo en las laderas del cerro del Castelo de São Jorge de Lisboa. Para ello se ha realizado un estudio petrográfico a través de láminas delgadas, así como análisis químicos (FRX) y mineralógicos (DRX) a la totalidad de los fragmentos. A los datos químicos se les aplicó un análisis clúster. Como conclusión, se observa un alto grado de coincidencia en los resultados de estos 3 análisis y su coherencia con la adscripción geográfica y tipológica previa, propuesta a partir del examen macroscópico.

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

* Autor para correspondencia.

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

<https://doi.org/10.1016/j.bsecev.2021.11.007>

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

Archaeometry of pre-roman amphorae from Lisbon (Portugal)

A B S T R A C T

Keywords:

Amphorae
Tagus estuary
Iron Age
XRF
XRD
Archaeometry

In recent years, the existence of a dense pottery production in the Tagus estuary during the Iron Age, and specifically in the Lisbon area, has been highlighted. This was part of a process of economic intensification stimulated by the presence of phoenician traders. One of the most conspicuous products are amphorae containers, recently identified and classified from specimens recorded in different archaeological excavations. Imported amphorae, mostly from the south of the Iberian Peninsula, have also been found in the same contexts.

The aim of the present work is to further characterise these productions, both local and imported, through the analysis of 14 samples from excavations carried out on the slopes of the hill of Castelo de São Jorge in Lisbon. For this purpose, a petrographic study has been carried out through thin sections, as well as chemical (XRF) and mineralogical (XRD) analyses of all the sherds. A cluster analysis was applied to chemical data. In conclusion, a high degree of coincidence is observed in the results of these 3 analyses and their coherence with the previous geographical and typological ascription, proposed on the basis of the macroscopic examination.

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

Introducción

Las excavaciones arqueológicas llevadas a cabo en las últimas décadas en el centro histórico de Lisboa han sacado a la luz un buen número de contextos de época protohistórica, algunos especialmente interesantes por su extensión, entidad y cronología (fig. 1). Estos se concentran en el cerro del Castelo de São Jorge, extendiéndose hacia la parte más baja de la ciudad, donde se encontraría el área portuaria [1–3]. Los inicios de esta ocupación estable se remontan al menos a finales del siglo VIII a. C. y parecen responder a la instalación de un emporio comercial a manos de los fenicios como parte de su estrategia de expansión atlántica, que tuvo en la desembocadura del Tajo uno de sus principales nodos [4,5]. La fundación de un posible santuario en la zona de Quinta do Almaraz, justo en frente de Lisboa, en la orilla opuesta del río, y la proliferación de otros establecimientos de distintas categorías en el interior de su estuario son un reflejo del éxito de esta empresa y de su rápida proyección territorial [6–8]. La puesta en explotación y comercialización de los excedentes agropecuarios debió exigir la temprana fabricación de envases de transporte, así como otros tipos de cerámicas que satisficieran las propias necesidades de las poblaciones asentadas en esta región. Estos conviven con las mercancías importadas, especialmente las procedentes del sur peninsular, que abarcan tanto alimentos contenidos en ánforas como vajillas de mesa de calidad y otras manufacturas no cerámicas (vidrios, metales, etc.) para el consumo de las élites [6,7]. El reciente estudio y primera sistematización de las ánforas producidas en el estuario del Tajo ha permitido remontar los inicios de esta actividad alfarera a los mismos comienzos de la Edad del Hierro [9]. Estos reproducen formalmente los prototipos fenicios occidentales, de los cuales derivan, aunque empiezan a introducirse algunas novedades a nivel morfoométrico que marcarán la evolución de estos envases en los siglos siguientes [10].

Durante la Segunda Edad del Hierro este tejido productivo no solo se mantiene, sino que se amplía con la puesta en explotación de las tierras situadas al interior de la península de Lisboa a través de pequeños establecimientos agropecuarios [1,11]. En estos momentos la manufactura de envases de transporte se incrementa y diversifica, tanto en lo que respecta a sus formas como a sus posibles lugares de fabricación [9,10,12], como resultado de un sistema económico cada vez más complejo y dinámico, pero también autónomo, pues se desarrolla en paralelo a un descenso en las importaciones. Esta desconexión con los mercados exteriores no es en absoluto completa, pues se han registrado algunas ánforas procedentes del sur peninsular e incluso del Mediterráneo central en contextos de los siglos V y IV a. C. [2,3,13]. La nómina de ejemplares tanto en Lisboa como en su entorno se ha visto incrementada en los últimos años gracias en parte a un estudio de conjunto sobre la comercialización de productos turdetanos en la fachada atlántica peninsular [14,15]. No obstante, en ocasiones resulta difícil distinguir a nivel morfo-tipológico las manufacturas locales de los envases importados, ya que ambos grupos tienen el mismo origen —las ánforas fenicias occidentales— y comparten, por tanto, un cierto aire de familia, que es especialmente evidente en determinados tipos. Solo el tamaño general, algunos detalles formales y, sobre todo, las características macroscópicas de la pasta cerámica permiten diferenciar unas producciones de otras, aunque en ningún caso aportan pistas concluyentes sobre su procedencia, lo que exigiría la caracterización de sus componentes y de los procedimientos de elaboración.

De momento, los únicos estudios arqueométricos sobre ánforas prerromanas documentadas de la antigua Olisipo corresponden a los análisis petrográficos llevados a cabo a un conjunto de piezas, en su totalidad fragmentos de paredes y asas, halladas en el interior de una estructura interpretada como horno cerámico excavada a inicios de la década de los noventa en un solar de la Rua dos Correeiros [16], y los análisis petrográficos y químicos realizados a una pequeña muestra de ánforas procedentes también de este sitio y de la Travessa de

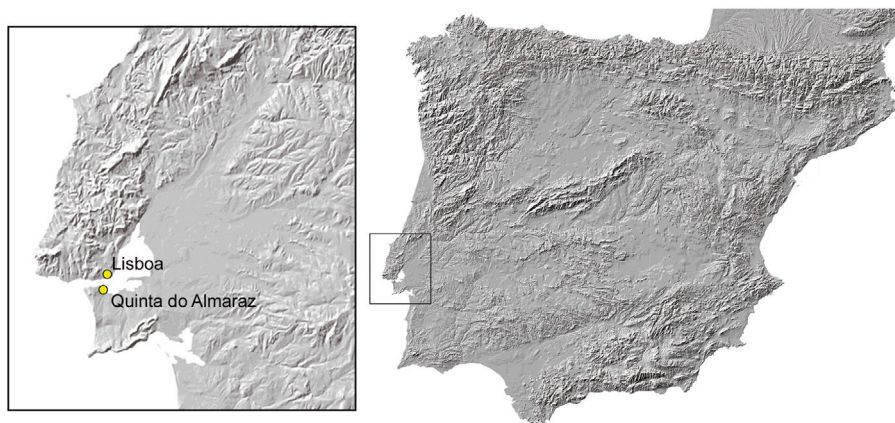


Figura 1 – Localización geográfica en la península ibérica de los yacimientos mencionados en el texto.

Chafariz d'El Rei, así como de otros yacimientos de la misma región, que fueron comparadas con otro conjunto análogo, en este caso procedente del interior del valle del Guadalquivir [17]. En el primer estudio, se confirmó el origen local o regional de la totalidad de los ejemplares, mientras que en el segundo se pudieron distinguir algunas importaciones meridionales de las producciones locales, poniendo en evidencia además la variedad de estas últimas.

El presente trabajo tiene por objeto profundizar en la caracterización composicional y tecnológica de estas manufacturas cerámicas a través del análisis de un conjunto de muestras procedentes de varias intervenciones llevadas a cabo en el cerro del Castelo de São Jorge de Lisboa con objeto de confirmar su procedencia (local o importada), atribuida inicialmente a partir de los rasgos morfométricos y el examen macroscópico de sus pastas, y determinar su origen más probable. Asimismo, nos interesa poner en evidencia la existencia de diferentes recetas cerámicas en las ánforas correspondientes a un mismo tipo o área productora, lo que podría estar relacionado con la disponibilidad de materias primas y las decisiones tomadas en su proceso de elaboración. Para ello, se han combinado 3 niveles de análisis con 3 técnicas distintas al mismo conjunto de muestras: el análisis petrográfico por microscopía óptica, a través de la realización de láminas delgadas, el mineralógico (DRX) y el químico (FRX).

Procedencia de la muestra

La primera serie de muestras (TCR) proviene de los sondeos realizados en el interior del antiguo palacio del Marquês de Angeja, en el marco de la rehabilitación de un conjunto de edificios situados entre la Rua de S. João da Praça/Largo Júlio Pereira y la Travessa do Chafariz d'El Rei, al pie del cerro del Castelo de São Jorge y junto a la antigua muralla de la ciudad [18]. Se registraron tanto en contextos de la Edad del Hierro como en niveles revueltos de cronología posterior y reúnen ánforas locales del estuario del Tago y algunas posibles importaciones turdetanas correspondientes al tipo BC de Pellicer con pastas que remiten a nivel macroscópico a los centros productores del interior del valle del Guadalquivir [19,20]. A ellos

se suma un fragmento de cerámica común (TCR-12) utilizado como elemento de contraste (tabla 1).

La segunda serie de muestras (TRL) comprende algunos ejemplares sacados a la luz durante las excavaciones realizadas en el Teatro Romano de Lisboa, situado a media altura en la ladera sur de mismo cerro [21,22]. Todas proceden del contexto de época romana altoimperial relacionados con este edificio público, donde aparecieron como materiales residuales junto con otras cerámicas de cronología protohistórica. Está formada mayoritariamente por ánforas locales, aunque es probable que el conjunto incluya también alguna importación turdetana del mismo tipo (tabla 1).

Por último, se ha incluido un ejemplar de ánfora importada documentada en un solar ubicado ya en el interior de la antigua cerca del Castelo de São Jorge, en el Beco do Forno do Castelo (BFC) [23,24]. En este caso se trata de un posible contenedor de origen púnico, probablemente de la serie 12 de Ramon Torres [25], hallado en el interior de un edificio fechado a inicios de la conquista romana, a mediados del siglo II a. C. Por sus características macroscópicas remite a una procedencia distinta, probablemente ligada a los centros productores del área al sur, tanto al oeste como al este de esa costa atlántica y mediterránea (tabla 1); todas estas muestras se pueden observar en la figura 2.

Metodología

Para la caracterización arqueométrica de las 14 piezas estudiadas, que han sido seleccionadas según su representatividad entre toda la diversidad morfotológica presente en los conjuntos estudiados, se ha optado por una aproximación metodológica mediante múltiples técnicas analíticas, que incluyen el análisis petrográfico, químico y mineralógico.

El análisis petrográfico de las cerámicas se basa en el estudio de las texturas y la mineralogía a partir de la observación al microscopio de secciones delgadas de las fases que forman los materiales arcillosos y sus inclusiones no plásticas, sean parte original natural de la matriz o añadidos para modificar la plasticidad. Sus objetivos son: la caracterización composicional mineralógica (ofrece la identificación de minerales y de fragmentos rocosos, estos últimos difíciles de

Tabla 1 – Identificación, contextualización, tipología y procedencia posible de las muestras analizadas, asociadas a sus correspondientes grupos petrográficos

Muestra	Excavación	Contexto ffragmento	Procedencia pposible	Cronología	Grupo petrográfico
TCR-01	Traversa Chafariz de Rei	S1-75-784	Estuario Tajo	s. I a. C.	Grupo 1
TCR-03	Traversa Chafariz de Rei	S1-80-716	Estuario Tajo	s. I d. C.	Grupo 2
TCR-05	Traversa Chafariz de Rei	S1-140-780	Estuario Tajo	s. VII a. C.	Grupo 1
TCR-06	Traversa Chafariz de Rei	S1-160-1332	Estuario Tajo	s. I d. C.	Grupo 1
TCR-09	Traversa Chafariz de Rei	S2.4-183-1530	Importación	s. I d. C.	Desagrupada
TCR-10	Traversa Chafariz de Rei	S2.4-183-1531	Estuario Tajo	s. I d. C.	Grupo 1
TCR-12	Traversa Chafariz de Rei	S2.4-183-1764	Estuario Tajo	s. I d. C.	Desagrupada
TCR-14	Traversa Chafariz de Rei	S3-145-974	Importación	s. V a. C.	Grupo 3
TRL-02	Teatro Romano de Lisboa	05-4980	Estuario Tajo	1/2 s. I d. C.	Grupo 1
TRL-03	Teatro Romano de Lisboa	05-4984	Estuario Tajo	1/2 s. I d. C.	Grupo 1
TRL-06	Teatro Romano de Lisboa	06-847 V10-C7	Estuario Tajo	1/2 s. I d. C.	Grupo 2
TRL-08	Teatro Romano de Lisboa	06-871	Importación	1.ª 1/4 s. I d. C.	Grupo 3
TRL-10	Teatro Romano de Lisboa	11-s/n V11-C40	Estuario Tajo	1.ª 1/4 s. I d. C.	Grupo 1
BFC-01	Beco do Forno do Castelo	M 91	Importación	3.ª 1/4 s. II a. C.	Desagrupada

determinar en otros tipos de análisis mineralógicos); el análisis de la microestructura; la identificación de ciertos procesos tecnológicos aplicados a la pasta cerámica (moldeado, cocción, etc.); la agrupación en conjuntos de composición y tecnología similar, y, en última instancia, la determinación de la proveniencia de la materia prima de la cerámica. Para el estudio petrográfico se realizaron láminas delgadas de todas las muestras cerámicas estudiadas y fueron analizadas mediante un microscopio de luz polarizada (Nikon Eclipse E200, Nikon Instruments Inc.) en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla, utilizando magnificaciones entre $2\times$ y $20\times$. Tres de las muestras (TCR-01, TCR-10 y TCR-14) habían sido ya analizadas anteriormente como parte de un estudio comparativo entre un conjunto de ánforas procedentes de la campiña sevillana y otro seleccionado de varios yacimientos de los estuarios del Tajo y Sado [17].

Para la descripción composicional y microestructural de las láminas se recurrió a los métodos habituales de definición petrográfica de piezas arqueológicas [26–28], a partir de lo cual se dividieron en grupos petrográficos de muestras concordantes.

Por su parte, los análisis químicos se realizaron mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) a partir de pastillas obtenidas de muestras en polvo prensadas, utilizando un equipo Axios PANalytical B.V. (Malvern Panalytical Ltd) 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 súper fina, con aislamiento cerámico de ánodo estándar de Rh y transmisión ultra alta [29]. El tipo de goniómetro es $\theta/2\theta$ desacoplado con el sistema de posición óptica directa, precisión angular $0,0025^\circ \theta$ y 2θ . 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 TiAP, PX1, PX4, PX5, PX6, PX7 y PX9 [30]. 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.

Los resultados de la composición química se trataron estadísticamente utilizando varios enfoques multivariantes. El análisis clúster o de conglomerados 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 [31]. Los resultados del análisis realizado se presentan como dendrogramas, mostrando el orden y niveles de los distintos clústeres, así como las distancias entre muestras individuales. Los análisis se realizaron con el programa StatGraphics Centurión XVIII (Statgraphics.net), siguiendo los métodos de distancia euclidiana al cuadrado y de vinculación media. Se han considerado 40 variables correspondientes a los componentes mayoritarios (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , $\text{TiO}_2\cdot\text{P}_2\text{O}_5$, SO_3) y minoritarios (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), con un tratamiento descriptivo.

Por último, para el análisis mineralógico mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX), se ha empleado un difractómetro Bruker-AXS, modelo D8I-A25, equipado con filamento de cobre $\text{Cu K}\alpha$ ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), con una ventana Bragg-Brentano $\theta-\theta$, filtro de níquel y detector lineal, utilizando la técnica de polvo cristalino sin orientar en la región entre $3-70^\circ 2\theta$, con un paso de ángulo de $0,03^\circ$ y un tiempo de paso de 0,1 segundos. Las fases cristalinas se determinaron por medio de sus difracciones características o picos diagnósticos del Joint Committee for Powder Diffraction Files (JCPDF)

Resultados y discusión

Petrografía

La mayoría de las muestras analizadas procedentes de las excavaciones realizadas en la Traversa de Chafariz de El Rei y el Teatro Romano de Lisboa presentan una gran homogeneidad petrográfica, respondiendo a un mismo tipo de materias primas originales, así como un procedimiento similar de tratamiento de las mismas. De esta forma, ha podido definirse un gran grupo petrográfico (grupo 1) y 2 minoritarios (grupos 2 y 3), así como otras piezas sueltas consideradas desagrupadas.



Figura 2 – Fotografías de una selección de los ejemplares muestreados representativa de los tipos anfóricos estudiados y recogidos en la [tabla 1](#).

El grupo 1 (fig. 3a) se define por la presencia de granos de cuarzo, mica, feldespatos y plagioclasas con mayoría de fracción fina. Está compuesto por muestras muy homogéneas (TCR-01, TCR-05, TCR-06, TCR-10, TRL-02, TRL-03 y TRL-10) que se caracterizan por una matriz arcillosa de porosidad media y bien distribuida. La fracción fina es relativamente mayoritaria frente a la gruesa y presenta una distribución ligeramente bimodal, muy irregular a lo largo de la matriz y de orientación aleatoria. Se advierte la diferencia entre el

núcleo de las piezas y las paredes, ópticamente activas al contrario que el núcleo interior. Los tonos de la matriz también son diversos, del naranja intenso exterior al marrón oscuro, como reflejo de una cocción alternada. En este grupo las inclusiones de la fracción gruesa son principalmente granos de cuarzo monocristalino subredondeado, de tamaño siempre inferior al milímetro, granos de mica moscovita, feldespato potásico (ortoclasa), plagioclasas y muy escasos fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado, así como óxido férrico.

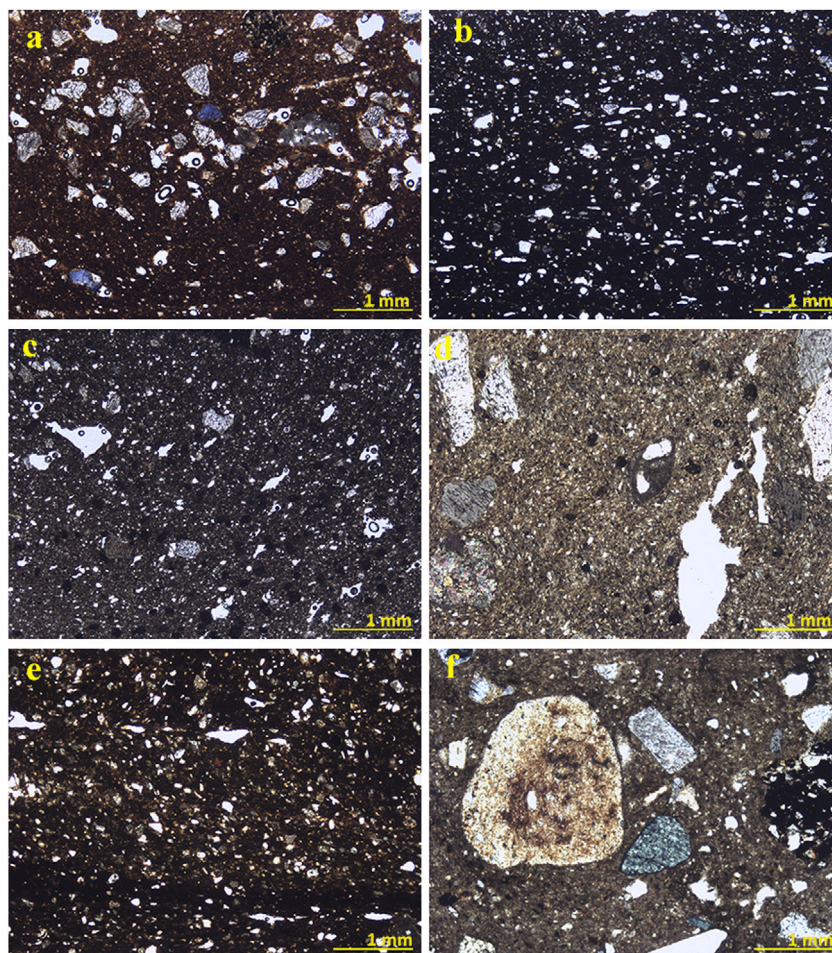


Figura 3 – Microfotografías de láminas delgadas de las muestras analizadas, representando los grupos petrográficos identificados. a) Grupo 1, muestra TRL-10. b) Grupo 2, muestra TRL-06. c) Grupo 3, muestra TRL-08. d) Muestra TCR-12, desagrupada. e) Muestra TCR-09, desagrupada. f) Muestra BFC-01, desagrupada.

La fracción fina está dominada por granos de cuarzo y mica moscovita. Ocasionalmente se aprecian caracteres texturales como trazas de minerales de arcillas poco mezcladas, de tonos más oscuros y con inclusiones similares. Desde el punto de vista morfológico, el grupo 1 está representado por variantes de los tipos de ánforas recientemente definidos para el estuario del Tajo. Su composición mineralógica es bastante genérica y puede asociarse sin problemas a la composición geológica local y a otros conjuntos analizados previamente. De hecho, la asociación de granos de cuarzo y feldespatos concuerda con un posible origen de las arcillas sedimentarias en el estuario del Tajo o en depósitos miocénicos en el entorno de la ciudad, siguiendo una receta cerámica más cercana a producciones posteriores romanas [32] que a otras manufacturas anfóricas inmediatamente anteriores, ligeramente diferentes en cuanto a la mezcla de arcillas de distintos orígenes, añadiendo materias primas ricas en piroxenos [16]. Aun sin un indicativo definitivo de una relación de proveniencia inequívoca, la integridad del conjunto y el resto de los indicadores arqueológicos y contextuales sugieren también su pertenencia al ámbito productivo local/regional más cercano.

El grupo 2, con predominancia de abundantes granos de cuarzo y una matriz densa, está compuesto por 2 muestras (TCR-03 y TRL-06) (fig. 3b). Se caracteriza por su matriz de porosidad moderada, de tonos oscuros y ópticamente no activa, con un bajo porcentaje de fracción gruesa, bien distribuida y orientada. Sus componentes principales son de tamaño medio, los mayores clastos apenas superan 0,55 mm de diámetro. Destacan sobre todo los granos de cuarzo redondeado y los fragmentos de roca caliza bioclástica, que podrían haber sido añadidos como desgrasante, además de microfósiles, granos de mica moscovita y biotita, y escasos fragmentos de rocas plutónicas y piroxenos. La fracción fina está representada por pequeños fragmentos de las mismas rocas calizas, microfósiles, granos de cuarzo y de micas moscovitas y biotita.

Las muestras que integran este grupo parecen corresponder también a producciones locales del estuario del Tajo. La presencia de elementos de naturaleza ígnea y piroxenos acerca más a este conjunto a las arcillas de gran calidad de las formaciones alteradas del Complejo Volcánico de Lisboa [33], si bien en proporciones pequeñas, posiblemente como añadido de arcillas con este origen sobre una base de proveniencia diversa, posteriormente bien trabajadas.

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

Muestras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
TCR-01	60,03	17,62	7,65	0,05	2,36	2,46	1,23	4,36	1,00	0,17	0,06	2,02
TCR-03	65,88	17,29	6,14	0,03	1,82	0,34	0,99	3,44	0,74	0,07	0,01	2,26
TCR-05	59,47	16,53	6,49	0,04	2,48	3,84	1,16	4,11	0,79	0,23	0,09	3,76
TCR-06	59,80	15,50	6,35	0,05	2,30	3,70	1,10	4,12	0,75	0,18	0,04	5,80
TCR-09	52,85	13,88	6,44	0,06	2,75	11,98	0,65	3,27	0,69	0,32	0,09	6,02
TCR-10	55,55	15,30	6,34	0,06	2,29	6,54	0,90	4,00	0,82	0,19	0,09	6,91
TCR-12	68,03	20,54	0,49	0,06	2,81	0,21	1,32	0,29	0,06	0,01	0,23	5,02
TCR-14	61,34	13,40	6,73	0,05	2,66	7,33	1,25	2,70	0,73	0,20	0,24	2,37
TRL-02	62,06	19,02	7,26	0,04	2,00	0,89	0,75	3,97	0,82	0,08	0,01	2,10
TRL-03	61,05	19,18	7,10	0,05	2,10	1,10	0,80	4,04	0,81	0,10	0,02	3,20
TRL-06	61,27	17,99	8,19	0,06	2,47	0,90	0,85	4,28	0,90	0,10	0,05	1,95
TRL-08	61,20	13,30	6,62	0,04	2,55	7,23	1,25	2,60	0,79	0,19	0,20	2,47
TRL-10	61,08	18,48	6,92	0,04	2,29	1,28	0,87	4,27	0,84	0,11	0,03	2,80
BFC-01	45,41	12,10	5,52	0,10	2,73	18,50	0,83	3,14	0,52	0,40	0,23	9,52

BFC: Beco do Forno do Castelo; LOI: Loss on ignition = pérdida de peso por tratamiento térmico a 1.000 °C; TCR: Traversa Chafariz de Rei; TRL: Teatro Romano de Lisboa.

El grupo 3 está compuesto por solo 2 muestras (TCR-14 y TRL-08) y se caracteriza por su matriz ópticamente no activa, en tonos marrón oscuro (fig. 3c). La fracción gruesa es predominante, con distribución bimodal y bien clasificada. El componente principal son los granos de cuarzo monocristalino, tanto en la fracción gruesa (hasta 0,60 mm) como en la fina. El resto de las inclusiones se encuentran en muy bajas proporciones o incluso ausentes según la muestra: calcita micrítica, bioclastos, granos de moscovita y biotita, óxido férrico, plagioclasa, feldespato potásico (ortoclasa) y muy raramente minerales máficos alterados y fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado. La distribución irregular de las inclusiones y la presencia de nódulos de arcilla indican modos de amasado poco exhaustivos. Las muestras englobadas en este grupo pertenecen en ambos casos a ánforas de tipología turdetana Pellicer BC, por lo que se trataría de posibles importaciones. De hecho, su composición es coherente con la definición geológica de la zona baja del valle del Guadalquivir. La descripción detallada de los componentes de la fracción fina y la abundancia de los mismos indica una relación de proveniencia más generalmente regional, reconducible a cualquiera de las áreas de producción local dentro del ámbito de las campiñas del Bajo Guadalquivir, antes de alcanzar la zona antaño inundada por el *lacus Ligustinus*. En cualquier caso, esta adscripción es suficiente para considerar estas 2 muestras como una representación del comercio de productos turdetanos en el estuario del Tajo.

Por último, 3 de las muestras han sido consideradas desagrupadas (fig. 3d-f), al no pertenecer a ninguno de los grupos petrográficos establecidos. Comprenden el soporte de cerámica común de factura local (TCR-12), utilizado como muestra de contraste, y 2 de las posibles ánforas importadas: la muestra TCR-09, perteneciente a un contenedor turdetano del tipo Pellicer BC y BFC-01, clasificada como se ha indicado anteriormente como un ánfora púnica de la serie 12 de Ramon.

Análisis químico (FRX)

Los resultados del análisis químico por FRX de las muestras ponen de manifiesto composiciones [34] propias de las

cerámicas de la zona objeto de estudio. La predominancia de SiO₂ se encuentra en porcentajes razonablemente homogéneos. Se debe destacar, en su conjunto, el contenido elevado de alúmina [35].

Los valores obtenidos en CaO son dispares, algo que se relaciona con la composición de la materia prima y se refleja también en el color de las piezas. Se pone de manifiesto cómo las 3 muestras que en el análisis petrográfico quedan desagrupadas, TCR-9, TCR-12 y BFC-01, presentan una composición claramente diferente, con un fuerte carácter calcáreo que las diferencia del resto. Esta circunstancia debe tener su origen en las materias primas empleadas, sensiblemente distintas. Del mismo modo, el grupo de muestras TCR-03, TRL-02, TRL-03, TRL-06 y TRL-10 es el que presenta un menor contenido en óxido de calcio, circunstancia que se confirma en los conglomerados del análisis estadístico. La pérdida por calcinación se debe asociar mayoritariamente a la calcita (contenido máximo de 9,52% en peso en la muestra BFC-01), puesto que los valores más altos corresponden con las muestras con mayor contenido en CaO, si bien en algún caso puede verse influida por la presencia de materia orgánica (tabla 2).

Igualmente, las muestras del grupo 3 (TCR-14 y TRL-08) presentan una enorme similitud en su composición. Por último, se debe indicar que las muestras TCR-01, TCR-03, TRL-02, TRL-03, TRL-06 y TRL-10 tienen el común un contenido superior en óxidos de aluminio y hierro al resto de muestras, lo que debe tenerse en cuenta al analizar los agrupamientos por clústeres.

El análisis de los resultados indica que existen 41 variables: 12 relacionadas con elementos mayoritarios y 28 con elementos trazas y el valor de LOI (Loss on ignition). Los compuestos mayoritarios son: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, Ti₂O, P₂O₅, SO₃. El resto de las variables representaban solo el 0,06%. Por consiguiente, los elementos traza no eran significativos.

Los valores de componentes mayoritarios y minoritarios relativos a todas las muestras fueron analizados estadísticamente con el objeto de generar diferentes clústeres a los que se pudieran adscribir cada una de las piezas. Por un lado, se aplicó el estudio estadístico solamente a los valores de los elementos mayoritarios y, por último, un análisis final teniendo

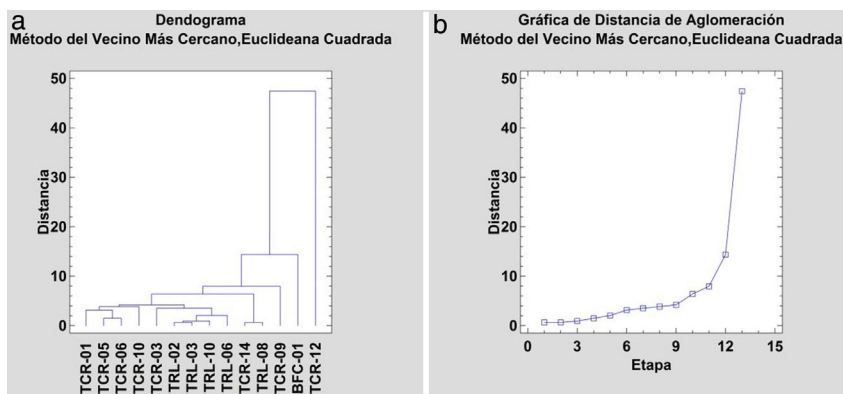


Figura 4 – (a) Dendrograma final con los resultados de FRX de todas las muestras. Método del «vecino más cercano, distancia euclidiana (o euclídea) al cuadrado». b) Gráfica de distancia de aglomeración. Método del «vecino más cercano, distancia euclidiana (o euclídea) al cuadrado».

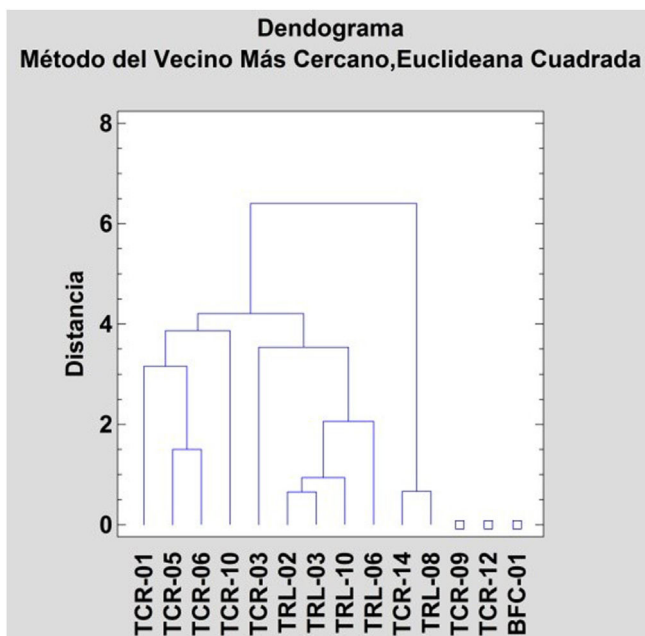


Figura 5 – Dendrograma con los resultados de FRX de todas las muestras. Método del «vecino más cercano, distancia euclidiana (o euclídea) al cuadrado».

en cuenta todas las variables representadas, tanto de elementos mayoritarios como de minoritarios y trazas (fig. 4a), 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. 4b) permiten observar que existe un salto brusco en la etapa 10, por lo que, al haber 14 muestras en total en este trabajo, se pueden considerar 4 conglomerados. En consecuencia, se ha realizado el mismo estudio para 4 conglomerados.

Los resultados de dicho estudio se presentan en la figura 5, en la cual se aprecia que las muestras designadas como TCR-09, TCR-12 y BFC-01 quedan de nuevo, como en el análisis petrográfico, totalmente distinguidas del resto. Las demás

muestras se encuentran agrupadas en 3 clústeres muy cercanos a los que se han podido determinar por la técnica de petrografía. Existen 3 muestras con una situación discordante respecto a los grupos petrográficos: TRL-02, 03 y 10, cuya no asignación definitiva a ningún grupo no es una situación anómala [36]. En este caso, a pesar de que petrográficamente se asemejan a las muestras del grupo 1, en los dendrogramas aparecen relacionados con las 2 muestras del grupo 2, caracterizadas singularmente en la petrografía por la presencia de escasos fragmentos de rocas ígneas que no aparecen en el primero de los grupos. Es necesario considerar que ambas técnicas de agrupamiento, el análisis petrográfico y el análisis estadístico sobre los resultados químicos, estudian variables ligeramente diferentes que pueden justificar estas diferencias sobre unas muestras que, en todo caso, aparecen siempre agrupadas en posiciones muy cercanas. Así, el análisis de agrupamiento permite la determinación de grupos hipotéticos que deben ser evaluados por otras técnicas multivariantes [37]. El análisis químico se dedica eminentemente al estudio de la proveniencia, proporcionando clústeres de aquellas muestras de composición muy similar. El estudio petrográfico cubre un espectro más amplio de factores de agrupamiento y, aunque también ofrece una serie de indicaciones acerca de la proveniencia geográfica de las materias primas utilizadas, discrimina de forma fundamental ciertos gestos de los modos de preparación y de cocción de las arcillas que pueden separar muestras por otros motivos idénticas. El tamaño, la forma, la distribución y la frecuencia de los componentes puede suponer elementos de aproximación entre muestras que químicamente no sean idénticas, así como, por el contrario, separar cerámicas realizadas a partir de las mismas materias primas con gestos técnicos diferentes, fruto de diversas tradiciones alfareras o momentos cronológicos más avanzados. En cualquier caso, ambos grupos se corresponden con producciones locales del estuario del Tajo y es posible que el grupo petrográfico 2, como se indicaba en el apartado correspondiente, se caracterice por el añadido en pequeñas cantidades de arcillas con origen en las formaciones alteradas del Complejo Volcánico de Lisboa sobre una base de arcillas que tendría el mismo origen que el grupo petrográfico 1, de ahí el posible intercambio

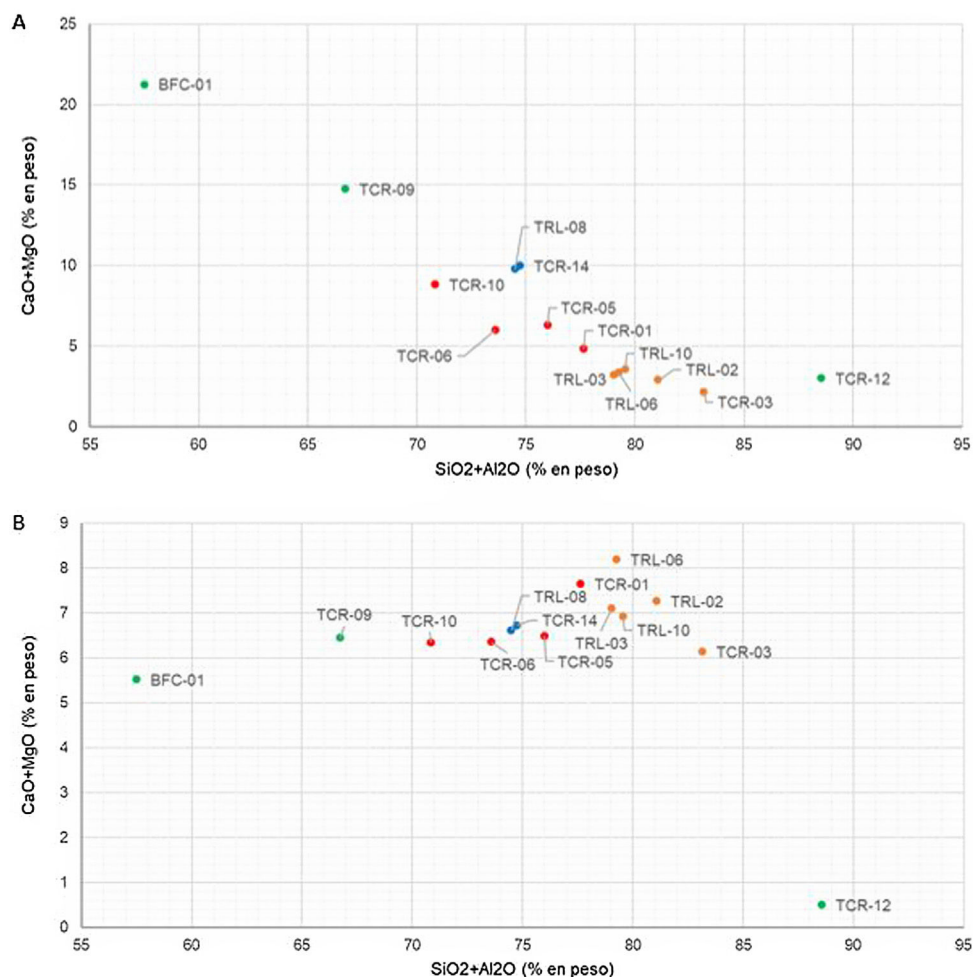


Figura 6 – Diagramas composicionales de las muestras. a) CaO + MgO (%) frente a SiO₂ + Al₂O₃ (%). b) Fe₂O₃ (%) frente SiO₂ + Al₂O₃ (%).

desde el punto de vista químico de varias de las muestras del conjunto TRL.

Si se usa la metodología de los diagramas de correlación de composición (fig. 6) se pueden agrupar las muestras analizadas según diversas zonas de composición, siendo muy similar al análisis clúster que se ha comentado anteriormente. Se observa cómo en la figura 6a, en la que se representan los contenidos de CaO + MgO (%) frente a SiO₂ + Al₂O₃ (%), las 3 muestras desagrupadas siguen estándolo, muy separadas de los 3 clústeres. Igualmente se observa cómo las muestras TCR-14 y TRL-08, que formaban un clúster en este diagrama composicional, están justo encima una de otra.

Los otros 2 clústeres que han sido identificados mediante el análisis estadístico están en esta figura 6a justo en el centro del diagrama, pero separados; por un lado, las muestras TCR-01, TCR-05, TCR-06 y TCR-10 formando un bloque a la izquierda y, por otro, el bloque a la derecha donde se encuentran las muestras TRL-10 TRL-03 y TRL-06 prácticamente juntas y la TRL-02 y TCR-03 levemente separadas.

En la figura 6b, en la que se representan los contenidos de Fe₂O₃ (%) frente al sumatorio de SiO₂ + Al₂O₃ (%), se observa un comportamiento parecido al anterior: las muestras

desagrupadas, la coincidencia de las muestras TCR-14 y TRL-08 y el resto de las muestras.

Análisis mineralógico (DRX)

Una primera estimación semicuantitativa (tabla 3), realizada a través del software Diffrac.EVA (Bruker) midiendo las alturas relativas del patrón de cada fase cristalina y de los valores I/I_{cor} realizada sobre las mismas muestras, ha indicado que los porcentajes relativos de cada fase guardan muchas similitudes entre sí, como era previsible según los resultados de la figura 7a y b. 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. 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. Aun así, los resultados obtenidos de las fases cristalinas identificadas en los difractogramas de las 14 muestras, que se incluyen en la figura 7, se presentan en forma tabulada en la tabla 3 para una mejor comparación de los mismos.

Tabla 3 – Composición semicuantitativa de las fases minerales^a detectadas por DRX

Muestras	Qtz	Cal	Or	An	Di	Gh	Ms	Hem
TCR-01	+++	Tr	++	++	+	Tr	+	Tr
TCR-03	+++	Tr	++	++	+	Tr	+	Tr
TCR-05	+++	Tr	++	++	+	Tr	++	Tr
TCR-06	+++	Tr	++	++	Tr	Tr	+	Tr
TCR-09	+++	+	++	++	+	+	+	Tr
TCR-10	+++	Tr	++	++	+	Tr	++	Tr
TCR-12	+++	++	++	++	Tr	Tr	++	Tr
TCR-14	++++	Tr	+	++	Tr	Tr	Tr	Tr
TRL-02	++++	Tr	+	++	Tr	Tr	++	Tr
TRL-03	++++	Tr	++	+	Tr	Tr	+	Tr
TRL-06	+++	+	++	++	++	+	+	Tr
TRL-08	+++	Tr	++	++	+	Tr	Tr	Tr
TRL-10	++++	Tr	++	+	Tr	Tr	++	Tr
BFC-01	++	+	++	++	+	+	Tr	Tr

An: anortita; BFC: Beco do Forno do Castelo; Cal: calcita; Di: diopsido; drx: difracción de rayos X; Gh: gehlenita; Hem: hematites; Ms: moscovita; Or: ortoclasa; Qtz: cuarzo; TCR: Traversa Chafariz de Rei; Tr: trazas; TRL: Teatro Romano de Lisboa.

Trazas: ≤ 3%; +: 3-10%; ++: 10-30%; +++: 30-50%; ++++: ≥ 50%.

^a Fases minerales, Whitney y Evans [38].

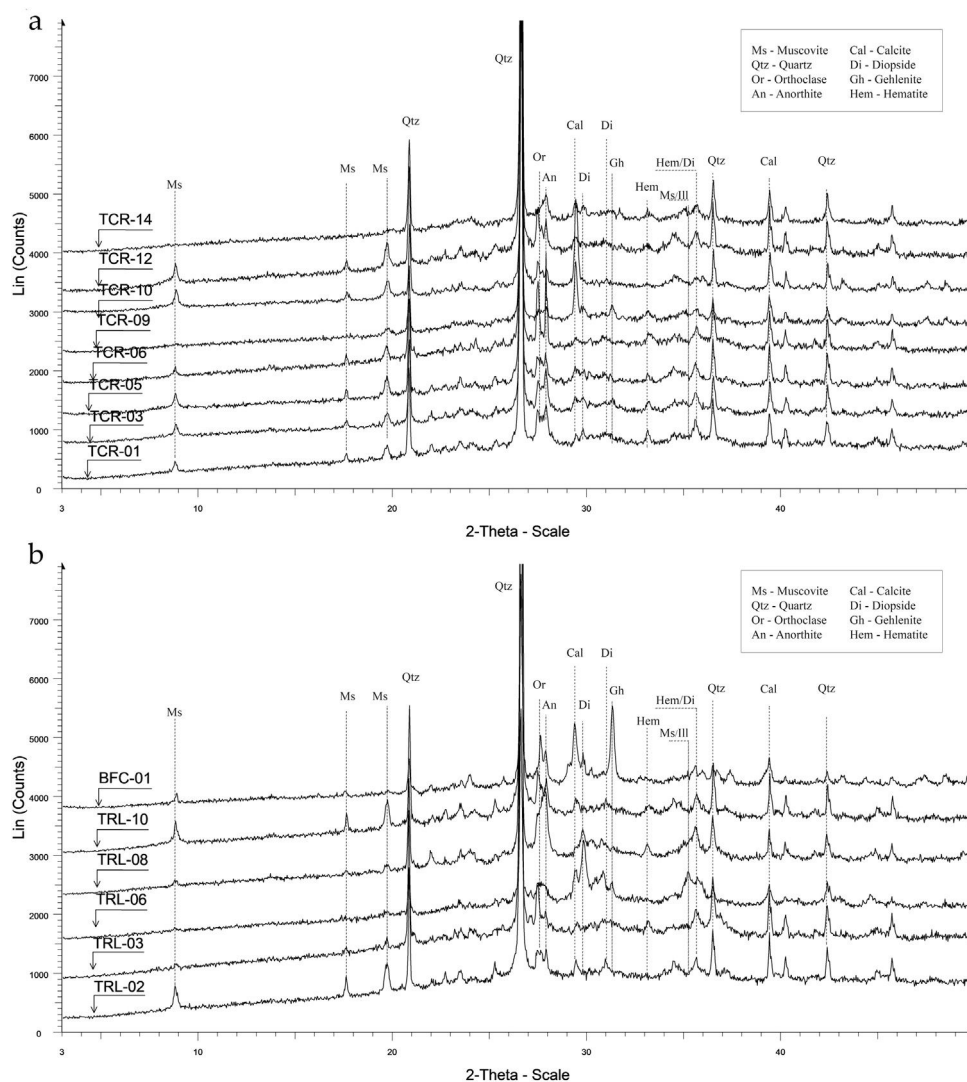
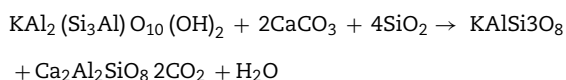


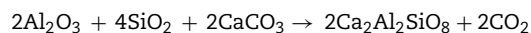
Figura 7 – a) Difractogramas comparativo de las muestras (TCR). b) Difractogramas comparativo de las muestras (TRL y BFC).

Se han identificado las fases cristalinas (fig. 7a y b) comunes para este tipo de muestras: un contenido medio en cuarzo que proviene de la materia prima original y que podría haber sido empleado junto con los feldespatos como fracción desgrasante de las arcillas, calcita (generalmente muy minoritaria), illita/mica moscovita que es el único silicato laminar componente típico de las arcillas y que persiste por tratamiento térmico, y feldespatos (anortita y ortoclasa). 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 ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_8$), se destaca la presencia de diópsido ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) en todas las muestras, coherente con la significativa presencia de óxido de magnesio procedente de las materias primas empleadas y, en menor medida, otra fase de más alta temperatura relativa de síntesis, la gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), que pudiera asociarse fundamentalmente a las composiciones químicas descritas y a haberse alcanzado temperaturas por encima de los 800°C durante la cocción [39].

La formación de anortita a expensas de la calcita y teniendo en cuenta que están presentes illita y cuarzo, formándose además un feldespato 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 es 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 [40]:



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 [41], alcanza su máximo desarrollo a 900°C y, posteriormente, se descompone al aumentar la temperatura [42], 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 [43]: $2\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 6\text{CaCO}_3 \rightarrow 3\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 + 6\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + 3\text{SiO}_2$

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.

La estimación absoluta de la temperatura de cocción de un material cerámico arqueológico, en términos arqueométricos, nunca se puede hacer con exactitud [44]. A partir de los resultados obtenidos, principalmente de la

semicuantificación de los minerales formados a alta temperatura, se ha realizado una estimación de las temperaturas de cocción que se pueden deducir teniendo en cuenta las fases identificadas. Se observa que en todos los casos ha sido inferior a 900°C , estableciéndose un rango común entre 820°C – 850°C , en una atmósfera oxidante. Solo se separa levemente de esta estimación la muestra TRL-06, sin que ello tenga una significación concreta determinante. Todo lo expuesto concuerda con las características técnicas de los hornos empleados en este periodo.

Conclusiones

Se ha observado un alto grado de coincidencia en los resultados de los análisis petrográfico, químico y mineralógico realizado a las distintas muestras, y su coherencia con la adscripción geográfica previa, realizada a partir de la morfotopología y el examen macroscópico de las pastas, lo que le otorga gran consistencia a las procedencias propuestas y las demás consideraciones que de estas pueden realizarse.

Para empezar, el estudio petrográfico ha permitido obtener una perspectiva composicional amplia de la pasta mayoritaria entre los materiales estudiados (grupo 1), un tipo de receta cerámica elaborada a partir de arcillas locales del estuario del Tajo que puede rastrearse en producciones posteriores de tradición romana. También se ha confirmado la existencia de recetas diferentes a partir de materias primas cercanas, reflejado en el grupo 2, así como en la muestra de cerámica común clasificada como desagrupada, procedentes del mismo entorno de la capital lisboeta. Se ha reforzado la constatación de importaciones turdetanas, dada la similitud petrográfica de 2 de las muestras con las manufacturas típicas de las campiñas del Bajo Guadalquivir, confirmando su adscripción morfotológica.

Los resultados químicos han permitido conocer el carácter silico-aluminoso y cálcico de estas muestras, con contenidos variables de óxido de hierro, así como de otros elementos minoritarios y trazas. Por medio de un tratamiento estadístico de los resultados se han logrado diferenciar 3 clústeres y 3 muestras que se distinguen del resto, lo que coincide con algunos matices con las conclusiones del análisis petrográfico realizado, confirmando el origen y la variedad de recetas cerámicas.

El análisis mineralógico ha puesto de manifiesto las reacciones en estado sólido que han originado las diferentes fases cristalinas, coherentes con la composición química de las cerámicas. La estimación de las posibles temperaturas de cocción, mayoritariamente en torno a los 850°C , permite concluir que la tecnología de producción de las piezas es similar a los procesos coetáneos más avanzados conocidos en la Península Ibérica dentro de una misma tradición alfarera de origen próximo oriental.

En consecuencia, se puede confirmar que la mayor parte de las muestras analizadas corresponden a ánforas locales del estuario del Tajo (TCR-01, TCR-03, TCR-05, TCR-06, TCR-10, TRL-02, TRL-03, TRL-06 y TRL-10), que se agrupan en 2 conjuntos bastante homogéneos en términos composicionales y tecnológicos, realizados a partir de materias primas

distintas, y diferenciados además del ejemplar de cerámica común muestreado. Por su parte, 2 de las posibles importaciones meridionales muestran características compatibles con las arcillas de las campiñas del Bajo Guadalquivir (TCR-14 y TRL-8), a las que se suma una tercera que podría proceder también de esta región (TCR-9), coincidiendo con el área de producción de los contenedores turdetanos del tipo Pellicer BC. Por último, el ánfora clasificada como púnica (BFC-01) presenta un origen desconocido, al no coincidir con los rasgos típicos de los centros productores de este tipo de envases.

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 y comercialización de mercancías envasadas en ánforas en el cuadrante suroccidental de la península ibérica durante la Edad del Hierro.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Sousa, A ocupação pré-romana da foz do estuário do Tejo, *Estudos & Memórias* 7, Universidade de Lisboa, Lisboa (2014).
- [2] E. Sousa, The Iron Age occupation of Lisbon, *Madrider Mitteilungen*. 56 (2015) 109–138.
- [3] E. Sousa, A Idade do Ferro em Lisboa: Uma primeira aproximação a um faseamento cronológico e à evolução da cultura material, *CuPAUAM* 42 (2016) 167–185, <http://dx.doi.org/10.15366/cupauam2016.42.006>.
- [4] A. M. Arruda. Los fenicios en Portugal. Fenicios y mundo indígena en el centro y sur de Portugal (siglos VIII-VII a. C.), *Cuad. Arqueo. Med.* 5-6 (1999-2000) 1-281.
- [5] A.M. Arruda, A Oeste tudo de novo: novos dados e outros modelos interpretativos para a orientalização do território português, en: A.M. Arruda (Ed.), *Fenícios e púnicos, por terra e mar. Estudos & Memórias* 6, 2, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014, pp. 512–535.
- [6] A.M. Arruda, A idade do ferro orientalizante no vale do Tejo, en: S. Celestino Pérez, E. Rodríguez, González (Eds.), *Territorios comparados: los valles del Guadalquivir, el Guadiana y el Tajo en época tartésica, anejos de AEspA LXXX*, CSIC, Mérida, 2017, pp. 283–294.
- [7] A.M. Arruda, E. Sousa, J. Pimenta, H. Mendes, R. Soares, *Phéniciens et indigènes en contact à l'embouchure du Tage, Portugal, Folia Phoen.* 1 (2017) 243–251.
- [8] E. Sousa, A tale of two(?) Cities: Lisbon and Almaraz at the Dawn of the Iron Age, *R. Stud. Fenici* 46 (2018) 137–152.
- [9] E. Sousa, J. Pimenta, A produção de ânforas no Estuário do Tejo durante a Idade do Ferro, en: R. Morais, A. Fernández, M.^aJ. Sousa (Eds.), *As produções cerâmicas de imitação na Hispania, Monografias Ex Officina Hispana II*, 1, SECAH, Porto, 2014, pp. 303–315.
- [10] E. Sousa, J. Pimenta, A.M. Arruda, A produção de ânforas na costa ocidental atlântica: o caso do estuário do Tejo, en: F.J. García Fernández, A.M. Sáez Romero (Eds.), *Las ánforas turdetanas: actualización tipológica y nuevas perspectivas*, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2021, pp. 275–289.
- [11] E. Sousa, Percorrendo o Baixo Tejo: regionalização e identidades culturais na 2ª metade do 1º milénio a.C., en: S. Celestino Pérez, E. Rodríguez González (Eds.), *Territorios comparados: los valles del Guadalquivir, el Guadiana y el Tajo en época tartésica, anejos de AEspA LXXX*, CSIC, Mérida, 2017, pp. 295–318.
- [12] E. Sousa, J. Pimenta, E. Silva, H. Mendes, A.M. Arruda, A. Dorado-Alejos, Ânforas da Idade do Ferro e de tradição pré-romana do Porto do Sabugueiro (Muge, Portugal), *Spal* 29.1 (2020) 129–156, <http://dx.doi.org/10.12795/spal.2020.i29.05>.
- [13] E. Sousa, Algumas reflexões sobre a fase tardia da Idade do Ferro no ocidente atlântico, *Ophiussa* 1 (2017) 91–104.
- [14] F.J. García, Fernández, Rumbo a poniente: el comercio de ánforas turdetanas en la costa atlántica de la península ibérica (siglos V-I a.C.), *Arch. Esp. Arqueol.* 92 (2019) 119–153, <http://dx.doi.org/10.3989/aespa.092.019.007>.
- [15] F.J. García, Fernández, La comercialización de productos turdetanos en la fachada atlántica peninsular durante la II Edad del Hierro (siglos V-II a. C.), en: S. Celestino Pérez, E. Rodríguez González (Eds.), *Un viaje entre el Oriente y el Occidente del Mediterráneo. IX Congreso Internacional de Estudios Fenicios y Púnicos*, vol. II, MYTRA 5, CSIC, Mérida, 2020, pp. 705–727.
- [16] J.L. Cardoso, A.B. Carvalhosa, E. Sousa, J. Bugalhão, M.J. Sequeira, Caracterização mineralógica de cerâmicas da Idade do Ferro de Lisboa (Núcleo Arqueológico da Rua dos Correeiros), *Rev. Port. Arqueol.* 20 (2017) 71–82.
- [17] V. Moreno Megías, F.J. García Fernández, P. Fragnoli, J.H. Sterba, Petrographic and neutron activation analysis of Late Iron Age amphorae from the south western Iberian Peninsula, *J. Archaeol. Sci. Reports*. 34 (2020) 102598, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102598>.
- [18] V. Filipe, M. Calado, M. Leitão, Evidências orientalizantes na área urbana de Lisboa O caso dos 2 edificios na envolvente da Mãe de Água do Chafariz d'El Rei, en: A.M. Arruda (Ed.), *Fenícios e Púnicos, por terra e mar. Estudos & Memórias* 6, 2, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014, pp. 736–747.
- [19] M. Pellicer Catalán, Tipología y cronología de las ánforas prerromanas del Guadalquivir según el Cerro Macareno (Sevilla), *Habis*. 9 (1978) 365–400.
- [20] M. Pellicer, Catalán, Las cerâmicas del mundo fenicio en el Bajo Guadalquivir: evolución y cronología según el Cerro Macareno (Sevilla) (1982) 371–406, En: H.G. Niemeyer (Ed.), *Phöinizier im Westen. Madrider Beiträge* 8. Philipp von Zabern, Mainz am Rhein.
- [21] L. Fernandes, Teatro romano de Lisboa —os caminhos da descoberta e os percursos de investigação arqueológica, *R. Al-Madan* 15 (IIª série) 15 (2007) 28–39.
- [22] L. Fernandes, V. Filipe, Cerâmicas de engobe vermelho pompeiano do teatro romano de Lisboa, *Rev. Port. Arqueol.* 10.2 (2007) 229–253.
- [23] J. Pimenta, A. Gaspar, A. Gomes, N. Mota, P. Miranda, O estabelecimento romano-republicano de Olisipo: estrutura e contextos do Beco do Forno do Castelo, Lote 40 (16-20)-Lisboa, *CIRA Arqueol.* 3 (2014) 122–148.
- [24] J. Pimenta, N. Mota, J. Baptista, O conjunto de ânforas da escavação do edifício romano republicano do Beco do Forno do Castelo, Lote 40 (16-20)-Lisboa. En: *II Encontro de Arqueologia de Lisboa: Arqueologia em Meio Urbano*, Centro de Arqueologia de Lisboa, Lisboa, e.p., 2007.
- [25] J. Ramon, Torres, Las ánforas fenicio-púnicas del Mediterráneo central y occidental, *Collecció Instrumenta* 2, Universidad de Barcelona, Barcelona (1995).
- [26] 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 25th International Symposium*, Elsevier, Amsterdam, 1989, pp. 127–138.
- [27] I.K. Whitbread, Greek transport amphorae, A petrographical and archaeological study, *British School at Athens, Athens* (1995).
- [28] P.S. Quinn, Ceramic petrography. The interpretation of archaeological pottery and related artifacts in thin section, *Archaeopress, Oxford* (2013). pp. 260.

- [29] D.E. 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, <http://dx.doi.org/10.1007/bf02038040>.
- [30] 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, <http://dx.doi.org/10.1002/xrs.2801>.
- [31] E.H. Bakrājī, 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, <http://dx.doi.org/10.1002/xrs.893>.
- [32] A. V. P. Coelho, J. L. Cardoso, Estudos sobre pastas de ânforas de fornos do vale do Tejo e do vale do Sado: análises macro e microscópicas. En: A., Alarcão, F., Mayet, editores, *Les amphores lusitaniennes: typologie, production, commerce*, de Boccard, Paris, 1990, p. 267–272.
- [33] T. Palácios, *Petrologia do Complexo Vulcânico de Lisboa, Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa* (1985).
- [34] V. Moreno-Megías, F.J. García-Fernández, J.J. Martín-del-Río, M. Borreguero-Cid, P.J. Sánchez-Soto, Ânforas prerromanas y romano-republicanas (siglos III-I a. C.) procedentes de contextos productivos del Bajo Guadalquivir: caracterización técnica y composicional, *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* (2021), <http://dx.doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.03.008>.
- [35] A.J. Polvorinos, V. Flores-Alés, M.A. Tabales, M.J. Hernández, 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. Vidr.* 42.2 (2003) 93–99.
- [36] J.B. Stoltman, J.H. Burton, J. Marcus, K.V. Flannery, R.G. Moyle, Petrographic evidence shows that pottery exchange between the Olmec and their neighbors was two-way, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 102 (32) (2005) 11213–11218, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0505117102>.
- [37] M.D. Glascock, H. Neff, K.J. Vaughn, Instrumental neutron activation analysis and multivariate statistics for pottery provenance, *Hyp. Int.* 154 (2004) 95–105, <http://dx.doi.org/10.1023/B:HYPE.0000032025.37390.41>.
- [38] D.L. Whitney, B.W. Evans, Abbreviations for names of rock-forming minerals, *Am. Miner.* 95 (2010) 185–187.
- [39] F. González-García, V. Romero-Acosta, G. García-Ramos, M. González-Rodríguez, Firing transformations of mixtures of clays containing illite, kaolinite and calcium carbonate used by ornamental tiles, *Appl. Clay Sci.* 5 (1990) 361–375.
- [40] 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.
- [41] G. Cultrone, E. Sebastián, K. Elert, M.J. de la Torre, O. Cazalla, C. Rodríguez-Navarro, Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks, *J. Eur. Ceram. Soc.* 24 (2004) 547–564.
- [42] R.B. Heimann, M. Maggetti, Experiments on simulated burial of calcareous terra sigillata (mineralogical change). Preliminary results, *Sc. Stud. Anc. Ceram.* 19 (1981) 163–177.
- [43] T. Peters, R. Iberg, Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 57.5 (1978) 503–509.
- [44] M. García-Heras, J. Trujeque Reyes, 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.