

# PROVENIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LAS PRODUCCIONES DE TERRA SIGILLATA ITALICA DOCUMENTADAS EN LA CIUDAD ROMANA DE BAETULO (BADALONA, BARCELONA) A TRAVÉS DE SU CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA

PROVENANCE AND TECHNOLOGY OF THE ITALIAN TERRA SIGILLATA PRODUCTIONS DOCUMENTED IN THE ROMAN TOWN OF BAETULO (BADALONA, BARCELONA) THROUGH THEIR ARCHAEOLOGICAL CHARACTERIZATION

Marisol Madrid i Fernández

Cultura Material i Arqueometria ARQ|UB- GRACPE

Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Universitat de Barcelona

**RESUMEN:** Baetulo era una ciudad romana situada en la costa catalana donde se comercializaron diversas producciones de terra sigillata itálica (TSI) desde el 25 a.e. hasta el 50 d.e aproximadamente. En época de Augusto (27 ae. - 14 d.e.), la producción de esta vajilla alcanzará su máximo apogeo fabricándose en diversos talleres dentro y fuera de la península itálica y presentando una gran uniformidad. Esta similitud hace, en principio, imposible distinguir entre producciones ni establecer su procedencia a ojo desnudo. Así, para la correcta interpretación de la circulación cerámica de estas producciones en Baetulo se ha llevado a cabo un trabajo de caracterización arqueométrica incluyendo también individuos de las ciudades de Emporiae y Tarraco para obtener una visión más amplia sobre su comercialización en la costa catalana. Así, se ha determinado la composición química por Fluorescencia de Rayos X y la mineralógica por Difracción de Rayos X de ciento cuarenta y nueve individuos para establecer su procedencia y tecnología de producción. Finalmente, se han realizado observaciones por Microscopía Electrónica de Barrido sobre la microestructura y el estado de sinterización de la matriz y del barniz y el grado de adherencia entre ambos, así como un estudio de propiedades mecánicas de los materiales para observar si diferentes producciones corresponden también a diferentes calidades.

**SUMMARY:** Baetulo was a roman town located in the Catalan coast where several Italian terra sigillata productions were commercialized about the 25 BC to 50 AD. The production of this tableware reached its peak during Augustan times (27 BC - 14 AD) with the establishment of several workshops, within and outside the Italian Peninsula, making like terra sigillata. This similarity makes, in principle, impossible to distinguish among different productions or establishing their provenance to Naked Eye. Therefore, in order to shed light on the provenance and exchange structures of these terra sigillata productions in Baetulo an archaeometric research was conducted. Samples from Emporiae and Tarraco were also included in order to get a wide perspective on the commercialization of this pottery in the Catalan coast. Thus, chemical analyses by means of X Rays Fluorescence and mineralogical analyses by means of X Rays Diffraction were performed on one hundred and forty nine individuals for provenance and technological studies. A selection of them has further been analyzed under the Scanning Electron Microscope for microstructure and sintering stage studies of the matrix, and the adherence and the sintering state of the gloss. Finally, the mechanical properties of materials were also investigated in order to find out whether different productions also agreed with different qualities.

**PALABRAS CLAVE:** terra sigillata, Baetulo, procedencia, tecnología, propiedades mecánicas.

**KEY WORDS:** terra sigillata, Baetulo, provenance, technology, mechanical properties.

## I. INTRODUCCIÓN

La cerámica *terra sigillata* es una de las vajillas más importantes del mundo romano. Sus características más destacables son el color rojizo de la pasta y barniz, similar al color de la arcilla/terra, y el uso, en muchos casos de sellos o marcas de ceramista (*sigilla*). La aparición de esta ce-

rámica se puede datar hacia mediados del siglo I a.e. en la península Itálica. Arezzo fue probablemente el primer taller que produjo y comercializó las primeras formas de *la terra sigillata* Itálica; en pocos años la producción se propagó por toda la Península Itálica la Galia y Hispania difundiéndose por todo el Mediterráneo (Poblome *et al.* 2004). Así pues, actualmente se entiende como *terra sigi-*

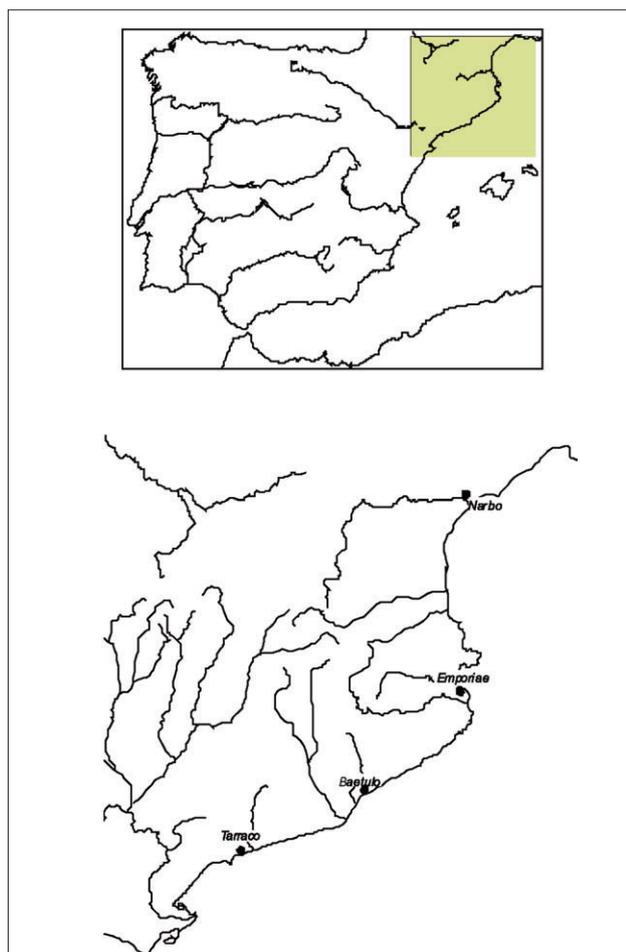


Fig. 1. Mapa donde se localizan los yacimientos en estudio.

*lata* itálica la producción de diversos centros, tanto de la Península Itálica como fuera de ella, que presentan la misma tipología y unas características físicas tan similares que hacen prácticamente imposible distinguir su proveniencia a ojo desnudo. En general, su cronología se puede situar desde mitad del siglo I a.e. a mitad del siglo I d.e., aunque se continuó fabricando lo que se conoce como *terra sigillata* tardeoitálica hasta mitad del siglo II d.e.

En cuanto a su caracterización arqueométrica (Madrid y Buxeda 2002), los trabajos más destacados se han centrado, principalmente, en la Península Itálica y en la Galia, en cuanto a estudios sobre los centros productores para el establecimiento de sus grupos de referencia, y en la Península Itálica, la Galia y el limes germánico, en cuanto a centros de consumo de esta vajilla para la identificación de su proveniencia. En relación a la ca-

racterización arqueométrica de *terra sigillata* Itálica en centros de consumo de la Península Ibérica, este tipo de estudios se encuentra todavía en un estadio inicial.

En nuestro caso, los resultados preliminares del estudio que presentamos a continuación, pero centrado únicamente en *Baetulo*, revelaban ya la presencia en la ciudad de como mínimo *terra sigillata* itálica de cinco centros de producción diferentes: Arezzo, Pisa, área del Lacio-Campania, la Producción A y un taller no identificado (Madrid 1999; Madrid 2004). Así, el presente artículo se centra en la ciudad romana de *Baetulo* (Badalona, Barcelona) pero también considera una muestra de las dos ciudades de época tarde-republicana y alto imperial más importantes de la zona, *Emporion* y *Tarraco* (Figura 1) con la finalidad de obtener una visión más amplia sobre la comercialización de estas cerámicas en la costa catalana. Aún así, hay que destacar que el estudio arqueológico previo a la caracterización arqueométrica sólo se llevó a cabo para la ciudad de *Baetulo* a partir de una selección de contextos que cubren diversas etapas y cuya formación se considera contemporánea a la circulación de la *terra sigillata* Itálica (Madrid 2005).

## II. MUESTREO Y METODOLOGÍA ANALÍTICA

El problema definido en *Baetulo* parte de la consideración de esta ciudad como centro receptor en el cual circulan, desde inicios de Augusto y hasta aproximadamente mitad del siglo I d.e. diversas producciones de *terra sigillata* Itálica. Por ello, el trabajo arqueométrico se planteó con la finalidad de identificar el número de producciones y su proveniencia asumiendo que nos encontrábamos ante una muestra poligenética. Una vez identificadas cuántas producciones y relacionadas éstas con sus centros o áreas de producción, la intención era, por un lado, establecer las características tecnológicas de cada una de ellas, es decir, temperaturas de cocción, estadio de sinterización de la matriz y tipo de hornos utilizados para su fabricación. Y, por el otro, realizar estudios sobre los barnices y su grado de adherencia a la matriz, así como sobre las propiedades mecánicas de los materiales, para comprobar si era posible establecer

diferentes niveles de calidad de las diversas producciones identificadas a pesar de la similitud que, a ojo desnudo, se observa para este tipo de vajillas.

Con estos objetivos y a partir del análisis arqueológico previo del material, se realizó un muestreo aleatorio en *Baetulo* que proporcionó una muestra de ciento seis individuos. Para *Tarraco* y *Emporiae* se contó con una muestra formada por diecinueve y veinticuatro individuos respectivamente.

Para su caracterización arqueométrica se ha determinado la composición química por medio de la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y la composición mineralógica a través de la Difracción de Rayos X (DRX) de todos los individuos estudiados. Las observaciones por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se han realizado sobre una pequeña selección de individuos utilizando un aparato Jeol JSM-840 equipado con un detector de electrones secundarios (MEB-ES) y preparado para la adquisición digital de imágenes, trabajando típicamente, a 2000X. Finalmente, para el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales se llevaron a cabo test de resistencia a la ruptura sobre una selección de individuos en un aparato INSTRON 1195, aplicando una fuerza de 100 kN a un ritmo de carga constante de 50  $\mu\text{m}/\text{min}$  calculando la ruptura transversal (TRS). La rutina analítica y metodología de las técnicas utilizadas en este estudio se encuentran ampliamente explicadas en trabajos anteriores (Madrid 2005; Madrid y Buxeda 2007).

### III. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Los resultados del análisis químico por FRX corresponden a un caso especial del espacio proyectivo  $d+1$ -dimensional, el simplex  $S^d$ , en el cual los puntos proyectivos están representados por coordenadas homogéneas que tienen una suma constante y cuyo espacio vectorial es el ortante positivo, siguiendo un modelo multiplicativo con una métrica de intervalos logarítmicos (Barceló-Vidal *et al.* 2001; Aitchison 2005; Buxeda 2008). Debido a ello, para su tratamiento estadístico los datos se han transformado utilizando la transformación CLR en logaritmos de razones centrados (Aitchison 1986; Buxeda 1999).

Como resumen del tratamiento estadístico se presenta el dendrograma (Figura 2) resultante del análisis de aglomerados realizado con el programa S-Plus 2000 (MathSoft 1999) utilizando la distancia euclidiana al cuadrado y el proceso aglomerativo del centroide sobre la subcomposición  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni y Cr con transformación CLR. Este gráfico permite observar una estructura compleja con la presencia de diversos grupos donde se engloba la mayoría de los individuos analizados. Su proveniencia se ha establecido a partir de un estudio de asociación de patrones realizado a partir del contraste de nuestros resultados con los de la base de datos de *terra sigillata* disponible, que actualmente está formada por casi un millar de individuos de *terra sigillata* oriental, itálica, sud-gálica e hispánica. Así, en el centro del dendrograma se distingue el grupo AR que es el que engloba el mayor número de individuos, noventa y cuatro, y que se asocia al taller de Arezzo. A su izquierda se sitúa un pequeño conjunto de individuos (NE) que no forma realmente un grupo, y que aparece indicado como tal únicamente a efectos de la discusión de los resultados. Los individuos de este conjunto heterogéneo (NE) se acaban uniendo a Arezzo y Pisa, ya que su composición química es próxima a la de estos talleres, lo que permite indicar una proveniencia situada en la misma zona, es decir en el norte de Etruria. En el extremo izquierdo del dendrograma se identifica un grupo (PA) que está compuesto por veinticinco individuos y que se puede asociar con la Producción A de bahía de Nápoles (tradicionalmente conocida como *terra sigillata* Tripolitana) (Madrid 2007). Por otro lado, a la derecha de Arezzo se sitúan otros dos grupos, el primero (PS) está formado por cinco individuos y se puede asociar al taller de Pisa. Mientras que el segundo (LC) está formado por trece individuos y se puede asociar a la zona del Lacio/Campania, quizás con el conocido tradicionalmente como taller de Puzzuoli del que todavía no se conoce la ubicación exacta. Finalmente, hay tres individuos que no han quedado englobados en ningún grupo y que tampoco son similares entre ellos. Serían, pues, los únicos representantes en este conjunto de muestras de tres producciones diferenciadas para las cuales no podemos proponer una proveniencia plausible ya

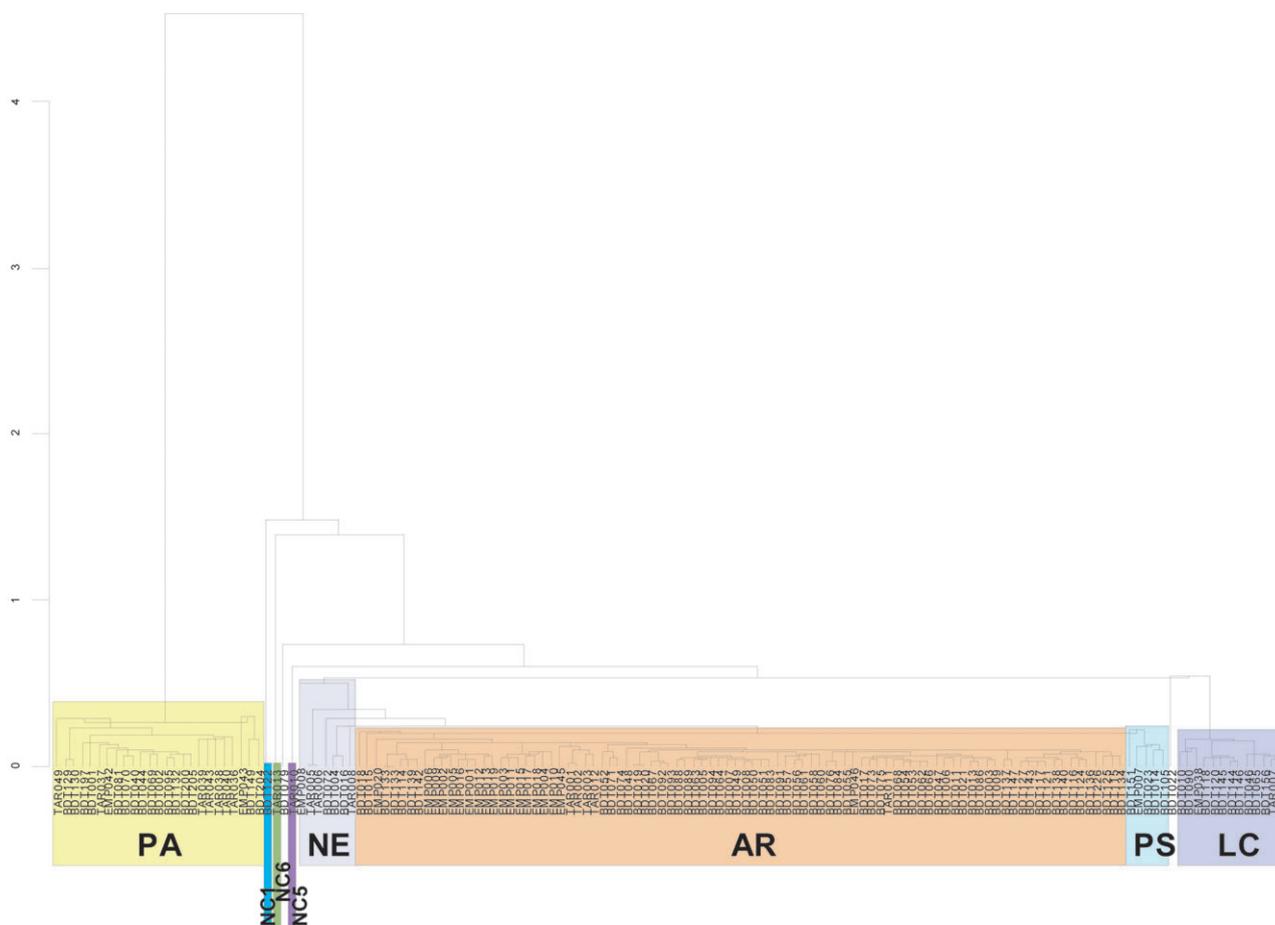


Fig. 2. Dendrograma resultante del análisis de agrupamiento utilizando la distancia euclidiana al cuadrado y el proceso aglomerativo del centroide para la subcomposición  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , MnO,  $TiO_2$ , MgO, CaO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni y Cr con transformación CLR en logaritmos de razones centrados utilizando la media geométrica como divisor. PA: Producción A, NE: Norte de Etruria, AR: Arezzo, PS: Pisa, LC: Lacio-Campania, NC: producciones no conocidas.

que no se agrupan con ninguna producción de la base de datos. En definitiva, se puede decir que por la costa catalana circularon como mínimo ocho producciones distintas de *terra sigillata* Itálica algunas de las cuales llegarían, probablemente, de manera puntual mientras que otras estarían bien implantadas en los mercados y se distribuirían de manera regular. Centraremos pues el estudio tecnológico en estas últimas, la cuales además, hemos podido asociar con Arezzo, Pisa, Lacio-Campania (posible Puzzuoli) y Producción A de la bahía de Nápoles (Figura 3).

#### IV. TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN

Los resultados de la caracterización química ponen de manifiesto que todos los individuos analizados se corresponden con cerámicas definidas tecnológicamente como calcáreas ( $CaO > 5-6\%$ ).

Normalmente los altos contenidos de CaO son debidos a una presencia importante de calcita que se descompone aproximadamente a  $850^{\circ}C$ . Esta descomposición favorece por un lado la cristalización de calco-silicatos y calco-alumino-silicatos de alta temperatura y por el otro la aparición de  $CO_2$  que provocará la aparición de una microestructura celular (Maniatis *et al.* 1981, 1983). En el caso que nos ocupa, el estudio de los difractogramas ha permitido diferenciar diversas fábricas para cada una de las producciones de acuerdo con las fases minerales identificadas.

Excepto para la Producción A, los individuos de la cual forman parte de una única fábrica y presenta, como veremos, diferencias tecnológicas importantes respecto a las demás producciones estudiadas, en los casos de Arezzo, Pisa y Lacio-Campania, que son las que más se parecen, se han

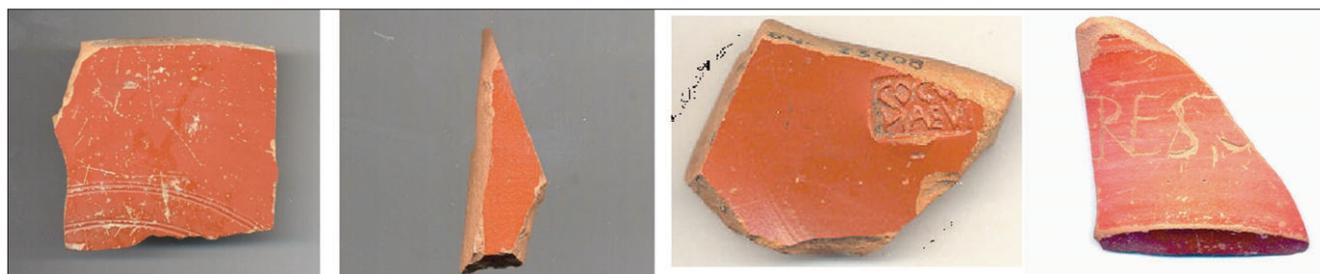


Fig. 3. Aspecto de las producciones más destacadas identificadas en este estudio. A: Arezzo, B: Pisa, C: Lacio-Campania (Pozzuoli), D: Producción A.

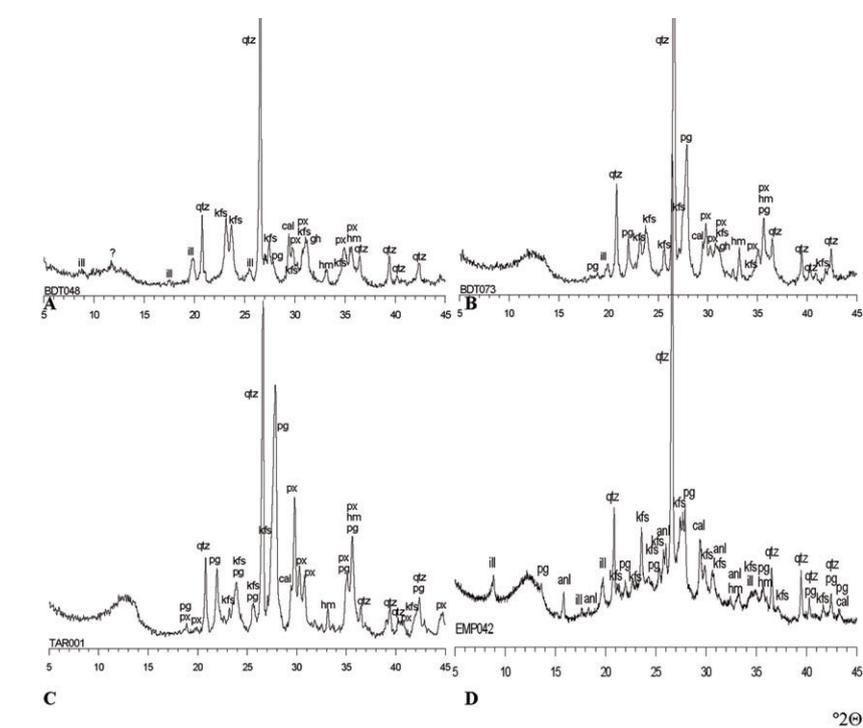


Fig. 4. A: individuo de la F1 de Arezzo. B: individuo de la F3 de Arezzo. C: individuo de la F5 de Arezzo. D: individuo de la Producción A. ill: illita-moscovita, qtz: cuarzo, cal: calcita, pg: plagioclasas, hm: hematites, kfs: feldespato potásico, px: piroxenos, gh:gehlenita, anl: analcima.

identificado diversas fábricas que corresponderían a temperaturas de cocción equivalentes (TCE) distintas. En el caso de Arezzo, el estudio de los difractogramas de los individuos que se asocian a esta producción nos permitió diferenciar cinco fábricas (F1 a F5) que se corresponderían con tres temperaturas de cocción equivalentes (TCE): F1 y F2 (850-950/1000°C), F3 ( $\pm$ 950/1000°C) y F4 y F5 (>950/1000°C) (Figura 4, A,B,C). Pisa por su parte ha permitido diferenciar tres fábricas: F1 (850-950/1000°C), que se correspondería con las fábricas F1 y F2 de Arezzo, F2 ( $\pm$ 950/1000°C), que se correspondería con la F3 de Arezzo y, por úl-

timo la F3 (>950/1000°C), que se correspondería con las fábricas F4 y F5 de Arezzo. Finalmente, para el caso del Lacio-Campania se han identificado dos fábricas: F1 (850-950/1000°C) que se correspondería con las fábricas F1 y F2 de Arezzo y F2 (>950/1000°C) que se correspondería con las fábricas F4 y F5 de Arezzo.

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización mineralógica, se realizaron observaciones sobre fracturas frescas por MEB de individuos de las tres producciones de acuerdo con las diversas TCE estimadas, para el estudio de la

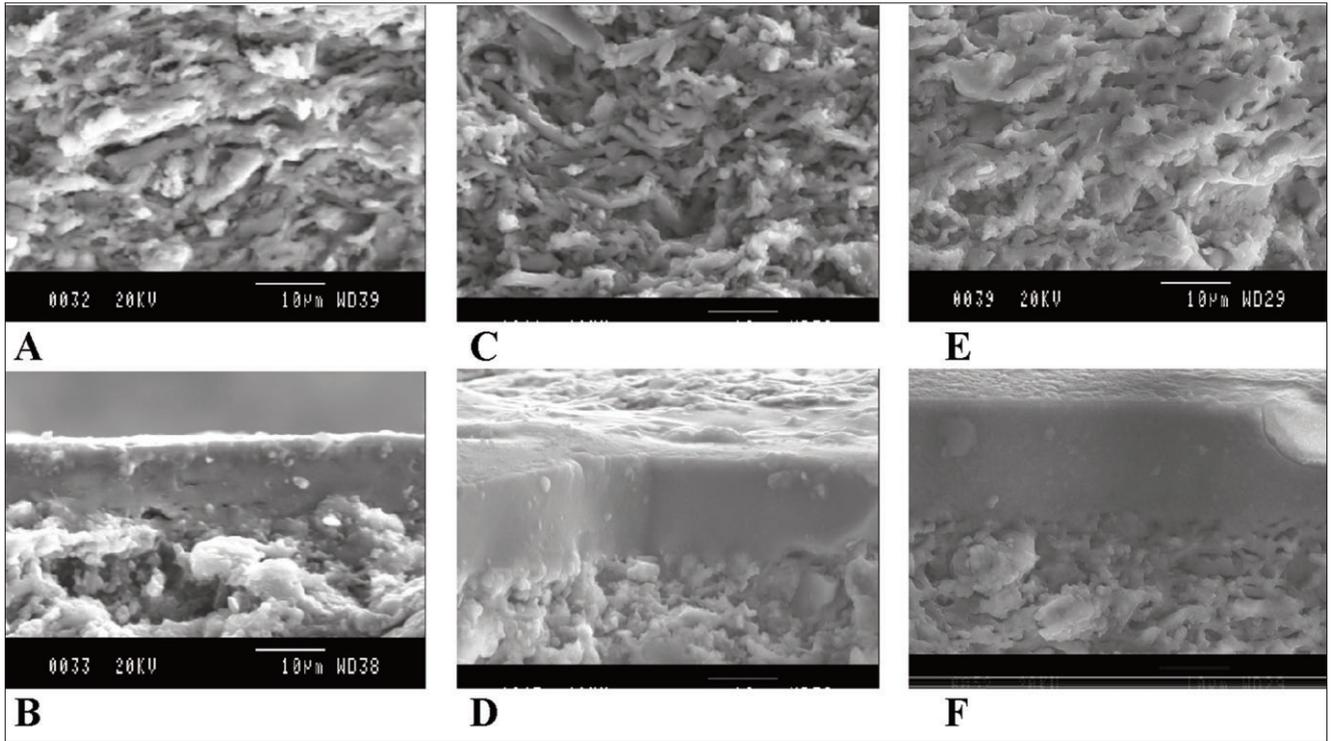


Fig. 5. Arezzo. Microfotografías de MER a 2000X. Tamaño de las imágenes: 60x45  $\mu\text{m}$ . A: matriz del individuo de la F1, B: barniz del individuo de la F1, C: matriz del individuo de la F3, D: barniz del individuo de la F3; Pisa. E: matriz del individuo de la F3, F: barniz del individuo de la F5.

microestructura y estadio de sinterización de la matriz, el barniz y el grado de adherencia entre ambas fases. Como se puede observar en las Figuras 5 y 6, la evolución de la microestructura desarrollada a medida que aumenta la temperatura coincide plenamente con lo establecido por Maniatis y Tite (1978/79) para las microestructuras desarrolladas por las cerámicas calcáreas. Es decir que la matriz de los individuos para los cuales se ha estimado una TCE más baja en el rango 850-950/1000°C (Figura 5, A) se corresponde con un estadio de vitrificación inicial/continuada; la matriz de los individuo para los cuales se ha estimado una TCE  $\pm$ 950/1000°C presenta un estadio de vitrificación continuada (Figura 5C y 6A); mientras que la matriz de los individuo para los cuales se ha estimado una TCE más alta, que son, por otro lado, la mayoría de los individuos analizados en los tres casos, presenta un estadio de vitrificación continuada/avanzada (Figura 5E y 6C).

Respecto al barniz, tanto en el caso de Arezzo como en el caso de Pisa, se observan grosores entre los 10  $\mu\text{m}$  y los 20  $\mu\text{m}$ , mientras que para la producción del Lacio-Campania el grosor

se encuentra en torno a los 10  $\mu\text{m}$  (Figuras 5 y 6). Su estadio de sinterización corresponde en todos los casos a una vitrificación total excepto para los individuos de las fábricas para las cuales se ha estimado una TCE en el rango 850-950/1000°C. En este caso, se observan, de manera aislada, pequeñas inclusiones y también algunos poros alargados que indican que el proceso de fusión de las láminas que lo forman todavía no había finalizado (Figura 5, B). Finalmente, hay que destacar que el grado de adherencia a la matriz para Arezzo y Pisa es óptimo mientras que en el caso del Lacio-Campania se observan zonas de separación entre ambas fases indicando una adherencia regular cosa que unida al menor grosor podría comportar descamaciones prematuras.

Finalmente, para los test de resistencia a la ruptura (TRS) se seleccionaron individuos para los cuales la TCE estimada se situaba a partir de 950/1000°C o superior ya que del estudio tecnológico parece desprenderse que ésta es la temperatura preferentemente utilizada para la fabricación de esta vajilla. Hay que subrayar que los test se realizaron únicamente para las producciones asociadas con Arezzo y el Lacio-Campania

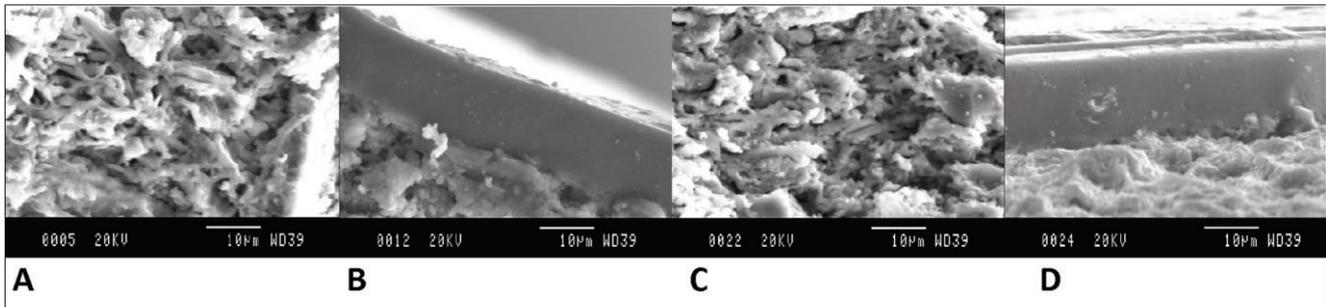


Fig. 6. Lacio-Campania. Microfotografías de MEB a 2000X. Tamaño de las imágenes: 60x45  $\mu\text{m}$ . A: matriz del individuo de la F1, B: barniz del individuo de la F1, C: matriz del individuo de la F2, D: barniz del individuo de la F2.

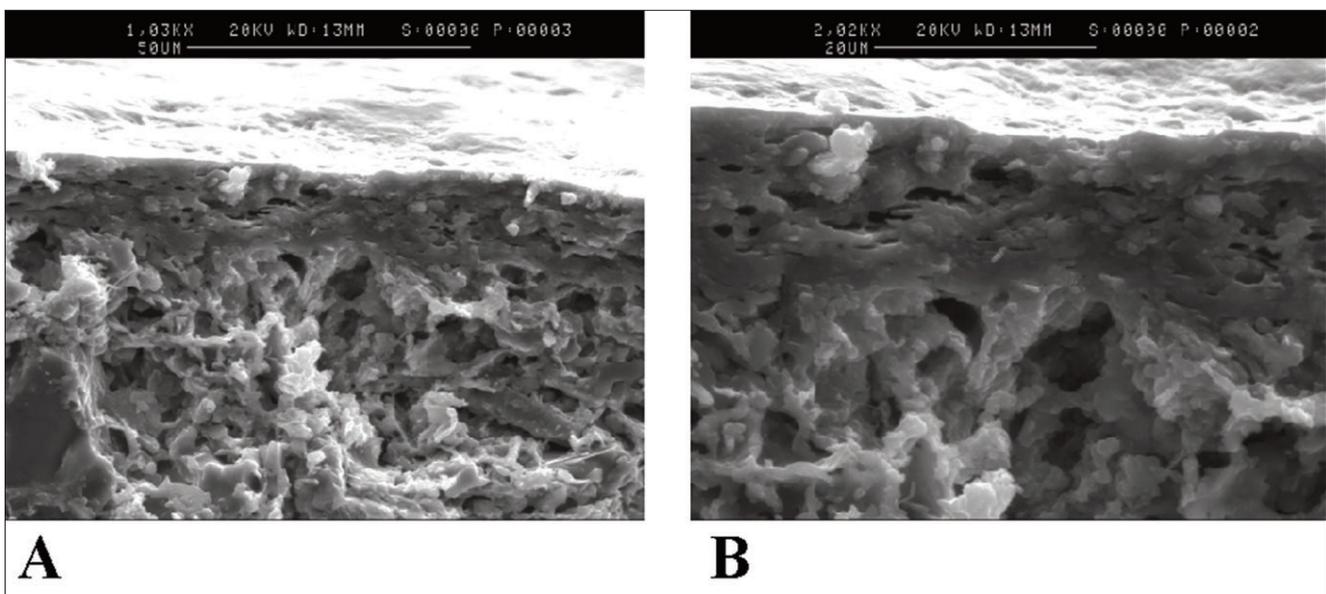


Fig. 7. Producción A. Microfotografías de MEB. A: matriz y barniz A 1000X B: barniz A 2000X.

ya que no se disponía de suficiente material en el caso de Pisa. Por tanto, los test se realizaron a partir de la preparación de tres ladrillos experimentales elaborados a partir de dos individuos correspondientes a la F3 ( $\pm 950/1000^\circ\text{C}$ ) y F5 ( $>950/1000^\circ\text{C}$ ) de Arezzo y tres ladrillos experimentales elaborados a partir de un individuo de la F2 ( $>950/1000^\circ\text{C}$ ) del Lacio-Campania (Tabla 1). En el caso de Arezzo, el primer individuo muestra una resistencia media de 15.823 MPa, mientras que el segundo muestra una resistencia media de 26.223 MPa. Estos datos indican que las diferencias observadas en la TRS coinciden con la TCE estimada, es decir una resistencia más baja para el individuo de la F3 y una resistencia superior para el individuo de la F5. En el caso del Lacio-Campania el individuo testado muestra una resistencia media de 19.088 MPa que coincide con una TCE alta y con una matriz compacta de acuerdo con las observa-

ciones realizadas por MEB. Se trataría, pues, de vajillas de buena calidad, con una alta resistencia a la ruptura ligeramente menor para la producción del Lacio-Campania que para Arezzo, pero sin que ello signifique menor calidad. En el caso de Pisa, a pesar de que la poca disponibilidad de material no permitió la realización de este test, la matriz compacta y sin inclusiones observada por MEB presenta unas características similares a las observadas para los individuos de las F3 y F5 de Arezzo, con los mismos estadios de vitrificación y la misma TCE. Esto podría indicar unas propiedades comunes que deberán ser confirmadas en el futuro

A nivel macroscópico a ojo desnudo (Figura 3) los individuos de Arezzo, Pisa y el Lacio-Campania muestran un aspecto similar. La pasta presenta generalmente un color beige y el barniz marrón rojizo, característico de las producciones

FÁBRICA	Muestra	Pf (N)	S (mm)	b (mm)	d (mm)	TRS (MPa)	XRD
Producción A	mr-apr-1	236.56	20.4	10.4	8.69	9.217.005	
	BDT069	70.25	20.4	10.55	5.8	6.057.024	< 800°C
	mr-apr-2b	50.44	20.4	10.55	5.8	4.348.986	
	BDT002	69.05	20.4	10.65	4.5	9.797.391	< 800°C
Lacio-Campania	mr-65-1	127.4	20.4	10.15	4.75	17.023.058	
	BDT065	146.28	20.4	10.15	4.75	19.545.784	>950/1000°C
	mr-65-1c	154.9	20.4	10.15	4.75	20.697.580	
Arezzo	mr-6-1	110.26	20.4	10.5	4.22	18.043.684	950/1000°C
	BDT006	83.13	20.4	10.5	4.22	13.603.949	
	BDT066	866.45	20.4	10.05	10.03	26.223.883	>1050°C

Tabla 1. Resultados del test de resistencia a la ruptura realizado sobre las producciones de *terra sigillata* Producción A, Lacio-Campania (posible Pozzuoli) y Arezzo. Pf(N): fuerza aplicada en Newtons, S: distancia entre los puntos de presión, b: ancho del ladrillo d: grueso del ladrillo.

de *terra sigillata* clásica que puede variar ligeramente presentando distintas tonalidades en los tres casos. Estas pequeñas variaciones de tonalidad podrían estar relacionadas con el grosor del barniz, el cual de acuerdo con las observaciones realizadas por MEB estaría entre los 10  $\mu\text{m}$  y los 20  $\mu\text{m}$  en el caso de Arezzo y Pisa, y en torno a los 10  $\mu\text{m}$  para el Lacio-Campania. En cualquier caso, éste siempre presenta un estado de vitrificación óptimo que proporcionaría una impermeabilización total de las piezas y un grado de adherencia bueno para Arezzo y Pisa, y regular en el caso del Lacio-Campania. Estas características y una TCE para la mayoría de la fábricas  $\geq 950/1000^\circ\text{C}$  nos permiten inferir el uso de una tecnología que implica la utilización de hornos de radiación y, por tanto, un proceso de cocción tipo C (oxidante-oxidante) (Picon 1973).

En el caso de la Producción A, los veinticinco individuos asociados a esta producción corresponden a la misma fábrica, por tanto, estarían cocidos a la misma temperatura. El difractograma que los ejemplifica (Figura 4, inferior derecha) permite estimar una TCE por debajo de los  $800^\circ\text{C}$ .

Respecto a las observaciones realizada por MEB y como se puede observar en la figura 7 (A), la matriz se encuentra en un estadio de vitrificación muy inicial, estadio propio de una TCE inferior a  $800^\circ\text{C}$  (Maniatis y Tite 1978/79). Respecto al barniz (Figura 7, B), de un grosor aproximado de unos 20  $\mu\text{m}$ , presenta un aspecto granular

donde todavía se aprecian inclusiones y numerosa porosidad debido a la baja temperatura a la que está cocido indicándonos que se trata de un barniz poroso y, por tanto, permeable. A pesar de todo ello, destaca el alto grado de adherencia a la matriz no observándose líneas de separación entre ambas fases.

Para la realización del test de resistencia a la ruptura se utilizaron cuatro ladrillos experimentales fabricados a partir de dos individuos que mostraron una TRS media de 7.355 MPa (Tabla 1), es decir una resistencia muy baja en contraste con la vista para Arezzo y Lacio-Campania, que coincide con una TCE por debajo de los  $800^\circ\text{C}$ . Esto evidencia que se trata de una producción que se rompería con facilidad pudiéndose considerar de baja calidad.

Las características de esta producción a nivel macroscópico (Figura 3) permiten observar una pasta de color beige/tostado y un barniz anaranjado más o menos oscuro, generalmente brillante, pero que nunca consigue el marrón rojizo característico de las producciones de *terra sigillata* clásica y, que presenta en general un estado de conservación satisfactorio. Este hecho debe ponerse en relación con su grosor ( $\pm 20\mu\text{m}$ ) combinado con una óptima adherencia a la matriz. En definitiva, estas características y una TCE  $< 800^\circ\text{C}$ , nos permiten inferir el uso de una tecnología simple relacionada con hornos de convección y un proceso de cocción tipo A (reductor-oxidante) (Picon 1973) para esta vajilla.

	Prod A (n=25)		Arezzo (n=94)		Pisa (n=5)		Lacio-Campania (n=13)	
	Media	DesvEst	Media	DesvEst.	Media	DesvEst	Media	DesvEst.
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> (%)	5,78	0,21	7.20	0.23	7.45	0.18	6.63	0.22
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> (%)	18,18	0,4	17.84	0.46	18.54	0.67	16.83	0.49
<b>MnO</b> (%)	0,13	0,01	0.16	0.01	0.14	0.01	0.13	0.01
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> (%)	0,43	0,09	0.33	0.06	0.22	0.03	0.40	0.15
<b>TiO<sub>2</sub></b> (%)	0,7	0,04	0.86	0.05	0.88	0.02	0.77	0.03
<b>MgO</b> (%)	1,96	0,11	3.53	0.12	3.23	0.11	2.90	0.17
<b>CaO</b> (%)	7,96	1,54	10.88	1.60	8.63	0.73	13.62	0.95
<b>Na<sub>2</sub>O</b> (%)	1,87	0,2	0.90	0.09	1.00	0.09	0.97	0.09
<b>K<sub>2</sub>O</b> (%)	4,31	0,17	2.60	0.18	3.17	0.16	2.63	0.12
<b>SiO<sub>2</sub></b> (%)	58,44	1,03	55.54	1.19	56.60	1.16	54.93	1.26
<b>Ba</b> (ppm)	697	89	370	31	329	42	493	36
<b>Rb</b> (ppm)	182	13	125	10	138	12	140	11
<b>Nb</b> (ppm)	37	3	19	2	18	2	19	1
<b>Pb</b> (ppm)	73	36	49	31	27	2	48	6
<b>Zr</b> (ppm)	280	21	140	8	142	9	183	15
<b>Y</b> (ppm)	30	4	26	3	24	3	28	3
<b>Sr</b> (ppm)	407	63	273	34	241	16	380	30
<b>Ce</b> (ppm)	103	12	69	8	70	6	76	6
<b>Ga</b> (ppm)	20	2	23	2	22	2	21	2
<b>V</b> (ppm)	93	5	112	7	113	4	95	7
<b>Zn</b> (ppm)	96	10	129	6	125	5	121	9
<b>Cu</b> (ppm)	41	11	51	7	53	2	51	7
<b>Ni</b> (ppm)	32	4	87	4	84	5	80	5
<b>B</b> (ppm)	74	6	153	9	137	4	125	4

Tabla 2. Media aritmética y desviación estándar (datos normalizados) de las producciones analizadas en este estudio. (ppm= partes por millón).

## V. CONCLUSIONES

El estudio de caracterización arqueométrica ha permitido establecer que por las ciudades de *Baetulo*, *Emporiae* y *Tarraco* y, por extensión, por la costa catalana, circularon un mínimo de ocho producciones distintas de *terra sigillata* Itálica, algunas de las cuales, las documentadas en mayores cantidades, han podido ser asociadas con áreas o centros de producción conocidos: Norte de Etruria, Arezzo, Pisa, Lacio-Campania (posible Pozzuoli) y Producción A. Arezzo, Pisa y Lacio-Campania habrían utilizado una tecnología basada en el uso de arcillas calcáreas, cocción preferentemente a alta temperatura en hornos de radiación siguiendo un proceso de cocción en modo C (oxidante-oxidante). Los tres talleres presentan un barniz bien vitrificado que impermeabili-

zaría las piezas de manera adecuada, más grueso y con mejor adherencia en Arezzo y Pisa. Estos aspectos son inapreciables a ojo desnudo y, por tanto, inestimables para los posibles consumidores de la época. Arezzo y Lacio-Campania resistirían por igual los golpes consecuencia del uso diario y tendrían una duración similar. Para Pisa no tenemos datos sobre este punto pero el estudio tecnológico nos permite proponer una resistencia semejante a estos talleres, que esperamos poder comprobar en el futuro.

Finalmente, la Producción A es una vajilla de baja calidad, con una muy baja resistencia a la fractura pero con aspecto de vajilla de buena calidad debido, en gran parte, al barniz que aunque poroso es grueso y presenta una buena adherencia a la matriz. Para su fabricación se habrían utilizado ar-

cillas calcáreas, un proceso de cocción en modo A (reductor-oxidante) en hornos de convección a temperaturas en torno a los 800°C. Al estar fabricada en hornos sencillos sus costes de producción

serían menores lo que permitiría una comercialización a precios más bajos, una amplia difusión y una larga permanencia en los mercados compitiendo con vajillas de mayor calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- AITCHISON, J. 1986: *The Statistical Analysis of Compositional Data*, Chapman and Hall, London.
- AITCHISON, J. 2005: *A concise guide to compositional data analysis. 2<sup>nd</sup> Compositional Data Analysis Workshop – CoDaWork'05*. Universitat de Girona. Girona
- BARCELÓ-VIDAL, C.; MARTÍN-FERNÁNDEZ, J.; PAWLOWSKY-GLAHN, V. 2001: "Mathematical foundations of compositional data analysis". En G. Ross (ed.): *Proceedings of IAMG'01-The annual meeting of the International Association for Mathematical Geology*, 6-12 September 2001. Cancún, México: 1-20.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 1999: *Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: The Perturbation Problem*, *Journal of Archaeological Sciences* 26: 295-313.
- BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2008: "Revisiting the compositional data. Some fundamental questions and new prospects in Archaeometry and Archaeology". En J. Daunisi-Estadella y J. Martín-Fernández (eds.): *Proceedings of CODAWORK'08. The 3rd Compositional Data Analysis Workshop. May 27-30*. University of Girona. Girona: 1-18.
- MADRID I FERNANDEZ, M. 1999: "Les marques de potier sur la terra sigillata de la ville romaine de Baetulo (Badalona, Barcelone)". *SFECAG, Actes du Congrès de Fribourg*, Marseille: 179-189.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2004: "Preliminary results of Archaeological and Archaeometrical studies of Early Italian Sigillata from Baetulo (Badalona, Barcelona)". En J. Poblome, P. Talloen, R. Brulet y M. Waelkens (eds.): *Early Italian Sigillata*. Babesch, Annual Papers on Classical Archaeology, Supplement 10, Leuven: 337-350.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2005: *Estudi arqueològic i caracterització arqueomètrica de la terra sigillata de la ciutat de Baetulo (Badalona)*, Tesis Doctorals Electròniques TDX-0105106-091209, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. 2007: "Identificació arqueològica i arqueomètrica de la Producció A de la badia de Nàpols dins les sigillates indeterminades de Baetulo". En M. Roca Roumens y J. Principal (eds): *Les imitacions de vaixel·la fina importada a la Hispania Citerior (segles I aC-I dC)*, Serie Documenta 6: 89-97.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. y BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2002, "A Review of the archaeometric studies of western mediterranean terra sigillata from the first century BC to the second century AD: state of art, limitations and potential". En V. Kilikoglou, A. Hein y Y. Maniatis (eds.), *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics*, BAR International Series 1011, Oxford: 287-298.
- MADRID I FERNÁNDEZ, M. y BUXEDA I GARRIGÓS, J. 2007, "Qualitat i consum ceràmic de la sigillata augustal. Noves vies d'estudi i interpretació a partir de l'arqueometria". *Empúries* 55: 53-66.
- MANIATIS, Y.; SIMOPOULOS, A. y KOSTIKAS, A. 1981: "Mossbauer Study of the Effect of Calcium Content on Iron Oxide Transformations in Fired Clays". *Journal of the American Ceramic Society* 64: 263-269.
- MANIATIS, Y.; SIMOPOULOS, A.; KOSTIKAS, A. y PERDIKATIS, V. 1983: "Effect of Reducing Atmospheres on Minerals and Iron Oxides Developed in Fired Clays: the Role of Ca". *Journal of the American Ceramic Society* 66: 773-781.
- MANIATIS, Y. y TITE, M.S. 1978/79: "Examination of Roman and Medieval Pottery using the Scanning Electron Microscope". *Acta Praehistorica et Archaeologica* 9/10: 125-130.
- MATHSOFT, 1999: *S-PLUS 2000: User's Guide*, Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle.
- PICON, M. 1973: *Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux*. Centre de Recherches sur les techniques Gréco-romaines 2, Université Dijon.
- POBLOME, J.; TALLOEN, P.; BRULET, R. y WAELENS M. (eds.): *Early Italian Sigillata*, Babesch, Annual Papers on Classical Archaeology, Supplement 10, Leuven.