

# La cerámica de Hellín

Composición y mineralogía de sus pastas

Josep M. Rovira Anglada - Jordi Ibáñez Insa - José Joaquín Elvira Betanzos  
Feliçà Plana Llevat - Abraham Rubio Celada - Francisco Javier López Precioso





# LA CERÁMICA DE HELLÍN

Composición y mineralogía de sus pastas

Josep M. Rovira Anglada  
Jordi Ibáñez Insa  
José Joaquín Elvira Betanzos  
Felicià Plana Llevat  
Abraham Rubio Celada  
Francisco Javier López Precioso



INSTITUTO DE ESTUDIOS ALBACETENSES  
"DON JUAN MANUEL"  
EXCMA. DIPUTACIÓN DE ALBACETE

Serie I. Estudios. Número 227  
Albacete, 2016

Imagen de cubierta: Jarro bicolor. 1ª mitad del S.XVIII. Nº I.: CE17590, Museo de Albacete.

Fotos: Museo de Albacete y sus autores.

La cerámica de Hellín: Composición y mineralogía de sus pastas

Josep M<sup>a</sup> Rovira Anglada.

Jordi Ibáñez Insa, José Joaquín Elvira Betanzos, *Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA), CSIC, Barcelona.*

Felicià Plana Llevat, *Instituto de Diagnosis Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), CSIC, Barcelona.*

Abraham Rubio Celada, *Fundación marqués de Castrillón.*

Francisco Javier López Precioso, *Museo Comarcal de Hellín, Hellín.*

La cerámica de Hellín : composición y mineralogía de sus pastas / Francisco Javier López Precioso... [et al.]. -- Albacete : Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel", 2016.

93 p. : il. col., graf. ; 24 cm. -- (Serie I - Estudios ; 227)

D.L. AB 401-2016 -- ISBN 978-84-944819-2-5

1. Cerámica – Hellín (Albacete) - Análisis. I. López Precioso, Francisco Javier.  
II. Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel". III. Serie.

738(460.288 Hellín):543

INSTITUTO DE ESTUDIOS ALBACETENSES "DON JUAN MANUEL"  
EXCMA. DIPUTACIÓN DE ALBACETE  
ADSCRITO A LA CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE ESTUDIOS LOCALES. CSIC

Las opiniones, hechos o datos consignados en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor.

Los derechos sobre las imágenes y textos citados y/o reproducidos que aparecen en la presente monografía pertenecen a sus autores y/o propietarios.

Su inclusión obedece al carácter de investigación de este trabajo, que en materia de reproducción se acoge al artículo 32 (*Cita e ilustración de la enseñanza*) del Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril (BOE nº 97, de 22 de abril).

Maquetación: Grupo Enuno / [www.grupoenuno.es](http://www.grupoenuno.es)  
Impresión: Gráficas Aparicio

# **LA CERÁMICA DE HELLÍN**

Composición y mineralogía de sus pastas



# ÍNDICE

Agradecimientos .....	7
Prólogo .....	9
1.- Por qué estudiar la cerámica con técnicas analíticas .....	13
2.- Introducción histórico-artística .....	17
3.- Conceptos básicos sobre la difracción de rayos X .....	39
4.- Estudio mineralógico y composicional de la cerámica de Hellín mediante difracción de rayos X ....	49
Anexo I.- Espectros de difracción de rayos X de las piezas de Hellín .....	67
Anexo II.- Espectros de difracción de otras piezas de la Península Ibérica .....	85
Bibliografía .....	93





## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen su colaboración y ayuda a:

Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Barcelona

Museo Comarcal de Hellín (Albacete)

Museo de Albacete

Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias González Martí, Valencia

Museo del Greco, Toledo

Museo Parroquial de Peñas de San Pedro (Albacete)

Museo Etnográfico de Campillo de Altobuey (Cuenca)

Fundación Francisco Godia, Barcelona

Fundación La Fontana, Rupit (Barcelona)

Convento de Santa Ana del Monte de Jumilla (Murcia)

a la Sra. Soledad Álvarez Pousa, por su ayuda en la preparación de muestras para los estudios de difracción de rayos X

a Pascual Clemente López

y a los particulares que han cedido piezas para la realización de este estudio, por su estimada y desinteresada colaboración.



# PRÓLOGO



Aquí tenemos un nuevo trabajo sobre la cerámica de Hellín, un nuevo estudio sobre esa gran desconocida que ha entrado con fuerza en el panorama de la investigación ceramológica peninsular.

Desde principios de la década de los años noventa del pasado siglo se ha estado trabajando en la documentación y en la valorización de esta producción. Todo empezó con el proyecto de un museo de ámbito comarcal en Hellín, en un lugar central del antiguo Reino de Murcia. Empezamos a rastrear qué era lo que nos diferenciaba, lo que nos personalizaba, qué faltaba en el esquema de la evolución material. Trabajábamos desde el Paleolítico Inferior hasta la Edad Contemporánea, buscando, tanto en el Museo de Albacete como a través del trabajo de campo, los materiales y lugares más representativos de todas las épocas.

La cerámica de Hellín fue uno de los temas más significativos y para mí un descubrimiento. Estaban en el almacén y formaban parte de lo que podríamos llamar la colección etnográfica de ese museo capitalino. Montamos una pequeña sección en la segunda planta del Museo Comarcal de Hellín y comenzamos a rastrear otros lugares en la propia ciudad y en sus alrededores.

Aparecieron diversos restos en los desescombros de solares y en terreras de la población. Se realizó una pequeña excavación en la corona del Cerro del Castillo y en el solar de la Casa del Conde apareciendo diversos fragmentos cerámicos de esta producción.

Se realizaban prospecciones arqueológicas territoriales ampliando el marco geográfico y se establecía contacto con otras poblaciones, donde destaca Liétor, con una impresionante colección hoy parte expuesta en el Museo de Albacete. Visitamos diversos museos de la región de Murcia y los fondos de las excavaciones arqueológicas almacenados de la propia ciudad de Murcia y entonces lo vimos claro: cajas repletas de fragmentos, piezas casi completas, sin atribución en esos momentos, planteando una incógnita y un interrogante. En realidad esperaban a que las rescatáramos de un olvido silencioso.

Sin duda la ciudad de Murcia es la clave ya que se nutre sustantivamente de esta producción –hasta 500.000 piezas al año a mediados del siglo XVIII-, pero otras como Chinchilla, Albacete, donde está citada en un documento de mediados del siglo XVI, la práctica totalidad de las poblaciones de la actual provincia de Albacete, la parte sur de Cuenca, el oeste de Ciudad Real; Yecla, Jumilla, Cieza, Caravaca, Lorca y otras de la actual región de Murcia, así como Alicante, en concreto Orihuela, amplían el panorama y el mapa de su dispersión. La última ciudad donde han aparecido es Cartagena en la que hemos estado hace relativamente poco y hemos localizado piezas de gran importancia que abren otra nueva vía para determinar la dispersión de esta manufactura.

Desde la primera noticia que publiqué hasta hoy, se ha establecido una tipología morfológica que se va ampliando con nuevas formas, se han fijado las bases de la decoración y el color, desde la decoración simple en azul hasta tipos policromos con una gran variedad de motivos decorativos que se amplían también. Decoraciones vegetales, zoomorfas, antropomorfas, alegóricas, geométricas forman ese amplio listado.

A la vez los estudios sobre documentación han sido fundamentales para fijar una “fotografía” de

ese tiempo. Se han encontrado documentos y referencias sobre alfareros, donde destaca la familia Padilla. Ellos son los protagonistas, los que trabajaban en sus talleres, los que paseaban por las calles de Hellín, los que hacían trato y negocio, de tal manera que llegamos hasta otro punto de inflexión, y es la presencia de cerámicas de Hellín en propiedad de Francisco Salzillo, el escultor más notable del barroco murciano.

Ese panorama se complementa hoy con esta publicación que viene en nuestra ayuda para establecer una serie de parámetros objetivos para la caracterización de las cerámicas fabricadas en Hellín. Se apoya en una técnica de análisis conocida como difracción de rayos X que es útil para identificar, ponderar y cuantificar los componentes minerales presentes en un material dado. El trabajo se apoya además en la comparación con otras producciones que han sido analizadas y que constituyen una buena base de datos en manos de Josep M. Rovira, Ibáñez, José Joaquín Elvira del INSTITUT DE CIÈNCIES DE LA TERRA JAUME ALMERA y Felicià Plana del INSTITUT DE DIAGNOSIS AMBIENTAL Y ESTUDIOS DEL AGUA, el grupo de técnicos y analistas pertenecientes al CSIC que han realizado el estudio. Abraham Rubio y yo mismo hemos llevado a cabo el estudio histórico que enmarca cronológicamente esta serie ceramológica.

Estamos ante un nuevo reto, ante una nueva puerta que debemos abrir y cruzar para seguir trabajando, tanto en la identificación de nuevas piezas como en el análisis físico-químico de las mismas. Sólo me queda por otra parte agradecer al Instituto de Estudios Albacetenses su apoyo, bien para la investigación, bien para la publicación sobre esta producción tan importante, ampliando las líneas de exploración y conocimiento. Lo reitero, debemos seguir trabajando y es lo que vamos a hacer.

Francisco Javier López Precioso.

*Museo Comarcal de Hellín.*

*Instituto de Estudios Albacetenses.*

## Capítulo 1

# POR QUÉ ESTUDIAR LA CERÁMICA CON TÉCNICAS ANALÍTICAS





## 1.- POR QUÉ ESTUDIAR LA CERÁMICA CON TÉCNICAS ANALÍTICAS

Las cerámicas producidas en Hellín (Albacete) y su comarca presentan unas características morfológicas y ornamentales propias. La recuperación y estudio de pequeños fragmentos hallados en los testares de las zonas ocupadas antiguamente por los talleres alfareros ha llevado a reconsiderar y re-catalogar piezas existentes en museos y colecciones, atribuidas anteriormente a otras manufacturas. Este proceso de reatribución de las piezas, confirmado por numerosos datos documentales e históricos, ha dado lugar a diversas publicaciones, algunas de las cuales bastante recientes: (NAVARRO, 1990) (SANZ-DELGADO, 1991) (LOPEZ, 1998) (LÓPEZ-RUBIO, 2009) (LÓPEZ-RUBIO, 2012) (CLEMENTE, 2013) (GRANADOS, 2015 a y b).

Los primeros estudios que versaban sobre la cerámica murciana la consideraban toda ella en conjunto, ya que durante la época de los alfares de Hellín, Murcia y Albacete estaban unidas política y administrativamente en una misma región. La identidad de la cerámica hellinera parecía ignorada, catalogándose algunas piezas como murcianas (LLUBIA-LOPEZ, 1951) (JORGE, 1956) (NAVARRO, 1980), cuando no como catalanas (NAVARRO, 1997), o de Villafeliche en Zaragoza (ALVARO, 1978) (PEREGRINA, 1996).

Son varios los autores, de reconocido prestigio en su época (AINAUD, 1952), que reconocen este desconocimiento y la confusión existentes sobre la cerámica murciana, situándola casi exclusivamente en la misma capital y localidades adyacentes, y posterior a las producciones hispano musulmanas. Se citan como centros productores en el período del siglo XVII hasta el XIX localidades como Totana, Alledo, Lorca (que perduró hasta bien entrado el siglo XX), y la misma Murcia. A estas manufacturas, pero especialmente a las de la capital, se las consideró por sus características decorativas "emparentadas" con las producidas en Fajalahuza (Granada), Valencia y Aragón.

Es necesario tener en cuenta que estas opiniones referentes a las atribuciones de las cerámicas de Hellín, al igual que muchas otras, eran fruto de la simple percepción de la pieza, de la experiencia e intuición del observador. Por lo tanto, cuando no había una base firme para su identificación, las piezas de Hellín eran claramente susceptibles de error de apreciación (ROVIRA, 2010).

En los últimos años se han comenzado a utilizar, de forma muy habitual, técnicas de análisis físico o químico para estudiar las obras de arte y los materiales usados para su confección. En el caso de la cerámica, dichas técnicas pueden apoyar o desmentir las atribuciones realizadas por los expertos. Efectivamente, técnicas de análisis elemental como la fluorescencia de rayos X o la espectroscopia de masas, o de identificación mineralógica como la difracción de rayos X, proporcionan información muy valiosa sobre las obras y los materiales utilizados. En el caso tan particular de la cerámica de Hellín, la aplicación de alguna de dichas técnicas con el fin de caracterizar los materiales que se usaron para su producción y, más concretamente, las pastas resultantes de su manipulación y cocción, podría ser altamente beneficiosa e instructiva.

Como se detallará en capítulos posteriores, la difracción de rayos X es particularmente útil para identificar y cuantificar los componentes minerales presentes en un material. La aplicación de dicha

técnica a las pastas cerámicas de Hellín no sólo debería proporcionar información relevante sobre su composición mineralógica sino que, comparada con la de otras producciones coetáneas, podría incluso permitir su diferenciación. Así pues, el objetivo de este trabajo es el de estudiar mediante difracción de rayos X la cerámica de Hellín y evaluar hasta qué punto dicha técnica permite distinguir inequívocamente las piezas provenientes de los alfares hellinenses.

La presentación y discusión de los resultados más significativos obtenidos en esta investigación se demora hasta el capítulo 4. A continuación se procede a presentar una introducción histórico-artística sobre la cerámica de Hellín (capítulo 2) y una breve explicación, a nivel meramente divulgativo, sobre los fundamentos de la difracción de rayos X (capítulo 3).

## Capítulo 2

# INTRODUCCIÓN HISTÓRICO ARTÍSTICA



## 2 – INTRODUCCIÓN HISTÓRICO ARTÍSTICA

### Algunos datos sobre la cerámica de Hellín

La loza esmaltada de Hellín es sin duda la producción cerámica más importante del antiguo Reino de Murcia en la Edad Moderna. Debido a su extinción a finales del siglo XIX, con el correr de los siglos, cayó en el olvido, perdiéndose su memoria.

Se puede considerar esta cerámica como la “talavera” del Reino de Murcia, pues Hellín, aunque hoy día está dentro de la provincia de Albacete, hasta el siglo XIX perteneció a este Reino.

Las lozas esmaltadas hellineras llegaban a todos los rincones de este territorio en un radio de acción de unos 150 kilómetros como poco, siendo la propia ciudad de Murcia uno de los principales receptores y consumidores de estas producciones, como lo demuestran los miles de fragmentos que aparecen en las excavaciones arqueológicas en los estratos de los siglos XVII, XVIII y XIX.

En una reciente publicación, la más completa hasta la fecha sobre la cerámica hellinera, sus autores (LÓPEZ-RUBIO, 2009), han dado a conocer definitivamente este centro productor olvidado, después de casi diez años de investigaciones, precedido de algunos otros pequeños artículos de diversos autores (NAVARRO, 1990; LÓPEZ, 1998; RUBIO, 2004), o referencias puntuales en libros (SANZ-DELGADO, 1991), que han ido dando las pistas para acercarnos a la verdadera importancia de esta cerámica. Por otra parte este proyecto de investigación no habría sido posible sin el apoyo de diversas instituciones tanto locales como el Museo Parroquial de Liétor, como comarcales, el Museo de Hellín, dependiente del ayuntamiento de la ciudad, o provinciales: Instituto de Estudios Albacetenses “Don Juan Manuel”, o de ámbito autonómico como la Consejería de Cultura, Turismo y Artesanía de Castilla - La Mancha.

El resultado es que muchas cerámicas catalogadas desde hace tiempo tanto en los Museos Nacionales como autonómicos o comarcales han sido recatalogadas de nuevo como de Hellín y por tanto genéricamente “murcianas” (CLEMENTE, 2013; GRANADOS, 2015 a y b; LÓPEZ-RUBIO, 2009; LÓPEZ-RUBIO, 2012; RUBIO, 2007; RUBIO, 2012), lo que ha despertado el interés de historiadores de la cerámica y de coleccionistas, que no obstante siguen mirando con dudas estas nuevas atribuciones.

Desde el punto de vista documental, existían referencias a los hornos de Hellín tanto en encuestas como diccionarios y enciclopedias, siendo la primera noticia la que escribió F. M. Nipho en el tomo XVIII (NIPHO, 1770). A la encuesta mandada, el corregidor de Hellín, Don Juan Pablo de Salvador, contesta:

“Sólo hai en la Villa de Hellín una Fábrica de Vidriado blanco ordinario, dirigida desde tiempo inmemorial por maestros Alfareros, que trabajan sin privilegio alguno, ni franquicia, sino por oficio, y para adquirirse el mantenimiento.”

En el siglo XVIII, otro autor (LA CROIX, 1779) cita también una fábrica de vidriado blanco:

“En el distrito de esta Población hay veinte y seis fuentes, seis molinos harineros, minas abundantes de azufre y sal, y todas las manufacturas consisten en una fábrica de vidriado blanco, de jabón y algunos paños burdos.”

La referencia más importante a la cerámica hellinera es la contestación que se realiza al cuestio-

nario enviado por Tomás López desde Madrid, fechada entre 1786 y 1789. (RODRÍGUEZ-CANO, 1987). A la novena pregunta, referente a la existencia de industrias, se dice:

“... que ay en este pueblo 4 fabricas de Loza entre fina de tiempo enmemorial, y se travajan en ellas en el discurso del año de 400, a 500 mil piezas de todos tamaños y figuras...”

Es evidente que esta enorme cantidad de cientos de miles de piezas al año constata la existencia de una producción que no sólo cubría la necesidades del mercado local, sino estaba presente en el mercado comarcal y en el regional, tal como lo demuestran las cerámicas hellineras que aparecen en poblaciones más o menos distantes de Hellín como son las ciudades de Murcia o Lorca, Albacete, Chinchilla entre otras a las que hay que añadir poblaciones del sur de Alicante, Cuenca y Ciudad Real.

Una nueva noticia localizada en el *Correo Mercantil de España y sus Indias* del lunes 3 de febrero de 1794, deja constancia de la existencia de las diversas industrias y localización en la Provincia de Murcia que, recordemos, englobaba a las actuales provincias de Albacete y Murcia. En el apartado de “Diversas fábricas” figuran las de Loza basta:

“De platos, ollas y cazuelas había 61 alfares con 116 operarios, que hicieron 2.004.400 piezas á varios precios, se hallan en Mula, Hellín, Tobarra, Espinardo, Totana, y Lorca y se consumen en la Mancha, Andalucía, y esta Provincia...”

Es un dato interesante por varias razones. Se cita a Hellín, pero también se ubican otros alfares en Mula, Tobarra, Espinardo, Totana y Lorca. La referencia a la producción total del Reino casa con las 500.000 piezas de Hellín que se citan en el cuestionario de Tomás López y la distribución de mercados también es importante por cuanto confirma la recogida de datos en prospecciones arqueológicas. Los análisis de pastas de Hellín, que más adelante se van a presentar, son de un enorme interés, ya que con ellos se abre un vía para distinguir materialmente las producciones de otras poblaciones citadas en el *Correo Mercantil*, que acaso tengan que ver con distintas arcillas y pastas.

A principios del siglo XIX, se publica un importante diccionario (MIÑANO, 1826). En el tomo XI dice:

“Hay alfarerías de dos clases, una de cántaros, jarras, ladrillos, teja, etc. Y otra de bajilla basta, surtiendo las de la primera a muchos pueblos, y las de la segunda a casi toda la provincia y a todas las casas de comunidad de más de 20 leguas de distancia por su baratura y solidez. El barro es susceptible hasta de la obra más fina, como lo demuestran los ensayos; y por falta de quien enseñe no se ha fomentado ya este ramo: en los oficios mecánicos hay muchos vecinos empleados.”

Entre las últimas referencias bibliográficas del siglo XIX, está el *Diccionario* (MADOZ, 1847), en el que se dice:

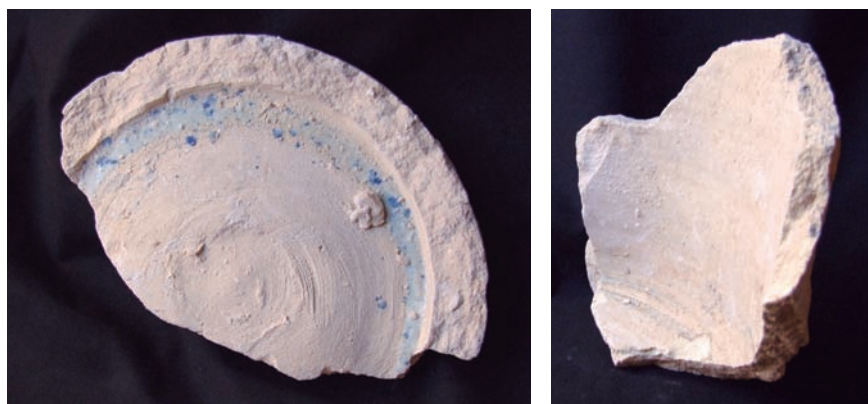
“... hay alfarerías de bajilla ordinaria (en otro lugar del texto se dice vidriada) y de cántaros y otras vasijas sin barnizar...”

Es en el último tercio del siglo XIX cuando la loza esmaltada debió de entrar en decadencia, manteniéndose sólo la producción de cántaros y otras vasijas sin barnizar, que ha perdurado hasta su desaparición definitiva en los años sesenta del siglo XX.

La loza esmaltada histórica de Hellín se caracteriza por llevar una cubierta blanca, conseguida con óxido de plomo mezclado con estaño, que permite impermeabilizar la superficie de las piezas. Muchas de las cerámicas se decoraban con óxidos de colores, como el azul cobalto, el óxido de hierro y el negro de manganeso, que sobre el esmalte blanco, podían ir juntos o aislados según las épocas o tipos de decoración. Es poco usual junto al azul, ocre y negro un cuarto color, el verde, mezclando óxido de hierro y de cobalto, que hemos encontrado tanto en una cruz aplicada a la arquitectura y fechada en 1721, como en algunos murales pertenecientes a un Vía Crucis del convento de Santa Ana del Monte en Jumilla (LÓPEZ-RUBIO, 2009).

La cocción en Hellín presentaba la particularidad de que se hacía utilizando un combustible muy abundante en la zona, la atocha de esparto, y en los talleres solía haber una habitación con el nombre de atochero, donde se almacenaba. La utilización del esparto, para fabricar las maromas de los barcos de la marina, dio lugar a la prohibición de utilizar la atocha de esparto en tiempos del rey Carlos III. Ante las protestas de los hellineros, que la utilizaban como combustible, y el grave perjuicio que ocasionaba para la fabricación de cerámica, la prohibición fue retirada al poco tiempo. (Archivo Histórico Nacional. Consejo Supremo de Castilla, Legajo 891-7, pleito nº 112, del año 1784. "Pleito de las Atochas").

Una de las técnicas avanzadas que se utilizaban en la cocción de las piezas esmaltadas, fue el uso de cobijas, unas cajas de cerámica bizcochada de forma cilíndrica, donde se apilaban las piezas separadas por atifles. De esta manera, ni las llamas ni el humo llegaban a la superficie de las cerámicas. Hace unos pocos años, durante las obras de rehabilitación de la llamada Casa del Conde, en la plaza de Hellín, apareció junto a la entrada un agujero colmatado con piezas defectuosas de cocción, abundantes atifles y muchas cobijas de diferentes diámetros y alturas.



Fragmentos de cobijas. Museo Comarcal de Hellín. Depósito del Museo de Albacete.

En cuanto a la cronología de esta loza esmaltada, por los datos documentales y arqueológicos encontrados hasta el momento, podemos decir que estaba ya en plena producción en la segunda mitad del siglo XVII con una familia de alfareros de apellido Padilla, alcanzando su esplendor en el XVIII y mante-

niéndose con fuerza durante una parte del siglo XIX. La producción del siglo XVII, prolongada en parte en el XVIII, imita la serie tricolor de Talavera de la Reina.

### Formas y decoraciones de la loza esmaltada hellinera

La mayor parte de la producción se relaciona con la vajilla de mesa, con formas variadas como escudillas, cuencos, platillos, platos, grandes platos o fuentes circulares, jarros de pico, jarras de un asa y de dos, saleros y especieros.

Otras formas se hicieron para ser usadas como tinteros, bacías para el afeitado, zafas o lebrillos para el aseo personal, también utilizadas para otras funciones, en algún caso como pilas bautismales para iglesias, pilas benditeras para devoción particular y botes para farmacia u otros usos.

Se trata de una vajilla simple, sin grandes complicaciones en la forma, en el acabado y en la decoración; en general son piezas de calidad media baja, con baños de esmalte mal distribuidos y una ornamentación muy sencilla, aunque sin embargo, existen otras con una terminación más cuidada y una decoración mucho más rica por tratarse, sin duda, de regalos o encargos personales mejor pagados, como vemos en un gran plato con la leyenda *D. JUAN DE ROGAS*, conservado en una colección particular de Valencia.



Plato de la serie *Hojas de helecho y flores de cuatro pétalos*.  
Colección particular, Valencia



Las decoraciones hellineras se relacionan con series de estética semejantes a las que se realizan en otros centros alfareros de España, entre ellos, los que pudieron existir en Murcia en esos momentos. En cualquier caso, sería una producción escasa, que no podía competir con la llegada masiva de la loza hellinera a los mercados de la capital, tal como lo demuestran las enormes cantidades que aparecen en los estratos de la Edad Moderna, en las excavaciones que se han hecho en Murcia. Otros centros con los que se han relacionado las cerámicas hellineras serían Talavera de la Reina-Puente del Arzobispo (Toledo), Barcelona (Cataluña), Fajalauza (Granada) y Villafeliche (Zaragoza). Este último centro productor es con el que más se confunden las cerámicas hellineras, atribuyéndose a él normalmente muchas de las cerámicas de Hellín conservadas hoy día en los museos.

Desde la perspectiva de nuestro tiempo, la cerámica manufacturada en Hellín presenta un contenido estético popular, que debe ponerse en valor por caracterizar un territorio y tener una personalidad propia, muy decorativa. De hecho, ha estado siempre en el punto de mira de los coleccionistas, que la compraban para completar sus colecciones sobre todo de cerámica aragonesa, sin imaginar que lo que estaban completando era un hueco de la cerámica histórica española de la Edad Moderna, la que se hacía en el antiguo Reino de Murcia. Todavía hoy, estas cerámicas se encuentran en muchas colecciones públicas y privadas de toda España, e incluso del extranjero, atribuidas a otros centros cerámicos españoles.

Este es el caso de una selección de piezas que presentamos a continuación, sólo por poner algunos ejemplos, que se encuentran en distintas instituciones, tanto públicas como privadas.

La primera es una pila benditera del siglo XVIII, conservada en el Museo del Greco de Toledo, y que hasta hace poco se atribuía a los alfares de Aragón, ya que por otra parte esta tipología no se había asociado nunca con los alfares hellineros (RUBIO, 2012a) (CLEMENTE, 2013).



Pila benditera bicolor con motivos vegetales. N° Inv.: CE00169.  
Museo del Greco, Toledo

La segunda es una jarra de un asa y pico vertedor, del siglo XVIII, conservada en el Museo de Albacete, que presenta una decoración de hojas y flores en azul con rayado en ocre, típica de muchas piezas hellineras.



Jarra bicolor con motivos vegetales. Nº Inv.: CE17590.  
Museo de Albacete

La tercera y cuarta piezas son un bote y un plato del siglo XVIII, conservados ambos en la Fundación La Fontana en Rupit (Barcelona). El bote presenta una decoración en dos registros horizontales superpuestos, de hojas alargadas y hojas de helecho en azul con rayado, típica de muchas piezas hellineras.



Bote azul y blanco con motivos vegetales.  
Fundación La Fontana, Rupit (Barcelona)

La cuarta pieza, de la Fundación La Fontana, es un gran plato de encargo de 43 cm. de diámetro, en azul y ocre sobre cubierta estannífera, de la serie de hojas de helecho y flores de cuatro pétalos, con la leyenda en el asiento *DA REIMUNDA MARIA MELCHOR CORTES*, alrededor de una flor de tulipán con tallo y hojas carnosas, pintada en el centro.



Plato de la serie *Hojas de helecho y flores de cuatro pétalos*.  
Fundación La Fontana, Rupit (Barcelona)

A continuación, hacemos un recorrido por las distintas decoraciones de las cerámicas hellineras. Algunas, presentan simplemente una cubierta de plomo y estaño, por lo que el resultado final es un acabado monocromo en blanco, carente de motivos decorativos pintados. Suele ser una producción habitual en los alfares peninsulares desde el siglo XVI. Gran parte de las piezas conocidas de este tipo en Hellín son escudillas, aunque también se conservan platos, y algunos fragmentos de formas cerradas.



Escudilla monocroma con cubierta estannífera. N° Inv.: 95-009-7.  
Museo Comarcal de Hellín

Otro grupo de piezas se decora con óxidos metálicos como el azul cobalto, combinación de azul y ocre, y por último, azul, ocre y manganeso.

Dentro de la loza bicolor, llamada así porque utiliza sólo los colores azul cobalto y ocre para sus decoraciones, predominan los platos que hemos encuadrado en las siguientes series: Orla de Hojas bicolor, el Ramillete bicolor, Zoomorfa bicolor y Otros motivos bicolor. La primera serie es una de las más abundantes y se caracteriza por decorar el ala de los platos con una hoja alargada en azul, que se repite varias veces, y que presenta pequeños trazos paralelos curvos en su arranque. Estas hojas van separadas unas de otras, por pequeñas líneas curvas dispuestas de manera paralela en color ocre. Una variante de esa serie presenta en el centro un motivo vegetal estilizado, rodeado de palmetas azules y ocre alternativamente, formadas por trazos rayados paralelos en disminución, que recuerdan a la serie de La Encomienda de Talavera de la Reina de los siglos XVII-XVIII.





Plato de la serie *Orla de Hojas*. N° Inv.: CE16676.  
Museo de Albacete

Otro de los bloques de las decoraciones de la cerámica de Hellín es el que presenta los colores azul, ocre y manganeso, influido por la loza tricolor talaverana. Aquí se encuadran las siguientes series: *Orla de Hojas tricolor*, *Cenefa talaverana tricolor*, *Hojas de helecho* y *flores de cuatro pétalos tricolor* y la serie de *Otros motivos tricolor*.



Zafa de la serie *Orla de Hojas*.  
Museo Etnográfico de Campillo de Altobuey (Cuenca)

Dentro de estas series, destacan algunas piezas, como la posible pila bautismal del convento de los agustinos de Campillo de Altobuey (RUBIO, 2008a), hoy conservada en el Museo Etnográfico, y la que presenta una cenefa en el ala de hojas de helecho y flores de cuatro pétalos, como el espectacular plato de la Fundación Godia decorado en el centro con una cierva (RUBIO, 2008b).





Gran plato de la serie *Hojas de helecho y flores de cuatro pétalos*. N° Inv.: 1183.  
Fundación Godia, Barcelona

Las cerámicas decoradas en azul y blanco son las más numerosas de la producción hellinera y las más variadas en cuanto a la ornamentación, con numerosas series: Orla de hojas en azul y blanco, Hoja trebolada, Ramillete azul y blanco, Hojas de palmera, La colleja y Gran Flor. Algunas de estas series se corresponden con otras del bloque bicolor o tricolor, pero otras se hacen sólo en azul, apareciendo en el siglo XVIII o en el XIX.

Se puede decir que dentro de este grupo se encuentran las piezas más barrocas y de mayor vistosidad, como la gran pila bautismal de Riópar, o una zafa del Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias González Martí de Valencia.



Zafa de la serie *El Ramillete floral*. N° Inv.: 1/1150.  
Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias González Martí de Valencia

Algunas de estas series presentan técnicas muy peculiares, como ocurre con la llamada Hojas de palmera, donde se pintan las hojas con un pincel muy fino haciendo una serie de rayas paralelas en disminución, colgando a veces de la palmera unos frutos redondeados que representan dátiles, y en la copa a veces se posa un ave.



Bote de la serie *Hojas de palmera*. Colección particular

La decoración más popular de la cerámica hellinera es la que se corresponde con la que hemos denominado la serie de La colleja, que presenta en el centro de los platos un motivo decorativo formado por un pequeño grupo de hojas que recuerda a la planta comestible de la colleja, típica de la gastronomía manchega. Las hojas tienen una forma romboidal o trapezoidal muy característica, resultado de apoyar el pincel con una técnica muy precisa, que recuerda a la pintura sumi-e oriental.



Plato de la serie de la *Colleja*. Colección particular.

Por último, cabe decir que la atribución de este tipo de cerámicas a Hellín se ha hecho, no sólo en base a paralelos estilísticos, formales o de técnica, sino a la localización de fragmentos con la misma decoración en la escombrera del Castillo de Hellín y en los testares de la misma localidad, producto del vaciado de solares en la zona donde se ubicaron los hornos de alfarería de este gran centro productor, hoy redescubierto.



Deshechos de alfar en bizcocho, conservados en el Museo Comarcal de Hellín.



Deshechos de alfar esmaltados, conservados en el Museo Comarcal de Hellín.

También se hizo cerámica aplicada a la arquitectura, que abarcaba una producción de tejas esmaltadas tanto en blanco como en azul, placas para lápidas, placas para calles y números de las casas, cruces, murales para Vía Crucis, murales devocionales, olambrillas y azulejos para pavimentos.

Dentro de los murales que se hicieron para Vía Crucis, todavía se conservan algunas estaciones en el convento de Santa Ana del Monte en Jumilla, con un carácter muy popular, copiados de grabados, utilizando los colores azul, ocre, manganeso y un verde oliva, color este último que aparece en pocas piezas hellineras.





Mural de Via Crucis del convento de Santa Ana del Monte de Jumilla

En relación con los azulejos u olambrillas para pavimentos, el ejemplo más destacado se encuentra en el camarín del Santuario de Nuestra Señora del Rosario de Hellín, que conforman un gran repertorio de motivos decorativos en azul y ocre, y en azul y blanco, fechado en la primera mitad del siglo XVIII, hecho por la familia de alfareros Padilla (RUBIO, 2008c).



Olambrilla del camarín de la iglesia del Rosario de Hellín

## Conclusiones

El objetivo de esta introducción es justificar la necesidad de un estudio analítico de las pastas procedentes de piezas cerámicas producidas en talleres de Hellín, con el fin de identificar sus características físico-químicas propias, que las diferencian de otras producciones peninsulares. Los resultados pueden confirmar, para mayor abundamiento, los obtenidos mediante datos históricos y documentales.

El proyecto de estudio que aquí presentamos ha surgido a raíz del riguroso estudio analítico de pastas cerámicas (ROVIRA, 2010), que ha sentado un precedente para la atribución de cerámicas dudosas a los centros donde se fabricaban estas cerámicas.

La cerámica de Hellín, uno de los mayores centros productores de cerámica del antiguo Reino de Murcia durante los siglos XVII, XVIII y XIX, ha sido objeto de estudios etnográficos e histórico artísticos en las dos últimas décadas del siglo XX y comienzos del siglo XXI, con comunicaciones en congresos de historia de la cerámica y con publicaciones, a pesar de lo cual sigue persistiendo la duda de muchas de sus piezas, al no haberse realizado excavaciones sistemáticas y estudios arqueométricos.

Además de en Hellín, había también alfares en Mula, Tobarra, muy importante para nosotros, Espinardo, Totana y Lorca. Por ello con este primer programa de análisis de pastas podremos iniciar un

camino para atribuir producciones a diversos centros y establecer las posibles diferencias entre ámbitos cercanos y sin duda complementarios.

Nuestro objetivo es llegar por medio de los análisis de pastas a unas conclusiones que completen lo conocido hasta ahora. El resultado de este trabajo podrá contribuir a un mejor conocimiento de la cerámica de Hellín y a poder catalogar de forma científica las piezas mal atribuidas que se guardan en muchos museos, algunos de ellos de ámbito estatal, como el Museo Nacional de Cerámica y Artes Suntuarias González Martí de Valencia, el Museo Arqueológico Nacional y el Museo Nacional de Artes Decorativas de Madrid, y en importantes colecciones catalanas como el Museo Cau Ferrat de Sitges, las fundaciones Godia de Barcelona o La Fontana en Rupit (Barcelona).

Todo ello, proporcionará un conocimiento que ayudará a valorar y sopesar la verdadera dimensión de la loza esmaltada de Hellín, que, en la actualidad, injustamente, es una desconocida dentro del panorama general de la Historia de la cerámica española.



## Capítulo 3

# CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X



### 3.- CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La difracción de rayos X es una técnica analítica que se utiliza intensivamente en numerosos campos de la ciencia y de la tecnología para estudiar y caracterizar los materiales, tanto sintéticos como de origen natural. Científicos y tecnólogos de disciplinas tan diversas como la ciencia de materiales, la química, la geología, la farmacia o las ciencias ambientales utilizan de forma rutinaria la difracción de rayos X para obtener información valiosa sobre la mineralogía o las propiedades estructurales de las muestras analizadas. En el caso particular del estudio y conservación del patrimonio, la difracción de rayos X resulta ser una herramienta de gran utilidad, ya que proporciona datos esenciales sobre la composición mineralógica y el estado de conservación de las piezas estudiadas.

Para hacerse una primera idea sobre el funcionamiento básico de la difracción de rayos X, es necesario en primer lugar adquirir unas nociones fundamentales sobre la naturaleza de la radiación X, sobre el concepto de red cristalina y sobre el fenómeno de la difracción. A continuación se procederá a introducir estos y otros conceptos básicos y, posteriormente, se describirá el equipo experimental necesario para la realización de medidas de difracción de rayos X.

#### Los rayos X: luz de alta energía

En primer lugar, cabe recordar que la luz, el sonido o el oleaje marino son fenómenos ondulatorios. Una onda consiste en la propagación a lo largo del espacio de una perturbación de alguna magnitud física. Por ejemplo, el sonido consiste en la propagación de perturbaciones de la presión del aire que son susceptibles de hacer vibrar los huesecillos de nuestros oídos. Por su parte, las olas del mar son perturbaciones de la superficie del agua (esto es, de la altura de la superficie marina) causadas por la acción del viento. Los fenómenos ondulatorios implican un transporte de energía pero no del medio material. En otras palabras, el medio se mantiene estático y no se desplaza con la perturbación.

En relación a la luz y los fenómenos ópticos, hoy día sabemos gracias al trabajo de numerosos investigadores (entre los cuales cabría destacar a J. C. Maxwell por sus contribuciones para unificar los fenómenos eléctricos y magnéticos) que la luz visible, las radiaciones UV e infrarroja o las ondas de radio son fenómenos ondulatorios que consisten en la propagación un campo electromagnético a través del vacío o de un medio material transparente.

Las ondas se caracterizan por su longitud de onda (distancia entre dos crestas o máximos de la onda, véase la Fig. 3.1), por su frecuencia (número de crestas por unidad de tiempo), y por su velocidad de propagación. En el caso de la luz, ésta se propaga en el vacío a una velocidad aproximada de 300.000 Km/s. La longitud de onda de la luz visible es de unos pocos cientos de nanómetros (unos 500 nm en el caso de la luz verde; un nanómetro equivale a la millonésima parte de un milímetro).

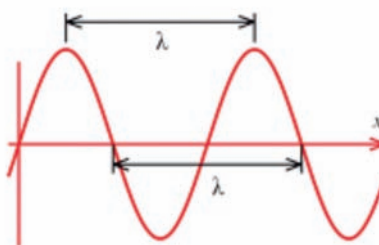


Figura 3.1: Representación esquemática de una onda sinusoidal de longitud de onda  $\lambda$

En el año 1895, el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923) fue capaz de producir y detectar un tipo de radiación electromagnética invisible, de longitud de onda muy corta, y que conocemos como radiación X. Los rayos X se caracterizan por su alta energía y su corta longitud de onda, que es del orden de 0.01 a 10 nanómetros. Dada su alta energía, los rayos X son altamente penetrantes, lo cual permite su aplicación en radiografía para obtener imágenes de objetos opacos a la luz visible. Los rayos X son altamente ionizantes, lo cual implica que la radiación X puede modificar el ADN de las células, dando lugar a daños irreversibles en las mismas. Una de las consecuencias de esto último es que el trabajo de laboratorio con rayos X debe realizarse bajo condiciones óptimas de seguridad.

### ¿En qué consiste el fenómeno de la difracción?

Cuando dos o más ondas coinciden en un mismo punto espacial tienen lugar los fenómenos de interferencia, que son fenómenos puramente ondulatorios. En el caso de dos ondas de igual longitud de onda, si la onda resultante tiene mayor amplitud que las ondas iniciales, se dice que ha tenido lugar interferencia constructiva. Si, por el contrario, el producto de superponer las ondas da lugar a una onda de intensidad nula o muy pequeña, se dice que la interferencia es destructiva (Fig. 3.2). Los rayos X, igual que el resto de espectro electromagnético, son susceptibles de experimentar fenómenos de interferencia.

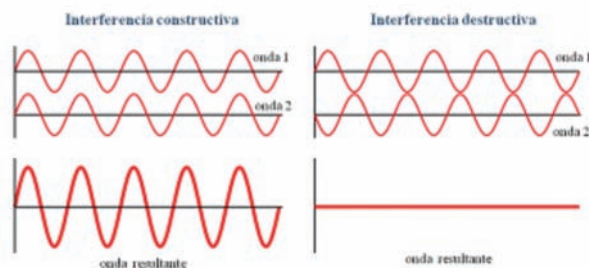


Figura 3.2: Representación esquemática de los fenómenos de interferencia constructiva (izquierda) y destructiva (derecha)

La difracción es un fenómeno de interferencia que ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo de tamaño similar a su longitud de onda. Cualquier perturbación ondulatoria, ya sea lumínica, sonora o de otro tipo, puede difractar. Las ondas difractadas no se propagan en la dirección de propagación de la onda original sino que, por efectos de interferencia entre las ondas resultantes, sólo acaban propagándose en ciertas direcciones características que dependen de la longitud de onda y de la forma y tamaño del obstáculo.

Con el fin de ilustrar el fenómeno de la difracción, en la figura 3.3 se muestra el dibujo original realizado por el científico inglés Thomas Young (1773 - 1829), donde se muestran las interferencias que se observan en un estanque con agua a partir de las ondas provenientes de dos rendijas de entrada (A y B). La interferencia entre dichas ondas da lugar a máximos y mínimos a lo largo de todo el estanque y, en particular, en su otro extremo (puntos C a F). La observación de estos fenómenos ondulatorios permitió a Thomas Young explicar los fenómenos de interferencia y difracción de la luz.

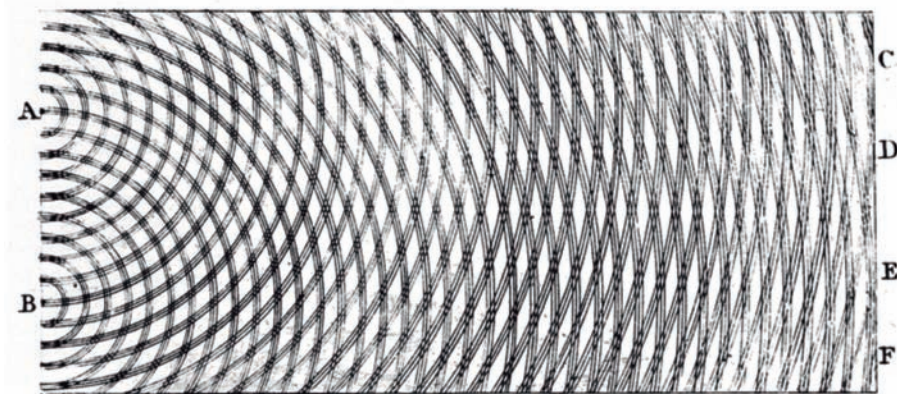


Figura 3.3: Dibujo original realizado por Thomas Young donde se muestran los patrones de interferencia típicos que se observan en un estanque de agua a partir de las ondas entrantes a través de dos rendijas de entrada (A y B).

### Cristalografía y difracción de rayos X

En los sólidos cristalinos, los átomos se disponen ordenadamente a lo largo de una red cristalina. En la figura 3.4 se muestra a modo de ejemplo la red cristalina del cloruro de sodio, que es el ejemplo arquetípico de compuesto iónico. En el cloruro de sodio, los átomos de sodio y cloro se distribuyen de forma ordenada a lo largo de una estructura de simetría cúbica y coordinación igual a 6.

Las distancias interatómicas dentro de los materiales cristalinos son típicamente de unos pocos angstroms (1 nanómetro = 10 angstroms). Por ejemplo, en el cloruro de sodio la distancia sodio-cloro es de unos 2.82 angstroms. Así pues, las distancias entre átomos son comparables a la longitud de onda de los rayos X, por lo que estos son susceptibles de difractar cuando inciden sobre un cristal.

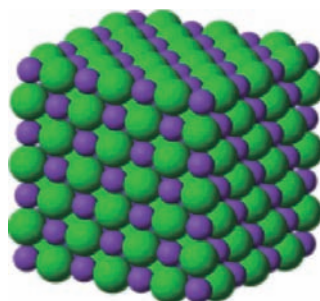


Figura 3.4: Red cristalina de la sal común (cloruro sódico, de fórmula química NaCl). Se observa la característica disposición cúbica de los iones de cloro (verde) y sodio (violeta).

Gracias al trabajo de W. L. Bragg (1890 – 1971), hoy en día se describe de forma simplificada el fenómeno de la difracción de rayos X considerando el cristal como un conjunto de planos paralelos que reflejan la radiación X igual que si fueran espejos. En el caso de un espejo, sin embargo, la luz se refleja independientemente de la dirección de incidencia de la luz. Por el contrario, la difracción de rayos X sólo tiene lugar cuando la radiación reflejada por una cierta familia de planos cristalinos, separados por cierta distancia, interfiere de forma constructiva. Bragg demostró que dicha interferencia constructiva sucede cuando se satisface la siguiente relación, conocida como ley de Bragg:

$$n \lambda = 2d \sin \theta,$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación X,  $d$  representa la distancia entre planos cristalinos,  $\sin \theta$  es el seno del ángulo que forman los rayos X incidentes y los planos cristalinos, y  $n$  es un número entero.

Dado que cada sustancia tiene una estructura cristalina concreta, el patrón de intensidades que se obtienen de un experimento de difracción de rayos X es propio y característico. Esto hace posible utilizar la difracción de rayos X como un método para investigar y caracterizar la materia cristalina. Por ejemplo, esta técnica se utilizó para determinar la estructura del ADN, y proporcionó una de las principales pruebas experimentales de su estructura de doble hélice, que fue propuesta por vez primera en 1953 por James Watson y Francis Crick. Asimismo, la difracción de rayos X permite identificar inequívocamente la mineralogía de las muestras examinadas.

La difracción de rayos X en muestras de polvo cristalino fue puesta de manifiesto de forma pionera por P. Debye y P. Scherrer en 1916. El hecho de utilizar muestras en polvo permite detectar picos de difracción de diferentes familias de planos cristalinos, ya que los granos microcristalinos de las muestras pulverizadas se hallan orientados al azar en todas las direcciones del espacio. El descubrimiento del fenómeno de la difracción en este tipo de muestras se convirtió rápidamente en una técnica experimental de extendido uso, debido básicamente a su versatilidad y a su amplio campo de aplicación. Actual-

mente esta técnica se utiliza de forma habitual en numerosas disciplinas científicas y tecnológicas, ya que proporciona información altamente valiosa sobre las muestras estudiadas.

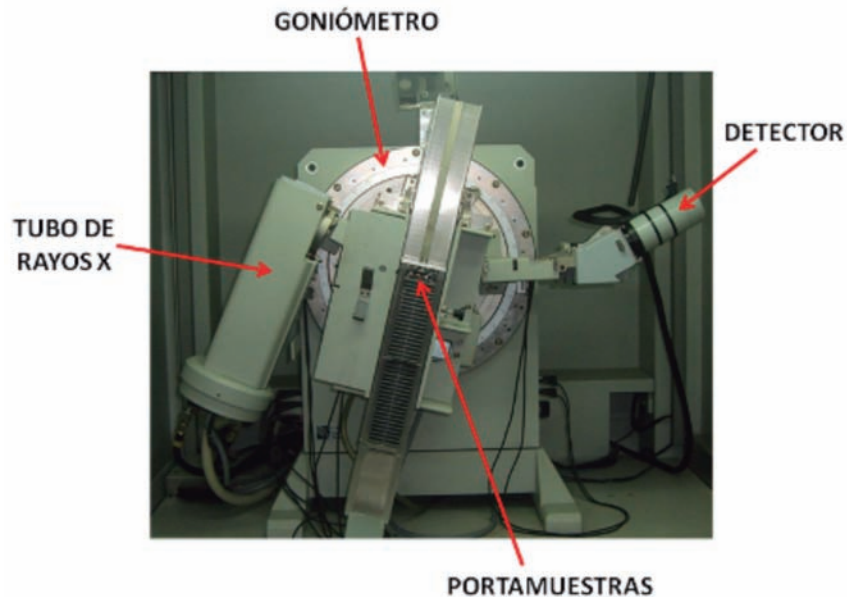


Figura 3.5: Fotografía de un difractor de rayos X de polvo, donde se indican las partes principales del mismo.

Las medidas de difracción de rayos X modernas se realizan con un aparato denominado difractor, que típicamente consta de los siguientes elementos principales: tubo generador de rayos X, goniómetro y sistema de detección. En los experimentos convencionales de difracción de rayos X en polvo se ilumina mediante un haz monocromático una muestra sólida pulverizada. El goniómetro permite modificar simultáneamente el ángulo de incidencia y el ángulo de recolección de los rayos X en relación a la muestra. Cuando la configuración de ángulos es tal que se satisface la relación de Bragg para cierta familia de planos cristalinos, se observan picos de difracción, que se utilizan para caracterizar la muestra bajo estudio. La figura 3.5 muestra un ejemplo de difractor moderno con sus partes principales.

Aunque la identificación de fases cristalinas constituye uno de los campos de aplicación más importantes del método de polvo cristalino, la difracción de rayos X en polvo también se usa ampliamente para llevar a cabo análisis cuantitativos, para caracterizar la calidad cristalina y la microestructura de los materiales, y también para realizar determinaciones estructurales de sustancias con una estructura cristalina desconocida.

La figura 3.6 muestra el espectro de difracción, o difractograma, correspondiente al cuarzo. El espectro de la figura fue obtenido mediante la configuración usual de Bragg-Brentano, donde el ángulo de incidencia y el ángulo de detección son siempre iguales. Como se aprecia en el gráfico, el difracto-

grama consiste en un barrido angular en el que aparecen una serie de picos distribuidos en función de los valores angulares,  $2\theta$ , donde  $\theta$  es equivalentemente el ángulo de incidencia o el de recolección. Las alturas de los picos de difracción, y más concretamente sus áreas, constituyen magnitudes muy representativas de las intensidades de las reflexiones correspondientes a cada familia de planos responsable de la difracción. Tanto la posición angular como la intensidad de los picos pueden ser medidos con gran exactitud y reproducibilidad, lo cual permite identificar y cuantificar las fases cristalinas de una muestra.

### **Identificación de fases mediante difracción de rayos X en polvo**

La identificación de una fase cristalina mediante difracción de rayos X de polvo cristalino se basa en el hecho de que cada sustancia cristalina presenta un difractograma único y característico. El difractograma correspondiente a cientos de miles de sustancias está coleccionado en bases de datos tales como la Powder Diffraction File (PDF) del Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS), que contiene información de compuestos orgánicos, inorgánicos y minerales. Así pues, una vez se obtiene el difractograma de una muestra problema, la posterior identificación de las fases presentes en la misma consiste a encontrar el mejor ajuste del difractograma a partir de las fichas coleccionadas en la base de datos. El procedimiento se realiza mediante paquetes informáticos adecuados, que permiten realizar la identificación de fases de forma casi automática. En la figura 3.6 se observa, junto con el difractograma del cuarzo, un patrón de difracción típico de este mineral de los que aparecen en la base de datos PDF2 de la JCPDS. Se observa gran acuerdo entre el resultado experimental y el patrón de difracción escogido. En los capítulos siguientes presentaremos y discutiremos los difractogramas de muestras cerámicas de Hellín. La identificación de las fases cristalinas presentes en las muestras será uno de los principales objetivos de este trabajo.



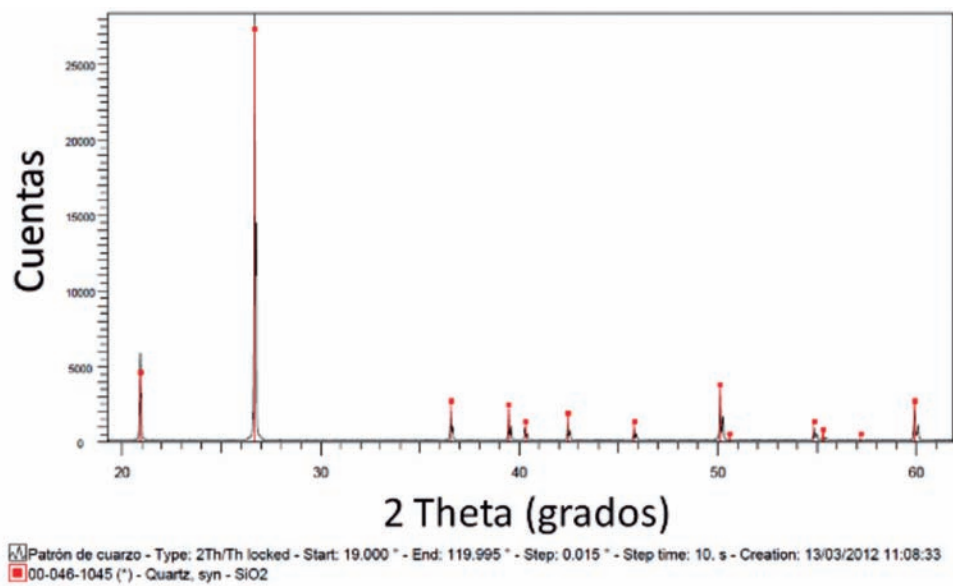


Figura 3.6: Difractograma del cuarzo (color negro). Las barras rojas muestran un patrón de difracción del cuarzo típico coleccionado en las bases de datos del JCPDS.



## Capítulo 4

# ESTUDIO MINERALÓGICO Y COMPOSICIONAL DE LA CERÁMICA DE HELLÍN MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X



## 4.- ESTUDIO MINERALÓGICO Y COMPOSICIONAL DE LA CERÁMICA DE HELLÍN MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Las materias primas que se emplean para la elaboración de los productos cerámicos presentan notables diferencias atendiendo a los rasgos geológicos particulares de cada zona. Cabe destacar, en este sentido, la gran variabilidad geológica de la península ibérica, que presumiblemente proporciona características diferenciables a las pastas cerámicas de cada zona.

En particular, el área hellinense posee una singularidad notable en relación a otras áreas de la península con alfarería propia. Desde el punto de vista geológico, la zona de Hellín comprende un basamento de materiales dolomíticos del Jurásico, ricos en magnesio. A dicho basamento le sigue una cobertura de materiales pliocenos y pleistocenos constituidos por arcillas y limos, sumamente aptos para las artes cerámicas.

Por otra parte, durante el proceso de cocción de las pastas se producen distintos productos en función de los materiales base y de las condiciones de cocción. Por ejemplo, en función de la temperatura de cocción, se forman unas u otras fases minerales, de forma que las propiedades físicas de las piezas resultantes pueden diferir substancialmente. Dada la importancia de la temperatura de cocción, es de prever que la manera de diseñar y utilizar los hornos en talleres de zonas geográficas alejadas diese lugar a productos con mineralogías diferenciadas. En base a todo ello, la comparación de las pastas cerámicas con criterios mineralógicos se revela sumamente útil para caracterizar las piezas cerámicas. En un estadio más avanzado, la información obtenida a partir de la difracción puede incluso permitir la determinación del lugar de procedencia de piezas cerámicas descatalogadas o no correctamente identificadas (GENERA, 1980) (ROVIRA, 2010).

La finalidad del presente trabajo es utilizar la difracción de rayos X en polvo para caracterizar la cerámica fabricada en Hellín. Como se ha discutido detalladamente en el capítulo anterior, esta técnica de análisis físico permite identificar e incluso cuantificar las fases minerales presentes en una muestra. En el caso de las muestras cerámicas, dicha información puede llegar a ser muy valiosa para determinar la procedencia de una pieza o, por lo menos, para descartar una posible área de producción. En particular, en este trabajo se pretende comprobar si la loza hellinera presenta desde un punto de vista composicional un carácter distintivo respecto a la cerámica fabricada en otros puntos de la península ibérica. Para tal fin, se presentan análisis mineralógicos de pastas cerámicas procedentes de Hellín y también de otros centros de producción alfarera. La comparación entre los resultados correspondientes a pastas de diferente procedencia será lo que nos permitirá averiguar si la loza hellinera presenta, desde un punto de vista composicional, alguna característica diferencial que permita su identificación mediante difracción de rayos X.

### **Muestras y métodos experimentales**

Para el presente trabajo se escogieron quince muestras procedentes de objetos cerámicos de diferente forma producidos en Hellín. Las quince muestras se etiquetaron como CH-001 hasta CH-015. Las

muestras proceden en su mayoría de piezas pertenecientes al catálogo de colecciones públicas o privadas, mientras que unas pocas muestras corresponden a fragmentos hallados en excavaciones de la zona. Los expertos, en base a la morfología y otros criterios, atribuyen las piezas estudiadas a un período de tiempo que abarca los siglos XVII, XVIII y XIX, que se corresponde con la época de funcionamiento de los alfares de la zona:

- Tres de las muestras proceden de tres platos de distinta morfología, estimados como producidos durante el siglo XVII.
- Otras tres muestras, que se estima fueron producidas durante el siglo XVIII, proceden, respectivamente, de un plato, de un bote de farmacia y de un plato grande o fuente.
- Tres muestras proceden de platos de diferentes tamaños y morfología; se estima que estas piezas fueron producidas durante el siglo XIX.
- Tres de las muestras proceden de piezas de azulejería, y se estima que fueron producidas durante el siglo XVIII.
- Finalmente, tres muestras fueron obtenidas de distintos fragmentos procedentes de excavaciones realizadas en diferentes lugares de las zonas que ocuparon los antiguos alfares hellineros.

En el anexo I se incluye una fotografía de estas piezas, así como una breve descripción sobre sus características principales. Los expertos ceramólogos que avalan el origen de estas piezas, así como la datación estimada de su manufactura son:

Sr. D. Francisco Javier López Precioso. Director del Museo Comarcal de Hellín(Albacete)  
Sr. D. Abraham Rubio Celada. Historiador del Arte y Ceramólogo. Madrid.  
Sr. D. Angel Sánchez-Cabezudo Gómez. Historiador del Arte y Ceramólogo. Toledo

En el pasado se ha tendido a confundir la cerámica de Hellín con la de otros alfares aragoneses. Con el fin de comparar la información mineralógica de cerámicas producidas en Aragón, pero también con la de otros puntos de la península ibérica, se han incluido en este estudio los resultados de difracción de rayos X obtenidos en pastas cerámicas de las siguientes localidades: Villafeliche (Zaragoza), Teruel, Muel (Teruel), Talavera de la Reina (Toledo) y Sevilla. Dichas muestras fueron obtenidas de botes de farmacia del s. XVIII que, según criterio de expertos ceramólogos, no ofrecen dudas en cuanto a la procedencia de su manufactura. Estas muestras, usadas en un estudio analítico previo realizado a simple ciego (ROVIRA, 2010), se etiquetaron para el presente trabajo como V1 a V6 (muestras de Villafeliche), T1 a T3 (Teruel), TR1 a TR3 (Talavera de la Reina), M1 a M3 (Muel) y S1 a S3 (Sevilla). En el anexo II se incluye una fotografía de alguna de las piezas estudiadas así como una breve reseña sobre las mismas. Todas las muestras de este segundo grupo fueron obtenidas de la antigua botica de Barbadillo del Mercado, en Burgos (ROVIRA, 2010).

Para las medidas de difracción de rayos X, mediante un raspado cuidadoso de las piezas y de los fragmentos cerámicos se obtuvo una cantidad aproximada de unos 200 mg de material finamente pulverizado. Es importante resaltar que para este trabajo únicamente se estudiaron los materiales ce-

rámicos, dejándose de lado los materiales empleados en los motivos de decoración y los esmaltados. Así pues, las muestras fueron obtenidas de zonas totalmente libres de vidriado o barniz, generalmente de la base de las piezas. Antes de proceder a su raspado, se utilizó un solvente volátil para eliminar de la superficie cualquier resto de polvo, cera o cualquier otra sustancia. El material obtenido del raspado fue posteriormente sometido a una molienda manual mediante un mortero de ágata con el fin de reducir el tamaño de grano de algunos fragmentos que, de manera inadvertida, pudieran haber quedado en las muestras después de la extracción. Posteriormente, se procedió a montar las muestras en porta-muestras de difracción de rayos X en polvo para la realización de los análisis.

Para cada una de las muestras se obtuvieron espectros de difracción de rayos X con un difractorómetro marca Bruker, Modelo D-5005 (v. figura 3.5). Este difractorómetro está equipado con un tubo de cobre, que proporciona radiación X de una longitud de onda  $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$ . Para la adquisición de los difractogramas se realizaron barridos angulares entre  $4^\circ$  y  $60^\circ$  en  $2\theta$ , con pasos de  $0,05^\circ$ . Dada la baja cantidad de material disponible, las medidas fueron realizadas con altos tiempos de integración (12 segundos por paso).

El difractorómetro utilizado en este trabajo se halla en el Servicio de Difracción de Rayos X del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El Instituto Jaume Almera fue creado en 1965 y se halla ubicado en el Campus de la Universidad de Barcelona. Su Servicio de Difracción de Rayos X tiene más de 30 años de experiencia acumulada y ofrece servicio tanto a usuarios internos como externos provenientes de Universidades, empresas y otras entidades públicas y privadas. El Servicio procesa cada año más de 3000 muestras en polvo para análisis cualitativos y cuantitativos, y está abierto a cualquier centro público o empresa que requiera de la difracción para sus trabajos o investigaciones.

## **Difracción de rayos X en polvo de la cerámica de Hellín**

La difracción de rayos X, juntamente con otras técnicas como la fluorescencia de rayos X, la activación de neutrones o el análisis térmico diferencial, han sido ampliamente usados por numerosos investigadores con el fin de caracterizar muestras cerámicas de mayor o menor antigüedad y de diferentes procedencias. Hasta la fecha, la información proporcionada por la difracción de rayos X ha resultado de gran utilidad para determinar la composición mineralógica de las piezas estudiadas y para evaluar las temperaturas de cocción. A continuación, y sin ánimos de ser exhaustivos se enumeran algunos de los numerosos trabajos en los que se ha usado la difracción de rayos X en investigaciones relacionadas con la cerámica, su procedencia, composición, o transformaciones químicas inducidas por la temperatura: (GENERA, 1980), (MANIATIS, 1980), (SCHOMBURG, 1991), (PLANA, 1992), (LEUNG, 1999), (BUXEDA, 2002), (SÁNCHEZ, 2002), (IÑAÑEZ, 2007), (IÑAÑEZ, 2009).

El objetivo principal del presente estudio es caracterizar la mineralogía de la cerámica de Hellín a partir de los resultados de difracción de rayos X y determinar si presenta alguna característica particular que permita distinguirla de otras producciones cerámicas de la Península Ibérica. Los espectros de difracción de rayos X en polvo obtenidos para las muestras de Hellín estudiadas en este trabajo se encuentran en el Anexo I. Como se ha descrito anteriormente, a partir de estos espectros se procedió a

identificar las fases cristalinas mayoritarias presentes en las muestras comparando dichos espectros con los patrones existentes en la base de datos PDF-2. Tal y como se puede observar en las diferentes figuras del Anexo I, a partir del análisis de los difractogramas se identifican las siguientes fases principales:

Cuarzo ( $\alpha$ -SiO<sub>2</sub>): Tras los feldespatos, es el mineral más común de la corteza terrestre. Se halla, en concentraciones variables, en todo tipo de rocas, ya sean ígneas, metamórficas o sedimentarias. Algunas de sus variedades, como la amatista, son muy valoradas por gemólogos y coleccionistas.

Forsterita (Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>): Este mineral es un silicato de magnesio, cuya variedad tipo gema se conoce como peridoto. La sustitución gradual del magnesio de la forsterita por hierro da lugar a la solución sólida (Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, conocida como olivino. El extremo rico en hierro del olivino se denomina fayalita. El olivino es uno de los minerales más importantes de las rocas ígneas y del manto terrestre.

Diópsido (Ca(Mg,Al)(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>): Este silicato de calcio y magnesio pertenece al grupo de los piroxenos. Se encuentra en rocas ígneas ultramáficas (rocas de bajo contenido en SiO<sub>2</sub>) y en algunos tipos de rocas metamórficas.

Gehlenita (Ca<sub>2</sub>Al(Al,Si)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>): Es un silicato del grupo de la melilita. Aparece en zonas de metamorfismo de contacto de rocas calizas y en rocas volcánicas ultramáficas ricas en calcio.

Analcima (Na(Si<sub>2</sub>Al)O<sub>6</sub>·H<sub>2</sub>O): Este mineral, que pertenece al grupo de las zeolitas, es un silicato de sodio hidratado. Aparece, de forma natural, en algunas rocas volcánicas.

Leucita (KAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>): Este silicato de potasio y aluminio aparece en la naturaleza en rocas eruptivas modernas. Es uno de los componentes principales de algunos basaltos.

Sanidina ((K,Na)(SiAl<sub>3</sub>)O<sub>8</sub>): Este silicato, que aparecen frecuentemente en rocas volcánicas, pertenece al grupo de los feldespatos potásicos. Los feldespatos son silicatos que cristalizan en rocas ígneas intrusivas o extrusivas, y que también se encuentran en rocas metamórficas y sedimentarias. Los feldespatos conforman aproximadamente el 60% de la corteza terrestre.

Albita (NaAl<sub>3</sub>SiO<sub>8</sub>): feldespato perteneciente al grupo de las plagioclasas (solución sólida de (Na,-Ca)Al<sub>3</sub>SiO<sub>8</sub>). La albita es muy frecuente en rocas ígneas de tipo granito o sienita, y también se observa en rocas metamórficas y en algunas rocas sedimentarias.

Microclina (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>): Este silicato de potasio y aluminio es otro feldespato que, de manera natural, aparece en rocas ígneas intrusivas y también en rocas metamórficas. Se trata de un mineral muy común, con importantes yacimientos en todo el mundo. Dado su comportamiento como cementante al calentarlo, es muy empleado en la elaboración de materiales cerámicos.

Calcita (CaCO<sub>3</sub>): Este mineral es el más estable de las diferentes variedades (polimorfos) de carbonato de calcio que existen (aragonito y vaterita además de la calcita). Este mineral es un constitu-



yente típico de las rocas sedimentarias, y en particular de las rocas calizas. Ampliamente explotado en canteras, su uso es muy amplio, desde elaboración de cementos y morteros, hasta utilización en forma de mármoles ornamentales.

Aragonito ( $\text{CaCO}_3$ ): Se trata de otra variedad (polimorfo) de carbonato de calcio. Puede observarse en las conchas de algunos moluscos y en el esqueleto de los corales. Es inestable a temperatura y presión ambiente, por lo que con el tiempo tiende a transformarse en calcita. Puede encontrarse en rocas metamórficas o sedimentarias del fondo marino. Los yacimientos minerales más importantes de aragonito se encuentran en la península ibérica.

Dolomita ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ): Este mineral es un carbonato de calcio y magnesio, en el que se produce una sustitución iónica de calcio por magnesio en un carbonato cálcico. Es el mineral principal de las rocas sedimentarias y metamórficas conocidas como dolomías o dolomíticas, siendo otro compuesto habitual de los mármoles.

Yeso mineral ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ): Este sulfato de calcio dihidrato se forma en la naturaleza por evaporación de disoluciones sobresaturadas en lagos y mares de poca profundidad. En la península ibérica, esto sucedió principalmente durante el Triásico y el Terciario. Se utiliza en la elaboración de ácido sulfúrico y como fundente en la industria cerámica. Este mineral es la base del yeso (yeso cocido) que se utiliza en albañilería para enlucidos y revocos, o como pasta de agarre o juntura.

Evidentemente, la presencia de la mayoría de estas fases en las muestras cerámicas no es de origen puramente natural. Es decir, que dichas fases aparezcan en la cerámica no significa que se encontraran en la mezcla original como mineral natural. Se entiende que el material cerámico es sintético, en el sentido que el ser humano lleva a cabo un proceso controlado a partir de materias primas de origen natural y es capaz de producir un producto final de características deseadas.

La presencia de las fases minerales que comúnmente se encuentran en las rocas ígneas, como por ejemplo el dióxido, la gehlenita o la forsterita, puede asociarse con certeza al proceso de cocción. Efectivamente, las altas temperaturas que se consiguen en los hornos de cocción junto con la disponibilidad de las especies atómicas más comunes en el manto y la corteza terrestre (Si, Al, O, Ca, K, Na, Fe, Mg, ...) da lugar a dichas fases minerales tras un proceso de recristalización. Las altas temperaturas de recocido dan lugar a reacciones térmicas que modifican la composición de la mezcla original. Los minerales originales son básicamente de tipo arcilloso, aunque evidentemente otros minerales se encuentran también en la pasta original en mayor o menor concentración. Sin embargo, otras fases cristalinas presentes en las piezas cerámicas no tienen porqué estar asociadas exclusivamente al proceso de cocción. Algunas de esas fases se hallan en la mezcla inicial y no se modifican por efecto de la temperatura. Otras fases pueden ser fruto de una alteración posterior de la pasta cocida, ya sea por efecto del tiempo (esto es, por reacciones químicas muy lentas) o bien por efecto de agentes externos (o por una combinación de ambos). Por otra parte, es posible encontrar fases que no proceden de la pasta cerámica y que se han incorporado en etapas posteriores al acabado cerámico, quizás accidentalmente, pero que no han alterado las fases originales de la pasta.

Podemos dividir las fases minerales identificadas a partir de los difractogramas en los siguientes grupos bien diferenciados:

1) Fases minerales asociadas al proceso de cocción:

Durante la cocción, las piezas cerámicas son sometidas a procesos térmicos importantes. De hecho, el proceso de cocción puede implicar temperaturas tan altas como los 1050 °C en algunos casos. Durante la cocción, una parte de las arcillas y otras sustancias presentes en la mezcla se transforman en vidrio amorfo, mientras que otra parte recristaliza y se transforma en nuevas fases minerales que conforman, bien cimentadas, la pieza cerámica recocida. Uno de los procesos térmicos principales que tienen lugar durante la cocción es la dehidroxilación (pérdida de agua estructural) de las arcillas. Otras fases, como los carbonatos cálcicos, se descomponen en óxido de calcio. Gracias a las altas temperaturas alcanzadas y a la disposición de especies atómicas en la mezcla a alta temperatura, se generan fases cristalinas de aluminosilicatos como la forsterita, el diópsido, la gehlenita o los feldespatos. La presencia de estas fases se asocia con altas temperaturas de cocción, mayores que 900 °C. La ausencia de arcillas en los espectros de difracción (v. Anexo I) también es indicativa de las altas temperaturas de cocción alcanzadas. En las muestras de Hellín no se observan óxidos de hierro (hematites), lo que apunta hacia un bajo contenido de hierro en las pastas originales.

2) Fases minerales sin implicación en la elaboración cerámica:

Se trata de minerales que están presentes en la pasta original pero que presentan poco significado desde un punto de vista de la elaboración de las piezas. Entre estas fases cabe destacar el cuarzo y, quizás, cierta fracción de los feldespatos que se detectan en las muestras y que estarían presentes en las pastas originales.

3) Fases minerales de alteración:

Estas fases aparecen por los procesos de envejecimiento de las piezas, asociadas o no al contacto con álcalis del entorno, por presencia de éstos en la propia pasta; también podrían aparecer como resultado de la recristalización de las fracciones de la pasta que, como ya hemos mencionado, se conservan en forma vítrea, y que en ciertas condiciones pueden cristalizar con el transcurso del tiempo. Dos ejemplos de este tipo de fases de alteración son la analcima (SCHWEDT, 2006) y la calcita. Esta última probablemente se recarbonata con el tiempo a partir del óxido de calcio que se forma en descomponerse los carbonatos de la pasta original. La formación de otros polimorfos de la calcita, como es el caso del aragonito, probablemente también se pueden asociar a este proceso de recarbonatación posterior.

4) Fases minerales de presencia accidental:

Como se ha indicado anteriormente, la presencia de algunas fases en las muestras estudiadas no puede asociarse ni al proceso de cocción (ni al esmaltado o vidriado posterior) ni tampoco a la alteración de las fases cristalinas recristalizadas tras el recocido. Dichas fases pueden haberse incorporado en una etapa posterior al acabado cerámico. Por ejemplo, pueden proceder del propio uso cotidiano de las piezas o, alternativamente, de alguna manipulación poco cuidadosa. El yeso que se detecta en las muestras estudiadas pertenece a este grupo de fases.

Tal y como puede observarse en los difractogramas del Anexo I, las fases principales que conforman las cerámicas de Hellín son el cuarzo, el diópsido y la forsterita. Se observan picos intensos de difracción en todas las muestras estudiadas. La presencia de altas concentraciones de diópsido y de forsterita en las muestras de Hellín apunta hacia una alta concentración de magnesio en todas las muestras. Este resultado puede explicarse teniendo en cuenta que, como se ha comentado anteriormente, la geología del área de Hellín se caracteriza por materiales con alto contenido en Mg. Por contra, la ausencia de hematites en todas las muestras indica una baja concentración de hierro. A partir de los espectros también se identifican cantidades apreciables de feldespatos y de gehlenita en casi todas las muestras estudiadas. Por su parte, se detecta analcima en un gran número de muestras, aunque la intensidad de los picos de difracción correspondientes a esta fase de alteración es bastante pequeña. Asimismo, sólo se detecta leucita en un par de muestras, lo cual indica que esta fase no reviste relevancia en la cerámica procedente de Hellín. En relación a las fases de carbonatos, se detecta calcita en un importante número de muestras, aunque no en todas. La dolomita sólo aparece en uno de los espectros, mientras que el aragonito aparece en tres de las piezas estudiadas. En relación al yeso, que en principio se asocia a contaminaciones posteriores, se detecta en media docena de muestras.

### **Análisis cuantitativo de las fases cristalinas**

La difracción de rayos X permite realizar análisis cuantitativos de las fases cristalinas y amorfas presentes en las muestras, ya que la intensidad de los picos de difracción es mayor cuanto mayor es la fracción en peso de una determinada fase. En el caso de pastas cerámicas, las estimaciones cuantitativas proporcionan información muy valiosa sobre la naturaleza de las piezas estudiadas. En definitiva, la comparación de datos cuantitativos de diferentes materiales es lo que puede llegar a poner de manifiesto posibles diferencias (de manufactura o incluso de proveniencia) entre distintas piezas.

En la Tabla I se muestra el resultado del análisis semi-cuantitativo de las pastas de Hellín realizado a partir de los difractogramas del Anexo I. Estos análisis han sido realizados por el método de RIR (del inglés, reference intensity ratio). El valor RIR para una fase cristalina concreta se halla tabulado en las bases de datos de difracción de rayos X, tales como la PDF-2 del ICDD, y permiten a través de un simple algoritmo obtener una estimación semi-cuantitativa de la concentración en peso de cada una de las fases cristalinas detectadas. Para obtener los valores de la Tabla I no se ha tenido en cuenta la presencia de fases vítreas en las pastas, por lo que dichos valores se han de considerar solamente como burdas aproximaciones de la composición de los materiales estudiados.

Si se observan con detenimiento los valores de la Tabla I, se comprueba que el cuarzo y el diópsido son las dos fases principales que constituyen la fracción cristalina de las pastas de Hellín. Del análisis semi-cuantitativo de RIRs se obtienen valores de entre 30-65% para el diópsido, y alrededor de 20-40% para el cuarzo. Asimismo, se obtienen valores entre 6-11% de forsterita para todas las muestras estudiadas. Como se verá más adelante, la presencia de esta fase resultará crucial como punto distintivo de la cerámica de Hellín. Por su parte, la concentración estimada de feldespatos es siempre inferior al 10% para todas las muestras.

Una lectura detallada de los valores de la Tabla 1, en la cual se puede leer la concentración de todas las fases y la época de manufactura de las piezas estudiadas, permite concluir que, entre los siglos XVII y XIX, no existen diferencias significativas entre la composición de las pastas. Este resultado indicaría, por una parte, que las temperaturas de cocción y las arcillas utilizadas se habrían mantenido de forma bastante homogénea a lo largo de más de dos siglos. Por otra parte, no se observa ninguna fase cristalina de alteración que permita caracterizar la edad de las piezas, ya que la concentración de dichas fases varía de forma bastante azarosa entre las diferentes muestras estudiadas.

Muestra	cuarzo (%)	diópsido (%)	gehlenita (%)	forsterita (%)	analcima (%)	leucita (%)	yeso (%)	aragonito (%)	calcita (%)	dolomita (%)	feldespatos (%)
CH-001	22	44	6	8	0	0	3	13	4	0	0
CH-002	27	46	0	11	1.5	0	0	0	4	0	10
CH-003	24	57	0	10	1	0	0	0	0	0	8
CH-004	23	57	0	10	2	0	4	0	0	0	4
CH-005	30	57	0	10	2	0	0	0	0	0	0
CH-006	36	25	6	7	0	0	0	6	5	7	7
CH-007	16	65	0	6	0	3	3	0	3	0	3.5
CH-008	39	34	3.5	10	1	0	3	0	5	0	4
CH-009	22	65	0	8	1	0	0	0	0	0	3
CH-010	30	52	4	7	1	0	0	0	4	0	3
CH-011	24	44	4	11	0	0	3	0	3	0	10
CH-012	31	31	13	11	0	0	0	0	4	0	8
CH-013	27	52	7	10	1	0	0	0	0	0	3
CH-014	22	58	3	7	1	0	0	0	3	0	5
CH-015	31	43	4	7	0	3	3	8	0	0	0

Tabla 1. Determinación semicuantitativa de la composición de las piezas de cerámica de Hellín analizadas en este estudio. El análisis semicuantitativo se ha realizado a partir de la intensidad de los picos de difracción de rayos X utilizando el método de los RIR (*Reference Intensity Ratios*)

## Pastas cerámicas de Hellín vs pastas de otros centros de producción de la Península Ibérica

Con el fin de caracterizar la mineralogía de la loza hellinera, resulta imprescindible comparar los resultados obtenidos en las muestras de Hellín con los equivalentes de muestras provenientes de otros centros alfareros. La comparación de resultados mineralógicos de cerámicas de distinto origen podría permitir, por ejemplo, encontrar fases minerales características para cierta área geográfica. Alternativamente, podría suceder que la fracción en peso relativa de las distintas fases minerales presentes en las pastas cerámicas sea más o menos característica de cada centro alfarero, lo cual podría permitir diferenciar muestras de diferentes orígenes.

En el Anexo II se muestran algunos de los espectros de difracción de rayos X en polvo obtenidos para las muestras de Villafeliche, Muel, Teruel, Talavera de la Reina y Sevilla incluidos en este trabajo. Tal y como se puede observar en las diferentes figuras del Anexo II, los espectros de difracción permiten identificar principalmente las siguientes fases cristalinas: cuarzo, diópsido y gehlenita. En la Tabla II se incluyen todas las fases detectadas, y se proporciona información cuantitativa de las diferentes muestras estudiadas, obtenida a través de los RIR de cada fase. Como se observa en dicha tabla, la concentración de cuarzo es comparable en todas las muestras, también en las de Hellín (v. Tabla I). Sin embargo, de los espectros de difracción y del análisis cuantitativo se desprende que la cerámica hellinera se caracteriza por una concentración superior de diópsido. Dado el alto contenido de magnesio del diópsido, este resultado vuelve a apuntar a una alta concentración de este elemento en las pastas de Hellín. Por contra, la detección de hematites en muchas de las muestras de la Península Ibérica, pero no en las de Hellín, confirma todavía más esta hipótesis, dado que el hierro y el magnesio acostumbra a ocupar posiciones equivalentes en los compuestos de aluminosilicatos. En las cerámicas de Hellín, ricas en magnesio, no se detectan hematites.

De todas las muestras provenientes de distintos centros alfareros de la Península Ibérica seleccionadas para este estudio, sólo una de ellas, proveniente de Talavera de la Reina (Ref. TR2), contiene forsterita. Dicha muestra también contiene cantidades apreciables de gehlenita, mayores que las de Hellín, mientras que su concentración de diópsido es sensiblemente inferior. Nótese que la gehlenita es un aluminosilicato pobre en magnesio (como mucho, puede contener magnesio a nivel sustitucional). A tenor de todas estas observaciones, se confirma que la cerámica de Hellín se caracteriza por un alto contenido de magnesio. Desde un punto de vista mineralógico esto se manifiesta en las pastas por

- i) Alta concentración de diópsido
- ii) Baja concentración de gehlenita
- iii) Presencia de forsterita

Podemos pues concluir que estas características proporcionan un carácter distintivo a la cerámica hellinera. De esto se desprende que la difracción de rayos X puede permitir determinar, con un nivel de certeza suficientemente aceptable, si una pieza de manufactura indeterminada pudo o no pudo ser

fabricada en Hellín. Para ello, basta comprobar si los espectros de difracción muestran las características anteriores. Evidentemente, conclusiones similares se obtendrían con toda probabilidad mediante técnicas elementales, como por ejemplo la fluorescencia de rayos X o la espectroscopia de masas, que permitieran determinar el contenido de Mg de las cerámicas. Sería pues altamente interesante realizar estudios paralelos de este tipo.

En relación al resto de cerámicas de la Península Ibérica, se observa que la gehlenita es una fase mayoritaria en todas las muestras de Villafeliche, con concentraciones superiores al 30%. Esta fase también aparece de forma más o menos clara en el resto de cerámicas. En la cerámica de Villafeliche también se detectan picos débiles que se pueden atribuir a la kalsilita (un silicato de potasio feldespatoide, de fórmula  $\text{KAlSiO}_4$ ). En el resto de muestras no se detecta esta fase, con la excepción de una única pieza de Talavera de la Reina (Ref. TR2). Así pues, se concluye que el alto contenido de gehlenita, y quizás también la presencia de kalsilita en las muestras, pueden permitir atribuir su origen a las piezas manufacturadas en los talleres de Villafeliche.

Por otra parte, en los espectros de difracción del resto de cerámicas se observan picos muy débiles que pueden atribuirse a la cristobalita, aunque no de forma homogénea entre muestras de igual procedencia. La cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ) es un polimorfo del cuarzo que, en relación a los materiales cerámicos, se forma en función del tipo de arcillas utilizadas (SCHOMBURG, 1991). Como se puede comprobar en la Tabla II, el bajo contenido de gehlenita (<15%) en conjunción con la posible presencia de cristobalita podría proporcionar un distintivo para la cerámica de Muel. Las muestras de Teruel y Sevilla presentan concentraciones intermedias de dióxido y gehlenita además de concentraciones quizás mayores de cuarzo (>30%), lo cual podría permitir diferenciarlas de otras producciones cerámicas. En todas estas muestras también se observan picos de difracción correspondientes a la hematites. Sin embargo, no se aprecian en las muestras estudiadas características concretas que permitan diferenciar únicamente por difracción de rayos X ambos tipos de muestras. Por último, observamos que las tres muestras de Talavera de la Reina escogidas para este estudio presentan variaciones en su mineralogía muy significativas entre ellas, por lo que aparentemente no es posible encontrar ningún criterio que permita identificar únicamente a partir de los difractogramas la cerámica producida en dicha localidad. En estas producciones, la combinación de la difracción de rayos X con otras técnicas analíticas sí que podría resultar fructífera para determinar la procedencia de las piezas cerámicas.

Muestra	Arcillas (%)	Feldespatos (%)	Cuarzo (%)	Calcita (%)	Diópsido (%)	Gehlenita (%)	Kalsilita (%)	Cristobalita (%)	Hematites (%)	Otras fases
V1	0	8	28	0	25	30	6.5	0	2.5	nd
V2	0	0	30.3	3.9	24.7	33	5.5	0	2.7	nd
V3	0	4.9	27.9	0	28.5	33	5.6	0	0	nd
V4	0	0	26.4	0	31.8	36.7	5.1	0	0	nd
V5	8.8	0	24.8	0	27.1	30.6	5.7	0	3	nd
V6	0	3.7	26.9	0	27.6	31.8	6.1	0	3.9	nd
T1	0	11	33	0	24.5	19	0	0	2.5	Yeso
T2	0	7.1	31.8	5.1	36.6	15.2	0	1.6	2.6	nd
T3	0	4.2	40.2	0	26.5	20.9	0	0	3.2	Yeso
S1	0	9.4	41.8	0	21.8	21.7	0	1.4	3.8	nd
S2	0	0	32.3	0	34.6	26.3	0	2	4.8	nd
S3	0	8.6	44.3	0	23.5	15.6	0	0	3.4	Yeso
TR1	8.7	16.6	22.5	0	33.5	15.6	0	0	3	nd
TR2	0	5.7	10.9	0	32.3	29.8	8.2	0	0	Forsterita
TR3	0	27.6	14.8	0	55.7	0	0	2	0	nd
M1	0	10	19.6	0	58	7.5	0	1.6	0	Yeso
M2	0	15.3	34.1	0	26.7	13.8	0	1.9	3.4	Yeso
M3	0	21.2	35.1	5.1	22.8	8.9	0	1.8	2.8	Mullita

Tabla 2. Determinación semicuantitativa de la composición de piezas de cerámica manufacturadas en diferentes puntos de la Península Ibérica. El análisis semicuantitativo se ha realizado a partir de la intensidad de los picos de difracción de rayos X utilizando el método de los RIR (*Reference Intensity Ratios*). Las muestras estudiadas proceden de Villafeliche (V1 a V6), Teruel (T1 a T3), Sevilla (S1 a S3), Talavera de la Reina (TR1 a TR3) y Muel (M1 a M3).



## Técnicas estadísticas para la determinación del origen de piezas cerámicas

Hasta el momento hemos visto cómo la difracción de rayos X es capaz de proporcionar información precisa sobre la mineralogía de las pastas cerámicas. Es evidente que, dado el carácter exploratorio de este estudio, el número de muestras considerado es bajo, por lo que haría falta realizar un estudio mucho más amplio con un número ostensiblemente mayor de muestras para cada producción cerámica. Sin embargo, el valor de los resultados obtenidos hasta este punto no es en absoluto despreciable. A partir de los difractogramas nos ha sido posible identificar los minerales resultantes de la cocción y, en particular, hemos sido capaces de hallar algunas características composicionales que parecen ser particulares de algunas producciones cerámicas, incluida la hellinera.

Los criterios que se han empleado hasta el momento son eminentemente objetivos, ya que están basados en metodologías analíticas controlables y reproducibles. Cabe destacar que dichos criterios están en total contraposición a los criterios subjetivos que utilizan los expertos ceramólogos para evaluar las piezas cerámicas: aspecto visual de las piezas, similitud en los motivos decorativos, etc. Evidentemente, las técnicas experimentales difícilmente llegarán a sustituir la experiencia recabada por el experto a lo largo de los años a base de minucioso estudio y trabajo. Sin embargo, sí que puede ser especialmente útil como herramienta complementaria, pudiéndose utilizar para confirmar o desmentir una identificación o para validar ciertas hipótesis.

Sin embargo, cabe reconocer que los difractogramas difícilmente permitirían, por ellos mismos, acotar de forma suficientemente precisa el origen de una pieza concreta. Por ejemplo, hasta el momento no hemos sido capaces de ponderar el grado de eficacia de la técnica de difracción para este tipo de análisis de procedencia. Evidentemente, siempre sería posible comparar el espectro de difracción de una muestra problema con los de muestras de procedencia bien determinada (ROVIRA, 2010). Seguramente, este simple procedimiento nos daría a menudo resultados suficientemente útiles, pero desde un punto de vista de metodología científica no sería suficientemente riguroso: ¿Qué tendríamos que comparar exactamente? ¿El número de fases detectadas? ¿O bien comparamos las intensidades (o los valores cuantitativos obtenidos a partir de los RIR) de los picos de difracción? Y en este caso, ¿de qué fases? ¿De las mayoritarias, o de todas? ¿Y qué picos comparamos para una fase concreta? ¿Todos, o el más intenso? ¿Y qué pasa si el pico principal de una fase se solapa con otro pico de otra fase?

Una posible solución para optimizar el procedimiento de caracterización e identificación de las piezas cerámicas vendría dada por una selección cuidadosa de los picos de difracción a ser analizados. Representaciones gráficas de la intensidad de ciertos picos de difracción y también de su anchura proporcionarían seguramente un marco suficientemente adecuado para este tipo de estudios. En particular, la anchura de los picos está en gran parte relacionada con la cristalinidad de una fase. Picos más anchos implican fases menos cristalinas. Si recordamos las altas temperaturas involucradas en las cocciones de cerámicas, rápidamente nos percataremos que la anchura de los picos de difracción podría introducir un parámetro adicional para evaluar la procedencia de las muestras, dado que sistemas de cocción diferentes también podrían manifestarse en diferentes grados de cristalinidad para algunas de las fases presentes en las pastas.

Sin embargo, desde un punto de vista metodológico, son las técnicas estadísticas las que nos pro-



porcionarán la vuelta de tuerca deseada. La estadística es una disciplina matemática de alta complejidad que, a grandes rasgos, pretende definir cómo hay que recopilar, analizar, interpretar y representar colecciones de datos sobre una cuestión determinada. Existen numerosísimas técnicas estadísticas que permiten analizar datos con el fin de describir una muestra, demostrar o descartar una hipótesis de trabajo, establecer relaciones o dependencias matemáticas entre variables, o bien para establecer relaciones entre los sujetos estudiados. De entre estas últimas, cabe destacar el análisis de componentes principales (en inglés, PCA), que tiene como objetivo encontrar y ordenar por importancia las causas de variabilidad de un conjunto de datos. El PCA se utiliza frecuentemente en análisis exploratorio de datos y para construir modelos predictivos. En estudios arqueométricos se utiliza muy a menudo para analizar los datos obtenidos mediante técnicas analíticas (véase por ejemplo la referencia (IÑÁÑEZ, 2009)). Aquí no entraremos a describir detalles técnicos sobre los PCA, aunque sí que nos interesa tener presente que estos análisis consisten en una transformación de variables que busca una reducción del número de variables (es decir, de la dimensionalidad) con el fin de encontrar unas pocas nuevas variables (factores) que expliquen la variabilidad de los datos iniciales. El lector que quiera saber más sobre los PCA y que tenga ciertos conocimientos de estadística y matemáticas, puede consultar la referencia (SHLENS, 2009).

En la figura 4.1 se muestra el resultado de un PCA para las muestras estudiadas en este trabajo. En el análisis PCA sólo se han incluido las muestras de Hellín del s. XVIII con el fin de comparar muestras de la misma época, ya que todas las piezas no hellineras incluidas en este estudio fueron fabricadas durante el s. XVIII. Con el fin de sistematizar el análisis PCA, se optó por utilizar como variables la intensidad de los picos de difracción más intensos de todas las fases cristalinas detectadas, y también la anchura de dichos picos. Para determinar la intensidad y anchura de los picos, se utilizó un paquete de software de tratamiento de datos de difracción de rayos X. La figura muestra, para cada una de las muestras estudiadas, los valores de dos de los factores producto de la transformación de variables que mejor explica la variabilidad de los datos introducidos en el análisis. La figura izquierda representa el valor del factor 1 (el que explica mayor variabilidad en los datos) en función del segundo factor. La figura de la derecha representa el factor 1 en función del factor 3. Para facilitar la comprensión de la gráfica, para indicar los factores correspondientes a muestras de igual procedencia se han utilizado los mismos símbolos.

Se observa en la figura como los datos correspondientes a Hellín, Villafeliche, y a los del conjunto Sevilla/Teruel tienden a agruparse, tanto en la gráfica izquierda como en la derecha. Por contra, los puntos correspondientes a Muel y Talavera de la Reina se hallan bastante dispersos en ambas gráficas. Estos resultados están en gran acuerdo con las conclusiones a que llegábamos en apartados anteriores. El PCA confirma que tanto la cerámica de Hellín como la de Villafeliche presentan una mineralogía particular, susceptible de ser diferenciada por técnicas analíticas como la difracción de rayos X. En particular, de la gráfica 4.1 derecha se desprende que las muestras de Hellín conforman un cluster o agrupación de puntos que se halla suficientemente alejado del resto de cerámicas. Dicha representación gráfica no es más que un reflejo de los resultados cualitativos discutidos en secciones anteriores, y pone de manifiesto la identidad propia de la cerámica de Hellín desde un punto de vista puramente mineralógico.

En el caso de la cerámica de Villafeliche, el cluster que se observa en la gráfica izquierda está relativamente cercano a puntos de otras cerámicas, pero no así en la gráfica derecha. La combinación de

ambas gráficas permite discriminar en mayor grado la posición del cluster de puntos correspondiente a las muestras de Villafeliche.

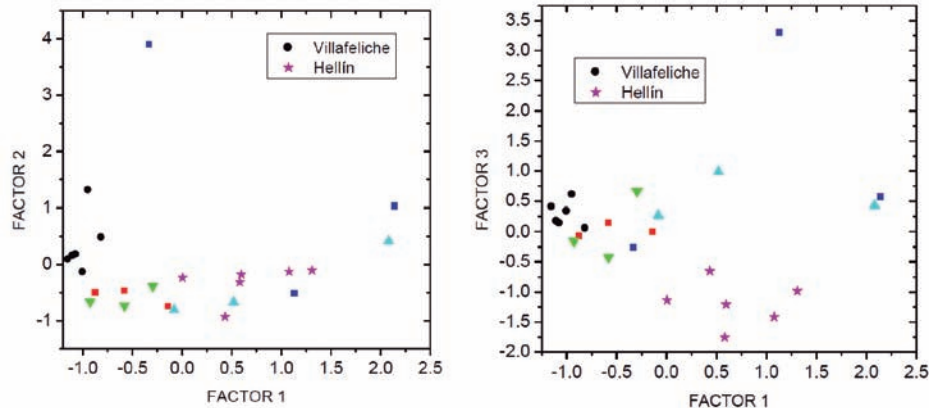


Figura 4.1. Resultado del análisis PCA realizado a partir de los espectros de difracción de diferentes muestras cerámicas. Se han utilizado los siguientes símbolos: estrellas rosa (muestras de Hellin), círculos negros (Villafeliche), triángulos verdes (Sevilla), cuadrados rojos (Teruel), triángulos azul cielo (Muel), cuadrados azul marino (Talavera de la Reina).

Con el fin de determinar la procedencia de cierta muestra no identificada, bastaría pues con obtener su espectro de difracción y repetir el análisis PCA incluyendo los nuevos datos. La posición del punto correspondiente en las gráficas resultantes proporcionaría la información buscada sobre el origen de dicha muestra.

Evidentemente, el resultado podría no estar libre de ambigüedad. Si bien en algunos casos la representación de los factores correspondientes daría lugar a un nuevo punto situado dentro de un cluster determinado, lo cual permitiría asignar la muestra estudiada con muy buena fiabilidad, en otros casos esto no sería así. Podría darse la circunstancia que un punto se sitúa entre dos clusters, por lo que la difracción y el PCA sólo permitirían acotar ligeramente el origen de la pieza. Pero también se podría dar el caso que el punto resultante se halla alejado de cualquier cluster de puntos, lo cual únicamente permitiría descartar algunas de las posibles procedencias. En ambos casos, el conocimiento previo de la pieza podría ser determinante para determinar su origen.

Estos resultados muestran la potencialidad de la difracción de rayos X para identificar la procedencia de piezas cerámicas. Sin embargo, resulta evidente que este tipo de estudios se encuentran todavía en una fase embrionaria. Todavía queda mucho trabajo por hacer para evaluar la capacidad real de la difracción de rayos X, quizás en combinación con otras técnicas analíticas, como herramienta de rutina para la identificación del origen de piezas cerámicas. En realidad, sólo el experto ceramólogo está capacitado para establecer la relevancia de la difracción de rayos X para este tipo de estudios de procedencia. En base a sus necesidades y experiencia, el experto puede poner ésta o cualquier otra técnica analítica en el banco de pruebas y determinar si efectivamente le resulta suficientemente útil para resolver sus dudas y problemáticas.

Si finalmente estas herramientas analíticas resultaran de utilidad para estudiosos y coleccionistas, quizás no sería descabellado plantearse la posibilidad de generar una base de datos lo más amplia posible de patrones de difracción de rayos X, quizás complementada con información elemental o de otro tipo obtenida con otras técnicas analíticas, de piezas cerámicas producidas en los diferentes centros alfareros de la geografía española. De esta forma, y como se ha discutido a lo largo de este trabajo, para acotar el posible origen de una pieza no catalogada o dudosa, bastaría con comparar por PCA los resultados de los análisis con los patrones de difracción y demás datos analíticos disponibles en dicha base de datos. En este sentido, el objetivo último de este trabajo es el de mostrar, y sobre todo divulgar, la potencialidad de la difracción de rayos X para la investigación de cerámicas y de su procedencia.

Hasta el momento, y con los datos recabados en este trabajo (limitados entre otros por el pequeño número de muestras estudiadas), podemos concluir que las muestras de Hellín y también las de Villafeliche presentan una mineralogía particular que podría permitir su identificación con un grado de fiabilidad aceptable. En particular, los espectros de difracción de rayos X parecen indicar que las pastas de Hellín poseen un alto contenido de fases ricas en magnesio, muy superior al del resto de muestras estudiadas. Por su parte, las cerámicas de Teruel y Sevilla, aparentemente, presentan composiciones similares que, por lo menos, podrían permitir discriminarlas del resto de producciones investigadas. En el resto de cerámicas los criterios no parecen estar tan bien definidos, para lo cual quizás sería necesario utilizar técnicas analíticas complementarias con el fin de acotar el posible origen de las piezas. El estudio composicional de los vidriados o de las decoraciones, en combinación con la información proporcionada por la difracción de rayos X, podría permitir de una forma más definitiva la identificación del taller de manufactura de las piezas.



## ANEXO I

### Espectros de difracción de rayos X de las piezas de Hellín





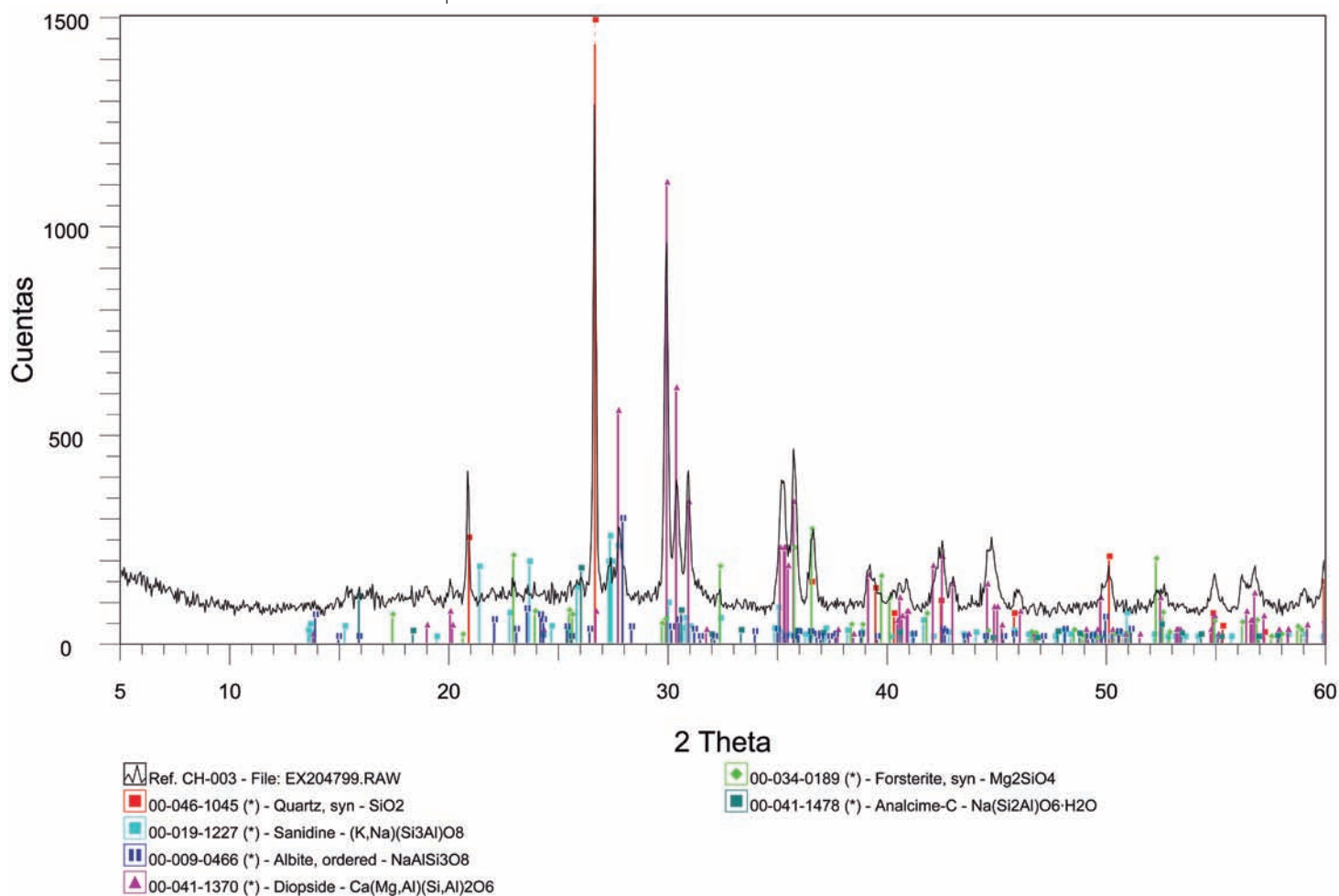
## Referencia: CH-003

FORMA: Plato con ala marcada de perfil cóncavo y base plana.

PROPIETARIO: Museo de Albacete. Nº INV.: CE16671.

MEDIDAS: Altura: 4 cm.; diámetro: 18 cm.; diámetro base: 8,3 cm.

CRONOLOGÍA: S. XVII





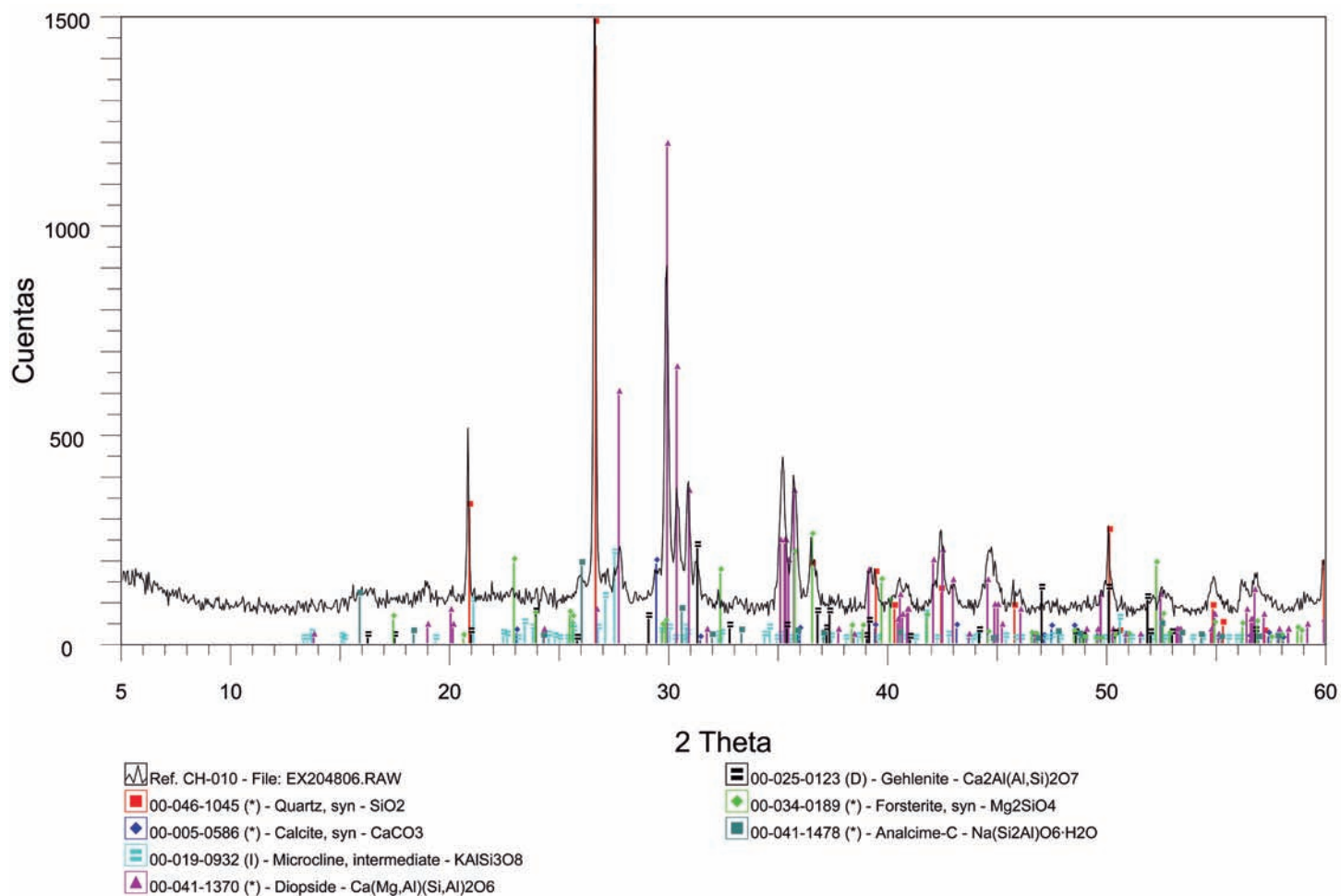
## Referencia: CH-010

FORMA: Plato con ala marcada de perfil cóncavo y base plana.

PROPIETARIO: Museo de Albacete. N° INV.: CE16676.

MEDIDAS: Altura: 2,7 cm.; diámetro: 17 cm; diámetro base: 8 cm

CRONOLOGÍA: S. XVII.







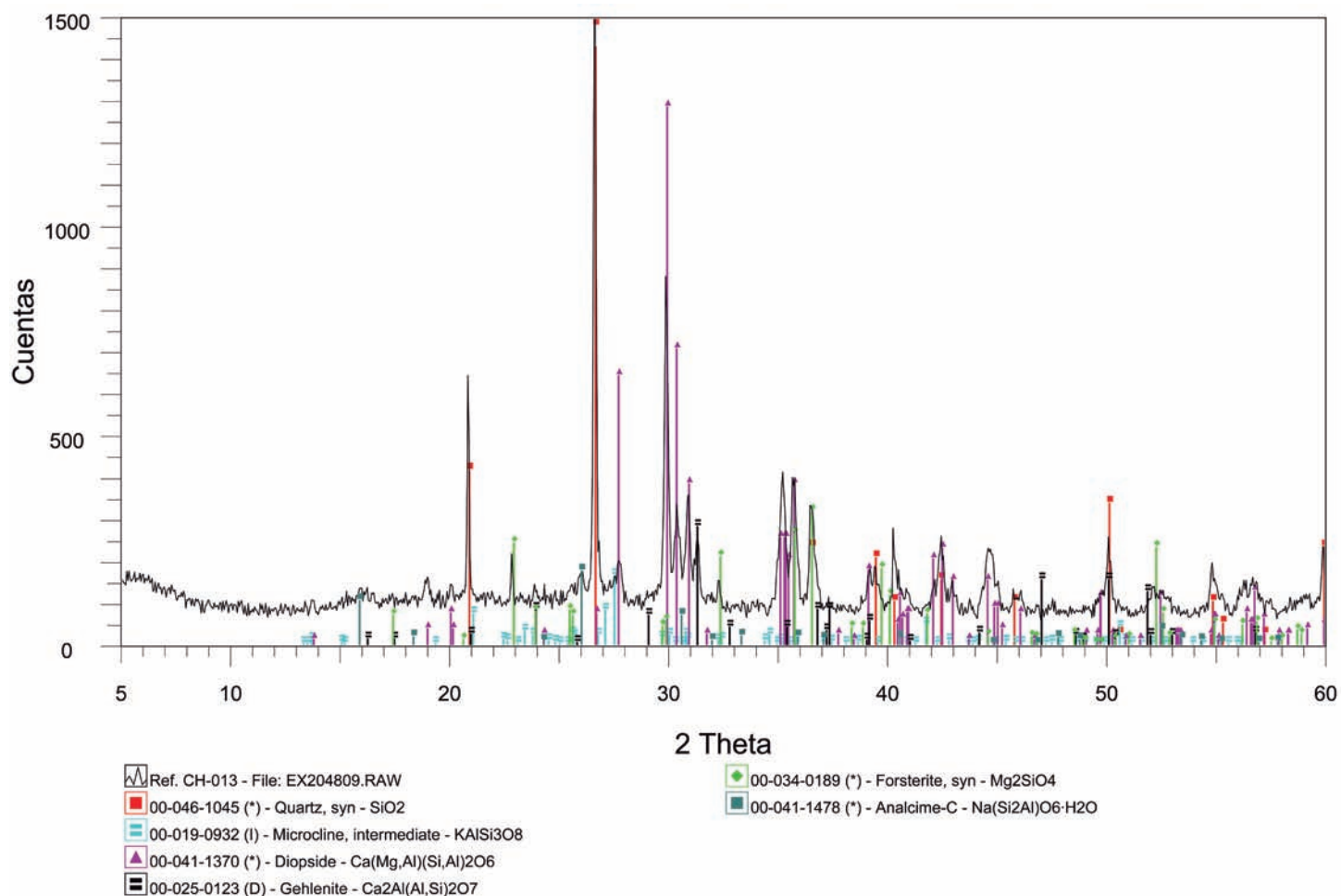
## Referencia: CH-013

FORMA: Plato con ala marcada de perfil cóncavo y base plana.

PROPIETARIO: Museo de Albacete. N° INV.: CE16675.  
Donación del Museo Parroquial de Liétor (N° INV. 65).

MEDIDAS: Altura: 2,5 cm.; diámetro: 18 cm.; diámetro base: 7, 8 cm.

CRONOLOGÍA: S. XVII.





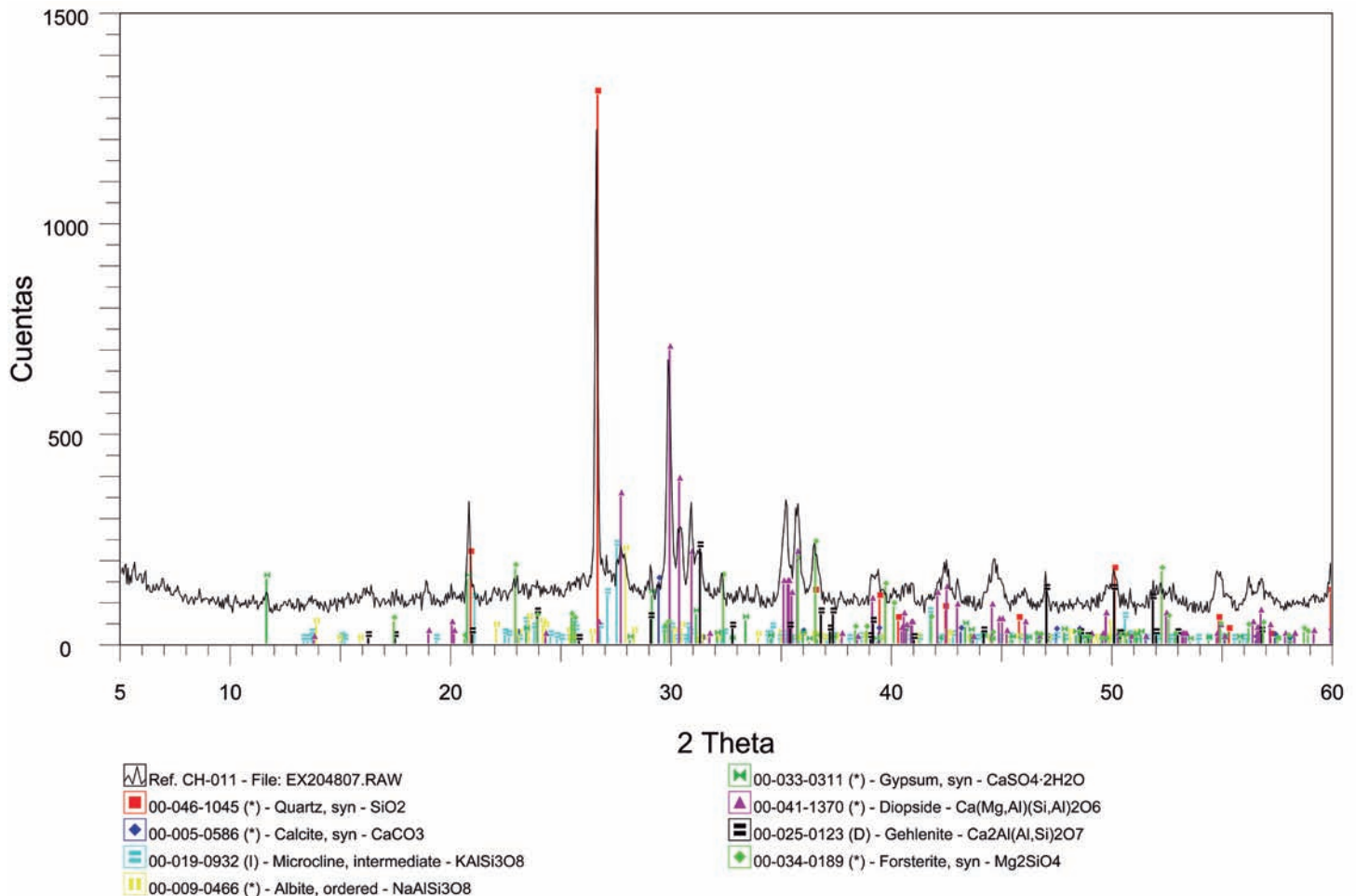
## Referencia: CH-011

FORMA: Gran plato de perfil cóncavo con ala marcada y anillo en el solero.

PROPIETARIO: Fundación Godia, Barcelona. Nº INV.: 1183

MEDIDAS: Altura: 8,5 cm.; diámetro: 41,7 cm.; diámetro base: 17,3 cm.

CRONOLOGÍA: Siglo XVIII.





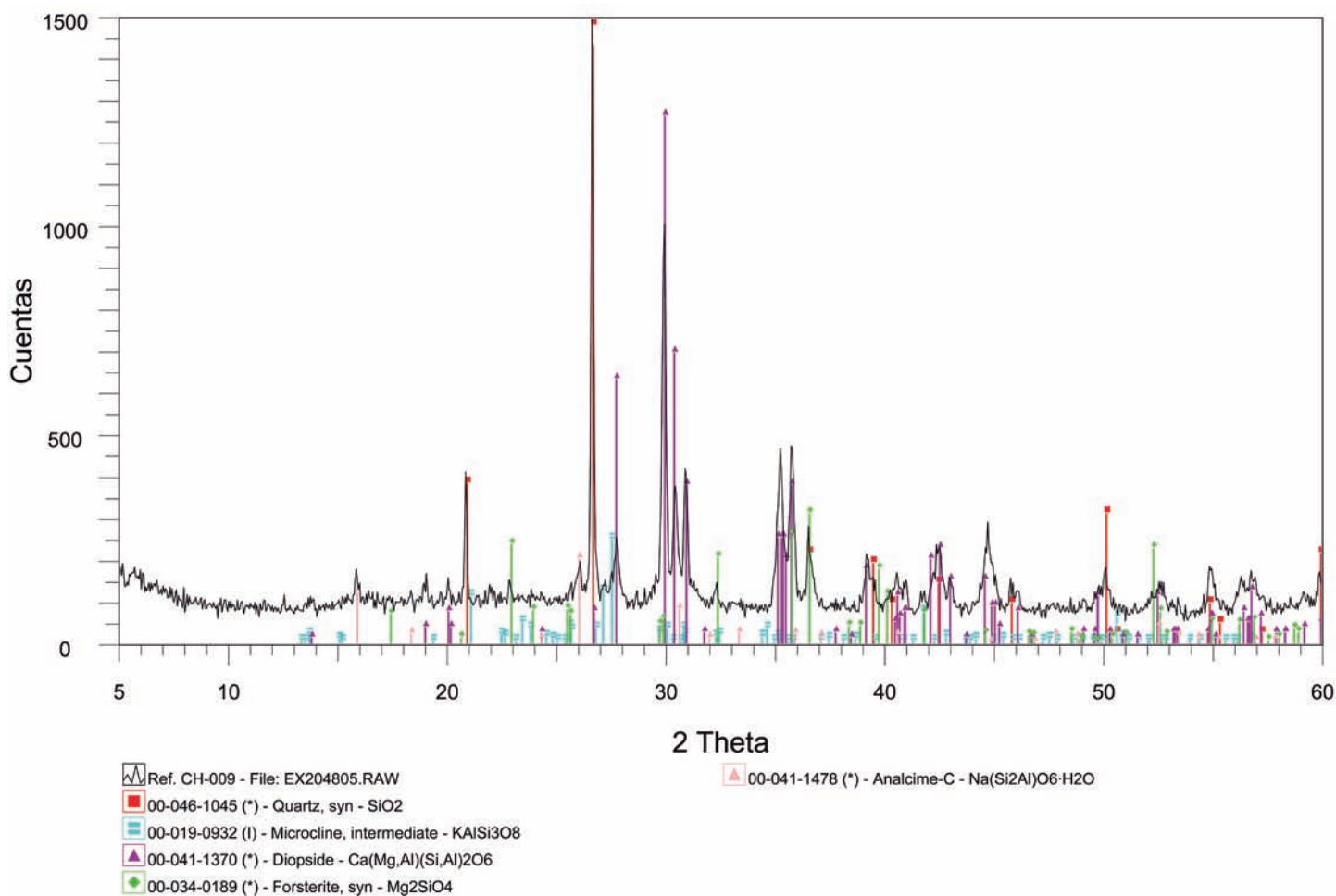
## Referencia: CH-009

FORMA: Platillo. Hecho a torno.

PROPIETARIO: Museo Parroquial de Peñas de San Pedro (Albacete).

MEDIDAS: Altura: 3 cm.; diámetro: 18,5 cm.; diámetro base: 8 cm.

CRONOLOGÍA: Siglo XVIII





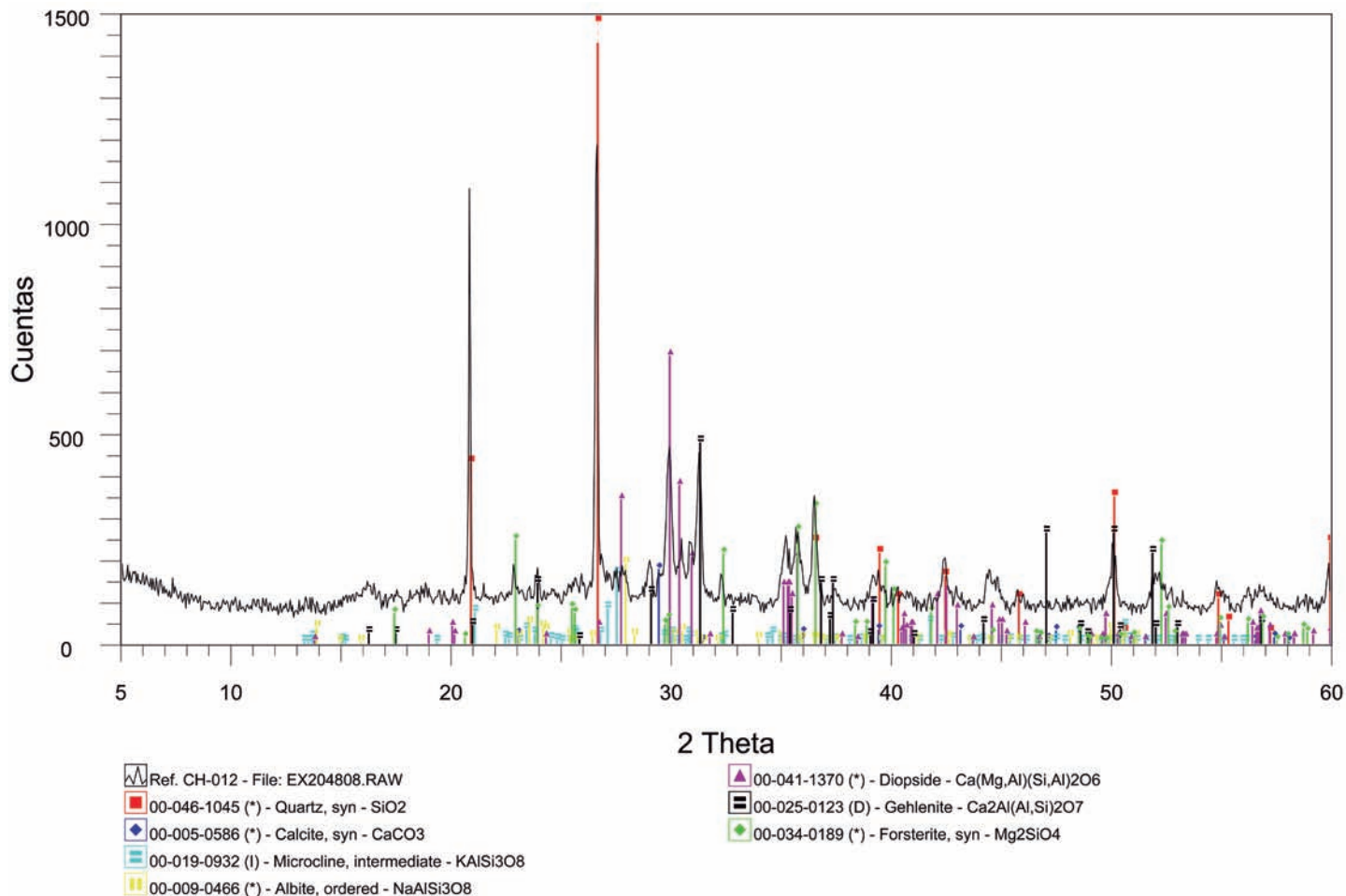
## Referencia: CH-012

FORMA: Bote de farmacia de forma cilíndrica con estrangulamiento en el centro del cuerpo, carenas suaves, borde exvasado y base plana.

PROPIETARIO: Colección J. M. Rovira (Barcelona).

MEDIDAS: Altura: 27 cm.; diámetro boca: 11,3 cm.; diámetro base: 9,5 cm.

CRONOLOGÍA: Siglo XVIII.





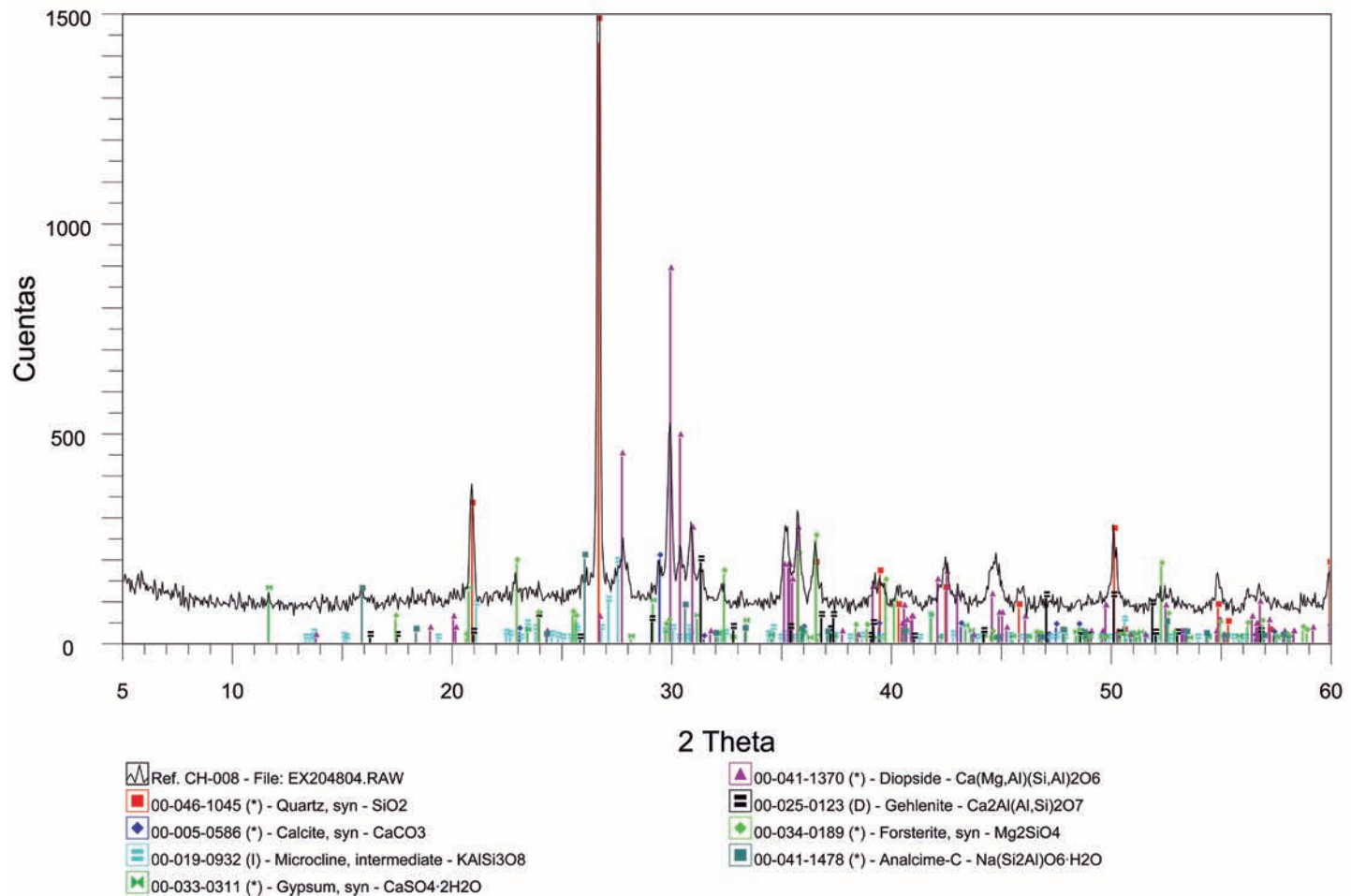
## Referencia: CH-008

FORMA: Zafa o lebrillo de perfil acuencado, con un estrecho labio plano y anillo en el solero.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellín. Nº INV.: 95- 091-1

MEDIDAS: Altura: 16,5 cm.; diámetro: 40,5 cm.; diámetro base: 14 cm.

CRONOLOGÍA: Siglo XIX.







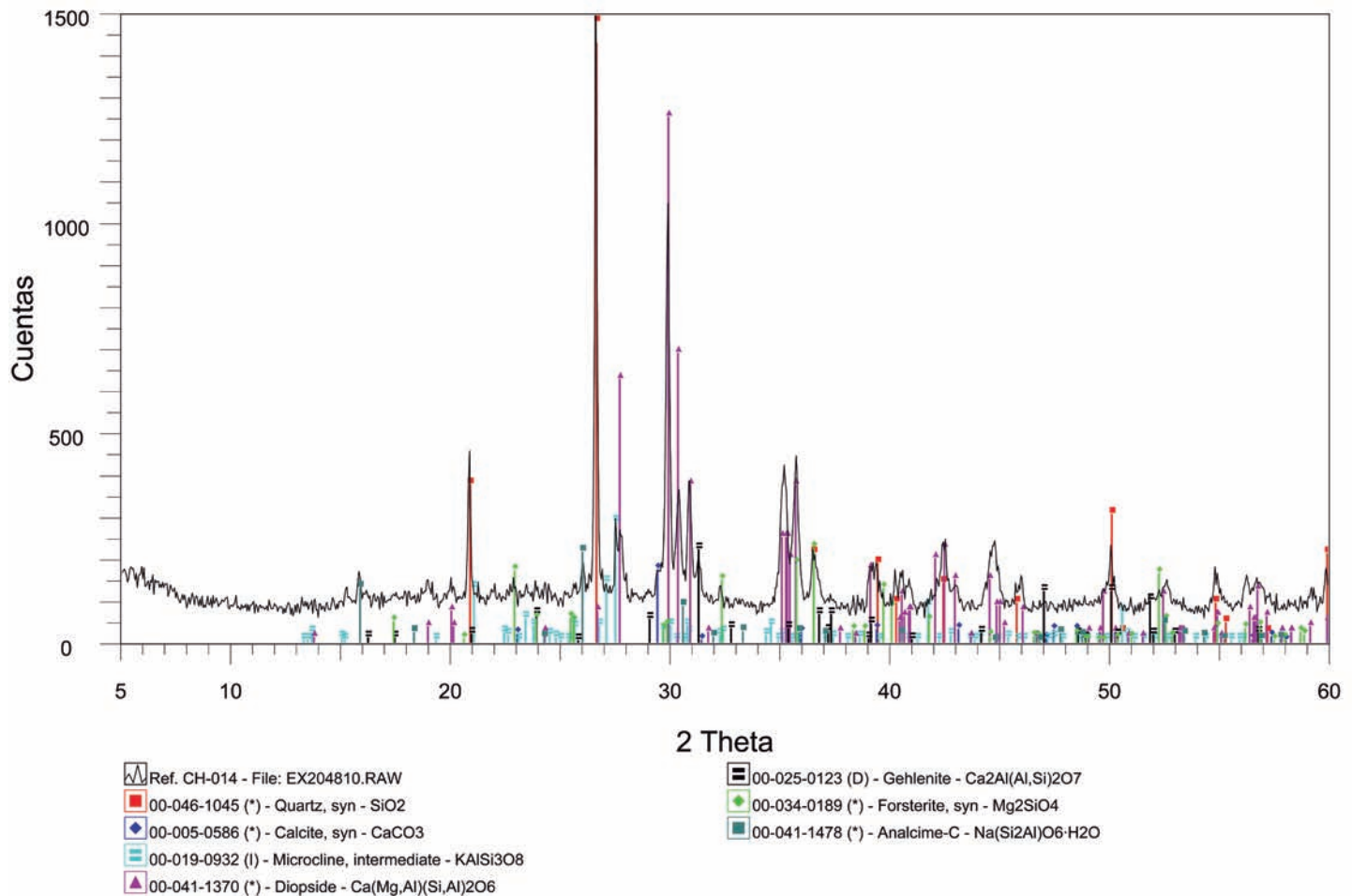
## Referencia: CH-014

FORMA: Plato de perfil cóncavo con ancha ala marcada de perfil ligeramente cóncavo y base plana.

PROPIETARIO: Colección J. M. Rovira (Barcelona).

MEDIDAS: Altura: 6,7 cm.; diámetro: 25,9 cm.; grosor de pared: 0,6 cm. el borde y 0,9 cm. el fondo.

CRONOLOGÍA: Siglo XIX.





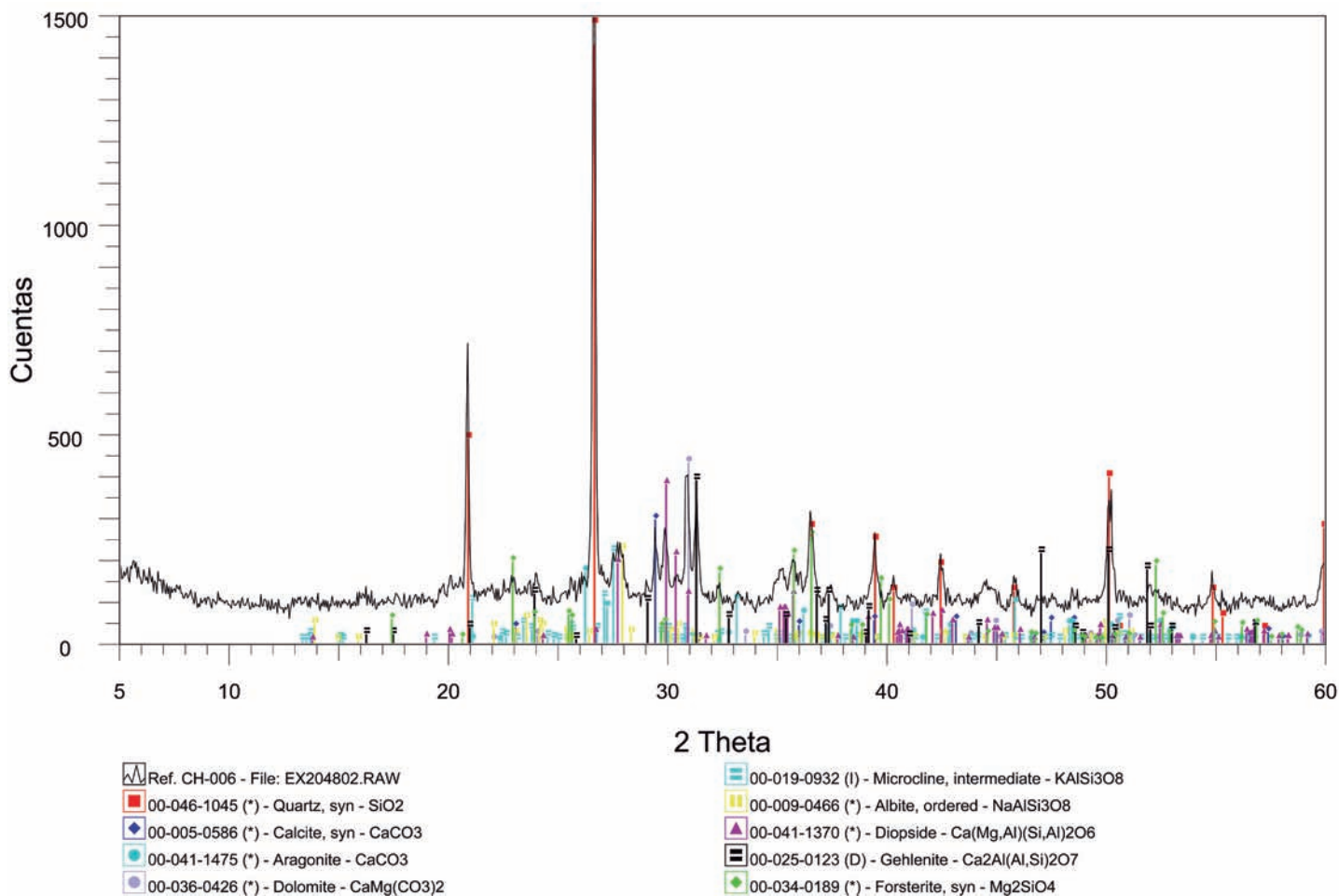
## Referencia: CH-006

FORMA: Plato grande con la pared cóncava y ala marcada. Anillo en el solero.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellín. N° INV.: 2005-001-03

CRONOLOGÍA: Siglo XIX

MEDIDAS: Altura: 11 cm.; diámetro: 33,7 cm.; diámetro base: 12,6 cm.





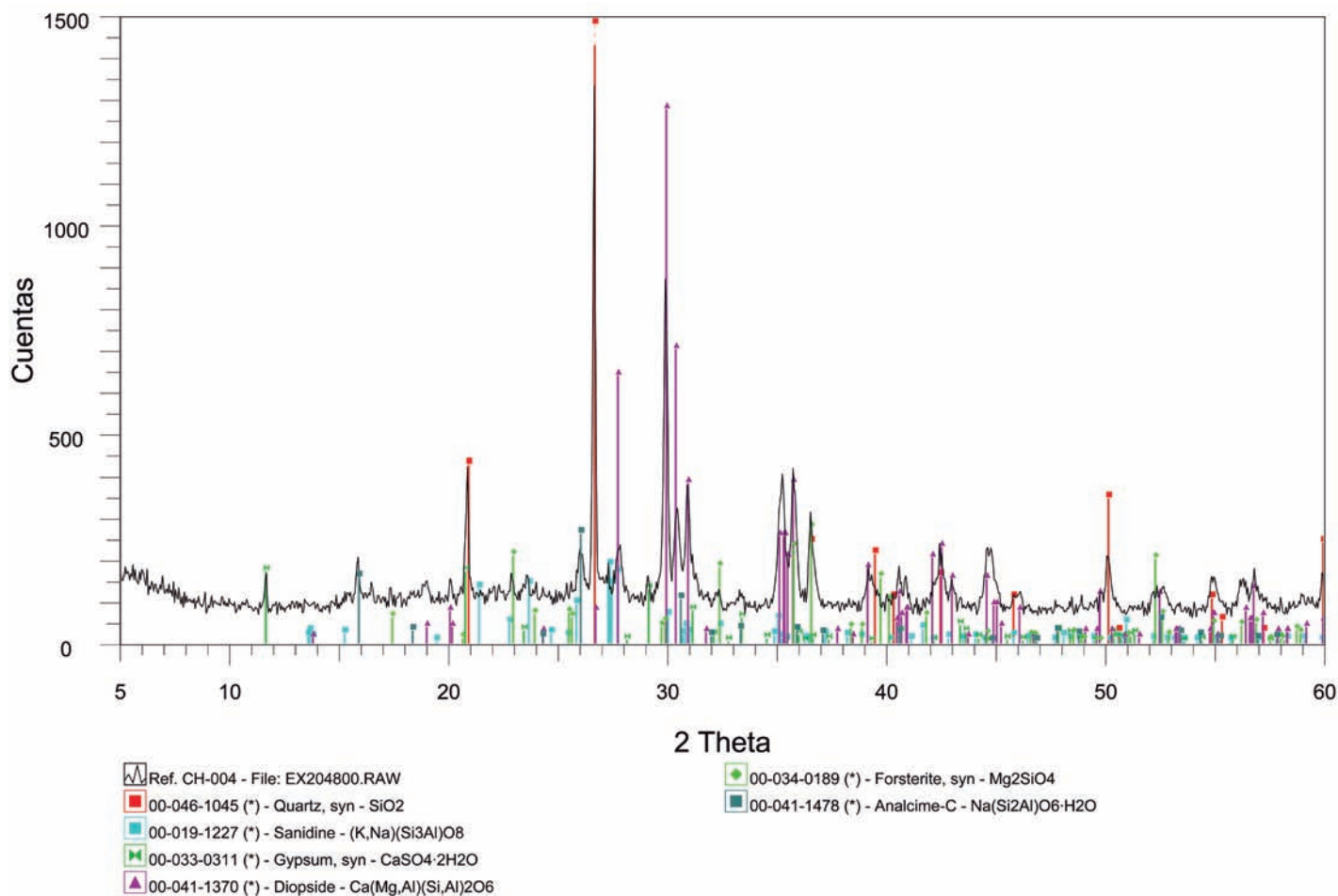
## Referencia: CH-004

FORMA: Olambrilla con formato cuadrado.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellín. Nº INV.: CH2003-001-1.  
Depósito del Museo de Albacete.

MEDIDAS: 9 cm. de lado. Grosor: 1,5 cm.

CRONOLOGÍA: Mediados del S. XVIII.







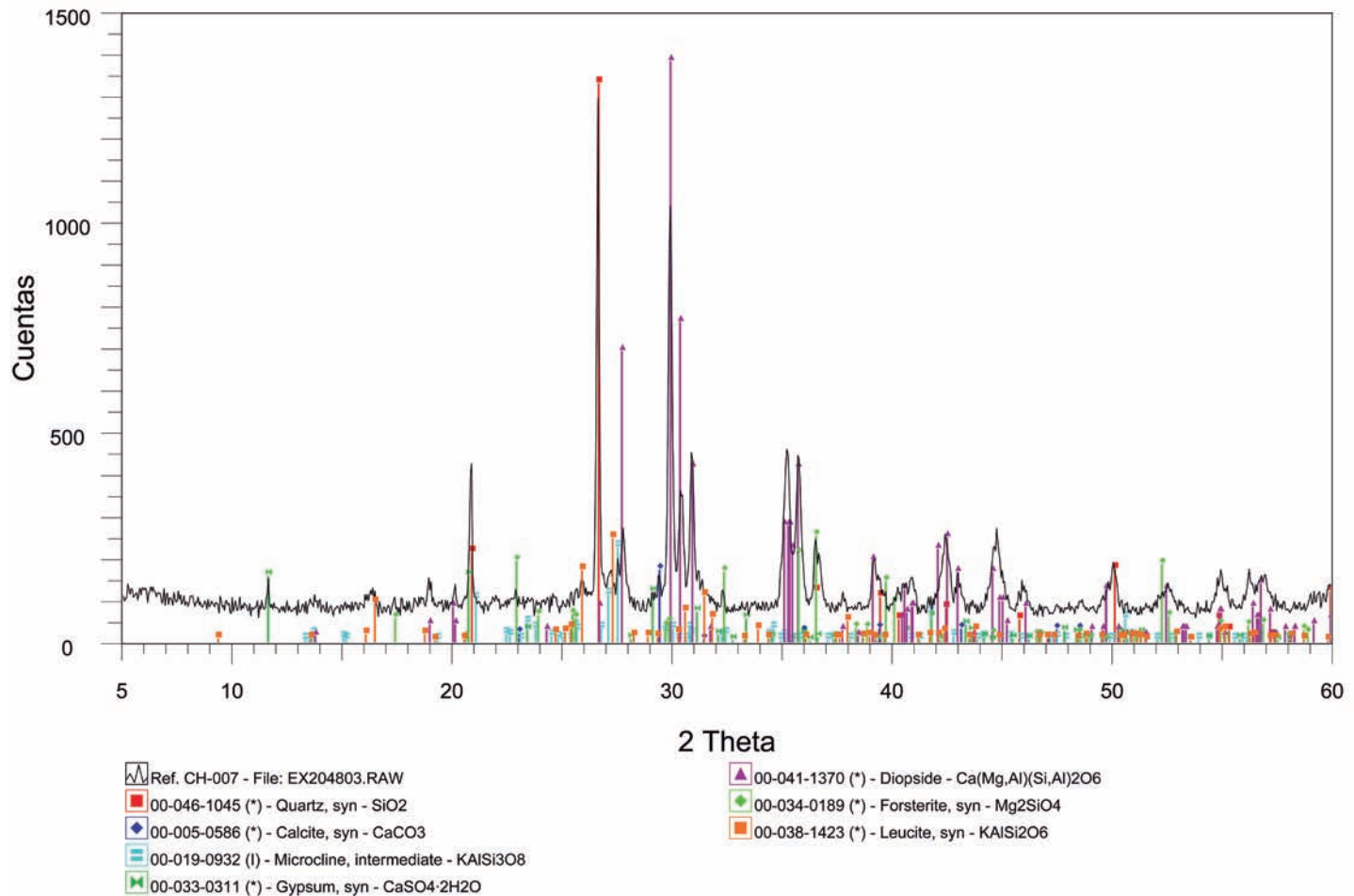
## Referencia: CH-007

FORMA: Cruz de azulejos.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellín.

MEDIDAS: 96 x 73 cm.

CRONOLOGÍA: 1721.





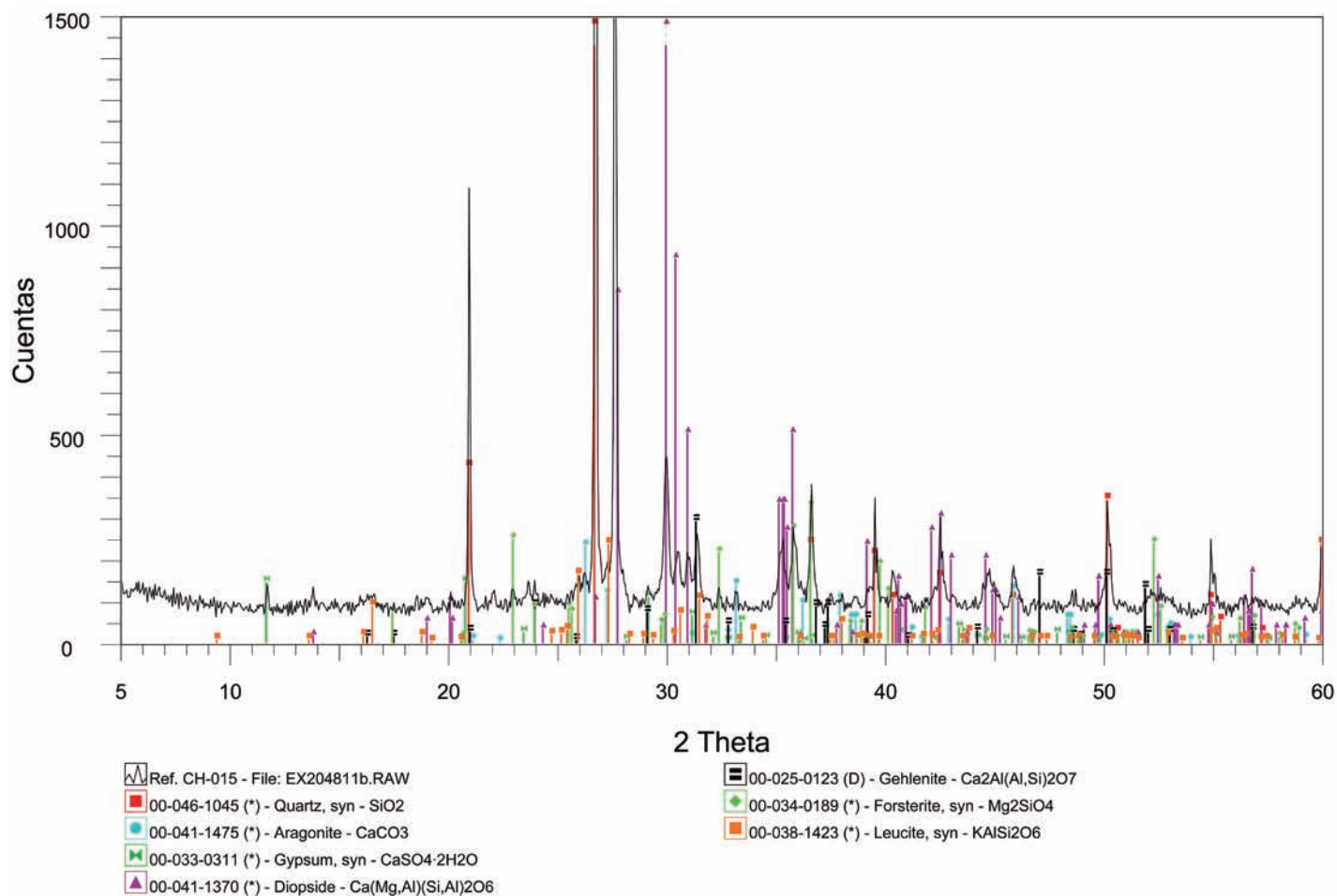
## Referencia: CH-015

FORMA: Azulejo. Baldosa. Forma parte de un grupo de cuatro piezas que forman una unidad. La muestra se extrae del azulejo superior derecho.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellín.

MEDIDAS: 14,8 x 14,8 cm. Grosor: 1,5 cm.

CRONOLOGÍA: Siglo XVIII.





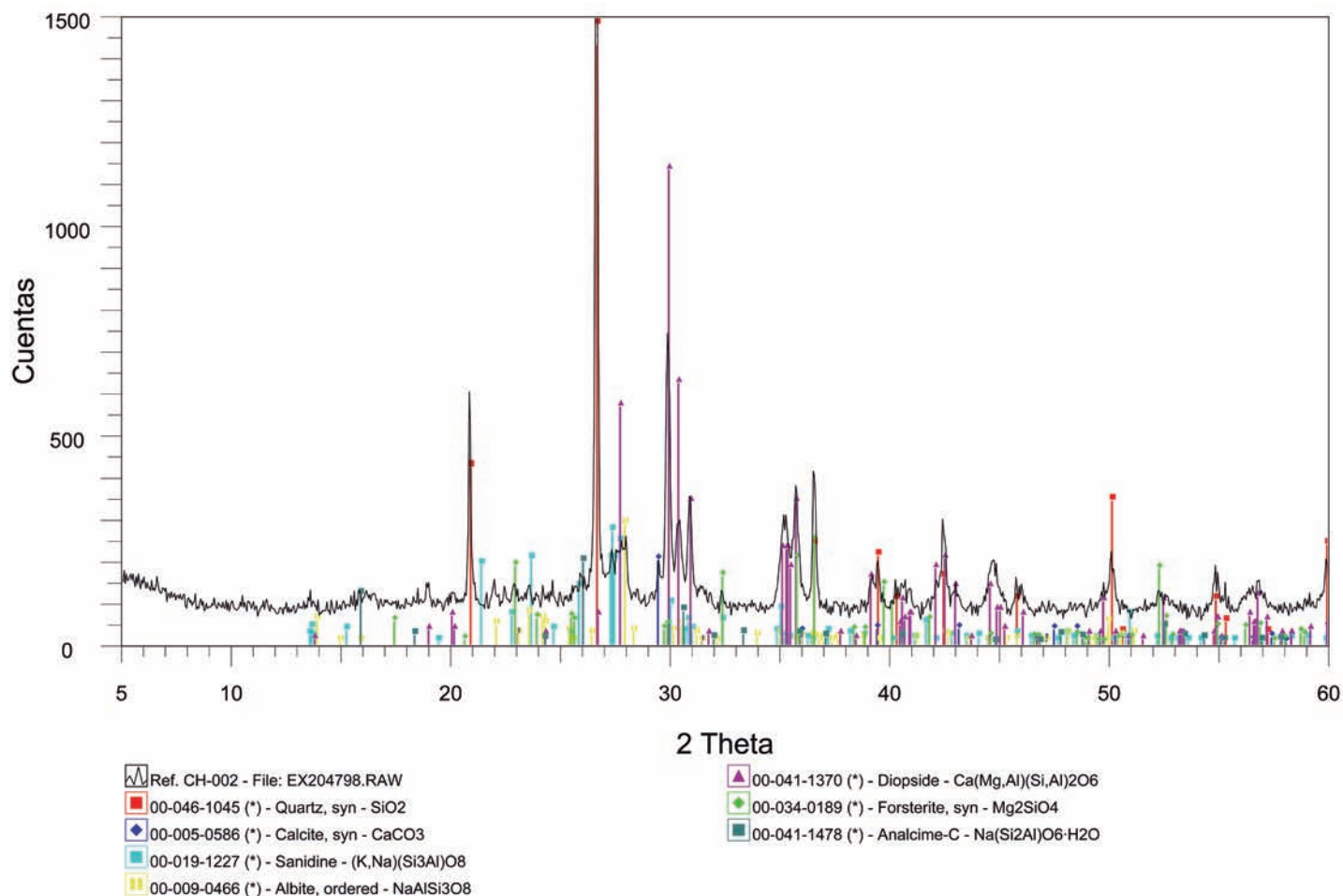
## Referencia: CH-002 / Desecho de testar.

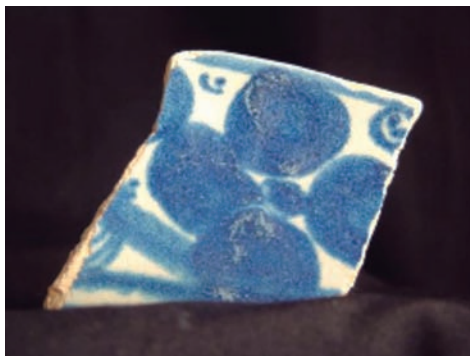
FORMA: Platillo con ala marcada de perfil cóncavo y base plana.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellin. Nº INV.: 99-005-3.

MEDIDAS: Altura.: 3 cm.; diámetro: 16 cm.; diámetro base; 7,5 cm.

CRONOLOGÍA: S. XVII.





## Referencia: CH-005 / Desecho de testar.

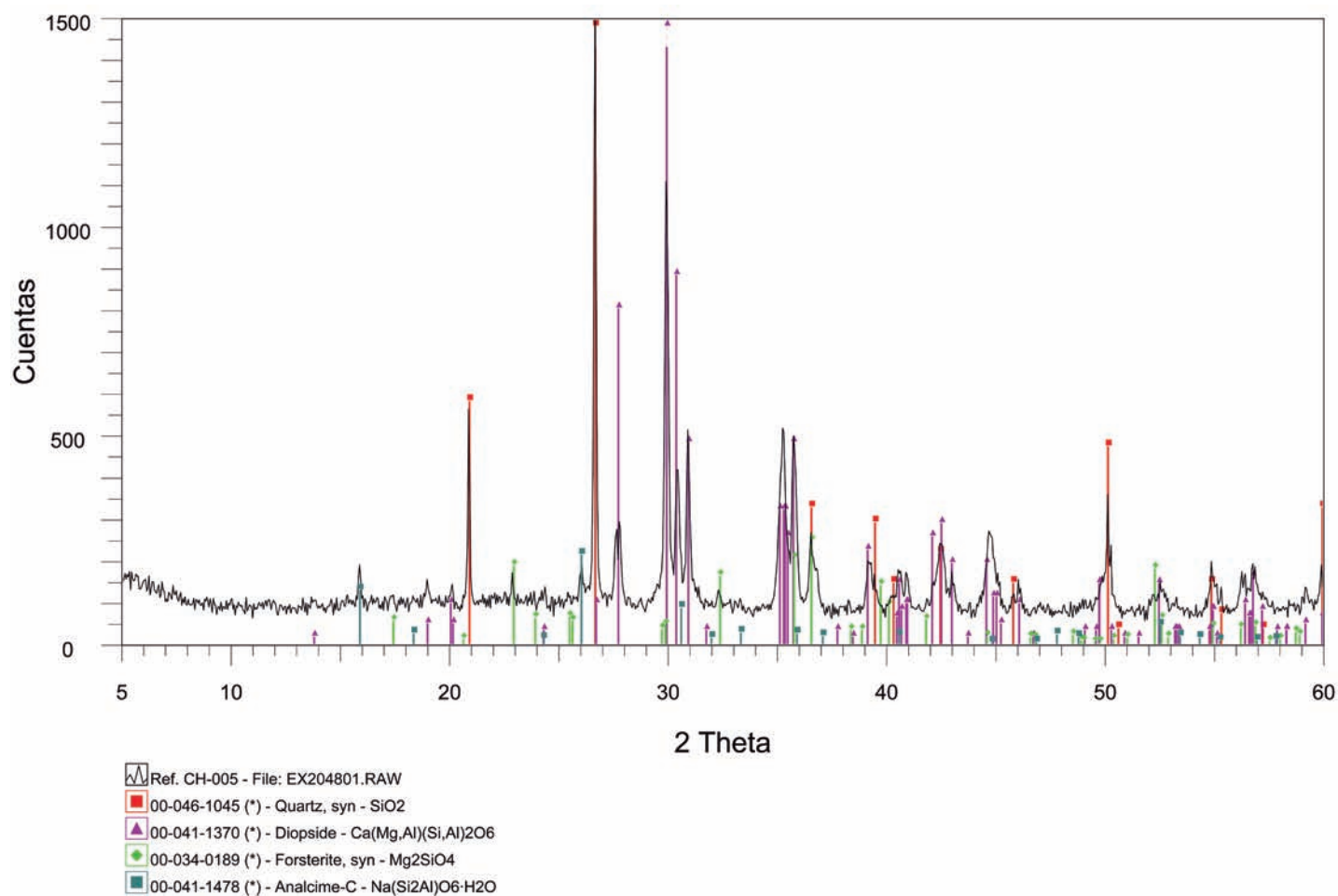
FORMA: Fragmento del ala de un plato.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellin. Nº INV.: CC-2002.

Depósito del Museo de Albacete

MEDIDAS: Medida máxima conservada: 6, 5 cm.

CRONOLOGÍA: Siglo XVIII.



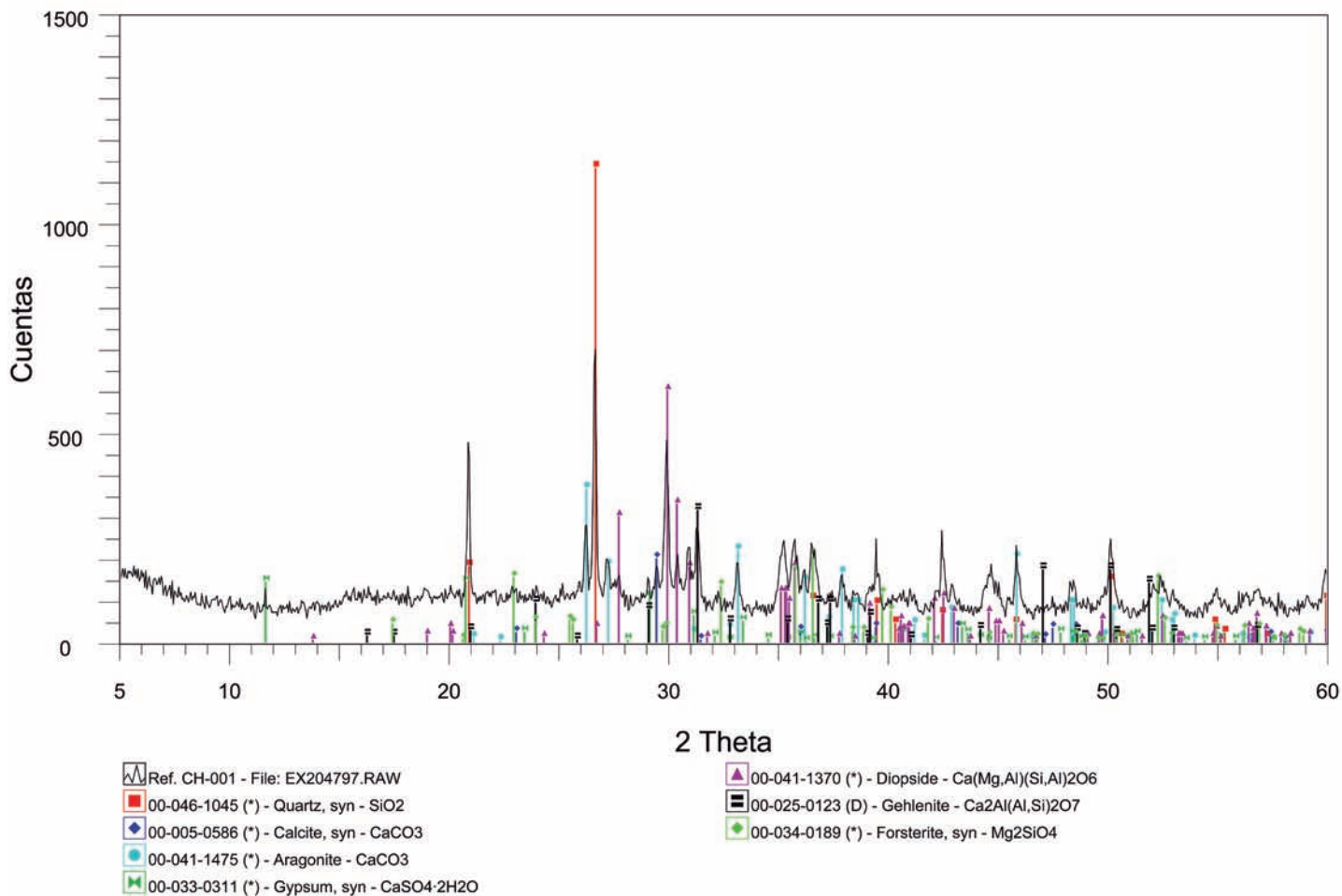


## Referencia: CH-001 / Desecho de testar.

FORMA: Dos fragmentos de fuentes pegadas durante la cocción.

PROPIETARIO: Museo Comarcal de Hellín.

MEDIDAS: Diámetro aproximado máximo: indefinido; altura máxima conservada: 6,3 cm.; longitud máxima: 8 cm.



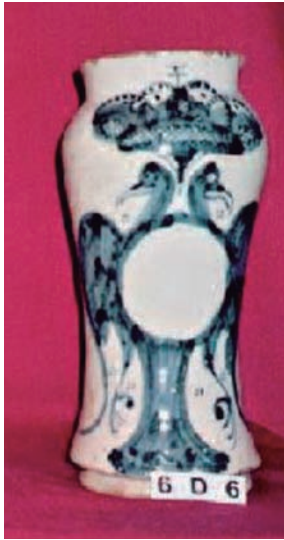


## ANEXO II

### Espectros de difracción de otras piezas de la Península Ibérica

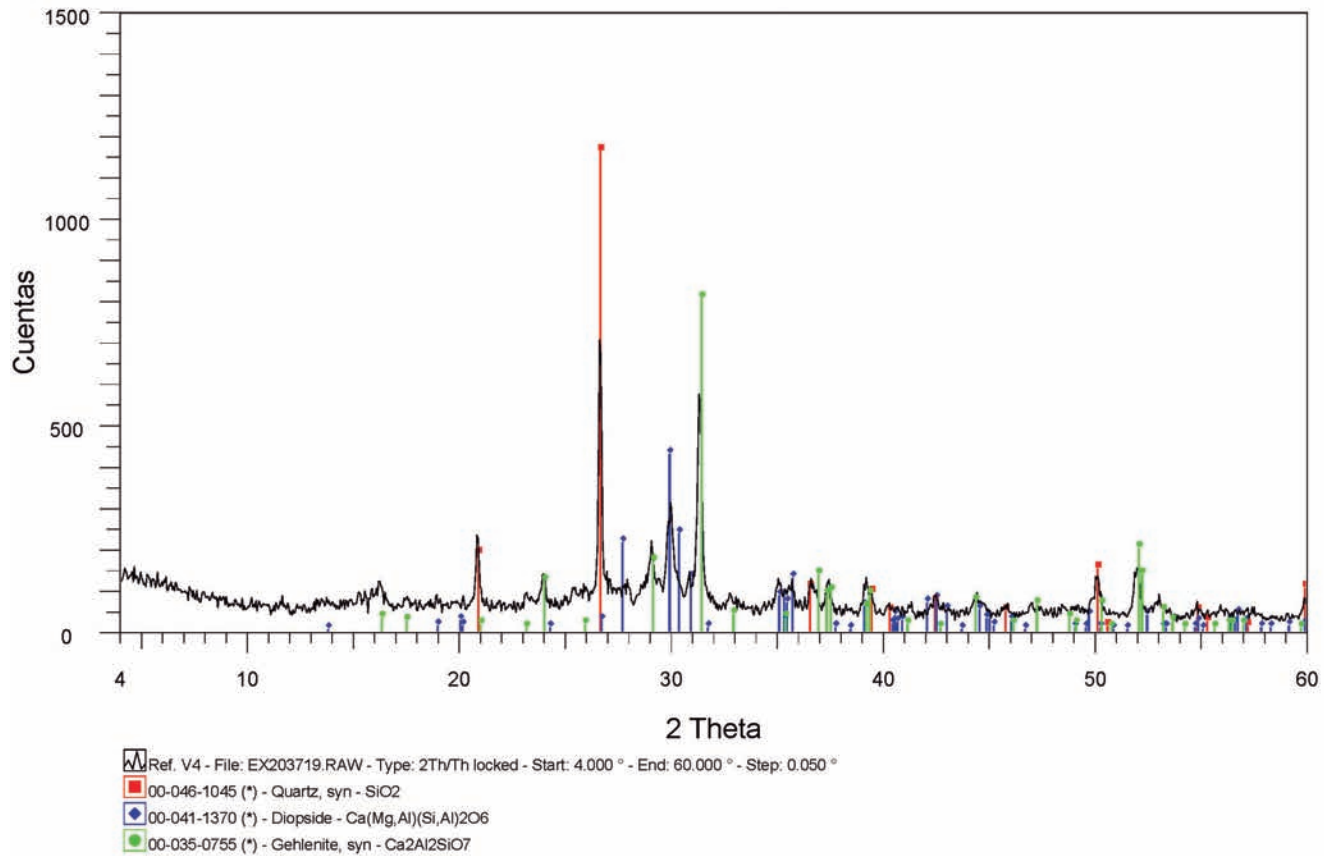






Nº Código: V4

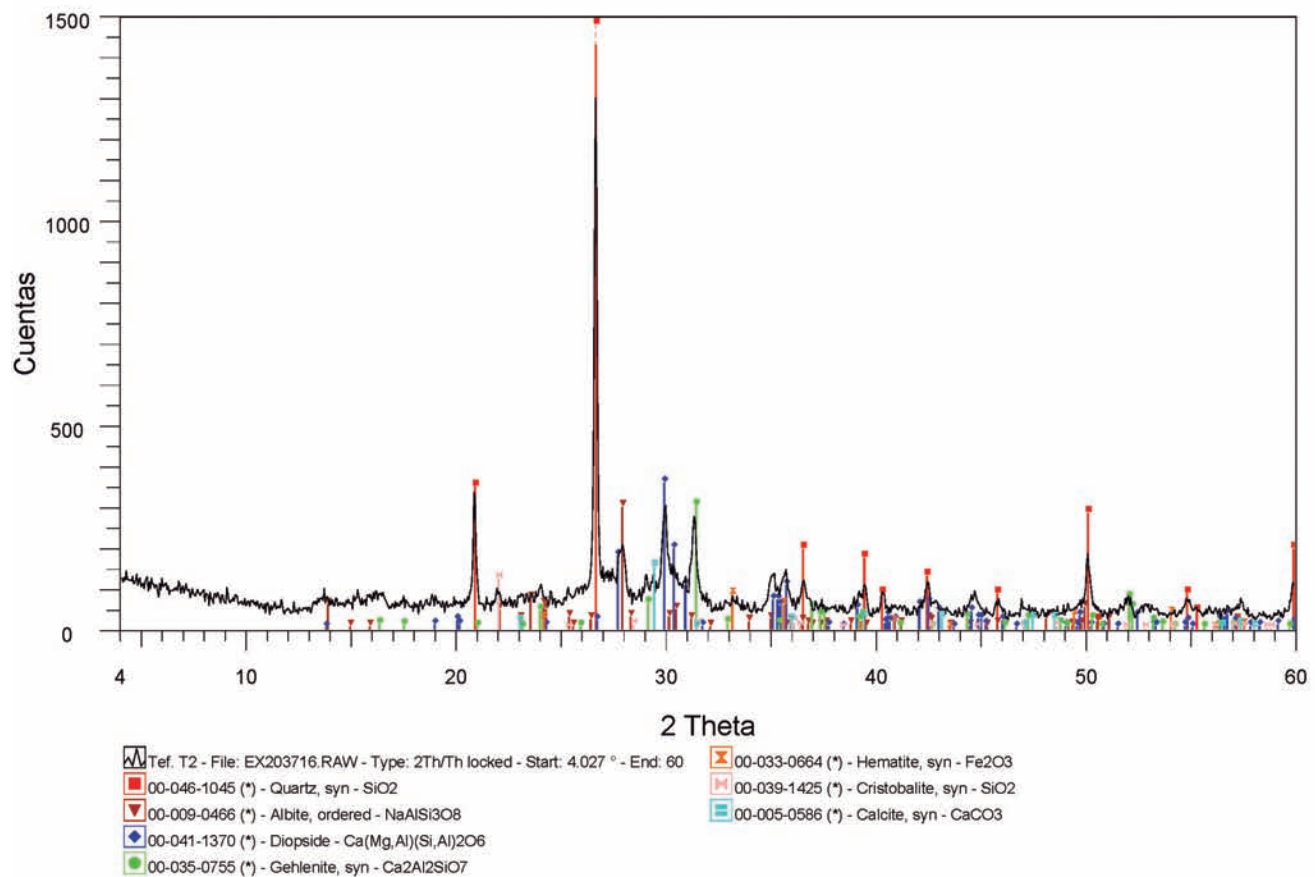
Bote de farmacia fabricado en Villafeliche

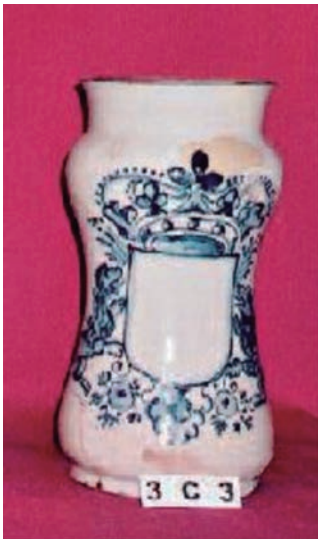




## Nº Código: T2

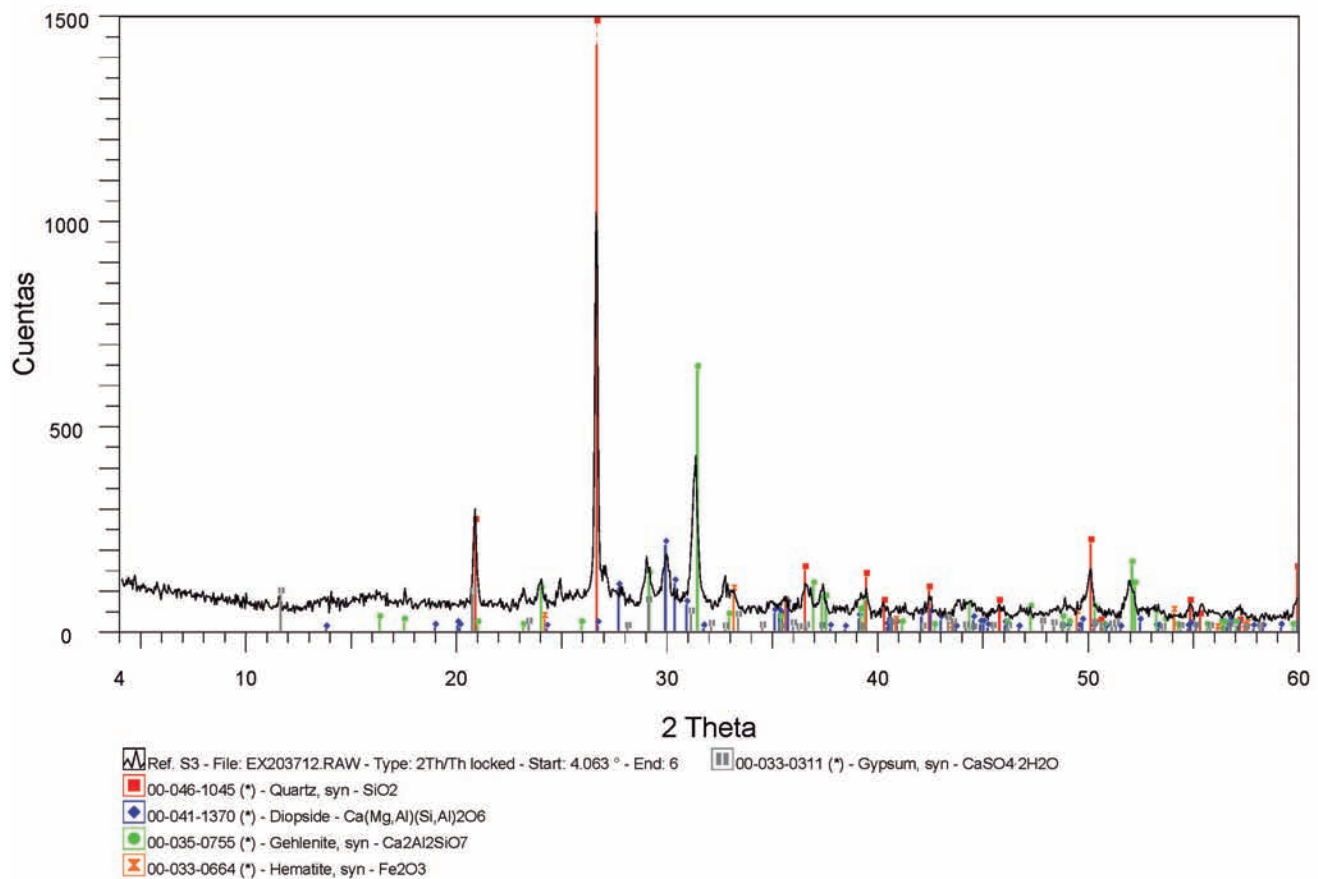
La procedencia de esta pieza es Teruel.





Nº Código: S3

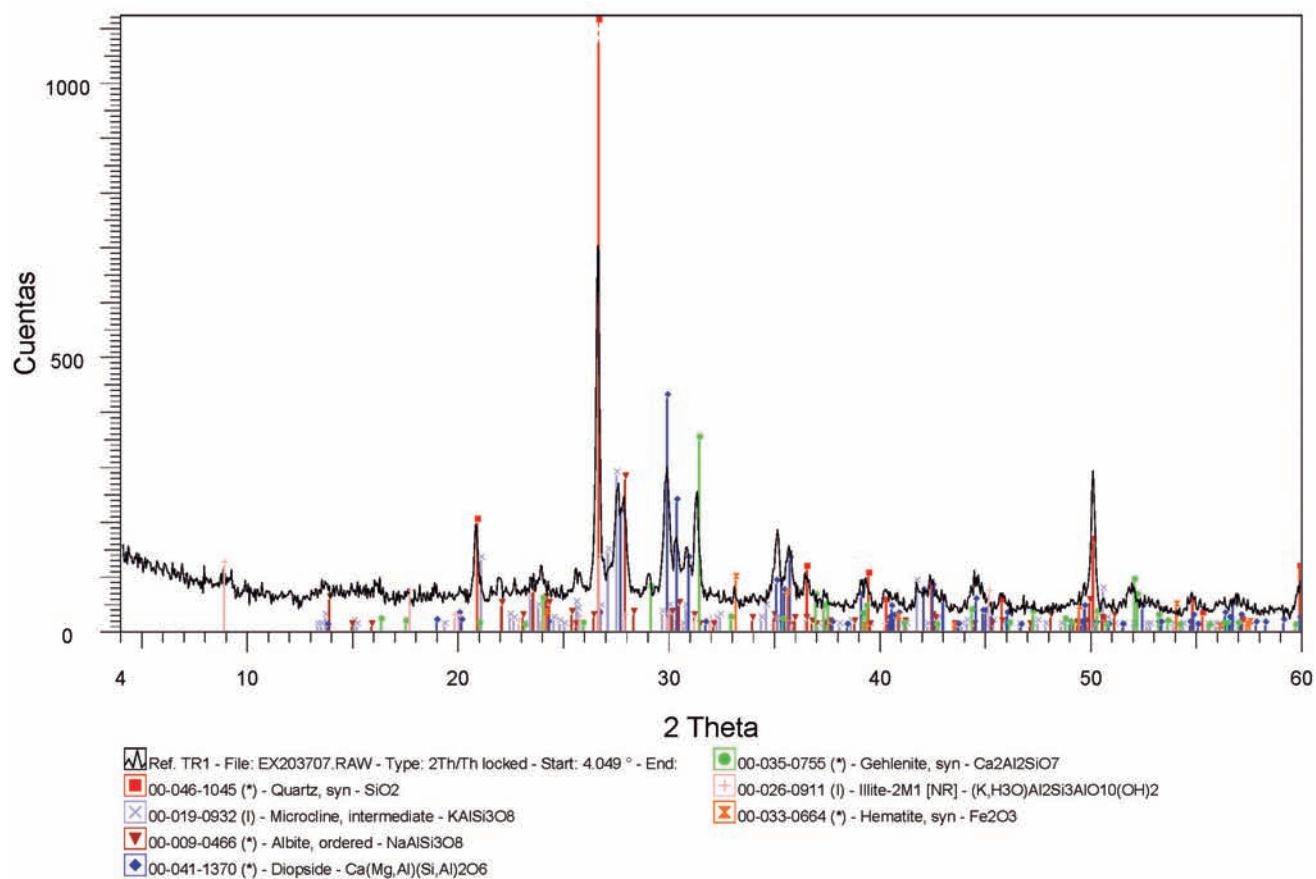
Pieza elaborada en Sevilla.





Nº Código: TR1

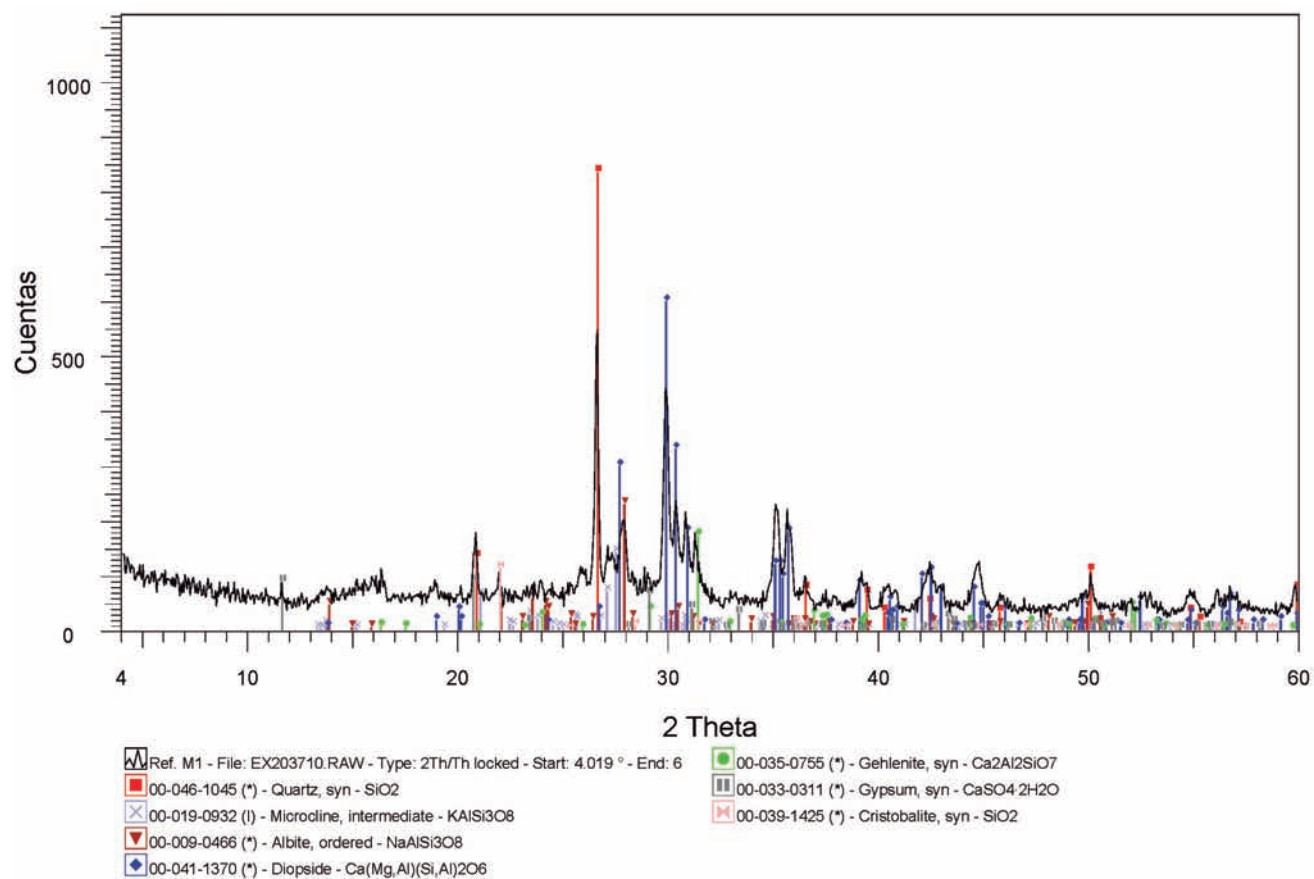
Pieza elaborada en Talavera de la Reina.





Nº Código: M1

Pieza procedente de Muel.





## BIBLIOGRAFÍA





## Bibliografía

(AINAUD, 1952) Ainaud de Lasarte, J., *Ars Hispaniae*. Historia Universal del Arte Hispánico. Vol. X. Madrid, (1952).

(ALVARO, 1978) Alvaro Zamora, M. I. , *Cerámica Aragonesa Decorada. Desde la expulsión de los moriscos a la extinción de los alfares (Siglos XVII – Fines XIX/ Com. XX)*. Zaragoza, (1978).

(BUXEDA, 2002) Buxeda, J., Mommsen, H., Tsolakidou, A., "Alterations of Na, K, and Rb concentrations in Mycenaean pottery and a proposed explanation using X-ray diffraction", *Archaeometry*, nº 44, 187 (2002).

(CLEMENTE, 2013) Clemente López, P., "Benditeras de loza esmaltada del antiguo Reino de Murcia: Los alfares de Hellín (Albacete)". *Butlletí Informatiu de Ceràmica*, nº 108, juliol-desembre, 56-65 (2013)

(GENERA, 1980) Genera, M., Plana, F., Traveria, A., "Aplicació de l'anàlisi per difracció de raigs X en l'estudi de les ceràmiques prehistòriques i protohistòriques". *Butlletí Informatiu de Ceràmica*, nº 5, 11-15 (1980).

(GRANADOS, 2015 a) Granados Ortega, M<sup>a</sup> A., "Cerámica de Hellín en el Museo Arqueológico". *Cerámica = Keramos: revista trimestral del arte y ciencia de la cerámica*, nº 137, Madrid, 68-73 (2015)

(GRANADOS, 2015 b) Granados Ortega, M<sup>a</sup> A., "Cerámica de Hellín en el Museo Arqueológico II". *Cerámica = Keramos: revista trimestral del arte y ciencia de la cerámica*, nº 138, Madrid, 68-73 (2015)

(IÑAÑEZ, 2007). Iñáñez, J. G., *Caracterització arqueomètrica de la ceràmica vidrada decorada a la Baixa Edat mitjana al Renaixement dels principals centres productors de la Península Ibérica*, Tesis Doctoral, v. 0205107-115739, Universidad de Barcelona, Barcelona (2007).

(IÑAÑEZ, 2009) Iñáñez, J. G., Speakman, R. J., Buxeda, J., Glascock, M. D., "Chemical characterization of tin-lead glazed pottery from the Iberian Peninsula and the Canary Islands: initial steps toward a better understanding of Spanish colonial pottery in the Americas", *Archaeometry*, nº 51, 546 (2009).

(JORGE, 1956) Jorge Aragoneses, M., *Museo Arqueológico de Murcia*. Madrid, (1956).

(LA CROIX, 1779) La Croix, L. A. De, *Geografía moderna escrita en francés por el Abad Nicollé de la Croix traducida y aumentada con una geografía nueva de España el Doctor Josef Jordán y Frago, doctoral de la Real Capilla del Convento de la Encarnación de esta Corte*, Tomo III, Madrid, (1779).

(LEUNG, 1999) Leung, P.L., Yang, B., "Thermoluminescence and X-ray diffraction studies on sliced ancient porcelain samples", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, nº 155, 452-458 (1999).

(LLUBIA-LOPEZ, 1951) Llubíá Munné, L. M., López Guzmán, M., *La cerámica murciana decorada*. Murcia, (1951).

(LÓPEZ, 1998) López Precioso, F. J., "La cerámica hellinera blanca y azul. Una gran desconocida". *Zahora*, nº. 27, Albacete, 11-16 (1998).

(LÓPEZ-RUBIO, 2009) López Precioso, F.J., Rubio Celada, A., *La loza esmaltada hellinera. Una gran desconocida en la cerámica española*. Albacete, (2009).

(LÓPEZ-RUBIO, 2012) López Precioso, F.J., Rubio Celada, A., "Cerámicas de los alfares de Hellín (Albacete) en el Museo Nacional de Artes Decorativas de Madrid", *Homenaje a Alfonso Santamaría Conde*, Instituto de Estudios Albacetenses, Albacete, 321-338 (2012).

(MADOZ, 1847) Madoz, P., *Diccionario Geográfico-Estadístico Histórico de España y sus posesiones de ultramar*, Tomo IX, Madrid, (1847).

(MANIATIS, 1981) Maniatis, Y., Simopoulos, A., Kostikas A., "Mössbauer study of the effect of calcium content on iron oxide transformations in fired clays", *Journal of the American Ceramic Society*, nº 64, 263 (1981).

(MIÑANO, 1826) Miñano, S., *Diccionario Geográfico-Estadístico de España y Portugal*. Madrid, (1826).

(NAVARRO, 1980) Navarro Palazón, J., "Cerámica y vidrio", *Historia de la Región Murciana: 1805-1930: un tiempo de estancamiento y evolución*, T. VIII, Murcia, 1980, 367-379 (1980).

(NAVARRO, 1990) Navarro Pretel, F., "Muestras de cerámica antigua en los fondos del Museo Parroquial de Liétor. Catálogo, procedencia y evolución decorativa de sus dibujos y colores", *Museo*, nº 8, octubre-45, Liétor, 1-10 (1990).

(NAVARRO, 1997) Navarro Soriano, I., "El arte de la cerámica en el Museo "Jerónimo Molina". La colección de albarelos catalanes", *Revista Pleita*, nº 1, Murcia, 61-66 (1997).

(NIPHO, 1770) NIPHO, F. M., *Correo general de España y noticias importantes de agricultura, artes, manufacturas, comercio, industria y ciencia, etc.*, nº 18. Madrid, (1770).

(PEREGRINA, N, 1996): *Pots de farmacia, una col·lecció del Museu. Museu de Terrassa*, Barcelona.

(PLANA, 1992) Plana, F., "La difracciò de raigs X com a eina de caracteritzaciò de materials ceràmics", *Butll.Soc.Cat.Cien.*, Vol XIII, 449-461 (1992).

(RODRÍGUEZ-CANO, 1987) Rodríguez de la Torre, F., Cano Valero, J., *Relaciones geográfico-históricas de Albacete (1786-1789) de Tomás López*, Albacete (1987).

(ROVIRA, 2010) Rovira i Anglada, J. M., *Estudio para la identificación del origen de un conjunto homogéneo de piezas de cerámica mediante técnicas analíticas* (editado por J. M. Rovira), Gerona, (2010).

(RUBIO, 2004), Rubio Celada, A., "Vajillas hellineras en el Liétor de los siglos XVIII y XIX", *XXII Ciclo de conciertos en los órganos de Liétor*, mayo-junio. Liétor, 29-35 (2004).

(RUBIO, 2007) Rubio Celada, A., "Cerámicas hellineras del antiguo Reino de Murcia en colecciones catalanas", *Butlletí Informatiu de Ceràmica*. nº 92-93, Barcelona, 21-33 (2007).

(RUBIO, 2008a) Rubio Celada, A., "Una pila bautismal de cerámica hellinera en el antiguo convento de los agustinos de Campillo de Altobuey", *Patrimonio y vida. IV Jornadas Patrimonio en la Mancha-La Conquense*. Cuenca, 53-61 (2008).

(RUBIO, 2008b) Rubio Celada, A., "Fichas catalográficas 208 y 209", *Fundación Francisco Godia. La colección*. Barcelona, 268-269 (2008).

(RUBIO, 2008c) Rubio Celada, A., "Un ejemplo de azulejería preindustrial en el antiguo Reino de Murcia: el pavimento del camarín del Rosario de Hellín", *El azulejo, evolución técnica: del taller a la fábrica, Actas del XI Congreso Anual de la Asociación de Ceramología. Onda, del 7 al 9 de diciembre de 2006*, Castellón, 97-111 (2008).

(RUBIO, 2012a) Rubio Celada, A., "Pila benditera", *Boletín "al detalle"*, Museo del Greco, septiembre de 2012, 91-96. <http://museodelgreco.mcu.es/web/docs/boletin12.pdf>. [En línea] [Consulta: 1-XI-2015] (2012)

(RUBIO, 2012b) Rubio Celada, A., "¿Sabes qué soy? La loza esmaltada hellinera", *La Tribuna de Albacete*, viernes 10 de febrero. Albacete, 19 (2012).

(SANZ-DELGADO, 1991) Sanz Montero, D., Delgado Gamo, S., *Viaje a los alfares perdidos de Albacete*. Madrid, (1991).

(SÁNCHEZ, 2002) Sánchez, S., Bosch, F., Gimeno, J. V., Yusá, Domenech, J. A., "Application of XRF, XRD, thermal analysis, and voltammetric techniques to the study of ancient ceramics", *Anal. Bioanal. Chem*, nº 373, 893 (2002).

(SCHOMBURG, 1991) Schomburg, J., "Thermal reactions of clay minerals: their significance as "archaeological thermometers" in ancient potteries", *Applied Clay Science*, nº 6, 215-220 (1991).

(SCHWEDT, 2001) Schwedt, A., Mommsen, H., Zacharias, N., Garrigos, J. B., "Analcime crystallization and compositional profiles-comparing approaches to detect post-depositional alterations in archaeological pottery", *Archaeometry*, nº 48, 237-251 (2001).

(SHLENS, 2009) Shlens, J., *A Tutorial on Principal Component Analysis* (2009), <http://www.snI.salk.edu/~shlens/pca.pdf>. [En línea] [Consulta: 8-10-2015]





DIPUTACIÓN DE ALBACETE

Los autores de este libro forman un equipo multidisciplinar, cuya colaboración ha permitido abordar el estudio de la cerámica hellinera desde distintos aspectos, tanto históricos y artísticos como técnicos. Por un lado Josep M. Rovira experto en cerámica farmacéutica, Abraham Rubio y Fº Javier López Precioso, historiadores de la cerámica de Hellín, autores del primer libro sobre esta producción cerámica, y por otro lado Jordi Ibáñez y José Joaquín Elvira, del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA) del CSIC en Barcelona, junto a Felicià Plana, del Instituto de Diagnòsis Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), también del CSIC en Barcelona, que han hecho los análisis de las pastas cerámicas de Hellín, que son la verdadera aportación de este libro.

En el anterior libro de cerámica de Hellín, publicado también por el Instituto de Estudios Albacetenses Don Juan Manuel, se presentaba por primera vez un corpus de las distintas producciones hellineras a los largo de los siglos XVII, XVIII y XIX, que supuso una auténtica revolución en la historia de la cerámica histórica española, pues además de dar a conocer un centro productor desconocido que abastecía a todo el antiguo Reino de Murcia, posteriormente en el XIX Murcia y Albacete, también permitió reclasificar muchas cerámicas en museos y colecciones. Estas se habían atribuido tradicionalmente a Aragón, Valencia o Cataluña entre otros centros. Muchos historiadores y expertos, ante tal revolución, dudaban de que realmente estas cerámicas se hicieran en Hellín. Gracias a los análisis ahora realizados, se ha podido demostrar que estas cerámicas tienen un componente mineralógico que las distingue de las arcillas con que se elaboran las cerámicas de otros centros productores históricos de la península como Talavera, Triana o Aragón, y que se hicieron en Hellín.