

CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA E HIPÓTESIS FUNCIONAL DE “CRISOLES PLANOS” ESCORIFICADOS PROCEDENTES DEL YACIMIENTO CALCOLÍTICO DE SAN BLAS (CHELES, BADAJOZ)

ARCHAEOMETRY AND FUNCTIONAL HYPOTHESIS OF SCORIFIED “FLAT CRUCIBLES” OF THE SAN BLAS (CHELES, BADAJOZ) CHALCOLITHIC SITE

Ángel Polvorinos del Río (1) / M.^a Jesús Hernández Arnedo (1) / Javier Almaraz López (1) /
Matilde Forteza González (1) / Víctor Hurtado Pérez (2) / Mark Hunt Ortiz (2)

(1) Dpto. de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.

(2) Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla.

RESUMEN: En el estudio arqueométrico de 12 fragmentos de recipientes cerámicos del yacimiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz) del tipo “crisol plano” se aborda su caracterización mineralógica, química y textural, por difracción de rayos-X, microscopía óptica, fluorescencia de rayos X y análisis digital de láminas delgadas. Las pastas cerámicas de crisoles, en contraste con las cerámicas de uso común, indica el uso selectivo de arcillas aptas para soportar los procesos térmicos intensos. Las pastas de los crisoles incluyen desgrasantes que las hacen adecuadas para soportar el choque térmico de la producción metalúrgica.

La utilización de estos crisoles puede asociarse a la fase de reducción de mineral en la que no tiene lugar procesos de lixiviación de metal fuera de la masa escorificada, descartándose su utilización como moldes de lingotes o crisoles de fusión del metal.

SUMMARY: The archaeometric study of 12 shards of “flat crucibles” of the Chalcolithic site of San Blas (Cheles, Badajoz, SW Spain) has been carried out for their mineralogical, chemical and textural characterization with X-ray diffraction, optical microscopy, X-ray fluorescence and thin slide computer digital analysis. Crucible ceramics mineralogy, chemistry and texture are different of domestic shards pastes; selective use of coarse clays for crucible seems more adapted to thermal shock in metallurgical activities. The use of the studied crucibles can be linked to the mineral reduction phase without metal lixiviation out of the scorified body. The metallurgical function of these shards as fusion or moulding crucibles is not supported.

PALABRAS CLAVE: Crisol plano, calcolítico, Cheles, DRX, FRX, microscopía óptica.

KEY WORDS: Flat crucibles, Chalcolithic, Cheles, X-ray diffraction, XRF, optical microscopy.

I. INTRODUCCIÓN

La funcionalidad, uso y situación en la cadena productiva de los objetos arqueológicos son aspectos relevantes para interpretar, documentar y avanzar en el conocimiento integral de las sociedades en la prehistoria. A través del conocimiento espacio-temporal de aspectos tecnológicos implicados en la obtención, procesado y elaboración de los productos recuperados en excavaciones sistemáticas se contribuye a perfilar y mejorar la comprensión de las sociedades estudiadas. La cerámica es sin duda un tipo de material de especial relevancia por su conservación así como por su implicación en ámbitos diversos de la actividad, que van desde las rituales a las productivas, de almacenamiento, de uso culinario etc.

En las diversas campañas arqueológicas realizadas en el yacimiento calcolítico de San Blas (Cheles, Badajoz) (Hurtado Pérez 2004), se ha encontrado un registro arqueológico de carácter arqueometalúrgico que cubre todas las fases de la producción de cobre: minerales, estructuras de combustión, escorias, gotas metálicas y objetos metálicos, así como cerámicas escorificadas del tipo “crisol plano”, con la característica coloración cenicienta de la pasta (Hunt *et al.* 2009).

Las cerámicas escorificadas objeto de este estudio son del tipo denominado “crisol plano”, que ha sido documentado en la mayoría de los yacimientos calcolíticos del Suroeste de la Península Ibérica con evidencias de actividad metalúrgica

(Hunt Ortiz 2003). Sobre la funcionalidad de los “crisoles planos” y su papel específico dentro de la cadena productiva del cobre se han apuntado varias hipótesis, que van desde su consideración como moldes de lingotes a la de pequeños crisoles-hornos de reducción (Hunt Ortiz 2003).

En este trabajo se presenta el estudio arqueométrico de 12 fragmentos de recipientes cerámicos del yacimiento de San Blas del tipo “crisol plano” la mayoría de los cuales presentaron escorificaciones cuyos análisis mostraron claramente su relación con la producción de cobre. Los objetivos de este trabajo son la caracterización mineralógica, química y textural de las pastas cerámicas de los “crisoles” por diversas técnicas analíticas; la determinación del nivel de especificidad de este tipo de cerámicas respecto a las pastas convencionales; evaluar la diversidad de los materiales usados en la elaboración cerámica y proponer la posible funcionalidad de estas cerámicas en el marco del proceso productivo metalúrgico en época calcolítica.

II. METODOLOGÍA

De cada uno de los 12 fragmentos de recipientes cerámicos del yacimiento de San Blas del tipo “crisol plano” se ha realizado la descripción macroscópica, la caracterización mineralógica por difracción de rayos-X y microscopia óptica, el análisis granulométrico del desgrasante por análisis digital de láminas delgadas, y su análisis químico por fluorescencia de rayos X.

La descripción macroscópica de cada muestra incluye la determinación de los parámetros de color que se han medido con un espectrofotómetro portátil Terrapec de ASD utilizando una sonda que incorpora la iluminación con una fuente halógena y la fibra óptica en una geometría 0-45°. La reflectancia, definida como el cociente entre la luminancia de la muestra y la luminancia de un reflector difuso perfecto, se mide en las mismas condiciones experimentales en la muestra y en un patrón de Spectralon con una superficie de 5 mm de diámetro.

El análisis mineralógico por difracción de rayos X mediante el método del polvo, se realizó

con un difractómetro Bruker (modelo D8 Advance) con tubo de Cu y filtro de Ni, y unas condiciones de trabajo de 40 kV y 20 mA., con un barrido entre 5 y 60° con un paso de 0.02° y 2 s de tiempo de conteo.

La descripción petrográfica y la medida de la distribución granulométrica del desgrasante de las láminas delgadas se realizó por microscopía de luz transmitida con un microscopio Nikon Optiphot. La utilización del análisis cuantitativo de los parámetros de tamaño y abundancia de inclusiones no plásticas en cerámicas arqueológicas se ha postulado como una herramienta potente para abordar problemas de caracterización y discriminación de producciones (Streeten 1982, Middleton *et al.* 1985). El método empleado para discriminar granos minerales se basa en el procesado digital de múltiples imágenes digitales corregistradas de cada lámina delgada. Se ha realizado con un nuevo prototipo que incorpora un dispositivo simplificado de rotación del sistema de polarización y de adquisición de imágenes automático cuya descripción se presenta en otra comunicación de este congreso (Rodríguez y Polvorinos del Río en prensa). De los diversos procedimientos desarrollados para el procesado digital de imágenes petrográficas (Starkey y Samantaray 1993, Fueten 1997, Goodchild y Fueten 1998, Zhoua y col. 2004, Obara 2007) el método utilizado se basa en rutinas de tamizado digital (Polvorinos y Gómez 1999).

El análisis químico de cada cerámica se ha realizado por fluorescencia de rayos-X en un Panalytical (modelo AXIOS) de tubo de Rh e que incorpora un muestreador automático, 8 cristales analizadores, 3 colimadores. Las muestras en polvo fueron tamizadas a 50µm y secadas en estufa durante 24 horas a 105°C; 0.8g de muestra y 4.7 g de Li2B4O7 se procesaron para obtener perlas fundidas utilizando un equipo Philips PerlX'2 de inducción por radiofrecuencia.

Se han utilizado los procedimientos convencionales para determinar las concentraciones de los elementos mayores (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅) así como elementos traza (Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn, Zr, Nb); las concentraciones que se presentan se dan % en peso y partes por millón (ppm) respectivamente.



Fig. 1. Muestras de crisoles C305 y C605.

III. RESULTADOS Y DISCURSIÓN

Descripción macroscópica

Tras la limpieza de los 12 fragmentos cerámicos estudiados, algunos de los cuales se indican en la Figura 1, se han seleccionado para su análisis submuestras de aquellas partes de cada cerámica en que era menos evidente la presencia de indicios minerales o escoriificaciones.

El espesor de las paredes cerámicas, su aspecto, la presencia de indicios de restos metálicos, y los parámetros de color de la pared exterior y la sección transversal de cada crisol son los paráme-

tros macroscópicos descriptivos que se recogen en la Tabla 1.

Solo las muestras C122 y C706 presentan indicios de restos metálicos de cobre alterados a carbonatos en el reborde superior de los crisoles. El espesor promedio de las paredes es próximo a 1.2cm; la pared del crisol C145 es la más fina con un espesor de 0.7cm, y las muestras C605 y C650B las mas anchas llegando a alcanzar 1.7cm de espesor. De los doce crisoles en siete casos la pared exterior es rojiza y la interior gris; la pasta de los cinco crisoles restantes es de aspecto homogéneo y color gris (Tabla 1).

	Espesor (cm)	Aspecto	Indicios Mineral.	Adom.	L	a*	b*	Adom.	L	a*	b*
C31	1	Homogénea	No	500	50.2	-5.2	0.5	500	50.2	-5.2	0.5
C53A	1.2	Ox. Superf.	No	580	48.4	0.8	6.4	573	50.41	-2.7	8.5
C122	1	Ox. Superf.	Si	577	49.7	-0.6	8.5	493	50	-6.0	-1.1
C145	0.7	Homogénea	No	494	50.1	-5.5	-0.7	494	50.1	-5.5	-0.7
C304	1.2	Ox. Superf.	No	571	50.4	-4.0	8.2	496	49.7	-5.0	-0.1
C305	1.4	Ox. Superf.	Si	569	50	-2.8	4.7	565	50.8	-5.3	6.0
C552	1.2	Ox. Superf.	No	579	49.5	0.5	11.1				
C605	1.7	Ox. Superf.	No	570	50.3	-3.4	5.9				
C650A	1.2	Ox. Superf.	No	566	50.4	-4.7	5.7	510	50	-5.1	1.6
C650B	1.6	Homogénea	No	526	50.3	-5.5	2.4	526	50.3	-5.5	2.4
C689	1.2	Ox. Superf.	No	583	49	6.5	2.1	534	50.3	-5.3	2.5
C706	1.4	Homogénea	Si	550	51.5	-7.8	5	560	50.7	-5.1	4.5

Tabla 1. Parámetros descriptivos macroscópicos. Espesor de la pared cerámica. Aspecto de la superficie cerámica. Presencia de indicios metalúrgicos. Parámetros de color (longitud de onda dominante, L, a*, b*) de la pared exterior y de la superficie trasversal del crisol.

Estos resultados son consecuentes con la utilización de estas cerámicas en procesos metalúrgicos en ambientes reductores, en que la coloración rojiza de la pared exterior se debe a su oxidación superficial.

Caracterización mineralógica

La petrografía de todas las láminas delgadas coincide en destacar que los minerales opacos y poros son relativamente abundantes y redondeados, si bien en las cerámicas C20, C53A, C305, C605 y C706 los poros son alargados y conectando los granos del desgrasante.

Las fases cristalinas que integran el desgrasante incluyen cuarzo, feldespatos, plagioclasas, piroxenos, fragmentos de rocas ígneas y de rocas metamórficas, esquistos y pizarras. Los granos de cuarzo y los fragmentos de rocas ígneas tienen morfología redondeada, mientras que los de feldespatos son subredondeados / subangulosos y los de rocas metamórficas son alargados.

La cerámica C53A incluye, además, cristales de olivino de pequeño tamaño y algunos fragmentos redondeados de diabasas; la muestra C122 también incluye fragmentos de diabasas de menor tamaño que en la muestra C53A. La cerámica C145 presenta fragmentos de roca metamórfica con textura gneísica con granos rotacionales con sombras de deformación típica. Los granos de plagioclasas de mayor tamaño aparecen en las muestras C53A, C122 y C305; en la muestra C706 es significativa la mayor abundancia y el tamaño de los cristales de feldespato.

El análisis semicuantitativo de la composición mineralógica realizado a partir de los diagramas de difracción de rayos X del polvo de los crisoles (Tabla 2) permite diferenciar la presencia abundante de plagioclasas en las muestras C53A, C122, C305, las cerámicas con feldespatos C706 y C31 y las muestras C605, 650A y 650B con piroxenos como fases abundantes; en las muestras C304, C689, C145 y C552 indicios de feldespatos, plagioclasas y piroxenos caracterizan su mineralogía. Todos los minerales identificados por difracción de rayos X (Tabla 2) han sido identificados por pe-

trografía de sus láminas delgadas, y por tanto no se generaron durante el proceso de cocción de la cerámica o de su uso en los supuestos procesos metalúrgicos. La ausencia de filosilicatos sugieren unas temperaturas de cocción/utilización superiores a 850°C.

Muestra	Cuarzo	Feldespatos	Plagioclasas	Piroxeno	Olivino
C53A	MA	-	A	M	M
C122	MA	-	A	I	-
C305	MA	I	M	I	-
C706	MA	A	I	-	-
C31	MA	M	I	I	-
C605	MA	-	-	M	-
C650A	MA	-	-	M	-
C650B	MA	-	-	M	-
C304	MA	I	I	I	-
C689	MA	I	I	I	-
C145	MA	I	I	I	-
C552	MA	I	-	I	

Tabla 2. Mineralogía por difracción de rayos X. MA: muy abundante, A: abundante, M: abundancia media, I:indicios, -: no detectado.

Granulometría del desgrasante

La distribución del tamaño de los granos del desgrasante se ha determinado a partir de 30 imágenes corregistradas de cada lámina delgada, medidas entre nicols cruzados giratorios; se ha utilizado un dispositivo de giro de los polarizadores cruzados controlado con un ordenador y una cámara digital para la adquisición sincronizada de las imágenes con el giro de los polarizadores (Rodríguez y Polvorinos en prensa). La segmentación de los poros y el desgrasante de cada lámina delgada se ha realizado por el procesado digital de las imágenes (Polvorinos y Gómez 1999).

Las distribuciones acumuladas de la superficie del desgrasante se han medido en imágenes que cubren una superficie de lámina delgada de 0.7cm² (Figuras 2 y 3) y se representan en función del diámetro medio de los granos expresados en la escala phi (-log2 d_{max}).

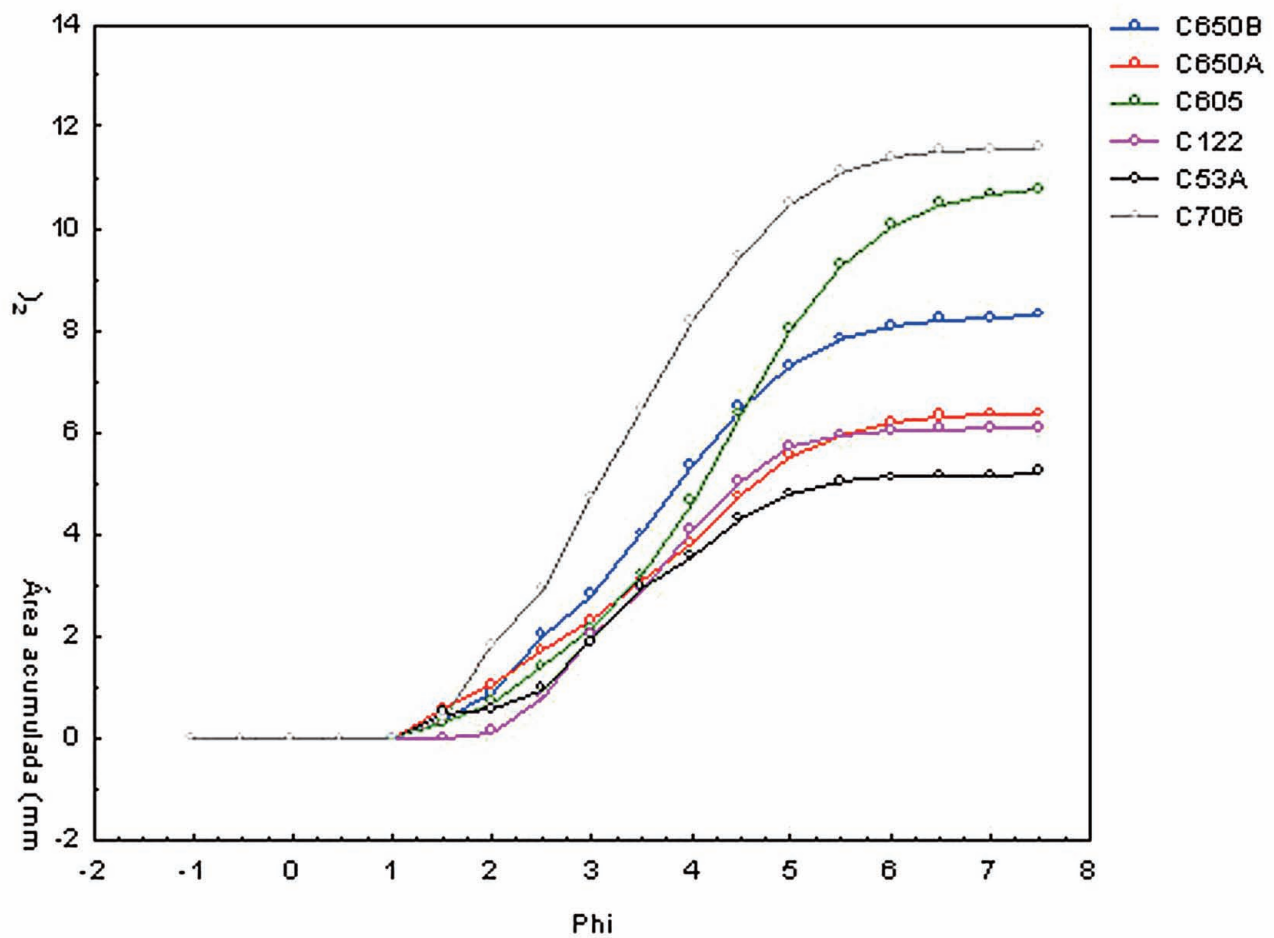


Fig. 2.a. Distribución granulométrica de cerámicas con menos desgrasante (C53A, C122 y C605) y las de mayor diámetro medio (C706, C605 y C650B).

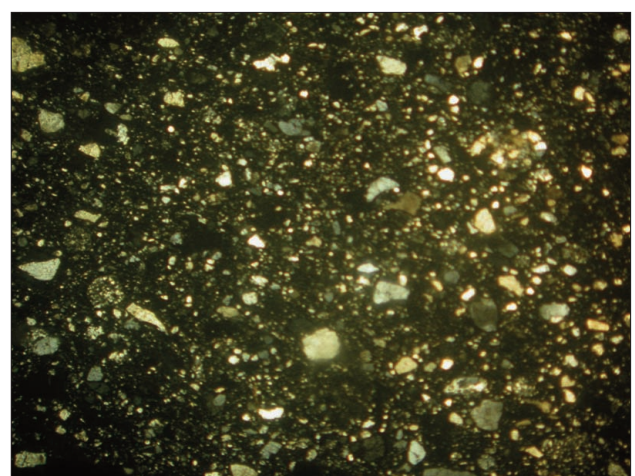
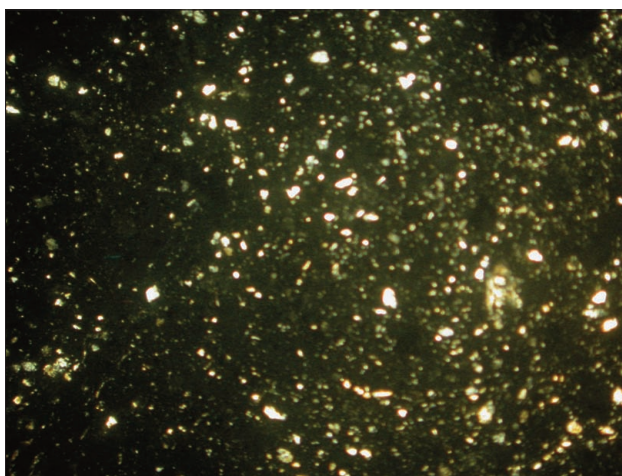


Fig. 2.b Detalle de imágenes con nicoles cruzados de las cerámicas C122 (izquierda) y C706 (derecha). El tamaño de la superficie cubierta es de 1cmx0.7cm.

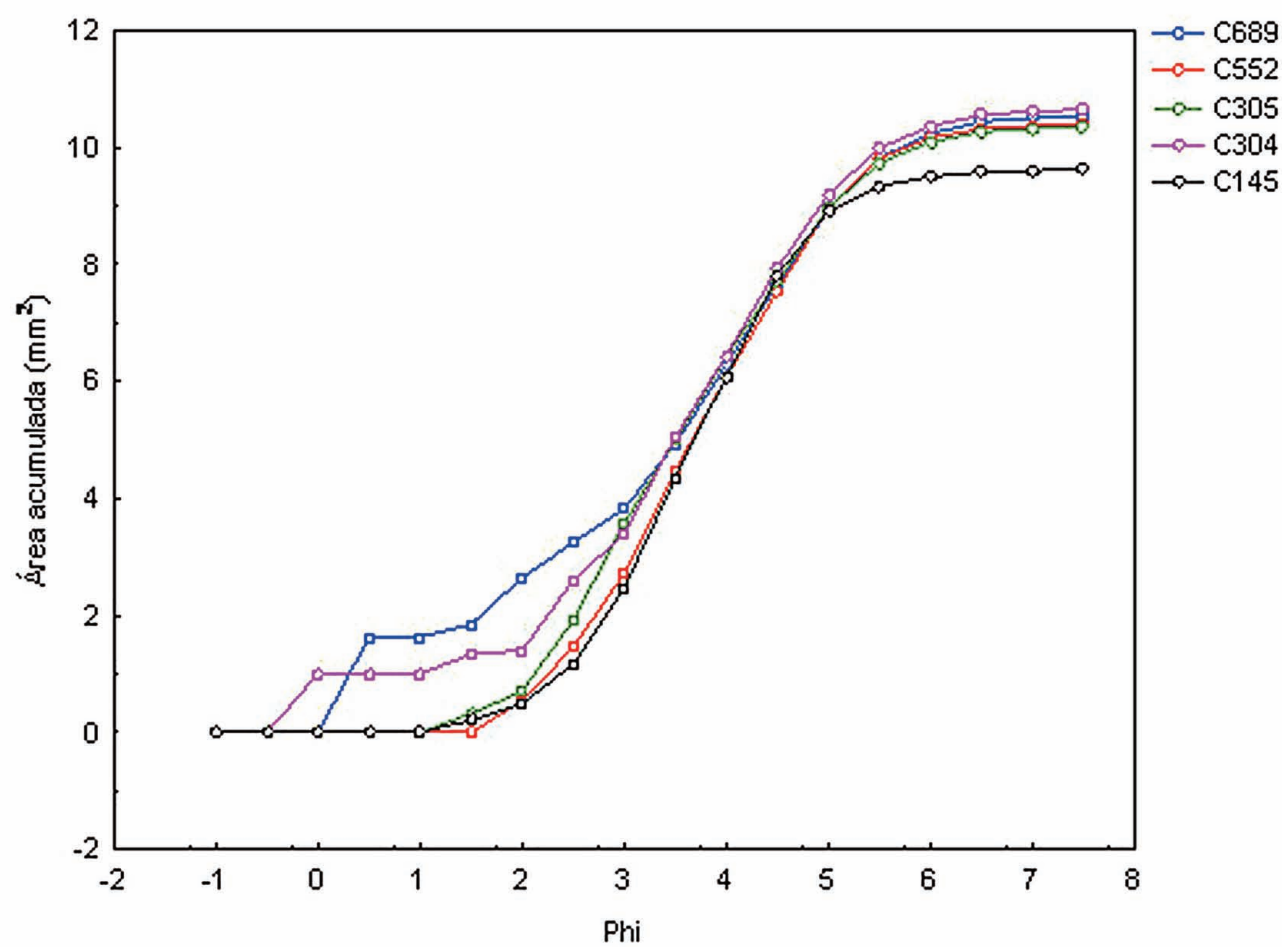


Fig. 3.a. Distribución granulométrica de cerámicas con menor selección de tamaño de grano.

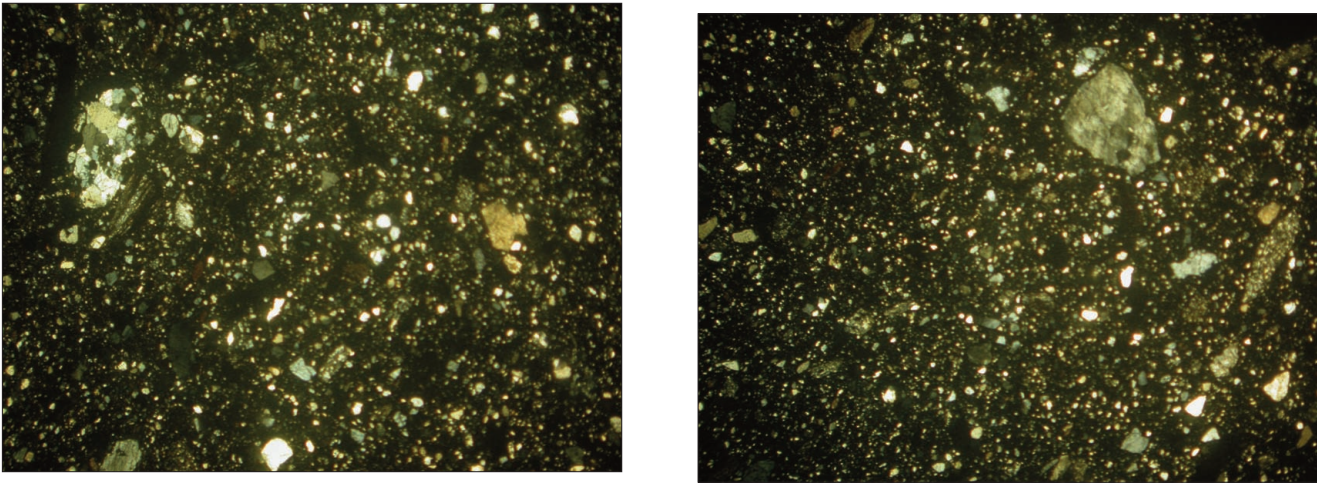


Fig. 3.b. Detalle de imágenes con nicoles cruzados de las cerámicas C689 (izquierda) y C304 (derecha). El tamaño de la superficie cubierta es de 1cmx0.7cm.

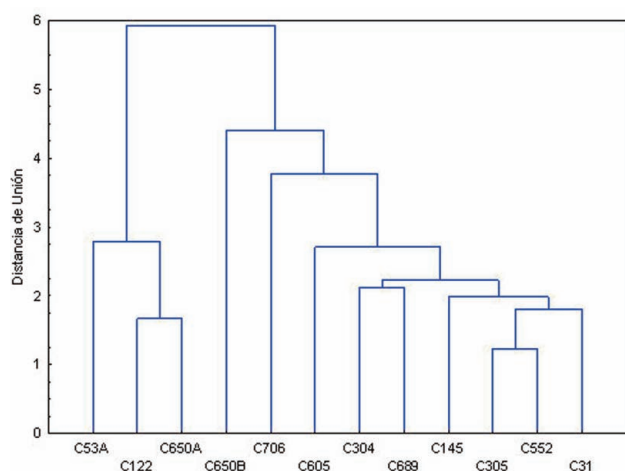


Fig. 4. Análisis de conglomerados de la granulometría del desgrasante.

El análisis estadístico de las distribuciones acumuladas del desgrasante de las 12 cerámicas se ha realizado por el método de análisis de conglomerados, aplicando una distancia euclídea de unión y un esquema aglomeración simple (Figura 4).

Las cerámicas, C53A, C122 y C650A definen un grupo bien diferenciado del resto (Figura 4), cuyas distribuciones del desgrasante (Figura 2.a) indican que la superficie total cubierta por los cristales es inferior a 0.6 cm^2 lo que representa menos del 10% de la superficie total de la cerámica; el diámetro medio de los cristales es próximo a 0.09 mm . Este conjunto de cerámicas son las de desgrasante más fino de los crisoles estudiados.

Los crisoles C31, C552, C305, C145, C689 y C304 constituyen un grupo cerámico homogéneo desde el punto de vista de la granulometría de su desgrasante (Figura 1); la asociación de las muestras C605, C706 y C650B al conjunto anterior se realiza a distancias de unión mayores debido a diferencias en su granulometría. La diferencia entre las granulometrías de las muestras C605, C706 y C650B y el primer conjunto (Figura 2.a) indica que el desgrasante de estas muestras está bien seleccionado, tiene un diámetro medio de 0.125 mm y acumula una superficie próxima a 12 cm^2 lo que representa poco menos del 20% de la superficie total. El aspecto que presentan entre nicols cruzados las cerámicas C122 y C706 representativas de ambos conjuntos de tipos granulométricos se indica en la Figura 2.b.

En el conjunto que integra los fragmentos C31, C552, C305, C145, C689 y C304 (Figura 3.a) los cristales son de tamaño intermedio entre los de los grupos indicados en la Figura 2.a. Las cerámicas integradas en este grupo, presentan una granulometría que sugiere la superposición de dos poblaciones de cristales en el desgrasante (Figura 3.a y b).

En resumen la granulometría del desgrasante de todos los crisoles es relativamente bien seleccionado; los crisoles C689 y C304 son los que incluyen fragmentos minerales de mayor tamaño y menor selección granulométrica.

Análisis químico

Del análisis factorial de todas las muestras, utilizando elementos mayoritarios y excluyendo los de mayor coeficiente de variación P.C., MnO y P2O5, se han identificado dos grupos (G1 y G2) de arcillas y una muestra (C53A) claramente diferenciada del resto, cuyos rangos de composición se indican en la Tabla 3.

El crisol C53A, cuya peculiaridad mineralógica respecto del resto ya se ha indicado previamente, tiene el contenido más alto en Fe-Mg-Mn de todo el conjunto. De los dos grupos en que se han clasificado el resto de los crisoles, las muestras C31, C305, C552, C650B y C706 integran el grupo G1, y se elaboraron con arcillas silíceas cuya concentración en SiO₂ varía entre 63 y 68.5%; las 6 muestras restantes que forman el grupo G2 tienen una composición intermedia entre el grupo G1 y la muestra C53A, con concentraciones en SiO₂ entre 55.9 y 62.5%.

Entre los grupos cerámicos G1, G2 y la muestra C53A los contenidos en Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO y MgO son crecientes. Las mayores concentraciones en CaO y Na₂O del grupo G2 respecto del G1 se asocian a la mayor acumulación de plagioclasas Na-Ca. Se observan los mismos rangos de concentración para el resto de los elementos mayoritarios K₂O y TiO₂ entre los grupos G1 y G2.

Respecto de los elementos minoritarios y trazas se resalta la variación sistemática entre los

	G1 C31, C305, C552, C650B, C706					G2 C122, C145, C304, C605, C650A, C689					C53A
	Med.	Mín.	Máx.	Dev. Est.	CV(%)	Med.	Mín.	Máx.	Dev. Est.	CV(%)	
SiO ₂	65.7	63.8	68.6	1.8	2.8	59.7	55.9	62.5	2.6	4.3	51.3
Al ₂ O ₃	14.4	12.1	16.3	1.6	11.2	17.6	16.1	19.0	1.1	6.0	19.6
Fe ₂ O ₃	7.9	7.5	8.9	0.6	7.2	9.9	8.3	10.7	1.0	10.1	16.2
MnO	0.1	0.1	0.2	0.0	14.8	0.2	0.1	0.4	0.1	52.2	0.6
MgO	1.1	1.0	1.2	0.1	6.3	1.2	1.1	1.3	0.1	6.4	2.9
CaO	1.9	1.0	2.5	0.7	36.0	2.3	1.7	3.4	0.8	32.3	2.3
Na ₂ O	1.1	1.0	1.2	0.1	6.4	1.1	0.7	2.2	0.6	52.0	1.3
K ₂ O	3.2	2.4	3.7	0.5	14.4	3.2	2.5	3.7	0.4	14.2	1.1
TiO ₂	0.7	0.7	0.8	0.1	7.4	0.9	0.6	1.1	0.2	22.2	1.0
P ₂ O ₅	1.6	0.1	3.1	1.1	69.8	1.7	0.4	3.4	1.4	84.1	2.0
P.C.	0.3	0.1	1.1	0.4	125.7	0.3	0.1	1.1	0.4	128.2	0.2
As	104.5	11.1	307.8	119.0	113.9	41.6	4.9	120.1	50.5	121.4	3.7
Ba	907.6	501.6	1458.2	348.6	38.4	961.8	314.9	1606.4	556.9	57.9	1079.8
Co	25.5	19.7	29.1	3.8	14.9	36.8	30.2	44.8	6.5	17.7	50.8
Cr	141.0	82.1	302.2	92.0	65.3	174.1	103.0	280.3	65.3	37.5	362.3
Cu	6231.7	458.8	23272.0	9629.0	154.5	4447.5	85.7	17410.7	7140.2	160.5	178.4
Ni	71.2	52.0	125.8	30.7	43.2	86.7	62.6	128.6	24.8	28.7	119.2
Pb	26.1	11.6	53.7	17.6	67.4	19.3	6.4	42.8	12.7	65.7	34.2
Rb	106.9	88.2	139.2	19.1	17.9	109.1	80.5	131.3	20.5	18.8	35.6
Sr	157.1	96.6	204.0	46.5	29.6	173.3	91.0	308.7	86.1	49.7	170.9
V	99.7	90.0	116.5	10.7	10.8	164.2	126.3	279.6	57.7	35.1	239.1
Zn	71.9	51.5	86.2	12.7	17.7	82.6	50.6	123.4	24.2	29.3	119.7
Zr	305.5	242.2	360.7	51.5	16.9	264.9	171.3	350.8	75.4	28.5	173.6
Nb	28.6	21.2	32.3	4.3	15.1	24.9	18.6	32.8	5.3	21.3	16.9

Tabla 3. Parámetros estadísticos de los grupos G1 (C31, C305, C552, C650B, C706); G2 (C122, C145, C304, C605, C650A, C689) y C53A.

elementos ferromagnesianos Fe-Co-Ni-V frente a SiO₂, lo que sugiere la naturaleza continua de la serie composicional, con la acumulación de estos elementos en los términos más básicos.

La diferencia en composición química entre ambos grupos no indica una utilización de arcillas diferentes; la variabilidad natural así como la posible adición de desgrasante en distinta proporción justifica la diferencia entre ambos grupos cerámicos cuya relación con la distribución granulométrica se analiza más adelante.

Es reseñable el elevado contenido en cobre de algunos crisoles, que llega a alcanzar el 2.3% en el caso de la muestra C552, lo que indica su probable utilización en actividades metalúrgicas como sugiere el contexto arqueológico. La relación Cu-As de la Figura 5 indica que la acumulación de estos metales en las pastas de las cerámicas C304,

C53A, C605, C650A, C689 y C706 es inferior a 500ppm, concentraciones que son próximas al fondo geoquímico; así, estas bajas concentraciones de cobre sugieren que si se han utilizado en procesos metalúrgicos no ha habido procesos de difusión de este metal en la parte analizada de la pasta cerámica, dada la evidencia de restos metálicos presentes en el borde interior de las cerámicas C650A y C706 (Hunt Ortiz *et al.* 2009).

En consecuencia se puede descartar su uso como molde o como crisol de fusión, pudiendo asociarse a la fase de reducción de mineral en la que no tiene lugar procesos de lixiviación de metal fuera de la masa escorificada que se formaría en la parte superior del recipiente.

La presencia de cobres arsenicales en las pastas C31, C305, C552 y C650B cuya granulometría y composición química ha sido caracterizada

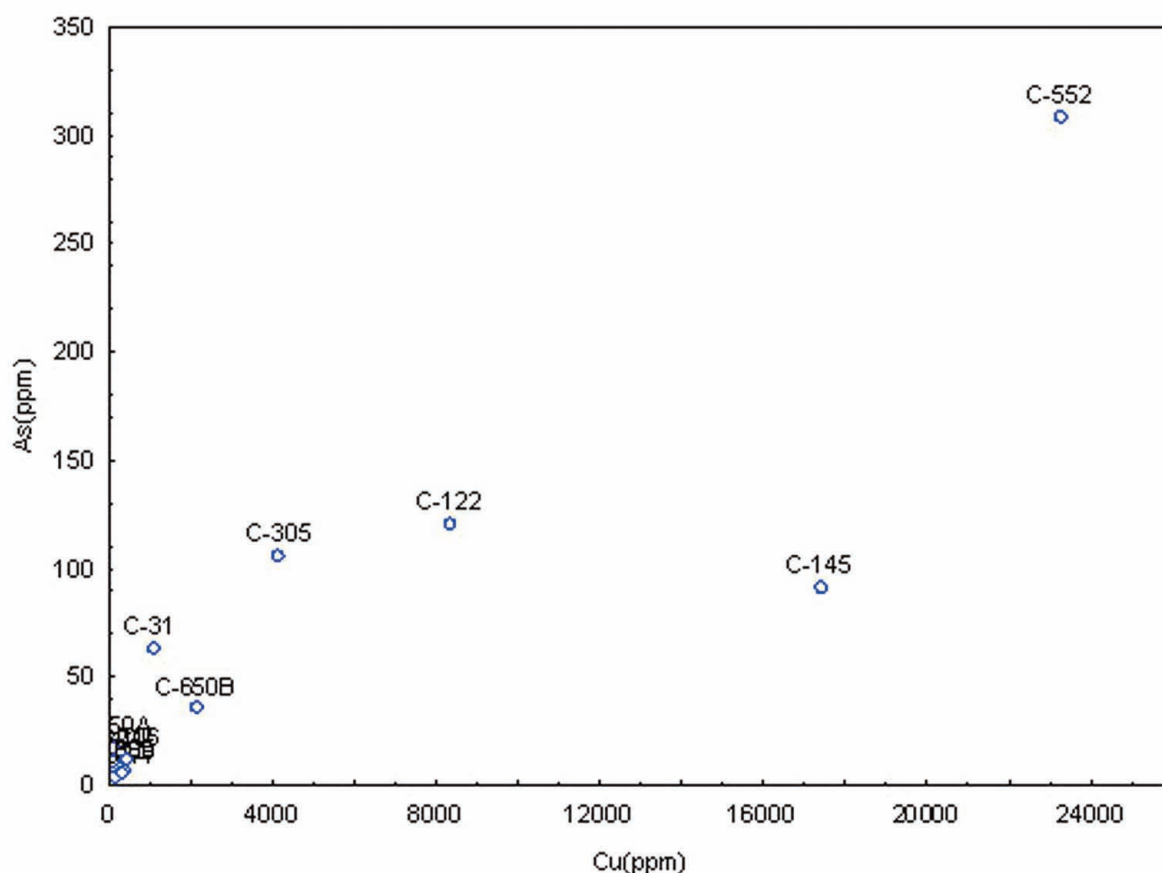


Fig. 5. Relación Cu-As de los crisoles.

previamente por tener texturas relativamente groseras e incorporar desgrasantes silíceos coinciden con los análisis de las fases metálicas superficiales (Hunt Ortiz *et al.* 2009).

Con el objeto de evidenciar la posible relación entre la composición química y la granulometría de los crisoles se ha realizado la clasificación cruzada entre ambas clasificaciones (Tabla 4). En el grupo G1 de composición más silícea que incluye 5 muestras, 3 de ellas presentan texturas con presencia de desgrasante poco seleccionado y las dos restantes (C605B y C706) con abundante desgrasante. Entre las seis muestras del grupo G2, de composición más ferromagnesiana que la del grupo G1, tres tienen granulometría poco seleccionada, dos con textura fina (C122 y C650A) y una (C605) con abundante desgrasante. Se observa que en las cerámicas mas silíceas (G1) no aparecen las granulometrías mas finas; esta textura solo aparece en las pastas mas ferromagnesianas, es decir en el grupo G2.

Para determinar el nivel de especificidad de este tipo de cerámicas respecto a las pastas convencionales se comparan los rangos de variación de ambos conjuntos de cerámicas. Los análisis por fluorescencia de rayos X de 9 cerámicas comunes y las de crisoles (Tabla 5) indican que la composición química y los rangos de variación para ambos tipos de cerámica es diferente lo que indica la utilización selectiva de distintas fuentes de arcilla para su producción; las arcillas de las cerámicas comunes son mas ricas en Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO y TiO_2 que las de los crisoles debido a la naturaleza mas ferromagnesiana de los minerales que incluyen.

Los crisoles tienen concentraciones medias en SiO_2 (62.4%), y K_2O (3.2) mas elevadas que las de las cerámicas comunes que acumulan SiO_2 (50.3%) y K_2O (1.6%). La discriminación entre ambos tipos de arcilla se ilustra en la Figura 6.

Es de resaltar que de todos los crisoles solo la muestra C53A presenta la misma composición química

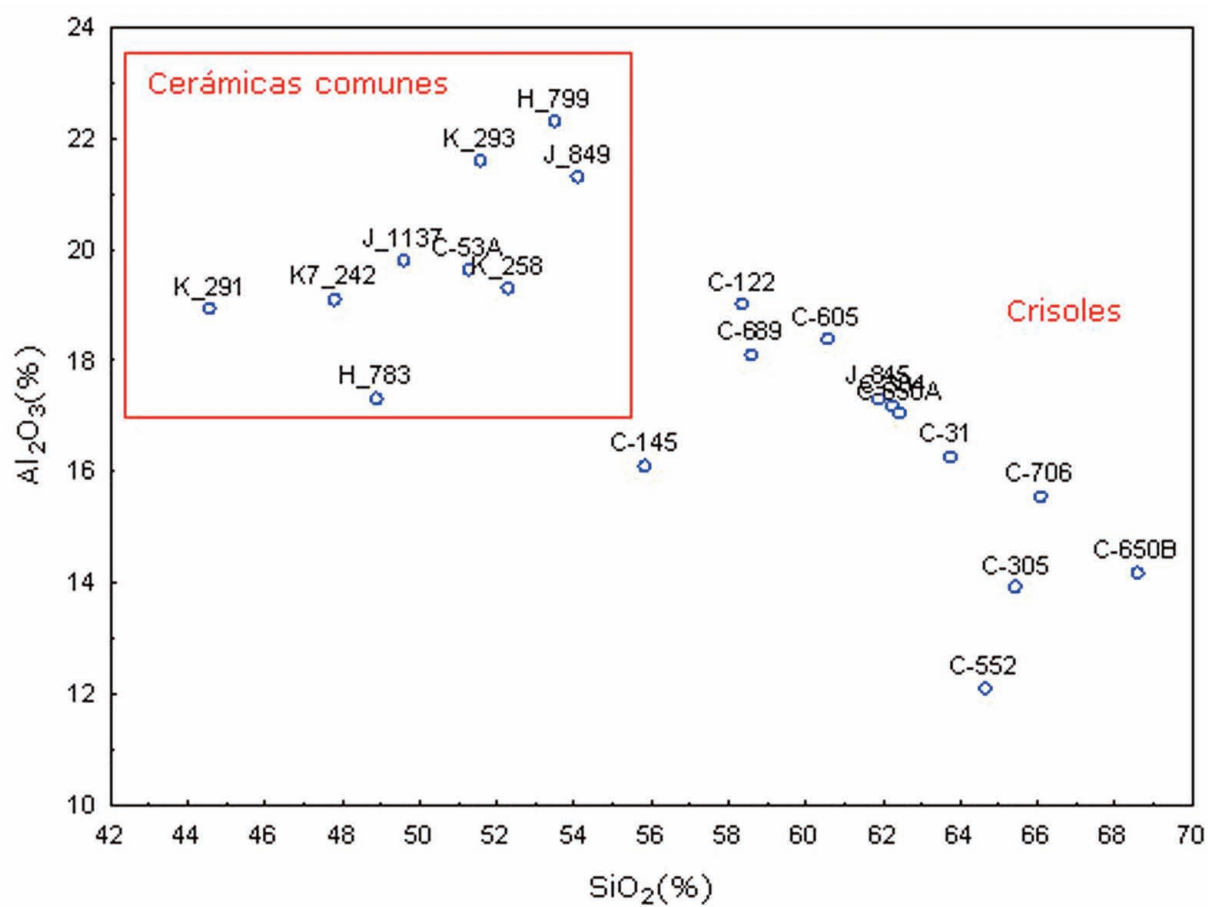


Fig. 6. Diagrama de variación SiO₂ vs Al₂O₃ de cerámicas comunes y crisoles.

		Granulometría de baja selección	Textura fina	Desgrasante acumulado alto
Grupo química G1 (silíceas)	C31	*		
	C305	*		
	C552	*		
	C650B			*
	C706			*
Grupo química G2 (mas Fe-Mg)	C122		*	
	C145	*		
	C304	*		
	C605			*
	C650A		*	
	C689	*		

Tabla 4. Clasificación de las granulometrías correspondientes a los grupos químicos de los crisoles G1 y G2.

mica que el grupo de cerámicas comunes y presenta la granulometría mas fina de todos los crisoles; el uso minoritario de arcillas típicas de cerámicas comunes para producir crisoles revela la utilización diferenciada de ambos tipos de arcilla. Para la preparación de las pasta de los crisoles se sugiere la posible adición de arenas silíceas-feldespáticas K a las mismas fuentes de arcillas usadas para la producción de cerámicas comunes; en contraste con las cerámicas comunes, las pastas de los crisoles incluyen desgrasantes mayores y mas abundantes lo que las hacen adecuadas para soportar el choque térmico de la producción metalúrgica.

IV. CONCLUSIONES

Se ha establecido la composición químico-mineralógica y características texturales de las cerámicas de crisoles.

Se ha constatado la práctica de adición de

desgrasante a las arcillas que incorporan minerales ferromagnesianos en su composición original.

En contraste con las cerámicas de uso común, las pastas de los crisoles evidencian el uso selectivo de arcillas aptas para soportar altas temperaturas.

Los “crisoles planos” han sido utilizados en procesos metalúrgicos de producción de cobres/cobres-arsenicales y se propone que fueron utilizados como recipientes de reducción, descartándose su utilización como moldes de lingotes o crisoles de fusión del metal.

BIBLIOGRAFÍA

- FUETEN, F. 1997: “A computer-controlled rotating polarizer stage for the petrographic microscope”. *Computers and Geosciences* 23 (2): 203-208.
- GOODCHILD, J. S. y FUETEN, F. 1998: “Edge detection in petrographic images using the rotating polarizer stage”. *Computers and Geosciences* 24 (8): 745-751.
- HUNT ORTIZ, M.A. 2003: *Prehistoric Mining and Metallurgy in South-West Iberian Peninsula*. British Archaeological Reports. BAR International Series 1188. Archaeopress. Oxford: 218 - 228.
- HURTADO PÉREZ, V. 2004: “El asentamiento fortificado de San Blas (Cheles, Badajoz). III milenio a. C.”. *Trabajos de Prehistoria* 61, nº 1:141-155.
- HUNT, M.A.; HURTADO, V.; MONTERO, I.; ROVIRA, S. y SANTOS, J.F. 2009: “Chalcolithic metal production and provenance in the site of San Blas (Cheles, Badajoz, Spain)”. *Archaeometallurgy in Europe*: 81-92.
- MIDDLETON, A.P.; FREESTONE, I.C. y LEESE, M.N. 1985: “Textural analysis of thin sections: evaluation of grain sampling procedures”. *Archaeometry* 27 (1): 64-74.
- OBARA, B. 2007: “Identification of transcrystalline micro-cracks observed in microscope images of dolomite structure using image analysis methods based on linear structuring element processing”. *Computers & Geosciences* 33 (2): 151-158.
- POLVORINOS DEL RÍO, A. y GÓMEZ MORÓN, A. 1999: “Adaptación de un digitalizador de películas fotográficas para el análisis morfométrico de cerámicas arqueológicas”. *Caesaraugusta*, 73. Actas del II Congreso Nacional de Arqueometría, Universidad de Zaragoza: 153-159.
- RODRÍGUEZ DE LA BORBOLLA C. y POLVORINOS DEL RÍO A. 2009: “Dispositivo para la automatización de la captura de imágenes de láminas delgadas de cerámicas arqueológicas”.
- STARKEY, J. y SAMANTARAY, A.K. 1994: “A microcomputer-based system for quantitative petrographic analysis”. *Computers & Geosciences* 20 (9): 1285-1296.
- STREETEN, A.D.F. 1982: “Current research in ceramics: thin section studies”. *British Museum Occasional Paper* 32: 123-135.
- ZHOUA Y., STARKEY J. y MANSINHA J. 2004: “Segmentation of petrographic images by integrating edge detection and region growing”. *Computers and Geosciences* 30: 817-831.