

Evolución tecnológica y arqueometría en el estudio de cerámicas de Fajalauza (Granada, España)



Manuel García-Heras^{a,*}, Alejandro Pinilla^a, Fernando Agua^a, Daniel Morales-Martín^b,
 Fátima Quijada^a y María Ángeles Villegas^a

^a Instituto de Historia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España

^b Facultad de Bellas Artes, Universidad Complutense, Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 2 de agosto de 2024

Aceptado el 18 de septiembre de 2024

On-line el 2 de octubre de 2024

Palabras clave:

Cerámica

Fajalauza

Granada

Tecnología

Arqueometría

R E S U M E N

Se ha realizado el estudio arqueométrico de un conjunto de materiales cerámicos de Fajalauza para conocer en profundidad las características tecnológicas y el procesamiento de una de las producciones más singulares de la cerámica tradicional española. El conjunto comprende una selección representativa de fragmentos que abarcan desde el final de la época morisca a finales del siglo XV hasta producciones actuales de los siglos XX y XXI. Los fragmentos fechados entre finales del siglo XV y mediados del siglo XIX proceden de excavaciones arqueológicas preventivas recientes realizadas en distintas calles de Granada, mientras que aquellos de producciones actuales provienen tanto de colecciones privadas como de la producción actual de la fábrica de Cecilio Morales. Se analizaron asimismo muestras de arcilla del taller antiguo de dicha fábrica con finalidad comparativa. La caracterización arqueométrica se realizó mediante lupa binocular, observación petrográfica de lámina delgada, DRX, FRX y MEBC con microanálisis EDS. Los datos de la composición química se sometieron también a un análisis estadístico multivariante. Los principales resultados indicaron una destacada continuidad tecnológica entre los siglos XVII al XX, detectándose solo discontinuidades en la cerámica denominada Pre-Fajalauza, que difiere en composición del cuerpo y en características del vidriado, y en las más recientes del siglo XXI en las que se ha sustituido SnO₂ por ZrO₂ como opacificante en los vidriados.

© 2024 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de SECV. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: manuel.gheras@cchs.csic.es (M. García-Heras).

<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2024.09.006>

0366-3175/© 2024 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de SECV. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Technological evolution and archaeometry in the study of Fajalauza ceramics (Granada, Spain)

A B S T R A C T

Keywords:

Ceramics
Fajalauza
Granada
Technology
Archaeometry

An archaeometric study has been undertaken on a set of Fajalauza ceramic materials to in depth understand the technological characteristics and processing of one of the most unique productions of traditional Spanish ceramics. The set comprises a representative selection of fragments that encompass from the end of the Morisque period at the end of the fifteenth century to current productions of the twentieth and twenty first centuries. The fragments dated between the end of the fifteenth century and the middle of the nineteenth century come from recent preventive archaeological excavations carried out in different streets of Granada, while those from current productions come from both private collections and the current production of the Cecilio Morales factory. Clay samples from the old workshop of this factory were also analyzed for comparative purposes. The archaeometric characterization was accomplished using binocular magnifying glass, thin section petrographic observation, XRD, XRF and FESEM with EDS microanalyses. Chemical composition data were also subjected to a multivariate statistical analysis. The main results indicated a notable technological continuity between the seventeenth and twentieth centuries, detecting only discontinuities in the ceramics called Pre-Fajalauza, which differ in body composition and in glaze characteristics, and in the most recent ones of the twenty first century in which the SnO_2 has been substituted by ZrO_2 as opacifier in the glazes.

© 2024 The Authors. Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of SECV. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La cerámica de tipo Fajalauza se identifica social y culturalmente con la ciudad de Granada y sus alrededores, y sus raíces se hunden hasta la cerámica de finales de la época morisca de fines del siglo XV. Su nombre comienza a utilizarse a finales del siglo XIX debido a que muchos de los talleres que producían estas cerámicas se ubicaron en el barrio del Albayzín de Granada junto a la puerta que le da nombre: la puerta de Fajalauza [1]. La concentración de talleres en Fajalauza se documenta desde finales del siglo XVI, y sobre todo en el siglo XVII a partir de la expulsión de los moriscos en 1609, lo que permitió que el sector se estructurara mayoritariamente en torno a artesanos cristianos y algunos centros operados todavía con población morisca que poco a poco van transformándose para después ir desapareciendo [2].

La tradición cerámica almohade y más adelante nazarí, caracterizada por presentar abundantes decoraciones de color azul sobre vidriados de color blanco, entró en un importante retroceso tras la conquista de Granada y durante todo el siglo XVI. Esta tradición, de clara raíz andalusí y precedente medieval, fue sustituida paulatinamente a lo largo del siglo XVII por otra nueva tradición cerámica de raíz cristiana y de época moderna, que conforma lo que se conoce como cerámica granadina [1,2]. Las características comunes de la cerámica granadina de Fajalauza tienen que ver con la típica capa o vidriado de esmalte blanco que recubre los recipientes cerámicos y que se decora, sobre esta cubierta de fondo blanco,

con motivos de color azul, verde y, en ocasiones, marrón o incluso violeta, en los que predominan elementos vegetales como flores o frutos y también aves [3].

A pesar de ser una de las producciones más populares de cerámica tradicional, la cerámica de tipo Fajalauza apenas se ha estudiado desde una perspectiva tecnológica y arqueométrica. Por este motivo, el grupo de investigación CERVITRUM (IH-CSIC) está llevando a cabo en la actualidad un estudio arqueométrico para conocer en profundidad tanto sus características tecnológicas como sus procesos productivos en las dos partes que conforman el sistema cuerpo cerámico/vidriado. Como resultado de esta investigación de largo recorrido se han publicado recientemente los resultados que trazan la evolución tecnológica y compositiva de los vidriados de cerámicas de tipo Fajalauza que abarcan desde el siglo XV hasta la actualidad [4]. En el presente trabajo se exponen los resultados de la caracterización arqueométrica del cuerpo cerámico de los recipientes, que se emprendió con el objetivo de determinar la composición química y mineralógica de las matrices cerámicas, estimar su posible temperatura de cocción equivalente, confrontar los datos de los materiales cerámicos con aquellos proporcionados por los análisis de arcillas actuales y comprobar si a lo largo del tiempo se ha mantenido una tecnología de producción similar o se han producido cambios en algún momento de la secuencia cronológica estudiada. La contribución se enmarca así en la línea de investigación emprendida por CERVITRUM hace ya algunos años sobre el estudio arqueométrico de distintas producciones de materiales cerámicos vidriados históricos como azulejos [5] o lozas [6].

Tabla 1 – Muestras seleccionadas para este estudio

Conjunto	Muestra	N.º de inventario	Cronología	Procedencia
Pre-Fajalauza (ss. XV-XVI)	F-01	GR/SGR-10/20. UE 1015	Fin s. XV	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-02	GR/SGR-10/20. UE 1097	Fin s. XV	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-03 común	GR. SAN NICOLÁS 10. 2018	1.ª mitad s. XVI	Calle San Nicolás
	F-04 común	GR. CANDIOTA G-12.2005	Fin s. XVI	Calle Candiota
	F-05	GR/SGR-10/20. UE 1051	Fin s. XVI	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-06	GR/SGR-10/20. UE 1051	Fin s. XVI	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-07	GR/SGR-10/20. UE 1051	Fin s. XVI	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-08	GR/SGR-10/20. UE 1051	Fin s. XVI	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-09 común	GR/SGR-10/20. UE 1051	Fin s. XVI	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-10 común	GR/SGR-10/20. UE 1051	Fin s. XVI	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-11	GR. CANDIOTA G-12.2005	Ss. XVI-XVII	Calle Candiota
Fajalauza (ss. XVII-XVIII)	F-12	GR. BIBARRAMBLA 12. 2019	S. XVII	Plaza de Bibarrambra
	F-13	GR. BIBARRAMBLA 12. 2019	S. XVII	Plaza de Bibarrambra
	F-14 común	GR. CANDIOTA G-12.2005	S. XVII	Calle Candiota
	F-15	GRS.JR.16.UE.2030	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-16	GRS.JR.17.4060	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-17	GRS.JR.17.4007.22	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-18	GRS.JR.17.4007.28	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-19	GRS.JR.17.4007.39	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-20	GRS.JR.17.4007.37	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-21 común	GRS.JR.17.4007.109	Ss. XVII-XVIII	Calle San Juan de los Reyes
	F-22	GR. MARÍA LA MIEL 10. 2010	S. XVIII	Calle María La Miel
Fajalauza (s. XIX)	F-23	GR. MARÍA LA MIEL 10. 2010	S. XVIII	Calle María La Miel
	F-24	GR/SGR-10/20. UE 1021	Fin s. XVIII	Calle San Gregorio Jardín de Soto de Rojas
	F-25	GR/MARISTÁN/19	1843	Edificio del Maristán
	F-26	GR/MARISTÁN/19	1843	Edificio del Maristán
	F-27	GR/MARISTÁN/19	1843	Edificio del Maristán
Fajalauza contemporánea (ss. XX-XXI)	F-28	S/n	~1920	Fábrica C. Morales
	F-29	S/n	~1940	Fábrica C. Morales
	F-30	S/n	~1940	Fábrica C. Morales
	F-31	S/n	1977	Fábrica C. Morales
	F-32	S/n	1992	Fábrica C. Morales
	F-33	S/n	2010	Fábrica C. Morales
	F-34	S/n	2018	Fábrica C. Morales
	F-35	S/n	2020	Fábrica C. Morales
Arcillas	AF-01	S/n	Febrero 2024	Taller antiguo fábrica C. Morales
	AF-02	S/n	Febrero 2024	Taller antiguo fábrica C. Morales
	AF-03	S/n	Febrero 2024	Taller antiguo fábrica C. Morales

Estudio experimental

Fragmentos cerámicos y muestras seleccionadas

Dado que el principal objetivo de la investigación emprendida para estudiar la cerámica de Fajalauza fue el de trazar su evolución tecnológica desde el siglo XV hasta la actualidad, era necesario contar con un conjunto de fragmentos y piezas cerámicas representativo de todas las épocas de esta secuencia cronológica. Por ello, se seleccionaron desde fragmentos de lo que se han denominado Pre-Fajalauzas, precedentes de las producciones más típicamente Fajalauzas, hasta cerámicas producidas en la actualidad por la fábrica de Cecilio Morales. Las muestras seleccionadas para realizar este estudio se han ordenado en cuatro conjuntos según su adscripción cronológica: 1) Pre-Fajalauza (ss. XV-XVI); 2) Fajalauza (ss. XVII-XVIII), 3) Fajalauza (ss. XIX) y 4) Fajalauza contemporánea (ss. XX y XXI). El conjunto número 5 lo conforman las muestras de arcilla actual. Para que la selección de fragmentos fuera lo más representativa posible en los tres primeros conjuntos que abarcan

desde fines del siglo XV hasta el siglo XIX, se procuró siempre manejar materiales de buenos y fiables contextos arqueológicos procedentes de actividades preventivas recientes en la ciudad de Granada, mientras que los fragmentos de cerámicas contemporáneas no se componen de materiales arqueológicos sino de otra procedencia como se verá después. En la [tabla 1](#) se expone información contextual y cronológica sobre las muestras de cada uno de los cinco conjuntos.

El conjunto 1 (Pre-Fajalauza ss. XV-XVI) se compone de 11 muestras ([tabla 1](#)) procedentes de actividades arqueológicas preventivas en las calles de San Gregorio (muestras F-01, F-02, F-05, F-06, F-07, F-08, F-09 y F-10), San Nicolás (muestra F-03) y Candiota (muestras F-04 y F-11) de Granada. La excavación en la calle de San Gregorio se corresponde con lo que fue el jardín del poeta Soto de Rojas y proporcionó cerámicas con un contexto cronológico de entre 1571 y 1621. En 1571 Soto de Rojas compra siete casas moriscas confiscadas en 1571 y las demuele hacia 1620. En el nivel de las casas moriscas aparecieron cerámicas Pre-Fajalauza decoradas en blanco y azul [\[7\]](#) ([fig. 1](#)). La excavación en la calle San Nicolás se realizó en

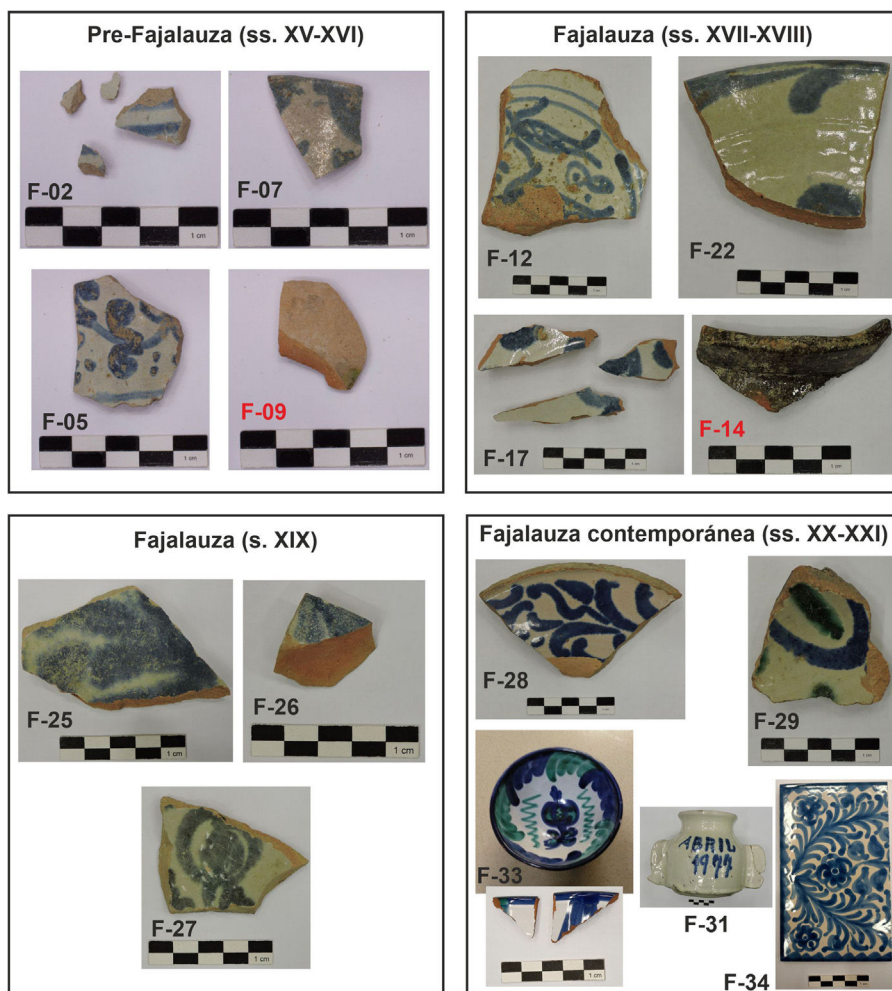


Figura 1 – Fotografías de algunas de las muestras seleccionadas para este estudio. Los letreros en rojo indican que se trata de una cerámica común. Escalas en cm.

2018 y permitió documentar un depósito *in situ* de cerámica morisca formado por una olla y su tapadera, colocada sobre el sustrato que se fecha en la primera mitad del siglo XVI [8]. La intervención en la calle Candiota se localizó en una parte de la antigua medina islámica que experimentó un importante desarrollo en el siglo XVI y en la que se implantó una casa nobiliaria de la familia Zayas sobre anteriores estructuras de época morisca, lo que generó una serie de depósitos arqueológicos bien estratificados que marcan un *hiatus* claro entre las producciones moriscas y las desarrolladas a partir del siglo XVII [9]. En cualquiera de las tres calles se recuperaron cerámicas comunes, esto es, cerámicas sin decoración, que en el conjunto estudiado están representadas por las muestras F-03, F-04, F-09 (fig. 1, letrero en rojo) y F-10 [10], las cuales se seleccionaron para comparar con las típicas cerámicas decoradas en blanco y azul.

El conjunto 2 (Fajalauza ss. XVII-XVIII) se compone de 13 muestras (tabla 1) procedentes de actividades arqueológicas preventivas en la plaza de Bibarrambla (muestras F-12 y F-13), y calles Candiota (muestra F-14), San Juan de los Reyes (muestras F-15, F-16, F-17, F-18, F-19, F-20 y F-21), María La Miel (muestras F-22 y F-23) y San Gregorio (muestra F-24) de Granada. En la excavación llevada a cabo en la Plaza de

Bibarrambla, uno de los puntos neurálgicos de la ciudad de Granada durante la Edad Moderna, se documentaron restos de la muralla ziri y pequeños inmuebles adosados a la muralla fechados en los siglos XVI y XVII [11] (fig. 1). La muestra F-14 se asocia a una cerámica común hallada en un estrato fechado en el siglo XVII de la intervención en la casa nobiliaria de la familia Zayas excavada en la calle Candiota [9]. La intervención arqueológica en la calle San Juan de los Reyes se llevó a cabo en el solar que quedó en los números 68 a 74 tras el derribo de un edificio del que solo se dejó en pie la fachada [12,13]. Junto a las muestras decoradas en blanco y azul se seleccionó también una muestra de cerámica común (F-21) para su comparación (fig. 1, letrero en rojo). En la intervención realizada en un solar de la calle María La Miel se identificaron niveles de época moderna del siglo XVIII, en los que aparecieron los dos fragmentos F-12 (fig. 1) y F-13, sobre niveles medievales [14]. La muestra F-24 es una de las cerámicas del siglo XVIII que apareció en el jardín del poeta Soto de Rojas de la calle de San Gregorio [7].

El conjunto 3 de cerámicas de Fajalauza del siglo XIX solo contiene 3 fragmentos: muestras F-25, F-26 y F-27 (tabla 1, fig. 1), ya que no fue posible acceder a otras muestras cerámicas de esta cronología. Proceden de las recientes excavaciones

en el edificio del Maristán, que fue el único hospital de época andalusí construido en la Península Ibérica [15].

El conjunto 4 de 8 muestras (tabla 1) no se compone de materiales de procedencia arqueológica como se mencionaba anteriormente, sino de colecciones privadas y de piezas derivadas de la producción actual de la fábrica de Cecilio Morales. Así, la muestra F-28 procede de un plato semillano y la F-29 de una bombona, mientras que la F-33 proviene de un tazón y las muestras F-34 y F-35 de sendos azulejos (fig. 1). Hay que decir que en algunas de estas muestras la fecha conocida es aproximada. Sin embargo, en el caso de la muestra F-31 la fecha es inequívoca ya que en el esmalte se escribió «1977» (fig. 1). Esta muestra procede de un bacinillo de la fábrica de Cecilio Morales utilizado en el proceso de esmaltado de las piezas cerámicas.

Finalmente, el conjunto 5 (tabla 1) está formado por las muestras de arcilla actual que se escogieron con el objetivo de compararlas, una vez procesadas y cocidas en el laboratorio, con los fragmentos cerámicos de los cuatro conjuntos anteriores. Según la bibliografía, los depósitos de arcilla de la cuenca del río Beiro se explotaron desde época romana [16]. En una reciente entrevista realizada antes de su fallecimiento, Cecilio Morales indicaba que la arcilla que se utilizaba en la fábrica de Fajalauza la extraían de un terreno propio situado en el camino viejo de El Fargue, que mezclaban con otra arcilla más fuerte extraída en una zona del río Beiro, a una distancia de entre 2 y 3 km del lugar donde se localiza la fábrica [17,18]. Dado que localizar sobre el terreno los puntos exactos que se mencionan hubiera sido una tarea logísticamente muy complicada, se decidió tomar tres muestras de arcilla distintas procedentes del lugar de almacenamiento de la arcilla del taller antiguo de la fábrica de Cecilio Morales que ya no se utiliza para la producción actual, y que con toda seguridad proviene de los lugares mencionados por el propio Cecilio Morales. Se tomaron tres muestras para comprobar si era homogénea en todo el lugar de almacenamiento. Una vez secadas a temperatura ambiente durante una semana, las arcillas se tamizaron para eliminar la fracción superior a 2 mm y añadiendo agua se modelaron en pequeñas probetas en forma de ladrillitos, que se secaron a temperatura ambiente durante una semana. Una vez secas se procedió a su cocción en horno eléctrico bajo atmósfera oxidante a 850, 950 y 1050 °C (fig. 2), utilizando la siguiente rampa de temperatura: 5 °C/min desde temperatura ambiente hasta 300 °C y 10 °C/min desde 300 °C hasta alcanzar la temperatura final. La máxima temperatura se mantuvo durante 1 h y el enfriamiento fue libre con el horno cerrado. En la probeta AF-01 se realizó también la cocción a 1.050 °C manteniendo la máxima temperatura durante 2 h con el objetivo de comprobar si el tiempo de cocción influía en el desarrollo de ciertas fases. Se eligieron estos intervalos de temperatura por cubrir los límites que se habían identificado previamente en los análisis de los fragmentos y piezas analizadas. Para las cocciones a 850 y 950 °C se empleó un horno de mufla Nabertherm y para las de 1.050 °C un horno de ascensor Pyrox VL 110.

Técnicas de observación y de análisis

La caracterización arqueométrica se realizó mediante lupa binocular, observación petrográfica de lámina delgada, difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX) y



Figura 2 – Fotografía del lugar de almacenamiento de la arcilla en el antiguo taller de la fábrica de Fajalauza, y probetas de arcilla preparadas y cocidas en el laboratorio. Foto: Archivo CERVITRUM.

microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (MEBEC) con microanálisis de energía de dispersión de rayos X (EDS). Los datos de la composición química se sometieron también a un análisis estadístico multivariante.

La observación macroscópica de los materiales cerámicos seleccionados se realizó con una lupa binocular Motic™ SMZ 168. La observación petrográfica de las láminas delgadas se llevó a cabo mediante dos microscopios ópticos de luz transmitida y dispositivo de polarización: Kyowa Bio-Pol 2 provisto con cámara digital Moticam 2500 y Leica DM2700P provisto con cámara digital Leica K3C. Las muestras cerámicas se observaron con el primero de los microscopios y las arcillas con el segundo. Las láminas delgadas se obtuvieron a partir de una sección perpendicular al borde de los fragmentos cerámicos utilizando un disco de corte de diamante, pulida después con carburo de silicio de distintos tamaños de grano hasta aproximadamente 30 μm de espesor para que la luz del microscopio pueda atravesarla. Los análisis de DRX se realizaron con dos difractómetros: PANalytical X'Pert MPD y Bruker D8 advance, utilizando en ambos la radiación K α del cobre (1,54059 Å) y condiciones de trabajo similares: 40 kV de tensión y de 40 mA de intensidad. Los difractogramas se registraron entre 2 θ = 5-

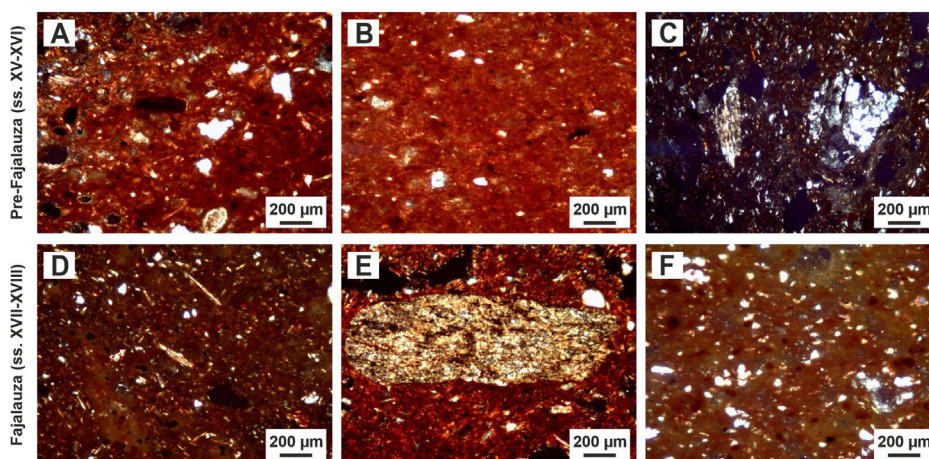


Figura 3 – Micrografías de lámina delgada de muestras cerámicas, nícoles cruzados. A) Muestra F-07. B) Muestra F-09, común. C) Muestra F-05. D) Muestra F-13. E) Muestra F-20. F) Muestra F-21, común.

60°, con un paso de ángulo de 0,03° y un tiempo por paso de 2 s. Se empleó el método de polvo (diámetro inferior a 30 µm) con muestra molida con mortero y mazo de ágata a partir de fragmentos cerámicos en los que se eliminaron las paredes externas y la capa de vidriado por pulido para evitar contaminaciones en la muestra. La composición química elemental de las muestras se determinó mediante espectrometría de FRX con un equipo PANalytical, modelo Magi-X, de dispersión de longitudes de onda, provisto de un tubo de rayos X de ánodo de rodio de 2,4 kW. Las determinaciones analíticas se realizaron mediante el programa informático IQ+ (PANalytical), basado en patrones fundamentales de óxidos sintéticos y minerales naturales de matriz silicoaluminosa. Las muestras se analizaron en polvo preparado en perla. Las perlas se obtuvieron por fusión a 1.100 °C de una mezcla homogénea de 0,3 g de la muestra en polvo, con 5,5 g de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, empleando una perladora Perl'X3 de Philips. Los datos de composición química obtenidos con FRX se analizaron estadísticamente mediante análisis de componentes principales con el paquete informático Systat v. 13. Se emplearon las concentraciones elementales expresadas en óxidos de los siguientes 10 elementos: Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe y Pb, y se transformaron en valores logarítmicos en base 10 para compensar las diferencias de magnitud entre elementos mayoritarios y minoritarios [19]. Por último, las observaciones mediante MEBC se realizaron sobre secciones embutidas, pulidas y recubiertas con una fina capa de carbono como medio conductor, con un equipo Hitachi S-4800 de emisión de campo de cátodo frío, trabajando con tensiones de aceleración de 15 kV. Los microanálisis por EDS se llevaron a cabo con un sistema Oxford X-Max de 20 mm² con resolución de 125 eV (Mn K α) acoplado al microscopio mencionado.

Resultados y discusión

Observación petrográfica de láminas delgadas

Se realizaron láminas delgadas de los fragmentos cerámicos pertenecientes a los cinco conjuntos de muestras excepto en el conjunto 4 en el que solo se hicieron en muestras del siglo XX,

ya que aquellas del siglo XXI mostraron una matriz muy seleccionada. Todas las muestras de los cinco conjuntos exhibieron matrices arcillosas oxidantes de colores rojizos, anaranjados y marrones con distintas tonalidades.

En las muestras de cerámicas del conjunto 1 Pre-Fajalauza se observaron en general matrices birrefringentes con inclusiones de tamaño no superior a 400 µm, compuestas principalmente por cuarzo mono y policristalino de morfología redondeada y sub-redondeada, así como micas de morfología laminar con predominio de la variedad moscovita frente a biotita y nódulos de óxido de hierro opacos menos abundantes. También se visualizaron nódulos de calcita micrítica redondeados diseminados por toda la matriz de tamaño inferior a 200 µm y a veces con los bordes termoalterados por efecto de la temperatura de cocción (fig. 3A). Solo en la muestra F-05 se identificaron zonas de inicio de vitrificación en la matriz. En las cerámicas comunes se observaron características muy similares (fig. 3B). Tanto en las cerámicas decoradas como en las comunes se hallaron también inclusiones de mayor tamaño (hasta ~600 µm) de esquistos micáceos o micaesquistos de morfología normalmente alargada debido a la orientación de los cristales aciculares de mica. Estos esquistos son fragmentos de roca metamórfica compuesta fundamentalmente por cuarzo y mica, tanto moscovita como biotita (fig. 3C).

En el conjunto 2 de Fajalauzas de los siglos XVII y XVIII se observaron características muy similares en la matriz y en las inclusiones, aunque en este caso muchas de las matrices mostraron inicios de vitrificación y, por ello, menor birrefringencia (figs. 3D y E). Además, junto a las abundantes inclusiones de cuarzo mono y policristalino con morfologías redondeadas, se observó una mayor presencia de cristales alargados de mica, generalmente moscovita, cuyo tamaño alcanza hasta 300 y 400 µm y que a veces forman parte de esquistos micáceos (fig. 3D) como en las muestras del conjunto anterior, así como de nódulos opacos de óxido de hierro redondeados y dispersos por toda la matriz (fig. 3E). Por otro lado, en las cerámicas comunes (muestras F-14 y F-21) se identificó una mineralogía bastante similar excepto por la ausencia de nódulos de calcita en matrices muy birrefringentes, con un tamaño de grano en las inclusio-

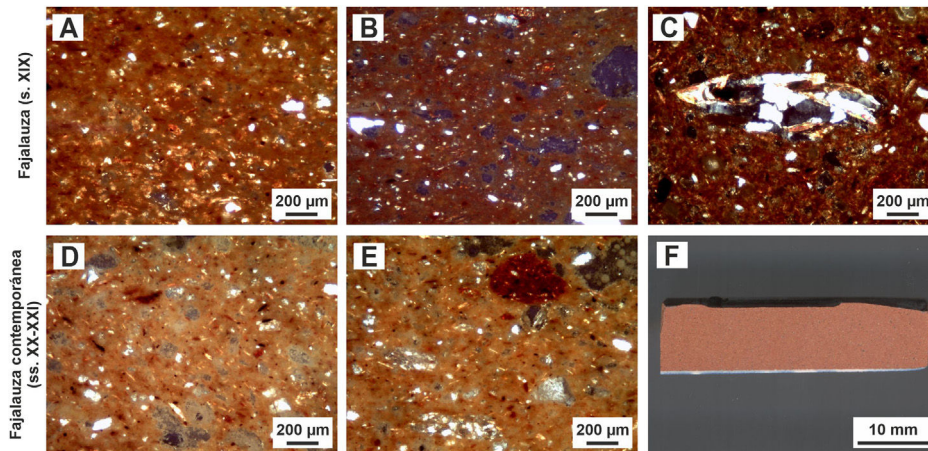


Figura 4 – Micrografías de lámina delgada de muestras cerámicas, nícoles cruzados, y fotografía de una sección. A) Muestra F-26. B) Muestra F-27. C) Muestra F-25. D-E) Muestra F-31. F) Muestra F-34.

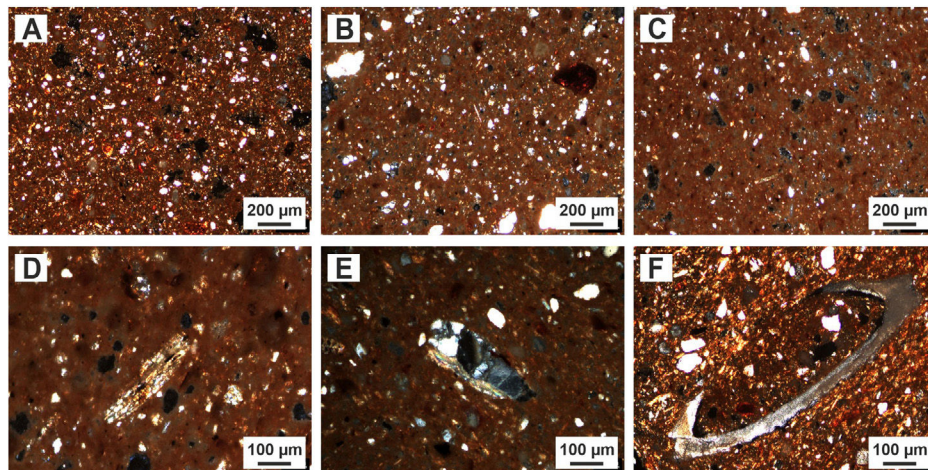


Figura 5 – Micrografías de lámina delgada de muestras de arcillas, nícoles cruzados. A) Muestra AF-01 850 °C. B) Muestra AF-01 950 °C. C) Muestra AF-01 1.050 °C. D) Muestra AF-03 1.050 °C. E) Muestra AF-03 850 °C. F) Muestra AF-02 850 °C.

nes bastante mayor que en las cerámicas decoradas, como puede observarse en uno de los esquistos micáceos identificados en la muestra F-21 de más de 1 mm de longitud (fig. 3F).

Las matrices arcillosas de las cerámicas de Fajalauza del siglo XIX del conjunto 3 mostraron poca birrefringencia e inicios de vitrificación en el caso de las muestras F-26 y F-27 (figs. 4A y B), mientras que en la F-25 apenas hay evidencia de inicio de vitrificación (fig. 4C). En general las características de la matriz y de las inclusiones no difieren mucho respecto a las cerámicas de los dos conjuntos anteriores, ni en aspecto, ni en tamaños de grano, ni en morfologías, ni tampoco en composición mineralógica. Las inclusiones se componen de cuarzo normalmente redondeado, micas laminares y abundantes nódulos de óxido de hierro, cuyos tamaños no superan 300-400 µm. Únicamente algún fragmento de micaesquisto, con mayor presencia de cuarzo que en los identificados en los conjuntos anteriores, sobrepasa estos tamaños (fig. 4C).

En la cerámica contemporánea del siglo XX del conjunto 4 las matrices arcillosas siguen siendo muy similares, con

evidencias de inicio de vitrificación y presencia de inclusiones de cuarzo redondeado, abundantes cristales laminares de mica en las variedades biotita y moscovita de no más de 100-200 µm (fig. 4D), así como nódulos de hierro con bordes redondeados y fragmentos de esquistos micáceos alargados de roca metamórfica, de mayor tamaño en algunos casos (fig. 4E). En las cerámicas contemporáneas del siglo XXI la sección mostró una matriz arcillosa con un tamaño de grano muy seleccionado (fig. 4F), lo que aconsejó no realizar láminas delgadas ya que no se hubiera podido observar ninguna inclusión con el intervalo de aumentos de hasta $\times 400$ de los microscopios petrográficos.

En la figura 5 se muestran algunas de las micrografías obtenidas en la observación petrográfica de las láminas delgadas obtenidas en las arcillas preparadas y cocidas a distintas temperaturas del conjunto 5. En líneas generales presentan unas características muy similares, tanto entre ellas como en las observadas en las cerámicas. Matrices arcillosas birrefringentes cuando la temperatura de cocción no ha sido superior a 850 °C (fig. 5A) y menos birrefringentes con inicios de vitrificación a temperaturas superiores (figs. 5B y C). Inclusiones

compuestas por cuarzo mono y policristalino generalmente redondeado, cristales laminares de mica muy abundantes diseminados por toda la matriz, mayor presencia de nódulos de hierro en las arcillas cocidas a 950 y 1.050 °C, respectivamente (figs. 5B-D), y también compuestas por esquistos micáceos alargados (fig. 5D) o esquistos con predominio de cuarzo frente a mica (fig. 5E). Aparte de nódulos de calcita micrítica de pequeño tamaño dispersos por la matriz, inferiores normalmente a 50-100 µm, también se identificó un fragmento de concha de un posible gasterópodo compuesto por microcristales de calcita y/o dolomita, con bordes bastante termoalterados en uno de sus extremos debido a la temperatura de cocción (fig. 5F).

En la observación de las láminas delgadas no se han podido establecer diferencias petrográficas ni texturales entre las cerámicas de distintas cronologías. En su conjunto, los resultados del examen petrográfico de las cerámicas y de las muestras de arcilla ofrecen unas características litológicas homogéneas y geológicamente compatibles con las formaciones de los alrededores de la ciudad de Granada en las márgenes del río Beiro y zonas del camino viejo de El Fargue. En estas zonas de la Depresión de Granada, el mapa geológico del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) indica la presencia de limos micáceos, calizas y margocalizas con gasterópodos entre los sedimentos terciarios, y la presencia de arcillas rojas, gravas y arenas entre los sedimentos cuaternarios [20]. En el primer caso los limos micáceos pueden relacionarse con la presencia de abundantes micas en las matrices arcillosas, tanto de la cerámica como de las arcillas. También con la concha de un posible gasterópodo identificada en la arcilla AF-02, que confirma la procedencia de este sedimento arcilloso en la zona del río Beiro. Asimismo, las arcillas rojas cuaternarias pueden ser un componente importante en las matrices arcillosas de las cerámicas y de las arcillas dado el color rojo que muestran como consecuencia de haberse cocido en atmósfera oxidante. Por otro lado, la presencia de abundantes micaesquistos en los sedimentos arcillosos utilizados, tanto para la elaboración de la cerámica como en aquellos recogidos en el taller antiguo de la fábrica de Cecilio Morales, debe ponerse en relación con los materiales erosionados y arrastrados desde el Complejo alpujárride, que aflora principalmente en las sierras orientales de Granada y que en su formación inferior presenta micasquistos y cuarcitas [20]. Por consiguiente, se puede afirmar que la práctica totalidad de las cerámicas y de las arcillas analizadas muestran, desde un punto de vista petrográfico, una amplia compatibilidad geológica con los materiales existentes en los alrededores de la ciudad de Granada.

Caracterización de fases minerales mediante DRX y estimación de temperaturas de cocción

Los difractogramas de rayos X obtenidos en las muestras de arcilla cruda y cocidas a distintos intervalos de temperatura se ofrecen en la figura 6. En las tres muestras de arcilla se identificaron las mismas fases minerales por lo que la figura ofrece solo las pertenecientes a la muestra AF-01. En la arcilla en crudo se identificaron como fases principales cuarzo y calcita junto a los minerales arcillosos illita y clorita, y como fases secundarias feldespato potásico, feldespato sódico

cálcico (plagioclasa), dolomita y hematites. Se trata por tanto de una arcilla illítico clorítica muy calcárea compatible con las formaciones geológicas de los alrededores de la ciudad de Granada, ya que en la secuencia litológica de Sierra Nevada las cloritas están presentes en las rocas metamórficas de bajo grado como son los micaesquistos. El sedimento arcilloso analizado muestra además un importante componente micáceo, que junto a los micaesquistos ya fue determinado en el examen petrográfico del apartado anterior, y que aquí queda de manifiesto sobre todo por la mayor intensidad en la relación de las reflexiones a 8,88, 17,80 y 20,88 2 theta, ya que, si solo estuviera presente la illita las reflexiones a 8,88 y especialmente la de 20,88, tendrían menor intensidad.

En la cocción a 850, 950 y 1.050 °C la arcilla desarrolla las típicas fases de neoformación de una arcilla calcárea. Primero anortita y gehlenita a partir de 850 °C y después diópsido a partir de 950 °C [22]. El desarrollo de estas tres fases es continuo hasta 1.050 °C tras lo cual, si la temperatura se mantiene según se puede observar en el diagrama de fases (fig. 6), la gehlenita irá decreciendo mientras que las fases anortita y diópsido continuarán creciendo. En el caso de la arcilla cocida a 1.050 °C no se observan grandes diferencias entre las probetas cocidas durante 1 o 2 h, lo cual sugiere que para que las fases neoformadas anortita y diópsido tuvieran reflexiones de mayor intensidad debería mantenerse la temperatura de 1.050 °C durante más de tres horas como mínimo.

La gehlenita es un aluminosilicato de calcio que se forma por la reacción del CaO producido por la descomposición de carbonatos como la calcita y, en menor medida como la dolomita, con los aluminosilicatos de la arcilla, por ello cuando aparece gehlenita las reflexiones de calcita apenas se mantienen dado que los carbonatos ya se han descompuesto por efecto de la temperatura. Igual ocurre con la anortita, que también es un aluminosilicato de calcio formado por la descomposición de los carbonatos y su reacción con los aluminosilicatos de la arcilla. El diópsido, por el contrario, es un silicato de calcio y magnesio de la familia de los piroxenos que se forma por la reacción del CaO y del MgO provenientes de la descomposición de carbonatos como la calcita, o de carbonatos mixtos como la dolomita. Para que se forme en una arcilla, esta debe contener una concentración de MgO aproximada superior al 1-2% en peso [23]. En las arcillas calcinadas en el laboratorio estas tres fases comienzan su desarrollo entre 850 y 950 °C y se mantienen de forma continua a 1.050 °C, aunque la cocción a esta máxima temperatura se mantenga durante 1 o 2 h. Por otro lado, el mineral arcilloso clorita ya no está presente a 850 °C debido a que se descompone a temperaturas superiores a 700 °C [24]. La deshidroxilación completa del mineral arcilloso illita tiene lugar a temperaturas superiores a 900 °C [24], por lo cual todavía está presente en el difractograma obtenido a 850 °C. Aparte de los óxidos de hierro que pueda contener la arcilla en crudo, la hematites es un óxido férrico que comienza a cristalizar a temperaturas superiores a 800 °C, aunque en entornos ricos en CaO su cristalización se inhibe considerablemente [25]. En las arcillas estudiadas se identifica un mayor crecimiento de hematites en la arcilla cocida a 1.050 °C y, sobre todo, en la cocida a esta temperatura durante 2 h.

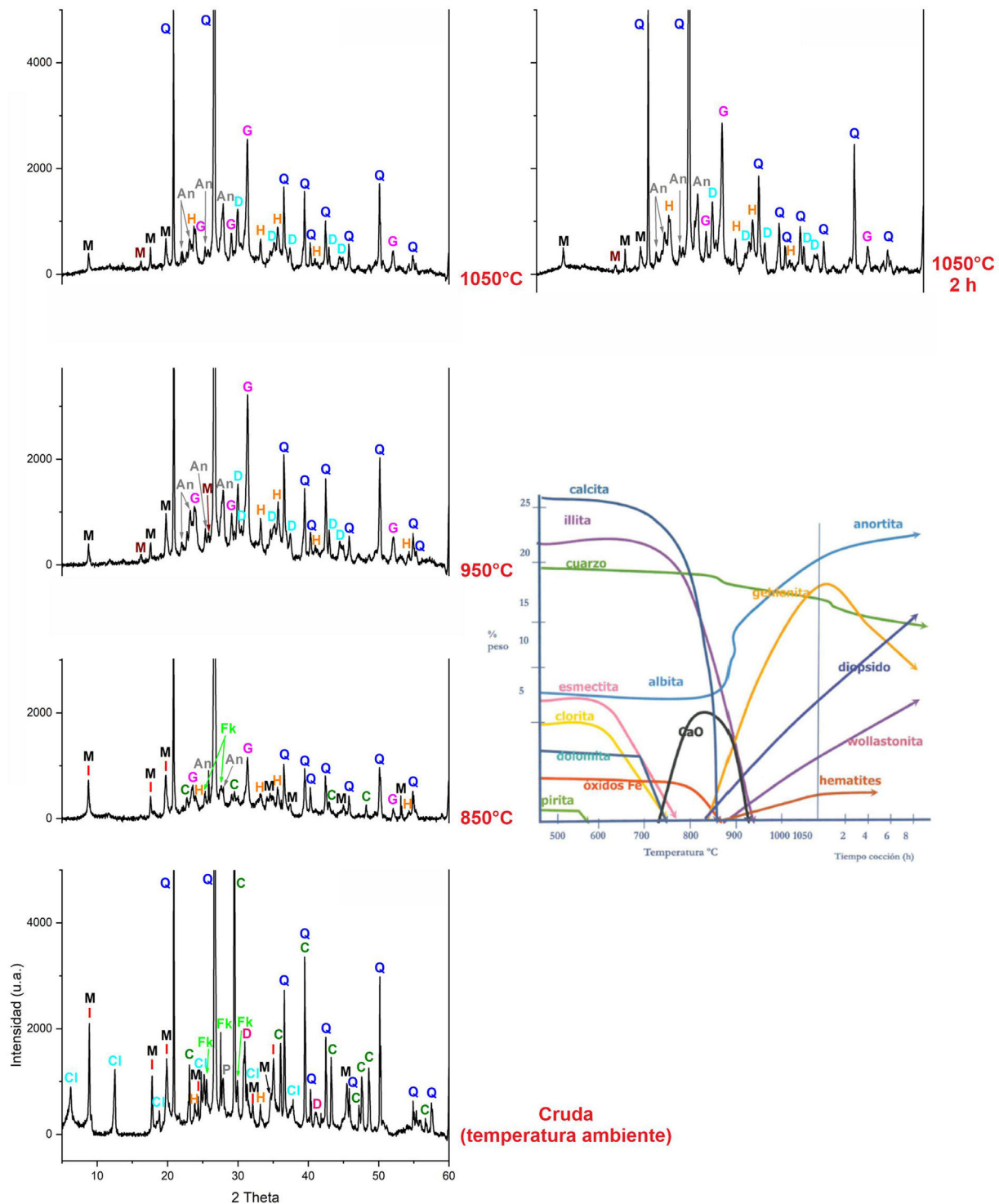


Figura 6 – Difractogramas de rayos X de muestras de la arcilla AF-01. An: anortita; C: calcita; Cl: clorita; D: diópsido; D: dolomita; Fk: feldespato potásico; G: gehlenita; H: hematites; I: illita; M (negro): mica; M (granate): mullita; P: plagioclasa; Q: cuarzo. Fuente: Diagrama de fases de una arcilla calcárea según la figura 7 de la ref. [21] basada a su vez en la ref. [22].

Por último, en las arcillas cocidas a 950 y 1.050 °C todavía están presentes las reflexiones a 8,88, 17,80 y 20,88 2 theta, aunque con una intensidad bastante baja. Dado que la illita, como se ha indicado anteriormente, se descompone a temperaturas superiores a 900 °C, dichas reflexiones deben corresponderse con la presencia de mica, ya que la mica y

especialmente la moscovita no empieza a fundir hasta temperaturas comprendidas entre 1.145 y 1.400 °C [26]. Este dato se corrobora con las observaciones de lámina delgada en las que todavía se identificaban micas en las arcillas cocidas a 950 y 1.050 °C. También se determina el crecimiento muy leve de mullita en las probetas cocidas a 950 y 1.050 °C,

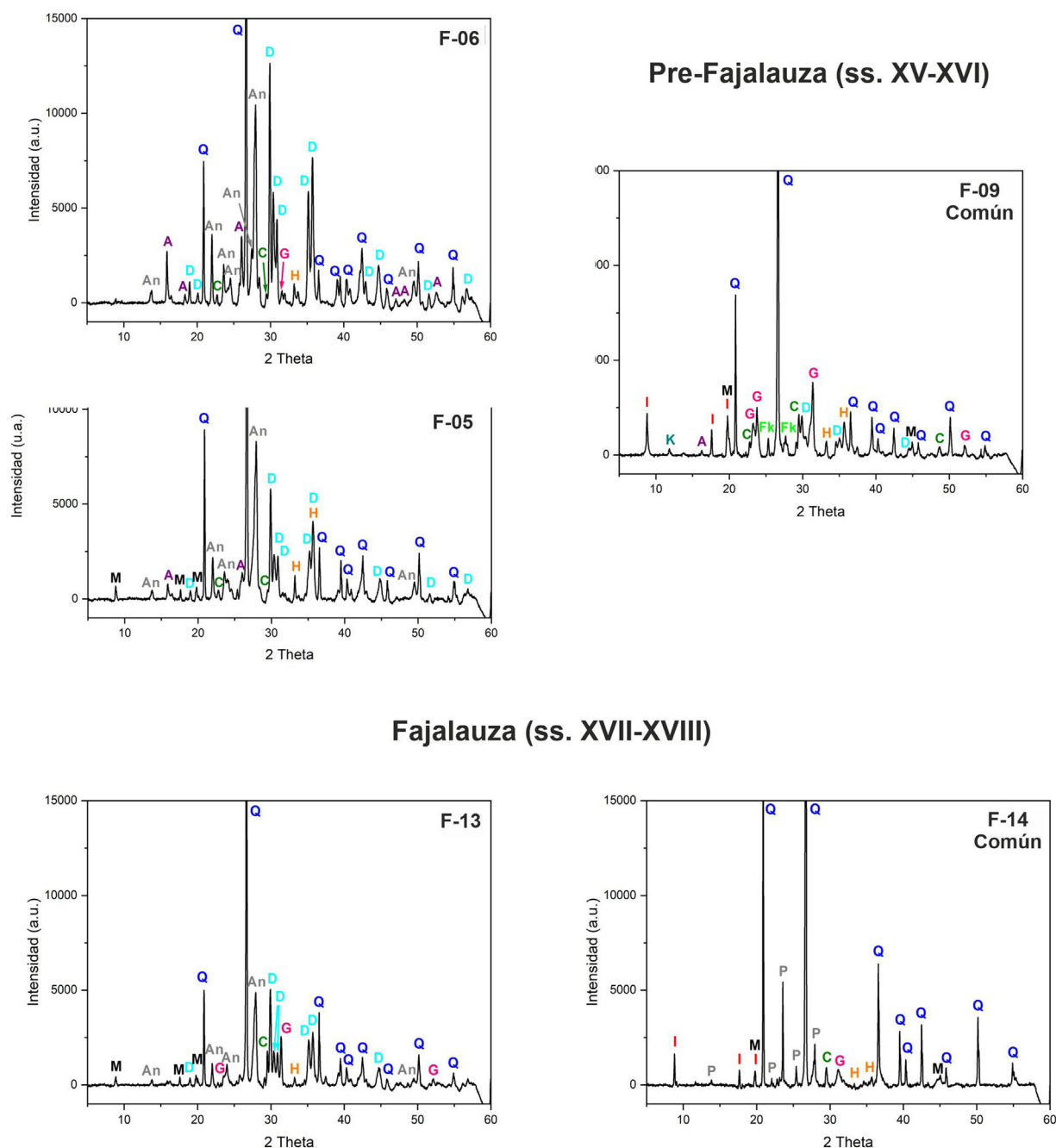


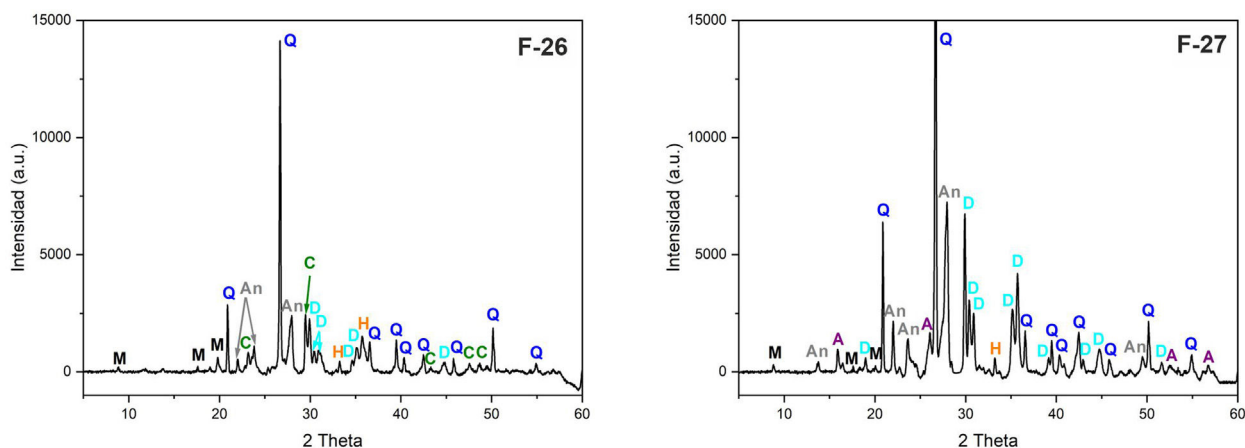
Figura 7 – Difractogramas de rayos X de muestras cerámicas Pre-Fajalauza (ss. XV-XVI) y Fajalauza (ss. XVII-XVIII). A: analcima; An: anortita; C: calcita; D: diópsido; Fk: feldespato potásico; G: gehlenita; H: hematites; I: illita; K: caolinita; M: mica; P: plagioclasa; Q: cuarzo.

ya que es precisamente en este intervalo de temperatura en el que el silicato de aluminio mullita comienza a cristalizar [27].

En la figura 7 se exponen algunos de los difractogramas obtenidos en las cerámicas del conjunto 1 de Pre-Fajalauza de los siglos XV y XVI. Aparte de cuarzo, las fases principales que presentan estas muestras son las fases termoformadas diópsido y anortita y, en menor medida, gehlenita. En la muestra F-05, dado que todavía presenta reflexiones de mica que no pueden atribuirse a illita porque sería incompatible con

la temperatura, se puede estimar una temperatura de cocción equivalente de entre 950 y 1.050 °C, mientras que en la muestra F-06 la temperatura debió de ser superior a 1.050 °C o se mantuvo durante varias horas en este intervalo térmico como se ha discutido en los resultados referentes a las arcillas, debido a que no se detectan reflexiones de mica y que el diópsido muestra mayores reflexiones. La presencia de pequeñas reflexiones de calcita en ambas muestras puede indicar que o bien hay todavía restos de carbonatos sin descomponer, hecho poco probable dada la temperatura alcanzada, o bien que se trate

Fajalauza (s. XIX)



Fajalauza contemporánea (ss. XX-XXI)

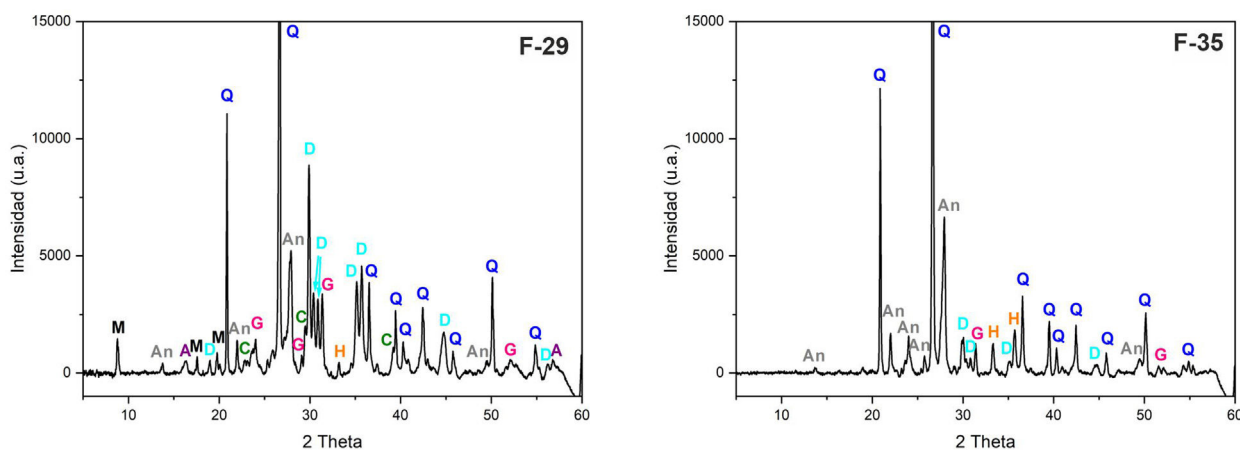


Figura 8 – Difractogramas de rayos X de muestras cerámicas de Fajalauza del siglo XIX y contemporáneas (ss. XX-XXI). A: analcima; An: anortita; C: calcita; D: diópsido; G: gehlenita; H: hematites; M: mica; Q: cuarzo.

de calcita secundaria aportada durante el enterramiento de las piezas cerámicas. Por el contrario, la cerámica común de la muestra F-09 solo presenta gehlenita y algo de diópsido. Además, hay todavía reflexiones de illita, mica y un poco de caolinita, lo que indica una temperatura de cocción equivalente menos elevada que podría estimarse entre 850 y 950 °C aproximadamente. A pesar de la presencia de illita y de caolinita, las reflexiones de hematites corroboran asimismo que al menos la temperatura fue superior a 800 °C [24] ya que de otro modo tendrían menor intensidad. En casi todas las muestras de este conjunto se detectó la presencia de analcima, un aluminosilicato de sodio hidratado que se forma normalmente durante el enterramiento en cerámicas calcáreas cocidas a temperaturas próximas o superiores a 1.000 °C [28]. Como la cerámica común F-09 se coció a una temperatura inferior, la fase analcima aparece todavía de forma incipiente en esta muestra.

Las cerámicas del conjunto 2 de los siglos XVII y XVIII mostraron en general un patrón bastante similar al de la muestra F-05, habida cuenta de que en ellas también se detectaron las fases termoformadas diópsido y anortita y en menor medida gehlenita, así como reflexiones de mica (fig. 7, muestra F-13), que permiten estimar igualmente una temperatura de cocción equivalente de entre 950 y 1.050 °C. Algunas muestras de este conjunto también mostraron analcima como fase de alteración. En la cerámica común F-14 (fig. 7) se identificaron como fases principales cuarzo y plagiocalsa (feldespato sódico cálcico) y como fases secundarias illita, mica, calcita, hematites y gehlenita, las tres últimas en proporciones muy bajas, lo que indica que se trata de una cerámica elaborada con una materia prima distinta a la utilizada en las cerámicas decoradas, ya que es escasamente calcárea. Por ello ha desarrollado muy poca gehlenita, y solo presenta un único tipo de

feldespato: la plagioclasa. Con estas fases la temperatura de cocción equivalente estimada debe situarse en torno a 800 °C debido a que apenas ha cristalizado hematites y todavía hay reflexiones intensas de illita.

La figura 8 muestra alguno de los difractogramas de las cerámicas del conjunto 3 del siglo XIX y del conjunto 4 de cerámicas contemporáneas. En función de las fases detectadas también se puede estimar una temperatura de cocción equivalente de entre 950 y 1.050 °C en las cerámicas del siglo XIX, dado que presentan fundamentalmente anortita y diópsido como fases termoformadas. En el caso de la muestra F-26 la temperatura debió aproximarse más a 950 °C porque las reflexiones de anortita y diópsido son menos intensas que en la muestra F-27 en la que la temperatura debió estar más próxima a 1.050 °C. Esta muestra presenta además la fase de alteración analcima, lo que podría apoyar también la mayor temperatura de cocción. En este caso las reflexiones a 8,88, 17,80 y 20,88 2 theta deben interpretarse como pertenecientes a mica ya que no pueden identificarse como illita por la incompatibilidad con la temperatura estimada. Por último, en las cerámicas del siglo XX (fig. 8, muestra F-29) también se detectan las mismas fases de neoformación: anortita, diópsido y gehlenita, lo cual permite realizar una estimación de temperatura de cocción equivalente similar de entre 950 y 1050 °C y asignar igualmente las reflexiones a 8,88, 17,80 y 20,88 2 theta a la fase mica. En esta muestra también se identificaron pequeñas reflexiones de analcima a pesar de que no se tienen datos de que esta cerámica haya podido estar enterrada. La muestra actual F-35 tiene asimismo las fases termoformadas anortita, diópsido y un poco de gehlenita, lo cual sugiere también una temperatura de cocción equivalente en el entorno de 1.000 °C. En estas muestras no se detectan reflexiones ni de illita ni de mica, hecho que podría indicar que o bien se trata de una materia prima distinta al resto de cerámicas del siglo XX que carece de illita, o bien en el caso de que la hubiera tenido esta se ha descompuesto por efecto de la temperatura.

Composición química y análisis estadístico

Se analizaron un total de 30 muestras por FRX: 27 de cerámicas y 3 de arcillas. En el caso de las arcillas se escogió para el análisis la probeta cocida a 950 °C. De las 35 muestras de cerámica estudiadas en este trabajo, ocho no pudieron analizarse mediante esta técnica. Seis de ellas porque el fragmento era demasiado pequeño o mostraba evidencias de posibles alteraciones (muestras F-03, F-04, F-08, F-10, F-24 y F-34), mientras que las dos restantes (F-01 y F-02) se analizaron mediante EDS en una sección del fragmento. Consecuentemente, el análisis estadístico posterior de los datos de composición química se llevó a cabo sobre un total de 32 muestras.

Los resultados del análisis químico mostraron que la mayoría de las muestras analizadas se corresponden con cerámicas calcáreas: contenido en CaO superior al 5,00% en peso. El gráfico de la representación de las muestras según su puntuación en los dos primeros componentes que resulta del análisis estadístico de componentes principales realizado a partir de una matriz de correlación (fig. 9), revela que la mayoría de las muestras se asocian juntas en torno a una sola agrupación definida por la elipse del 95% de pertenencia a la misma. Los dos primeros componentes sumaron el 66,85% de la variación

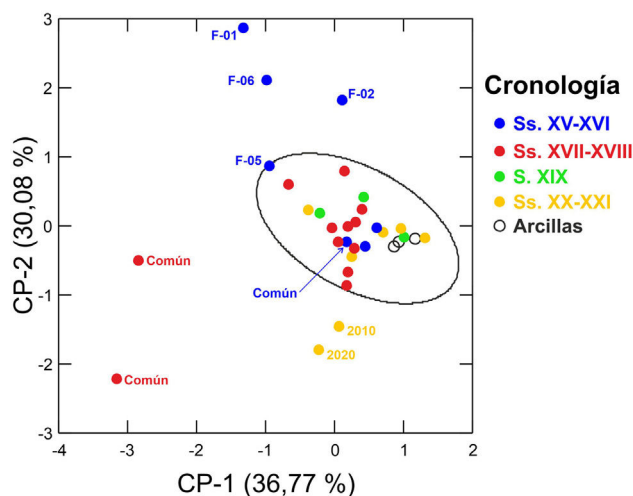


Figura 9 – Representación gráfica de las muestras y su agrupación según su puntuación en los dos primeros componentes principales a partir de la transformación logarítmica en base 10 de las concentraciones obtenidas mediante FRX (30 muestras) y EDS (2 muestras) (n = 32). La elipse representa el 95% de confianza de pertenencia al grupo.

total de los datos. El primero el 36,77% y el segundo el 30,08%. Con una correlación positiva de CaO, MgO y MnO y una correlación negativa de Fe₂O₃, Al₂O₃ y Na₂O, estos óxidos fueron los que más contribuyeron a la separación de las muestras en el primer componente, mientras que, con una correlación positiva de CaO, MgO y Na₂O y una correlación negativa de SiO₂, MnO y TiO₂, estos óxidos fueron los que más contribuyeron a la separación de las muestras en el segundo componente.

Este grupo principal está compuesto por 25 individuos entre los que se encuentran algunas de las cerámicas del conjunto 1 Pre-Fajalauza de los siglos XV y XVI, todas las cerámicas decoradas del conjunto 2 de los siglos XVII y XVIII, las tres cerámicas del siglo XIX del conjunto 3, todas las cerámicas del siglo XX del conjunto 4 y las tres muestras de arcilla. En esta proyección, siete de las muestras aparecen desagrupadas: tres muestras del conjunto 1 Pre-Fajalauza, dos de ellas las más antiguas del conjunto de fines del siglo XV (F-01 y F-02); las dos únicas cerámicas comunes analizadas del conjunto 2 de los siglos XVII y XVIII; y las dos cerámicas analizadas del siglo XXI del conjunto 4, muestras F-33 y F-35 de 2010 y 2020, respectivamente. En la tabla 2 se exponen los valores promedio y las desviaciones estándar de dicha agrupación, así como las concentraciones de las siete muestras desagrupadas. El grupo principal se caracteriza por una relativamente elevada concentración de CaO (12,03% en peso), mientras que los contenidos de SiO₂ y Al₂O₃ se sitúan en el 55,74 y 16,55% en peso, respectivamente. El porcentaje de Fe₂O₃ es del 6,76% en peso y el de K₂O se encuentra en el rango del 3,14% en peso. La concentración de MgO es también bastante elevada (3,47% en peso) y la de Na₂O, por el contrario, bastante baja (0,62% en peso) (tabla 2). Esta composición química se correlaciona bien con las características petrográficas observadas en las láminas delgadas, así como con las características litológicas de las formaciones geológicas del entorno de la ciudad de Granada con

Tabla 2 – Media y desviación estándar del grupo principal a partir del análisis de componentes principales de los datos de FRX y de EDS (porcentaje en peso) obtenidos en el cuerpo cerámico. Como comparación se exponen también las muestras desagrupadas

Óxidos	Grupo principal (n = 25)		Pre-Fajalauza (finales s. XV)			Común		Contemporánea	
	Media	DE.	F-01 ^a	F-02 ^a	F-06	F-14 (s. XVII)	F-21 (ss. XVII- XVIII)	F-33 (2010)	F-35 (2020)
Na ₂ O	0,62	0,22	0,94	0,62	1,41	0,84	0,79	0,65	0,50
MgO	3,47	0,48	3,00	4,65	3,13	1,25	1,10	1,78	1,47
Al ₂ O ₃	16,55	1,05	18,34	16,95	17,74	20,35	19,83	14,32	16,21
SiO ₂	55,74	1,75	54,26	51,87	52,85	60,86	63,50	63,10	62,64
K ₂ O	3,14	0,39	2,00	2,38	1,86	2,62	3,91	4,00	4,43
CaO	12,03	1,67	13,73	15,81	13,13	3,32	0,84	9,11	7,99
TiO ₂	0,09	0,06	0,01	0,46	0,91	0,83	1,06	0,84	0,74
MnO	0,09	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,08	0,04	0,04
Fe ₂ O ₃	6,76	0,33	7,70	7,24	7,62	9,07	8,45	5,86	5,86
PbO	0,72	0,50	0,01	0,01	1,34	0,81	0,44	0,01	0,12

DE: desviación estándar; EDS: espectroscopia de rayos X de energía dispersiva; FRX: Fluorescencia de rayos X.

^a Datos de EDS.

las que se ha puesto en conexión. Por ejemplo, el componente de calizas y margocalizas con gasterópodos de los sedimentos terciarios, debe considerarse como aporte destacado a las concentraciones de CaO, por las calizas y por la presencia de conchas de gasterópodos que suelen estar formadas por aragonito, una variedad cristalina del carbonato de calcio; y MgO, por las margocalizas, dado que las margas suelen ser siempre ricas en MgO. La agrupación de la mayoría de las muestras estudiadas a este perfil químico sugiere una continuidad tecnológica en el uso de materias primas arcillosas a lo largo de toda la secuencia cronológica entre, por lo menos, mediados o fines del siglo XVI hasta prácticamente todo el siglo XX.

Respecto a las muestras desagrupadas hay que mencionar en primer lugar las muestras F-01, F-02 y F-06 del conjunto 1 de cerámicas Pre-Fajalauza (tabla 2). Estas muestras se separan del grupo principal por presentar, sobre todo, mayores contenidos de CaO (entre 13,13 y 15,81 frente al 12,03% en peso) y de Fe₂O₃ (entre 7,24 y 7,70 frente al 6,76% en peso) y menores contenidos de, sobre todo, K₂O (entre 1,86 y 2,38 frente al 3,14% en peso). Estos porcentajes indican que la materia prima con la que se han elaborado estas cerámicas es ligeramente distinta dentro de un mismo ambiente geológico a la utilizada en las cerámicas del grupo principal, lo cual significa que muy probablemente las últimas cerámicas elaboradas por población morisca a finales del siglo XV y todavía en algunos momentos del siglo XVI se realizaban con una tradición tecnológica algo distinta a la desarrollada en siglos posteriores. La posición en el espacio n-dimensional de la muestra F-05 (fig. 9), justo en el extremo de la agrupación y por ello cercana a las muestras F-01, F-02 y F-06, puede apoyar también esta interpretación de modo que si se analizaran más muestras en el futuro es probable que estas cerámicas Pre-Fajalauza formaran una agrupación diferenciada respecto a la principal.

Aunque la cerámica común del conjunto 1 Pre-Fajalauza también se asocia al grupo 1, es importante señalar que las cerámicas comunes del conjunto 2 de los siglos XVII y XVIII, esto es, cerámicas elaboradas ya por cristianos, se elaboraban con materias primas no calcáreas (contenidos de CaO entre el

0,84 y el 3,32 frente al 12,03% en peso del grupo principal y de MgO entre el 1,10 y el 1,25 frente al 3,47% en peso) (tabla 2) y por tanto con una secuencia de producción distinta a las decoradas. Este hecho concuerda con los datos obtenidos por DRX en los que las fases cristalinas ya indicaban que se trataba de cerámicas no calcáreas. Aparte del CaO y del MgO también difieren en los contenidos más elevados de Fe₂O₃ (entre el 8,45 y el 9,07 frente al 6,76% en peso) y especialmente en la mayor concentración de aluminosilicatos por los contenidos superiores de SiO₂ (entre el 60,86 y el 63,50 frente al 55,74% en peso) y Al₂O₃ (entre el 19,83 y el 20,35 frente al 16,55% en peso). Por último, las cerámicas elaboradas ya en el presente siglo XXI difieren también sustancialmente de aquellas del grupo principal, como ya sugerían los datos de DRX. Contienen menos CaO (entre el 8,00 y el 9,11 frente al 12,03% en peso) y MgO (entre el 1,47 y el 1,78 frente al 3,47% en peso) que dicho grupo, y también menos Fe₂O₃ (el 5,86% frente al 6,76% en peso). Es notable asimismo la mayor concentración de TiO₂ (entre el 0,74 y el 0,84 frente al 0,09% en peso) (tabla 2). Estos datos corroboran un hecho ya conocido y es que la producción actual de la fábrica de Fajalauza no utiliza las mismas materias primas que en el pasado más reciente (siglo XX) ni obviamente del menos reciente de los siglos XIX o XVIII.

Datos de los esmaltes a partir de las observaciones mediante MEBEC y microanálisis EDS

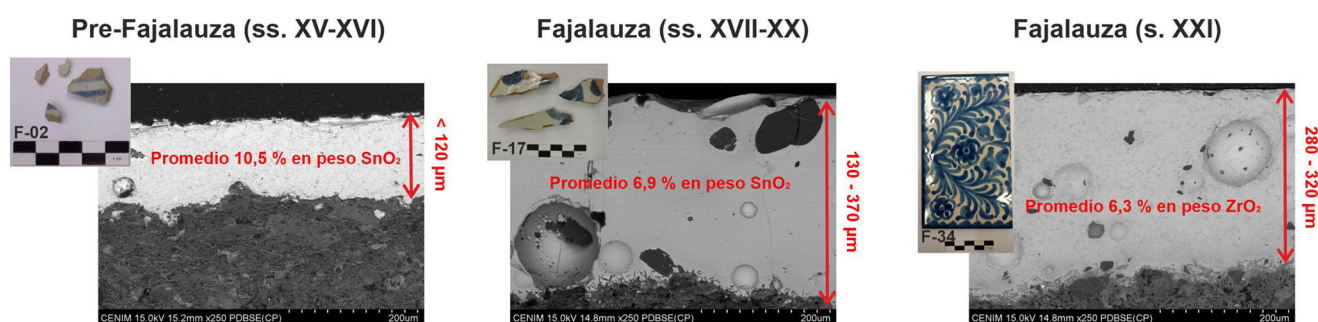
Los datos obtenidos en este trabajo tienen una correlación directa con los datos de un trabajo anterior sobre la evolución de los vidriados en este mismo conjunto de muestras [4]. Las cerámicas Pre-Fajalauza, sobre todo aquellas de fines del siglo XV relacionadas todavía con población morisca, presentaban mayores contenidos de SnO₂ en los vidriados que las cerámicas de épocas siguientes (tabla 3). Además, la capa de vidriado era más fina (< 120 μm) que en las cerámicas posteriores (entre 130 y 370 μm). El promedio de SnO₂ en el vidriado de las cerámicas Pre-Fajalauza de los siglos XV y XVI se situaba en 10,5% en peso, mientras que en las cerámicas de Fajalauza de los

Tabla 3 – Media y desviación estándar de la composición química de los vidriados obtenida por EDS (porcentaje en peso)

Óxidos	Pre-Fajalauza (ss. XV-XVI)		Fajalauza (ss. XVII-XX)		Fajalauza (s. XXI)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Na ₂ O	1,0	0,2	0,9	0,9	1,8	0,7
MgO	0,3	0,4	0,6	0,5	0,2	0,3
Al ₂ O ₃	2,8	0,5	4,1	1,5	8,3	1,8
SiO ₂	41,1	1,9	46,7	6,1	56,4	9,1
K ₂ O	2,5	0,8	2,7	0,9	3,3	2,4
CaO	1,5	1,2	3,1	2,0	3,4	2,8
Fe ₂ O ₃	1,2	0,5	0,7	0,5	0,1	0,2
ZrO ₂	—	—	—	—	6,3	2,6
SnO ₂	10,5	3,7	6,9	4,5	—	—
PbO	39,2	4,2	34,3	9,3	20,2	18,5

DE: desviación estándar; —: no detectado.

Fuente: datos a partir de la referencia [4].

**Figura 10 – Micrográficas de MEBEC de vidriados, promedio de SnO₂ y de ZrO₂, y espesor de la capa de vidriado en las muestras cerámicas.**

siglos XVII al XX el promedio de SnO₂ era del 6,9% en peso. Por el contrario, en las cerámicas más recientes del siglo XXI se constató analíticamente la sustitución de SnO₂ por ZrO₂ como opacificante en los vidriados, con un promedio de ZrO₂ del 6,3% en peso. En la figura 10 se ofrece una comparación de estos datos.

Conclusiones

Los resultados del estudio arqueométrico llevado a cabo en un conjunto de materiales cerámicos de Fajalauza han puesto de manifiesto la existencia de un grupo bastante homogéneo de cerámicas calcáreas compuesto por la mayoría de muestras analizadas, que comprende desde cerámicas de fines del siglo XVI hasta cerámicas y arcillas del siglo XX. La existencia de este grupo se apoya en las observaciones petrográficas de lámina delgada, en la caracterización de las fases minerales por DRX, en la composición química elemental obtenida mayoritariamente por FRX y en el estudio estadístico de los datos de dicha composición química. Las cerámicas Pre-Fajalauza de época morisca de finales del siglo XV y algunas del siglo XVI no se agrupan en el grupo principal, lo cual indica que no se elaboraron con la misma materia prima que las posteriores de época cristiana, aunque su composición mineralógica no difiere sustancialmente. Asimismo, hay que señalar que las cerámicas comunes de los siglos XVII y XVIII se elaboraron con materias primas no calcáreas y por tanto distintas a

las del grupo calcáreo principal. Es decir, en la cerámica de producción cristiana había diferenciación funcional entre la elaboración de la cerámica decorada y la cerámica común. Sin embargo, esta diferenciación no se ha constatado en la cerámica del siglo XVI, probablemente todavía de tradición morisca, ya que la cerámica común analizada de esta época se elaboró con materias primas similares a las del grupo principal.

Las arcillas actuales muestreadas en el taller antiguo de la fábrica de Cecilio Morales también se localizan en el grupo homogéneo principal. Este hecho demuestra que entre los siglos XVII y XX ha habido una notable continuidad tecnológica en la explotación de materias primas arcillosas muy similares. Por el contrario, las cerámicas actuales del siglo XXI no se localizan en el mencionado grupo principal, lo que indica que se elaboran con materias primas distintas.

En definitiva y a la espera de nuevos trabajos arqueométricos que ayuden a perfilar mejor estas conclusiones, con los resultados obtenidos, tanto en este trabajo como en uno anterior sobre vidriados a partir de fragmentos cerámicos con buenos y fiables contextos arqueológicos, se puede trazar de foma tentativa la evolución tecnológica de la cerámica de Fajalauza en tres conjuntos bien diferenciados:

1. Cerámicas de tradición tecnológica morisca de fines del siglo XV y siglo XVI. Se realizan con arcillas algo más calcáreas, aunque de ambiente geológico similar, que la

cerámica cristiana posterior. Esto es, se utilizan fuentes de materia prima distintas. El promedio de SnO_2 en los vidriados es mayor (10,5% en peso) y son de menor espesor ($< 120 \mu\text{m}$). No hay diferenciación en la composición entre la cerámica común y la cerámica decorada.

2. Cerámica de tradición cristiana entre los siglos XVII a XX. Se realiza con arcillas calcáreas de fuentes distintas a la cerámica de tradición morisca. El promedio de SnO_2 en los vidriados es menor (6,3% en peso) y son de mayor espesor (entre 130 y $370 \mu\text{m}$). Se diferencian en la composición las cerámicas decoradas de las comunes. Estas últimas se elaboran con arcillas no calcáreas.
3. Cerámica contemporánea del siglo XXI. Aunque se realiza con arcillas calcáreas la producción actual de Fajalauza no utiliza las mismas materias primas que en el pasado más reciente (siglo XX) ni tampoco de los siglos XIX, XVIII o XVII. Se sustituye SnO_2 por ZrO_2 como opacificante en los vidriados, con espesores comprendidos entre 280 y $320 \mu\text{m}$.

Financiación

El trabajo se realizó con el apoyo financiero parcial de los proyectos TOP Heritage: Tecnologías en Ciencias del Patrimonio (Ref. S2018/NMT-4372, Comunidad de Madrid) y HERICARE (Ref. PID2019-104220RB-I00/MCIN/AEI/10.13039/501100011033, Ministerio de Ciencia e Innovación).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Los autores agradecen de forma muy especial a: Ángel Rodríguez Aguilera (Gespád Al-Andalus S.L.), Pedro Jiménez y Julio Navarro (Escuela de Estudios Árabes, EEA-CSIC) y Cecilio Madero Morales (Fundación Cerámica Fajalauza) la cesión de muestras y fragmentos cerámicos para la realización de este estudio. También agradecen muy cordialmente a: Jorge A. Durán Suárez y Alberto Martínez Ramírez (Universidad de Granada) por la ayuda recibida en la recogida de muestras de arcilla de la fábrica de Cecilio Morales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Cano, J.L. Garzón, La cerámica en Granada, Granada, Diputación Provincial, Colección los Libros de la Estrella (2004).
- [2] A. Rodríguez Aguilera, S. Bordes García, Precedentes de la cerámica granadina moderna: alfareros, centros productores y cerámica, En *Cerámica Granadina, siglos XVI-XX*, Catálogo de la Exposición, Caja de Granada, Granada (2001) 51–116.
- [3] J.L. Garzón, *Cerámica de Fajalauza*, Granada, Albaida (2004).
- [4] A. Pinilla, F. Agua, D. Morales-Martín, F. Quijada, M.A. Villegas, M. García-Heras, Concentración de óxido de estaño y su evolución en los esmaltes o vidriados de cerámicas de tipo Fajalauza (s. XV-XXI), *Revista PH* 111 (2024) 44–59, <http://dx.doi.org/10.33349/2024.111.5459>.
- [5] F. Agua, A. Sánchez-Cabezudo, A. Pérez de Tudela, M.A. Villegas, M. García-Heras, Un caso de estudio arqueométrico de azulejos de diferentes periodos del Real Monasterio de San Lorenzo de El Escorial (España), *Bol Soc Esp Ceram V* 61 (2022) 84–97, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bsecev.2020.09.001>.
- [6] J. Peña-Poza, F. Agua, P. Oñate, J. Sanguino, M. García-Heras, M.A. Villegas, Estudio arqueométrico de un conjunto de materiales cerámicos de la antigua fábrica de loza de Sargadelos (Lugo), *Bol Soc Esp Ceram V* 58 (2019) 51–63, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bsecev.2018.07.004>.
- [7] A. Rodríguez Aguilera, J. Rodríguez Aguilera, C. Jódar Hódar, Excavación arqueológica en calle San Gregorio 10. Albaicín. El solar del jardín del poeta Soto de Rojas, *Anuario Arqueológico de Andalucía, Granada* (2020).
- [8] A. Rodríguez Aguilera, F.J. Morcillo Matillas, Actividad arqueológica preventiva mediante sondeos en calle San Nicolás 10, Granada, *Anuario Arqueológico de Andalucía, Granada* (2018).
- [9] A. Rodríguez Aguilera, F.J. Morcillo Matillas, J.M. García-Consuegra, J. Rodríguez Aguilera, Excavación arqueológica en dos casas ziríes. Actividad arqueológica preventiva en calle Candiota n.º 6, 8 y 10, Granada, *Anuario Arqueológico de Andalucía, Granada* (2010).
- [10] A. Rodríguez Aguilera, J.M. García-Consuegra, F.J. Morcillo Matillas, J. Rodríguez Aguilera, Cerámica común granadina del seiscientos: a partir de las cerámicas procedentes de la excavación arqueológica de calle Candiota 6, 8 y 10, Granada, *Gespád Al-Andalus S.L., Granada* (2012).
- [11] A. Rodríguez Aguilera, J. Rodríguez Aguilera, C. Jódar Hódar, Nuevos datos sobre la muralla de la Medina de Granada en su flanco occidental. Actividad arqueológica preventiva en Bibarrambla 12B y C, Granada, *Anuario Arqueológico de Andalucía, Granada*, 2021.
- [12] J. Navarro Palazón, A. Rodríguez Aguilera, P. Jiménez Castillo, Informe preliminar de la actividad arqueológica preventiva en calle San Juan de los Reyes n.º 68-74, Escuela de Estudios Árabes, EEA-CSIC, Granada (2017).
- [13] J. Márquez Rodríguez, La cerámica granadina entre los siglos XVII y XVIII: el lote cerámico de San Juan de los Reyes 68-74. Trabajo Fin de Máster, Universidad de Granada, Granada, 2017.
- [14] A. Rodríguez Aguilera, F.J. Morcillo Matillas, Actividad arqueológica preventiva en camino nuevo de San Nicolás n.º 10 esquina c/María la Miel, Granada, *Anuario Arqueológico de Andalucía, Granada* (2020).
- [15] A. Rodríguez Aguilera, J. Rodríguez Aguilera, C. Jódar Hódar, El Maristán de Granada a la luz de la intervención arqueológica de la fase 1 de restauración y consolidación del Pórtico Sur, *Cuadernos de la Alhambra* 52 (2023) 113–138.
- [16] A. Rodríguez Aguilera, Tejares y olleras de Granada en los documentos, ss. XVI al XX. Catálogo de la exposición, Junta de Andalucía Consejería de Turismo, Cultura y Deporte, Granada, 2023.
- [17] L. Gresa, Entrevista a Cecilio Morales: Un siglo de vida en cerámica, *Boletín ONCE* 160 (2022).
- [18] G. Pozo Felguera, Fajalauza cinco siglos de la cerámica más granadina, *El Independiente de Granada*, 25 de noviembre de 2018.
- [19] R.L. Bishop, H. Neff, Compositional data analysis in archaeology, en: R.O. Allen (Ed.), *Archaeological Chemistry IV, Advances in Chemistry Series 220*, the American Chemical Society, Washington D.C., 1989, pp. 57–86, <http://dx.doi.org/10.1021/ba-1988-0220.ch004>.
- [20] Mapa Geológico de España Hoja 1009, Granada, Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 1986.

- [21] E. Galán, P. Aparicio, Materias primas para la industria cerámica, en: M.A. García del Cuera, J.C. Cañaveras (Eds.), *Utilización de rocas y minerales industriales*, Universidad de Alicante y Sociedad Española de Mineralogía, Alicante, 2006, pp. 31–48.
- [22] T. Peters, R. Iberg, Mineralogical changes during firing of calcium-rich brick clays, *Ceram Bul Vo* 57 (1978) 503–509.
- [23] M. Bertolani, N. Giordani, C. Gorgoni, I. Ponzana, Further archaeometric investigations on Roman kilns along the Upper Modena Plain (Po Valley, N Italy), en: M. Vendrell Saz, T. Pradell, J. Molera, M. García (Eds.), *Studies on Ancient Ceramics. Proceedings of the European Meeting on Ancient Ceramics*, Barcelona 1993, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 1995, pp. 135–140.
- [24] P.M. Rice, *Pottery Analysis. A Sourcebook*, 2nd ed., University of Chicago Press, Chicago, 2014.
- [25] Y. Maniatis, A. Simopoulos, K. Kostikas, Mössbauer study of the effect of calcium content on iron oxide transformations in fired clays, *J Am Ceram Soc* 64 (1981) 263–269, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1151-2916.1981.tb09599.x>.
- [26] J. Linares, F. Huertas, J. Capel, La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento, *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 8 (1983) 479–490, <https://doi.org/10.30827/cpag.v8i0.1224>.
- [27] Maggetti M. Rosmanith M. Archaeothermometry of kaolinitic clays. *Revue d'Archéométrie Supplément, Actes du XX Symposium International d'Archéométrie*. Paris. 3. 1980. 185–194.
- [28] A. Schwedt, H. Mommsen, N. Zacharias, J. Buxeda, Analcime crystallization and compositional profile. Comparing approaches to detect postdepositional alterations in archaeological pottery, *Archaeometry* 48 (2006) 237–251, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1475-4754.2006.00254.x>.