

Estudio arqueométrico de cerámicas procedentes del yacimiento de Starosiedle (Gubin, Polonia)

Javier Peña-Poza

Instituto de Historia. Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC, Madrid.

javier.pena@cchs.csic.es

RESUMEN

Este trabajo reúne los resultados de la caracterización arqueométrica de un conjunto representativo de fragmentos de cerámica de la primera Edad del Hierro pertenecientes al yacimiento arqueológico de Starosiedle (Gubin, Polonia). El objetivo principal del estudio ha sido profundizar en las secuencias de producción y tecnología de los materiales cerámicos encontrados durante los trabajos arqueológicos de campo llevados a cabo en dicho yacimiento en los últimos años. La cerámica estudiada corresponde a la primera ocupación del lugar, fechada principalmente en el siglo VI a.C. y que presenta una amplia variedad de tipologías y formas con 3 apariencias o tratamientos superficiales: tosco, alisado y bruñido. El estudio de caracterización se realizó mediante las siguientes técnicas químico-físicas: lupa binocular, examen petrográfico mediante lámina delgada, difracción de rayos X (DRX), análisis térmico diferencial y termogravimétrico (ATD, ATG), microscopía electrónica de barrido (MEB) combinada con microanálisis de dispersión de energías de rayos X (EDX) y espectrometría de fluorescencia de rayos X (FRX).

Palabras clave:

Cerámica, primera Edad del Hierro, Cultura Lusaciana, Polonia, arqueometría, tecnología, producción.

ABSTRACT

The re-excavation of the Early Iron Age stronghold of Starosiedle (Gubin, Poland) has recently provided an important pottery ensemble, which can be associated to the transitional Göritz/Górzycza phase between the more general Lusatian/Late Hallstatt cultural tradition and the new influences of the La Tène period. These associations contradicted past interpretations derived from the excavation undertaken in early twentieth century. The results of an archaeometrical study carried out with the aim of approaching the production technology of the main pottery types are reported in this paper. Selected pottery samples and two samples of raw clay from the surroundings of the site were characterized by different analytical techniques, such as thin-section petrography, X-ray diffraction (XRD), thermo-gravimetric and differential thermal analyses (TG-DTA), scanning electron microscopy (SEM), and X-ray fluorescence (XRF) spectrometry.

Keywords:

Pottery, Early Iron Age, Lusatian Culture, Poland, archaeometry, technology, production

Rebut: 1 septembre 2010; Acceptat: 1 decembre 2010

RESUM

Aquest treball reuneix els resultats de la caracterització arqueomètrica d'un conjunt representatiu de fragments de ceràmica de la primera Edat del Ferro pertanyents al jaciment arqueològic de Starosiedle (Gubin, Polònia). L'objectiu principal de l'estudi ha estat profunditzar en les seqüències de producció i tecnologia dels materials ceràmics trobats durant els treballs arqueològics de camp duts a terme en aquest jaciment en els últims anys. La ceràmica estudiada correspon a la primera ocupació del lloc, datada principalment en el s. VI a. C. i que presenta una ampla varietat de tipologies i formes amb 3 aparences o tractaments superficials: tosc, allisat i brunyit. L'estudi de caracterització es va dur a terme mitjançant les següents tècniques químic-físiques: lupa binocular, examen petrogràfic mitjançant làmina prima, difracció de raigs X (DRX), anàlisi tèrmic diferencial i termogravimètric (ATD, ATG), microscòpia electrònica de rastreig (MEB) combinada amb microanàlisi de dispersió d'energies de raigs X (EDX) i espectrometria de fluorescència de raigs X (FRX)..

Paraules Clau:

Ceràmica, primera Edat del Ferro, Cultura Lusacians, Polònia, arqueometria, tecnologia, producció.

EXPERIMENTAL

SELECCIÓN DE MUESTRAS

Se seleccionaron un total de 35 muestras del conjunto global de cerámicas. Las muestras seleccionadas cubrieron todo el repertorio tipológico y las tres apariencias superficiales mencionadas anteriormente. La descripción de las muestras seleccionadas se muestra en la Tabla 1.

TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

Las observaciones macroscópicas se llevaron a cabo con una lupa binocular marca Leica modelo MZ16. Esta técnica se utilizó para examinar las secciones transversales pulidas y los aspectos generales de las muestras. Las láminas delgadas (LD) se prepararon realizando un corte perpendicular al borde de cada uno de los fragmentos. El estudio petrográfico de las láminas delgadas se realizó con dos microscopios diferentes de luz polarizada: Nikon 120 y Zeiss modelo LMA 10. Estos microscopios se usaron para identificar las características mineralógicas y las inclusiones presentes en la matriz arcillosa, su granulometría y redondeamiento, así como la forma y orientación de los macroporos. En algunas muestras se llevó a cabo un análisis modal por recuento de 1000 granos por muestra usando un programa informático denominado "Pottery", elaborado en la Universidad Técnica de Ciencia y

Tecnología de Cracovia. Los análisis de DRX permitieron la identificación de fases mineralógicas a partir de su estructura cristalina, que son de gran utilidad para estudiar las reacciones de fase de los minerales en función de la temperatura. Los difractogramas de rayos X se realizaron con dos equipos diferentes: Siemens D-5000 y Philips APD X Pert PW 3020. En los dos casos se usó la radiación $K\alpha$ del cobre, bajo condiciones de trabajo de 40 kV y 30 mA. Los difractogramas se obtuvieron en el intervalo de $2\theta = 2-60^\circ$. Los análisis de ATD y ATG se aplicaron para evaluar el comportamiento térmico de los materiales cerámicos y complementar las determinaciones de DRX. Los análisis de ATD y ATG se llevaron a cabo con un equipo SDT Q600 con crisoles portamuestras de platino en atmósfera de aire, a una velocidad de calentamiento de 10°C por minuto desde temperatura ambiente hasta 1200°C . Los análisis de MEB permitieron caracterizar las microestructuras cerámicas y obtener información acerca de la morfología interna desarrollada durante la cocción y el crecimiento de fases cristalinas o en su caso vitrificadas. Por otro lado, los análisis químicos semicuantitativos se realizaron mediante los espectrómetros EDX acoplados a los equipos MEB. Se observaron fracturas frescas en las muestras con un equipo MEB NanoNova FEI con voltajes de aceleración de 15-18 kV. Por su parte las secciones transversales se mi-

Nº muestra	Identificación	Tipología	Superficie
1	CL 14101	I a	Tosca
2	CL 14102	I a	Tosca
3	CL 14103	I b	Tosca
4	CL 14104	I b	Tosca
5	CL 14105	I c	Tosca
6	CL 14106	II a	Alisada
7	CL 14107	II d	Tosca (alisada en el cuello)
8	CL 14108	III c	Bruñida
9	CL 14109	V a	Bruñida
10	CL 14110	VII a	Bruñida
11	CL 14111	VII b	Bruñida
12	CL 14112	VII b	Bruñida
13	CL 14113	VII c	Bruñida
14	CL 14114	VIII c	Alisada
15	CL 14115	I c	Tosca
16	CL 14116	II a	Bruñida
17	CL 14117	I c	Alisada
18	CL 14118	I a	Tosca
19	CL 14119	VII	Bruñida
20	CL 14120	IV b	Tosca (alisada en la parte interna)
21	CL 14121	I c	Tosca
22	CL 14127	I a	Tosca
23	CL 14128	VII a	Alisada
24	CL 14129	III d	Bruñida
25	CL 14130	IV c	Tosca (bruñida en la parte interna)
26	CL 14131	I d	Alisada
27	CL 14132	VII a	Bruñida
28	CL 14133	Fusayola	Alisada
29	CL 14134	Fusayola	Alisada
30	CL 14135	Fusayola	Alisada
31	CL 15481	I a	Tosca
32	CL 15482	V	Bruñida
33	CL 15483	VII f	Bruñida
34	CL 15484	V - VII	Alisada
35	CL 15488	VII a	Bruñida

Tabla 1. Descripción de las muestras seleccionadas.

croanalizaron con un espectrómetro EDX de silicio (litio) de la firma Princeton Gamma-Tech Inc. con voltajes de aceleración de 16 kV y método de corrección ZAF. Los análisis químicos por FRX del interior de las muestras se llevaron a cabo con un espectrómetro de dispersión de longitudes de onda de rayos X Philips PW-1404, provisto de un tubo de rodio. Las determinaciones analíticas se obtuvieron mediante el software Uniquant 4.22 basado en parámetros fundamentales. Se prepararon muestras en polvo del interior de los fragmentos mediante molienda en mortero de ágata una vez eliminada la superficie más externa para evitar contaminaciones. Dichas muestras en polvo se utilizaron para DRX, ATD, ATG y FRX. Para los análisis de FRX también se prepararon pastillas de ácido bórico prensado utilizando una mezcla de n-butilmetacrilato y acetona (10:90 % peso) como medio ligante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN OBSERVACIONES MACROSCÓPICAS

Las observaciones de la sección pulida después del corte correspondiente, permitieron la determinación de una única fábrica compuesta principalmente por grandes y abundantes inclusiones con bordes angulares inmersas en una matriz arcillosa de grano fino. Prácticamente todas las muestras presentaron este tipo de fábrica y no se encontraron diferencias significativas entre las tres apariencias superficiales. Los colores de las superficies y de las secciones presentaron una gran variabilidad (gris, negro, pardo, alguna mezcla de colores en el mismo fragmento, etc.), aunque el gris y el negro predominaron en las superficies y matrices (corazón negro) de todas las muestras.

ANÁLISIS PETROGRÁFICO MEDIANTE LÁMINA DELGADA

Las observaciones petrográficas también revelaron la presencia del mismo tipo de fábrica en

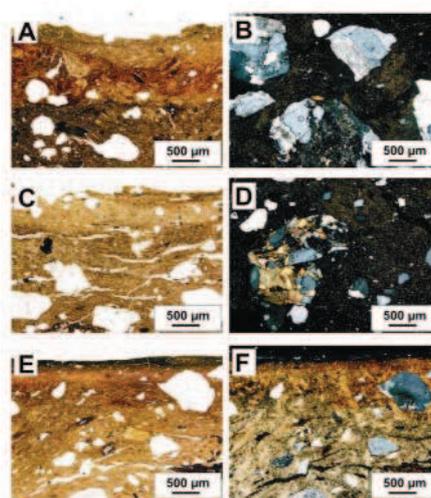


Figura 1.- Micrografías de lámina delgada. A-B) Muestra 1 (tosca). C-D) Muestra 14 (alisada). E-F) Muestra 27 (bruñida). Luz plana: A, C y E. Nícoles cruzados: B, D, y F.

todas las muestras analizadas sin diferencias significativas entre las distintas apariencias superficiales. En general, las matrices arcillosas no presentaron evidencias de vitrificación. No mostraron ninguna diferencia textural entre la superficie y el interior, lo que indica que no se utilizaron capas o engobes para obtener los distintos tratamientos superficiales (Fig. 1.a, 1.c y 1.e). Sin embargo, algunas muestras presentaron superficies muy negras como resultado de las fuertes condiciones reductoras al final del proceso de cocción (Fig. 1.e y 1.f). En la mayoría de los fragmentos analizados aparecieron poros abundantes alargados y estrechos (Fig. 1.c y 1.e). En general los poros aparecen orientados paralelamente a las superficies, lo que sugiere una escasa homogeneización de la pasta húmeda antes de la cocción o incluso un secado rápido, puesto que presenta grietas de secado. También pueden indicar direcciones en las que los alfareros aplicaron fuerza con los dedos para elaborar las paredes de las vasijas.

La textura de la fábrica es porfírica. La ma-

yoría de las inclusiones grandes se compone de fragmentos angulares de granito, con tamaños desde varios micrómetros hasta 3-4 milímetros (Fig. 1.b, 1.d y 1.f). Los fragmentos de granito están compuestos de cuarzo, diferentes variedades de feldespato incluidas la microclina (rico en potasio) y las plagioclasas (ricos en sodio), así como anfíboles y hornblendas con clorita secundaria (Fig. 1.d). En la Fig. 2.a, se muestra una micrografía detallada de un feldespato de tipo microclina. Por otro lado, se encontraron otras inclusiones en menores cantidades que consistían en pequeñas láminas de moscovita (Fig. 2.b), sílex (Fig. 2.c) y algunos nódulos de óxido de hierro de arcillas poco homogeneizadas, como la que se observa en la Fig. 2.d.

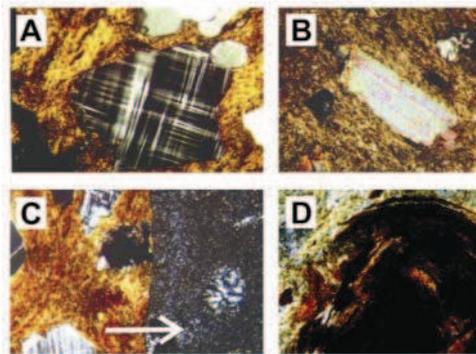


Figura 2.- Micrografías de lámina delgada de algunas inclusiones. Nícoles cruzados. A) Feldespato rico en potasio (Microclina). B) Lámina de moscovita. C) Fragmento de sílex a la derecha (ver flecha). D) Nódulo de óxidos de hierro.

No se encontraron evidencias de descomposición térmica en las inclusiones graníticas. Además, presentan una morfología altamente angular que sugiere sin duda que fueron fracturadas intencionadamente y añadidas a la matriz arcillosa sin ningún cuidado especial respecto al tamaño. No obstante, los bordes de algunos fragmentos de granito aparecen redondeados (por ejemplo, en la Fig. 1.d, las inclu-

siones que aparecen a la derecha). Este hecho podría indicar un redondeo mecánico que es común en depósitos de origen glacial. La densidad de inclusiones respecto a la matriz arcillosa se estimó entre el 17-37 %.

ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

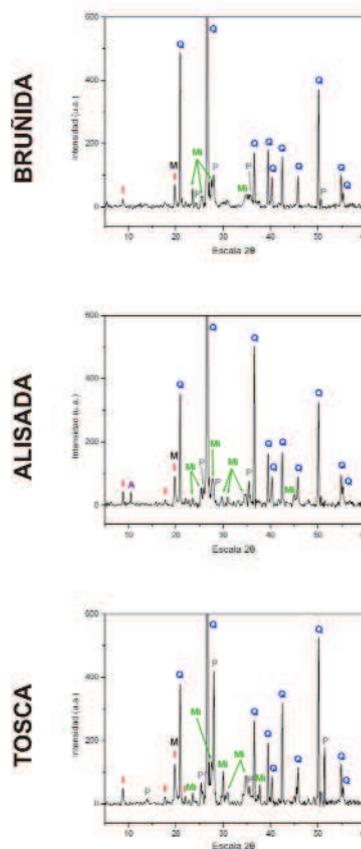


Figura 4.- Curvas de ATD, ATG de fragmentos cerámicos con apariencias superficiales: bruñida (muestra 35), alisada (muestra 14) y tosca (muestra 15).

El análisis cualitativo de DRX, puso de manifiesto una composición mineralógica homogénea en todas las muestras analizadas, lo que está de acuerdo con los resultados petrográfi-

cos. Las principales fases detectadas corresponden a los componentes principales de las inclusiones graníticas. Así, se determinó cuarzo, feldespatos en los términos microclina o plagioclasa en función de la cantidad presente de cada uno de ellos y, en algunos casos, anfíbol como fases principales, mientras que las fases correspondientes a la matriz arcillosa, como illita y moscovita, se determinaron como fases secundarias (Fig. 3). No se encontraron diferencias en las fases mineralógicas detectadas en las muestras con distintas apariencias superficiales. Finalmente, la intensidad de las reflexiones de las fases fue el único punto de distinción entre las muestras analizadas, que se puede relacionar con la heterogeneidad y diferente cantidad de cada fase en las inclusiones graníticas.

ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL Y TERMOGRAVIMÉTRICO (ATD Y ATG)

Todas las muestras analizadas presentaron un comportamiento térmico similar, acorde con los resultados de las otras técnicas. Asimismo, no se presentó ninguna diferencia entre las muestras con distinta apariencia superficial. Se observaron dos efectos térmicos en las curvas de ATD y ATG de las muestras analizadas (Fig. 4). Se observa un efecto endotérmico alrededor de 570°C que se puede asignar a la inversión $\alpha \rightarrow \beta$ del cuarzo y otro exotérmico a 950°C aproximadamente, que podría corresponder a la descomposición completa de los minerales arcillosos de tipo illita. Esta reacción se produce normalmente entre 900 y 1000°C, dependiendo del grado de cristalinidad de la illita (Maggetti, 1982: 127). Estos dos picos son coherentes con las fases mineralógicas detectadas tanto en la observación petrográfica como mediante los resultados de DRX, puesto que son las únicas fases que pueden experimentar transformaciones térmicas en el intervalo de temperatura ensayado desde una temperatura ambiente hasta los 1200°C. Los feldespatos microclina y plagioclasa comienzan su des-

composición alrededor de 1150-1200°C (Rice, 1987: 97), mientras que el cuarzo es térmicamente estable a temperaturas inferiores de 1200°C.

OBSERVACIONES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

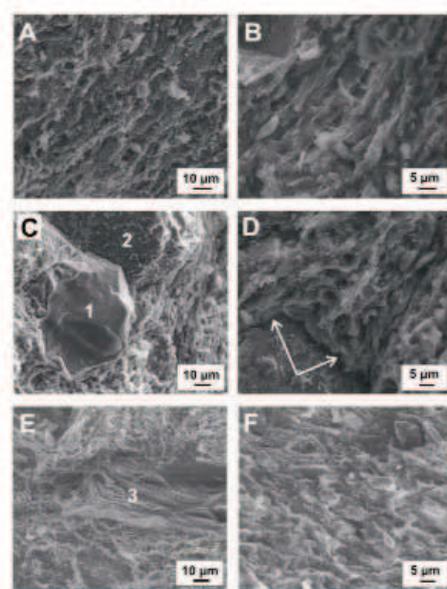


Figura 5.-Micrografías de MEB en modo electrones secundarios (SE) de las fracturas frescas de los fragmentos. A) Muestra 1 (tosca). B) Muestra 15 (tosca). C) Muestra 15 (tosca). 1→Inclusión de cuarzo. 2→Nódulos de óxidos de hierro. D) Muestra 15 (tosca). Las flechas muestran un contacto limpio entre las inclusiones y la matriz arcillosa. E) Muestra 9 (Bruñida). 3→Inclusión de anfíbol. F) Muestra 9 (Bruñida).

Las observaciones de las fracturas frescas permitieron la identificación de una microestructura laminar en la mayoría de las muestras que se puede asignar a un estado de sinterizado de no vitrificación (Fig. 5.a, 5.b y 5.f). Esta microestructura es característica de arcillas con illita y proporciones elevadas de otros minerales micáceos (García-Heras y Rincón, 1996) que fueron determinados (illita y moscovita)

por DRX. Por otro lado, mediante las observaciones de MEB fue posible corroborar que una gran parte de las inclusiones que contienen cuarzo se añadieron intencionadamente, ya que presentaban bordes limpios y agudos en contacto con los minerales de la matriz arcillosa. Sin embargo, no fue posible realizar tal comprobación para los nódulos de óxidos de hierro, ya que estos óxidos concurren de forma natural o se pueden formar en la arcilla durante la cocción (Fig. 5.c y 5.d). Mediante MEB, también se detectaron algunas inclusiones de anfíbol que ya se habían detectado por DRX y que probablemente guardaban relación con el origen de la arcilla, aunque el anfíbol se detectó petrográficamente en las hornblendas presentes en las inclusiones graníticas (Fig. 5.e). Al igual que con las otras técnicas utilizadas, no se encontraron diferencias significativas entre las distintas apariencias superficiales.

ANÁLISIS QUÍMICO

Los resultados de los análisis químicos por FRX del interior de las muestras se recogen en la Tabla 2. Los materiales cerámicos analizados se pueden considerar como no calcáreos, puesto que la concentración de óxido de calcio (CaO) era menor del 5% en peso (0,6-1,57%

en peso). El contenido de óxido de hierro (Fe_2O_3) fue bastante elevado (5,70-10,35% en peso), ya que dicho óxido es el principal componente de las arcillas illíticas. Aparte del contenido de óxido de hierro, la composición química del interior de las siete muestras analizadas por FRX fue relativamente homogénea como se espera de una mineralogía uniforme, según se determinó tanto mediante las observaciones petrográficas como por los análisis de DRX. No se encontraron diferencias de composición química en los fragmentos de distintas apariencias superficiales. Los componentes mayoritarios fueron óxido de silicio (SiO_2 : 61,93-64,50% en peso), óxido de aluminio (Al_2O_3 : 19,30-23,38% en peso), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de potasio (K_2O : 2,03-3,98% en peso) y óxido de fósforo (P_2O_5 : 0,41-2,21% en peso); mientras que los componentes minoritarios fueron óxido de magnesio (MgO : 0,47-1,95% en peso), óxido de calcio (CaO), óxido de titanio (TiO_2 : 0,74-1,09% en peso), óxido de sodio (Na_2O : 0,53-0,79% en peso) y óxido de manganeso (MnO : 0,03-0,24% en peso). Finalmente también se determinaron muy pequeñas cantidades de otros óxidos, como el de cromo (0,01-0,02% en peso), estroncio (0,01-0,02% en peso), circo-

Muestra	7		9		14		15		20		25		35	
	Tosca		Bruñida		Alisada		Tosca		Tosca		Tosca		Bruñida	
Técnica Analítica	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX	FRX	EDX
Na_2O	0.78	0.23	0.65	0.72	0.53	0.23	0.58	0.30	0.79	0.32	0.67	0.15	0.60	0.67
MgO	1.82	2.23	1.88	1.54	1.13	1.03	1.42	1.84	0.47	0.49	1.95	2.13	1.06	0.72
Al_2O_3	20.76	22.96	20.52	22.06	23.38	23.82	20.89	23.79	22.22	23.66	21.79	28.31	19.30	22.02
SiO_2	64.13	54.47	62.92	55.26	63.07	62.15	64.50	55.90	64.46	56.83	62.59	56.52	61.93	58.84
P_2O_5	0.44	2.80	1.25	3.91	1.01	1.82	0.77	1.81	1.23	5.87	0.41	2.28	2.21	4.41
K_2O	3.98	3.41	3.83	2.87	2.38	2.05	2.96	2.76	2.30	1.76	3.31	3.04	2.03	2.36
CaO	0.62	0.47	0.95	1.00	1.57	0.87	0.75	0.45	0.71	0.59	0.60	0.24	1.32	1.21
TiO_2	0.74	1.10	0.87	1.32	1.09	1.37	0.91	1.31	0.97	1.24	0.83	0.84	0.84	0.99
Cr_2O_3	0.02	Nd.	0.02	0.13	0.02	0.12	0.02	0.11	0.01	0.01	0.02	Nd.	0.02	0.08
MnO	0.09	0.06	0.06	0.17	0.04	0.08	0.08	0.04	0.03	Nd.	0.06	Nd.	0.24	0.21
Fe_2O_3	6.57	12.27	6.94	11.02	5.70	6.46	7.04	11.69	6.72	9.23	7.67	6.49	10.35	8.76
SrO	0.01		0.01		0.02		0.02		0.01		0.02		0.02	
ZrO_2	0.02		0.04		0.03		0.03		0.04		0.03		0.04	
BaO	0.02		0.06		0.03		0.03		0.04		0.05		0.04	

Tabla 2.- Resultados de los análisis químicos del interior de los fragmentos por FRX y microanálisis promedio de EDX de las secciones trasversales (% en peso). (Nd: no detectado)

nio (0,02-0,04% en peso) y bario (0,02-0,06% en peso).

Dado que la mayoría de las inclusiones fueron añadidas y machacadas intencionalmente y que los fragmentos graníticos estaban compuestos predominantemente de cuarzo (SiO_2) y feldespatos potásicos (K_2O) y sódicos (Na_2O), la composición química del interior de los fragmentos refleja o bien la composición de la arcilla o la de las inclusiones. Por esta razón, se detecta un incremento notable de óxido de silicio (SiO_2), óxido de potasio (K_2O) y óxido de sodio (Na_2O) en los resultados de FRX en comparación con los microanálisis promedio de EDX obtenidos en dos o tres áreas diferentes de la matriz arcillosa en las secciones transversales de los fragmentos (Tabla 2). También resulta importante que los óxidos más relacionados con la composición de la arcilla, como el óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de titanio (TiO_2) u óxido de hierro (Fe_2O_3), presentan concentraciones más elevadas en los microanálisis de EDX realizados en la matriz arcillosa. El óxido de fósforo (P_2O_5) no sigue este patrón ya que suele ser muy sensible a los cambios post-deposicionales que tienen lugar durante el enterramiento de las cerámicas arqueológicas (Freestone et al., 1985; Lemoine y Picon, 1982).

IMPLICACIONES TECNOLÓGICAS Y CONSIDERACIONES FINALES

En conjunto, la caracterización arqueométrica mediante diferentes técnicas químico físicas de los fragmentos seleccionados, indica que la mayoría de los materiales cerámicos del yacimiento arqueológico de Starosiedle se elaboraron a partir de arcillas illíticas ricas en hierro, en las cuales, se añadieron intencionalmente una cantidad importante de fragmentos de rocas fracturadas de naturaleza granítica. Con la adición de este tipo de fragmentos graníticos los alfareros de la Edad del Hierro de Starosiedle, crearon un tipo de material compuesto cerámico

que podría relacionarse con la mejora de las propiedades mecánicas de las vasijas cerámicas. Por lo tanto, la presencia de inclusiones grandes de características no plásticas, previno la formación y propagación de microgrietas a lo largo de la matriz arcillosa. Por otro lado, la presencia de algunas inclusiones graníticas con bordes mecánicamente redondeados parece ser una característica común de los depósitos de origen glacial, y, por tanto, un posible indicador del origen local de los materiales cerámicos. Del mismo modo, la presencia de algunas inclusiones aisladas de sílex podría argumentar también este posible origen.

De acuerdo con los resultados, no hay evidencias de especialización en una forma tipológica determinada, ya que los alfareros de Starosiedle, usaron el mismo material cerámico compuesto a partir de las mismas materias primas y arcillas para elaborar todo el conjunto de formas documentadas en el mencionado yacimiento. No usaron ninguna receta de pasta especial para las vasijas con diferentes tratamientos superficiales, ya que utilizaron este material compuesto para hacer indistintamente vasijas de superficie tosca, alisada o bruñida. Por otro lado, la abundancia de poros alargados, estrechos y orientados en paralelo a la superficie de la vasija, resulta una evidencia clara de que el material cerámico se elaboró manualmente.

Finalmente, los materiales cerámicos de Starosiedle se cocieron a una temperatura relativamente baja, que se puede estimar aproximadamente dentro del intervalo 700-750°C, o incluso más bajo. Esta estimación se basa en la presencia de illita y moscovita en los resultados de DRX, cuya deshidroxilación nunca comienza antes de 850-900°C, como demostraron las curvas de ATD-ATG que se obtuvieron para algunas de las muestras analizadas. El estado de sinterizado de no vitrificación de la matriz arcillosa que se observó

por MEB está de acuerdo con esta estimación de la temperatura de cocción.

La cocción se llevó a cabo en condiciones reductoras con una proporción limitada de oxígeno. Este procesamiento dio lugar a colores predominantemente negro y gris oscuro debidos a la reducción de compuestos de Fe (III) a compuestos de Fe (II). Las bajas temperaturas o las condiciones reductoras se pueden producir en estructuras de cocción no permanentes.

AGRADECIMIENTOS

Parte de esta investigación se ha llevado a cabo en el marco de un proyecto bilateral entre el Instituto de Historia del CSIC y el Instituto de Arqueología y Etnología de la Academia Polaca de Ciencias (Ref. 2008PL0012).

El autor agradece a los Dres. M. García-Heras y M.A. Villegas su colaboración para la elaboración de este trabajo. También se agradece la financiación parcial del Programa Consolider Ingenio 2010 TCP-CSD 2007-00058 y del proyecto CICYT-MAT ref. 2006-04486. Asimismo, el autor agradece un contrato GP1 de titulado superior de actividades técnicas y profesionales al Programa Consolider mencionado anteriormente. Por último, se reconoce el apoyo profesional de la Red Temática de Patrimonio Histórico Cultural (RTPHC).

BIBLIOGRAFÍA

FREESTONE, I.C., MEEKS, N.D. y MIDDLTON, A.P., 1985: Retention of phosphate in buried ceramics: an electron microbeam approach, *Archaeometry*, 27, 161-177.ç

GARCÍA-HERAS, M. y RINCÓN J.M., 1996: Microstructural and microanalytical study (SEM/EDX) of Celtiberian potsherd from the Spanish Central Meseta, *Geoarchaeology: An International Journal*, 11, 329-344.

LEMOINE, C. y PICON, M., 1982: La fixation du phosphore par les céramiques lors de leur enfouissement et ses incidences analytiques, *Revue d'Archéométrie*, 18, 65-73.

MAGGETTI, M. (1982): *Phase analysis and its significance for technology and origin*, en J.S. Olin and A.D. Franklin (eds.), *Archaeological Ceramics*, (pp. 121-133). Smithsonian Institution Press, Washington D.C.

RICE, P.M. (1987): *Pottery Analysis: A Sourcebook*, University of Chicago Press. Chicago.