

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/281331601>

La tecnología de la cerámica mudéjar entre los siglos XIV y XVI: Las producciones esmaltadas de las zonas de Teruel y Zaragoza

Article · January 2005

CITATIONS

12

READS

1,161

3 authors, including:



Josefina Pérez-Arantegui
University of Zaragoza

91 PUBLICATIONS 1,663 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Hyperspec [View project](#)



study of ancient ceramic technology [View project](#)

LA TECNOLOGÍA DE LA CERÁMICA MUDÉJAR ENTRE LOS SIGLOS XIV Y XVI: LAS PRODUCCIONES ESMALTADAS DE LAS ZONAS DE TERUEL Y ZARAGOZA

THE TECHNOLOGY OF HISPANO-MOESQUE CERAMICS BETWEEN THE 14TH AND THE 16TH CENTURIES: TIN-GLAZED CERAMIC PRODUCTIONS IN THE AREAS OF TERUEL AND ZARAGOZA

J. Pérez-Arantegui¹, J. M. Ortega² y C. Escriche²

1. Dpto. Química Analítica. Universidad de Zaragoza.

2. Museo de Teruel. Teruel.

RESUMEN

A partir de las producciones esmaltadas islámicas medievales, se desarrollaron en la Península Ibérica distintas zonas de fabricación de cerámica que utilizaban los vidriados opacificados con óxido de estaño para su decoración, especialmente a partir de los siglos XIII-XIV. Una de estas zonas dentro del Reino de Aragón fue Teruel, que comenzó a producir cerámica vidriada a partir del siglo XIII y que la ha continuado hasta nuestros días. Con posterioridad, otro centro productor también muy importante desde el siglo XV fue Muel y su área de influencia, en la provincia de Zaragoza.

Para establecer las diferencias tecnológicas que pudieran existir entre estas producciones aragonesas y entre ellas y las de zonas cercanas, se estudió un conjunto de muestras procedentes de los museos de Teruel y Zaragoza. La caracterización de los esmaltes se llevó a cabo mediante Microscopía electrónica de barrido con análisis de rayos X y el análisis de las pastas se hizo por Espectrometría de emisión atómica con plasma-ICP. La composición química de pastas y esmaltes, así como las características texturales de éstos últimos, probaron que estas producciones mantienen puntos en común entre ellas, pero presentan también características que ayudan a diferenciarlas y marcan rupturas cronológicas y tecnológicas.

PALABRAS CLAVES: Cerámica, esmalte, mudéjar, Aragón, caracterización

ABSTRACT

After the medieval production of Islamic tin-glazed ceramics, several areas in the Iberian peninsula continued manufacturing ceramics using tin-glazes for the object decoration since the 13th-14th centuries. One of these areas was Teruel in the Aragon kingdom, that started glazed-ceramic production in the 13th century until nowadays. Later, another ceramic production centre also in Aragon had an important development, it was Muel and the area of Zaragoza since the 15th century.

In order to establish technological differences among these Aragonese ceramic productions, a group of samples from the Museum of Teruel and Zaragoza was studied. Tin-glaze characterisation was carried out by Scanning Electron Microscopy with X-ray Analysis, and body composition was analysed by ICP-Atomic Emission Spectrometry. The chemical compositions of bodies and glazes, and the textural characteristics of the decorations, showed some common features, but also other differences that proved important technological and chronological changes.

KEYWORDS: Ceramic, tin-glaze, Hispano-Moeseque, Aragon, characterisation

INTRODUCCIÓN

TERUEL

Fundada por el rey Alfonso II de Aragón hacia 1171, Teruel se convertirá pronto en la principal entidad urbana del sur del reino. Punto de arranque de la mayoría de las expediciones para la

conquista de Valencia, Teruel es también, durante toda la primera mitad del siglo XIII, la encargada de ordenar el flujo migratorio de gentes que venían desde el valle del Ebro para la colonización de nuevas tierras, asegurando así la estabilidad de las conquistas territoriales. La conquista de Levante, entre 1232 y 1245, marca sin duda algu-

na la división entre dos dinámicas bien diferentes. A partir de entonces, el alejamiento de la frontera con los musulmanes y la apertura de los mercados mediterráneos desde Tortosa y Valencia va a impulsar todo un movimiento económico que hasta entonces sólo se apuntaba tímidamente y que va a girar en Teruel en torno a la producción de algunas manufacturas y sobre todo de materias primas. Las pruebas de ese nuevo desarrollo de la segunda mitad del siglo XIII las tenemos en la techumbre de la catedral, las torres mudéjares o el código del Fuero de Teruel y también, aunque más desconocida, en la cerámica decorada (Ortega, 2002).

Efectivamente, las primeras pruebas de la aparición de una producción de cerámica esmaltada decorada en verde, en manganeso o en verde y manganeso parecen apuntar hacia el último cuarto del siglo XIII. Con anterioridad, desde los primeros tiempos de su existencia, la villa debía contar con una producción propia de cerámica común de cocina y tal vez vidriada monocroma, de tradición almohade. Sin embargo, desde finales del siglo XIII es ya segura la producción local de escudillas hemisféricas o de borde polilobulado, abundantemente decoradas. Estas producciones comparten repertorio durante esta fase con atafiores, redomas y jarritas vidriadas en verde y melado todavía muy influenciadas por las contemporáneas producciones andalusíes.

Hacia mediados del siglo XIV la capacidad comercial de la cerámica del Teruel es tal que su distribución cubre todo el sur de Aragón y grandes áreas fronterizas de Castilla, llegando incluso a Valencia. Aparecen ahora a las series "clásicas", ricamente ornamentadas en verde y manganeso. Las piezas ahora se esmaltan y decoran profusamente con una variada gama de motivos que combinan elementos procedentes de la pintura profana cristiana, lejanamente conectada con la cultura caballeresca, con estructuras compositivas y motivos de clara raíz islámica.

A finales del siglo XIV los delicados motivos que caracterizaban la decoración de décadas anteriores tienden a hacerse cada vez más simples y esquemáticos con una disminución de todas las complejas estructuras compositivas anteriores. A esta progresiva transformación, se une la aparición de algunos cambios formales, como la desaparición de las piezas globulares con anillos soleros en favor de piezas similares, pero de fondo plano.

Durante el siglo XV se desarrolla la tendencia a la fabricación de formas abiertas de base plana o ligeramente cóncava, junto a escudillas de orejetas y platos bajos de perfil sinuoso. La decoración se caracteriza por la desaparición definitiva de

todo marco para los motivos, que siempre se desarrollan a partir de un motivo central completado o no con elementos de relleno, en especial la serie de los helechos.

A finales del siglo XV la principal novedad viene dada por la aparición de algunas nuevas formas, en general copias cerámicas de la vajilla metálica de moda. En cualquier caso, es la aparición de la cerámica decorada en azul la novedad más destacable, con repertorios ornamentales muy relacionados con los de reflejo dorado valenciano.

MUEL Y OTROS ALFARES ZARAGOZANOS

La producción de cerámica en el área de Zaragoza alcanza su mayor esplendor en torno al 1500, momento de importante desarrollo económico en la zona. Parece ser que fue Muel el alfar más sobresaliente de todos los que entonces producían cerámica esmaltada en esa área, aunque también se fabricaba en otros como la propia Zaragoza, María de Huerva, Villafeliche, etc. Las estrechas relaciones entre todos estos centros tuvo como consecuencia una producción homogénea, tanto en la tipología de las piezas como en las decoraciones, por ello a veces se habla de cerámica de Muel o de "tipo Muel" (Álvaro Zamora, 2002).

Muel, población de señorío nobiliario propiedad del marquesado de Camarasa, ha sido un centro productor de cerámica en el centro de Aragón durante varios siglos, pero lo fue especialmente en el siglo XVI y hasta la expulsión de los moriscos ordenada por Felipe III en 1610. La mayoría de la población que vivía en Muel durante esa época eran musulmanes, aunque habían sido obligados a bautizarse desde 1522 y se les llamaba moriscos o "musulmanes convertidos al cristianismo", su expulsión en 1610 es considerada como un desastre para la economía de Aragón.

Fabricaban en aquella época delicados objetos esmaltados, con decoraciones en tonos dorados y cobrizos de reflejo metálico, con motivos similares a los de las vasijas en metal. Esta producción está también constatada por excavaciones arqueológicas (Álvaro Zamora, 2002). La cerámica de reflejo metálico de Muel guarda muchas similitudes con la producida en la zona de Valencia (Rose-Albrecht, 2002). Estos lazos se muestran sobre todo en las decoraciones y en las formas, por lo que la caracterización química de estas producciones se hace imprescindible para determinar y conocer sus especificidades. Entre la tipología cerámica dominaba la vajilla de mesa, con platos, cuencos, escudillas, jarras y naberas.

Durante esta misma época (siglos XV y XVI), los alfares zaragozanos produjeron también las vajillas esmaltadas decoradas en verde, manga-

neso y azul, o con distintas combinaciones de estos colores.

MATERIAL SELECCIONADO Y TÉCNICAS ANALÍTICAS

Los objetos elegidos para realizar el estudio pertenecen a los depósitos del Museo de Teruel y del Museo de Zaragoza. En total fueron estudiados alrededor de un centenar de fragmentos.

Los criterios seguidos en la selección de los objetos fueron el de cubrir todo el periodo a estudiar (s. XIV al XVI) y el que estuviesen incluidos los distintos tipos de decoraciones utilizadas en la cerámica esmaltada durante este tiempo.

Para el estudio de los esmaltes y vidriados se recurrió a la utilización de la Microscopía electrónica de barrido, con un sistema acoplado de microanálisis de rayos X. De esta forma era posible el estudio de la composición química de toda la capa decorativa y, al mismo tiempo, el conocimiento de su estructura y de sus características microscópicas.

Para estudiar la composición química de las pastas con las que se fabricaba la cerámica, dada su homogeneidad y su posible origen común, se utilizó la Espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP). Se determinó así el contenido en las pastas de los siguientes elementos: sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), manganeso (Mn), hierro (Fe), bario (Ba) y estroncio (Sr).

CARACTERÍSTICAS DE LAS PASTAS CERÁMICAS

Los resultados de estos análisis químicos de las pastas se resumen en la **tabla I**, incluyendo en ella sólo los grupos de muestras significativos. Los resultados analíticos sobre la composición química

de las pastas se habían sometido a un tratamiento estadístico de agrupación de muestras por similitud (Hierarchical Clustering Analysis).

A la vista de los datos químicos se diferenciaron claramente dos tipos de pastas, especialmente por su contenido en calcio. El primer grupo de pastas, el mayoritario entre los objetos de Teruel, está formado por los fragmentos con contenidos en calcio entre 6 y 9% CaO. Son porcentajes en el límite que separa las pastas no-calcáreas de las calcáreas. Puede decirse que se corresponde con la composición típica de la cerámica tradicional de Teruel, de color muy rojo (el bajo contenido en calcio no favorece que el hierro se disuelva en los silicatos y éste queda en forma de óxido férrico). En este grupo están incluidas casi todas las muestras estudiadas de Teruel, en concreto todas las decoradas en verde y morado. Las diferencias en composición entre los miembros de este grupo son mínimas y son del mismo orden que la variación propia del método analítico.

El segundo tipo de pasta tiene un contenido bastante mayor en calcio (10,5-16% CaO), que llamaremos pastas calcáreas. Se corresponde con pastas de colores claros (en este caso el hierro se ha disuelto en los silicatos y sus óxidos no colorean de rojo la pasta) y en él están incluidos todos los fragmentos decorados en azul de Teruel y de Muel y la cerámica de reflejo metálico de Muel. Esta característica de estar realizadas con pastas calcáreas marca una importante ruptura tecnológica entre la cerámica esmaltada decorada en verde y morado y la decorada en azul o en reflejo metálico.

Esta división y utilización de distintas pastas según el uso posterior o el modo de decoración que correspondía a la pieza se ha observado también en otros talleres islámicos y mudéjares (Molera et al., 1996; Lapuente y Pérez-Arantegui, 1999).

Tabla I. Análisis químicos de las pastas

ORIGEN	PASTAS	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Ba	Sr
TERUEL	Pastas poco calcáreas	0,20	1,49	15,7	3,60	7,44	0,53	0,028	4,69	433	131
	s (n = 35)	0,07	0,13	1,4	0,22	1,00	0,04	0,009	0,50	42	37
	Pastas calcáreas	0,47	1,43	16,1	2,66	13,5	0,64	0,023	4,41	428	207
	s (n = 7)	0,05	0,19	1,9	0,45	2,2	0,07	0,009	0,58	88	47
MUEL	Pastas calc. reflejo met.	0,70	3,10	17,3	2,84	13,6	0,71	0,065	6,12	677	364
	s (n=20)	0,27	0,30	1,2	0,51	1,0	0,05	0,009	0,47	53	35
	Pastas calc. decor. azul	0,94	3,05	15,5	2,50	13,2	0,75	0,073	5,73	626	311
	s (n=5)	0,23	0,28	1,1	0,45	0,7	0,09	0,005	0,27	29	29

Como puede verse en la **tabla I**, en Muel se utilizaba la misma pasta para la cerámica decorada en reflejo metálico que para la esmaltada decorada en azul cobalto. Se ha preferido mostrar los dos conjuntos por separado para ver que no existen diferencias en este caso. A pesar de que en estos dos tipos de decoraciones se utilizan siempre pastas calcáreas, podemos ver que sus composiciones se distinguen en conjunto y se separan estadísticamente porque entre los objetos producidos en Teruel y los de la zona de Muel existen claras diferencias en elementos como magnesio, manganeso, bario o estroncio, por ejemplo. Este hecho es muy significativo de cara a poder diferenciar entre objetos de ambas producciones.

COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LOS ESMALTES

Los recubrimientos cerámicos estudiados resultaron ser en todos los casos esmaltes plumbíferos, es decir, vidriados con plomo como fundente principal opacificados con óxido de estaño. Ni siquiera entre los fragmentos más antiguos aparecen nunca vidriados transparentes sobre engobes blancos, como se produjeron, por ejemplo, en cerámicas italianas de cronología similar (Vendrell Saz, comunicación personal). Esto confirma una vez más el hecho de que en la Península Ibérica todos los esmaltes se realizan desde época musulmana utilizando el plomo como fundente principal (Molera, 1996; Molera et al., 1999a; Molera et al., 2001; Pérez Arantegui, 1997; Pérez Arantegui et al., 1999a; Pérez Arantegui et al., 1999b; Pérez Arantegui, 2002; Pérez Arantegui et al., en prensa). Los resultados obtenidos sobre la composición química de los esmaltes quedan reflejados en la **tabla II**.

Respecto a su composición química, estos esmaltes están formados por sílice, plomo, potasio

y un poco de arcilla (aparece un porcentaje importante de aluminio en su composición), pero serían siempre sílice y arcilla muy puras y blancas porque el porcentaje de hierro es muy pequeño (<0,5% FeO). Además de la composición básica del vidriado, le acompaña también el óxido de estaño causante de la opacidad con porcentajes muy irregulares. Los datos de la composición química en estos elementos ha demostrado ser significativa en otras producciones esmaltadas, tanto para diferenciar las de distintos talleres como para observar variaciones en un mismo taller a lo largo del tiempo (Molera, 1996; Molera et al., 1999a; Molera et al., 2001; Pérez Arantegui et al., 1999a).

A la vista de los resultados y también aplicando un tratamiento estadístico de agrupación de muestras por similitud (Hierarchical Clustering Analysis), se observa que los esmaltes de objetos de Teruel se agrupan por su composición química fundamentalmente en tres grupos significativos (que llamaremos A, B y C), quedando el resto de las muestras en pequeños grupos o muy diferenciadas de estos. Los elementos más significativos en la clasificación fueron el plomo y el potasio (que actuaban como fundentes), junto con el silicio, y en algunos casos el calcio.

Los grupos A y B corresponden a muestras decoradas en verde y/o morado y el grupo C a las decoradas en azul. Esta diferenciación resulta de nuevo significativa en términos de la tecnología cerámica porque implica que se llevó a cabo un cambio en la composición del esmalte al mismo tiempo que se modificaba la decoración. Los grupos A y B se diferencian especialmente por la cantidad añadida de fundentes: en el grupo B se disminuye la cantidad de plomo incluida (<40% PbO) y se aumenta la de potasio (2-3% K₂O). Esta separación en composición va también acompañada de otras diferencias en la estructura que se comentarán más adelante.

Tabla II. Composición química de los esmaltes

GRUPO		Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	SnO ₂	PbO
TER-A	(n=23)	< 0,50	4,07	41,8	1,63	0,61	8,48	43,1
	s		0,87	2,4	0,43	0,31	2,87	3,4
TER-B	(n=11)	< 0,50	5,75	48,3	2,62	0,89	6,16	35,5
	s		0,83	2,4	0,48	0,40	1,40	2,0
TER-C	(n=7)	<0,50	4,50	47,4	4,63	1,63	4,88	36,4
	s		1,20	2,3	0,38	0,45	1,34	1,9
MUEL-A	(n=10)	0,71	3,11	49,4	4,96	2,36	5,79	33,7
	s	0,18	0,27	2,3	0,67	0,39	0,73	3,1
MUEL-B	(n=5)	0,62	2,80	44,8	3,05	2,06	6,45	39,6
	s	0,09	0,23	0,8	0,41	0,91	0,73	1,9
MUEL-C	(n=5)	0,83	4,09	53,8	4,58	2,14	4,24	29,6
	s	0,43	0,51	1,8	1,15	0,65	1,03	2,2

El grupo C posee una composición media de 36,4% PbO, 47,4% SiO₂ y 4,63% K₂O, junto a un mayor porcentaje de calcio (1,63% CaO). Esta última característica puede deberse simplemente a que en la fabricación de estos objetos se usaron pastas con un mayor contenido en calcio, como ya se ha explicado, por lo que la simple difusión de este elemento desde la pasta al esmalte durante la cocción puede haber hecho que su porcentaje final sea ligeramente mayor. Mucho más significativo es el hecho de que el contenido en potasio se haya casi doblado (entre 4-5% K₂O) respecto a los grupos anteriores, esto marca una clara diferencia entre la forma de producción y los ingredientes utilizados en los esmaltes decorados en azul respecto a los decorados en verde y morado.

Para los fragmentos procedentes de Muel, pueden verse también en la **tabla II** los resultados de la composición química de los esmaltes. Los grupos A (mayoritario) y B corresponden a esmaltes decorados con reflejo metálico y el C a fragmentos decorados en azul, todos ellos con diferencias también en los contenidos de SiO₂ y PbO y con porcentajes altos de K₂O. Cabe destacar al comparar los objetos de Teruel y de Muel (ver **Fig. 1**) que por la composición de sus esmaltes podrían diferenciarse las cerámicas decoradas en azul producidas en Teruel (TER-C) de las de Muel (MUEL-C). Resulta además curioso que las composiciones más parecidas las presenten los esmaltes decorados en azul de Teruel (TER-C) con la del grupo mayoritario de reflejo metálico de Muel (MUEL-A), ambos cronológicamente paralelos.

Los esmaltes aparecen sobre la cerámica sin alteraciones y con espesores entre 100 y 200 micras, aunque las dimensiones habituales están en torno a las 125-150 micras (**Fig. 2**). Dado que la mayor parte de las muestras estudiadas pertenecen a platos o cuencos, estos espesores

similares indican probablemente un sistema de aplicación del esmalte común para todos ellos.

En la estructura de los esmaltes aparecen dispersos pequeños cristales de óxido de estaño que producen el aspecto opaco de los esmaltes. En algunos casos se observan también inclusiones de sílice (cuarzo), propias de la materia prima utilizada en la fabricación del esmalte, y otros minerales. Las características de estos dos elementos marcan ya unas diferencias tecnológicas.

Respecto a la aparición de distintas inclusiones en el esmalte, se han observado unas características interesantes en las muestras de Teruel. Se encuentra un primer conjunto de esmaltes con una estructura heterogénea, con muchas inclusiones, algunas de tamaños comparables al espesor del esmalte, y un segundo grupo con esmaltes muy homogéneos, prácticamente sin inclusiones (ver **Fig. 2**). En el primer grupo están las muestras que componían el grupo A de composición de los esmaltes, casi todos los fragmentos incluidos en el grupo A aparecen con muchas inclusiones en su estructura.

La presencia en el esmalte de inclusiones como el cuarzo es una de las características que parece marcar también diferencias en la fabricación de los esmaltes. Así, en el caso de los producidos en época islámica en Zaragoza, Pechina (Almería) y Granada aparecen también este tipo de inclusiones de gran tamaño, que sin embargo son prácticamente inexistentes en esmaltes de la misma época de Murcia y Denia (Molera, 1996; Molera et al., 1999a; Molera et al., 2001; Pérez Arantegui et al., 1999a; Picon, comunicación personal). La existencia de estas inclusiones en el esmalte está relacionada con las materias primas que se mezclaban para su preparación, quedando sin fundir parte del cuarzo añadido, y con la mayor opacidad que producían en el esmalte, con lo que se podía ahorrar estaño en su fabricación.

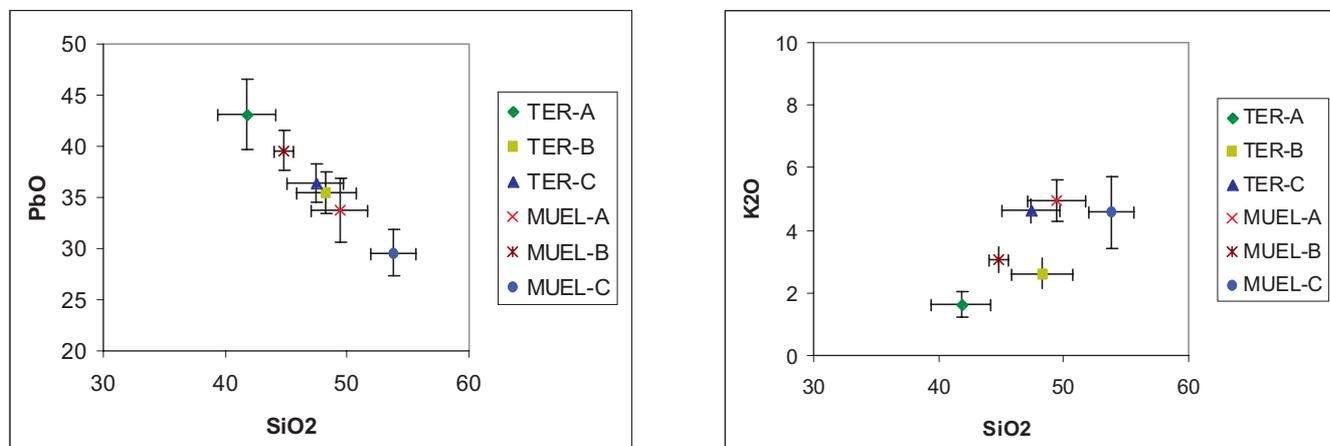


Fig. 1. Variación de los porcentajes de SiO₂, PbO y K₂O para los distintos grupos de muestras. Las barras muestran la desviación estándar de cada grupo.

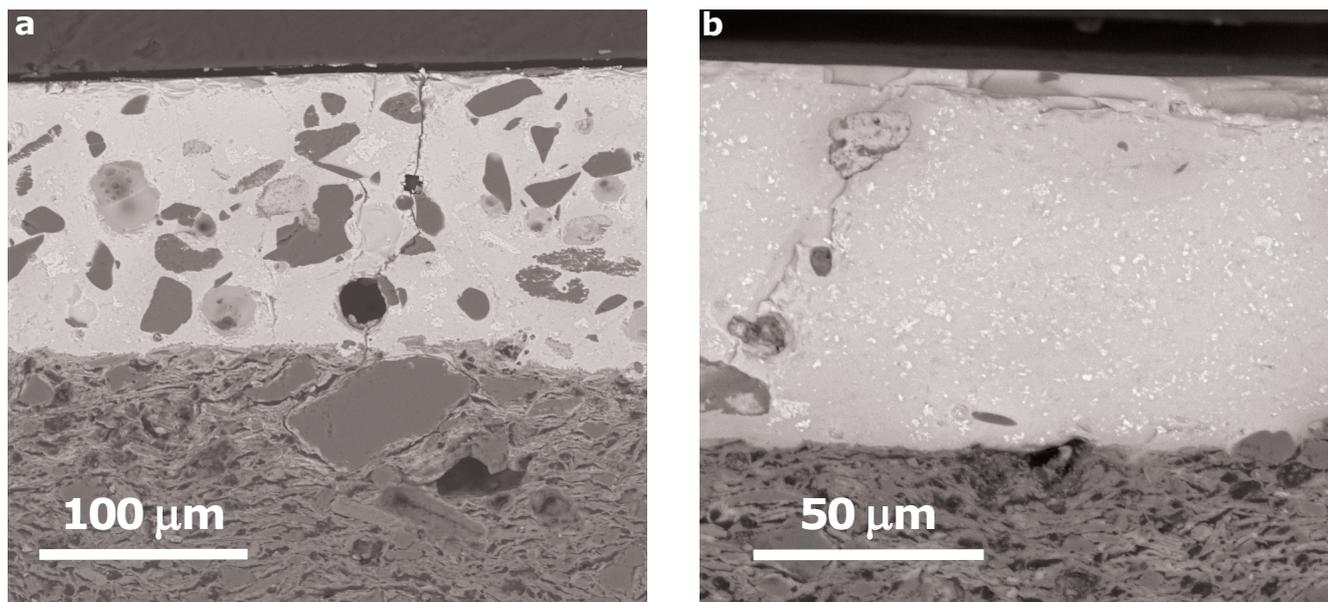


Fig. 2. Imágenes de electrones retrodispersados para dos esmaltes distintos: **a)** grupo de esmaltes heterogéneos, con muchas inclusiones; **b)** grupo de esmaltes homogéneos.

Por otra parte, existe un segundo grupo de esmaltes en Teruel con una microestructura muy homogénea (**Fig. 2b**). Es el formado por algunas muestras del grupo de composición B y las del grupo C. De estos esmaltes mucho más homogéneos cabe destacar la coincidencia total del grupo C, los fragmentos pintados en azul.

Se puede concluir, por tanto, que entre ambos grupos hubo un cambio tecnológico con la aparición o desaparición de la adición de cuarzo molido o arena muy blanca junto con la frita de plomo y estaño, posiblemente habría que hablar de desaparición si se atiende al hecho de que la cerámica decorada en azul aparece más tarde, o de dos tendencias si pudieron darse cronológicamente de forma paralela.

Entre los fragmentos de Muel, también existen algunos esmaltes algo más heterogéneos, con presencia de inclusiones, pero en este caso no hay una división clara entre las decoraciones. A pesar de ello al comparar las dos zonas de producción, lo que sí se ha observado es que los esmaltes decorados en azul de Muel son bastante heterogéneos y con muchas inclusiones, característica que de nuevo los diferenciaría de los diseños azules de Teruel.

Como ya se ha citado anteriormente, en la estructura de todos los esmaltes aparece el óxido de estaño (casiterita), hecho que causa su opacidad a la luz y, por tanto, que aparezcan con un color blanco si en la composición de la masa vítrea no aparece ningún otro elemento colorante. En este caso, los cristales de óxido de estaño que recrystalizan en el esmalte cuando se enfría la

pieza (Molera et al., 1999b) son, en general, de un tamaño entre 1 y 2 micras (**Fig. 2**). Este tamaño es bastante más grande que el observado en otros esmaltes islámicos estudiados, procedentes de Córdoba, Denia (Alicante), Murcia y Zaragoza (Molera, 1996; Molera et al., 1999a; Molera et al., 2001; Pérez Arantegui, 1997; Pérez Arantegui et al., 1999a), lo que indica que pudieron alcanzar una temperatura mayor durante la cocción (Molera et al., 2000). Sin embargo, el mayor tamaño de los cristales de óxido de estaño y su agrupación en pequeños conjuntos de cristales, con una distribución en el vidriado menos homogénea, es una característica común con otros esmaltes mudéjares, como por ejemplo los de Paterna (Molera, 1996; Molera et al., 1999a).

La presencia de estaño en los esmaltes, que ya de por sí es heterogénea por encontrarse este elemento cristalizado como óxido y no disuelto en el vidriado, mantiene en todos los fragmentos estudiados una distribución muy irregular en el seno del esmalte. Los cristales de casiterita no aparecen distribuidos homogéneamente por todo el esmalte, sino que aparecen agrupados en zonas (ver **Fig. 2**). Por ello los resultados obtenidos en cada muestra sobre el contenido de estaño presentan una gran dispersión (con coeficientes de variación hasta de más del 50%), encontrándose zonas con valores muy pequeños porque casi no aparecía estaño en ellas y otras con valores mucho más altos. Otra de las características observadas en algunos de los esmaltes estudiados es la presencia, no sólo de pequeños cristales de casiterita, sino también de fragmentos de óxido de estaño más grandes, que por su aspecto (tamaño, forma angular, etc.) parecen ser restos de casiterita tritura-

dos y que no han llegado a reaccionar. Este hecho podría significar que la preparación del esmalte se realizaba añadiendo a la frita de plomo, algo de arcilla blanca y el mineral de estaño triturado.

Todas estas características del óxido de estaño presente en las muestras hace que los resultados numéricos de los análisis posean una dispersión tan grande que su valor medio (ver **Tabla II**) sea muy poco significativo. Dependiendo de la zona del esmalte donde se realizaba el análisis, podían aparecer contenidos de óxido de estaño de 15-20% SnO₂, mientras que en otros lugares del mismo esmalte éste bajaba a 2-3% SnO₂, según si la zona tenía una agrupación de cristales de casiterita o si éste sólo estaba mayoritariamente disuelto en el esmalte. Es cierto que, a la vista de los resultados globales, puede decirse que se utilizaba una cantidad total de estaño bastante alta. Probablemente incluso esta cantidad fuese mayor que la que poseían los esmaltes de época islámica, aunque el hecho de que la casiterita esté distribuida de forma mucho más heterogénea hace que, a veces, el esmalte pierda opacidad.

En todos los fragmentos estudiados con decoración verde y morado, el esmalte aparecía sobre la pasta cerámica con una zona extremadamente estrecha de interacción (< 10 micras) entre el vidriado y la arcilla (**Fig. 2**), característica común con los esmaltes islámicos que se ha explicado por el hecho de que el esmalte se aplicaba sobre la pieza previamente bizcochada y que continuaría en las producciones mudéjares. Lo mismo ocurría con las cerámicas decoradas en reflejo metálico y en azul procedentes de Muel.

EL COLOR DE LAS DECORACIONES

Los elementos colorantes utilizados en la decoración son el cobre para el verde y el manganeso para el morado (Pérez Arantegui, 2004). Ambos elementos están disueltos en su forma iónica en el vidriado, coloreándolo. En las escudillas con trazos verdes la decoración se ha realizado sólo con cobre, a pesar de que algunas veces debido a su mayor espesor tiene una apariencia más oscura, casi negruzca. Sin embargo, en los fragmentos decorados sólo en negro aparecen ambos elementos (manganeso y cobre) como colorantes, probablemente la mezcla de los dos daba un tono algo distinto del que hubiese producido sólo el manganeso, o podría ser debido a la fuente mineral de la materia prima utilizada para el pigmento negro.

El color azul de la decoración es debido a la presencia de cobalto en muy pequeñas cantidades, generalmente entre 0,5-0,7% CoO porcentajes muy próximos al límite que puede medirse, disuelto en forma iónica en el esmalte. No obstante, el

cobalto no aparecía solo, sino que estaba siempre acompañado por cantidades mayores de hierro (1-2% FeO). Ya que este elemento no pertenece a la composición básica del esmalte, donde se ha visto que es prácticamente inexistente, su aparición se debe a que acompaña al cobalto en la materia prima, por una asociación entre ambos elementos en el mineral de partida que sirvió para preparar el pigmento azul. Un estudio de los elementos traza que acompañan al cobalto en el pigmento azul ha revelado interesantes diferencias entre las distintas zonas de producción (Resano et al., 2005).

La observación en microscopio estereoscópico de los cortes transversales de los esmaltes también permitió ver que en las muestras decoradas en azul de Teruel la mayor parte del pigmento se situaba en la interfase entre la pasta y el esmalte. Este hecho también quedaba patente en los análisis del esmalte. Por tanto, podría ser que el pigmento se colocase primero y que el cobalto difundiese a través del esmalte hasta la superficie, dando como resultado el tono azul pálido de la decoración, en las cerámicas decoradas en azul en Teruel hasta el siglo XVI. Debido a que la investigación se centró en los periodos más antiguos de producción de la cerámica esmaltada en Teruel (de finales s. XIII a finales s. XV - principios s. XVI), la cerámica decorada en azul era minoritaria en el muestreo realizado frente a la decorada en verde y/o morado, por lo que el hecho de una posible decoración bajo cubierta en Teruel debe completarse con producciones posteriores.

En el caso de la cerámica de reflejo metálico de Muel, los elementos colorantes que aparecían en el análisis eran el cobre y la plata, aunque el color final es una situación compleja que depende de muchos factores, no sólo de composición sino también estructurales, cuyo tratamiento ha merecido numerosos estudios (Pérez Arantegui et al., 2001; Pérez Arantegui y Larrea, 2003; Pérez Arantegui et al., 2004).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio está financiado en parte por el proyecto CTPR4/2003 de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos (Aragón-Cataluña-Midi-Pyrénées-Aquitaine). Se agradece también la colaboración en el préstamo de las muestras de los Museos de Teruel y Zaragoza.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARO ZAMORA, I. 2002. "Cerámica aragonesa". Vol. 1, 2 & 3. Ibercaja, Zaragoza.
- LAPUENTE, P., PÉREZ-ARANTEGUI, J. 1999. "Characterisation and Technology from Studies of Clay Bodies of Local Islamic Production in Zaragoza (Spain)". *J. European Ceram. Soc.* 19, 1835-1846.
- MOLERA, J. 1996. "Evolució mineralògica i interacció de les pastes càlciques amb els vidrats de plom: implicacions arqueomètriques". Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- MOLERA, J., GARCÍA-VALLÉS, M., PRADELL, T., VENDRELL, M. 1996. "Hispano-Moresque productions of the fourteenth-century workshop of the Testar del Molí (Paterna, Spain)". *Archaeometry* 38 [1] 67-80.
- MOLERA, J., PRADELL, T., MERINO, L., GARCÍA-VALLÉS, M., GARCÍA-ORELLANA, J., SALVADO, N., VENDRELL-SAZ, M. 1999a. "La tecnología de la cerámica islámica y mudéjar". *Caesaraugusta* 73, 15-41.
- MOLERA, J., PRADELL, T., VENDRELL-SAZ, M. 1999b. "Evidence of tin oxide recrystallization in opacified lead glazes". *J. Am. Ceram. Soc.* 82 [10] 2871-2875.
- MOLERA, J., VENDRELL-SAZ, M., PÉREZ-ARANTEGUI, J. 2001. "Chemical and textural characterization of tin glazes in Islamic ceramics from eastern Spain". *J. Archaeological Science* 28 [3] 331-340.
- ORTEGA, J. 2002. *Operis Terre Turolii. La cerámica bajomedieval en Teruel*. Museo de Teruel (Diputación Provincial de Teruel), Teruel.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J. 1997. "Les glaçures et les premiers émaux sur la céramique islamique en al-Andalus (Espagne)". *TECHNE* 6, 21-24.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J. 2002. "Características tecnológicas de los esmaltes en la cerámica de Teruel: los primeros esmaltes", pp. 207-210 en *Operis Terre Turolii. La cerámica bajomedieval en Teruel*. Museo de Teruel (Diputación Provincial de Teruel), Teruel.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J. 2004. "La palette des couleurs de la céramique glaçurée produite en Aragon (Espagne) pendant la Renaissance: les cas de Teruel et Muel". *TECHNE* 20, 77-82.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., LARREA, A. 2003. "The secret of early nanomaterials is revealed thanks to transmission electron microscopy". *TRAC-Trends in Analytical Chemistry* 22 [5] 327-329.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., LARREA, A., MOLERA, J., PRADELL, T., VENDRELL-SAZ, M. 2004. "Some aspects of the characterisation of decorations on ceramic glazes". *Applied Physics A* 79, 235-239.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., MOLERA, J., LARREA, A., PRADELL, T., VENDRELL-SAZ, M., BORGIA, I., BRUNETTI, B.G., CARIATI, F., FERMO, P., MELLINI, M., SGAMELOTTI, A., VITI, C. 2001. "Luster pottery from the 13th to the 16th century: a nanostructured thin metallic film". *J. Am. Ceram. Soc.* 84 [2] 442-446.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., ORTEGA, J., ESCRICHE, C. (en prensa). "The Hispano-Moresque tin-glazed ceramics produced in Terruel, Spain: A technology between two historical periods, 13th-16th c. AD", en *From Mine to Microscope-Studies in honour of Mike Tite*. UCL Press, London.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., Ruiz, E., Castillo, J.R. 1999a. "La cerámica 'verde y negro' de los talleres islámicos de Zaragoza: características tecnológicas de sus recubrimientos". *Caesaraugusta*, 73, 43-47.
- PÉREZ-ARANTEGUI, J., SOTO, M., CASTILLO, J.R. 1999b. "Examination of the 'Cuerda Seca' Decoration Technique on Islamic Ceramics from al-Andalus (Spain)". *J. Archaeological Science* 26, 935-941.
- RESANO, M., PÉREZ-ARANTEGUI, J., GARCÍA-RUIZ, E., VANHAECKE, F. 2005. "Laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry for the fast and direct characterization of antique glazed ceramics". *J. Anal. At. Spectrom.* 20, 508-514.
- ROSE-ALBRECHT, J. 2002. "Aragon et Catalogne", pp.140-151 en *Le calife, le prince et le potier. Les faïences à reflets métalliques*. Réunion des musées nationaux, Paris.