

MUNIBE (Antropología-Arkeologia)	nº 64	145-160	SAN SEBASTIÁN	2013	ISSN 1132-2217 • eISSN 2172-4555
----------------------------------	-------	---------	---------------	------	----------------------------------

Recibido: 2013-01-24
Aceptado: 2013-04-22

Alteraciones postdeposicionales en cerámicas prehistóricas de Mallorca, España (c.1750-50 a. C.)

Postdepositional alterations in prehistoric ceramics from Mallorca, Spain (c.1750-50 BC)

PALABRAS CLAVES: Contexto Arqueológico, Alteraciones, Fluorescencia de rayos X, Difracción de rayos X, Petrología.

KEY WORDS: Archaeological Context, Contamination, X-ray fluorescence, X-ray diffraction, Petrology.

GAKO-HITZAK: Testuinguru arkeologikoa, alterazioak, X izpien fluoreszentzia, X izpien difrakzioa, petrologia.

Daniel ALBERO SANTACREU⁽¹⁾

RESUMEN

Los procesos de enterramiento y gestión de material arqueológico cerámico pueden producir alteraciones más o menos importantes en la composición de las pastas de las piezas que deben ser tenidas en cuenta a la hora de realizar el análisis de las muestras así como una correcta interpretación de los resultados. Este trabajo aborda este aspecto específico centrándose en la identificación de las posibles fases postdeposicionales que se han podido detectar en materiales cerámicos mallorquines de la Edad del Bronce y de la Edad del Hierro vinculados con diferentes tradiciones tecnológicas. Para ello, se han utilizado diferentes metodologías consistentes en el análisis mineralógico, químico y óptico de las pastas de las cerámicas de diversos yacimientos de la isla. La finalidad de este estudio consiste en profundizar en la formación de contextos arqueológicos prehistóricos de las Baleares para favorecer la comprensión de los contextos sistémicos, así como la aplicación de diversas estrategias metodológicas en el análisis y la gestión de la cultura material.

ABSTRACT

Burial processes and the management of archaeological ceramics can produce more or less important changes in the paste composition that must be taken into account when performing the sample analysis as well as the interpretation of the results. This paper addresses this specific issue focusing on the identification of possible postdepositional phases that could be detected in Bronze Age and Iron Age ceramic materials from Mallorca that are related to different technological traditions.

To this end, different methodological approaches have been used consisting on the mineralogical, chemical and the optical study of ceramic pastes of several archaeological sites of the island. The final aim is to deepen into the formation of archaeological prehistoric contexts of the Balearic Islands in order to promote a better understanding of the systemic contexts. Furthermore, another purpose is to highlight the need of applying several methodological strategies in the management of archaeological material culture.

LABURPENA

Arkeologia-material zeramikoa lurperatzeko eta kudeatzeko prozesuek alterazio handiago zein txikiagoak sor ditzakete piezetako pasten konposizioan, eta horiek kontuan hartu behar dira bai laginen analisisa bai emaitzen interpretazioa egiterakoan. Lan honek alderdi espezifiko horri heltzen dio, eta, xede horrekin, tradizio teknologiko ezberdineko Brontze Aroko eta Burdin Aroko material zeramiko mallorcarretan detektatu ahal izan diren deposizio ondoko balizko faseak identifikatu dira. Horretarako hainbat metodologia erabili dira, uharteko zenbait aztarnategitako zeramiketako pasten analisi mineralogiko, kimiko eta optikoa oinarri hartuta. Azterlan honen helburua da Balearretako historiaurreko testuinguru arkeologikoen eraketan sakontzea, testuinguru sistémikoak hobeto ulertu ahal izateko eta kultura materiala aztertu eta kudeatzeko zenbait estrategia metodologikoren erabilera proposatzeko.

1.- INTRODUCCIÓN

Las cerámicas que recogemos los arqueólogos en el transcurso de las excavaciones suponen objetos con un largo y complejo ciclo de vida que se inicia con la producción del artefacto y con su posterior uso, más o menos continuado, por parte de los individuos de las sociedades pasadas. Continuando con este ciclo, normalmente una vez han sido utilizadas, las cerámicas son

desechadas y depositadas, por lo general durante un largo periodo de tiempo, hasta que los arqueólogos las extraen de su contexto de deposición.

Durante este proceso de enterramiento son potencialmente numerosos los agentes que pueden producir importantes distorsiones sobre aquellos contextos originales directamente relacionados con las prácticas de las personas del pasado. Es debido al desarrollo de este tipo

⁽¹⁾Departamento de Ciencias Históricas y Teoría de las Artes. Grupo de Investigación Arqueouib, Universidad de las Islas Baleares. d.albero@uib.es

de procesos por lo que autores como M. B. Schiffer (1976), distinguieron hace ya varias décadas entre *contextos sistémicos*, como aquellos directamente derivados de las acciones de los seres humanos, de los *contextos arqueológicos*, entendiendo por éstos últimos como aquellos registros sobre los que trabajan los arqueólogos y en cuya formación intervienen otros muchos procesos que se dan con posterioridad a las acciones humanas desarrolladas en el pasado.

Además de estos dos contextos, dentro del ciclo de vida de las cerámicas, también hay que considerar el *contexto de gestión del patrimonio*. Éste implica, entre otros aspectos, la propia recogida, almacenamiento y gestión de los materiales que realizan tanto arqueólogos e investigadores como restauradores u otro personal técnico que participa de la cadena que supone los procesos de excavación, investigación, conservación y puesta en valor de dicho patrimonio. Estos procesos pueden implicar, por ejemplo, desde alteraciones de los componentes orgánicos presentes en las cerámicas mediante la introducción de ácidos grasos durante la manipulación de las cerámicas hasta la cristalización de sales durante el proceso de almacenaje y depósito de las piezas cerámicas (POLLARD *et alii*, 2007; DE LA FUENTE, 2008). Este tipo de alteraciones y contaminaciones deben tenerse en cuenta ya que, a menudo, cuando se afronta una investigación sobre materiales cerámicos ésta se realiza utilizando piezas que han estado depositadas en museos o en almacenes durante largos periodos de tiempo. Además, los criterios seguidos durante la gestión o restauración de las piezas pueden variar a lo largo del tiempo, introduciendo distintos tipos de productos que alteran de forma desigual al material arqueológico.

El problema de las alteraciones postdeposicionales en cerámicas arqueológicas se ha abordado a través de la simulación experimental bajo ciertas condiciones y con variables estrechamente controladas (NÚÑEZ *et alii*, 1991 & 2002). En este sentido, según varios investigadores (SCHWEDT *et alii*, 2006), se asume que el cuerpo cerámico es inicialmente homogéneo en su composición y posteriormente, tras el enterramiento, determinadas partes de las vasijas, como las paredes o los márgenes externos, ven alterada su composición. De este modo, la parte de la vasija que permanece menos alterada por estos procesos suele ser el núcleo.

En este proceso de alteración interviene enormemente la composición más o menos saturada del medio en el que se deposita la cerámica y su grado de porosidad ya que, en un proceso cíclico de humectación y desecación, las soluciones acuosas se introducen en estos poros para evaporarse posteriormente favoreciendo la cristalización de sales insolubles en los huecos. Cuando se produce este fenómeno, los cristales que forman estas sales aumentan de volumen favoreciendo la formación y la propagación potencial de fracturas en la pared de la cerámica (DE LA FUENTE, 2008; POLLARD & HERON, 1996; BUXEDA & CAU, 1995; CAU *et alii*, 2002; MOMM-

SEN, 2004; LÓPEZ, 2008; TITE, 2008). Estos procesos de hidrólisis pueden favorecer, además de la aportación de ciertos elementos foráneos, la neo-formación de fases mineralógicas como la calcita y los filosilicatos que normalmente inician su descomposición durante la cocción (NÚÑEZ *et alii*, 1991 & 2002).

En el caso de los materiales cerámicos, durante este periodo de enterramiento se pueden producir, por tanto, procesos tafonómicos que provocan cambios en la composición química y mineralógica de las piezas, especialmente en elementos como el Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ o el Na^+ que poseen una mayor capacidad para intercambiar cationes (MARITAN & MAZZOLI, 2004; POLLARD *et alii*, 2007; DE LA FUENTE, 2008; TSCHEGG, 2009). Ello significa que la composición de los artefactos y las distintas agrupaciones que se realizan estadísticamente con los mismos pueden, en algunos casos, estar también relacionadas con alteraciones postdeposicionales en las muestras. En este sentido, no todos los elementos de un grupo de cerámicas experimentan un bajo rango de variación, sino que a menudo se puede observar una gran dispersión de las concentraciones obtenidas en elementos como As, Ba, Sr, Rb y en óxidos como CaO , P_2O_5 , K_2O y Na_2O , incluso si éstos se han medido con una alta precisión y escaso error analítico. De este modo, resulta habitual en los estudios químicos prescindir de muchos de estos elementos y óxidos a la hora de realizar agrupaciones de los individuos en términos composicionales, ya que considerarlos constituye un factor de riesgo que puede llegar a desvirtuar enormemente las agrupaciones químicas que se realizan de los individuos cerámicos (ARNOLD, 2000; BUXEDA *et alii*, 2001; BUXEDA *et alii*, 2002; CAU *et alii*, 2002; ORTEGA *et alii*, 2005; SCHWEDT *et alii*, 2006; TITE, 2008).

Los argumentos expuestos demuestran la importancia que tiene, dentro de la caracterización de las propias cerámicas, la identificación de las posibles alteraciones composicionales que puedan estar presentes en las muestras. Este aspecto es relevante no sólo de cara a realizar una adecuada interpretación de los análisis arqueométricos en vistas al establecimiento de grupos composicionales y tradiciones tecnológicas, sino también con el objetivo de establecer sinergias entre los distintos especialistas que trabajan con patrimonio arqueológico y, en concreto, de optimizar las praxis de gestión de los profesionales (arqueólogos, investigadores, restauradores, etc.) que trabajamos con las cerámicas. El objetivo de este estudio consiste en aplicar estas premisas en cerámicas prehistóricas de las Islas Baleares y realizar una primera aproximación a las posibles alteraciones postdeposicionales que se pueden identificar en dicho registro. Dada la absoluta desconsideración hacia este tipo de procesos que se constata en los estudios previos que se han realizado sobre cerámicas prehistóricas de las Islas Baleares, hay que ser conscientes que este estudio aporta un marco de referencia que puede ser de gran utilidad para futuras actuaciones en las islas que impliquen este tipo de materiales.

2. ESTRATEGIA DE MUESTREO Y METODOLOGÍA

2.1. Estrategia de muestreo

Para la realización de este trabajo se han analizado 111 muestras de materiales cerámicos (Tabla I) recupera-

dos en tres yacimientos mallorquines. Estas muestras se asocian en su amplia mayoría ($n = 108$) a fragmentos de vasijas con forma y, en menor medida, a ecofactos de arcilla, pesas de telar y adobes que habían sido dados a conocer en anteriores publicaciones (ALBERO & GARCIA

Muestra	Yacimiento	Cronología	Tipo de material	Fábrica	Calcita Secundaria	% CaO (peso total)	% P ₂ O ₅ (peso total)	Cl- (ppm)
UE-18	CLG	BF	Ecofacto	10	-	78,605	8,264	1680
1233	CLG	BF	Pieza	1	-	35,122	0,799	-
149	CLG	BA	Pieza	12	-	15,755	3,029	990
154	CLG	BA	Pieza	12	S	20,020	0,804	882
1594	CLG	BF	Pieza	1	-	46,552	1,982	730
160	CLG	BA	Pieza	12	-	25,471	1,132	1110
187	CLG	BF	Pieza	1	-	34,167	1,329	1100
204	CLG	BM	Pieza	1	-	36,847	1,412	-
207	CLG	BM	Pieza	1	-	35,678	0,685	-
209	CLG	BF	Pieza	1	-	37,187	0,920	1220
219	CLG	BM	Pieza	1	-	43,729	1,169	1060
2430	CLG	BM	Pieza	6	PA	20,422	1,072	906
2664	CLG	BF	Pieza	1	-	49,444	1,008	733
2755	CLG	-	Pieza	13	-	3,131	0,597	648
2795	CLG	BA	Pieza	6	-	13,456	2,955	1300
281	CLG	BF	Pieza	1	-	41,203	0,518	-
33	CLG	BF	Pieza	1	-	37,986	0,880	885
9758	CLG	BF	Pieza	1	-	32,286	0,557	-
1125	PSM	BF	Pieza	1	S	38,456	-	-
138	PSM	PI	Pieza	1	M-S	33,001	-	-
140	PSM	PI	Pieza	14	M-S	29,847	-	-
180	PSM	PI	Pieza	14	-	34,184	0,557	868
181	PSM	PI	Pieza	7	-	27,975	-	5680
198	PSM	PI	Pieza	1	-	43,254	0,575	890
238	PSM	PI	Pieza	3	-	34,785	0,410	365
245	PSM	PI	Pieza	3	-	40,013	0,435	1060
246	PSM	PI	Pieza	7	-	20,785	0,438	-
280	PSM	PI	Pieza	1	-	46,030	0,467	811
284	PSM	PI	Pieza	1	-	39,705	0,414	759
293	PSM	PI	Pieza	3	M-S	17,519	0,450	1120
325	PSM	PI	Pieza	1	-	49,243	0,464	644
349	PSM	PI	Pieza	3	-	35,889	0,605	1730
362	PSM	PI	Pieza	7	-	27,196	0,457	1640
386	PSM	PI	Pieza	1	-	44,092	0,471	855
394	PSM	PI	Pieza	3	-	26,412	0,468	1860
416	PSM	PI	Pieza	3	-	41,147	0,364	561
426	PSM	PI	Pieza	1	-	39,248	0,432	1040
468	PSM	BF	Pieza	1	S	32,090	0,397	-
470	PSM	BF	Pieza	1	-	44,603	0,497	619
471	PSM	BF	Pieza	1	-	30,548	0,568	1020
472	PSM	BF	Pieza	1	M-S	34,049	-	-
473	PSM	BF	Pieza	1	S	38,427	0,565	1020
475	PSM	BF	Pieza	1	-	36,681	0,454	1000
484	PSM	BF	Pieza	1	S	35,412	0,500	577
495	PSM	BF	Pieza	1	S	37,535	0,613	796
625	PSM	BF	Pieza	16	M-S	11,341	0,438	517
627	PSM	BF	Pieza	1	-	48,888	0,909	-
634	PSM	BF	Pieza	1	-	32,711	0,517	529
642	PSM	PI	Pieza	3	-	39,583	0,478	1520
659	PSM	PI	Pieza	15	-	25,472	0,605	2070
660	PSM	PI	Pieza	3	-	48,242	0,333	733
661	PSM	PI	Pieza	1	-	41,590	0,548	1090
663	PSM	PI	Pieza	1	-	38,975	0,390	2620
665	PSM	PI	Pieza	1	-	38,116	0,771	1110

Muestra	Yacimiento	Cronología	Tipo de material	Fábrica	Calcita Secundaria	% CaO (peso total)	% P ₂ O ₅ (peso total)	Cl- (ppm)
683	PSM	TAL	Pieza	1	-	34,037	0,619	816
689	PSM	PI	Pieza	3	-	35,439	0,610	1680
697	PSM	PI	Pieza	3	-	34,575	0,453	720
705	PSM	PI	Pieza	1	-	25,202	0,479	565
708	PSM	PI	Pieza	3	-	41,243	0,481	2380
796	PSM	PI	Pieza	1	-	42,110	0,593	-
802	PSM	PI	Pieza	3	-	49,470	0,710	951
823	PSM	PI	Pieza	3	-	42,839	0,379	1020
834	PSM	PI	Pieza	1	-	53,646	0,908	810
837	PSM	PI	Pieza	1	-	40,745	0,704	762
970	PSM	PI	Pieza	1	S	43,465	0,392	781
971	PSM	PI	Pieza	3	S	40,767	0,450	1100
P-C.36	PSM	PII	Pieza	-	-	3,624	0,509	2600
1351	PSM	TAL	Pieza	1	M-S	38,584	-	5750
1.294	TSA	PII	Pieza	2	M-S	5,234	0,692	12000
1.295	TSA	PII	Pieza	2	-	24,111	0,493	7670
1.296	TSA	PII	Pieza	2	M-S	18,376	0,613	5690
1.297	TSA	PII	Pieza	4	M-S	19,986	0,492	18700
1.299	TSA	PII	Pieza	3	S	20,997	0,476	9500
1.300	TSA	PII	Pieza	3	S	13,830	0,483	10500
1.303	TSA	PII	Pieza	2	M-S	25,534	0,393	19600
17.23	TSA	PII	Pieza	16	-	3,033	0,720	12600
17.25	TSA	PII	Pieza	2	-	10,351	0,812	5780
2.40	TSA	PII	Pieza	2	-	14,218	0,549	690
2.41	TSA	PII	Pieza	3	M-S	18,168	0,486	753
2.42	TSA	PII	Pieza	2	-	11,822	0,659	10400
4.43	TSA	PII	Pesa	11	-	21,442	0,452	4320
4.66	TSA	PII	Adobe	10	-	48,082	0,361	890
5.19	TSA	PII	Pieza	3	S	15,609	0,842	17200
5.20	TSA	PII	Pieza	2	S	11,493	0,648	9020
6-80	TSA	PII	Pieza	2	M-S	8,226	0,775	17400
6-81	TSA	PII	Pieza	-	-	9,949	0,530	19100
6.61	TSA	PII	Pieza	2	-	15,444	0,442	13800
6.65	TSA	PII	Pieza	3	M-S	25,373	0,617	30500
6.66	TSA	PII	Pieza	2	-	20,993	0,458	13700
6.72	TSA	PII	Pieza	2	-	9,400	0,499	1480
6.73	TSA	PII	Pieza	16	-	4,899	0,680	27200
6.79	TSA	PII	Pieza	2	-	26,577	0,867	15200
6.82	TSA	PII	Pieza	2	M-S	9,170	0,627	9540
6.87	TSA	PII	Pieza	5	M-S	8,629	0,811	21000
7.10	TSA	PII	Pieza	5	M-S	15,865	0,834	26900
7.159	TSA	PII	Pieza	8	M-S	2,169	0,550	11700
7.32	TSA	PII	Pieza	2	-	17,362	0,524	14400
7.33	TSA	PII	Pieza	8	S	9,852	0,453	33000
8.32	TSA	PII	Pieza	4	-	15,058	0,401	16900
8.33	TSA	PII	Pesa	11	-	17,460	0,455	2930
8.34	TSA	PII	Pieza	2	-	9,767	0,468	10600
8.65	TSA	PII	Pieza	2	M-S	20,679	0,559	16400
8.77	TSA	PII	Ecofacto	-	-	30,675	0,493	5860
8.78	TSA	PII	Ecofacto	-	-	37,756	0,511	8820
9.14	TSA	PII	Pieza	2	-	9,329	1,052	15000
9.80	TSA	PII	Pieza	2	S	18,887	0,472	13400
9.81	TSA	PII	Pieza	2	-	14,877	0,636	15300
9.84	TSA	PII	Pieza	2	S	20,641	0,663	11500
9.90	TSA	PII	Pieza	3	-	31,540	0,420	23700
9.91	TSA	PII	Pieza	3	-	34,792	0,458	35400
TB-1	TSA	PII	Cubierta	10	-	66,540	0,384	2700

Tabla 1: Yacimiento (CLG: Closures de Can Gaià, PSM: Puig de Sa Morisca, TSA: Turó de les Abelles), cronología (BA: Bronce Antiguo, BM: Bronce Medio, BF: Bronce Final, TAL: Talayótico, PI: Postalayótico I, PII: Postalayótico II), tipo de material y fábrica a la que se adscriben las muestras estudiadas. Variables relacionadas con las alteraciones postdeposicionales identificadas (ppm: partes por millón; S: en superficie; PA: parcialmente alóctona; M-S: en matriz y superficie).

AMENGUAL, 2010). En total se han analizado 18 cerámicas de Closos de Can Gaià (Portocolom, Felanitx), 50 muestras de Puig de Sa Morisca y 43 del Turó de les Abelles, ambos yacimientos ubicados en el área de Santa Ponça (Calvià). Estos asentamientos abarcan un amplio periodo dentro de la prehistoria mallorquina, estando representados en su conjunto niveles que van desde el Bronce Antiguo (c. 1750/1700 a. C.) hasta el primer cuarto del siglo I a. C.

Los materiales de Closos de Can Gaià proceden principalmente del Navetiforme I del poblado. Esta estructura se construyó entorno al c. 1600-1500 a. C. y su abandono tuvo lugar hacia c. 800 a.C. Si bien contamos en este estudio con ciertos materiales de un paleosuelo, datado entre cal. 1770-1620 a. C., anterior a la construcción de la naveta y algunas muestras vinculadas a un primer momento de uso de esta estructura, la mayor parte de los materiales de este yacimiento que aquí se incluyen proceden de niveles pertenecientes a la última fase de ocupación durante el Bronce Final, entre el 1050 y el 900 a. C. (GUERRERO *et alii*, 2007).

El yacimiento de Puig de Sa Morisca es un asentamiento de la Edad del Hierro, formado por un poblado en la parte baja y varias torres en la parte alta o *castellum* (GUERRERO *et alii*, 2002). La mayoría de los materiales analizados proceden de la Torre I, de niveles que se adscriben, por un lado, al Bronce Final (c. 1200-800 a. C.) y, por otro, a estratos sedimentarios que se situarían en torno al siglo IV a.C. (Postalayótico I). También se incluyen dos cerámicas de época talayótica asociadas a estructuras de combustión, una de la Torre I (c. 800-500 a. C.) y otra de perfil completo de la Torre III (c. 750-400 a. C.), y otra del área del poblado datada en el siglo II a. C. (Postalayótico II). Los análisis realizados hasta ahora indican que, independientemente de su cronología, estos materiales se vincularían principalmente con producciones locales desarrolladas a partir de arcillas calcáreas del Terciario ricas en foraminíferos y diversas recetas tecnológicas (ALBERO 2011a; ALBERO & MATEU, 2012; ALBERO *et alii*, en prensa).

Finalmente, se han incluido materiales cerámicos del Turó de les Abelles, un asentamiento costero situado a menos de 1 km de distancia del anterior cuya ocupación se situaría en torno a finales del siglo III y el primer cuarto del siglo I a.C. (CAMPS & VALLESPÍR, 1998). A pesar de la cercanía entre ambos yacimientos, muchas de las soluciones tecnológicas observadas en el Turó de les Abelles difieren notablemente de las observadas en el Puig de Sa Morisca (ALBERO 2011a; ALBERO *et alii*, en prensa).

La estrategia de muestreo elegida comprende la selección de cerámicas asociadas a una amplia variedad de fábricas que se relacionan con el uso de distintas materias primas (p. ej. arcillas ferruginosas, margas calcáreas, arcillas silíceas, etc.), desgrasantes (calcita espática, materia orgánica, calcarenitas, chamota, etc.) y estrategias de cocción (alta, baja o muy baja temperatura). De este modo, las 108 vasijas seleccionadas se adscriben a un

total de 13 fábricas estrechamente relacionadas con las diferentes tradiciones tecnológicas que se han constatado, por el momento, dentro de la producción de cerámica en la prehistoria mallorquina (ALBERO, 2011a). Esta estrategia, a la hora de estudiar las fases postdeposicionales presentes, tiene la ventaja de contemplar productos con composiciones y cualidades diferenciadas que pueden variar también en lo que se refiere a su comportamiento durante el enterramiento. Ello, en última instancia, implica una mejor representación de aquellas fases postdeposicionales susceptibles de manifestarse en cerámicas prehistóricas de la isla.

2.2. Metodología

Las alteraciones postdeposicionales que se producen en la cerámica pueden manifestarse tanto a nivel químico como mineralógico, ya que la presencia de porcentajes anómalos de determinados elementos puede relacionarse con la cristalización de determinados minerales. La aplicación de técnicas complementarias entre sí como el análisis óptico con binocular, el estudio petrológico con microscopio petrográfico, el análisis de microestructuras y de determinados componentes de la pasta con el microscopio electrónico de barrido y los análisis químicos y mineralógicos, nos proporcionan información para determinar si una pieza está contaminada y en qué grado afecta ello a su composición. Como se comentaba en la introducción, los procesos postdeposicionales que afectan a las cerámicas pueden ser consecuencia directa del medio en el que se han depositado las piezas. Sin embargo, éstos también pueden estar relacionados con factores intrínsecos derivados del propio proceso de fabricación de las piezas (BUXEDA *et alii*, 2002; CAU *et alii*, 2002; FANTUZZI, 2010). En este sentido, las técnicas citadas nos proporcionan también información acerca de la tecnología de fabricación de las vasijas y de las posibles alteraciones que se hayan podido producir en la materia original en las distintas fases de su producción (LÓPEZ, 2008; MOMMSEN, 2004).

El estudio de las cerámicas seleccionadas ha tratado de incidir sobre este tipo de cuestiones a partir de la caracterización de la composición de las pastas y el examen óptico de las muestras. Se han estudiado 111 materiales cerámicos de variada tipología y tecnología de fabricación, muchas de ellas asociadas a piezas de perfil completo (Tabla I), realizándose el análisis químico de la pasta mediante fluorescencia de rayos X, análisis mineralógico mediante difracción de rayos X (DRX) en muestra total, análisis petrológico y, en casos concretos, se ha analizado también la pasta mediante microscopio electrónico de barrido y microanálisis con dispersión de energía de rayos X (SEM-EDX).

La realización de análisis químicos mediante fluorescencia de Rayos X ha permitido obtener información referida a los elementos mayoritarios, minoritarios y diversos elementos traza. La rutina analítica ha consistido en la preparación de la muestra en polvo y su posterior secado en

una estufa a 80° durante 4 horas. Se ha procedido a utilizar 1.5 g de polvo de cada muestra para realizar las pastillas prensadas. La cuantificación se ha realizado con un espectrómetro secuencial de Rayos X *Philips Magix Pro* (PW2400) con un canal de medida gobernado por un goniómetro que cubre la totalidad del rango de medida del instrumento. Está equipado con tubo de rodio y ventana de berilio con una potencia de 4 Kw, dos colimadores primarios (150 y 300 µm de espaciado) y cinco cristales analíticos (LiF200, PE002, PX1, LiF220 y Ge111). El análisis cualitativo de las muestras se realizó con el software analítico *SuperQ*. La medida de la muestra en polvo se realiza en atmósfera de helio y soportada en un film de poliéster (*Mylar*®). La semi-cuantificación de la muestra se realiza posteriormente con el programa informático *IQ+* y ha sido normalizada al 100%.

La composición mineralógica de las cerámicas se ha analizado preferentemente mediante difracción de rayos X empleando análisis de muestra total (DRX). Para homogeneizar el tamaño de las partículas en la muestra las cerámicas fueron molidas, primero manualmente en un mortero de ágata y, posteriormente, reducidas a una fracción inferior a 10 µm mediante un pulverizador *Pulverizer Progressive exploration model 100 single phase*. Se ha utilizado un difractómetro *Siemens D-5000* (radio = 240 mm) utilizando la radiación $K\alpha$ del Cu ($\lambda = 1.5405\text{\AA}$) como eje incidente y un monocromador de goni en el eje difractado. Las condiciones de trabajo han sido de 45 kV y 40 mA. Las medidas $\theta / 2\theta$ se realizaron entre 3 y 70° 2θ con un tiempo de 3s para cada paso. Las evaluaciones de las fases cristalinas se efectuaron con los programas *Eva* y *X-Powder* utilizando las tablas de espaciados e intensidades del banco de datos del *Joint Committee of Powder Diffraction Standards* (JCPDS 2003). Para la estimación semi-cuantitativa de las fases se ha utilizado el Método RIR (*Reference Intensity Ratios*) Normalizado (MARTÍN, 2004).

El análisis mineralógico a partir de métodos ópticos se ha realizado en una selección de las muestras que fueron convenientemente montadas en lámina delgada para ser examinadas mediante microscopio petrográfico. El análisis petrológico se realizó en 54 vasijas con un microscopio petrográfico *Olympus BX-60* con varios filtros incorporados y una cámara *Leica DC500* acoplada para realizar la toma de micrografías. Los objetivos utilizados comprenden un rango entre 16 y 50 aumentos. También se han examinado todas las muestras, tanto en superficie como en sección limpia, a bajos aumentos con una lupa binocular *Heerbrugg Wild* con lentes que comprenden entre 6 y 50 aumentos, con una lámpara alógena *Volpi Intralux 5000* incorporada y una cámara digital *Leica DFC-320* acoplada. El estudio óptico con lupa binocular se ha centrado en detectar la presencia de concreciones y de sustancias que pudieran rellenar los poros detectados en las cerámicas. Finalmente, en lo que a microscopía se refiere, se ha utilizado de forma puntual un *Hitachi S-3400-N Scanning Electron Microscope* con un sistema de microanálisis RX-EDS *Brooker AXS XFlash 4010* usando el software analítico *Quantax 400* y 15kV de tensión de trabajo.

3. RESULTADOS

La amplia mayoría de las cerámicas analizadas se asocian con cocciones a baja temperatura, entre 550 y 800/850 °C (ALBERO, 2011a), un rango que suele favorecer la presencia de pastas heterogéneas y altamente porosas que, si bien presentan escasos cambios en su composición química tras el proceso de cocción, suelen tener una mayor capacidad para intercambiar cationes e incorporar alteraciones centradas en determinados elementos durante el enterramiento (DE LA FUENTE, 2008).

A continuación, se van a abordar las alteraciones más comunes que se han podido consignar en las cerámicas arqueológicas analizadas y que consisten en la fijación de fósforo, la presencia de altos niveles de cloro y la presencia de calcita secundaria. Igualmente, se ha prestado especial atención en las cerámicas que han mostrado fases de alta temperatura en los análisis de DRX (ALBERO, 2011a, b) a la posible cristalización de zeolitas como la analcima.

3.1. Fijación de fósforo alóctono

Tras el proceso de calentamiento, las arcillas, especialmente si se han cocido entre 600-800 °C, son susceptibles de incorporar fosfatos en su estructura. La presencia de fosfatos en grandes concentraciones en las pastas cerámicas suele considerarse como un indicador o producto derivado de una contaminación postdeposicional. En estos casos, durante la fase de deposición, se puede haber producido un intercambio de iones entre el sedimento y los fragmentos de cerámica, donde el fósforo se puede concentrar fácilmente en su superficie (FREESTONE *et alii*, 1985; FREESTONE, *et alii*, 1994; KLEIN *et alii*, 2004).

En cualquier caso, puede resultar muy difícil precisar el grado de alteración de este elemento en las muestras y discriminar entre aquella concentración que está directamente relacionada con la materia prima original y aquella que se relaciona con procesos posteriores, introduciendo ello cierto grado de ambigüedad en los estudios de procedencia cerámica cuando este elemento se considera en el análisis químico. Desgraciadamente, los fosfatos forman agregados policristalinos, como vividianita y mitridatita, de entre 200 a 700 µm de tamaño, que se presentan en concentraciones tan bajas que no pueden detectarse mediante DRX. Además, estos agregados no se forman sólo por contaminación postdeposicional, sino que también pueden formarse a partir de la calcinación de huesos que han sido utilizados para desgrasar la pasta, estando así ligados al proceso de fabricación de las vasijas (DUNNELL & HUNT, 1990; POLLARD & HERON, 1996; KLEIN *et alii*, 2004; MARITAN & MAZZOLI, 2004; ORTEGA *et alii*, 2005; DE LA FUENTE, 2008).

Algunos autores (BOLLONG *et alii*, 1993; KLEIN *et alii*, 2004) han señalado que altas concentraciones de fosfatos en las cerámicas pueden estar también relacionadas con ciertos productos, como grasas o sangre, que fueron almacenados en las piezas durante la fase de uso y/o deposición. De este modo, la utilización de las cerámicas para cocer de forma repetida carne y/o pescado, contener

vino, leche u orina pueden favorecer la presencia diferencial de fósforo en las pastas cerámicas. Sin embargo, la utilización de los niveles de fosfatos como indicador de los contenidos potenciales de las cerámicas es rechazada por algunos especialistas que señalan una relación mucho más estrecha de este elemento con una contaminación durante el enterramiento (FREESTONE *et alii*, 1994). Como puede observarse, hay que tener precaución a la hora de relacionar una alta concentración de fósforo en las piezas con procesos tafonómicos puesto que no existe una relación directa y unilineal entre ambos fenómenos.

En lo que se refiere a este elemento, se ha podido documentar cómo las piezas analizadas de Closos de Can Gaià muestran unas concentraciones diferenciales y muy variables de óxido de fósforo. El diagrama de cajas realizado utilizando las concentraciones de óxido de fósforo obtenidas de los análisis de FRX efectuados sobre las muestras de los distintos yacimientos (Fig. 1A) evidencia que las piezas de Closos de Can Gaià ($n = 17$) han mostrado medias más altas de P_2O_5 (>1%). Dentro de este grupo de piezas con una alta concentración de óxido de fósforo, destacan dos piezas del Bronce Antiguo de la UE-95 (CLG-149 y CLG-2795), que presentan porcentajes de hasta el 3%. Por un lado, hay que contemplar la utilización de una materia prima con mayores concentraciones de este óxido de partida. Por otro lado, podemos plantear también que, probablemente, los sedimentos de este yacimiento poseen niveles más altos de este óxido debido a una importante acción biológica postdeposicional. Esta acción habría incentivado determinados procesos bioquímicos, como la destrucción de los huesos y su consecuente incorporación a los ciclos biológicos (Bergadà *et alii*, inédito), siendo parte de los iones de fósforo disociados asimilados por las cerámicas.

Dentro del diagrama presentado en la Figura 1 no se ha representado una muestra de este yacimiento que se aleja enormemente de la tendencia general constatada. Se trata

de un ecofacto con evidencias de combustión que destaca por poseer una alta concentración de CaO (78%) y muy baja de Al_2O_3 (2.6%) y SiO_2 (7%). Este artefacto fue hallado en la UE-18 de la cista y ha mostrado niveles altísimos de P_2O_5 (8.2%). Tal vez esta concentración diferencial deba relacionarse en esta marga muy calcárea con un entorno de deposición diferente, ligado a una importante presencia de fauna (GUERRERO *et alii*, 2007) y en el que los huesos habrían supuesto una fuente importante de fósforo.

A diferencia de lo observado en Closos de Can Gaià, las concentraciones obtenidas en el Puig de Sa Morisca ($n = 44$) y el Turó de les Abelles ($n = 43$) muestran porcentajes más bajos y mucho más homogéneos de óxido de fósforo, independientemente de la unidad estratigráfica a la que se asocian los materiales, por lo general, en torno a 0.5%. Sólo una pieza (TSB-9/14), ha mostrado porcentajes superiores al 1% en este óxido.

Todos los datos apuntan a que las altas concentraciones de óxido de fósforo documentadas en las vasijas de Closos de Can Gaià deben relacionarse con la aportación alóctona durante el enterramiento de las piezas. Sin embargo, la confirmación definitiva de esta interpretación deberá esperar, por un lado, a la publicación de los estudios de micromorfología de suelos realizados en los diversos ámbitos y unidades estratigráficas que comprenden el yacimiento. Por otro lado, también queda pendiente la realización de futuros análisis de residuos orgánicos que confirmen que las altas cantidades de óxido de fósforo detectadas no se deben a la manipulación y al almacenaje de determinadas sustancias.

3.2. Calcita secundaria

La identificación de calcita secundaria presente en las cerámicas puede realizarse con bastante seguridad a partir del estudio con microscopio petrográfico y SEM del hábito que presentan los cristales y la forma en la que éstos

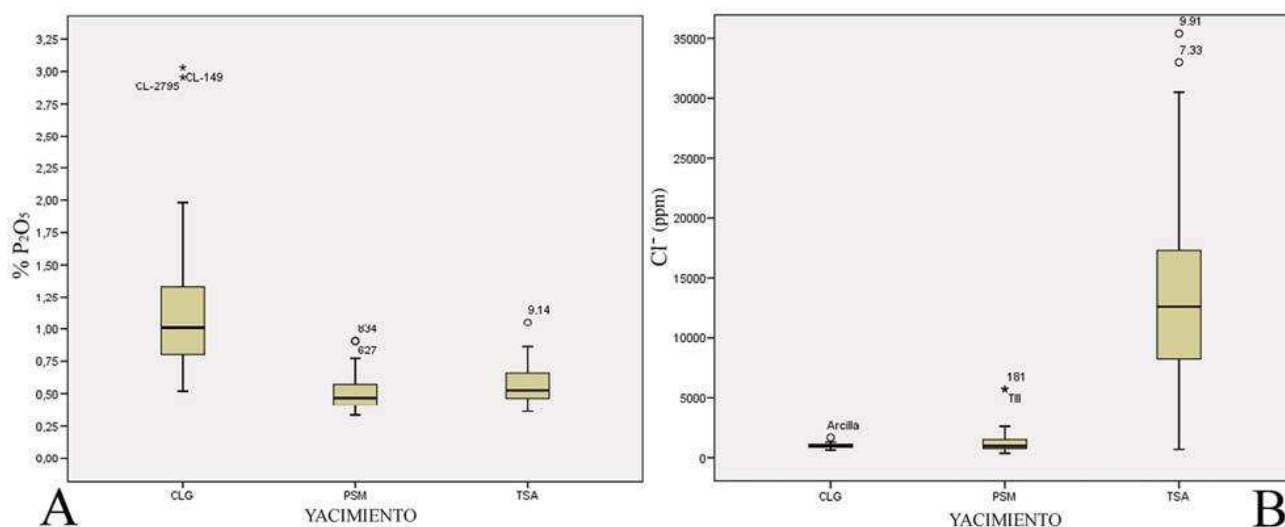


Fig. 1. Diagrama de cajas mostrando la tendencia central y los extremos de A) el porcentaje de óxido de fósforo (% peso total) y B) las concentraciones de cloro (en partes por millón) de las muestras cerámicas según yacimiento: Closos de Can Gaià (CLG), Puig de Sa Morisca (PSM) y Turó de les Abelles (TSA).

se fijan en la matriz. La fijación de este tipo de calcita provoca la alteración de la composición y el aspecto original de la pasta y, por tanto, puede ocasionar algunos problemas a la hora de interpretar los datos y realizar agrupaciones de las cerámicas. Los factores que afectan a la cristalización postdeposicional de este mineral en las cerámicas se relacionan con la composición mineralógica, química y textural del material, así como con la estrategia de cocción, el uso de la pieza y su ambiente y tiempo de deposición (MAGGETTI, 1982; BUXEDA & CAU, 1995; CAU *et alii*, 2002; ORTEGA *et alii*, 2005; SHOVAL *et alii*, 2006; LÓPEZ, 2008).

En función de todos estos factores, que influyen en el origen de la calcita secundaria, podemos distinguir procesos de formación de esta fase de diversa naturaleza.

3.2.1. Calcita secundaria parcialmente alóctona

Esta alteración se relaciona con cambios en la pasta a raíz de la cristalización de calcita secundaria formada mediante hidrólisis a partir de procesos retrógrados del CaO, por lo que su presencia informa indirectamente de la temperatura de cocción de las piezas (NUÑEZ *et alii*, 1991). Este tipo de alteración postdeposicional ha podido detectarse en una de las cerámicas (CLG-2430) que han presentado fases minerales de alta temperatura como anortita, gehlenita y hematites (ALBERO, 2011b). El examen con SEM-EDX de la matriz a x2000 ha revelado la presencia de pequeños cristales en algunos de los huecos de la matriz cerámica (Fig. 2A). El análisis con micro-sonda (Fig. 2B) de estos cristales ha revelado que están formados esencialmente de calcio (72%). Dado que los cristales de calcita de menor tamaño son los que reaccionan a temperaturas más bajas, aproximadamente desde 650 °C (LINARES *et alii*, 1983), cabe pensar que estos cristales deben relacionarse con procesos de recristalización.

En estos casos, el calcio deriva de la propia pieza en sí, por lo que las concentraciones de este elemento en la pieza no se alteran, aunque sí se produce la adición de car-

bono y oxígeno. Estos elementos, proceden del agua en disolución presente en el suelo y en la atmósfera de modo que, la fijación de estos elementos durante el periodo de enterramiento, provoca algunos cambios en la composición química original de la pieza cocida. En definitiva, la calcita secundaria parcialmente alóctona se relaciona con fases de alta temperatura que se suceden en la cocción de la cerámica que alteran la composición mineralógica y química de la pieza. La cristalización de minerales de neoformación como anortita, wollastonita, gehlenita y diópsido conlleva la destrucción de determinados minerales ricos en calcio y la transformación del calcio libre en nuevas fases minerales (LINARES *et alii*, 1983; LÓPEZ, 2008). Durante el periodo de uso y deposición, el contenido de CaO libre, es decir, aquel que no ha reaccionado durante la cocción formando nuevas fases minerales, puede asimilarse con carbono y oxígeno externos, dando lugar a la cristalización de calcita (CaCO₃) en la pasta.

En nuestro caso, la amplia mayoría de fábricas analizadas se relacionan con cocciones a baja temperatura (< 750/800 °C). Por regla general, las cerámicas no alcanzaron la temperatura necesaria para la disociación de CaO y la formación de fases minerales de alta temperatura, que se forman a una temperatura más alta (850 °C) en este tipo de cerámicas (ALBERO, 2010 & 2011a). Prácticamente en todas las cerámicas analizadas la estructura cristalina de la calcita no ha reaccionado y permanece, salvo por algunas alteraciones térmicas leves, en su forma original. En definitiva, la calcita postdeposicional parcialmente alóctona es una fase poco proclive a aparecer en cerámicas prehistóricas de Mallorca. Ésta se ha identificado únicamente en piezas adscritas a la Fábrica 6 (ALBERO, 2011a), caracterizadas por una ligera sobre-cocción y por adscribirse al Bronce Antiguo (c.1750-1500 a.C.).

3.2.2. Calcita de origen completamente alóctono

El origen de la calcita (CaCO₃) secundaria contenida en las cerámicas puede tener una naturaleza completa-

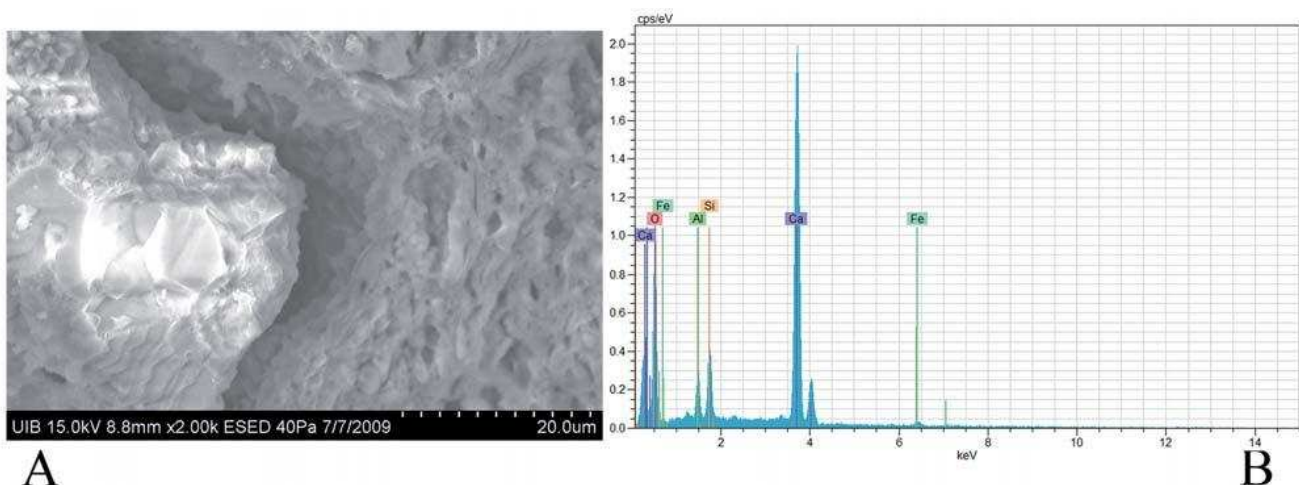


Fig. 2. A) Micrografía obtenida con SEM de un cristal de calcita postdeposicional parcialmente alóctona rellenando un micro-poro de la matriz arcillosa de la pieza CLG-2430 y B) microanálisis SEM-EDX del cristal anterior.

mente alóctona como consecuencia de procesos de humectación y desecación que promueven el aporte de soluciones ricas en carbonato cálcico que se depositan en el sedimento en el que se encuentra enterrada la pieza. De este modo, los elementos químicos implicados en la formación de calcita secundaria, calcio, carbono y oxígeno, se introducen durante el enterramiento de la cerámica. Este tipo de procesos postdeposicionales afectan a la composición original de la cerámica lo que tiene implicaciones a la hora de realizar la interpretación de los datos químicos de las cerámicas. Por este motivo, la presencia de esta fase debe controlarse y, en todo caso, valorar su incidencia a la hora de establecer grupos de referencia composicional (BUXEDA, 1999; DE LA FUENTE, 2008).

Como se ha comentado antes, en el caso de las cerámicas prehistóricas analizadas, en las que no se han observado apenas casos con fases de alta temperatura en los análisis de DRX y alteraciones de la matriz con SEM, se debe asumir que la presencia de calcita secundaria debe relacionarse básicamente con una aportación completamente externa a la pieza posterior a su proceso de fabricación. Este tipo de calcita secundaria puede manifestarse de diferentes formas, normalmente mediante concreciones en la superficie de la pieza o en la matriz, donde cristaliza en poros y fracturas, existiendo distinto grado de penetración en la pared de la vasija (BUXEDA & CAU, 1995; CAU *et alii*, 2002; DE LA FUENTE, 2008; LÓPEZ, 2008).

En el registro analizado macroscópica y microscópicamente, mediante binocular, microscopio electrónico de barrido y microscopio petrográfico, se han detectado restos de carbonato cálcico de naturaleza postdeposicional. Se han documentado dos grados de penetración en la pasta de la calcita secundaria totalmente alóctona, en muchos casos esta penetración se relaciona con el tipo de fábrica en la que se da dicha fase. Por un lado, piezas con una alta porosidad asociadas a aquellas fábricas que presentan abundante materia orgánica (> 3% en volumen) como desgrasante y en la que la calcita secundaria está presente tanto en la matriz como en las superficies y márgenes de las cerámicas. Por otro, aquellas piezas que presentan < 3% de materia orgánica y en las que esta fase postdeposicional está presente únicamente en las superficies o a lo sumo en los márgenes de la sección. Como puede observarse, el grado de penetración en la pasta, y la presencia de esta fase en el conjunto de la cerámica, está muy ligada al grado de porosidad de la pieza que, en el caso de las piezas analizadas, va directamente vinculado a la cantidad de materia orgánica presente en las pastas y que condiciona tras su combustión la obtención de un alto nivel de porosidad abierta (ALBERO, 2010 y 2011a).

En general, esta fase está muy presente en el registro analizado ya que, como algunos autores han señalado (FREESTONE, 2001; LÓPEZ, 2008; DE LA FUENTE, 2008), el alto grado de porosidad que caracteriza a muchas producciones realizadas a mano y cocidas a bajas temperaturas, especialmente las derivadas de la utilización de

pastas calcáreas muy gruesas, favorece la formación de este tipo de fases postdeposicionales en la pasta. En nuestro caso, las piezas que han presentado más calcita secundaria en la matriz se asocian con pastas con abundante materia orgánica y que, por tanto, resultan muy porosas. En estas pastas muchos de los poros conectan con el exterior de la vasija favoreciendo la migración de las soluciones al interior de la pasta. En cambio, las piezas sin materia orgánica, que han mostrado una alta cantidad de microporos y escasos macroporos, rara vez presentan calcita secundaria en el núcleo de la pieza, ésta se reduce a los márgenes externos de la sección. La calcita secundaria de origen externo se presenta siguiendo diferentes patrones, por lo que se puede dividir, por tanto, las piezas en función del lugar donde ésta se fija.

3.2.2.1. Calcita secundaria presente en la matriz y en las superficies

En algunas de las muestras analizadas (Tabla I), la calcita secundaria puede observarse en la matriz a través de la formación de microcristales de calcita micrítica rellenando los poros o en las fracturas presentes en la sección, tanto en el núcleo como en los márgenes (Fig. 3 y 4). En algunos casos, los poros pueden estar completamente rellenos por este tipo de alteraciones de la pasta. Por otro lado, este tipo de calcita también puede darse en la propia matriz arcillosa de estas piezas cocidas a baja temperatura, puesto que ésta absorbe cationes de Ca, incorporándolos en su estructura y favoreciendo la formación de una matriz birrefregente y cristalítica. En cualquier caso, lo habitual es que la calcita secundaria se sitúe en los poros abiertos que comunican con el exterior de la cerámica.

Algunos autores, atribuyen la aparición diferencial de esta fase únicamente en determinadas cerámicas de un mismo estrato a que, algunos productos, como los lácteos no fermentados, pueden provocar alteraciones y anomalías en el porcentaje de calcio. De esta forma, el uso de la cerámica podría haber determinado también la aparición de esta fase postdeposicional en los poros de la sección (BUXEDA & CAU, 1995). Como ya se ha apuntado con el fósforo, la confirmación de esta hipótesis en las cerámicas sólo se obtendrá a partir de la identificación de estas sustancias mediante análisis de residuos orgánicos centrados en los ácidos grasos presentes en las cerámicas.

3.2.2.2. Calcita secundaria presente únicamente en la superficie de la pieza

A diferencia de las piezas anteriores que presentan calcita secundaria en la matriz, documentamos un grupo de piezas que presentan esta fase exclusivamente en la superficie de la muestra (Tabla I). La calcificación de la sección resulta menos corriente que la fijación de carbonato cálcico en la superficie, mucho más frecuente en el registro analizado. Este tipo de efectos postdeposicionales ya habían sido detectados en cerámicas de la villa romana de Sa Mesquida en Santa Ponça (TSANTINI *et alii*, 2004),

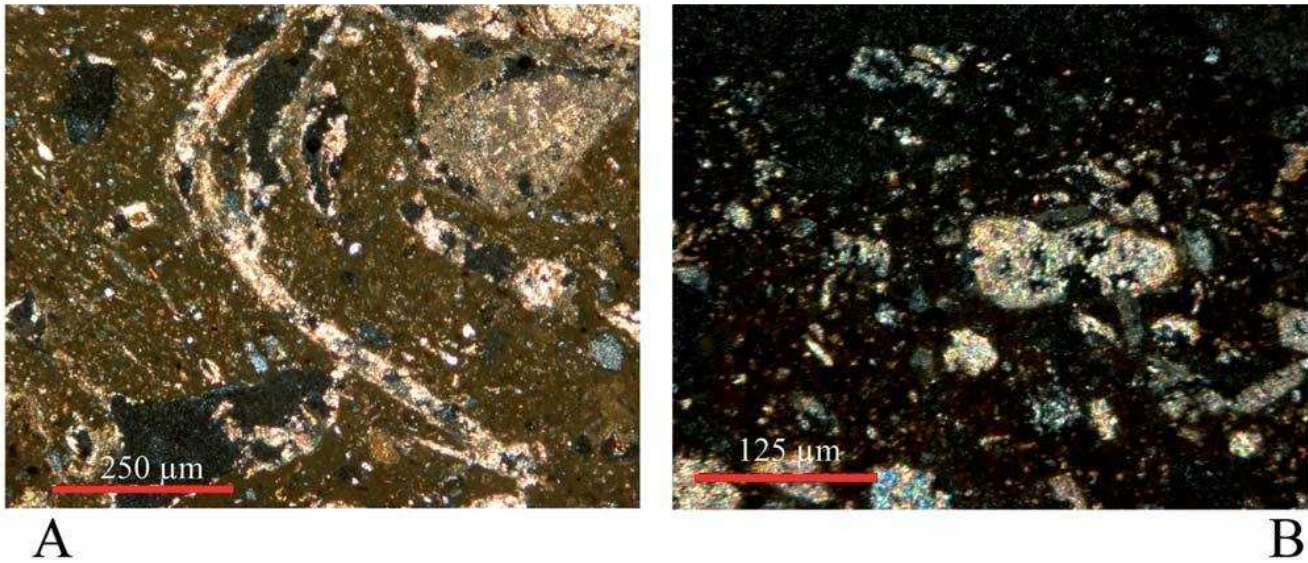


Fig. 3. Micrografías de láminas delgadas con nicoles cruzados mostrando calcita secundaria, A) calcita micrítica relleno un poro dejado por una fibra de materia orgánica (SM-140), B) calcita micrítica relleno un poro situado en el margen externo de la cerámica (SM-1351).

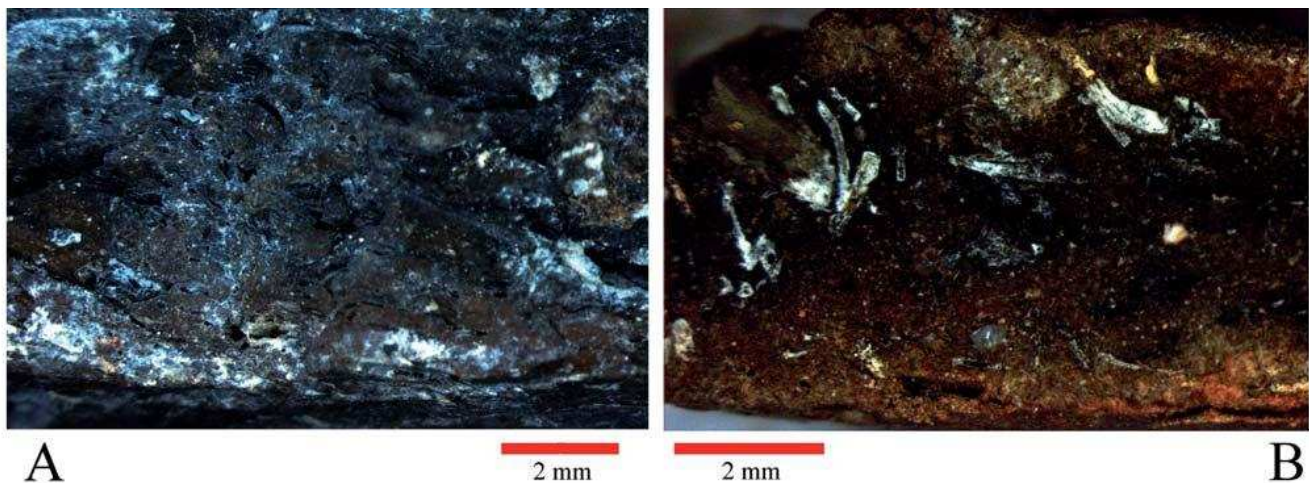


Fig. 4. Micrografías con binocular mostrando A) la calcificación de la matriz (TSB-6/80) y B) calcita secundaria en la matriz relleno los poros dejados por fibras orgánicas (TSB-6/65).

en la misma área en la que se sitúan algunos de los yacimientos que analizamos aquí.

En estos casos, la calcita secundaria se limita a generar una fina película en la superficie de la cerámica, llegando a alcanzar sólo de forma muy débil los poros y las fracturas localizados en los márgenes de la matriz (Fig. 5). De este modo, la calcita secundaria se suele concentrar, en las muestras que poseen materia orgánica, en las impresas dejadas en la superficie tras su combustión. Algunos autores han señalado que este tipo de concreciones pueden ser beneficiosas a la hora de proporcionar estabilidad en la cerámica y evitar contaminaciones agresivas de la matriz de las piezas. Una vez la película de calcita secundaria se ha fijado, ésta evita la incorporación de otros elementos químicos exógenos en la composición de la matriz cerámica (CAU *et alii*, 2002; DE LA FUENTE, 2008).

3.3. Incremento de las concentraciones de cloro

La presencia de alteraciones en los materiales cerámicos no se limita a factores intrínsecos derivados del proceso de fabricación o a contaminaciones postdeposicionales incorporadas durante el enterramiento de las piezas, sino que hay otras alteraciones extrínsecas que son consecuencia de los propios procesos de gestión del material arqueológico. Se trata de contaminaciones que se derivan de la recogida, limpieza y almacenamiento de las cerámicas. Según las acciones que se realicen en todas estas etapas pueden generarse nuevas fases minerales y alterarse la composición química de las piezas. Un ejemplo sería la cristalización de calcita, una fase detectable mediante DRX que se puede originar durante el almacenaje de las cerámicas (DE LA FUENTE, 2008) y cuya ausencia en todas las muestras difractadas ha permitido descartar contaminaciones ligadas al proceso de almacenaje de las piezas.

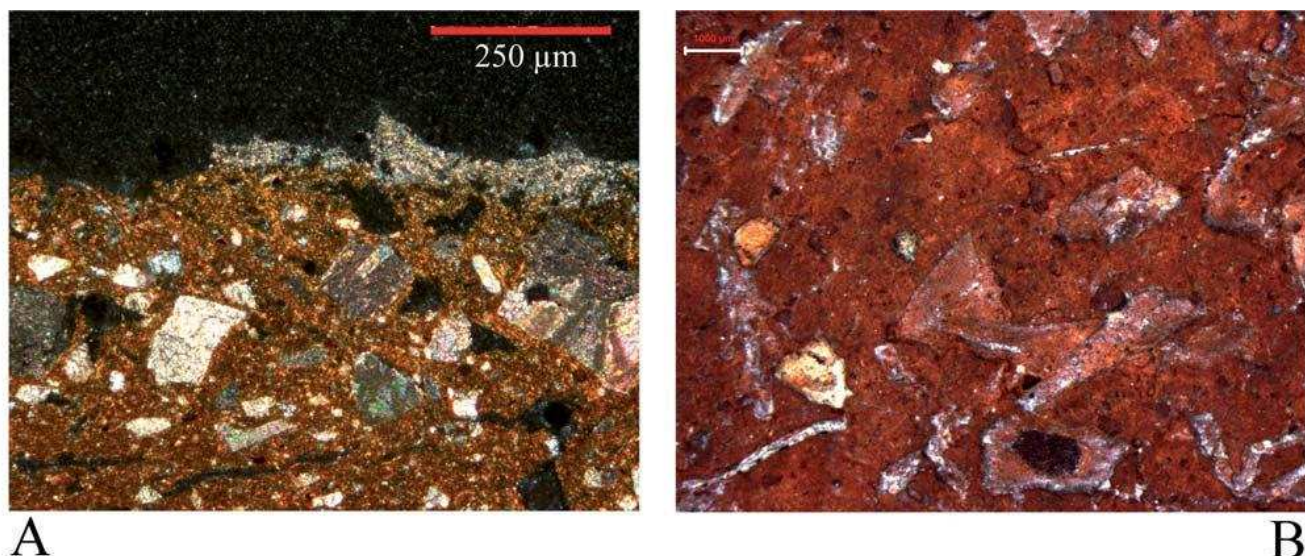


Fig. 5. Micrografías de A) lamina delgada con nicoles cruzados que presenta una concreción de calcita micrítica secundaria en la superficie de la pieza SM-468. B) Concentraciones de calcita secundaria localizada en las improntas dejadas por la materia vegetal observadas con binocular en la pieza TSB-1/294.

Sin embargo, sí se ha podido identificar cierta alteración de la composición química de muchas de las piezas que parece estar estrechamente relacionada con una contaminación ocasionada por la gestión de los materiales arqueológicos tras la excavación. Como suele suceder en otros conjuntos cerámicos (DE LA FUENTE, 2008), las piezas del Turó de les Abelles, tras su recuperación por parte de los arqueólogos, se limpiaron superficialmente con sulfumán, un producto que contiene generalmente entre un 10-12% de ácido clorhídrico (HCl) (MORALES, 2005). La limpieza de las vasijas con este producto era una práctica solicitada por el Museo de Mallorca y generalizada durante los años 70, debiéndose realizar previamente a la deposición de los materiales en los fondos del museo (VALLESPÍR, c. p.).

En este sentido, no debe sorprendernos que muchos de los materiales excavados y depositados en ese periodo en los museos presenten este tipo de contaminaciones, un aspecto que debe tenerse en cuenta a la hora de hacer estudios arqueométricos con materiales procedentes de fondos museísticos. Este tipo de agentes externos relativamente agresivos pueden afectar a la pasta y su composición, esencialmente pueden favorecer la reacción de los carbonatos presentes, desvirtuando las agrupaciones que se realizan en base a la composición química y mineralógica de las piezas.

Como se ha podido corroborar en los análisis petrográficos realizados en 16 de las piezas del Turó de les Abelles y en el examen con binocular sobre la totalidad de las muestras, la limpieza con este producto ligeramente ácido no ha alterado las inclusiones carbonatadas presentes en las pastas de las cerámicas que, en todos los casos, se han conservado bien. Sin embargo, sí se ha podido observar un comportamiento diferencial de la cantidad de cloro presente en las muestras de este asentamiento respecto a los otros yacimientos estudiados

(Fig. 1B). Así pues, mientras las piezas de Closos de Can Gaià han mostrado los niveles más bajos de cloro (650-1300 ppm) seguidas de las del Puig de Sa Morisca (517-2620 ppm), ambas limpiadas sin clorhídrico, las piezas del Turó de les Abelles han mostrado unas cantidades de cloro especialmente altas llegando a superar las 30000 ppm.

Dentro de las muestras de este yacimiento, se ha podido observar un comportamiento diferencial de la cantidad de cloro presente en las muestras en función de los distintos grupos de referencia composicional constatados en el mismo (ALBERO, 2011a). Este comportamiento se relaciona esencialmente con las piezas de los Grupos de Referencia TSB-A y TSB-B1 que muestran valores de Cl siempre superiores a 6000 ppm. En cualquier caso, hay que señalar que el cloro ha sido un elemento que, por su tendencia a estar contaminado, no se ha utilizado para establecer dichos grupos de referencia composicional. En definitiva, cabe pensar que en las muestras de este yacimiento el incremento constatado en las concentraciones de cloro debe relacionarse, al menos en parte, con la fijación y cristalización de cloruros durante el proceso de limpieza y almacenaje de las piezas, que ha sido de unos 35 años hasta el presente estudio, favorecida por el aporte de Cl alóctono (DE LA FUENTE, 2008).

Finalmente, señalar que no se puede dejar de plantear la posibilidad de un origen antrópico de parte del cloro constatado directamente ligado a las acciones de los alfareros. Un incremento de las concentraciones de este elemento podría estar también relacionado con la necesidad de añadir agua a la pasta ya preparada para que la arcilla se hidrate y sea maleable, de manera que la pieza pueda modelarse. De esta forma, el agua, de naturaleza dulce o salada, que utiliza el alfarero para el modelado aporta, en proporciones muy pequeñas, otros elementos foráneos a la pasta. En este sentido, se produce una alteración de la composición química de la pasta depen-

diendo del carácter más o menos salino del líquido. Un claro ejemplo lo constituye el uso de agua de mar; ésta tiene un alto contenido en cloruros (35 g/l) y si se utiliza en la confección de una cerámica este elemento quedará fijado en la pasta mientras el agua se evaporará. En algunos casos, niveles diferenciados y más altos de cloro, pueden estar relacionados con la utilización de agua de mar o bien con la deposición de las piezas en un entorno salino. Ello contribuye también en la generación de alteraciones en las concentraciones de sodio, magnesio y potasio (ECHALIER, 1984; POLLARD & HERON, 1996; MORALES, 2005; POTTER, *et alii*, 2005).

El Turó de les Abelles es el yacimiento estudiado que se sitúa más cerca de ambientes de albufera de agua dulce y salada por lo que, por un lado, está más expuesto a soluciones de carácter salino. Por otro lado, se pudo utilizar agua de este ecosistema para confeccionar las cerámicas, estando las fuentes de agua dulce procedentes de torrenteras más alejadas del yacimiento. En términos económicos de rentabilidad y mínimo esfuerzo habría sido preferible utilizar este recurso acuoso salino más próximo y su inclusión en la pasta podría explicar también los altos niveles de Cl observados en estas muestras y algunas del Puig de Sa Morisca (pe. SM-1351). Finalmente, el yacimiento de Closos de Can Gaià se encuentra más alejado de fuentes de agua salada, lo que podría sugerir la utilización de agua dulce para confeccionar la cerámica. En este sentido, la hipótesis queda planteada y deberá ser confirmada con futuros estudios experimentales que aborden los efectos de limpiar las piezas con ácido clorhídrico e hidratar las pastas con agua dulce o salada.

3.4. Cristalización de zeolitas

Entre los estudios de las fases secundarias postdeposicionales que se generan usualmente en cerámicas arqueológicas se ha prestado especial atención a la formación de zeolitas (CAPEL, 1983), especialmente la analcima. Esta fase, detectable mediante DRX, tiene un origen vinculado a la descomposición de algunos de los componentes que forman la pasta al producirse sobrecocciones severas y a una temperatura relativamente alta (> 1000 °C). La analcima es una zeolita sódica con composición $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})$ y se ha constatado su asociación con cerámicas calcáreas cocidas a altas temperaturas. De este modo, es habitual encontrar este tipo de alteración postdeposicional en cerámicas griegas, púnico-ebusitanas y romanas (BUXEDA, 1999; BUXEDA *et alii*, 2001; BUXEDA *et alii*, 2002; CAU, 2003; TSANTINI *et alii*, 2004; SCHWEDT *et alii*, 2006).

Como señalan los autores citados, que han estudiado esta alteración, las pastas que presentan esta fase han sufrido un doble proceso de alteración donde, primero, se produce la lixiviación de potasio y rubidio durante la cocción. Posteriormente, durante la fase de enterramiento, se produce la cristalización de analcima mediante aportaciones de sodio externo por procesos de hidrólisis, contaminándose el material ya alterado du-

rante la cocción. El efecto final sobre las cerámicas consiste en la disminución de las concentraciones de potasio y rubidio y el incremento del sodio. En definitiva, mediante este proceso la cristalización de analcima se da por igual en toda la pasta cerámica y juega un importante rol en la fijación de sodio del ambiente en la pasta. Sin embargo, a pesar de esta explicación, estudios recientes indican que el potasio se pierde durante un tiempo de enterramiento prolongado y no durante la cocción, de modo que el comportamiento en la disminución del potasio y el rubidio parecen independientes entre sí (SCHWEDT *et alii*, 2006).

Dado que gran parte del registro analizado es de naturaleza muy calcárea y se documentan algunas cerámicas que evidencian fases de alta temperatura en los análisis de DRX se ha prestado especial atención a la cristalización de analcima en las muestras analizadas. Al ser pastas calcáreas sobre-cocidas la aparición de esta zeolita sódica es potencialmente posible. Además esta es una fase que se ha documentado en cerámicas de la villa romana de *Sa Mesquida* situada en la zona de Santa Ponça (TSANTINI *et alii*, 2004). Tras el examen exhaustivo de los diagramas de rayos X no han podido observarse picos a 5.63 y 3.43 Å asociados a este mineral en ninguna de las cerámicas prehistóricas estudiadas. Tampoco las piezas que han mostrado minerales como gehelenita, anortita y hematites han mostrado esta fase secundaria, ya que todo indica que la temperatura alcanzada en estas muestras fue inferior a los 1000 °C e insuficiente para la cristalización de la analcima. Ésta es, por tanto, una fase que si bien hay que considerar en futuros análisis de pastas de cerámicas prehistóricas de las Islas Baleares es poco susceptible de manifestarse, incluso en cerámicas con evidencias de sobrecocción poco severa.

3.5. Limpieza mecánica de las cerámicas

También asociado al proceso de gestión del material arqueológico hay que señalar una alteración de las cerámicas que, si bien no ha sido sometida a un estudio en profundidad todavía, vale la pena plantear con el objetivo de iniciar un debate que esperemos sea constructivo y permita desarrollar estrategias más eficientes en lo que a la gestión de las cerámicas se refiere. En este caso la alteración postdeposicional se relaciona, como ya sucedía con el aporte de cloro alóctono constatado, con la limpieza de las piezas tras su recuperación en la excavación, un proceso que es un requisito de los museos antes de acceder al depósito permanente de los materiales en los mismos. Sin embargo, en este caso esta alteración no se relaciona con una contaminación de la pasta de las cerámicas vinculada con la aplicación de determinados productos químicos durante su limpieza, sino que su origen hay que buscarlo en la acción mecánica que se efectúa al frotar cepillos y otras herramientas semejantes sobre la superficie de las piezas. Esta actividad ejerce un efecto abrasivo sobre los materiales que tiene la finalidad de eliminar

los posibles restos de sedimento y las concreciones que pueda haber en las piezas. Esta acción, desarrollada normalmente en combinación con agua o agua destilada, no es inofensiva ni inocua, al contrario, conlleva toda una serie de distorsiones en la superficie de las piezas.

Como se ha señalado, las cerámicas suelen presentar un largo ciclo de vida en el que también se incluyen, entre otras fases, los múltiples usos que hayan podido tener las vasijas hasta ser desechadas definitivamente. A lo largo de esta vida de uso las cerámicas suelen requerir de cierto mantenimiento siendo habitual, por ejemplo, la limpieza repetida y continuada de las mismas por parte de los usuarios. Este tipo de acciones de mantenimiento, constatadas etnoarqueológicamente a través de acciones mecánicas (SKIBO, 1992), suelen dejar toda una serie de micro-trazas de mantenimiento efectuadas con posterioridad a la cocción que pueden variar según la estrategia seguida por el usuario en las tareas de limpieza, el tipo de contenido a limpiar y las características de la propia cerámica. En este sentido, el estudio de dichas trazas de mantenimiento puede aportarnos información potencialmente relevante para profundizar en la funcionalidad y el uso de las cerámicas, así como en las formas de organización social de los grupos humanos, permitiendo construir discursos más complejos. Desgraciadamente, como ha señalado Almudena Hernando (2005), las tareas de mantenimiento, frecuentemente vinculadas con las mujeres en muchas sociedades, han sido uno de los aspectos menospreciados por la investigación y, por tanto, a los que se ha prestado escasa atención dentro del análisis de la cultura material. Este rechazo hacia las actividades de mantenimiento podría explicar por qué dichas micro-trazas han recibido nula o escasa atención en el estudio de la tecnología de cerámicas arqueológicas.

Las estrategias de limpieza de material cerámico vigentes desarrolladas por muchos de los equipos de excavación e investigación están destruyendo dicho registro arqueológico al eliminar dichas micro-trazas de mantenimiento. La acción mecánica que se realiza en este proceso favorece la creación de un palimpsesto en el que potencialmente se pueden superponer trazas efectuadas en el pasado, relacionadas con el mantenimiento cotidiano de las vasijas, con otras que se efectúan en el día a día de la propia gestión de la cultura material. La generación de este palimpsesto priva, de este modo, a actuales y futuras investigaciones que puedan tener interés en profundizar en las actividades de mantenimiento relacionadas con las vasijas. En definitiva, se puede estar perdiendo valiosa información procedente de muchos de los yacimientos que se están excavando en la actualidad. Ello exige realizar primero una valoración experimental, en futuros trabajos, del grado de distorsión que pueden introducir los métodos de limpieza de material cerámico vigentes sobre dichas trazas de mantenimiento. Posteriormente, sería conveniente iniciar una reflexión orientada hacia la búsqueda de soluciones de modo que las acciones que desarrollamos los arqueólogos no comporten una destrucción o sesgo de aquella información relacionada

tanto con el contexto sistémico como con el contexto arqueológico. Hay que estar abiertos a valorar y compartir nuevas estrategias de gestión de material, como por ejemplo la limpieza de las piezas con métodos menos abrasivos como puedan ser el uso de agua y aire a presión, que algunos equipos ya están llevando a cabo pero que muchos arqueólogos desconocen.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se han abordado las posibles alteraciones postdeposicionales extrínsecas e intrínsecas de la composición química y mineralógica constatadas en cerámicas prehistóricas mallorquinas. El objetivo era realizar un acercamiento más profundo a la composición de las pastas de dichas cerámicas y obtener una representación de aquellas fases postdeposicionales más habituales. También se han valorado las incidencias que puede tener en las mismas una alteración mecánica de su superficie derivada de la propia gestión de las piezas. En este sentido, esta primera aproximación supone un precedente que puede ser de utilidad tanto para futuros estudios centrados en la investigación arqueométrica y traceológica de cerámicas de esta región como para el desarrollo de actuaciones que impliquen la gestión y la restauración de materiales arqueológicos cerámicos prehistóricos en Baleares.

Esta aproximación ha permitido identificar la existencia de ciertas contaminaciones y alteraciones en las piezas que pueden inferir potencialmente en las interpretaciones de los contextos sistémicos que se derivan del estudio de su composición, así como en las distintas agrupaciones químicas y mineralógicas que se realizan con las cerámicas. En este sentido, se ha comprobado que, *a priori*, puede resultar problemático utilizar en el establecimiento de dichas agrupaciones elementos como el cloro o el óxido de fósforo y el óxido de calcio, así como fases minerales como la calcita que son susceptibles de estar alteradas. La utilización de estos elementos, óxidos y fases minerales en el estudio de cerámicas prehistóricas exige necesariamente de una valoración de su origen y de las concentraciones detectadas. También se ha planteado como la limpieza mecánica de las vasijas puede comprometer seriamente la realización de estudios centrados en las actividades de mantenimiento relacionadas con dichas cerámicas.

A un nivel más específico podemos sintetizar las conclusiones obtenidas en este trabajo en varios puntos. Por un lado, las piezas de Closos de Can Gaià, especialmente algunas del Bronce Antiguo han mostrado mayores concentraciones de óxido de fósforo. Este incremento parece estar ligado a la incorporación de fosfatos durante el proceso de deposición de las piezas, si bien no se puede descartar del todo que pueda estar relacionado con la utilización de la cerámica para contener determinados tipos de productos orgánicos. Dentro de las fases postdeposicionales que suelen ser usuales en cerámicas calcáreas podemos descartar la cristalización de zeolitas. Ello se

debe a que las cerámicas, incluso aquellas singulares de Closos de Can Gaià que constituyen las únicas que presentan indicios de ligera sobre-cocción, no han sido expuestas a la suficiente temperatura para la cristalización de analcima. En todo caso, estas cerámicas ligeramente sobre-cocidas o que han alcanzado una mayor temperatura pueden presentar durante la fase de enterramiento la recristalización de calcita secundaria parcialmente alóctona, relacionada con la cristalización del calcio libre que permanece disociado tras la cocción de las piezas.

En lo que se refiere a las alteraciones de la pasta ligadas exclusivamente a procesos tafonómicos tenemos que señalar que la más usual en las cerámicas estudiadas consiste en la fijación de calcita secundaria totalmente alóctona. Este tipo de alteración puede presentarse únicamente en la superficie de las piezas o bien puede llegar a introducirse por la matriz hasta alcanzar el núcleo de la cerámica. En relación a este tipo de calcita secundaria son las piezas desgrasadas con materia vegetal, con abundantes macro-poros conectados con las superficies, las más propensas a presentar este tipo de fases en la matriz, ya que la calcita se infiltra por los poros dejados por la combustión de la materia orgánica.

Finalmente, se ha documentado como la limpieza de las piezas por parte de los arqueólogos con ácido clorhídrico, antes de que éstas fueran almacenadas definitivamente, pudo favorecer la fijación de altas concentraciones de cloro en las pastas de algunas cerámicas. Este aspecto debe tenerse en cuenta a la hora de realizar una correcta lectura de los datos obtenidos de reestudios de fondos museísticos y resulta muy interesante ya que, en las colecciones de materiales procedentes de excavaciones antiguas, realizadas en los años 60 y 70, las piezas solían limpiarse primero con este material. Parece ser, que ésta constituía una práctica generalizada de modo que, supone una alteración que puede evidenciarse muy común a medida que se vayan analizando piezas cerámicas procedentes de depósitos de museos y excavaciones antiguas. En todo caso, se ha confirmado que este proceso de limpieza no ha alterado los carbonatos presentes en la pasta que se conservan bien cuando se examinan con métodos ópticos. Si bien esta es la explicación más plausible para explicar los altos niveles de cloro observados en las piezas del Turó de les Abelles no se puede descartar que éstos se deban también, en parte, a la utilización de soluciones salinas por parte de los alfareros para hidratar las arcillas antes del modelado o a su deposición en un ambiente que pudo ser eventualmente salino.

Para acabar, se ha enfatizado que las estrategias de gestión de materiales cerámicos desarrolladas por muchos arqueólogos en la actualidad distan de ser perfectas, planteándose toda una serie de problemas de gran importancia que evidencian la necesidad de evaluar ciertas praxis con el objetivo de evitar la destrucción de información arqueológica que es relevante para el estudio del ciclo de vida de las cerámicas en toda su complejidad, así como su relación con determinadas dinámicas sociales.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado bajo los objetivos científicos y la financiación del proyecto HAR 2012-32620: *Vivir entre islas: paisajes insulares, conectividad y cultura material en las comunidades de las Islas Baleares durante la prehistoria reciente (2500-123 BC)*, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (España). Los análisis de FRX y la preparación de láminas delgadas se han desarrollado en la Unidad de Arqueometría de los Servicios Científicos y Técnicos la Universidad de Alicante por el Dr. Romualdo Seva. Los análisis de DRX se han realizado en el Laboratorio de Metrología y Propiedades Físicas de los Servicios Científicos y Técnicos de la Universidad de las Islas Baleares por el Dr. Joan Cifre. El análisis petrográfico se realizó en el departamento de Conservation, Documentation & Science de The British Museum (Londres, Reino Unido), así como en el Laboratorio de Microscopía de los Servicios Científicos y Técnicos de la Universidad de las Islas Baleares. En estas últimas instalaciones se realizaron también los análisis con SEM-EDX con la supervisión del Dr. Ferran Hierro. Finalmente, los análisis con binocular se realizaron en el Laboratorio de Arqueometría Dr. Arribas del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada (España), agradezco enormemente a la Dra. Josefa Capel el haberme facilitado el acceso a dichas instalaciones y el asesoramiento prestado.

6. BIBLIOGRAFÍA

ALBERO SANTACREU, D.

- 2010 Pastas desgrasadas con calcita y pastas desgrasadas con materia vegetal: aproximación experimental. *Boletín del Laboratorio de Petrología y Conservación Cerámica 2* (2), Universidad de Catamarca, Argentina, 18-34.
- 2011a *Caracterización tecnológica, social y adaptación funcional de cerámicas prehistóricas en el Oeste y Sureste de Mallorca (1700-50 BC): aproximación sincrónica y diacrónica a partir del estudio arqueométrico de pastas*. Tesis doctoral electrónica. Universidad de Granada. Granada.
- 2011b What the fire says: firing strategies in Bronze Age potteries from the Balearic Islands (1700-850 B.C.). *The Old Potter's Almanack 16* (1), 1-4.

ALBERO SANTACREU, D., GARCÍA AMENGUAL, E.

- 2010 Estrategias de gestión de los recursos arcillosos en la prehistoria de Mallorca (1000-123 AC): usos cerámicos y no cerámicos. En M^a E. Saiz, R. López, M^a A. Cano y J. C. Calvo (eds.): *Actas del VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*, Seminario de Arqueología y Etnología Turolese, Teruel, 317-325.

ALBERO SANTACREU, D., MATEU VICENS, G.

- 2012 Raw materials and pottery production at the Late Bronze and Iron Age Site of Puig de Sa Morisca (Mallorca, Spain). *Geoarchaeology 27* (4), 285-299.

- ALBERO SANTACREU, D., GARCÍA ROSSELLÓ, J., CALVO TRIAS, M.
En prensa Pottery Production in Santa Ponsa (Majorca, Spain) from the Late Bronze to the Late Iron Age (1100-50 BC): Ceramics, Technology and Society. En M. Martín-Torres y C. Cartwright (eds.): *From Craft to Science*, Archetype, Londres.
- ARNOLD, D. E.
2000 Does the standarization of ceramic pastes really mean standarization? *Journal of Archaeological Method and Theory* 7, 333-375.
- BOLLONG, C., VOGEL, J., JACOBSON, L., VAN DER WISTHUIZEN, W., SAMPSON, C.
1993 Direct dating and identity of fiber temper in Pre-contact Bushman (Basarwa) pottery. *Journal of Archaeological Science* 20, 41-55.
- BUXEDA, J.
1999 Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: The Perturbation Problem. *Journal of Archaeological Science* 26, 295-313.
- BUXEDA, J., CAU, M. A.
1995 Identificación y significado de la calcita secundaria en cerámicas arqueológicas. *Complutum* 6, 293-309.
- BUXEDA, J., KILIKOGLU, V., DAY, P. M.
2001 Chemical and mineralogical alterations of ceramics from a Late Bronze Age kiln at Kommos, Crete: The effect on the formation of a reference group. *Archaeometry* 43 (3), 349-371.
- BUXEDA, J., MOMMSEN, H., TSOLAKIDOU, A.
2002 Alterations of Na, K and Rb concentrations in Mycenaean pottery and a proposed explanation using X ray diffraction. *Archaeometry* 44 (2), 187-198.
- CAMPS, J., VALLESPÍR, A.
1998 *El Turó de les Abelles*. Col·lecció La Deixa 1, Monografies de Patrimoni Històric, Consell de Mallorca, Palma de Mallorca.
- CAPEL MARTÍNEZ, J.
1983 Aplicación de métodos analíticos al estudio de cerámicas arqueológicas. En *Prehistoria y Arqueología I Congreso Historia de Andalucía*, 23-31.
- CAU ONTÍVEROS, M. A.
2003 *Cerámica tardorromana de cocina en las Islas Baleares: Estudio arqueométrico*. BAR International Series 1182. Archaeopress. Oxford.
- CAU ONTIVEROS, M. A., DAY, P. M., MONTANA, G.
2002 Secondary calcite in archaeological ceramics: evaluation of alteration and contamination processes by thin section study. En V. Kilikoglou, A. Hein y Y. Maniatis (eds.): *Modern Trends in Scientific Studies of Ancient Ceramics*, pp. 9-18. BAR International Series 1011, Archaeopress. Oxford.
- DE LA FUENTE, G.
2008 Post-Depositional Chemical Alterations in Archaeological Ceramics: a critical review and implications for their conservation. *Boletín del Laboratorio de Petrología y Conservación Cerámica* 1 (2), 21-37.
- DUNNELL, R., HUNT, T.
1990 Elemental Composition and Inference of Ceramic Vessel Function. *Current Anthropology* 31 (3), 330-336.
- ECHALLIER, J. C.
1984 *Éléments de Technologie Céramique et d'Analyse des Terres Cuites Archéologiques*. Documents d'Archéologie Méridionale: Méthodes et Techniques 3.
- FANTUZZI, L.
2010 La alteración posdeposicional del material cerámico. Agentes, procesos y consecuencias para su preservación e interpretación arqueológica. *Comechingonia Virtual* 4 (1), 27-59.
- FREESTONE, I. C.
2001 Post-depositional changes in archaeological ceramics and glasses. En D. R. Brothwell y A. M. Pollard (eds.): *Handbook of Archaeological Sciences*, pp. 615-625. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.
- FREESTONE, I. C., MEEKS, N. D., MIDDLETON, A. P.
1985 Retention of phosphate in buried ceramics: an electron micro-beam approach. *Archaeometry* 27, 161-177.
- FREESTONE, I. C., MIDDLETON, A. P., MEEKS, N. D.
1994 Significance of Phosphate in Ceramic Bodies: discussion of paper by Bollong *et al.* *Journal of Archaeological Science* 21 (3), 425-426.
- GUERRERO, V., CALVO, M., SALVÁ, B.
2002 La cultura Talayótica: una sociedad de la edad del hierro en la periferia de la colonización fenicia. *Complutum* 13, 221-25.
- GUERRERO, V., CALVO, M., GARCÍA, J., GORNÉS, S.
2007 *Prehistoria de las Islas Baleares: Registro arqueológico y evolución social antes de la Edad del Hierro*. BAR International Series 1690, Archaeopress. Oxford.
- HERNANDO GONZALO, A.
2005 ¿Por qué la Historia no ha valorado las actividades de mantenimiento? En *Dones i activitats de manteniment en temps de canvi*. Treballs d'Arqueologia 11, 115-133.
- KLEIN, M., JESSE, F., KASPER, H. U., GÖLDEN, A.
2004 Chemical characterization of ancient pottery from Sudan by X-ray fluorescence spectrometry (XRF), electron microprobe analyses (EMPA) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Archaeometry* 46, 339-356.

- LINARES, J., HUERTAS, F., CAPEL, J.
1983 La arcilla como material cerámico: características y comportamiento. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada* 8, 479-490.
- LÓPEZ, M.
2008 Alteraciones de Superficies y Pastas de Cerámica Arqueológica. Un Caso de Estudio en Quebrada de Humahuaca, Jujuy, República Argentina. *Boletín del Laboratorio de Petrología y Conservación Cerámica* 1 (2), 1-11.
- MAGGETTI, M.
1982 Phase analysis and its significance for technology and origin. En J. Olin y J. D. Franklin (eds.): *Archaeological Ceramics*. Smithsonian Institution Press, Boston, 121-133.
- MARITAN, L., MAZZOLI, C.
2004 Phosphates in archaeological finds: implications for environmental conditions of burial. *Archaeometry* 46 (4), 673-683.
- MARTÍN, J.D.
2004 *Using X Powder: A software package for Powder X-Ray diffraction analysis*. www.xpowder.com D.L. GR 1001/04. ISBN 84-609-1497-6. Spain.
- MOMMSEN, H.
2004 Short note: provenancing of pottery: The need for an integrated approach? *Archaeometry* 46 (2), 267-271.
- MORALES GÜETO, J.
2005 *Tecnología de los materiales cerámicos*. Consejería de Educación, Comunidad de Madrid. Madrid.
- NUÑEZ, R., CAPEL, J., REYES, E.,
1991 Hidrólisis de materiales cerámicos: estudio preliminar. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía* 14, 89-94.
- NUÑEZ, R., CAPEL, J., REYES, E., DELGADO, A.
2002 Hydrolysis of ceramics materials: neoformation or rehydroxylation of clay minerals. Oxygen stable isotopes analysis. *Clay Minerals* 37, 345-349.
- ORTEGA, L. A., ZULUAGA, M. C., ALONSO, A., OLAETXEA, C.
2005 El estudio arqueométrico de las producciones cerámicas. *Munibe* 57, 365-388.
- POLLARD, M., HERON, C.
1996 *Archaeological Chemistry*. The Royal Society of Chemistry, RSC Paperbacks, Cambridge.
- POLLARD, M., BATT, C., STERN, B., YOUNG, S.
2007 *Analytical chemistry in archaeology*. Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge.
- POTTER, P., MAYNARD, J., DEPETRIS, P.
2005 *Mud and mudstones: introduction and overview*. Springer, Berlin.
- SCHIFFER, M. B.
1976 *Behavioural Archaeology*. Academic Press, New York.
- SCHWEDT, A., MOMMSEN, H., ZACHARIAS, N., BUXEDA I GARRIGÓS, J.
2006 Analcime crystallization and compositional profiles: Comparing approaches to detect post-depositional alterations in archaeological pottery. *Archaeometry* 48 (2), 237-251.
- SHOVAL, S., BECK, P., YADIN, E.
2006 The ceramic technology used in the manufacture of Iron Age pottery from Galilee. En M. Maggetti y B. Messiga (eds.): *Geomaterials in Cultural Heritage*. Geological Society Special Publication, 257. Bath, 101-118.
- SKIBO, J. M.
1992 *Pottery function: A use alteration perspective*. Interdisciplinary Contributions to Archaeology, Plenum Press. Nueva York-Londres.
- TITE, M. S.
2008 Ceramic production, provenance and use: A review. *Archaeometry* 50 (2), 216-231.
- TSANTINI, E., BUXEDA, J., CAU, M. A. ORFILA, M.
2004 Caracterización arqueométrica de la cerámica común producida en la villa romana de Sa Mesquida (Mallorca). *Pyrenae* 35 (1), 157-186.
- TSCHEGG, C.
2009 Post-depositional surface whitening of ceramic artifacts: alteration mechanisms and consequences. *Journal of Archaeological Science* 36, 2155-2161.