

Cerámica para la producción de sal en Villafáfila: Estudio tecnofuncional a la luz de los análisis de pasta

Carlos P. Odriozola* y José María Martínez-Blanes**

**Dpto. de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla*

***Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla. Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

1. INTRODUCCIÓN

Durante el Neolítico (Escacena, Rodríguez de Zuloaga y Ladrón de Guevara, 1996), Calcolítico (Valiente, 2009) y la Edad del Bronce (Abarquero y Guerra, 2010) peninsular la explotación de la sal se realizó principalmente mediante la cocción de salmuera -agua con un contenido elevado de Na^{1+} y Cl^{1-} en disolución-. Ésta parece haber sido de especial importancia a tenor del volumen de restos de producción recuperados en yacimientos como Molino Sanchón II, Santioste, La Marismilla, Salinas de Espartinas o Monte da Quinta 2. Este método de explotación de la sal, a diferencia de la explotación de sal gema (Fíguls, Weller y Grandía, 2010) o la explotación de ‘*pains du sel*’ (Weller, 2010) deja un registro material muy característico formado por estructuras de combustión –cenizas y hogueras- y ‘*briquetage*’.

El ‘*briquetage*’ son los residuos cerámicos de los recipientes utilizados para la cocción de la salmuera y la obtención de una torta de sal. Esta torta de sal se extrae del recipiente cerámico o ‘*molde*’ mediante la ruptura del mismo.

La cerámica utilizada para la obtención de sal mediante cocimiento de salmuera es, *a priori*, distinta de la cerámica doméstica, aunque ambas categorías cerámicas comparten la misma tecnología de producción. Generalmente se realizan con arcillas locales y abundantes desgrasantes de gran volumen, que incluyen el uso de arenas, elementos vegetales y ‘*chamotte*’ (Weller, 2010). La fragmentación de estos recipientes o ‘*moldes*’ suele ser bastante elevada ya que para extraer la torta de sal era necesario romperlos. A nivel formal presentan perfiles abiertos y terminaciones groseras donde se pueden apreciar impresiones de dedos y vegetales así como improntas de cestería sobre la base de los recipientes, siendo el acabado interior generalmente alisado y muy cuidado (Weller, 2010).

Estos recipientes/moldes se utilizan para que, mediante evaporación por calentamiento a bajas temperaturas, se formen cristales de cloruro sódico (NaCl) o sal (Weller, 2002), siendo considerados como una parte estructural del proceso de producción de sal. A día de hoy esta hipótesis está aún por confirmar, aunque existen datos lo suficientemente sólidos y consistentes que apuntan en esta línea, como es el alto contenido en cloro del ‘*briquetage*’, de 2 a 20 veces superior al de las cerámicas domésticas (Weller, 2002). En este sentido Weller (2010) advierte que a pesar de evidenciarse diferencias en la concentración de Cl entre las categorías cerámicas la exposición a aguas de lluvia, aguas subterráneas, etc. puede llegar a alterar el contenido en Cl de las cerámicas y por tanto

llevar a una mala interpretación de estos resultados, diciendo que la concentración en Cl será más elevada cuanto menor sea la infiltración de agua de lluvia. En esta línea Horiuchi *et al.* (2011) proponen que el cloruro queda en la matriz cerámica a través de un intercambio iónico con los silicatos que forman la matriz. En esta propuesta el cloruro procedente de la cocción de la salmuera pasaría a formar parte estructural de la cerámica mediante intercambio iónico con los silicatos que conforman la matriz cerámica o incluso en el agua estructural atrapada en el interlaminado de los silicatos, por lo que el cloruro medido tras sucesivos lavados en agua destilada sería independiente del cloruro depositado o disuelto en los poros por disoluciones y cristalizaciones sufridas por efecto de las aguas de lluvia o subterráneas. De esta forma asocian el cloruro presente en la matriz cerámica a la producción de sal por cocimiento de salmuera. La propuesta de Horiuchi *et al.* (2011) se basa en una experimentación y réplica del modo de producción de sal japonés pero no en la experimentación directa sobre residuos de producción como el ‘*briquetage*’. En relación a la ‘*capacidad de intercambio de cationes*’ (C.E.C.) en arcillas y cerámicas referida por Horiuchi *et al.* (2011), Hedges y McLellan (1976) nos indican que las arcillas intercambian cationes con facilidad durante el proceso de cocción –hasta los 1000 °C- y deposición, disminuyendo considerablemente con la pérdida de agua estructural derivada de la cocción, propiciando la redistribución de las cargas iónicas y reduciendo los sitios de intercambio. En el caso de las cerámicas el intercambio derivado de la exposición a aguas ricas en iones se dará siempre en relación a la temperatura de cocción de la cerámica, así a menor temperatura de cocción mayor será el intercambio (Hedges y McLellan, 1976). Siendo en líneas generales a partir de 800 °C cuando se da un cambio drástico en la C.E.C., siendo este especial acusado en las arcillas aluviales y las ílticas. Ello es de gran relevancia en el estudio que vamos a acometer ya que según los datos geológicos disponibles las arcillas de las lagunas de Villafáfila son aluviales y de tipo íltico (Santiesteban *et al.*, 2003).

a) Contexto arqueológico y geológico

Los yacimientos de Molino Sanchón II (MSII) y Santioste se encuentran en el mismo borde de las Lagunas de Villafáfila, lavajos de agua salina debida a la gran cantidad de sales que impregnan los materiales terciarios que forman el sustrato miocénico (Santiesteban *et al.*, 2003) principalmente detríticos conglomerados, arenas y arcillas. La salinidad es debida al aporte de aguas del freático profundo procedente del NO que descarga en la laguna (ITGE, 1989), provocando que las lagunas tengan un elevado contenido en sales, principalmente cloruro sódico y/o magnésico. Por otra parte, cabe destacar

que las aguas de las lagunas suelen evaporarse en el estío, provocando un aumento considerable en la concentración de los iones en disolución que llegan a cristalizar formando sales en costras sobre un suelo cuarteado y resquebrajado, mientras que en invierno la concentración de iones baja considerablemente debido al aporte del agua de lluvia.

En el complejo lagunar de Villafáfila existen tres facies hidroquímicas (Fernández-Pérez y Cabrera-Lagunilla, 1987): a) aguas cloruradas sódicas (65%), b) aguas bicarbonatadas-cloruradas sódicas (20%) y c) aguas bicarbonatadas-cloruradas cálcico-magnésicas-(sódicas) (15%). Los análisis realizados en la laguna de Barillos (NE en el complejo lagunar de Villafáfila) revelan un contenido elevado de iones (Martín-Ramos, Martín y Martín en este mismo volumen; Santiesteban *et al.*, 2003): Cl^- 2310 mg/l, Na^+ 1513 mg/l, SO_4^{2-} 241 mg/l, CO_3H^- 400 mg/l, Ca^{2+} 98 mg/l y Mg^{2+} 46 mg/l, donde la calcita (CaCO_3), dolomita (MgCO_3) y natrón (Na_2CO_3) son abundantes, el natrón se considera secundario siendo la halita (NaCl) la sal más abundante.

b) La sal a debate

Uno de los debates actuales en torno a la sal en la Prehistoria reciente de Europa no está tan relacionado con su explotación como con su uso y función social. Recientemente Di Fraia (2011) ha subrayado la necesidad de superar el paradigma de la '*necesidad biológica de sal*' para vivir. En este sentido y tras la revolución Neolítica el consumo de sal no es biológicamente necesario según este autor, a excepción de un descenso drástico en el consumo de carne (Di Fraia, 2006) como principal aporte de sal. Exponiendo que el debate acerca de la explotación de sal en la Prehistoria Reciente debería abandonar este paradigma biológico y centrarse en el estudio de la sal como conservante de alimentos y en relación directa con nuevos hábitos alimenticios (Di Fraia, 2011). Aunque según defienden otros autores, el cambio de los hábitos alimenticios asociado a la revolución de los productos secundarios (Sherratt, 1996) -aumento del consumo de cereal y de alimentos cocidos- haría que la dieta fuese deficiente en cloruros de sodio y por tanto haría necesaria la aportación a la dieta de sal cristalina con el objetivo de restablecer el equilibrio potasio-sódico (Harding, 2007; Weller, 2010). En este sentido parece lógico relacionar la revolución de los productos secundarios con la cada vez más abundante evidencia de explotación de sal durante este periodo ya que en cualquier caso el uso de la sal para salmueras y la conservación de alimentos, cubriría la necesidad biológica de sal de una forma secundaria, adaptándose a las nuevas costumbres alimenticias derivadas de la Revolución Neolítica.

Aparte del uso de sal con motivos alimenticios, existen otros supuestos usos como la adición de sal a las arcillas durante la producción cerámica para mejorar las propiedades aislantes de la cerámica, el uso de la sal en los hogares para mantener la temperatura de los mismos durante más tiempo (Erdoğu y Özbasaran, 2007), para teñir tejidos, tostar alimentos, la metalurgia o la manufactura de pinturas (Kopaka y Chaniotakis, 2003). Pero sin lugar a dudas la sal junto con la miel constituyen la principal fuente de conservantes de la Prehistoria/Protohistoria europea donde además es usada como elemento principal a la hora de realizar perfumes y productos farmacéuticos (Kopaka y Chaniotakis, 2003). Sin duda existen otros muchos usos de la sal derivados de un mejor conocimiento de sus propiedades, pero que sin duda acontecen en periodos posteriores al que nos incumbe.

A nivel productivo, la obtención de sólidos cristalinos de cloruro sódico a través de la cocción de salmueras a baja temperaturas, requiere de la depuración de éstas para el consumo ya que el cloruro sódico cristalizará junto a otras sales con un sabor muy desagradable como el sulfato magnésico (Di Fraia, 2011) -sal epsom-, el natrón utilizado por los egipcios en el embalsamamiento de las momias (Sandison, 1963)- o el yeso. En cualquier caso aquellas sales menos puras se destinarían a la conservación de '*alimentos*' y no para el consumo humano como en el caso de la cueva Ourania (Kato Zagros *c.* 1900 ANE) en el que se puede observar como se depositan en un recipiente cerámico capas sucesivas de sal con impurezas entre las que se colocó algún tipo de materia orgánica, mientras que aquella más pura parece haberse usado para el consumo humano (Kopaka y Chaniotakis, 2003).

Entre el repertorio cerámico habitual en la producción de sal nos encontramos con vasijas para almacenamiento de sal, recipientes de tamaño medio/grande -cocción de la salmuera- y moldes -tronco-cónicos- (Di Fraia, 2011). Será precisamente en estas grandes vasijas de formas abiertas en las que se cueza y depure la salmuera de otras sales con mal gusto (Di Fraia, 2006; 2011). El trasvase de salmueras depuradas de estos grandes recipientes a los moldes podría quedar atestiguado en La Marismilla por la presencia de un pico vertedero (Escacena, Rodríguez de Zuloaga y Ladrón de Guevara, 1996), que podría ayudar en esta labor. Esta hipótesis sobre el modo de producir sal podría sustentarse en la evidencia hallada en las Salinas de Espartinas, en la que tras el análisis de varios fragmentos cerámicos, una cazuela presentaba restos de sales -mirabilita $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ y glauberita $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - (García y Valiente, 2009) con un supuesto mal gusto y cuya velocidad de cristalización es mayor que la del NaCl tal y como puede desprenderse

de la solubilidad a temperatura ambiente de las mismas: Na_2SO_4 195 gr/l, NaCl 360 gr/l, siendo las menos solubles las primeras en cristalizar. De tal forma que es posible que estas cazuelas hayan sido utilizadas para cocer la salmuera y una vez cristalizan estas sales se trasvasa el resto de la salmuera ya depurada a un molde para realizar la torta de sal.

En las lagunas de Villafáfila los estudios geológicos (Santesteban *et al.*, 2003) atestiguan la presencia de otras sales en los sedimentos, concretamente de natrón, que junto con la aguas bicarbonatadas (Fernández-Pérez y Cabrera-Lagunilla, 1987) haría necesaria la depuración para una producción de sal pura.

A la hora de evaluar la tecnología de producción de la sal en los yacimientos de las lagunas de Villafáfila, hemos de prestar especial atención a los diferentes tipos cerámicos ya que como subraya Di Fraia (2011) no sólo existen moldes sino también otras formas cerámicas que evidenciarían el conocimiento de las velocidades de cristalización de las diferentes sales y el uso de estos grandes recipientes para la cocción y depuración de la salmuera. En el caso de los yacimientos de las lagunas de Villafáfila se han encontrado grandes cantidades de recipientes rotos pertenecientes a formas abiertas, mientras que las formas tronco-cónicas y los moldes identificados como *briquetage* en otros yacimientos (Weller, 2002; 2010) son escasos, de hecho la cerámica de *briquetage* en los yacimientos de las lagunas de Villafáfila se ha identificado como aquella con improntas de cestería (para más información acerca de los tipos cerámicos ver capítulo IV en esta monografía).

Parece que el repertorio cerámico de los yacimientos de las lagunas de Villafáfila no tiene paralelo en Europa central, donde dominan las formas abiertas de tendencia troncocónica (ver figura 2 en Weller, 2004), sino que lo encuentran en la Península Ibérica, en yacimientos como La Marismilla (Neolítico Final-Calcolítico), donde destaca la gran abundancia de grandes cazuelas carenadas, cuencos cilíndricos y vasos globulares (Escacena, Rodríguez de Zuloaga y Ladrón de Guevara, 1996) asociados a la producción de sal; o la Salina de Espartinas (Calcolítico) donde dominan los cuencos abiertos y cazuelas, carenadas o esféricas (Valiente, 2009).

El estado de la cuestión actual no permite evaluar la tecnofunción dentro del proceso de producción de sal de las cazuelas, carenadas o no, cuencos abiertos, vasos globulares..., dado que realmente todavía no se sabe con certeza como era el proceso de producción de sal en sí mismo, ni cual la tecnofunción de la cultura material asociada al éste.

Los análisis efectuados sobre cerámicas con improntas de cestería y dedos en las Salinas de Espartinas (García y Valiente,

2009) nos indican que éstas fueron cocidas a temperaturas inferiores a 550 °C ya que el pico basal de la caolinita es visible en el difractograma de rayos X, sin embargo no presenta sales de ningún tipo. El resto de cerámicas estudiadas presentan las mismas sales que las cerámicas de perfil en S (campaniformes), los sedimentos y gredas recuperados en el yacimiento y sus alrededores. Tan sólo una cazuela (anteriormente citada) presenta restos de sales en sus poros y superficie. Sin embargo, la temperatura de cocción de este fragmento sería superior a los 550 °C dado que el pico basal de la caolinita no es apreciable en el difractograma de rayos X. Ello podría estar indicándonos que, a pesar de romperse para obtener la torta de sal, la cerámica dedicada a la cocción de la salmuera se producía con esmero, cocándose a temperaturas medias (superiores a 550 °C) y con acabados de calidad al interior para impermeabilizar la cerámica y evitar la pérdida de salmuera a través de la cerámica (Weller, 2010). A través de los datos expuestos hasta ahora podría desprenderse que existen diferentes segmentos dentro de la *Chaîne Opératoire* (Leroi-Gourhan, 1943) de producción de sal que requeriría del uso de diferentes cerámicas ‘*técnicas*’ con características diferentes para un correcto desarrollo de su tecnofunción.

2. METODOLOGÍA

Con este trabajo pretendemos definir la tecnología de producción de las cerámicas utilizadas en el proceso de producción de sal por cocción de salmuera o ‘*briquetage*’ a través de la comparación de su *Chaîne Opératoire* (Leroi-Gourhan, 1943) o *Behavioral Chain* (Schiffer, 1976), con las de otras categorías cerámicas, *i.e.* doméstica y de prestigio (campaniforme), a nivel diacrónico, Edad del Cobre (MSII) y del Bronce (Santioeste).

Los diferentes sistemas técnicos de producción (Lemonnier, 1986), *a priori*, utilizados en la producción de cerámica ‘*técnica*’ (*a priori briquetage*) y cerámicas de uso doméstico y de prestigio, redundará en una variabilidad formal y estructural a lo largo del tiempo y el espacio, ésta se puede explicar en base a la relación causa-efecto actividad-interacción (Schiffer y Skibo, 1997). Así, la variabilidad de los artefactos se deriva directamente de los distintos modos de operar sobre la materia prima que tienen los artesanos en cada lugar y momento concreto. De esta forma, la cerámica se configura en función de la conducta técnica que el artesano adopte en la producción (Lemonnier, 1993; Skibo y Feinman, 1999). Existiendo una relación directa entre el desarrollo de

un tipo de artefacto concreto y la secuencia operacional que el artesano lleva a cabo durante el proceso de producción.

Así, desde el mismo momento de la extracción de la arcilla como materia prima para manufacturar una cerámica, hasta el momento de su recuperación arqueológica, se producen una serie de acciones e interacciones que van a provocar cambios en las características estructurales de las vasijas. Estos cambios estructurales están muchas veces motivados por la búsqueda de unas propiedades concretas en el uso o tecnofunción que se le va a dar a la cerámica (Skibo, 1992). De cualquier modo, la búsqueda de características físicas adecuadas para el desarrollo de una tecnofunción concreta no implica que a lo largo de su uso estas características u otras se vean a su vez modificadas por la interacción con otros elementos que forman parte de su uso, así, en el caso del *briquetage*, se verá sometida a una interacción con fuego, agua salada, etc., ya que forma parte de un proceso de producción mayor, la obtención de sal. La alteración por uso de las propiedades iniciales de la cerámica no es el único factor a tener en cuenta a la hora de analizar una cerámica, debemos tener en cuenta la biografía (Appadurai, 1986) de estas cerámicas desde su diseño hasta su recuperación hoy día, ya que todas las interacciones sufridas conllevan inevitablemente un cambio o transformación de sus propiedades físicas y/o formales.

La *chaîne opératoire* se va a estudiar en base a las características físico-químicas que podemos analizar con las técnicas de análisis propias de la Ciencia de Materiales (composición química –WDXRF- y mineralogía –XRD-). Estas características lo serán en función de las interacciones que sufre el producto a lo largo de las diferentes etapas del proceso de producción. Así la mineralogía y la composición elemental nos aportarán datos referentes a las diferentes actividades y segmentos de producción: selección y procesado de la materia prima, depurado y agregado de inclusiones plásticas y no plásticas, atmósfera y temperatura de cocción, mientras que por otro lado intentaremos correlacionar otras variables, *i.e.* el contenido en sales, con la tecnofunción que desarrollaron en su tiempo, así como con los fenómenos postdeposicionales que haya podido sufrir.

a) Materiales y métodos

a.1. Composición elemental

La composición elemental se ha obtenido utilizando un espectrómetro de WDXRF (*Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence*) Panalytical AXIOS, equipado con un tubo de rayos X SST-MAX de 4 kW, ánodo de Rodio y ventana frontal de Be. Para obtener una mejor precisión en la medida

de elementos ligeros, el equipo monta unos cristales curvados lateralmente (GE111, PE002).

Las condiciones de excitación varían dependiendo del elemento a analizar (voltaje entre 30 y 60 kV y amperaje entre 50-100 mA). Para minimizar los efectos de superficie la muestra rota durante la medida a una velocidad de 0,5 rpm.

Las muestras han sido lavadas en agua mili-Q previamente a cualquier manipulación, para eliminar los residuos adheridos a los poros y superficie de las muestras.

Debido a que una de las principales preocupaciones es la conservación de los materiales en estudio, la toma de muestra intenta ser lo menos destructiva posible, es decir, tomamos la mínima cantidad de muestra posible, de tal forma que la escasa cantidad de muestra (apenas un vial alrededor de 200-300 mg) imposibilita la preparación de pastillas prensadas auto soportadas. Por este motivo se recurre a preparación de un soporte a base de ácido bórico, tomando alrededor de 2 gramos de ácido bórico en polvo y pre prensándolo a 5 Tm durante 10 s en una matriz de 40 mm de diámetro. Al pistón superior de la matriz se le colocará un pequeño disco de material plástico de 13 mm de diámetro, para así conseguir que tras el pre prensado y la retirada del pistón aparezca una pequeña hendidura en el centro que será donde se dispondrá la muestra.

Se toman 0,1000 g de muestra y se pulveriza hasta alcanzar un tamaño de partícula de 50 mm en un molino planetario de bolas de ágata; a continuación se mezcla con 0,0066g de cera en polvo (relación de 15:1) y se homogeniza bien, tras lo cual se dispone de forma cuidadosa dentro de la hendidura para colocar el pistón nuevamente (esta vez sin plástico) prensarla 40 Tm durante 40 s.

a.2. Mineralogía

Las muestras extraídas de las cerámicas y las arcillas se han reducido a polvo en un molino planetario de ágata (Retsch PM100), tras lo cual se depositaron con etanol sobre un porta muestras de emisión cero (mono-cristal de silicio). Los difractogramas de rayos X se obtendrán en un difractómetro Panalytical X'Pert Pro con un goniómetro theta-theta. El equipo monta un tubo con ánodo de cobre ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) operado a 45 kV y 40 mA y está equipado con un detector X'Celerator con monocromador de grafito de haz difractado (eliminación de radiación Kb y de la de fluorescencia). Los diagramas de rayos-X se tomarán de 3 a 70° con un paso de 0,033° y un tiempo de recuento de 200 s por paso. Para minimizar las orientaciones preferenciales la muestra rota durante la medida a una velocidad de 0,5 rps.

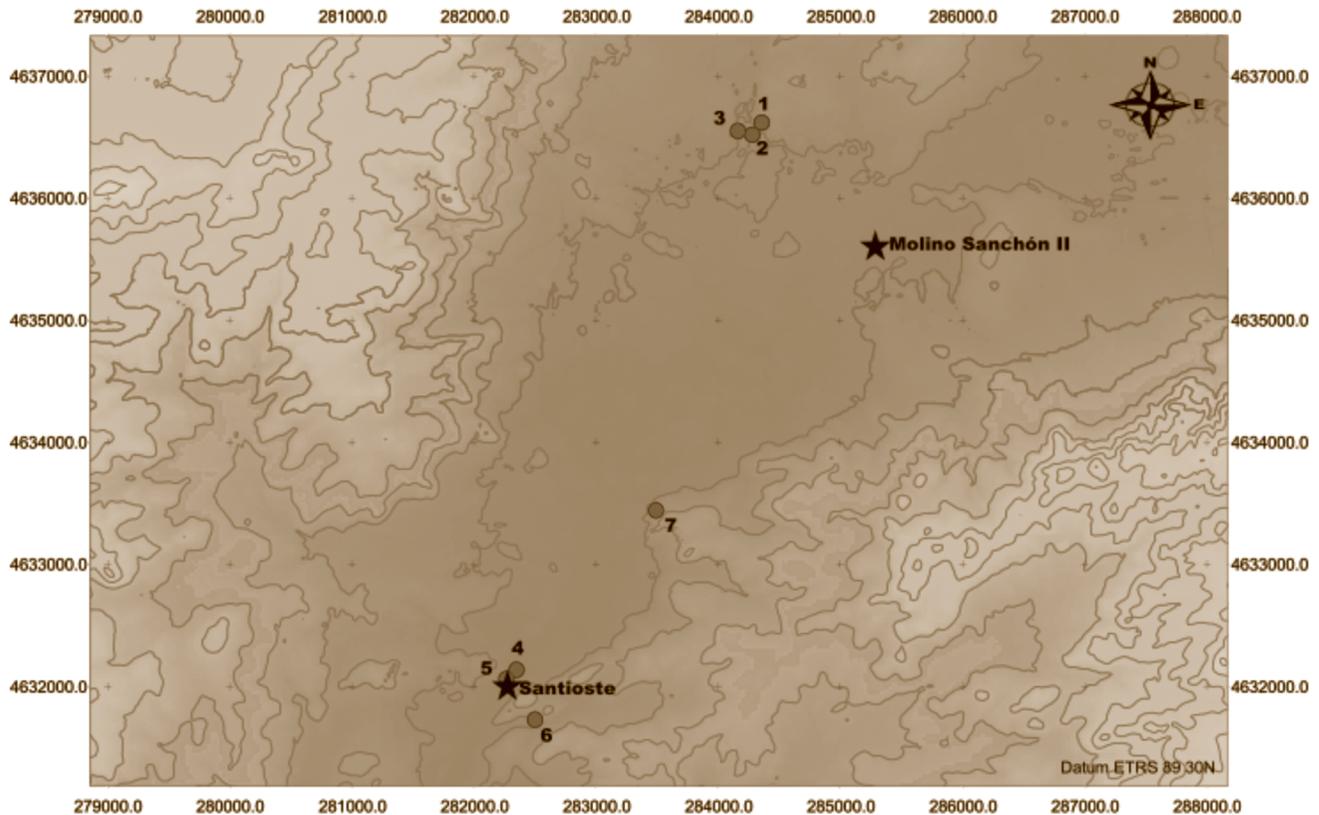


Fig. 1. Mapa de las Lagunas y localización de los puntos donde se han tomado las muestras

a.3. Prospección geológica

Se ha realizado una prospección geológica en busca de posibles fuentes de aprovisionamiento de arcillas en el entorno de las Lagunas de Villafáfila. Prestando especial atención a zonas potenciales como cauces de arroyos, ríos y el perímetro de las Lagunas, todas ellas zonas susceptibles de captación de arcillas, siempre dentro de los umbrales de explotación económica del territorio –umbral máximo de 3-8 km dependiendo de los costes de desplazamiento- (Browman, 1976; Arnold, 1985).

Como resultado de estas prospecciones se han localizado 7 depósitos de arcillas secundarias con un alto contenido en materia orgánica (dado el color negro de las mismas). Se han tomado muestras de los 7 depósitos de arcillas secundarias

localizados en el entorno de las Lagunas de Villafáfila. Estos depósitos son potencialmente explotables para la producción de cerámicas (fig. 1) dado que algunos han sido utilizados como barreros para la extracción de arcillas en época histórica.

a.4. Selección de muestras

Se han tomado muestras de las 7 fuentes potenciales de arcillas prospectadas (tabla 1) y de aquellas que se encontraban en contextos con relación directa con la producción de cerámica o de sal, en Molino Sanchón II (MSII) y Santioste (tabla 2).

A nivel cerámico se han tomado 136 muestras entre cerámicas campaniformes y cerámica técnica (producción de sal) de MSII (56% de la muestra) y Santioste (38% de la muestra) con el objetivo de comparar la geoquímica de estas cerámicas

ID	Descripción
Muestra 1	Barrero situado a 1,3 km al NO de Molino Sanchón II y al SO del recinto del Centro de Interpretación de Villafáfila. Junto al viejo coso taurino de adobe.
Muestra 2	Cerca del barrero, situado a 1,3 km al NO/O de Molino Sanchón II, entre el Arroyo del Riego y el Centro de Interpretación de Villafáfila.
Muestra 3	Entorno de Molino Sanchón II, situado a 1,3 km al NO/O del yacimiento, en la orilla del arroyo del Riego
Muestra 4	Entorno de Santioste, corte de las isletas situadas a 200 m al N/NO del yacimiento, en el canal-desagüe entre la Salina Grande y la Laguna de las Salinas
Muestra 5	Entorno de Santioste, corte de las isletas situadas a 200 m al N/NO del yacimiento, en el canal-desagüe entre la Salina Grande y la Laguna de las Salinas
Muestra 6	Entorno de Santioste, 400 m al SE del yacimiento, en la orilla de un pequeño regato que atraviesa el camino de acceso
Muestra 7	Entorno de Santioste, corte del camino o torrentera que comunica el casco urbano de Otero de Sariegos con la Salina Grande, a 1800 m al NE del yacimiento

Tabla 1. Muestras tomadas en la prospección geológica y descripción de su localización

ID	Descripción	Yacimiento
1F-1136	Pella	MSII
1F-1150	arena	MSII
1F-1030	Pella	MSII
1F-1037	Pella	MSII
1B-1115	Relleno	MSII
1075	Relleno	Santioste
1085	Relleno	Santioste
1101	Relleno	Santioste
1022	Relleno	Santioste
1091	Relleno	Santioste

Tabla 2. Muestras de barros/pellas tomadas en contextos arqueológicos

con la de las arcillas en contexto de producción y con las arcillas procedentes de la prospección geológica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Primeramente abordaremos la identificación de fases minerales tanto en la cerámica como en las arcillas procedentes de la prospección y los barros/pellas recuperados en los yacimientos con el fin de ver si existen diferencias que nos puedan indicar diferentes zonas de captación de

arcillas y si entre los tipos cerámicos existen diferencias en cuanto al procesado de las materias primas que puedan ser correlacionadas con la tecnofunción de las cerámicas o bien con transformaciones de la tecnología de producción entre periodos (Edad del Cobre vs. Edad del Bronce). Posteriormente nos centraremos en evaluar la temperatura de cocción, que nos proporcionará información acerca de cómo operaban las estructuras de combustión y sobre los hábitos de producción cerámicos. Aparte de la significación arqueológica directa, esta información será representativa siempre y cuando haya sido obtenida por experimentación directa sobre réplicas de las condiciones de cocción prehistóricas, para de este modo poder obtener datos acerca de la tecnología y de la economía de la producción.

Por último abordaremos la evaluación estadística de la composición química tanto en la cerámica como en las arcillas procedentes de la prospección a través de estadística multivariable para de esta forma intentar correlacionar grupos composicionales con posibles zonas de extracción de las arcillas, ver si alguna de las cerámicas campaniformes es importada e intentar aportar algunos datos dentro del debate científico que despierta la producción de sal en la Prehistoria Reciente, *i.e.* la relación existente entre el 'briquetage' y su tecnofunción, así como la existencia de diferencias tecnofuncionales entre las cerámicas domésticas-prestigio-utilitarias en los yacimientos 'especializados' en la producción de sal. Dentro de la evaluación de los intercambios dedicaremos especial atención al relleno blanco de las decoraciones campaniformes ya que podría ser un indicativo de la identidad técnica de los alfareros.

a) Las arcillas de las Lagunas de Villafáfila

Los análisis de difracción de rayos X (XRD) nos muestran que los depósitos de arcilla de las lagunas de Villafáfila son relativamente homogéneos en cuanto a los minerales. En la figura 2A se puede observar el difractograma correspondiente a las muestras geológicas recogidas, éstas podrían considerarse las arcillas tipo de la laguna. A nivel mineralógico las arcillas de la laguna están formadas por caolinita, ilita, moscovita, cuarzo, feldespatos-K/Na, y calcita (sólo en las arcillas 3 y 7) siendo plenamente coincidentes con los datos previos (Santiesteban *et al.*, 2003). En la figura 2B se pueden apreciar las transformaciones sufridas por la arcilla 1 tras una cocción experimental (rampa 1).

Cada una de las muestras de arcilla las hemos sometido a un proceso de cocción equivalente a los que probablemente utilizaron los pobladores prehistóricos de estos parajes. Para ello hemos utilizado las dos rampas de calentamiento documentadas etnográficamente por Livingston-Smith (2001): rápidas (rampa 1), que se caracterizan por rampas de calentamiento muy rápidas (entre 20 y 40 °C/min) y que duran poco tiempo a temperaturas por encima de 700 °C, alcanzando máximas que no suelen superar los 700-800 °C; y largas (rampa 2), las cuales presentan rampas de calentamiento más lentas (por debajo de 10 °C/min) y mantienen más tiempo la temperatura por encima de los 700 °C, alcanzando máximas superiores a los 800°C.

Una vez molida la muestra se ha introducido en la cámara de alta temperatura Aanton Park 1200 que lleva acoplada el difractómetro de rayos X Panalytical X'Pert Pro que hemos utilizado para la experimentación. Hemos procedido al cocido de la muestra y a la medida en vivo de las transformaciones que sufre el material original con la cocción.

En las figuras 3 A, B, C y D podemos observar las transformaciones que ha sufrido el material con la rampa 1 así como con la rampa 2 de cocción, ambas realizadas en flujo de aire forzado. En ellas podemos ver cómo tras un calentamiento inicial la deshidroxilación comienza a observarse a partir de 400 °C momento a partir del cual la caolinita comienza a colapsar y ya no es visible a 600 °C, temperatura a la que colapsa la ilita y los feldespatos potásicos (microclina) desaparecen. Dentro de este mismo rango de temperatura la calcita se descompone. A partir de 573 °C se aprecia la transformación del cuarzo- α a cuarzo- β con el consiguiente desplazamiento de los picos principales a 20.8

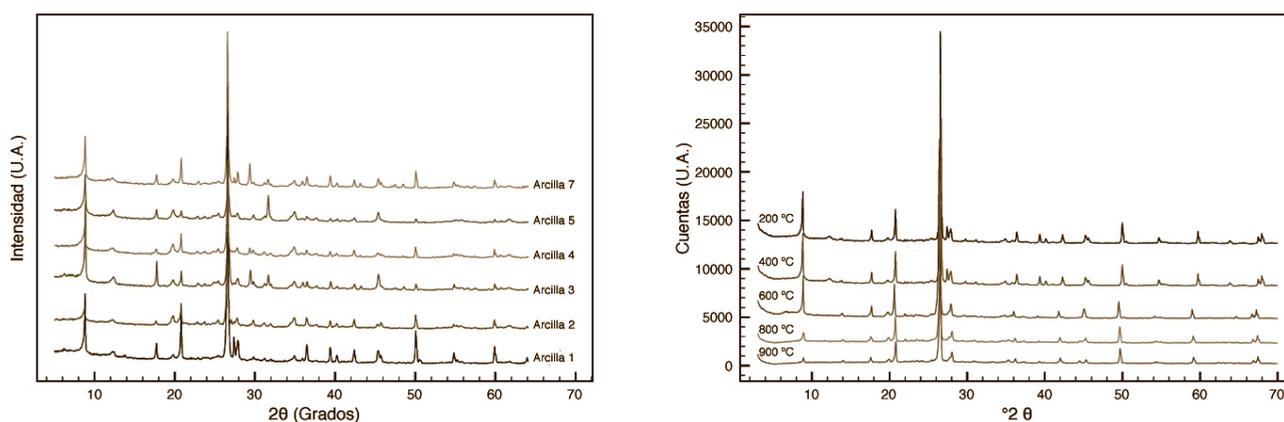


Fig. 2. A) Difractogramas de las muestras de arcilla de la laguna; B) Difractogramas de las muestras de arcilla 1 rampa de cocción 1.

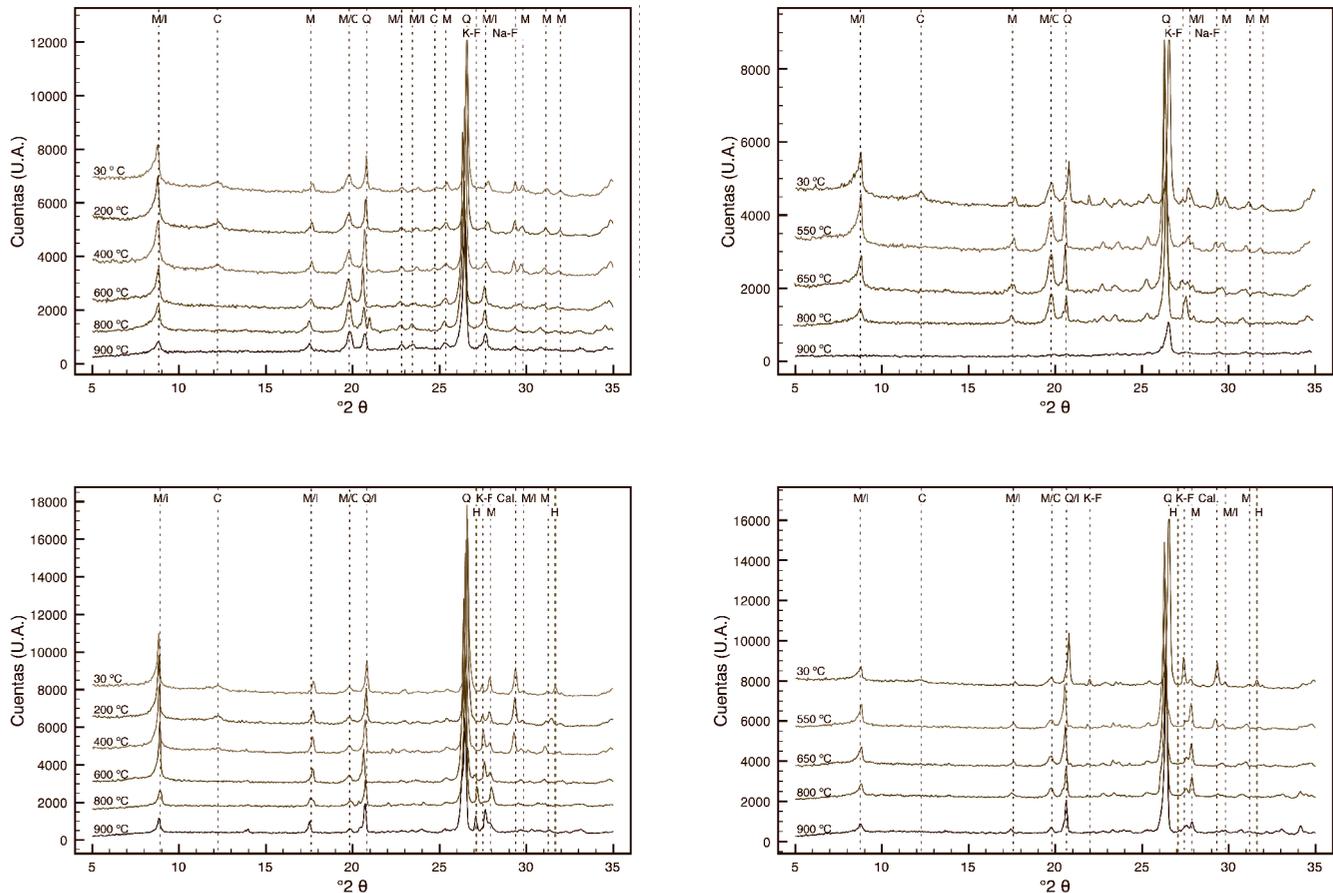


Fig. 3. A) Rampa de cocción 1 de la muestra de arcilla 4 entre 5-35 °2θ; B) Rampa de cocción 2 de la muestra de arcilla 4 entre 5-35 °2θ; C) Rampa de cocción 1 de la muestra de arcilla 7 entre 5-35 °2θ; D) Rampa de cocción 2 de la muestra de arcilla 7 entre 5-35 °2θ. [M: moscovita, I: ilita, C: caolinita, Q: cuarzo, Na-F: feldespatos sódicos (albita), K-F: feldespato potásico (microclina), Cal.: calcita y H: halita]

y 23.4 °2θ. Podemos observar cómo una vez alcanzados los 800-900 °C aparecen feldespatos sódicos (albita) y tras el recocido a 900 °C de la rampa 2 aparecen feldespatos potásicos de nuevo (anortita), restringiéndose las fases cristalinas presentes en la arcilla cocida a moscovita, cuarzo y feldespatos, sin producirse cambios durante el recocido. Una vez fría el cuarzo vuelve a su fase cuarzo- α , apreciándose trazas de moscovita y feldespatos.

El proceso de formación de una cerámica es una reacción incompleta en el que las transformaciones minerales lo son en función a los minerales preexistentes y a las condiciones y tiempo de cocción. Es decir, las transformaciones minerales se verán influenciadas no sólo por la temperatura alcanzada

durante la cocción sino por la velocidad a la que se alcance y el tiempo que se mantenga, así en la figura 3B (rampa 2: cocción larga) podemos ver como a 900 °C han colapsado las estructuras micáceas mientras que en la figura 3A es posible apreciar las estructuras micáceas a 900 °C. Este proceso no es apreciable en la arcilla 3 (figs. 3C y 3D).

Los procesos de transformación minerales documentados para la rampa 2 son análogos a los documentados para la rampa 1, siendo el diagrama a 650 °C equivalente al observado para la rampa 1 a 600 °C, de la misma forma que tras el enfriado los diagramas son idénticos.

Tras nuestra experimentación con las arcillas de las lagunas de Villafáfila hemos detectado que existen dos picos en

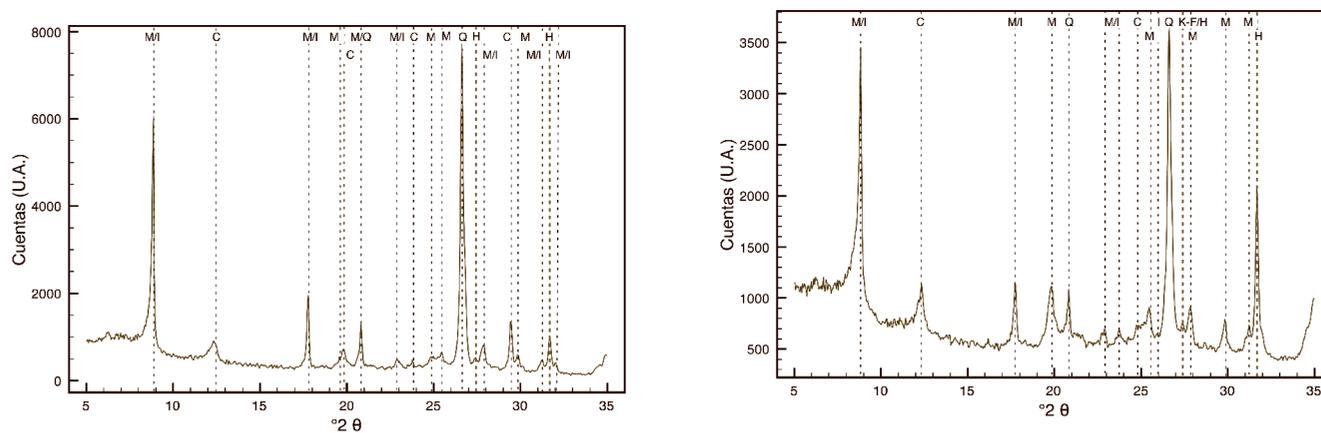


Fig. 4. A) Difractograma de la arcilla 3 en el rango 5-35 $^{\circ}2\theta$ en el que se puede observar la halita (en rojo); B) Difractograma de la arcilla 5 en el rango 5-35 $^{\circ}2\theta$ en el que se puede observar la halita. [M: moscovita, I: illita, C: caolinita, Q: cuarzo, Na-F: feldespatos sódicos (albita), K-F: feldespato potásico (microclina), Cal.: calcita y H: halita]

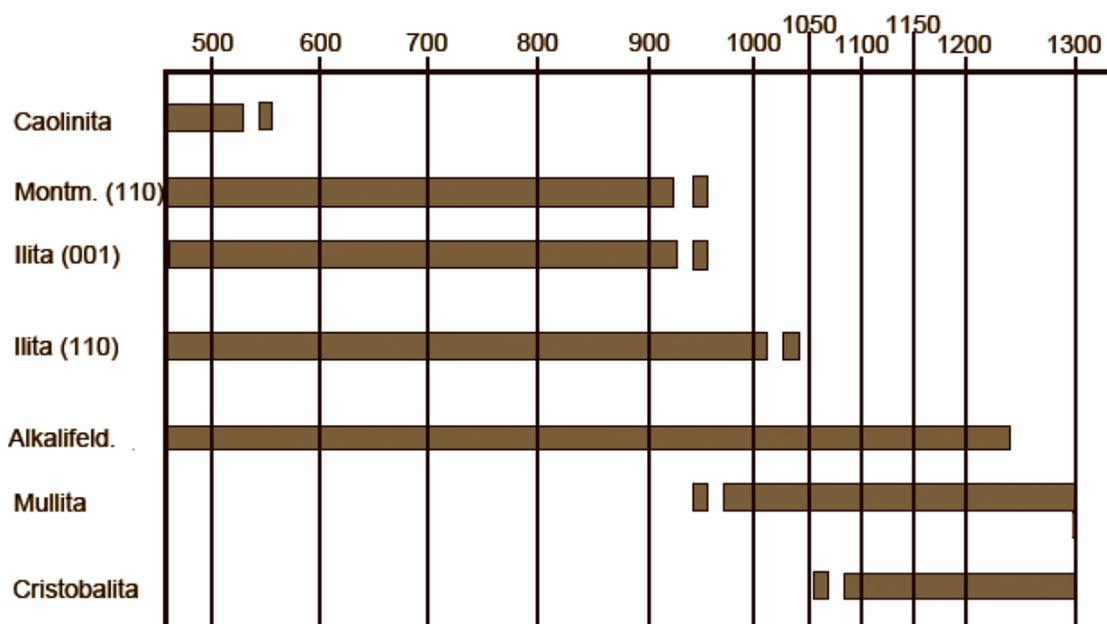


Fig. 5. Transformación de los minerales presentes en las arcillas caolínicas (adaptado de Maggetti y Rossmannith, 1980).

la zona de los feldespatos alcalinos que se alternan con la cocción a 27.54 y 27.84 °2θ y cuya intensidad relativa el uno con respecto al otro no sigue patrón alguno que pueda asociarse a la temperatura o a la cinética de la reacción, estando directamente relacionado con el sistema ternario $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$.

Contrariamente a las arcilla 1, 2, y 7 en las arcillas 3, 4 y 5 se ha observado mediante XRD la presencia de halita (figs. 3C, 3D, 4A y 4B).

La experimentación que hemos realizado con las arcillas de las lagunas de Villafáfila se estima esencial a la hora de calcular la temperatura equivalente de cocción (Tite, 1999). Así, estudios previos sobre arcillas caoliníticas como las de las lagunas de Villafáfila nos indican los cambios mineralógicos sufridos por las arcillas durante su cocción según Maggetti y Rossmanith (1980) son los siguientes (fig. 5): entre 500-600 °C desaparece la caolinita, mientras que las reflexiones basales de la ilita permanecen estables hasta los 900-1000 °C. A partir de 1000 °C aparece mullita. Los feldespatos alcalinos están presentes hasta los 1200 °C, a pesar de que termodinámicamente deberían haber desaparecido entorno a 900-1000 °C. Esta información no es especialmente útil para cerámicas de baja temperatura como son las prehistóricas cuya temperatura de cocción ronda los 800 °C (Odrizola, 2009) ya que tal y como relatan Maggetti y Rossmanith, (1980) las transformaciones de los minerales presentes en la materia prima no se producen hasta un rango de temperatura mayor que el estimado para las cerámicas prehistóricas.

Maggetti y Rossmanith (1980) indican que el cociente entre la altura de los picos correspondientes a los planos 002/001 es mayor de 0.3 para las arcillas cocidas a menos de 600 °C y obtienen un valor entre 0.2-0.1 para temperaturas superiores a 600 °C. Del mismo modo advierten que el cociente de la altura del pico 110/anchura a mitad del pico 110 decrece con el aumento de la temperatura entre 600-1000 °C.

Teniendo en cuenta los datos aportados por estos autores y los datos obtenidos de la cocción experimental de las arcillas de las lagunas de Villafáfila se podría generar un modelo mediante el cual calcular con cierta precisión la temperatura equivalente de cocción de las cerámicas de MSII y Santioste. De cualquier forma resulta interesante la posibilidad de aplicar el cociente entre la altura de los picos correspondientes a los planos 002/001 para determinar si las cerámicas de *briquetage* han sido sometidas a temperaturas superiores a 600 °C, ya que según la literatura al uso estas cerámicas técnicas se habrían utilizado sin cocer y habrían sido sometidas a muy bajas temperaturas para la cocción de salmuera.

Desgraciadamente el pico correspondiente a la reflexión del plano 002 es la suma de la reflexión de este plano más el de la moscovita imposibilitando el cálculo de este cociente, mientras que por su parte el pico correspondiente al plano 110 se encuentra enmascarado por los picos correspondientes a la moscovita y su deconvolución se hace imposible. Con lo que nuestros datos no vienen más que a redundar en las conclusiones ofrecidas por estos autores (Maggetti y Rossmanith, 1980) y representados en la figura 5.

Otro factor que nos resulta interesante explorar es el contenido en halita (NaCl) y natrón (Na_2CO_3) referido en los estudios geológicos de la laguna de Barillos (Santiesteban *et al.*, 2003). En las arcillas analizadas procedentes de las lagunas de Villafáfila y a través de XRD, sólo hemos sido capaces de detectar trazas de halita en las arcillas 3, 4 y 5. Con el objetivo de contrastar la presencia de otras sales en las arcillas hemos decantado las arcillas en agua mili-Q, separando la fracción gruesa de la fina, con ello perseguimos disminuir la señal del cuarzo, presente en la fracción gruesa, que enmascara en el ruido de fondo la posible señal de otras sales. Si prestamos atención a los difractogramas de las arcillas y las arcillas decantadas (fig. 6A y B) podemos observar como la halita está presente en la fracción fina de todas las arcillas, excepto en la arcilla 1, siendo más abundante en la arcilla 3, 5 y 7, aunque no hemos detectado otras sales como el referido natrón (Santiesteban *et al.*, 2003). Junto con la halita en la fracción fina se puede observar calcita en la arcilla 3 y moscovita e ilita en todas las muestras (fig. 6B).

A la hora de evaluar qué arcilla es más apropiada para la producción cerámica debemos tener en cuenta como afectará el uso de estas a la producción cerámica y en el desarrollo de su tecnofunción, para de esta manera poder evaluar posteriormente las transformaciones sufridas durante su uso y deposición.

A nivel productivo la presencia de halita en la arcilla tiene una serie de efectos durante el secado y la cocción, de tal forma que las arcillas con un alto contenido en materia orgánica, sales y coloides orgánicos sufren cambios en la densidad, color y dureza, causando el agrietamiento de la superficie y tensiones superficiales durante el secado (Rice, 1987). Por otro lado, la sal se encuentra entre los aditivos utilizados en la producción cerámica en arcillas calcáreas o en aquellas con desgrasantes calcáreos, *i.e.* conchas o calcita, ya que como aditivo contrarresta la tendencia de la calcita a escamar la superficie de las cerámicas cocidas a baja temperatura y hace que la cerámica tome un color más claro o crema (blanquecino) (Rice, 1987; Dufournier, 1982).

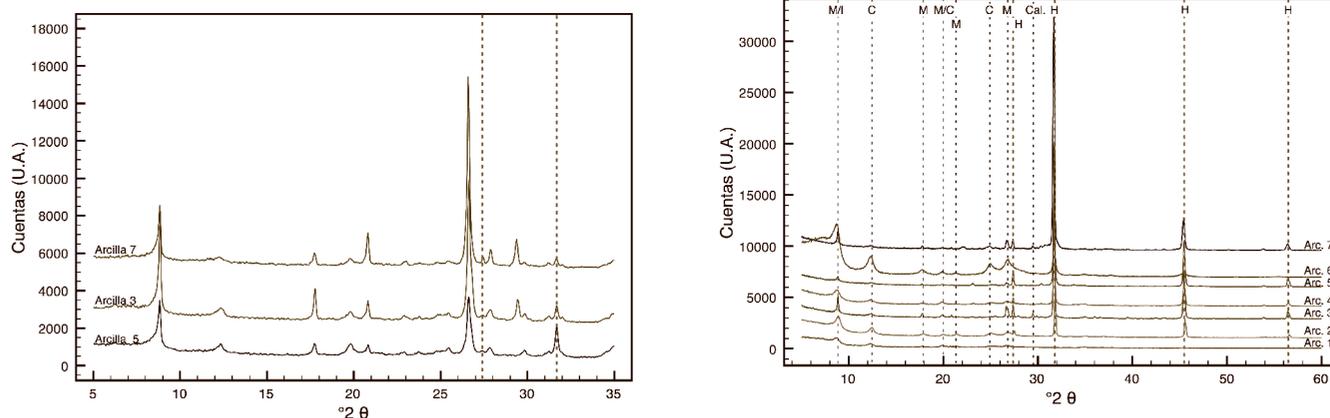


Fig. 6. A) Difractograma de la fracción gruesa de las arcilla 3, 5 y 7 en el rango 5-35 °2θ en el que se puede observar la halita (H); B) Difractogramas de la fracción fina de las arcillas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 en el rango 5-60 °2θ en el que se puede observar la halita (H).

En el caso de las arcillas de las lagunas de Villafáfila nos encontramos con un factor añadido que dificulta su producción y es que las arcillas ílticas son las que más se agrietan durante el secado (Rice, 1987). Aunque las arcillas de las lagunas de Villafáfila no se puedan considerar estrictamente calcáreas –su contenido en CaO es inferior al 5% (tabla 3)- la presencia de calcita detectada a través de XRD (figs. 3C y 3D) y la referencia bibliográfica a la presencia de aguas bicarbonatadas (Santesteban *et al.*, 2003) recomendaría no eliminar la halita de la arcilla, al menos en las producciones de prestigio y aquellas dedicadas a la vajilla de mesa.

De acuerdo con Dufournier (1982) en las arcillas calcáreas (en su estudio CaO c. 10%) una adición del 6% de NaCl supone una disminución del contenido en K₂O de c. 20 y 30 % del

presente en la arcilla a temperaturas de 800 °C, mientras que las arcillas a las que no se les añadió sal mantienen la concentración de estos elementos estables.

Atendiendo a los datos experimentales y a la literatura al uso se podría especular con la posibilidad de que las arcillas utilizadas fueran aquellas que tienen una concentración de CaO elevada y contenidos en halita moderados. De esta forma podrían descartarse el uso de las arcillas 1 y 2 por su bajo contenido en CaO, Na₂O y Cl (tabla 3); igualmente se podría descartar la arcilla 5 que a pesar de tener un contenido en Na₂O y Cl aptos no presenta suficiente CaO. La arcilla 5 por su parte debe ser descartada completamente debido a su elevadísimo contenido en Na₂O y Cl.

	CaO % wt	Na ₂ O % wt	K ₂ O % wt	Cl ppm
Arcilla 1	0.57	0.90	2.81	51
Arcilla 2	0.70	1.09	4.45	1152
Arcilla 3	5.08	5.05	4.18	8545
Arcilla 4	1.88	1.16	4.56	1161
Arcilla 5	0.35	17.57	4.27	23555
Arcilla 7	5.70	2.32	3.61	4637

Tabla 3. Concentración elemental expresada en % en peso de óxidos y de elementos en ppm. Resultado en gris aquellas arcillas que se han considerado más aptas para la producción de cerámicas.

Tras un minucioso análisis de las fases minerales presentes en las muestra de MSII hemos comprobado que todas las muestras analizadas son tremendamente similares (tabla 4), lo que dificulta la identificación de grupos en función a las fases minerales detectadas. A pesar de ello se han detectado diferencias en dos regiones de interés (ROI). Estas diferencias lo son en función a las intensidades de los picos más que en lo referido a la mineralogía propiamente dicha (figs. 7A, B y C). A la hora de cuantificar el porcentaje de una determinada fase u otra se ha experimentado con el método de Chung (1974), pero desafortunadamente la gran variabilidad natural referida al sistema ternario $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ impide la cuantificación.

Los datos de la mineralogía y las categorías cerámicas (decoradas vs. doméstica vs. briquetage) no presentan correlación alguna, con lo que podría decirse que el procesado de las arcillas es el mismo para todas las categorías cerámicas. A pesar de ello si analizamos detenidamente las fases minerales presentes en las cerámicas de Molino Sanchón II apreciamos que las fases minerales son las mismas que las presentes en las arcillas muestreadas. La diferencia estriba tan sólo en las transformaciones acaecidas durante la cocción cerámica en la que se produce una transformación en la zona de los feldspatos alcalinos ROI 2, que tal y como hemos visto en la cocción experimental de las arcillas se alternan con la cocción a 27.54 y 27.84 $^\circ 2\theta$, directamente relacionado con el sistema ternario $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$.

La cocción es aparentemente homogénea en toda la producción. La temperatura de cocción parece ubicarse por debajo de los $700-800$ $^\circ\text{C}$, pudiendo ser consideradas cerámicas de baja temperatura (Shepard, 1954). Esta temperatura estimada sería el umbral máximo al que estas cerámicas habrían sido sometidas durante su producción y uso, ya que pueden apreciarse la presencia de moscovita e ilita así como la ausencia de fases neo-formadas como mullita, wollastonita o ghelenita, resultado de temperaturas de cocción mayores. Igualmente, la ausencia de signos de vitrificación, apreciables *c.* 900 $^\circ\text{C}$ (Kingery, 1997), nos estaría indicando un rango de temperatura inferior.

Santioste a nivel mineralógico se comporta de manera análoga a MSII (figs. 8). Los resultados de la identificación de fase pueden verse en la tabla 4, en la que es posible apreciar como las diferencias mineralógicas se reducen, de nuevo, a la alternancia de los picos correspondiente a los feldspatos alcalinos a 27.54 y 27.84 $^\circ 2\theta$ y que hemos relacionado con el sistema ternario $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$.

Con respecto a la temperatura de cocción se puede establecer que al igual que en MSII fue inferior a 800 $^\circ\text{C}$, dada la presencia de moscovita e ilita y la ausencia de fases neoformadas.

c) Rellenos de pasta blanca y temperatura de cocción

Como parte del trabajo, abordaremos el estudio de las incrustaciones de color blanco que componen la decoración de algunas vasijas. Hasta hoy, los análisis efectuados en España

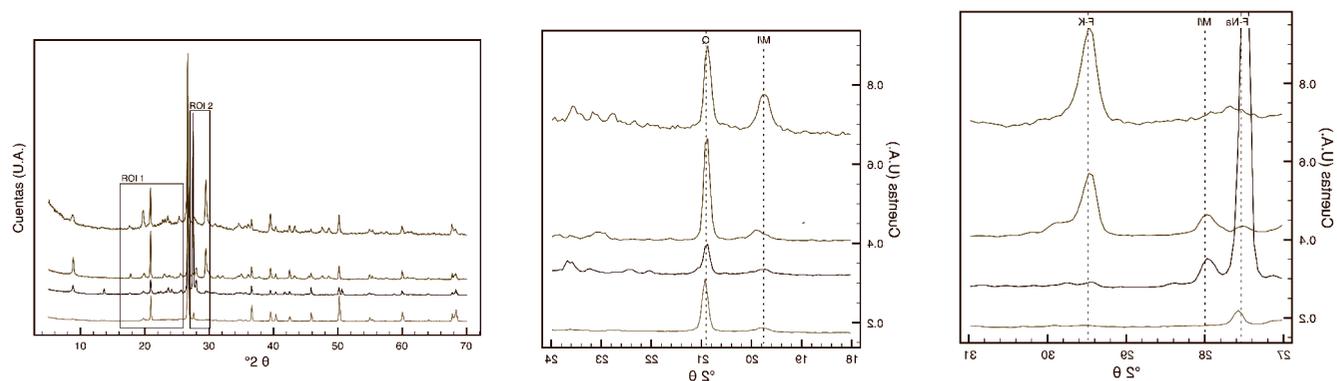


Fig. 7. A) Difractogramas representativos de las diferentes mineralogías detectadas en el análisis de fases minerales; B) detalle de los difractogramas en la ROI 1; C) detalle de los difractogramas en la ROI 2.

ID	Cuarzo	Moscovita	Caolinita	Calcita	Feldespatos-K/Na
09-25-1042-60	3	1	0	0	
09-25-1065-421	3	1	0	0	
09-28-1014-306	3	1	0	0	
09-28-1042-17	3	1	0	1	
09-28-1042-20	3	1	0	2	
09-28-1042-21	3	1	0	0/1	
09-28-1042-59	3	1	0	0	
09-28-1055-1	3	1	0	0	2
09-28-1066-4	3	1	0	0	
09-28-1067-62	3	1	0	0	
09-28-1084-1	3	1	0	0	
09-28-1098-10	3	1	0	2	
09-28-1098-31	3	1	0	1	
09-28-1098-32	3	1	0	0	
09-28-1098-500	3	1	0	0	
09-28-1098-60	3	0/1	0	1	
09-28-1098-7	3	1	0	0	1
09-28-1098-84	2	1	0	0	3
09-28-1108-109	2	0/1	0	0	3
09-28-1141-3	3	1	0	0	
09-28-1149-12	3	1	0	0	
09-28-1149-13	3	1	0	0	
09-28-1149-20	3	1	0	0	
09-28-1166-24	3	1	0	0	1
09-28-1173-31	3	1	0	0	1
09-28-1175-11	3	1	0	0	1
09-28-1175-5	3	1	0	0	
1A-1008-A	3	1	0	0	
1A-1008-B	3	1	0	0	
1A-1008-C	3	1	0	1	
1AB-1011-A	3	1	0	0	
1AB-1011-B	3	1	0	0	
1AB-1011-C	3	1	0	1	
1AB-1047-A	3	1	0/1	1	
1AB-1047-B	3	1	0	1	
1AB-1141-A	2	1	0	0	3
1AB-1141-B	3	1	0	0/1	
1AB-1141-C	3	1	0	0	
1B-1115					
1D-1018-A	3	1	0	1	
1D-1018-B	3	1	0	0	

ID	Cuarzo	Moscovita	Caolinita	Calcita	Feldespatos-K/Na
1D-1018-C					
1D-1018-C					
1D-1045-A	3	1	0	1	
1D-1045-B	3	1	0	0	
1D-1045-C	3	1	0	1	
1D-1075					
1D-1127-A	3	1	0	0	1
1D-1127-C	3	2	0	0	
1D-1127-D					
1F-1030-B					
1F-1037					
1F-1042-A	3	1	0	0	
1F-1042-B	3	2	0	0	
1F-1042-C	3	0/1	0	0/1	
1F-1049					
1F-1092-B					
1F-1136					
1F-1150					
1F-1192					
1F-1192-A	3	1	0	0	
1F-1192-C	3	1	0	0	
1F-1192					
1F-1213					
07-42-1021-A	3	1	0	0/1	
07-42-1021-B	3	1	0	1	
07/42/1069/A	3	2	0	0	
07/42/1069/B	3	0/1	0	0	
07/42/1070/A	3	1	0	0	
07/42/1070/B	3	1	0	0	
09-42-1010-A	3	1	0	0	
09-42-1010-B	3	2	0	0	
09-42-1011-A	3	1	0	0	
09-42-1011-B	3	2	0	1	
09-42-1031-A	3	1	0	0	
09-42-1047-A	3	1	0	0	
09-42-1047-B	3	1	0	1	
09-42-1053	3	1	0	1	
09-42-1056-A	3	2	0	0	1
09-42-1056-B	3	1	0	0	
09-42-1056-C	3	1	0	1	
09-42-1056-D	3	1	0	0	

ID	Cuarzo	Moscovita	Caolinita	Calcita	Feldespatos-K/Na
09/42/1022A	3	1	0	0	1
09/42/1022B	3	1	0	1	1
09/42/1024/A	3	1	0	1	
09/42/1024/B	3	1	0	0	
09/42/1024/C	3	1	0	0	
09/42/1025	3	1	0	2	
09/42/1028	3	1	0	1	
09/42/1032/C	3	1	0	0	
09/42/1032/D	3	1	0	0	
09/42/1037/A	3	2	0	0	
09/42/1037B	3	1	0	1	
09/42/1039	3	1	0	0	
09/42/1047/A	3	0/1	0	0	
09/42/1047/B	3	1	0	0	
1037	3	1	0	0	
1039	3	1	0	0	
1065/A	3	1	0	0	1
1065/B	3	1	0	2	
1075					
1076	3	1	0	0	1
1077	3	1	0	0	
1078	3	1	0	0	1
1085					
1101					
1119-A	3	0/1	0	1	1
1119/B	3	1	0	0	
1123-A	3	1	0	0	
1123-B	3	2	0	0	
1127	3	1	0	0	
UE-1022					
UE-1091					

Tabla 4. Fases minerales identificadas, 0: no detectado, 1: escaso, 2: medio y 3: abundante.

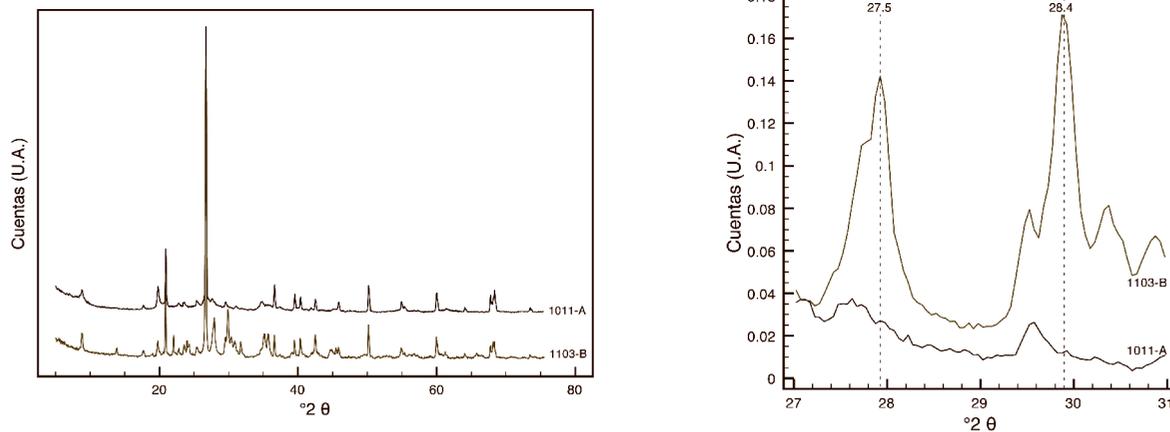


Fig. 8. A) Difractogramas representativos de las fases minerales de las cerámicas de Santioste; B) detalle de los difractogramas en la ROI

a cerámicas exclusivamente campaniformes han determinado que este tipo de relleno puede ser efectuado con varias técnicas, de las cuales la más popular es realizar la decoración con un relleno a base de carbonato cálcico, como en los casos del campaniforme de Pajares de Adaja y Fuente Olmedo (Valladolid) (Martin Valls y Delibes, 1989), Ciempozuelos (Madrid) (Blasco, 1994), Valle del Guadalquivir (Lazarich, 1999), y el campaniforme gallego, “conjunto cerámico PA 45.01” (Prieto, 1998) y Sierra de O Bocelo (Lantes, Prieto y Martínez 2010). Otro tipo de relleno menos popular es el efectuado a base de una pasta ósea, que hasta la fecha sólo ha sido detectado en la Península Ibérica en los vasos campaniformes de la Cuenca Media del Guadiana, entre los que destacan los yacimientos de San Blas (Badajoz), La Pijotilla (Badajoz) (Odriozola y Hurtado, 2007), Perdígões (Odriozola, 2009) y Porto Torrão (Odriozola, 2009) y en algunos meseteños como los de Almenara de Adaja (Odriozola, e.p.).

El análisis de las decoraciones realizadas a base de rellenos no es un tema nuevo en la literatura científica europea que lleva años documentando rellenos de pasta blanca en diferentes culturas y cronologías. La estrategia más común es abordar el estudio a través de la mineralógica del relleno (utilizando para ello generalmente análisis de XRD), estableciendo que la estructura apatítica de los fosfatos de calcio encontrados en los numerosos rellenos implica la utilización de huesos en la realización de estas pastas, como ocurre en Jonquies à Portiragnes (Hérault) -abarca del Mailhaciense I, Bronce Final a la Edad del Hierro-, donde basados en la estructura apatítica observada mediante XRD proponen la utilización

de una pasta de hueso molido para realizar dicha decoración (Echallier y Grimal, 1990), sin contemplar la posibilidad de que se hubieran utilizado otros fosfatos de calcio con igual estructura apatítica. Recientemente se ha desarrollado un protocolo que soluciona los problemas a la hora de determinar la naturaleza del material con que fueron realizadas estas decoraciones (Odriozola y Hurtado, 2007) en base a la materialización de una banda a 630 cm^{-1} en espectro de FTIR, a través de la cual se ha propuesto un modelo respecto a los procesos técnicos empleados en la producción de estas pastas. El estudio de estas decoraciones óseas permite estimar la temperatura de cocción de las cerámicas en base a las transformaciones físico-químicas que sufre el material durante el proceso de manufactura de las vasijas (Odriozola y Martínez-Blanes, 2007), lo que supone una herramienta de indudable utilidad a la hora de realizar grupos discretos de cerámicas.

En la figura 9A se puede apreciar el espectro de emisión de rayos X donde es posible ver como el elemento principal es el Ca, y donde a su vez aparecen trazas de Si, Fe, Al o K, posiblemente fruto de su largo enterramiento.

Los diagramas de difracción de rayos X de las diferentes muestras analizadas (fig. 9B) ponen claramente de manifiesto la existencia de calcita como fase mineral predominante en las pastas blancas.

A este respecto y con las técnicas disponibles actualmente no es posible determinar si esta caliza utilizada en el relleno de las incisiones e impresiones de los vasos campaniformes se realizó con rocas calizas o con calizas de origen animal (conchas de

bivalvos o caracoles). Muchos de estos organismos producen un carbonato cálcico cristalizado en forma de aragonito como el de las cuentas de collar del área de Lisboa, aunque en el caso que nos ocupa es caliza.

Desafortunadamente al no ser las incrustaciones de hueso no nos es posible calcular la temperatura de cocción de estas cerámicas.

d) Análisis estadístico de la composición elemental

La esencia del análisis estadístico de la composición química es identificar las semejanzas y diferencias entre los especímenes analizados. Estas semejanzas y diferencias se pueden observar a través de las pautas recurrentes o agrupaciones en el conjunto de los datos, lo que supone un intento por establecer propiedades en términos cuantitativos y cualitativos que cataloguen a los especímenes. Con ellos pretendemos investigar si en la tabla de datos resultante de los n artefactos analizados, éstos pueden dividirse en subgrupos químicamente distintos en función a las p variables de concentración elemental medida, siempre teniendo en cuenta su significación arqueológica y/o tecnofuncional.

A nivel químico deberemos desechar de las $p=39$ variables que nos proporciona nuestro método de análisis químico aquellas variables que en sus concentraciones presenten numerosos valores perdidos. De la misma manera deberemos desechar las variables cuyos valores estén por debajo del límite de cuantificación del equipo de medida, ya que el límite de cuantificación marca la magnitud mínima que puede determinarse con un nivel aceptable de exactitud. En consecuencia de las $p=39$ variables medidas hemos eliminado

dieciocho variables en las que existían numerosos valores perdidos o donde la mayoría de los valores de concentración elemental reportados estaban comprendidos entre el límite de detección y el límite de cuantificación, restando las siguientes variables para el análisis: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , Ba, Cl, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Zn y Zr (tabla 5).

Para comenzar el análisis estadístico de los datos lo primero que haremos será transformar logarítmicamente los valores de concentración elemental para obtener una distribución multivariable normal de los datos necesaria para el tratamiento estadístico de los mismos (Baxter, 1994; 1995). Seguidamente realizaremos un análisis de las componentes principales (PCA) para reducir la dimensionalidad de los datos utilizando el método *maximum likelihood* en la matriz de covarianza para determinar el número de agrupaciones existente en el conjunto de datos. Los 3 primeros componentes principales (PC) explican un 67 % de la varianza de la muestra superándose el 90% con el séptimo componente.

En la tabla 6 se muestra un resumen con los autovectores, donde se puede observar como el Cl es el elemento discriminante del PC 1. Ello podría ponerse en relación con la tecnofunción desempeñada por las cerámicas. Del mismo modo puede observarse como el PC 2 se da una relación inversa Cl-CaO siendo el CaO el óxido que explica la varianza en este PC. Ello puede ser puesto en relación con el uso de desgrasantes calcáreos o la necesidad de usar aguas o arcillas con un contenido elevado en carbonatos cálcicos para evitar el agrietamiento de las vasijas durante el secado y la escamación de la superficie durante la cocción tal y como se ha expuesto anteriormente. El PC 3 explica la varianza en

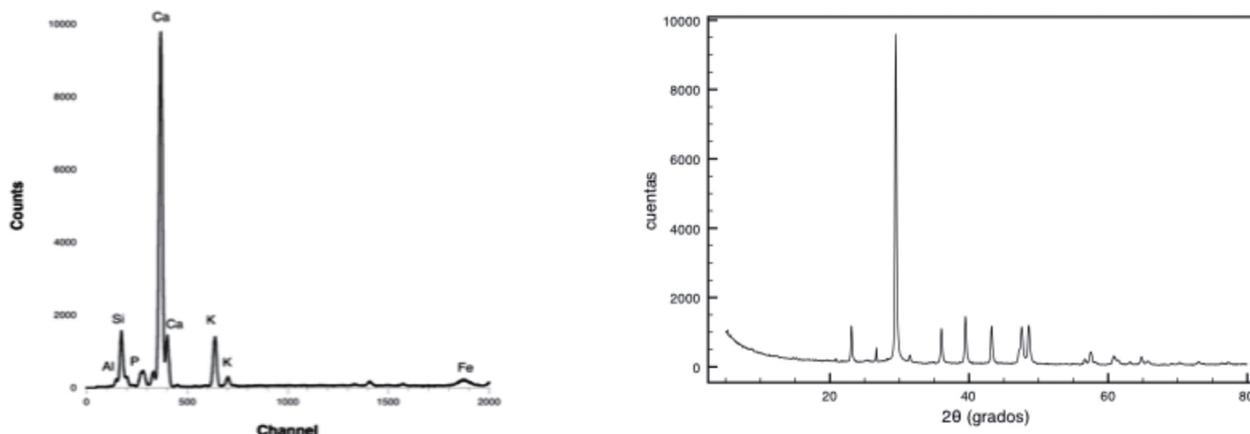


Fig. 9. A) espectro de emisión de rayos X, B) Difractograma de una muestra de relleno donde pueden apreciarse todos los picos característicos de la calcita.

ID	Yacimiento	Cota	Tipo	Relleño	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ba	Cl	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	V	U	W	Zn	Zr
ARCILLA1	Arcilla		Arcilla	69,42	16,39	3,86	0,04	1,32	0,57	0,9	2,81	0,75	0,04	576,2	51,3	38,1	19,5	20,7	20,1	119,6	126	76,1	4,7	24,3	96,8	376,7	
ARCILLA2	Arcilla		Arcilla	56,01	20,79	7,05	0,08	1,75	0,7	1,09	4,45	0,9	0,08	944,9	115,2	72,7	40,9	41,1	44,4	192,4	238,4	122,8	5,3	7,7	129	216,5	
ARCILLA3	Arcilla		Arcilla	46,54	18,31	5,89	0,07	1,89	5,08	5,05	4,18	0,62	0,07	811,2	854,7	59,4	39,8	39,4	41,4	166,3	258,5	102,6	3,2	9,1	112,9	180,3	
ARCILLA4	Arcilla		Arcilla	51,67	21,21	7,54	0,07	1,82	1,88	1,16	4,56	0,72	0,1	871,2	1161,2	89,2	46,1	41,8	34,1	189,4	232,6	134,3	4,5	12,8	132,1	165,3	
ARCILLA5	Arcilla		Arcilla	38,15	17,41	8,51	0,08	1,33	0,35	17,57	4,27	0,75	0,08	1038,3	2555,5	109	34,7	45,4	71,7	208,9	206,7	140,3	3,6	15,6	141,9	125	
ARCILLA7	Arcilla		Arcilla	48,55	15,3	5,12	0,03	1,46	5,7	2,32	3,61	0,6	0,05	664,2	467	45,9	32,1	34,1	105,1	124,8	144,2	81,3	5,4	20,1	106,7	258,6	
09-25-1042-60	MSII	0,21	Doméstica	56,15	18,23	3,38	0,03	1,18	1,31	0,45	2,26	0,33	0,12	311,6	35,6	35,5	45,1	31,1	127	225,9	325,8	58,4	5,2	4,7	116,8	149,3	
09-25-1065-421	MSII	-0,09	Briquetage	60,71	14,38	4,43	0,04	1,89	1,35	1,09	3,92	0,5	0,08	539,6	57,8	63,8	45,5	24,5	129	175,4	620,6	69,4	5,6	0,4	94,7	184,5	
09-28-1014-306	MSII	-0,02	Briquetage	50,24	17,15	6,77	0,09	1,42	0,77	0,86	2,58	0,72	0,09	799,6	143,7	81,7	37,8	61,1	134,6	116,8	771,3	116,7	4,7	7,9	117,8	199,8	
09-28-1042-17	MSII	0,21	Campaniforme	50,38	14,28	5,52	0,05	1,67	2,65	0,84	3,39	0,54	0,08	583,2	149,5	79,3	32,1	27,3	125,5	149,2	426,6	84,4	5,1	4	108,3	166,5	
09-28-1042-20	MSII	0,21	Campaniforme	45,3	12,41	7,5	0,04	2,72	3,77	0,89	3,68	0,46	0,15	578,4	139,8	56,9	45,4	42,6	119,3	140,6	1147,8	102,2	5,4		105	179,7	
09-28-1042-21	MSII	0,21	Campaniforme	53,01	14,28	4,62	0,06	1,94	0,65	1,21	3,15	0,58	0,1	628,7	28,4	29,1	10,6	25,9	117,2	131,2	431,6	80,1	7,6	1,1	136,5	164,8	
09-28-1042-59	MSII	0,21	Doméstica	74,3	10,2	3,4	0	1,2	0,8	0,4	1,8	0,4	0,1	483,4	45,7	46,1	17,6	15,5	116,2	102,8	397	74,2	4,6	1,3	75,8	155,7	
09-28-1055-1	MSII	0,05	Campaniforme	60,15	13,2	3,14	0,03	1,23	0,5	0,98	2,62	0,45	0,06	483,7	48	53,4	3,3	28,2	122,5	111,2	400,5	59,4	7,9	3,9	78,7	296,5	
09-28-1066-4	MSII	-0,34	Campaniforme	48,9	17,45	6,24	0,04	1,8	0,64	0,84	3,33	0,64	0,06	917,4	41,2	87,8	36,6	51,7	129	179,8	697,1	113,8	6,5	12,5	119,7	203,6	
09-28-1067-62	MSII	-0,13	Briquetage	50,26	17,23	6,19	0,06	1,33	0,76	0,9	2,81	0,63	0,11	807,2	93,7	76,7	11,4	3,5	119,9	138,3	412,4	114	6,9	2,5	102,6	137,9	
09-28-1084-1	MSII	-0,1	Campaniforme	49,09	14,55	4,89	0,06	2,66	0,92	0,99	3,49	0,54	0,08	471,9	113,1	41,1	47,5	26,8	111,6	122,2	332,3	67,8	7	9,7	96,7	111,7	
09-28-1098-10	MSII	-0,23	Campaniforme	42,14	12,72	6,26	0,03	2,36	4,58	0,54	3,63	0,46	0,1	521,1	67,5	71,4	26	30,6	108,3	110,1	633,9	82,1	6,7	3,3	94,8	131,5	
09-28-1098-31	MSII	-0,23	Campaniforme	40,45	12,21	6,52	0,04	2,04	7,48	0,6	4,1	0,5	0,12	775	65,1	77,4	44,8	35,7	111,4	142,2	892,6	95,6	3,8		99,4	176,2	
09-28-1098-32	MSII	-0,23	Campaniforme	55,66	13,42	4,77	0,05	1,8	0,68	1,1	3,12	0,58	0,16	694,9	109,8	67,7	45,6	24	125,4	175	533,6	92,1	4,9	3,2	114	266,2	
09-28-1098-500	MSII	-0,23	Briquetage	56,7	12,2	4,67	0,04	1,67	0,76	0,93	2,43	0,46	0,05	529	61,8	60,3	29,5	30,9	144,4	134,1	455,6	78,9	6,2	2	100	185,1	
09-28-1098-60	MSII	-0,23	Campaniforme	43,59	12,57	6,87	0,04	2,31	5,18	0,46	3,95	0,49	0,1	499	77,1	59,3	52,8	34,8	109,5	134,5	807,7	93,7	5,1	8	109,1	154,9	
09-28-1098-7	MSII	-0,23	Campaniforme	50,35	14,13	5,92	0,06	1,72	0,75	1,21	3,39	0,67	0,1	727,3	115,6	65,2	36,8	36,3	128,4	151	460	99,5	5,1		107,4	230,9	
09-28-1098-84	MSII	-0,23	Campaniforme	61,7	16,1	5,3	0,1	2,3	0,7	1,1	3,7	0,7	0,1	703	29,2	65,2	57,2	31,9	129,8	189,1	448,5	89,9	4,3	3	124,7	262,3	
09-28-1108-109	MSII	-0,2	Campaniforme	51,8	15,4	7,9	0,1	2,7	2,9	0,9	3,7	0,5	0,2	860,5	143,9	75,4	42,8	42,1	102,3	137	933,7	127	5,3	3,7	110,1	174,2	
09-28-1141-3	MSII	-0,23	Campaniforme	60,3	14,4	4,9	0,1	2,1	0,7	1,2	3,6	0,6	0,1	659,1	87,9	65	58,7	37,2	189,7	163,7	447,1	92,2	5	7,1	106,3	191,1	
09-28-1149-12	MSII	-0,35	Campaniforme	45,62	17,8	5,05	0,03	1,71	1,84	0,72	2,97	0,55	0,09	677,3	115,3	90,3	14,5	54,6	114,3	116,7	346,5	137,5	8,1	3,5	124,5	109,2	
09-28-1149-13	MSII	-0,35	Campaniforme	46,53	18,49	5,52	0,03	1,66	2,35	0,87	3,22	0,59	0,11	562,1	194,8	84,5	3,3	58,8	118,5	153,7	510,3	146,3	6,2		111,2	142	
09-28-1149-20	MSII	-0,35	Campaniforme	57,68	13,39	4,68	0,05	1,47	0,39	0,83	2,88	0,45	0,08	536,1	113,6	54,3	32,7	32,8	130,1	153,2	435,3	85,6	6,1		96,7	193,6	
09-28-1166-24	MSII	-0,34	Campaniforme	51,45	13,18	5,35	0,05	1,95	3,22	0,73	3,35	0,51	0,09	523,3	85,1	48,4	27,3	36,7	115,5	137,3	411,2	89,3	5,1	3,1	99,7	159,8	
09-28-1173-31	MSII	-0,29	Campaniforme	62,3	14,3	4	0,1	3	1,4	1,5	3,5	0,4	0,1	628,5	140,5	140,7	156,2	26,2	125,6	168,2	618,4	56,2	4,9	10,4	114,7	131,2	
09-28-1175-11	MSII	-0,29	Campaniforme	49,07	14,34	5,45	0,08	2,16	1,91	1,2	3,49	0,68	0,13	638,9	94,1	52,4	23,4	39,6	125,2	185,8	414,7	84,6	5,8	13,2	124,8	242,2	
09-28-1175-5	MSII	-0,29	Campaniforme	46,51	15,61	5,73	0,06	2,45	1,14	0,85	3,11	0,59	0,06	426,9	105,2	44,6	5	38	111	112,2	272,2	81,6	7,4	4,7	106,3	112,6	
1A-1008-A	MSII	0,22	Doméstica	53,31	19,23	2,92	0,03	1,21	0,84	0,46	2,15	0,31	0,04	823,6	11,7	22,4	16,9	13,4	140,2	162,7	685,1	40,2	7,1	6,8	77,8	173,3	

ID	Yacimiento	Cota	Tipo	Relleño	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Ba	Cl	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	V	U	W	Zn	Zr	
IA-1008-B	MSII	0,22	Doméstica	43,74	18,67	7,9	0,05	1,59	1,72	0,53	3,27	0,63	0,08	1068	53,1	110	47,3	67,3	147,4	169,2	862,8	154,5	5,9			128,8	198,2	
IA-1008-C	MSII	0,22	Doméstica	42,72	16,79	4,44	0,04	1,5	2,59	0,79	2,32	0,47	0,12	727,3	102,8	80,4	5,1	25,7	126,9	83,9	344,3	88,4	8,6			90,1	105,6	
IAB-1011-A	MSII	-0,03	Doméstica	49,58	16,7	5,88	0,05	1,27	1,13	0,48	2,88	0,66	0,06	639,1	28,7	94,4	37,2	37,6	124,5	185,1	348,9	89,8	5,2	0,6		117,8	195,3	
IAB-1011-B	MSII	-0,03	Doméstica	55,7	19,6	6,2	0	1,8	0,6	1	2,6	0,6	0,1	791,7	441,8	69	30,3	37,5	123,8	139,2	535	103,2	5	11,3		92,6	200,9	
IAB-1011-C	MSII	-0,03	Doméstica	50,66	10,8	3,04	0,09	2,45	7,46	0,9	2,93	0,5	0,37	538	262,7	32,4	20,1	30,4	112,1	125,8	959,7	63,1	4,6			89,9	210,3	
IAB-1047-A	MSII	-0,17	Doméstica	52,18	13,57	4,72	0,05	1,67	2,12	0,99	3,34	0,51	0,12	691,6	101,7	49,8	52,8	31,6	130,7	182,3	573,9	58,5	5,6	2,2		110,2	153,4	
IAB-1047-B	MSII	-0,17	Doméstica	53,5	14,1	5,1	0,1	2,3	5,1	1,2	3,7	0,5	0,2	757,7	325,1	40,3	52,6	31,3	174,6	178,8	728,2	77,4	5,1	5,5		117,6	157,7	
IAB-1141-A	MSII	-0,23	Doméstica	52,45	14	4,62	0,05	1,86	0,94	1,51	3,92	0,52	0,08	554,7	229	47,8	23,5	28,8	136,3	188,7	407	65,8	5,6	9,2		103,7	164,8	
IAB-1141-B	MSII	-0,23	Doméstica	50,82	16,4	6,11	0,03	1,45	1,2	1,13	2,9	0,61	0,16	618,7	184,5	67,7	8,1	45,5	115,1	108	426,6	122,9	5,6	3,1		106,6	157	
IAB-1141-C	MSII	-0,23	Doméstica	49,11	16,76	6,99	0,04	1,58	0,74	0,95	3,04	0,7	0,14	767	179,7	86,8	26,9	43,7	115,4	148,3	547,8	147,5	5,4			99,3	246,6	
IB-1115	Barros/Pelias MSII			14,25	3,19	0,55	0,22	2,75	49,89	0,8	0,95	0,09	2,32	525,9	104,1			35,8	15,5	75,4	29,3	2694,7	18,7	4,1	1,6		75,6	90,6
ID-1018-A	MSII	0,22	Doméstica	50,4	18,5	6,8	0,1	1,5	2,6	0,5	3,1	0,8	0,2	221,5	109,4	115,4	47,7	45,7	138	158	1119	139,8	4,5	6		110,8	249,9	
ID-1018-B	MSII	0,22	Doméstica	57,17	16,45	5,26	0,07	2,14	1,06	0,87	3,92	0,66	0,09	1455	82,22	68,75	54,5	30	119,4	191,3	468,1	82,74	4,3	0,25		117,2	203,9	
ID-1018-C	Barros/Pelias MSII			59,72	14,63	4,67	0,05	2,1	1,5	1,05	3,9	0,51	0,08	599,6	53,6	72,1	34,1	30,2	131,8	176,8	567,2	80,7	5			100,5	211,1	
ID-1018-C	Barros/Pelias MSII			59,72	14,63	4,67	0,05	2,1	1,5	1,05	3,9	0,51	0,08	599,6	53,6	72,1	34,1	30,2	131,8	176,8	567,2	80,7	5			100,5	211,1	
ID-1045-A	MSII	0,2	Doméstica	48,67	13,22	6,16	0,05	2,4	2,81	1,16	3,17	0,54	0,13	764	120,8	61	26,2	36,8	115,2	157,9	585,2	102,5	5,6	2,6		112,2	199,1	
ID-1045-B	MSII	0,2	Doméstica	56,81	13,77	4,91	0,04	1,76	1,18	0,77	2,65	0,37	0,09	682,5	37,8	49,6	34,8	40,8	136,4	158,2	779,5	69,9	5,7	13,5		90,3	146,4	
ID-1045-C	MSII	0,2	Doméstica	51,56	17,47	5,87	0,05	1,85	4,67	0,7	3,13	0,67	0,09	978,1	208,3	69,52	49,31	44,12	123,1	145	643,6	117,8	5,03	5,19		103,6	203,7	
ID-1075	Barros/Pelias MSII			54,79	13,7	3,68	0,07	2,07	6,56	0,57	3,5	0,63	0,25	646,4	47,5	43,3	25	32,2	120	158,4	1040,8	72,4	5,1			101,8	255,6	
ID-1127-A	MSII	-0,26	Doméstica	61,88	15,59	4,33	0,05	1,79	0,84	1,34	4,3	0,5	0,11	810,8	88,41	62,62	48,77	25,84	135,2	210,2	424,3	62,35	5,23	6,47		120,7	178	
ID-1127-C	MSII	-0,26	Doméstica	60,61	16,13	5,4	0,06	2,32	0,75	1,3	3,92	0,67	0,12	698	180	54,3	47,5	25,8	134,7	205,2	563,1	90	4,8	2,7		133,9	256	
ID-1127-D	MSII	-0,26	Doméstica	57,6	15,27	5,39	0,05	1,99	0,46	1,42	4,02	0,62	0,07	785,4	465,6	49,8	18,7	36,1	121,8	197,2	509,2	75,1	6,1	12,6		101,1	172,1	
IF-1030-B	Barros/Pelias MSII			51,62	14,84	4,34	0,09	2,94	7,08	1,01	3,94	0,62	0,4	103	490,5	51,15	34,72	30,34	178,6	147	156,8	86,58	6,3	5,13		108,2	232,2	
IF-1037	Barros/Pelias MSII			46,87	12,24	3,26	0,05	2,28	12,85	0,48	3,42	0,53	0,24	567,7	29,13	35,7	20,95	32,33	112,9	141,5	182,2	72,66	4,72	4,17		92,15	243,1	
IF-1042-A	MSII	0,21	Doméstica	49,69	15,98	6	0,06	1,38	1,06	1,31	3,89	0,74	0,2	1146,8	491	74,9	19,6	44,5	122,5	165,1	489,2	104	5	6,6		103,5	278,5	
IF-1042-B	MSII	0,21	Doméstica	45,94	17,38	7,51	0,06	1,75	0,67	0,9	3,59	0,7	0,11	1049,8	351,4	97	40	48,1	140,7	160,3	682,5	123,8	4	8,1		111,7	216,4	
IF-1042-C	MSII	0,21	Doméstica	54,47	17,16	2	0,04	1,38	4,08	0,71	1,77	0,23	0,07	406,8	58,8	2,3	11,1	10,6	144,5	127,7	986,3	33,1	5,7	2,4		66,5	129,6	
IF-1049	Barros/Pelias MSII			45,14	15,55	4,29	0,06	2,59	8,36	0,57	4,19	0,62	0,34	714,6	93,3	44,7	15,9	3,3	125	178,4	1583,8	103	6,8	1,8		109,2	164,1	
IF-1092-B	MSII	-1,17	Doméstica	54,74	19,58	6,45	0,06	1,85	0,43	1,68	3,53	0,7	0,07	856,1	775,4	103,6	49,34	42,21	128,8	191,8	444	138,4	4,1	2,85		107,1	176,5	
IF-1136	Barros/Pelias MSII			44,45	15,12	3,68	0,12	2,78	10,84	0,83	4,19	0,57	0,58	750,2	681,7	37,14	41,46	39,67	181,6	156,6	1266	78,74	5,69	8,52		110	149,7	
IF-1150	Barros/Pelias MSII			47,92	17,67	5,57	0,08	2,65	4,66	0,75	5	0,77	0,35	851	319	107,1	30,3	3,3	135	218,2	964,2	112,4	4,3	6,6		129,9	183,7	
IF-1192-B	MSII	-1,17	Doméstica	28,68	5,5	1,26	0,2	1,15	33,92	0,72	1,82	0,2	1,44	566,1	971,2	14,5	48,7	23	97	60,7	2385,5	27	5	7,1		84	127,8	
IF-1192-A	MSII	-1,17	Doméstica	52,6	13,84	5,05	0,16	1,93	1,6	0,93	3,78	0,54	0,07	521,9	143,2	61,4	61,1	47,8	129,1	172,7	408,7	74,2	5,7	16,4		161,3	182,9	
IF-1192-C	MSII	-1,17	Doméstica	59,11	16,65	4,55	0,07	2,14	0,65	1,47	3,88	0,51	0,11	629,4	189	43,54	33,75	24,42	125,1	190,6	368,2	63,38	5,21	3,6		108,6	222,3	
IF-1192	Barros/Pelias MSII			53,02	15,06	4,32	0,19	2,14	4,92	1,55	4,37	0,66	0,39	967,6	516,5	47,5	22,3	32,5	135,8	160,1	1249,8	89,1	4,8			129	200,5	

ID	Yacimiento	Cota	Tipo	Relleno	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ba	Cl	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	V	U	W	Zn	Zr
IF-1213	Barros/Pelias MSII		Barros/Pelias	53,64	11,66	2,77	0,07	2,54	8,76	1	2,83	0,49	0,27	411,6	153,7	28,2	35,1	33,3	103	139,2	1296,4	60,8	5,4	0,3	91,8	282,2	
07-42-1021-A	Santoste	-1,19	Doméstica	47,62	12,84	5,16	0,03	1,52	1,94	3,06	3	0,6	0,07	503,8	1484,9	66,1	5,3	31,8	108,3	139,5	547,8	85,8	5	3,1	95,7	252,5	
07-42-1021-B	Santoste	-1,19	Doméstica	47,87	10,96	4,54	0,06	1,8	2,22	3,22	3,15	0,5	0,12	569,1	1742,7	102,6	42,9	31,5	120,6	150,2	622,2	80,9	6	11,3	115,2	297,1	
07-42/1069/A	Santoste	-1,05	Doméstica	71,65	19,44	1,63	0,03	1,7	0,98	0,94	3,04	0,2	0,06	258,9	344,1	18,9	17,8	14,6	42,1	171,7	371,5	29,2	7	12,4	80,7	100,1	
07-42/1069/B	Santoste	-1,05	Doméstica	75,81	12,97	3,48	0,03	0,95	1,08	1,08	2,81	0,43	0,08	396,5	252,8	28,3	37	21,4	34,8	134,3	377,3	66,1	6,9	24,5	101,5	240,5	
07-42/1070/A	Santoste	1,31	Doméstica	62,5	23,26	4,14	0,02	0,99	0,88	1,22	1,32	0,35	0,06	511,5	691,4	49	21,1	12,7	55,5	94,5	647,5	50	5,8	12,9	86,1	174,9	
07-42/1070/B	Santoste	1,31	Doméstica	62,42	25,11	2,62	0,02	1,1	0,99	1,12	1,62	0,28	0,06	161,7	374,7	55,7	25,6	16	40,8	122,7	558,1	37,4	5,9	8,2	84,4	156,5	
09-42-1010-A	Santoste	-0,95	Doméstica	55,13	17,05	1,7	0,05	1,32	0,75	0,75	2,13	0,21	0,04	342,4	625,6	23,5	7	9,6	149,7	166,2	572,4	24,7	7,8	2,8	6,9	114,4	
09-42-1010-B	Santoste	-0,95	Doméstica	49,44	20,26	7,05	0,03	1,37	0,86	1,04	3,41	0,58	0,05	807,1	750,7	73,4	41	38,7	132,2	187,4	616,9	130,2	6	13,2	106,6	171,7	
09-42-1011-A	Santoste	0,78	Doméstica	50,18	14,92	6,15	0,04	1,17	0,91	1,02	2,24	0,7	0,06	442,6	528,1	71,5	36,5	43,5	133,2	132,2	710,2	132,1	5,6	14,1	104,7	216,9	
09-42-1011-B	Santoste	0,78	Doméstica	47,89	17,68	7,08	0,11	1,34	0,8	1	3,15	0,67	0,07	866,2	532,4	77,4	24,3	43,1	133,4	207,5	533,6	157,5	4,9			110,9	193,8
09-42-1031-A	Santoste	1,26	Doméstica	53,32	20,28	2,91	0,02	1,03	1,2	0,81	1,11	0,29	0,06	164,2	421	15,2	17,3	13,8	155,1	98,1	564,6	39,2	6,6	12,7	68,1	159,7	
09-42-1047-A	Santoste	0,69	Briquetage	53,33	14,89	5,26	0,05	1,79	0,38	1	2,2	0,76	0,05	377,1	685,7	60,7	37,3	41,3	125,9	128,5	386,9	113	5,5	3,7	89,8	241,6	
09-42-1047-B	Santoste	0,69	Briquetage	52,01	12,73	4,35	0,05	1,54	2,2	1,19	1,79	0,66	0,1	291,5	761,3	67,7	23,5	42	131	113,2	492,9	82,5	6,8	5,9	84,7	376,5	
09-42-1053	Santoste	0,67	Doméstica	47,27	18,41	6,36	0,07	2,37	3,9	1,09	3,05	0,66	0,1	964	1706,6	77,5	21,4	40,9	123,4	134,6	713,2	110	4,2	0,8	107,7	155,8	
09-42-1056-A	Santoste	0,85	Briquetage	45,58	15,88	6,12	0,05	1,75	2,07	1,16	3,55	0,65	0,06	894,2	901,7	90,8	210,6	40	146,7	193,6	622,2	119,3	5	5,9	176,4	246,4	
09-42-1056-B	Santoste	0,85	Doméstica	52,39	14,15	4,38	0,02	1,22	1,82	1,78	2,26	0,49	0,07	588,7	811,5	51,1		33,1	121	116,3	403,3	78,1	6	0,4	89,2	129,7	
09-42-1056-C	Santoste	0,85	Doméstica	50,86	9,95	3,84	0,04	2,09	3,03	4,36	1,6	0,58	0,1	370,1	2530,3	46,4	15,7	36	80,3	84,9	621,6	70,5	4,9	3,5	61,6	370,6	
09-42-1056-D	Santoste	0,85	Briquetage	45,21	16,33	6,29	0,06	1,7	1,68	1,04	3,56	0,66	0,06	1081,1	871,5	59,3	31,3	48,2	135,2	194,7	587	126,2	4,8	17,4	110,7	202,2	
09-42/1022A	Santoste	-1,05	Doméstica	72,69	14,49	4,27	0,03	1,13	0,5	0,82	3,23	0,57	0,05	416,6	120,6	73,4	36,3	29,5	29,6	153	303,5	84,7	6,9	5,1	104,7	215,8	
09-42/1022B	Santoste	-1,05	Doméstica	70,93	14,32	4,33	0,04	1,14	0,66	1,07	3,09	0,54	0,06	448,9	224,6	88,1	50,6	33,4	34,6	149,3	468,3	79,4	6,6	8,9	115,5	228	
09-42/1024/A	Santoste	-1,14	Doméstica	51,91	19,24	6,37	0,04	2,16	4,53	2,11	3,92	0,68	0,1	1168,6	1320,6	76	29,5	50,7	28,3	164,3	1349,1	101,7	5,8	12,3	119,9	191,4	
09-42/1024/B	Santoste	-1,14	Doméstica	60,39	23,19	3,56	0,01	1,08	0,5	0,83	1,22	0,31	0,07	373,1	216	22,6	46,8	14,5	48,5	93,5	455,4	48,1	6,5	16	86,7	167,5	
09-42/1024/C	Santoste	-1,14	Doméstica	60,79	17,19	6,22	0,05	1,9	0,88	1,49	3,86	0,63	0,11	698,9	219,7	82,4	70,2	32,8	110,4	181,8	563,2	95,8	5,6	15,4	131,3	189,2	
09-42/1025	Santoste	0,98	Briquetage	48,86	18,62	6,26	0,06	2,19	6,94	1,5	3,97	0,67	0,08	1231,7	908,1	84,7	31,3	45,7	30,8	156	841,5	116,9	4,7	15	122,3	209,9	
09-42/1028	Santoste	0,77	Briquetage	57,82	19,03	6,62	0,06	2,33	2,17	1,91	3,86	0,64	0,08	885,8	406,9	83,6	30,8	46,7	33,2	179,5	820,4	98,1	4,9	3,6	117,3	204,9	
09-42/1032/C	Santoste	-1,32	Doméstica	66,55	20,21	2,84	0,04	1,39	1,17	1,33	1,5	0,3	0,06	219,5	347,2	25,8	28,1	14,7	47,7	113,9	389,3	42,9	6,5	12	94,7	137,8	
09-42/1032/D	Santoste	-1,32	Doméstica	73,62	15,16	4,28	0,06	1,37	0,43	0,92	2,86	0,69	0,05	390,5	338	85,7	56,1	24,6	39,9	148,6	298	77,3	6,1	10	118,6	331	
09-42/1037/A	Santoste	0,74	Doméstica	58,45	20,3	7,05	0,04	1,97	1,24	1,2	3,97	0,69	0,06	1209,6	441,8	88,3	47,6	38,7	36,4	188,1	479,2	133,5	5,6	9,6	118,9	203,4	
09-42/1037/B	Santoste	0,74	Doméstica	48,29	17,38	6,38	0,03	2,64	7,15	1,83	3,42	0,64	0,12	1608,2	773,6	68,4	28,7	32,2	15,9	139,6	932,3	103,6	4,3	7	106,7	200,7	
09-42/1039	Santoste	-0,68	Doméstica	59,04	18,77	5,94	0,05	1,8	1,95	1,48	3,77	0,68	0,13	1153,2	1295,6	61,6	44,3	46,2	32,3	167,5	691,2	92,8	4,6	11,1	115,9	241,5	
09-42/1047/A	Santoste	0,69	Doméstica	66,03	15,82	5,53	0,04	1,16	0,97	1,1	2,89	0,55	0,09	775,5	551,1	59,6	43,7	36,5	32,2	135,6	905,3	109	7,5	4,4	100,2	192	
09-42/1047/B	Santoste	0,69	Doméstica	68,29	17,69	6	0,03	1,61	0,77	1,26	2,43	0,79	0,11	747,1	561,8	81,2	43,7	34,3	25,5	140,9	492,4	103,5	5,4	7,6	103,8	275,3	
1037	Santoste	0,74	Doméstica	64,77	20,2	4,43	0,05	1,46	1,1	1,41	3,14	0,41	0,07	1001,2	612	47,5	22,8	29,9	35,1	172,2	890,3	74,7	5,7	5,9	109,2	160,1	
1039	Santoste	-0,68	Doméstica	45,15	16,87	6,87	0,06	1,1	1,72	0,81	2,8	0,64	0,07	924,9	516,9	73,6	26,1	52,6	156,5	162,2	893,3	133,2	5	10,6	114,1	188	

ID	Yacimiento	Cota	Tipo	Relleno	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	Ba	Cl	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	V	U	W	Zn	Zr
1065/A	Santoste		Doméstica		65,74	18,33	1,81	0,03	1,63	0,75	3,23	3,11	0,23	0,07	1009,9	496,3	22,9	49,4	10,9	49,6	189,9	665,1	48	6,6	11,9	82,7	136
1065/B	Santoste		Doméstica		38,58	14,41	4,62	0,07	1,9	16,94	1,16	3,63	0,48	0,09	587,7	1004,6	60,9	28,2	35,7	40,9	122,6	571,2	80,1	6,3	13,6	100,6	136,4
1075	Barros/Pellas Santoste		Barros/Pellas		58,87	7,16	1,59	0,03	1,29	4,89	0,67	1,82	0,42	0,13	354,3	858,8	23,2	11	21,5	101,2	94,7	735,7	48,3	6,1	4,5	64,2	277,6
1076	Santoste	-1,4	Doméstica		58,86	20,89	5,7	0,03	2,15	0,72	1,01	2,71	0,5	0,05	376,7	240,3	56,9	30,2	33,9	32,1	176,5	409,2	75,9	6,8		125	172,9
1077	Santoste	-1,42	Doméstica		44,34	17,18	6,16	0,08	1,52	0,85	1,13	2,83	0,6	0,06	522,9	440,1	58	77,7	38,8	179,9	192,1	699,8	103,3	6,9	6,4	141,6	159,8
1078	Santoste	-1,47	Doméstica		56,5	14,71	3,69	0,03	0,99	0,58	0,86	2,31	0,56	0,06	316	906,4	42,2	32	25,6	145,1	125,3	393	53,4	6,7	7,5	86,1	229,6
1085	Barros/Pellas Santoste		Barros/Pellas		9,73	1,96	0,4	0,2	0,86	53,45	0,41	0,74	0,07	1,93	399,3	639,5		29,4	16,7	75,8	25,6	1973,3	4,8	4,3	5,5	68,3	95,7
1101	Barros/Pellas Santoste		Barros/Pellas		82,2	8,4	1,8	0	0,8	1,6	0,9	1,5	0,5	0,1	313,2	269,3	20,2	6,8	22	135,6	71,8	138,7	40,2	4,7	7,8	63,8	316,4
1119-A	Santoste	0,78	Doméstica		42,27	14,45	6,18	0,05	1,77	3,66	1,59	3,34	0,6	0,07	1094,2	973,6	67,7	26,7	44,4	113,9	173	423,7	110,8	5,1	0,7	109	157,3
1119/B	Santoste	0,78	Doméstica		62,71	18,62	7,22	0,03	1,3	0,78	1,32	2,71	0,59	0,07	863,1	386,9	63,4	26,4	43,7	31,7	143,1	731,6	86,3	5,9	15,1	112,1	177,9
1123-A	Santoste	0,81	Doméstica		48,11	17,47	6,01	0,04	1,31	0,63	1,51	2,76	0,63	0,05	983,7	2467,2	65,7	21,6	48,2	133,1	159,8	634,7	109,7	5,7	6,5	107,4	186,8
1123-B	Santoste	0,81	Doméstica		40,84	18,74	8,46	0,06	1,59	1,3	1,14	2,91	0,86	0,09	694,3	1690,4	93	104,1	46,4	132,8	190,9	424,6	146	5,7	11,2	203,4	220,9
1127	Santoste	0,78	Doméstica		54,56	21,15	6,65	0,03	1,8	0,65	2,16	3,37	0,68	0,09	883,2	2162,1	88	32,1	33,2	37,8	154,7	602,2	109,1	6,7	13	113,5	209,2
UE-1022	Barros/Pellas Santoste		Barros/Pellas		18,47	3,52	0,73	0,11	0,98	42,88	0,57	1,25	0,14	0,98	410,3	1709,4	13	41,5	13,4	83	43,3	1647,2	18	4,1		66,9	97,8
UE-1091	Barros/Pellas Santoste		Barros/Pellas		43,86	9,25	2,3	0,07	1,4	12,65	0,63	2,28	0,41	0,41	521,3	397,5	164,7	22,4	20,8	100	99,7	817,7	41,8	5,8	9,8	80,1	214,5

Tabla 5.

base al Cr y en menor medida debido a metales de transición que pueden haber sido intercambiados durante la cocción como cationes trivalentes en la red cristalina de los silicatos laminares.

La representación de las marcas factoriales (fig. 10) identifica dos conjuntos compactos de cerámicas. Ambos grupos se encuentran perfectamente separados tal y como muestran las elipses de confianza al 95 %.

Si tenemos en cuenta que las agrupaciones lo son en función al Cl, CaO y metales de transición según se desprende del PCA, las diferencias y agrupaciones composicionales detectadas en las cerámicas no responderían al uso de arcillas con diferentes geoquímicas, sino a las transformaciones sufridas bien por la arcilla durante su procesado, bien por la cerámica durante su tecnofunción, bien por procesos postdeposicionales o bien por todas las interacciones. Podríamos, por tanto, decir que las diferencias encontradas entre la cerámica de ambos

yacimientos no responde al uso de arcillas de fuera de las lagunas o diferencias sustanciales en la zona de captación de arcillas y que, tal como propone Weller (2010), las cerámicas están realizadas con arcillas locales, como se confirma a través del estudio de la distancia de Mahalanobis (Baxter, 2001).

Del estudio de la distancia de Mahalanobis (fig.11) podemos apreciar como existen ciertos *outliers* cuya distancia al centroide del grupo es excesiva. Sin embargo, si calculamos la distancia al centroide del grupo para cada yacimiento por separado no se detectan outliers. Con ello parece quedar claro que todas las cerámicas han sido realizadas con materiales locales procedentes de las lagunas de Villafáfila. Parece, además, que las cerámicas campaniformes están realizadas con las mismas arcillas que las cerámicas domésticas y el *briquetage*, ya que no se aprecian tendencias agrupacionales (fig. 10) dentro de los grupos asociadas a los yacimientos que nos indiquen la utilización de diferentes

	PC 1	PC 2	PC 3
SiO ₂	-0.02297	-0.10006	0.01802
Al ₂ O ₃	0.01773	-0.09291	0.06549
Fe ₂ O ₃	0.03676	0.11488	0.29629
MnO	-0.00891	0.28710	0.08429
MgO	-0.00185	0.14402	0.05608
CaO	0.15832	0.68139	-0.45134
Na ₂ O	0.22579	-0.07451	0.05081
K ₂ O	-0.00547	0.13908	0.16065
TiO ₂	0.04771	0.08361	0.26092
P ₂ O ₃	0.00719	0.35123	-0.12859
Ba	0.05806	0.22096	0.22877
Cl	0.92703	-0.14291	-0.04747
Cr	0.06712	0.13694	0.46200
Cu	0.04727	0.15760	0.27208
Ni	0.06285	0.19637	0.27396
Pb	-0.18335	0.17818	0.02935
Rb	-0.01212	0.00693	0.14023
Sr	0.08219	0.20004	-0.10655
V	0.05541	0.13332	0.31759
Zn	0.00838	0.06672	0.13439
Zr	0.04707	0.00384	0.11277

Tabla 6. Autovectores resultantes del PCA para los 3 primeros componentes principales (PC).

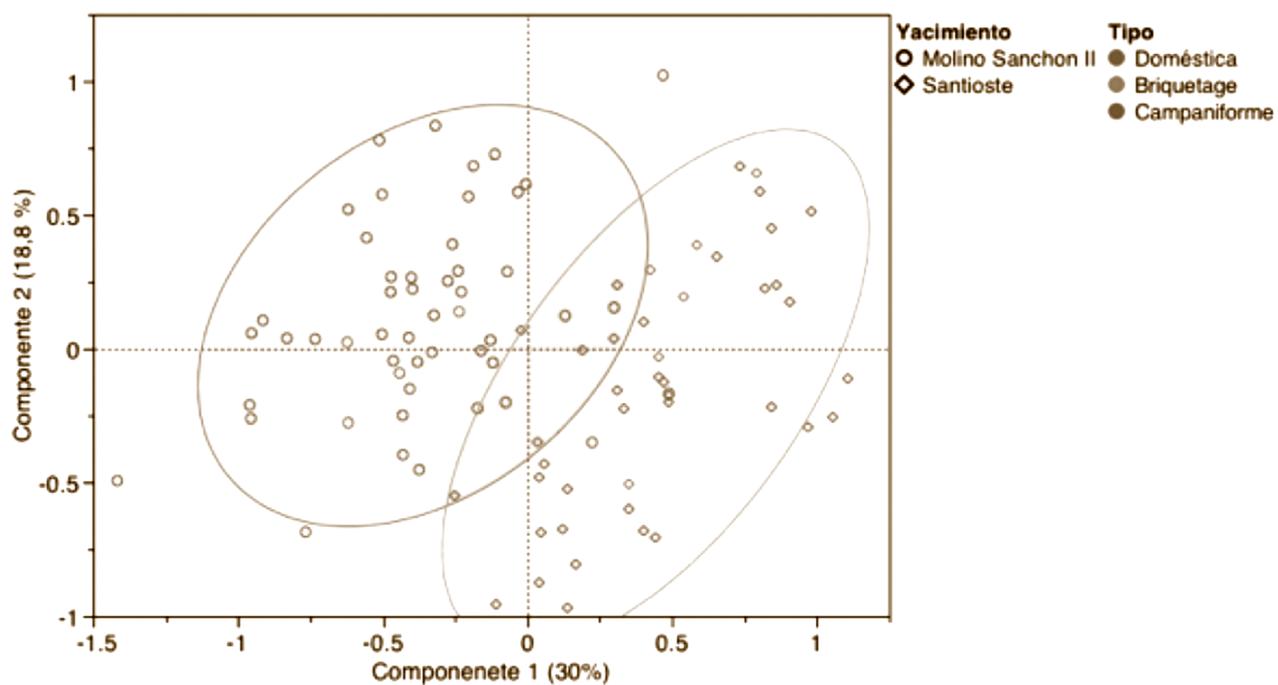


Fig. 10. Gráfica donde se muestran las cargas factoriales y las puntuaciones del PCA para MSII y Santioste con indicación al tipo cerámico.

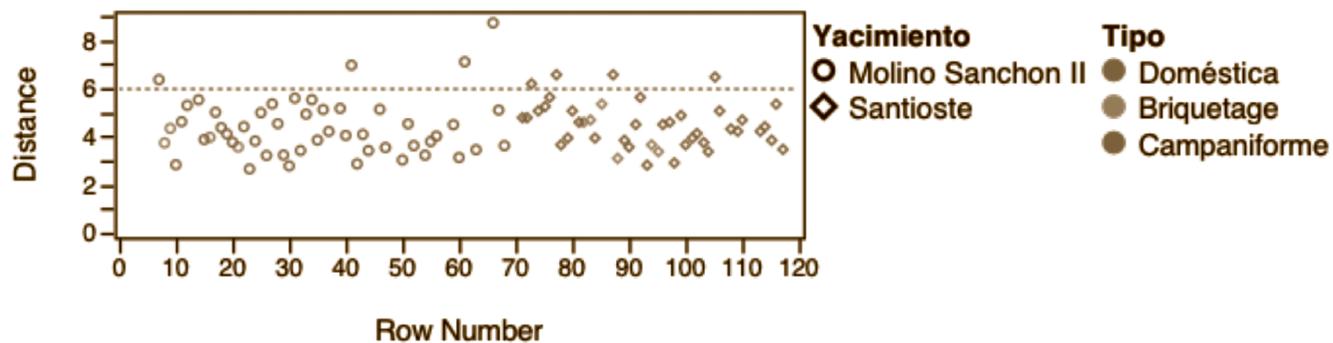


Fig. 11. Representación gráfica del cálculo de la distancia de Mahalanobis para las cerámicas de MSII y Santioste.

recetas (Arnold, Neff y Bishop, 1991) para producir un tipo cerámico u otro. Todo ello unido al hecho de que no se han detectado diferencias a nivel mineralógico que nos indiquen un procesado o cocción diferente correlacionable con algún tipo cerámico o yacimiento nos podría estar indicando que las diferencias apreciadas en el PCA entre MSII y Santioste, referidas esencialmente al contenido en Cl, CaO y metales de transición, podrían responder a diferencias tecnofuncionales o postdeposicionales.

A la hora de encontrar una explicación al porque el Cl y el CaO son los elementos discriminantes en las diferencias encontradas a nivel químico entre las cerámicas de ambos yacimientos, podríamos aducir fácilmente que los yacimientos al estar ubicados en zonas diferentes de las lagunas tienen concentraciones diferentes de aniones disueltos, lo cual podría sustentarse bajo los datos aportados en trabajos previos donde se han detectado tres facies hidroquímicas (Santiesteban *et al.*, 2003).

Si atendemos a la propuesta de Dufournier (1982) un contenido en CaO *c.* 10 % de la arcilla provocará que con cocciones *c.* 800 °C se produzca una pérdida de K₂O *c.* 20 % del contenido inicial de la arcilla. Para MSII podemos observar (fig. 12A) como los barros y pellas tienen un contenido de CaO superior al 10 %, el doble de lo que presentan las arcillas, mientras que para los barros/pellas de Santioste el contenido en CaO es al 20 % (fig. 13A), llegando a alcanzar valores de casi un 50%. Esto podría estar implicando el uso de desgrasantes calcáreos en el procesado de las arcillas en busca de un mejor desarrollo de su tecnofunción.

Sin embargo, si comparamos el contenido en CaO de los barros y pellas con el de las cerámicas (figs. 12A y 13A) podemos

observar como los valores de MSII -cerámicas doméstica (1.8 %), el briquetage (0.9 %) y el campaniforme (2.1 %)- presentan valores mucho más bajos. Este mismo fenómeno es apreciable para Santioste donde la concentración en CaO para las cerámicas doméstica (1.9 % wt) y el briquetage (2.6 % wt) es inferior al de los barros/pellas. Es curioso que las cerámicas domésticas tienen una concentración casi idéntica en ambos yacimientos, mientras que el briquetage en MSII presenta valores muy bajos y en Santioste presenta valores equivalentes al de las arcillas o el campaniforme de MSII.

La concentración en K₂O de los barros/pellas de MSII (3.6 %) es inferior al de las arcillas (4.0 %), pero superior al de las cerámicas doméstica (3.2 %), el briquetage (2.9 %) y el campaniforme (3.4 %), tal y como puede observarse en la figura 12B.

Suponiendo que los barros/pellas son la materia prima procesada que están usando para producir la cerámica y que esta tiene halita, *c.* 6 %, se podría esperar que se produzca una pérdida de K₂O equivalente a la observada para las cerámicas de MSII para contenidos en Cl equivalentes al de las arcillas. Ello podría implicar que las arcillas no se han procesado aparte de la inclusión de desgrasantes calcáreos en la producción cerámica. A pesar de ello esta interpretación presenta serias dudas ya que los barros/pellas presentan un contenido en Cl bajo 446 ppm para los de MSII, superior al de las cerámicas pero no suficiente como para que se produzca esta pérdida de K₂O. Si por el contrario asumimos que utilizaron las arcillas que tienen *c.* 6 % de CaO y *c.* 6 % de Cl, el descenso sería ligeramente elevado, aunque podrían existir variaciones importantes en estos rangos debido a que las reacciones dependen de la velocidad a la que se alcance la temperatura y el tiempo que se mantenga.

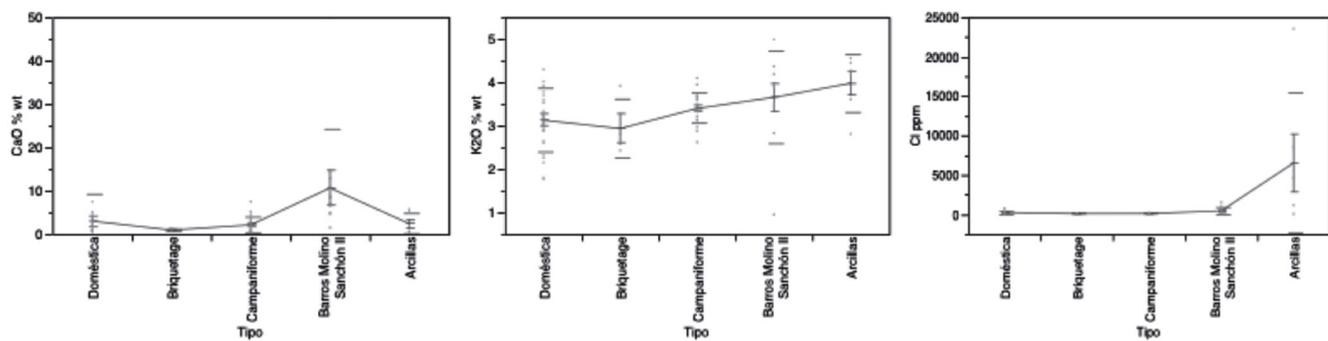


Fig. 12. Media y desviación estándar en la concentración de A) CaO (% wt); B) K₂O (% wt) y C) Cl (ppm), para los tipos cerámicos, pellas y barros de MSII y las arcillas geológicas procedentes de la prospección.

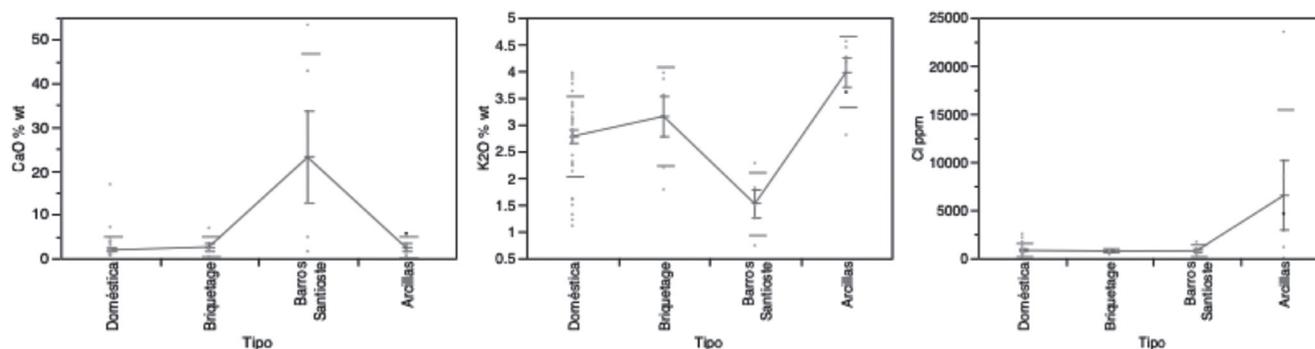


Fig. 13. Media y desviación estándar en la concentración de A) CaO (% wt); B) K₂O (% wt) y C) Cl (ppm), para los tipos cerámicos, pellas y barros de Santioste y las arcillas geológicas procedentes de la prospección.

Los valores de K₂O son todos más bajos que las arcillas, ello podría implicar que tras la cocción en presencia de materiales calcáreos añadidos como desgrasantes no presentes en las arcillas, el K₂O baja. En Santioste (fig. 13B) ocurre el fenómeno contrario ya que los barros/pellas presentan concentraciones de K₂O (1.5 %) inferiores a las de las cerámicas domésticas (2.8 %) y el briquetage (3.1 %). Aunque las arcillas siguen teniendo valores bastantes más elevados que las cerámicas, el valor del K₂O en los barros/pellas de Santioste sería anómalo si consideramos que estos barros/pellas puedan responder a arcillas tratadas para la producción cerámica, con lo que si el CaO se añadió a la arcilla como desgrasante y no se ha sometido a la acción del fuego a estos barros/pellas entonces el valor de K₂O debería ser superior al de las cerámicas. Sin embargo, el contexto de estos barros/pellas nos puede dar la clave acerca de su contenido anómalo en K₂O, ya que proceden de contexto donde han estado en contacto directo con el fuego (hornos), aunque aún así los valores son relativamente bajos.

Hemos podido ver que existe una correlación entre el contenido en CaO y K₂O, de tal forma que a el K₂O disminuirá en función al CaO existente en la arcilla y en función a la temperatura y tiempo de exposición al fuego, siempre en presencia de Cl y asumiendo que la diferencia en la concentración de CaO entre las arcillas y los barros/pellas se debe al uso de materiales calcáreos como desgrasantes. Así, las cerámicas cuya tecnofunción haya sido la de cocción de salmuera deberían presentar concentraciones de K₂O inferiores a los otros tipos debido principalmente a una interacción continuada con el fuego y el NaCl disuelto en la salmuera. Los rangos deben ser pequeños ya que a bajas

temperaturas apenas se pierde K₂O, coincidiendo con las diferencias que apreciamos en MSII para este elemento.

Las cerámicas cuya tecnofunción sea la de cocer la salmuera deberían tener también concentraciones superiores en Cl, ya que como proponen Horiuchi *et al.* (2011) la cocción de salmuera provoca un intercambio iónico que resulta en un contenido en Cl superior para aquellas cerámicas cuya tecnofunción sea la de cocer la salmuera.

A la hora de evaluar esta hipótesis nos encontramos con que las sales son altamente solubles en agua y que el análisis pudiera quedar desvirtuado por procesos postdeposicionales. Por ello las cerámicas han sido lavadas en agua mili-Q previamente a cualquier análisis con el fin de eliminar cualquier sal de los poros, por consiguiente el Cl presente en la composición química será referido al Cl presente en la red cristalina de los silicatos laminares y no a una contaminación postdeposicional o al NaCl adherido en la superficie de la cerámica. En cualquier caso, un mayor contenido en Cl, podría estar relacionado con la exposición constante a aguas cloruradas sódicas subterráneas y al agua de lluvia, con lo que consecuentemente se producirían disoluciones y cristalizaciones de halita en las cerámicas con mayor o menor concentración en función a la profundidad de enterramiento de las cerámicas.

Con respecto a la hipótesis de que la concentración de Cl pudiera variar según la profundidad relativa a la que se encuentren las cerámicas enterradas por el efecto de disolución y cristalización de NaCl, podemos ver en la siguiente figura como tanto en el caso de MSII como de Santioste la variabilidad en la concentración de Cl es

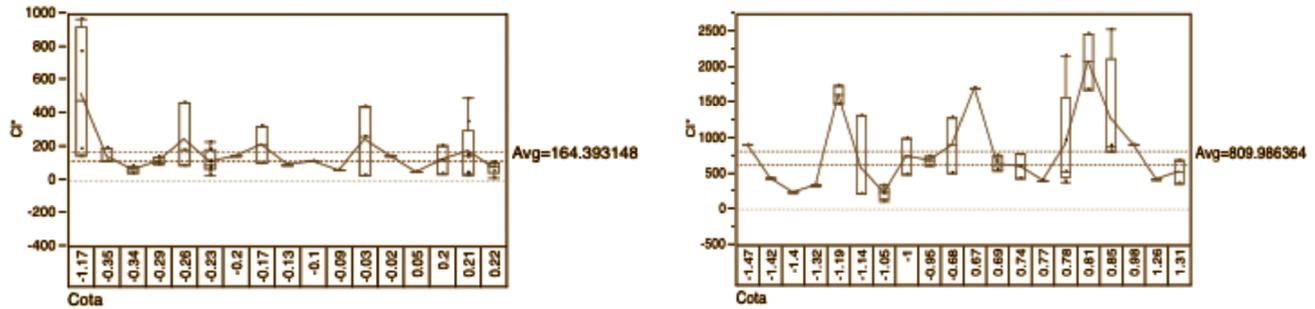


Fig. 14. Gráfico de variabilidad en la concentración de Cl (% wt) frente a la cota (referida al punto cero de la excavación) de enterramiento de las cerámicas analizadas. Se detalla la media y los gráficos de caja para las distintas profundidades. A) Molino Sanchón II y B) Santioste

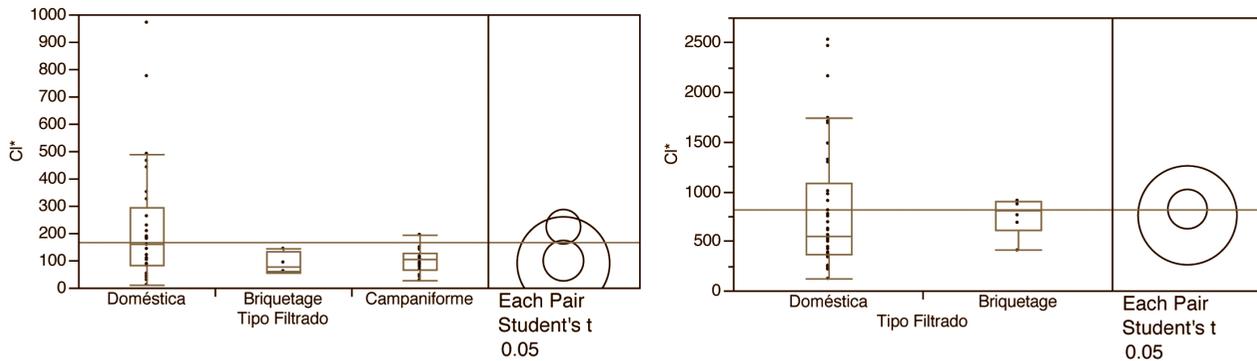


Fig. 15. Gráficos de caja y prueba student's t A) MSII, B) Santioste

independiente de la cota (fig. 14A y B), siendo un fenómeno que no guarda relación con la profundidad de enterramiento y la disolución de NaCl o la cristalización de aguas ricas en Cl^- y Na^+ . Este fenómeno se aprecia de forma equivalente para los principales cationes que precipitan en sales CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , ...

Parece por tanto que la concentración de Cl no depende de las aguas subterráneas o de lluvia ya que en principio debería de existir algún tipo de correlación entre profundidad y concentración de Cl, que aparentemente no existe pudiéndose descartar que el Cl medido se vea afectado por procesos postdeposicionales.

Llegados a este punto exploraremos la posibilidad de que la concentración de Cl esté asociada a la tecnofunción de las cerámicas. En la figura 15A podemos observar

como la concentración de Cl podría estar asociada a la tecnofunción, así, en MSII la cerámica campaniforme tiene una concentración media de 98.3 ppm, el *briquetage* de 89.25 ppm y la cerámica doméstica de 222.6 ppm, mientras que en la figura 15B podemos apreciar cómo la cerámica de Santioste presenta concentraciones de Cl para el *briquetage* de 818.5 ppm y de 818.5 ppm para la cerámica doméstica. El análisis de las medias a través del *student's t* de cada par de muestras nos indica que en MSII la cerámica doméstica es significativamente diferente a la campaniforme pero no al *briquetage* –porque en este caso los valores estadísticamente tienen mucha dispersión y se acercan a los de las cerámica doméstica–, mientras que en Santioste las medias son significativamente equivalentes.

Todo ello viene a confirmarnos que el contenido en Cl de las cerámicas domésticas en MSII tienen una concentración

dos veces superior al *briquetage* y la cerámica campaniforme, vendría a confirmar la propuesta de Hirouchi *et al.* (2011) de que el Cl presente en la matriz cerámica se deben a la C.E.C. de las arcillas y cerámicas por lo que esta mayor concentración de Cl en la cerámica doméstica podría estar implicando su uso como recipiente para cocer la salmuera. Lo que unido al uso de caliza como desgrasante en las arcillas y a una concentración de K_2O inferior en las cerámicas que en las arcillas nos indicaría que la cerámica catalogada como doméstica y algunos de los *briquetages* con valores altos en MSII y toda la analizada de Santioste es la que están utilizando para producir sal por cocimiento de salmuera.

4. CONCLUSIONES

La cerámica tanto de MSII como de Santioste se produce con arcillas locales tal y como se desprende de la mineralogía, su cocción no supera el rango de 800-900 °C y debió en todo caso ser superior a los 500-600 °C tal y como se desprende de la ausencia de fases neoformadas y del pico basal de la caolinita. A nivel productivo parece que se les añadió calcita tal y como se desprende de las diferencias encontradas en la concentración en CaO de las arcillas y los barros/pellas recuperados en los contextos de producción o al menos se seleccionaron las arcillas con mayor contenido en CaO.

El uso de materiales calcáreos como desgrasante pudiera estar relacionado con necesidades técnicas en el proceso de producción cerámico ya que reduciría el agrietamiento durante el proceso de secado de las vasijas debido a la presencia de halita en las arcillas utilizadas. De la misma forma el uso de arcillas con halita evita que se escame la superficie de las cerámicas por el uso de la calcita como desgrasante.

Las diferencias composicionales en CaO, K_2O y Cl encontradas entre las arcillas, barros/pellas y cerámicas parecen responder por un lado a las reacciones que sufren las arcillas calcáreas al ser cocidas en presencia de halita y a la CEC de las arcillas. En este sentido los contenidos en CaO y K_2O de las cerámicas es inferior al de las arcillas y los barros/pellas indicándonos que las arcillas no se han depurado para eliminar la halita y que la cerámica campaniforme de MSII ha estado sometida durante menos tiempo al fuego o la temperatura alcanzada en el mismo fue menor (depende de la cinética de la reacción) en base al mayor contenido en K_2O

y menor en CaO que la cerámica doméstica. Ello implicaría que habría intercambiado menos Cl^- durante su cocción y uso que la cerámica doméstica, lo que se hace patente en su menor concentración en Cl, dos veces inferior.

El hecho de que la cerámica de *briquetage* sea tan escasa en MSII, del 0.12 % del repertorio cerámico seleccionado, y que la cerámica con improntas de cestería no supere el 2 %, mientras que la cerámica catalogada como común o doméstica supera el 92.5 % llegando al 99.9 % en la última fase (ver capítulo IV en esta monografía), nos estaría indicando que de ser MSII un yacimiento especializado en la producción de sal por cocción de salmuera, la cerámica más abundante debería ser aquella utilizada para la producción de sal. Este hecho viene a confirmarse analíticamente al tratarse del tipo cerámico con mayor contenido en Cl de los tres estudiados. Estos tipos cerámicos coinciden además con los detectados en otros yacimientos salineros como La Marismilla o Salina de Espartinas. Podríamos decir, por tanto, que la cerámica doméstica fue utilizada para producir sal por cocción de salmuera en MSII. En el caso de Santioste parece que todos los fragmentos estudiados pudieron estar involucrados en la producción de sal dado que su concentración de Cl es cuatro veces superior a la de MSII, lo que podría por otra parte estar relacionado con diferencias en el proceso de producción de sal entre la Edad del Cobre y del Bronce.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABARQUERO MORAS, F.J. y GUERRA DOCE, E. (eds.) (2010). *Los yacimientos de Villafáfila (Zamora) en el marco de las explotaciones salineras de la prehistoria europea*. Valladolid: Junta de Castilla y León, Actas.
- APPADURAI, A. (1986). Introduction: Commodities and the politics of value. En: A. Appadurai (ed.). *The Social Life of Things: Commodities in Cultural Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 3-63.
- ARNOLD, D.E. (1985). *Ceramic Theory and Cultural Process*. Cambridge: Cambridge University Press, New Studies in Archaeology.
- ARNOLD, D.E., NEFF, H. y BISHOP, R. (1991). Compositional Analysis and "Sources" of Pottery: An Ethnoarchaeological Approach. *American Anthropologist*, 93 (1), pp. 70-90.

- BAXTER, M.J. (1994). *Exploratory Multivariate Analysis in Archaeology*. Exeter: Edinburgh University Press.
- BAXTER, M.J. (1995). Standardization and Transformation in Principal Component Analysis, with Applications to Archaeometry. *Applied Statistics*, 44 (3), pp. 513-527.
- BAXTER, M.J. (2001). Multivariate analysis in Archaeology. En: D.R. Brothwell y A.M. Pollard (eds.). *Handbook of Archaeological Sciences*. Chichester: Wiley and Sons, pp. 684-694.
- BLASCO, M.C. (ed.) (1994). *El horizonte campaniforme de la región de Madrid en el centenario de Ciempozuelos*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- BROWMAN, D.L. (1976). Demographic Correlations of the Wari Conquest of Junin. *American Antiquity*, 41 (4), pp. 465-477.
- CHUNG, F. (1974). Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing method for quantitative multicomponent analysis. *Journal of Applied Crystallography*, 7 (6), pp. 519-525.
- DI FRAIA, T. (2006). Produzione, circolazione e consumo del sale nella protohistoria italiana: dati archeologici e ipotesi de lavoro. En: *Atti XXXVIX Riunione Scientifica IIPP, Materie prime e scambi nella preistoria italiana*. Firenze: Instituto Italiano di Preistoria e Protohistoria, pp. 1639-1649.
- DI FRAIA, T. (2011). Salt production and consumption in Prehistory: towards a complex system view. En: A. Vianello (ed.). *Exotica in the Prehistoric Mediterranean*. Oxford: Oxbow Books, pp. 26-32.
- DUFURNIER, D. (1982). L'utilisation de l'eau du mer dans la preparation des pates ceramiques calcaires, premiers observations sur les consequences d'un tel traitement. *Revue d'Archeometrie*, 6, pp. 87-100.
- ERDOĞU, B. y ÖZBAŞARAN, M. (2007). White, Pure, Immaculate and Incorruptible: Salt in Prehistoric Central Anatolia. En: D. Monah, G. Dumitroaia, O. Weller y J. Chapman (eds.). *L'exploitation du sel à travers le temps*. Piatra-Neamt: C. Matasã, Biblioteca Memoriae Antiquitatis, 18, pp. 135-146.
- ESCACENA CARRASCO, J.L., RODRÍGUEZ DE ZULOAGA MONTESINO, M. y LADRÓN DE GUEVARA SÁNCHEZ, I. (1996). *Guadalquivir Salobre: Elaboración prehistórica de la sal marina en las antiguas bocas del río*. Sevilla: Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- FERNÁNDEZ-PÉREZ, L. y CABRERA-LAGUNILLA, M.P. (1987). *Geología ambiental y ordenación del territorio: III Reunión Nacional, Valencia, febrero 1987. Comunicaciones*. Valencia: Universitat de Valencia, Servicio de Publicaciones, pp. 441-459.
- FÍGULS, A., WELLER, O. y GRANDIA, F. (2010). La Vall Salina de Cardona: los orígenes de la minería de la sal gema y las transformaciones socioeconómicas en las comunidades del neolítico medio catalán. En: F.J. Abarquero Moras y E. Guerra Doce (eds.). *Los yacimientos de Villafáfila (Zamora) en el marco de las explotaciones salineras de la prehistoria europea*. Valladolid: Junta de Castilla y León, Actas, pp. 49-83.
- GARCÍA, R. y VALIENTE, S. (2009). Estudio de muestras cerámicas documentadas en Salinas de Espartinas y de las tierras de su entorno. En: *La Explotación histórica de la sal: Investigación y puesta en valor, Actas del Primer Congreso Internacional. Salinas de Espartinas. Ciempozuelos. Madrid. Ciempozuelos, Madrid, 2006*. Toledo: Sociedad Española de Historia de la Arqueología, pp. 193-206.
- HARDING, A.F. (2007). Salt in Late Bronze Age Europe. En: D. Monah, G. Dumitroaia, O. Weller y J. Chapman (eds.). *L'exploitation du sel à travers le temps*. Piatra-Neamt: C. Matasã, Biblioteca Memoriae Antiquitatis, 18, pp. 191-198.
- HEDGES, R. y McLELLAN, M. (1976). On the Cation Exchange Capacity of Fired Clays and its Effect on the Chemical and Radiometric Analysis of Pottery. *Archaeometry*, 18 (2), pp. 203-207.
- HORIUCHI, A., OCHIAI, N., KUROZUMI, H. y MIYATA, Y. (2011). 'Detection of chloride from pottery as a marker for salt: A new analytical method validated using simulated salt-making pottery and applied to Japanese ceramics', *Journal of Archaeological Science*, 38 (11), pp. 2949-2956.
- ITGE (1989). *Mapa Hidrogeológico de España, E 1:200000, hoja 29 (Valladolid)*. Madrid: ITGE.
- KINGERY, W.D. (1997). Operational principles of ceramic kilns. En: M.P. Rice y W.D. Kingery (eds.). *The Prehistory and History of Ceramic Kilns. Ceramics and Civilization vol. VII*. The American Ceramic Society, pp. 11-19.
- KOPAKA, K. y CHANIOTAKIS, N. (2003). Just taste additive? Bronze Age salt from Zakros, Crete. *Oxford Journal of Archaeology*, 22 (1), pp. 53-66.
- LANTES SUÁREZ, O., PRIETO MARTÍNEZ, M. P. y MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (2010). Caracterización de pastas blancas incrustadas en decoraciones de campaniformes gallegos. Indagando sobre su procedencia. En: M.E. Saiz Carrasco, R. López Romero, M.A. Cano Díaz-Tendero y J.C. Calvo García (eds.). *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría. Actas*. Teruel: Seminario de Arqueología y Etnología Turolense, pp. 87-99.
- LAZARICH, M. (1999). *El Campaniforme en Andalucía Occidental*. Tesis Doctoral, inédita, Universidad de Cádiz.

- LEMONNIER, P. (1986). The Study of Material Culture Today: Toward an Anthropology of Technical Systems. *Journal of Anthropological Archaeology*, 5 (2), pp. 147-186.
- LEMONNIER, P. (1993). Introduction: Technological choices. Transformation in material cultures since the Neolithic. En: P. Lemonnier (ed.). *Technological choices. Transformation in material cultures since the Neolithic*. Londres: Routledge, pp. 1-35.
- LEROI-GOURHAN, A. (1943). *Evolution et techniques*. Paris: Albin Michel.
- LIVINGSTON-SMITH, A. (2001). Bonfire II: The Return of Pottery Firing Temperatures. *Journal of Archaeological Science*, 28, pp. 991-1003.
- MAGGETTI, M. y ROSSMANITH, M. (1980). Archaeometry of kaolinitic clays. *Revue d'Archeometrie*, supplément á Revue d'archeometrie 3, pp. 185-194.
- MARTÍN VALLS, R. y DELIBES DE CASTRO, G. (1989). *La cultura del Vaso Campaniforme en las campiñas meridionales del Duero. El Enterramiento de Fuente Olmedo (Valladolid)*. Valladolid: Museo Arqueológico de Valladolid, Monografías 1 (2ª Edición aumentada).
- ODRIOZOLA, C. P. (2009). *The two sides of the Guadiana: Inlaid pottery from 3rd millennium BC alongside the Guadiana River (Spain y Portugal)*. Budapest: Hungarian National Museum.
- ODRIOZOLA, C. P. y HURTADO, V. (2007). The Manufacturing Process of 3rd Millennium BC Bone Based Incrusted Pottery Decoration from the Middle Guadiana River Basin (Badajoz, Spain). *Journal of Archaeological Science*, 34 (11), pp. 1749-1803.
- ODRIOZOLA, C. P. y MARTÍNEZ-BLANES, J. M. (2007). The estimate of firing temperatures through bone-based Chalcolithic decorated pottery from Guadiana river middle basin (Badajoz, Spain). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 87 (1), pp. 135-141.
- PRIETO MARTINEZ, M. P. (1998). *Forma, estilo y contexto en la cultura material de la Edad del bronce gallega: cerámica Campaniforme y cerámica no decorada*. Tesis Doctoral, inédita, Universidad de Santiago de Compostela.
- RICE, P. M. (1987). *Pottery analysis: a sourcebook*. Chicago: University of Chicago Press.
- SANDISON, A. (1963). The use of natron in mummification in ancient Egypt. *Journal of Near Eastern Studies*, 22 (4), pp. 259-267.
- SANTISTEBAN, J.I., GARCÍA DEL CURA, M.A., MEDIIVILLA, R. y DABRÍO, C.J. (2003). Estudio preliminar de los sedimentos recientes de las Lagunas de Villafáfila. *Geogaceta*, 33, pp. 51-54.
- SCHIFFER, M.B. (1976). *Behavioral Archaeology, Studies in Archaeology*. New York: Academic Press.
- SCHIFFER, M.B. y SKIBO, J.M. (1997). The explanation of artifact variability. *American Antiquity*, 62 (1), pp. 27-50.
- SHEPARD, A.O. (1954). *Ceramic for the archaeologist*. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- SHERRATT, A. (1996). Secondary Products Revolution. En: B.M. Fagan (ed.). *The Oxford Companion to Archaeology*. New York: Oxford University Press, pp. 632-634.
- SKIBO, J. M. (1992). *Pottery function: a use-alteration perspective*. New York: Plenum Press.
- SKIBO, J. M. y FEINMAN, G. M. (eds.) (1999). *Pottery and people: a dynamic interaction*. Salt Lake City: University of Utah Press.
- TITE, M.S. (1999). Pottery production, distribution, and consumption -the contribution of the Physical Science. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 6 (3), pp. 181-233.
- VALIENTE CÁNOVAS, S. (2009). Estudio de las cerámicas a mano decoradas de las Salinas de Espartinas-Ciempozuelos, Madrid. En: *La Explotación histórica de la sal: Investigación y puesta en valor, Actas del Primer Congreso Internacional. Salinas de Espartinas. Ciempozuelos. Madrid*, Ciempozuelos, Madrid, 2006. Toledo: Sociedad Española de Historia de la Arqueología, pp. 207-236.
- WELLER, O. (2002). Aux origines de la production du sel en Europe. Vestiges, fonctions et enjeux archéologiques. En: O. Weller (ed.). *Archéologie du Sel: Techniques et Sociétés dans la Pré- et Protobistoire européenne. Actes du Colloque International, XIVe Congrès UISPP, Liège, sept 2001*. Rahden: VML GmbH, Internationale Archäologie, ASTK 3, pp. 163-175.
- WELLER, O. (2004). Los orígenes de la producción de sal: evidencias, funciones y valor en el Neolítico europeo. *Pyrenae*, 35 (1), pp. 93-116.
- WELLER, O. (2010). Quelques grains de sel dans la Préhistoire européenne. En: F.J. Abarquero Moras y E. Guerra Doce (eds.). *Los yacimientos de Villafáfila (Zamora) en el marco de las explotaciones salineras de la prehistoria europea*. Valladolid: Junta de Castilla y León, Actas, pp. 17-36.