

ESTUDIO TECNOLÓGICO DE LOS HORNOS DEL SECTOR BEIRO DEL BARRIO ALFARERO DE CARTUJA (GRANADA) A PARTIR DE ANÁLISIS ARQUEOMÉTRICOS

TECHNOLOGICAL STUDY OF THE BEIRO SECTOR KILNS IN THE WORKSHOP DISTRICT OF CARTUJA (GRANADA) FROM ARCHAEOMETRICAL ANALYSIS

Rocío RUIZ MONTERO*

Resumen

Este trabajo se presenta como un estudio tecnológico de los hornos del Sector Beiro del Barrio Alfarero de Cartuja (ss. I-II d. C.), en el cual se han aplicado diversas técnicas arqueométricas (FTIR, DRX, FRX, etc.), para avanzar en el conocimiento sobre dichas producciones cerámicas, en cuanto a cuestiones como son rango de temperaturas, funcionalidad y la posible existencia de una selección de arcillas estructurales.

Palabras clave

Alfar romano, Arqueometría, arcilla, estudio tecnológico, hornos cerámicos

Abstract

This research is presented as a technological study about the Beiro Sector kilns in the Workshop District of Cartuja (1st-2nd century AD) where different archaeometrical techniques have been applied (FTIR, XRD, XRF, etc.), with the aim to increase the knowledge about these pottery productions in terms of issues such as temperature range, functionality and the possible existence of a selection of structural clay.

Key Words

Roman workshop, Archaeometry, clay, technological study, pottery kilns

INTRODUCCIÓN

Desde el hallazgo del alfar romano ubicado en la Colina de Cartuja (Granada) de la mano de M. Sotomayor durante sus trabajos de excavación (SOTOMAYOR 1966a, 1966b, 1966c, 1970), se dio a conocer en detalle la existencia de un importante número de hornos alfareros en los que se han producido diversos materiales (*terra sigillata*, cerámica común engobada, elementos constructivos, etc.) Los estudios que se han realizado desde entonces en el denominado Sector Beiro del Barrio Alfarero de Cartuja, se han dedicado a la descripción, clasificación y cuantificación de las producciones cerámicas (SERRANO 1978; ESCRIBANO-RUIZ 2017: 290-291; MORENO y ORFILA 2017; MORENO *et al.*, 2018) y de los propios hornos alfareros, apareciendo investigaciones más novedosas dentro del ámbito de la Arqueometría (BUSTAMANTE *et al.*, 2021) implicando, por tanto, la aplicación de técnicas físicas y químicas sobre dichos materiales cerámicos (MONTERO *et al.*, 2007: 24-26). Sin embargo, la priorización del conocimiento acerca de cómo es un objeto ha venido opacando otras cuestiones de gran importancia como la funcionalidad o la manufactura de este.

De esta forma, el planteamiento del presente trabajo se centra en el avance del conocimiento, ya no de los productos, sino del proceso productivo, por lo que se ha tenido como objeto de estudio las muestras seleccionadas de tres hornos del Sector Beiro (Fig. 1) obtenidas de las paredes de estos para su posterior análisis e interpretación.

* Universidad de Granada rociorm9111@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8753-7959>

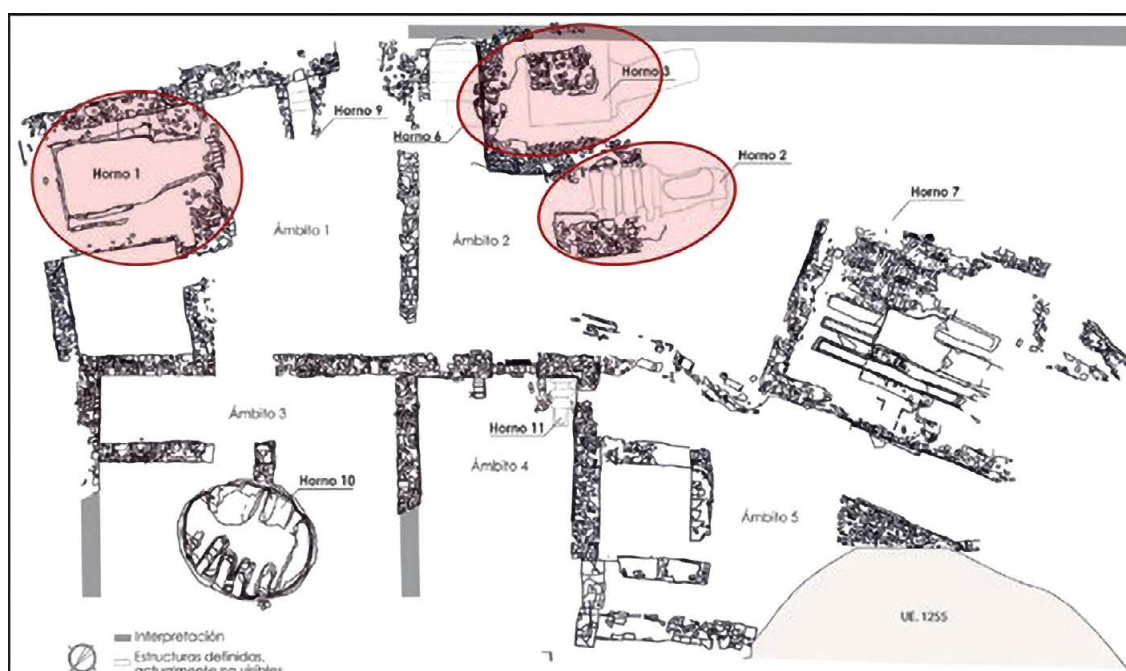


Fig. 1. Planimetría del Sector Beiro del complejo alfarero de Cartuja. Marcados en rojo, los hornos de los que se han obtenido las muestras. Elaboración propia a partir de la planimetría de BUSTAMANTE y SÁNCHEZ, 2020.

Los objetivos se enfocan en cuestiones de funcionalidad, temperaturas alcanzadas y conocer la composición elemental de los hornos, lo que esclarecería si existió una selección intencional de arcillas vinculada a la citada funcionalidad de cada uno de ellos. Los análisis de los que se ha servido este estudio han sido Fluorescencia de Rayos X portable (pXRF), Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Difracción de Rayos X (XRD), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Microscopía Estereoscópica (lupa binocular).

Dada la especificidad de las pruebas analíticas y la carencia de otros estudios similares sobre adobes estructurales en ámbito alfarero, se ha hecho uso de trabajos sobre cerámicas (SHOVAL *et al.*, 1993; SHOVAL 2017; PAKOSTA *et al.*, 2020) para conocer los distintos estadios mineralógicos por transformaciones en las composiciones de arcillas y, así, establecer analogías entre ambos materiales.

METODOLOGÍA

El estudio realizado se ha dividido en dos fases donde se encuentran la primera, de carácter documental y revisión bibliográfica y la segunda, donde prima el tratamiento de muestras y los análisis de laboratorio.

Estudio previo y recogida de muestras

En primer lugar, se ha recabado y sintetizado información sobre las etapas de ocupación y las intervenciones que han tenido lugar en el sector donde se encuentran los hornos seleccionados como objeto de estudio para, posteriormente, plantear la recogida de muestras en aquellos puntos de interés de los adobes estructurales en relación con la mayor o menor afección térmica que presenten (Fig. 2), por lo que se tomó material a diferentes alturas. Como forma de evaluar la resolución analítica y valorar la necesidad de recoger mayor o menor cantidad de muestras, se analizaron mediante FTIR aquellas pertenecientes al horno 1, lo que llevó a la decisión de obtener menos material en los hornos consecutivos, ya que los resultados mostraron poco contraste en la comparativa de la afección de las paredes de la estructura.



Fig. 2. Selección de muestras en la pared E del horno 2, el cual presenta mayor vitrificación.

Igualmente, del horno 2 se extrajeron muestras solamente a una altura debido a la colmatación de sedimento, por lo que obtener muestras a dos niveles diferentes en unas paredes de tan poca extensión vertical, no aportaría información relevante en los análisis.

De este modo, en la selección de muestras en los hornos 1, 2 y 3 se obtuvieron 30, 8 y 18, respectivamente, que fueron embolsadas y etiquetadas según el número de horno (h1, h2 y h3).

Análisis de laboratorio

El uso del instrumental para realizar los análisis que se describen a continuación dio lugar en el Laboratorio de Arqueometría Antonio Arribas Palau adscrito al Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, excepto el análisis de difracción de Rayos X, el cual se ha llevado a cabo en el Servicio de Rayos X de la Unidad de Rocas y Minerales de la Facultad de Ciencia y Tecnología (Universidad del País Vasco).

Microscopía óptica

Para la observación de las muestras respecto a una descripción previa sobre la matriz e inclusiones presentes en el material, se ha utilizado un equipo marca Leica M80, con cámara EZ-350 conectada al ordenador, con lentes de 0,5 y 1X, junto al software *Leica Application Suite* 3.4.0, para la edición y adquisición de las imágenes.

Se seleccionaron dos muestras afectadas y otras dos sin alterar del horno 1 y otras dos de cada uno de los hornos restantes, tanto de zonas afectadas como de aquellas sin afección térmica, tomando varias imágenes del conjunto a dos aumentos distintos: 1,25 y 1,6. La observación se realizó directamente sobre el material, por lo que no se necesitó una preparación previa.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Se seleccionaron muestras del horno 2 y el horno 3, distinguiendo, al igual que en los demás análisis, entre muestras con y sin alteración clara a simple vista, preparándose y colocándose con la siguiente distribución (Fig. 3):

Las imágenes se tomaron con un Microscopio Electrónico de Barrido de sobremesa Coxem (modelo EM-30AXP) con sistema Low Vacuum y detectores SE, BSE y EDX, en condiciones de bajo vacío y detección de electrones secundarios, lo que supone una menor presión sobre la muestra y la posibilidad de no metalizarla, ya que no es necesario en dichas condiciones. Se escogieron dos distancias para cada muestra (x100 y x500) y se tomaron entre 2 y 4 imágenes de cada una de ellas.

Al igual que en con el microscopio óptico, no se realizó preparación alguna sobre las muestras, ya que la observación fue directa y, únicamente, se necesitó obtener un pequeño fragmento de cada una de ellas.

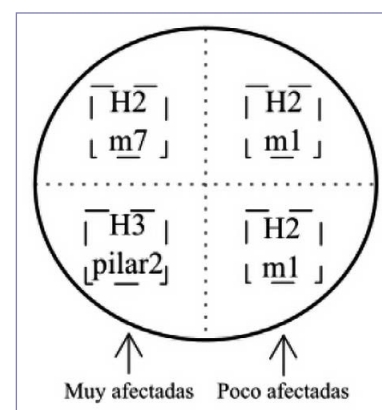


Fig. 3. Distribución de las muestras examinadas en SEM.

Espectrometría Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

El equipo utilizado ha sido un espectrómetro FT-IR 4700 (Jasco) con módulo ATR PRO ONE, junto al software que posibilita el tratamiento de los espectros obtenidos, *Spectra Manager* (v. 2.08.01) JASCO Corporation.

Se realizó una preparación de muestras en un mortero de ágata para su homogeneización y la toma de aproximadamente 30 mg de cada una de ellas. Además, se aplicó un escaneo previo vacío para la calibración en relación con la humedad ambiente existente para evitar errores en los análisis posteriores.

Los espectros infrarrojos se registraron en la región de frecuencia 4000-400 cm⁻¹, a una resolución de 4 cm⁻¹ y con una acumulación de 50.

Tras completar los análisis de todas las muestras, se realizó una selección de aquellos espectros que mostrasen menos o ninguna irregularidad en el gráfico y los picos representativos en las bandas de onda.

Fluorescencia de Rayos X portable (pXRF)

El equipo utilizado ha sido un analizador portátil Niton XL3T-950 GOLD preparado para realizar análisis en diferentes modos (según la naturaleza de la muestra) escogiendo el tipo *soil* que es el adecuado para el material extraído de los hornos, con el que se han obtenido análisis de cuatro muestras de cada uno de los hornos y con una duración media de 90,15 segundos por escaneado obteniendo una lista de elementos presentes y su cantidad en ppm, diferenciando entre muestras con vitrificación observable y muestras de partes externas, por tanto, sin alteración térmica y utilizando un mortero de ágata para pulverizar el material y mantener la homogeneidad. La lista de muestras utilizadas es la que se muestra (Fig. 4):

	Vitrificadas	No vitrificadas
H1	m21 y m3	m1 y m13
H2	m3 y m4	m1 y m2
H3	m13 y m10	m1 y m2

Fig. 4. Selección de muestras para análisis pXRF.

Difracción de Rayos X (XRD)

Esta técnica resulta de utilidad en la caracterización mineralógica y la obtención de rango de temperaturas, por lo que su uso ha estado muy vinculado a la arqueometalurgia (FREESTONE y TITE 1986; KEARNS *et al.*, 2010: 49; MURILLO-BARROSO *et al.*, 2017), aunque es aplicable a otros materiales como la arcilla.

Se utilizó un difractómetro PANalytical Xpert PRO, equipado con tubo de cobre ($\lambda_{\text{CuK}\alpha 1}=1,5418\text{\AA}$, $\lambda_{\text{CuK}\alpha 2}=1,54439\text{\AA}$), goniómetro vertical (geometría Bragg-Brentano), rendija programable de divergencia, intercambiador automático de muestras, monocromador secundario y detector PixCel.

Previamente al análisis, se seleccionaron 6 muestras, dos por cada horno y alternando entre muestras con afección visible y poco afectadas, que fueron molidas y homogeneizadas con ayuda de un motero de ágata. Dentro del propio análisis las condiciones fueron las siguientes:

Corriente del generador a 40KV y 40 mA.

Tubo de cobre $\lambda_{\text{CuK}\alpha 1}=1,541874\text{\AA}$ ($\lambda_{\text{CuK}\alpha 1}=1,540598\text{\AA}$ y $\lambda_{\text{CuK}\alpha 2}=1,544426\text{\AA}$).

Barrido angular de $5-80^\circ 2\theta$

El tratamiento de los difractogramas se realizó mediante el software PANalytical X'pert HighScore, con el que se obtuvieron las fases mineralógicas y las comparativas entre muestras.

RESULTADOS

Gracias a la observación a través de microscopía óptica y SEM, se pudieron obtener imágenes en detalle que proporcionan información acerca de la microestructura de la arcilla.

A través del microscopio óptico se pudieron observar las diferencias entre muestras sin alteración apreciable a simple vista y aquellas con una clara afección (Fig. 5 y 6). Las primeras presentan una matriz heterogénea con inclusiones bien diferenciadas y mayor angulosidad. Con la acción de las altas temperaturas la microestructura de la arcilla se transforma, por lo que su apariencia difiere con el aspecto anterior a dicha exposición térmica, tanto la matriz como las inclusiones que pudieran haber estado presentes, aparecen vitrificadas, sin diferenciarse debido a dicho cambio microestructural (CUOMO 2017: 48-49). Los fragmentos vitrificados se aprecian con una coloración verdosa/grisácea de textura porosa debido a los gases fruto de la exposición al fuego, sobre todo, la muestra 3 del horno 2, el cual parece haber tenido una exposición al fuego de mayor intensidad y más continua. Por otro lado, las muestras sin vitrificar poseen una matriz rojiza, vinculada al material aluvial que se encuentra en el territorio, ligado al Complejo Alhambra y a la presencia de compuestos de hierro dispersos (CUOMO 2017: 90), con numerosas inclusiones de cuarzo, micaesquistos y pequeños cantos.

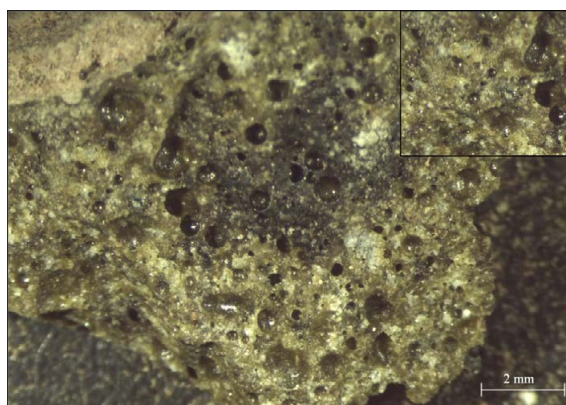


Fig. 5. Muestra 3 del Horno 2 (con alteración).

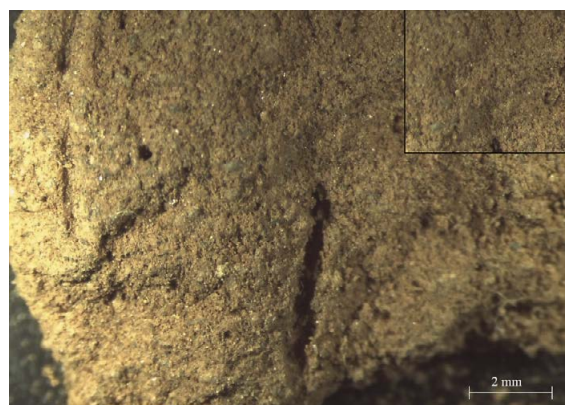


Fig. 6. Muestra 2 del Horno 1 (sin alteración).

La obtención de imágenes mediante SEM muestra en detalle la transformación que ha sufrido la arcilla constituyente de los adobes estructurales. Las muestras sin afección térmica (Fig. 7) poseen una estructura irregular, siendo lógico al tratarse de material extraído de adobes estructurales y no de cerámicas manufacturadas, al igual que se aprecian porosidades en la matriz vinculadas a las inclusiones por tratarse de un material no depurado.

Las muestras que se encuentran claramente afectadas (Fig. 8) presentan formas torneadas y afiladas como consecuencia de una exposición prolongada al fuego o, lo que es más probable, a altas temperaturas, especialmente en el Horno 2, el cual posee una mayor parte de su extensión en el interior cubierto de vitrificaciones que aún se conservan y que razón por la que fue propuesto como un horno para cocer *terra sigillata* (SOTOMAYOR 1966a).

En cuanto a la composición elemental, el análisis pXRF ayudó a identificar la composición química de las muestras (4 por cada horno) en relación con ciertos elementos en ppm: Mo, Zr, Sr, Rb, Pb, As, Zn, Cu, Fe, Mn, V, Ti, Sc, Ca, y K, calculando la media y la desviación estándar de cada uno de los elementos y de los hornos, que, junto a la realización del análisis de componentes principales, muestran la variación existente y que se representa mediante diagramas de dispersión (Fig. 9).

Fig. 9. Diagramas de dispersión sobre la relación entre componentes y muestras de cada horno, realizado por ACP. Componentes 1 y 2 (arriba); componentes 1 y 3 (abajo). Las muestras con mayor afección no presentan relleno a color.

En estos gráficos se observa cómo se asemejan o tienen mayor relación en los componentes 1 y 2, salvo las muestras h2 m3 y h1 m21 (ambas correspondientes al material afectado), dado lugar a la diferenciación de los elementos que forman este grupo. En el gráfico de los componentes 1 y 3 las muestras de los distintos hornos no se agrupan formando *clusters*, por lo que no parece que haya habido una selección de arcilla distinta en la elaboración de los adobes estructurales. Sí se observa una leve variación elemental, ya que las muestras con menor afección

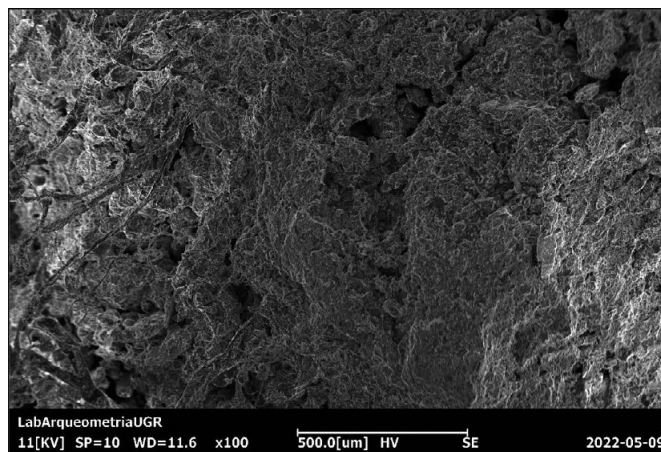


Fig. 7. Muestra 1 del Horno 2.

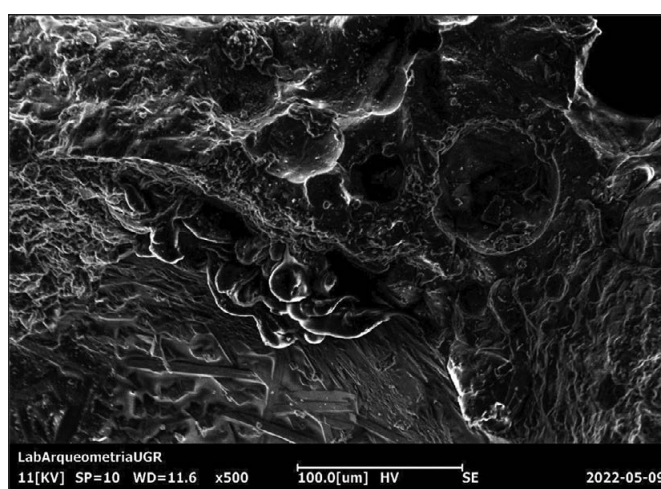
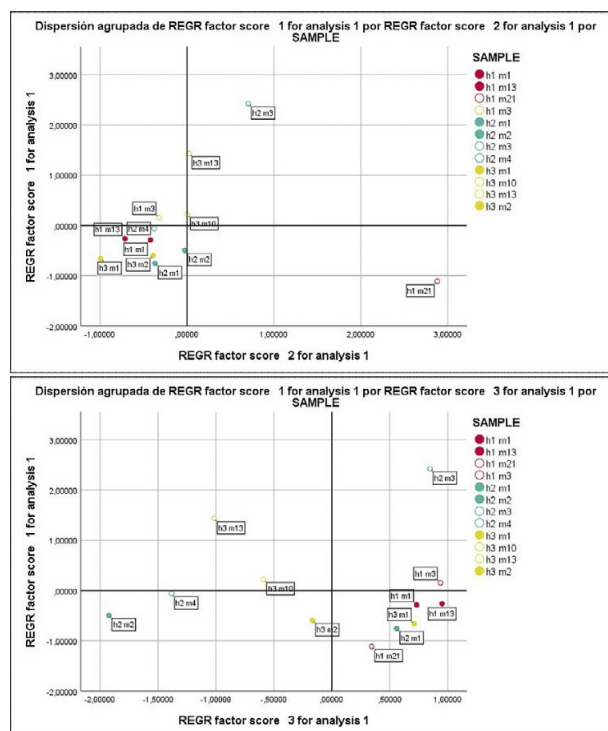
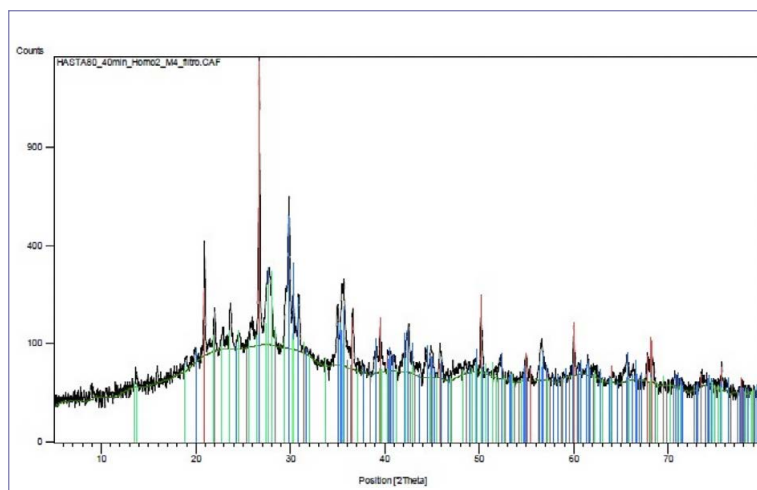


Fig. 8. Muestra 4 del Horno 2.



parecen agruparse, salvo la muestra h2 m2. La información obtenida sobre la composición elemental aporta indicios sobre la procedencia igualitaria de los tres hornos, aunque es necesario complementar con otras técnicas de análisis para conseguir un estudio más exhaustivo y poder corroborar las inferencias construidas.

Fig. 10. Difractograma de la muestra 4 del horno 2 (con mayor afección). Rojo para cuarzo romboédrico; azul para diópsido; verde para plagioclasa (anortita); gris para cristobalita.



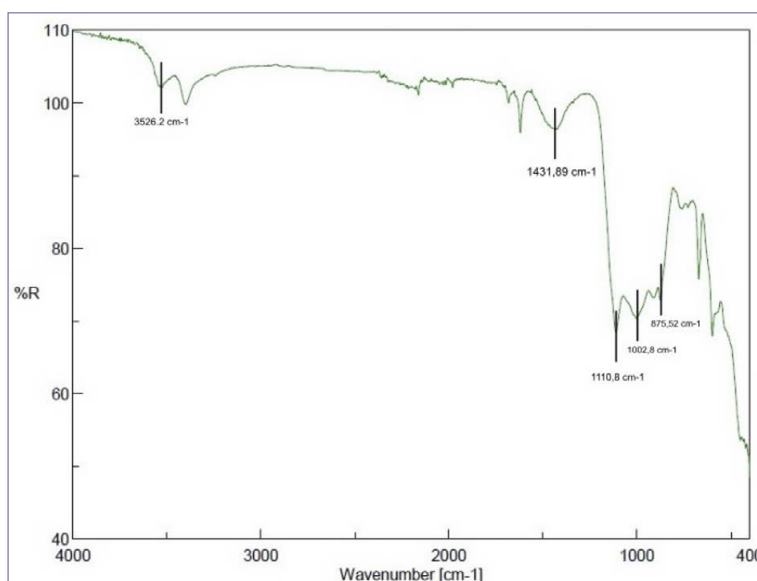
En cuanto a la composición elemental, el análisis pXRF ayudó a identificar la composición mineralógica en diferentes fases, por lo que ayuda a identificar temperaturas alcanzadas relacionadas con dichos cambios. En las composiciones se han identificado los siguientes minerales: cuarzo, calcita, diópsido, filosilicatos de las micas, filosilicatos de las cloritas, dolomita, plagioclasa (anortita) y cristobalita (en poca proporción).

Aquellas muestras con una mayor afección presentan diópsido, cristobalita, plagioclasa (anortita), cuarzo y material vítreo. En las que tienen menor nivel de alteración se identifican calcita, dolomita y filosilicatos (paragonita y clinocloro). Sin embargo, las comparaciones entre los hornos y sus muestras correspondientes en cuanto a la afección térmica demuestran que las composiciones son similares.

Según Ortega *et al.* (2005-2006) la calcita tiene su punto de descomposición alrededor de entre los 750-850 °C en condiciones de cocción oxidante y las micas poseen una temperatura de desestabilización en torno a los 850-925 °C que dan lugar a una transformación mineralógica. Por otro lado, la dolomita actúa de forma similar a la calcita en su descomposición, por lo que la ausencia en una muestra consecutiva respondería al mismo hecho que el de la calcita (SANJURJO *et al.*, 2018; SHOVAL *et al.*, 1993). Otro indicativo de altas temperaturas es la ausencia de los filosilicatos los cuales se descompone a una temperatura de 950 °C, siendo el caso de las muestras número 4 de los hornos 1 y 2, sumando el hecho de que no presenten reflexiones basales de micas o illitas, por lo que la temperatura alcanzada ha sido, al menos, de 1050 °C.

La técnica FTIR complementa a la XRD en cuanto al conocimiento de composiciones elementales, por lo que los espectros obtenidos (Fig. 11) fueron comparados entre ambos resultados y en la base de datos RUFF, donde se almacena información sobre elementos como documentación de referencia.

Fig. 11. Espectro FTIR de la muestra recogida del pilar del horno 3.



Tras establecer analogías con otros trabajos previos realizados mediante este tipo de análisis, se establecieron características principales sobre las reflexiones en las bandas más comunes, así como la vinculación con el rango de temperaturas que indican:

La banda de la calcita reformada (1420 y 1430 cm^{-1}) se vincula a temperaturas entre 750-8850 $^{\circ}\text{C}$ (SHOVAL 2017).

La vibración del $\text{Al}(\text{OH})$ en torno a 915 cm^{-1} no aparece en las muestras, por lo que indica que la temperatura mínima alcanzada fue 500 $^{\circ}\text{C}$ (VELRAJ *et al.*, 2015: 937).

Las bandas de absorción del cuarzo se encuentran entre 1200 y 900 cm^{-1} (PAPAKOSTA *et al.*, 2020) incluyendo el doble pico en 779 y 798 cm^{-1} . Estas reflexiones existen en las muestras menos afectadas por el fuego.

La caolinita puede que se encuentre identificada en las bandas 3700-3600 cm^{-1} . Esto ayuda a identificar cambios en las bandas y, al comparar con los resultados de otras técnicas, como la XRD, permiten conocer las temperaturas alcanzadas.

Las arcillas ricas en Fe poseen mayor reflexión en la banda a 875 cm^{-1} , algo que presentan todas las muestras analizadas, y que se confirma con el análisis de XRD, donde la cantidad de Fe es mayoritaria.

Existen cambios en la banda 1034-1036 cm^{-1} , hasta 1052-1053 y 1079-1081 cm^{-1} , coincidiendo con una temperatura de cocción que va desde los 600-700 $^{\circ}\text{C}$ hasta los 800 $^{\circ}\text{C}$, teniendo el punto máximo a 1078-1082 cm^{-1} , situado en unos 900 $^{\circ}\text{C}$. Esto se identifica con las transformaciones vinculadas a las bandas de Si-O (SHOVAL *et al.*, 1993).

En el horno 1 las muestras con mayor afección, sobre todo en zonas con vitrificación apreciable a simple vista como en la muestra 4 o en la zona interior donde no se han desprendido los adobes, no marcan picos referentes a la calcita primaria (715 cm^{-1}) por lo que la temperatura de entre 750 $^{\circ}$ -850 $^{\circ}$ C fue alcanzada. Las muestras menos afectadas no presentan la banda de vibración del $\text{Al}(\text{OH})$ por lo que, las temperaturas mínimas se establecerían sobre los 500 $^{\circ}\text{C}$.

En el horno 2 las muestras con mayor afección presentan bandas situadas en 1037 cm^{-1} lo que se identifica con altas temperaturas (de 900 $^{\circ}$ C o más). Como temperaturas mínimas, podemos relacionar la banda a 712 cm^{-1} con la calcita primaria, ya identificada en las muestras con menos afección del anterior horno.

Las temperaturas máximas en el horno 3 se vinculan más al horno 1 por las bandas en torno a 1000 cm^{-1} , que no alcanza la cifra del horno 2 el cual se encuentra más identificado a temperaturas de 900 $^{\circ}$ C o más.

Por tanto, se podría deducir que los valores máximos estarían en torno a 750 $^{\circ}$ -850 $^{\circ}$ C. Solamente en una de las muestras del pilar (obtenida de la parte inferior), parece haberse dado una mayor alteración térmica.

CONCLUSIONES

Las investigaciones sobre la Arqueología de la producción han aportado información relevante sobre los conocimientos tecnológicos en referencia a producciones y/o elaboraciones de objetos o materiales mediante una cadena operativa (*chaîne opératoire*) definida. En el estudio llevado a cabo se han tenido dichas cuestiones como foco principal, vinculadas a las estructuras del centro de producción alfarero.

En cuanto a la caracterización de materia prima de los hornos seleccionados en este trabajo, las arcillas constitutivas de la estructura de cada uno de ellos son similares, por lo que una diferenciación funcional no

conlleva una utilización de diferentes materias primas en cuanto a la estructura alfarera se refiere, al menos, en los hornos estudiados en el Sector Beiro del complejo alfarero de Cartuja.

Los resultados de dichos análisis, que son la base para las conclusiones realizadas, muestran una uniformidad composicional en los tres hornos, con un máximo de temperatura alcanzada en torno a 1050^o C y un mínimo de 500 ^oC, lo cual coincide con el aspecto macroscópico (vitrificaciones) y se relaciona con las producciones cerámicas dentro del sector alfarero. Igualmente, la composición elemental no muestra varianza entre los tres hornos, por lo que la captación de materia prima tiene un origen común en la elaboración de los adobes estructurales. Solamente es apreciable la alteración a nivel macroscópico en las muestras con mayor vitrificación. Estableciendo comparaciones con otros trabajos mencionados anteriormente sobre estructuras de producciones cerámicas, solamente habría diferencias en cuanto a funcionalidades fuera del ámbito de la cocción cerámica, es decir, zonas de secado, por lo que esto no podría aplicar una distinción en la función de cada uno de los hornos.

Finalmente, ciertos aspectos como el estado de conservación de las estructuras y la realización de los análisis solamente en tres de los hornos deben tenerse presentes como visión a futuro del avance en el conocimiento de estas producciones, ya que podrían existir diferencias que no han sido identificadas en los demás hornos sin estudios previos de este tipo.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecerles a Mercedes Murillo Barroso y Elena H. Sánchez López por sus consejos y conocimientos además del apoyo recibido desde el Proyecto General de Investigación “Campus de Cartuja”. Al Departamento de Prehistoria y Arqueología junto al Laboratorio de Arqueometría Antonio Arribas Palau de la Universidad de Granada, junto al Servicio de Rayos X de la Unidad de Rocas y Minerales de la Universidad del País Vasco.

BIBLIOGRAFÍA

BUSTAMANTE ÁLVAREZ, M., DORADO-ALEJOS, A., SÁNCHEZ LÓPEZ, E. H., CORIA NOGUERA, J. C. (2021): Analizando el modo de producción del complejo alfarero de Cartuja (Granada). Una primera aproximación a partir del instrumental figlinario localizado. *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada* 31: 361-392.

BUSTAMANTE ÁLVAREZ, M., SÁNCHEZ LÓPEZ, E. H. (2020): El barrio alfarero de Cartuja (Granada, España). Análisis de un testar localizado en las recientes intervenciones del sector Beiro. *CONGRESSVS TRICESIMVS PRIMVS REI CRETARIAE ROMANAE FAVORVM NAPOCAE HABITVS MMXVIII, Acta* 46: 57-69. Oxford: Archaeopress.

CUOMO DI CAPRIO, N. (2017): *Ceramics in Archaeology. From Prehistoric to Medieval times in Europe and the Mediterranean: Ancient Craftsmanship and Modern Laboratory Techniques*. VOL I y II. Roma: L'erma di BRETSCHNEIDER.

ESCRIBANO-RUIZ, S. (2017): Estrategias cuantitativas para el estudio de cerámica arqueológica. Una propuesta desde el caso de la cerámica histórica alavesa. *MUNIBE Antropologia-Arkeologia* 68: 289-300.

FREESTONE, I. C., TITE, M. S. (1986): Refractories in the ancient and preindustrial world. En Kingery, W. D. (Ed.): *Ceramics and Civilization 3: High-technology ceramics: past, present and future. The nature of innovation and change in ceramic technology*: 35-63. Westerville: The American Ceramic Society.

KEARNS, T., MARTINÓN-TORRES, M., REHREN, T. (2010): Metal to mould: alloy identification in experimental casting moulds using XRF. *Historical Metallurgy* 44 (1): 48-58.

MONTERO RUIZ, I., GARCÍA HERAS, M., LÓPEZ-ROMERO, E. (2007): Arqueometría: cambios y tendencias actuales. *Trabajos de Prehistoria* 64 (1): 23-40.

- MORENO PÉREZ, A. S., ORFILA PONS, M. (2017): El complejo alfarero romano de Cartuja (Granada). Nuevos datos a partir de las actuaciones arqueológicas desarrolladas entre 2013-2015. *SPAL* 26: 187-210.
- MORENO PÉREZ, A. S.; ORFILA PONS, M., SÁNCHEZ LÓPEZ, E. H. (2018): Cartuja desde la prehistoria hasta el final del mundo antiguo. *Crónica de un paisaje: descubriendo el Campus de Cartuja: Hospital Real, del 5 de octubre de 2017 al 27 de enero de 2018*: 19-26. Granada: Universidad de Granada.
- MURILLO-BARROSO, M., MARTINÓN-TORRES, M., MASSIEU, M., SOCAS, D. M., GONZÁLEZ, F. M. (2017): Early metallurgy in SE Iberia. The workshop of Las Pilas (Mojácar, Almería, Spain). *Archaeological and Anthropological Sciences* 9 (7): 1539-1569.
- ORTEGA CUESTA, L. Á., ZULUAGA IBARGALLARTU, M. C., ALONSO, A. OLAETXEA ELOSEGI, C. (2005-2006): El estudio arqueométrico de las producciones cerámicas, *Munibe Antropologia-Arkeologia* 57/2: 365-388.
- PAPAKOSTA, V. LÓPEZ-COSTAS, O., ISAKSSON, S. (2020): Multi-method (FTIR, XRD, PXRF) analysis of Ertebølle pottery ceramics from Scania, southern Sweden. *Archaeometry* 62(4): 677-693.
- SANJURJO SÁNCHEZ, J., MONTERO FENOLLÓS, J. L., POLYMERIS, G. S. (2018): Technological aspects of Mesopotamian Uruk pottery: estimating firing temperatures using mineralogical methods, thermal analysis and luminescence techniques. *Archaeological and Anthropological Sciences* 10 (4): 849-864.
- SERRANO RAMOS, E. (1978): Cerámica común en el alfar romano de Cartuja. *Baetica. Estudios de Arte, Geografía e Historia* 1: 243-271. Málaga: Universidad de Málaga.
- SHOVAL, S. (2017): Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) in archaeological ceramic analysis. *The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis*. Oxford University Press.
- SHOVAL, S., GAFT, M., BECK, P., & KIRSH, Y. (1993): Thermal behaviour of limestone and monocrystalline calcite tempers during firing and their use in ancient vessels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 40 (1): 263-273.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1966a): Excavaciones en la Huerta de la Facultad de Teología de Granada. Informe sucinto del resultado de los trabajos del 19 de mayo al 4 de junio de 1965. *Noticiario Arqueológico Hispánico* VIII y IX 1-3: 200-202.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1966b): Excavaciones en la Huerta de la Facultad de Teología de Granada. Informa sucinto del resultado de los trabajos del 31 de agosto al 12 de septiembre. *Noticiario Arqueológico Hispánico* VIII y IX 1-3: 193-199.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1966c): Alfar romano en Granada. *IX Congreso Nacional de Arqueología Valladolid: Congresos Arqueológicos Nacionales*: 367-372.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1970): Siete hornos de cerámica romana en Granada con producción de sigillata. En VV.AA.: *XI Congreso Nacional de Arqueología (Mérida, 1968), Secretaría General de los Congresos Arqueológicos Nacionales*: 713-728.
- TITE, M., FREESTONE, I. C., MEEKS, N. D., BIMSON, M. (1982): The use of scanning electron microscopy in the technological examination of ancient ceramics. *Archaeological Ceramics*: 109-120. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press.
- VELRAJ, G., TAMILARASU, S., RAMYA, R. (2015): FTIR, XRD and SEM-EDS studies of archaeological pottery samples from recently excavated site in Tamil Nadu, India. *Materials Today: Proceedings* 2(3): 934-942.