

# Caracterització arqueomètrica de la ceràmica a mà del jaciment del primer ferro de Sant Jaume (Alcanar, Montsià)

## Archaeometric characterization of the handmade pottery from the Early Iron Age site of Sant Jaume (Alcanar, Montsià)

CRISTINA P. BARRACHINA  
JAUME BUXEDA I GARRIGÓS

Cultura Material i Arqueometria UB (ARQUIUB, GRACPE), Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona  
c/ de Montalegre 6, 08001 Barcelona  
cristina\_puig\_barrachina@ub.edu  
jbuxeda@ub.edu

DAVID GARCIA I RUBERT

Grup de Recerca en Arqueologia Protohistòrica (GRAP), Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia, Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona  
c/ de Montalegre 6, 08001 Barcelona  
dgarcia@ub.edu

L'estudi arqueomètric de la ceràmica a mà del jaciment protohistòric de Sant Jaume, realitzat mitjançant l'aplicació de diverses tècniques d'anàlisi fisicoquímiques (FRX, DRX, MER), mostra com aquestes ceràmiques van ser fabricades seguint una mateixa tradició tècnica caracteritzada per una important presència d'inclusions de desgreixador de calcita triturada i coccions a baixa temperatura. Aquesta tradició va ser utilitzada per a la fabricació de tots els tipus de vasos ceràmics, independentment de la seva funcionalitat. A més, s'hi observa una important diversitat de proveniències, fet que permet proposar l'existència de xarxes locals i regionals de producció i distribució d'aquests tipus ceràmics, superant l'actual visió on es contempla la ceràmica a mà com a una producció típicament local.

### PARAULES CLAU

CERÀMICA A MÀ, FLUORESCÈNCIA DE RAIGS X, DIFRACCIÓ DE RAIGS X, MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG, PRIMERA EDAT DEL FERRO, TERRES DEL SÈNIA I DE L'EBRE

An archaeometric study has been conducted on the handmade pottery recovered at Sant Jaume by combining different analytical techniques (XRF, XRD, SEM). The results show that all ceramics were produced by using the same technical tradition: a clay paste enriched with crushed calcite as temper, fired at low firing temperatures. This tradition was used in all different ceramic types regardless of their function. Moreover, several provenances have also been identified. Therefore, we propose the existence of local and regional networks for handmade pottery production and distribution, something that changes the nowadays assumption of local production.

#### KEY WORDS

HANDMADE POTTERY, X-RAY FLUORESCENCE, X-RAY DIFFRACTION, SCANNING ELECTRON MICROSCOPY, EARLY IRON AGE, SÉNIA AND LOW EBRE BASINS

## Introducció: l'assentament de Sant Jaume

El jaciment de Sant Jaume es troba situat al cim d'un turó de petita alçada (224 m.s.n.m.) localitzat a l'extrem sud-est de la serra del Montsià, al terme municipal d'Alcanar, aproximadament a uns 5 km al nord de l'actual desembocadura del riu Sénia i a uns 20 km al sud de la que presenta avui el riu Ebre (fig. 1). Geològicament parlant, la serra del Montsià constitueix un bloc aixecat (horst) de materials mesozoics, delimitat per dues falles, dins de la fossa del Baix Ebre. Es tracta principalment de materials rocósos carbonatats d'origen sedimentari. En la seva seqüència estratigràfica destaca l'alternança de materials calcaris i materials margosos propis de la conca marina, dipositats durant el Cretaci inferior; superposicions que es troben per sobre d'un destacat paquet de dolomies datades entre el Juràssic i el Cretaci (Colombo Piñol, 1975; Carceller i Roqué, 1999: 17-22).

En aquest jaciment, el Grup de Recerca en Arqueologia Protohistòrica (GRAP) de la Universitat de Barcelona hi està portant a terme excavacions des de l'any 1997. En el transcurs d'aquests 17 anys les característiques del jaciment han estat publicades en diverses ocasions (vegeu especialment Armada *et al.*, 2005; Garcia i Rubert *et al.*, 2005; Garcia i Rubert, 2005, 2008, 2009, 2011; Garcia i Rubert i Moreno, 2008; Bea *et al.*, 2008; Garcia i Rubert i Gracia, 2011), motiu pel qual en el present article només destacarem breument els trets essencials que ens permetin contextualitzar adequadament la mostra en estudi.

L'assentament de Sant Jaume presenta un únic i breu moment d'ocupació, corresponent als darrers decennis del segle VII i els primers del segle VI a.n.e., en el marc cronocultural de la primera edat del ferro. El seu abandonament es va produir a conseqüència d'un intens incendi; una destrucció violenta que també van patir altres assentaments de la zona. Aquest fet, junt amb altres motius, com per exemple la no reocupació de l'espai, el tipus de tècnica arquitectònica emprada (aixecat íntegrament amb pedra) o el fet que el terreny no hagi estat mai afectat per treballs agrícoles ni per l'acció d'espoliadors, ha permès posar al descobert un jaciment en un excel·lent estat de conservació i amb un registre arqueològic de gran qualitat (vegeu especialment Garcia i Rubert *et al.*, 2004, 2007; Garcia



Fig. 1. Mapa de situació del jaciment de Sant Jaume (Alcanar, Montsià) i dels principals jaciments del primer ferro de l'àrea del riu Sénia.

i Rubert, 2005; Garcia i Rubert i Moreno, 2009; López *et al.*, 2011; Mateu, 2012; Font *et al.*, en premsa).

L'assentament, de dimensions reduïdes, té una superfície aproximada de 640 m<sup>2</sup> i una planta pseudocircular (fig. 2). Les seves característiques arquitectòniques són certament excepcionals, tant pel que respecta al territori com al període, i de manera concreta ho són especialment aquelles referents al sistema defensiu (Garcia i Rubert, 2009). En referència a les estructures arquitectòniques internes, s'hi han documentat diversos conjunts d'àmbits (anomenats sector 1/nord, sector 2/central, sector 3/est, sector 4/oest i sector 5/sud), que presenten dimensions i orientacions diverses, així com una xarxa de passadissos (C1, C2, C3 i C4), que organitzen la circulació per l'interior de l'assentament.

El conjunt ceràmic que aquí analitzem procedeix del sector 1/nord. Situat al terç septentrional de l'assentament, està conformat per sis àmbits seriat, de format rectangular i estructurats en dues plantes (A1, A2, A3, A4, A5 i A8), els quals utilitzen com a

paret de fons la cara interior del tram nord de la muralla, que és absolutament rectilini, i obren les seves portes al passadís C1 (fig. 2). En funció de la interpretació del registre arqueològic, cap dels àmbits excavats íntegrament fins al moment no pot ser considerat un espai domèstic. Els pisos inferiors, que en general han aparegut pràcticament buits de materials mobles, possiblement estaven destinats a l'establació d'animals i a la realització de tasques relacionades amb la transformació de productes agropecuaris. En canvi, els pisos superiors eren sistemàticament emprats com a magatzems de productes manufacturats, matèries primeres i altres objectes de característiques diverses (Garcia i Rubert i Moreno, 2009; Garcia i Rubert, 2011; López *et al.*, 2011; Font *et al.*, en premsa).

Completa el sector 1/nord un espai, actualment en procés d'excavació, situat fora muralles (A9) i amb una funcionalitat en gran mesura encara indeterminada. Es tracta d'un espai de format clarament irregular, que està delimitat per la mateixa muralla, la torre T1 i diversos murs avançats. Com el conjunt d'estructures associades a la porta d'accés del jaciment, presenta com a mínim dos moments constructius, que fan que el seu format variï lleugerament (Garcia i Rubert, 2009). Finalment, quant al passadís C1, es tracta d'una via de circulació completament rectilínia, que arrenca de la porta principal d'accés al jaciment i separa el sector 1/nord del sector 2/central. Cal destacar que és una via prou ampla (aproximadament d'1,4 m) per a permetre la circulació d'animals i elements de gran volum, com ara farcells de matèries primeres o àmfores (López *et al.*, 2011).

En referència als elements mobles recuperats al jaciment, destaca el nombrós conjunt ceràmic que es pot dividir en dues categories bàsiques: d'una banda el conjunt realitzat a mà, inscrit dins la tradició formal de la ceràmica indígena pròpia del bronze final i del primer ferro a l'àrea del nord-est peninsular i que té una presència àmpliament majoritària; i, de l'altra, el conjunt a torn, que en tots els casos s'expressa amb formes i tipus pròpiament fenicis. Aquesta ceràmica fenícia té a Sant Jaume una presència destacable, ja que durant el primer ferro, tot i ser present pràcticament en tots els jaciments de les terres del Sénia i de l'Ebre, només en casos molt excepcionals, com per exemple a Aldovesta (Benifallet, Baix Ebre), supera el 2 o 3 % del nombre total de fragments recuperats. A Sant Jaume, en canvi, representa gairebé el 30 %; circumstància que només s'explica com a resultat de l'existència d'unes relacions d'intercanvi intenses, duradores i privilegiades amb els agents colonials semites (Garcia i Rubert *et al.*, 2004; Bea *et al.*, 2008; Garcia i Rubert i Gracia, 2011). Aquest conjunt de ceràmiques fenícies està compost majoritàriament per vasos destinats al transport i a l'emmagatzematge de productes manufacturats (àmfores, especialment T.10.1.2.1., *pithoi* i vasos tipus *Cruz del Negro*), però també s'han recuperat elements de vaixel·la (amb diversos formats de plats, bols i gerres) i vasos-trípode.

Una lectura en clau sociopolítica de les estructures arquitectòniques i del conjunt moble ha portat a interpretar l'assentament de Sant Jaume com una residència fortificada o petita ciutadella, seu d'un poder polític d'àmbit local, amb un cert abast territorial en el marc de les terres regades pel curs baix del riu Sénia. Així doncs, des de Sant Jaume es controlarien diversos assentaments propers, entre els quals caldria incloure la Moleta del Remei (Alcanar, Montsià), la Ferradura (Ulldecona, Montsià), la Cogula (Ulldecona,



Fig. 2. Planta general del jaciment de Sant Jaume.

Montsià) i, possiblement també, el Castell d’Ulldecona (fig. 1). Aquests assentaments, amb funcions específiques i diferenciades, funcionarien de manera coordinada, conformant una mateixa entitat política i social de caràcter polinuclear, que denominem Complex Sant Jaume (Garcia i Rubert, 2005, 2011; Bea *et al.*, 2008). Cal assenyalar que aquesta entitat presenta trets formals derivats d’un sistema d’integració socioeconòmic notablement jerarquitzat per al que és habitual en aquest context cronocultural.

En aquest article presentem el primer estudi arqueomètric sobre la ceràmica fabricada a mà procedent de l’assentament protohistòric de Sant Jaume, realitzat amb una primera mostra del nombrós conjunt de peces ceràmiques recuperades. Partint dels estudis anteriors, basats en la descripció morfològica i en la interpretació funcional d’aquests vasos ceràmics (Garcia i Rubert, 2005; Garcia i Rubert i Moreno, 2009), l’aplicació de tècniques d’anàlisi fisicoquímiques ens permetrà investigar aspectes propis dels processos tècnics de producció i de la seva provenença. Cal tenir present que, fins avui, per a aquesta època i

àrea geogràfica, no s'ha localitzat cap taller o estructura de combustió que es pugui interpretar com a indici arqueològic de producció ceràmica. Aquesta circumstància dificulta, en certa manera, la interpretació sobre la seva provinença, ja que no disposem de cap coneixement arqueològic sobre l'estructura de producció de la ceràmica indígena, i ha propiciat que en general es parteixi sempre de la hipòtesi que les ceràmiques a mà d'aquests contextos del primer ferro són produccions d'àmbit local, realitzades per les mateixes comunitats a fi de cobrir les seves pròpies necessitats. Davant d'aquesta situació, la mostra estudiada, per bé que restringida, representa una primera aproximació a la contrastació d'aquesta hipòtesi arqueològica àmpliament sostinguda que assumeix com a local la ceràmica a mà, especialment en contraposició a la ceràmica a torn, clarament importada en els contextos ara en estudi. Aconseguir unes dades que permetin confirmar el seu origen o, per contra, l'existència d'una multiplicitat de produccions que poden haver participat de diverses xarxes d'intercanvis, és un objectiu important en l'estudi del primer ferro. Com es veurà a continuació, els resultats de l'estudi per fluorescència de raig X (FRX), difracció de raig X (DRX) i microscòpia electrònica de rastreig (MER) permeten veure, malgrat les limitacions de la mostra estudiada, que la provinença presenta una gran complexitat anteriorment no esperada, mentre que el que sí que es comparteix és una mateixa tècnica de producció.

## El conjunt ceràmic

Com s'ha dit, la ceràmica fabricada a mà procedent del jaciment de Sant Jaume s'emmarca en la tradició formal de la ceràmica indígena pròpia del bronze final-primer ferro del nord-est peninsular i respon en gran mesura als tipus formals més comuns d'aquest període i zona. Així, el tipus ceràmic de vas de perfil en essa, junt amb els perfils que se'n deriven (habitualment de caràcter més globular), són els més característics del període, són també els tipus majoritaris en el jaciment i es troben representats en vasos de diversa mida. A més, els plats-tapadores, les tasses o els vasets globulars, que són tipus especialment abundants, encara que no exclusius, en contextos de necròpolis del bronze final i del primer ferro de Catalunya i territoris immediats, són també força nombrosos en el nostre cas. Un altre tret que podríem considerar característic de la primera edat del ferro del nord-est peninsular, i que també és present en el repertori del nostre jaciment, és l'aplicació de peus anulars aixecats en plats, vasos de perfil en essa, vasets globulars, etc.

Amb tot, a Sant Jaume s'han documentat també altres vasos tipològicament singulars; és a dir, no representatius cronoculturalment parlant. És el cas, entre d'altres, de la *clepsidra*, la pàtera i el plat-bol amb suport cilíndric. Ens trobem, doncs, davant d'un conjunt ceràmic realitzat a mà que presenta una important variabilitat tipològica; amb un total de 14 tipus ceràmics diferents definits fins al moment, en funció de les seves formes i mides (fig. 3): vas de perfil en essa (de diverses mides), gibrell, plat, plat-tapadora, tapadora, plat amb peu alt, plat-bol, plat-bol amb suport cilíndric, bol, vaset globular, tassa, got, pàtera i

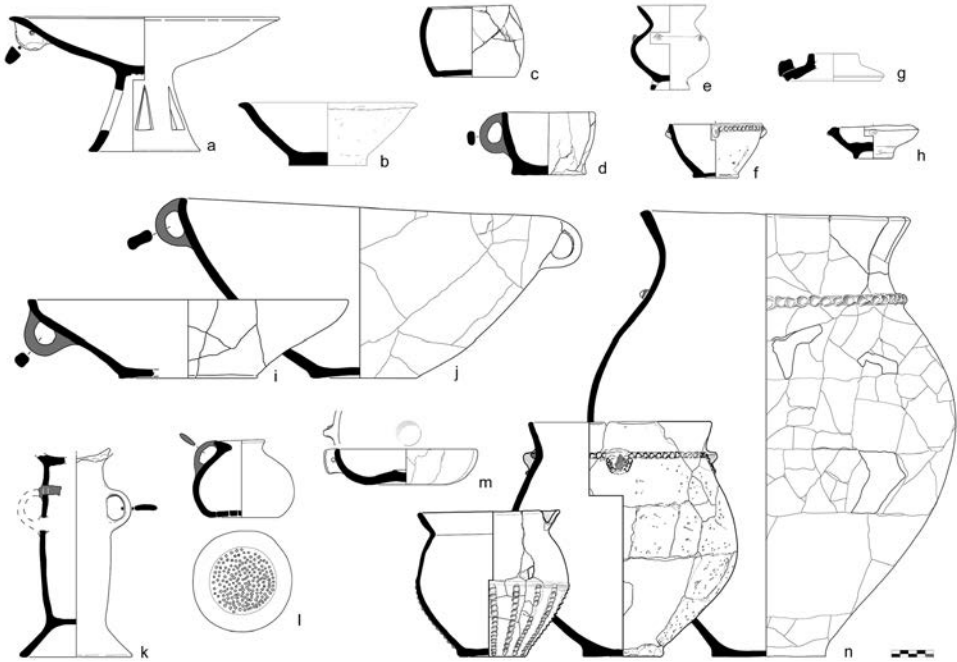


Fig. 3. Quadre tipològic de la ceràmica a mà de Sant Jaume: a) Plat amb peu alt, b) Plat-bol, c) Got, d) Tassa, e) Vaset globular, f) Bol, g) Tapadora, h) Plat, i) Plat-tapadora, j) Gibrell, k) Plat-bol amb suport cilíndric, l) *Clepsidra*, m) Pàtera, n) Vasos de perfil en essa (Dibuixos de R. Álvarez).

*clepsidra*. Cal assenyalar el fet que aquests tipus ceràmics no apareixen representats amb la mateixa freqüència. Mentre que els vasos de perfil en essa estan altament representats, de tipus com la *clepsidra*, la pàtera, el plat-bol amb suport cilíndric, el petit plat i la tapadora només disposem d'un únic exemplar.

La majoria d'aquests vasos ceràmics procedeixen dels pisos superiors dels diversos àmbits del sector 1/nord, els quals funcionarien com a magatzems. Tenint en compte aquest aspecte, cal entendre que gran part dels vasos ceràmics, especialment els de perfil en essa de dimensions mitjanes i grans, complien essencialment funcions d'emmagatzematge de productes diversos; per tant, foren desats dins d'aquests espais en funció del seu contingut. No obstant això, la funcionalitat d'una altra part d'aquests vasos estaria relacionada amb la manipulació, la presentació, el servei i/o el consum de menjar o beguda; és a dir, es tractaria d'elements de vaixel·la. Així doncs, aquests tipus de vasos es troben desats en aquests pisos superiors pel que són, en funció de la seva naturalesa i la seva qualitat, per a ser utilitzats en contextos de banquets singulars, de caràcter no domèstic.

Cal anotar que molts vasos han pogut ser restituïts gairebé íntegrament. Tot plegat ha portat a pensar que els elements documentats al llarg de la seqüència estratigràfica són

un reflex pràcticament literal del contingut dels diversos àmbits en el moment precís de l'incendi que va destruir l'assentament, sense pèrdues significatives degudes a processos postdeposicionals (tret de l'àmbit A1). A part d'aquests vasos conservats pràcticament íntegres, s'ha recuperat també un cert nombre de fragments, generalment de mida petita i aïllats, que pertanyen a diverses peces molt parcialment conservades, clarament diferenciades del conjunt anterior, i que s'interpreten bé com a elements residuals, que haurien restat en l'interior dels àmbits com a conseqüència d'una retirada no excessivament acurada dels vasos trencats al llarg del temps, bé com a fragments conservats voluntàriament per a un possible ús alternatiu (Garcia i Rubert *et al.*, 2004).

## Mostreig i rutina analítica

Per a la realització d'aquest estudi s'han mostrejat de manera aleatòria 14 individus (taula 1, fig. 4), tot i que d'un mateix individu s'han agafat dos fragments (MOS031 i MOS055). Que d'un mateix individu s'hagin agafat dues mostres és un fet intencional per a poder tenir una avaluació de la variabilitat existent en un sol individu d'aquestes produccions grolleres i que són, per tant, força heterogènies. D'aquesta manera s'obté una estimació de la influència que pot comportar la variabilitat introduïda pel mostreig dels individus estudiats.

Els individus mostrejats inclouen elements de taula i d'emmagatzematge, així com algunes peces més singulars, tots manufacturats a mà. Concretament se n'han analitzat nou fragments informes, cinc fragments de vora i un fragment de base, els quals tipològicament corresponen a tres plats amb peu alt, quatre vasos de perfil en essa, dos gibrells, un plat-tapadora, una tapadora, una tassa, un bol i un vas indeterminat. El mostreig realitzat no pressuposa cap preeminència dels diferents individus existents en el registre arqueològic, presentin un estat de preservació amb una major o menor integritat (fins i tot, si es tracten de simples fragments informes aïllats). Especialment, en el cas de Sant Jaume, es pot suposar que alguns dels vasos representats per fragments informes aïllats poden correspondre a les produccions ceràmiques anteriors al moment d'abandonament del jaciment. Així, el mostreig aleatori de tots els vasos existents en el registre arqueològic garanteix que totes les possibles produccions en el jaciment puguin ser mostrejades, cosa que és una condició indispensable per a poder obtenir una mostra que permeti contrastar l'assumpció arqueològica d'una producció únicament local de la ceràmica a mà.

Algunes de les peces caracteritzades han estat descrites detalladament en publicacions anteriors. En concret, una descripció acurada del gibrell MOS035, la tapadora MOS058 i els plats amb peu alt MOS031-055 i MOS036 ha estat ja publicada per Garcia i Rubert i Moreno (2009).

Els 14 individus procedeixen de diferents unitats estratigràfiques d'espais ubicats al sector 1/nord del jaciment de Sant Jaume: àmbit 3 (A3), àmbit 4 (A4), passadís 1 (C1)



**Taula 1.** Inventari d'individus estudiats i tècniques analítiques aplicades

Individu-fragment	Sigla de fragment	Sigla de peça	Descripció arqueològica	Àmbit	UE	FRX-DRX	MER
MOS004	-	SJ01-1018-1232	Fragment informe d'un vas de perfil en essa	A3	UE1018	X	
MOS018	SJ01-1018-1358	SJ01-1018-1348	Fragment informe d'una tassa	A3	UE1018	X	
MOS031	SJ00-1004-1585	SJ01-1001-15	Fragment informe d'un plat amb peu alt (també MOS055)	A4	UE1004	X	
MOS035	SJ02-1004e-684	SJ00-1004-908	Fragment de vora d'un gibrell	A4	UE1004e	X	
MOS036	SJ00-1004-3700	SJ00-1004-1112	Fragment informe d'un plat amb peu alt	A4	UE1004	X	
MOS041	SJ00-1003-778	SJ00-1003-562	Fragment informe d'un plat-tapadora	A3	UE1003	X	
MOS042	SJ01-1018-2139	SJ01-1018-1751	Fragment informe d'un vas de perfil en essa	A3	UE1018	X	
MOS043	SJ01-1029-101	SJ01-1018-234B	Fragment informe d'un gibrell	C1	UE1029	X	
MOS044	SJ01-1022-6	-	Fragment de vora d'un vas de perfil en essa	C1	UE1022	X	
MOS046	SJ05-1079-281	-	Fragment informe, amb decoració, d'un vas indeterminat	A9	UE1079	X	X
MOS055	SJ00-1004-2508	SJ01-1001-15	Fragment informe (del peu) d'un plat amb peu alt (també MOS031)	A4	UE1004	X	X
MOS056	SJ01-1029-76	-	Fragment de vora d'un vas de perfil en essa	C1	UE1029	X	X
MOS057	SJ00-1004-1957	SJ00-1004-1913	Fragment de vora d'un bol	A4	UE1004	X	X
MOS058	SJ02-1004-646	SJ00-1004-1563	Fragment de vora d'una tapadora	A4	UE1004	X	X
MOS059	SJ05-1112-58/59	-	Fragments de base d'un plat amb peu alt calat	C1	UE1112	X	X

i àmbit 9 (A9) (taula 1, fig. 2). Una acurada descripció de les característiques estructurals de cadascun d'aquests edificis, així com de la seva seqüència estratigràfica, han estat publicades amb anterioritat (Garcia i Rubert, 2009; Garcia i Rubert i Moreno, 2009; López *et al.*, 2011). La major part de les peces ha estat recuperada en nivells d'amortització i d'enderroc dels pisos superiors dels diversos àmbits que conformen aquest sector, destinats a l'emmagatzematge d'elements mobles i matèries peribles. Cal esmentar que aquest tipus d'unitats estratigràfiques s'han localitzat tant a l'interior dels mateixos àmbits com en el passadís C1, com a resultat del procés d'enderroc.

En un primer moment, per a la descripció dels individus mostrejats, s'han observat les fractures fresques de tots els individus mitjançant una lupa binocular Olympus SZX10, amb una font d'il·luminació de llum freda Olympus KL 1500 LCD equipada amb filtre de llum

de dia i una càmera digital de microfotografia Olympus DP25, amb el software Cell'A. La lupa binocular està equipada amb un objectiu d'1X i oculars de 10X, amb un zoom continuat, amb posicions fixes, que permet fer observacions de 6,3X a 63X. Les observacions s'han estandarditzat a 10X, 25X i 50X.

Per a la seva caracterització arqueomètrica, mostres d'entre 10 i 15 g dels 14 individus han estat despreses de les capes superficials, i posteriorment polvoritzades i homogeneïtzades mitjançant un molí de boles amb cel·la de carbur de tungstè Spex Mixer model 8000. La composició química del material s'ha determinat per fluorescència de raigs X (FRX) a partir de la pols prèviament assecada en una estufa a 105 °C durant 12 h. Per a la determinació dels elements majors i menors, s'han fet preparacions de duplicats de perles de 30 mm de diàmetre, emprant-hi 0,3 g d'espècimen en fusió alcalina en dilució 1/20 amb 5,7 g de tetraborat de liti ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) i 5 mg de iodur de liti (LiI), per a controlar la tensió superficial de la perla. Aquesta barreja homogeneïtzada s'ha dipositat en un gresol de Pt-Au (95:5) i ha estat fosa en un forn d'inducció d'alta freqüència PANalytical Perl'X-3 a una temperatura màxima de 1125 °C. Per a la determinació dels elements traça i el sodi, s'han fet preparacions de pastilles a partir de 6 g de l'espècimen anteriorment preparat, sec i de mida de gra < 80 µm, barrejat amb 2 ml d'una solució de reïna sintètica n-butilmetacrilat (Elvacite 2044, en 20 % d'acetona). Aquesta barreja, homogeneïtzada manualment en un morter d'àngata fins a la sequedat i disposada sobre una base d'àcid bòric ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) en un recipient d'alumini de 40 mm de diàmetre, ha estat sotmesa a una pressió de 200 kN durant 60 s en una premsa Herzog. La quantificació s'ha realitzat amb els espectrofotòmetres Philips PW 2400 i Axios<sup>mAX</sup>-Advanced PANalytical, amb font d'excitació de Rh, amb la utilització d'una recta de calibratge configurada amb 56 patrons (estàndards geològics internacionals). Les interferències han estat preses en consideració i els efectes matrius han estat corregits amb el software PANalytical Pro-Trace per als elements traça. Així, s'han determinat els elements (expressats en % en pes d'òxids per majors i menors, en ppm en pes per traces):  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (com Fe total),  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. Igualment s'ha calculat la pèrdua al foc (PAF) a partir de calcinacions de 0,3 g d'espècimen sec a 950 °C durant 3 h. Les calcinacions s'han efectuat en una mufla Heraeus model M-110, fent-hi servir una rampa d'escalfament de 3,4 °C min<sup>-1</sup> i refredament lliure. La suma de les concentracions dels elements majors, menors i traces, junt amb la pèrdua al foc es troben en el rang 99-101 %. Una descripció detallada de les condicions analítiques, la precisió i l'exactitud ha estat ja publicada (Hein *et al.*, 2002).

La composició mineralògica d'aquests individus ha estat estudiada mitjançant la difracció de raigs X (DRX), emprant-hi aproximadament 1 g de la pols de l'espècimen prèviament preparat. Aquesta mesura s'ha efectuat mitjançant el mètode de pols, amb un difractòmetre de geometria Bragg-Brentano PANalytical X'Pert PRO MPD Alpha-1 (radi = 240 mm), treballant amb la radiació  $K\alpha$  del Cu ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ), amb un monocromador primari focalitzant de Ge (111) i una potència de treball de 45 kV, 40 mA. El difractòmetre té una finestra de divergència variable per a aconseguir una longitud irradiada en la direcció paral·lela al feix de raig-X de 10 mm, amb màscara en el feix incident

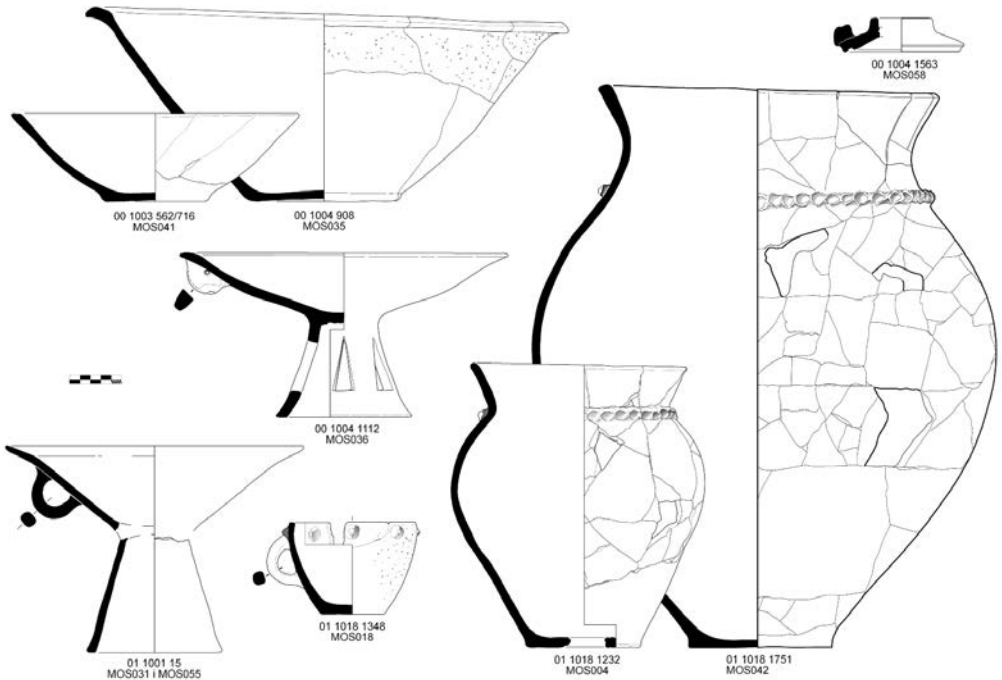


Fig. 4. Dibuixos d'algunes de les peces analitzades (Dibuixos de R. Álvarez).

que regula la longitud irradiada sobre la mostra en la direcció axial a 12 mm, així com amb un detector X'celerator amb longitud activa de 2,122°. Les mesures han estat realitzades de 4 a 70°2θ amb una mida de pas de 0,017°2θ i un temps de comptatge de 50 s per pas. Les fases cristal·lines presents en cada mostra analitzada han estat identificades i avaluades amb el paquet de programes DIFFRAC/AT de Siemens, que inclou el banc de dades de l'International Centre for Diffraction Data-Joint Committee of Powder Diffraction Standards, 2006 (ICDD-JCPDS).

A partir dels resultats de FRX i DRX, sis individus (taula 1) han estat seleccionats per al seu estudi per microscòpia electrònica de rastreig (MER) per a observar l'estadi de sinterització de la matriu argilosa i identificar-hi possibles fases secundàries. L'estudi s'ha fet amb un microscopi JEOL JSM-840, acoblat a un sistema de microanàlisi de raigs X per dispersió d'energies (EDX) INCA Energy 250 (Oxford Instruments). Les observacions s'han fet sobre fractures fresques transversals a la paret de les peces. Les mostres han estat adherides a un portamostres metàl·lic amb silicona, recoberta amb plata col·loïdal, i s'hi han fet conductores per deposició d'una capa de carboni en una atmosfera d'alt buit. El voltatge d'acceleració emprat és de 20 kV, la intensitat en el feix és d'1 nA i el temps de comptatge en la microanàlisi és de 100 s.

## Resultats i discussió de la caracterització química

Els resultats de l'anàlisi química realitzada per FRX, és a dir, les concentracions elementals determinades, corresponen a un cas especial de l'espai projectiu  $d+1$ -dimensional de punts projectius des de l'origen que són projectats en el simplex  $S^d$ . Així, els punts projectius estan representats per coordenades homogènies que tenen una suma constant  $k$  ( $k \in R_+$ ),

$$\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_d, x_{d+1}] \mid x_i \geq 0 \ (i = 1, \dots, d, d+1), \ x_1 + \dots + x_d + x_{d+1} = k,$$

(en aquest cas,  $k = 100$ ). L'espai vectorial dels punts projectius és l'ortant positiu,  $R_+^{d+1}$  i aquests punts projectius i les seves projeccions en el simplex segueixen un model multiplicatiu amb una mètrica d'interval·s logarítmics (Barceló-Vidal *et al.*, 2001; Aitchison, 2005; Buxeda, 2008). Degut a això, per al seu tractament estadístic, les dades obtingudes han estat transformades utilitzant la transformació ALR en logaritmes de raons, segons:

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \log\left(\frac{\mathbf{x}_d}{x_{d+1}}\right) \in R^d \quad (1)$$

on  $S^d$  és el simplex  $d$ -dimensional,  $\mathbf{x}_d = [x_1, \dots, x_d]$ , o la transformació CLR en logaritmes de raons centrats, segons:

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \log\left(\frac{\mathbf{x}_d}{x_{d+1}}\right) \in R^d \quad (2)$$

on  $S^d$  és el simplex  $d$ -dimensional i  $g(\mathbf{x})$  és la mitjana geomètrica de tots els  $d+1$  components de  $\mathbf{x}$  (Aitchison, 1986; Buxeda, 1999).

En el desenvolupament del tractament estadístic, els components W i Co no han estat considerats, degut a les possibles contaminacions derivades de l'ús del molí de boles, equipat amb cel·la de carbur de tungstè, emprat durant el procés de polvorització i homogeneïtzació dels espècimens. Igualment, els components Mo i Sn també han estat exclosos, ja que generalment en ceràmica presenten concentracions molt baixes, per sota dels seus límits de regressió; és a dir, són exclosos per indeterminacions i imprecisions analítiques. La pèrdua al foc (PAF) tampoc no s'ha pres en consideració en el tractament estadístic. Aquest valor engloba el total de l'aigua ( $H_2O$ ), grups hidroxils ( $(OH)^-$ ), matèria orgànica,  $CO_2$  i compostos volàtils continguts en la mostra analitzada. Donat que aquests elements es perden a mesura que augmenta la temperatura de cocció i que els diversos individus poden haver estat cuits a diferents temperatures, pot haver diferències en el valor de la PAF entre individus que pertanyin a una mateixa producció. Així doncs, com que en la projecció en el simplex tots els resultats acaben sumant 100 %, la disminució de la PAF, a mesura que augmenta la temperatura de cocció, implica un augment en la mateixa proporció de tots els altres components i produeix diferències en la composició química que només són degudes a diferències tècniques.

Amb la finalitat de quantificar la variabilitat continguda en el conjunt de dades composicionals, hem realitzat una matriu de variació composicional (MVC). Aquesta MVC, a més a més de permetre quantificar la variació total (vt) present a la matriu de dades, ens permet

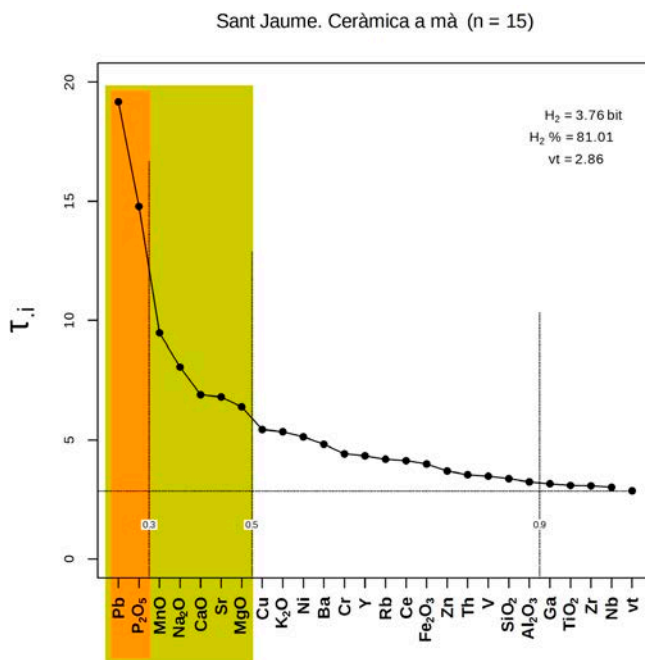


Fig. 5. Gràfic d'uniformitat composicional. vt: variació total.

també investigar l'origen d'aquesta variabilitat; és a dir, el grau de variabilitat introduït per cada element químic en el conjunt de dades. En aquest cas, la vt es pot considerar molt alta ( $vt = 2,860054$ ) i, per tant, mostra una composició química que correspondria a un conjunt poligenètic; és a dir, que inclouria materials d'origens diferents (Buxeda i Kilikoglou, 2003).

Aquesta variació composicional és deguda principalment a les variacions relatives dels components Pb ( $\tau_i = 19,171865$ ) i  $P_2O_5$  ( $\tau_i = 14,780938$ ) (fig. 5). Això ens està indicant que aquesta heterogeneïtat pot ser deguda, entre d'altres motius, a la presència d'alguna alteració i/o contaminació postdeposicional, ja que tant el Pb com el  $P_2O_5$  són elements que sovint participen d'aquests processos. En el cas del Pb, l'individu MOS041 presenta un valor de 723 ppm (taula 2), que és anormalment superior a la resta d'individus, per als quals els valors d'aquest element oscil·len entre 20 i 55 ppm. Aquest valor anormalment alt, que provoca aquesta alta variabilitat en el Pb, podria ser degut a un procés de contaminació per la proximitat d'aquest fragment ceràmic a un objecte de plom durant l'enterrament (Buxeda, 2010). Quant al  $P_2O_5$ , els individus MOS004, MOS046 i MOS042, presenten valors del 0.92 %, 0.43 % i 0.32 % respectivament, mentre que en la resta dels individus els valors d'aquest element oscil·len entre el 0.08 % i el 0.20 %. Altre cop, doncs, podem estar davant d'alguna alteració i/o contaminació postdeposicional d'aquests tres individus. Cal tenir present que els enriquiments en fòsfor per la presència de matèria orgànica en els medis de deposició són relativament comuns (Collomb i Maggetti, 1996;

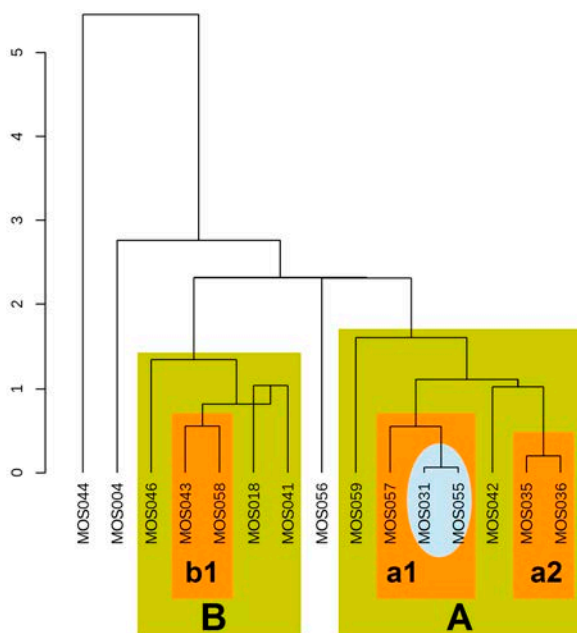
**Taula 2.** En valors normalitzats, mitjanes (x) i desviacions estàndard (s) de les tres agrupacions definides, així com els valors dels individus aïllats inclosos en la tendència A o B (identificats amb (A) o (B) després de l'etiqueta) i dels individus no inclosos en cap tendència (identificats amb [out] després de l'etiqueta). n: nombre d'individus de l'agrupació; ppm: parts per milió.

	a1		a2		MOS042	MOS059	b1		MOS018	MOS041	MOS046	MOS004	MOS044	MOS056
	(n = 2)		(n = 2)		(A)	(A)	(n = 2)		(B)	(B)	(B)	(out)	(out)	(out)
	x	s	x	s			x	s						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5.29	0.22	3.77	0.39	3.84	3.61	5.78	0.06	6.49	5.47	5.04	4.76	3.05	3.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	18.84	1.04	14.24	0.56	15.02	16.31	14.06	1.20	14.74	15.01	15.10	13.54	12.91	12.72
MnO (%)	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.08	0.05	0.04	0.04	0.01	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.17	0.03	0.12	0.03	0.32	0.08	0.11	0.00	0.08	0.08	0.43	0.92	0.13	0.10
TiO <sub>2</sub> (%)	0.70	0.04	0.52	0.01	0.56	0.54	0.58	0.05	0.66	0.63	0.63	0.53	0.51	0.50
MgO (%)	3.97	0.32	2.65	0.25	2.87	1.37	1.27	0.02	1.62	2.32	1.60	2.45	1.58	1.84
CaO (%)	18.96	3.99	37.81	0.97	35.25	31.69	39.66	4.64	35.63	36.10	38.89	38.20	49.51	48.73
Na <sub>2</sub> O (%)	0.42	0.07	0.31	0.06	0.33	0.38	0.26	0.00	0.36	0.33	0.14	1.33	0.52	0.30
K <sub>2</sub> O (%)	2.28	0.07	1.74	0.10	1.63	3.07	1.51	0.30	1.27	1.73	1.26	1.48	0.96	1.10
SiO <sub>2</sub> (%)	49.21	3.02	38.71	0.38	40.06	42.83	36.62	3.03	38.95	38.08	36.73	36.65	30.65	31.60
Ba (ppm)	292	50	270	1	313	367	281	111	310	231	483	283	233	148
Rb (ppm)	138	9	109	11	97	136	103	8	80	104	79	90	72	101
Th (ppm)	16	1	17	2	16	15	17	0	21	20	16	16	12	11
Nb (ppm)	20	1	16	1	16	15	19	1	19	20	19	17	23	16
Pb (ppm)	33	2	26	0	24	24	25	5	29	723	24	28	55	20
Zr (ppm)	175	9	141	1	140	142	167	14	158	160	160	157	208	118
Y (ppm)	25	2	21	0	22	15	15	2	13	21	22	13	26	23
Sr (ppm)	232	14	250	50	167	142	130	13	143	168	141	140	611	134
Ce (ppm)	66	9	56	3	38	53	61	1	71	102	52	52	78	30
Ga (ppm)	24	3	22	1	21	19	19	2	22	26	20	17	23	17
V (ppm)	99	8	66	3	71	72	98	4	100	84	88	74	120	73
Zn (ppm)	85	17	58	6	71	65	78	6	83	76	72	73	120	85
Cu (ppm)	18	1	14	0	12	14	22	5	14	26	18	20	14	38
Ni (ppm)	26	0	17	2	20	23	40	1	41	37	34	28	41	33
Cr (ppm)	73	6	49	5	53	51	47	1	47	50	53	48	127	51

Buxeda, 1999). Aquests enriquiments postdeposicionals són també freqüents en el cas del Cu, és per això que aquest component no ha estat tampoc pres en consideració en el posterior tractament estadístic. En tot cas, retornant a l'origen de la variació composicional, cal dir que a més de pel Pb i el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aquesta està també fortament influenciada per les variacions relatives dels components MnO, Na<sub>2</sub>O, CaO, Sr i MgO (fig. 5), mentre que, per contra, el Nb ( $\tau_i = 3,010834$ ) és l'element que menys variabilitat introdueix en el conjunt de dades i, per tant, és el que utilitzarem com a divisor en la transformació ALR (1).

Com a resum del tractament estadístic, presentem el dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupaments (AA), realitzat amb el programa estadístic R (R Core Team, 2012), emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algorisme aglomeratiu del centroid, sobre la subcom-

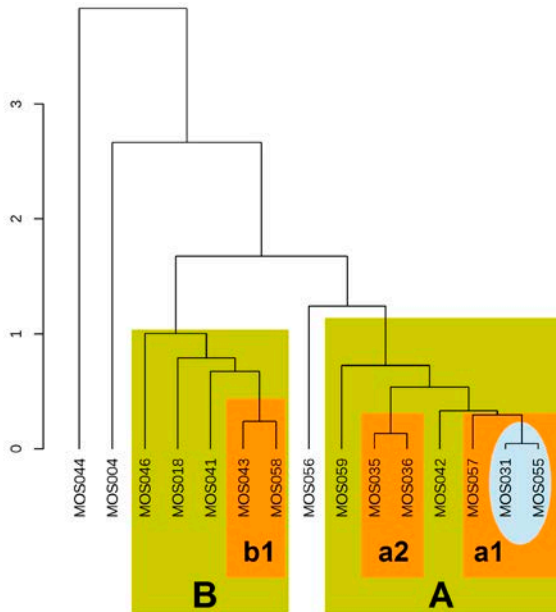
**Fig. 6.** Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Th, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, amb Nb com a divisor en la transformació ALR.



posició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Th, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, amb el Nb com a divisor en la transformació ALR (1) (fig. 6). En aquest gràfic s'observa la unió de tots els individus analitzats que es troben a la seva base. A partir d'un procés jeràrquic d'aglomeració, s'estableix la unió, per etapes, d'un individu amb un altre individu o amb un grup d'individus o bé d'un grup amb un altre grup, fins a l'obtenció d'un únic grup format per tots els individus analitzats. Com menor és la distància de la unió respecte a la base del gràfic, major és la similitud química entre els individus que s'uneixen.

En aquest punt és convenient destacar que les mostres MOS031 i MOS055, corresponents a un mateix individu, presenten la major similitud de totes les mostres analitzades, amb una unió pràcticament a la base del dendrograma. Aquest experiment, de doble anàlisi sobre un mateix individu, ens permet obtenir una estimació de la variabilitat en ceràmiques on la presència d'inclusions no plàstiques és molt elevada.

Si retornem a l'estudi del dendrograma (fig. 6), s'hi observa una important dispersió dels individus, que apunta un altre cop a un origen poligenètic; és a dir, a l'existència d'individus de diverses proveniències. No obstant això, aquesta gran heterogeneïtat i el baix nombre d'individus analitzats, s'observen dues grans tendències, que hem anomenat A i B, dins de les quals hem definit tres unitats de referència composicional de pasta (URCP), anomenades a1, a2 i b1, que correspondrien a tres grups químics diferents que poden indicar tres proveniències diferents. Els individus restants s'han d'interpretar com a representants, ells mateixos, d'altres sengles URCP (taula 2).



**Fig. 7.** Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament emprant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Rb, Th, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, amb Nb com a divisor en la transformació ALR.

En la tendència A, l'individu MOS057 s'uneix a una distància relativament pròxima a l'individu MOS031-055 i forma allò que hem anomenat grup a1; és a dir, es tracta de dues ceràmiques possiblement fetes amb la mateixa pasta i, per tant, provinents d'un mateix taller, ara per ara desconegut. Els individus d'aquest grup a1 es caracteritzen per tenir uns valors de CaO molt més baixos que la resta d'individus i els valors més alts en MgO, junt amb valors alts de Sr (taula 2). La URCP a2, està formada pels individus MOS035 i MOS036, els quals presenten també valors alts en MgO i Sr, però, a diferència de la URCP a1, els valors de CaO són elevats. En la tendència B, veiem també com succeeix el mateix amb els valors del CaO dels individus MOS043 i MOS058. Els individus d'aquesta agrupació, que hem anomenat b1, es caracteritzen, però, per presentar els valors més baixos en MgO i Sr i uns valors relativament alts en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (taula 2). Cal destacar que hi ha diversos individus que es fusionen a unes distàncies molt grans i que, per tant, presenten importants diferències químiques respecte la resta d'individus analitzats, alguns dels quals ni tan sols es poden classificar dins d'aquestes grans tendències (A i B). Destaca especialment l'individu MOS044, amb unes diferències químiques notables. Així doncs, cal pensar que ens trobem possiblement davant de ceràmiques manufactures en entorns geològics diferents.

Com es veurà més endavant, un dels trets que caracteritza el conjunt d'aquestes peces ceràmiques és la presència elevada d'inclusions no plàstiques de tipus calcari. Així, per tal d'evitar l'efecte que produeix la important presència d'aquestes inclusions, s'ha eliminat



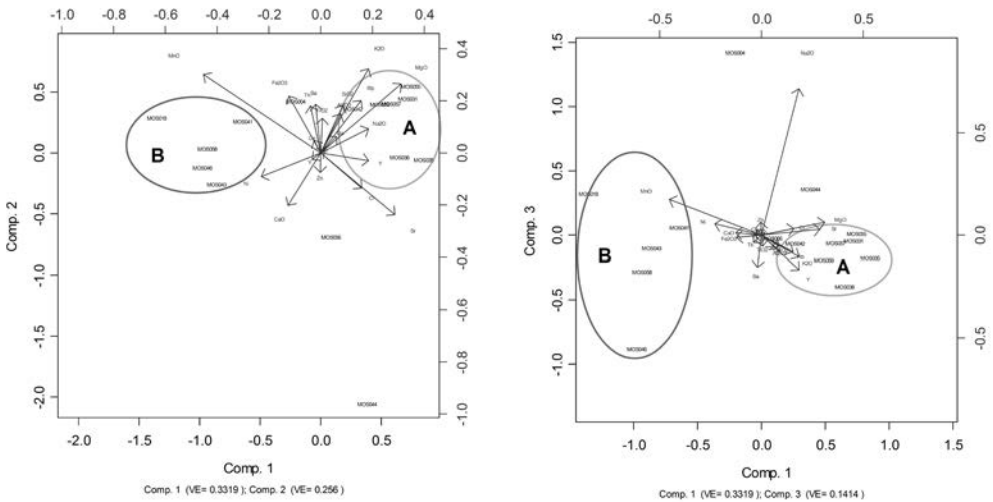


Fig. 8. Biplot de l'anàlisi de components principals. A l'esquerra, en abscisses, component principal 1 (Comp. 1), en ordenades, component principal 2 (Comp. 2). A la dreta, en abscisses, component principal 1 (Comp. 1); en ordenades, component principal 3 (Comp. 3). VE: variància explicada.

del tractament estadístic el CaO, així com el MgO, Sr i Ba, els quals es poden associar al CaO en una part significativa. Tot i això, en el dendrograma resultant (fig. 7) podem continuar observant l'existència d'una important dispersió entre els 14 individus analitzats, bo i que se'n conserva l'estructura en dues tendències i s'hi reconeixen les 3 URCP abans definides. Així doncs, es pot concloure que aquestes dues tendències (A i B) i les tres URCP (a1, a2 i b1), així com les altres composicions representades per un únic individu, existeixen més enllà de l'efecte de les inclusions no plàstiques de tipus calcari que puguin haver estat afegides com a desgreixador.

Si contrastem aquests resultats amb l'anàlisi de components principals (ACP), realitzada amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), sobre la mateixa subcomposició que en el dendrograma de la fig. 6, és a dir, sobre la matriu de variàncies-covariàncies de la subcomposició Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub>, Ba, Rb, Th, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, amb el Nb com a divisor en la transformació ALR (1) (fig. 8), podem observar la relació que mantenen les tendències A i B amb els diversos components. Aquesta anàlisi ens mostra com els tres primers components principals expliquen el 72,94 % de la variabilitat, mentre que els cinc primers n'expliquen el 88,69 %.

El biplot del primer i del segon component principal (fig. 8, esquerra), que explica el 58,79 % de la variància, permet veure l'oposició entre les tendències A i B, àmpliament lligades a l'existència de valors relatius alts de MgO i baixos de MnO a la tendència A. A més, s'hi observa la posició singular de l'individu MOS044 pel seu valor relatiu anormalment alt de Sr. En el cas del biplot del primer i el tercer component principal (fig. 8, dreta),

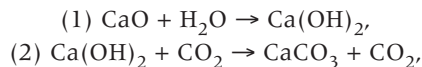
que explica el 47,33 % de la variància, s'hi observa com la tendència A es relaciona també amb valors relatius alts de Sr i la posició singular de l'individu MOS004 pel seu contingut relatiu anormalment alt de Na<sub>2</sub>O. En general, s'hi observa una estructura complexa lligada a un nombre elevat d'elements que presenten diferències significatives en pràcticament tots els individus, cosa que evidencia que pot correspondre a una important multiplicitat de produccions i proveniències. Cal remarcar també que hi ha diferències significatives en els continguts de MgO i Sr amb relació als continguts de CaO. Aquest fet permet plantejar la hipòtesi que les inclusions no plàstiques calcàries presentin diferències en la seva formació i/o diagènesi que calgui relacionar amb una proveniència respecte de formacions geològiques diferents (Lippmann, 1973; Banner, 1995).

## Resultats i discussió de la caracterització mineralògica i microestructural

Els resultats de la caracterització química han mostrat com les URCP a2 i b1 i la resta d'individus aïllats de Sant Jaume corresponen a ceràmiques definides tècnicament com a altament calcàries (CaO > 15-20 %), mentre que la URCP a1 correspon a ceràmiques calcàries (5-6 % < CaO < 15-20 %) (taula 2). Distingir entre ceràmiques poc calcàries (CaO < 5-6 %), calcàries i altament calcàries és una de les consideracions bàsiques pel que fa a la tècnica ceràmica. Normalment els alts continguts de CaO són deguts a una presència important de calcita, que a altes temperatures es descompon, segons:



Aquesta descomposició afavoreix, d'una banda, la cristallització de calcosilicats i calcoaluminosilicats d'alta temperatura per la reacció del CaO lliure amb els components del cos ceràmic i, d'altra banda, l'aparició de CO<sub>2</sub> que provocarà la formació d'una microestructura cel·lular característica. Per contra, les ceràmiques poc calcàries presenten un menor desenvolupament de fases d'alta temperatura i la seva microestructura és sempre més densa, amb una més ràpida formació de la fase vítria. Amb tot, en les ceràmiques calcàries, si al final de la cocció hi ha un excés de CaO lliure que no hagi reaccionat amb altres elements del cos ceràmic, aquest excés pot comportar la destrucció de la ceràmica, ja que aquest CaO lliure es recarbonatarà en dos passos:



procés que implicarà un augment en 2,5 vegades del volum original del CaO i que afavorirà l'aparició de tensions que fracturarien la ceràmica completament. Per aquest motiu, les ceràmiques altament calcàries, per a les quals l'aparició d'un excés de CaO lliure és altament probable, es couen generalment a baixes temperatures, per a impedir aquesta

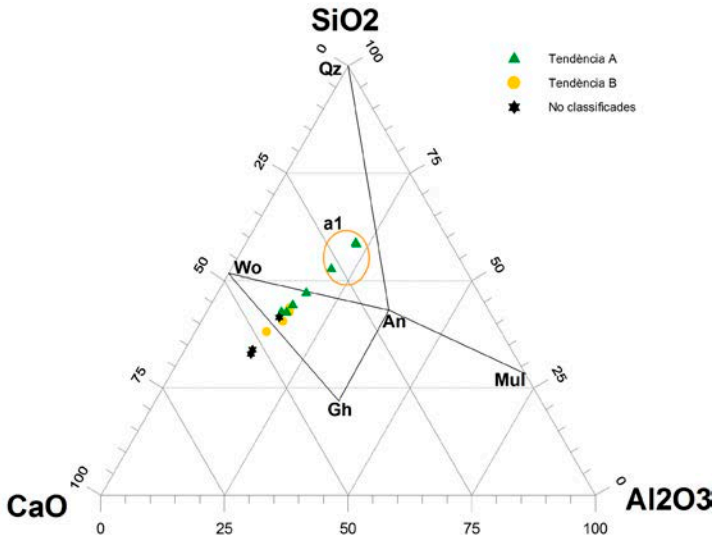


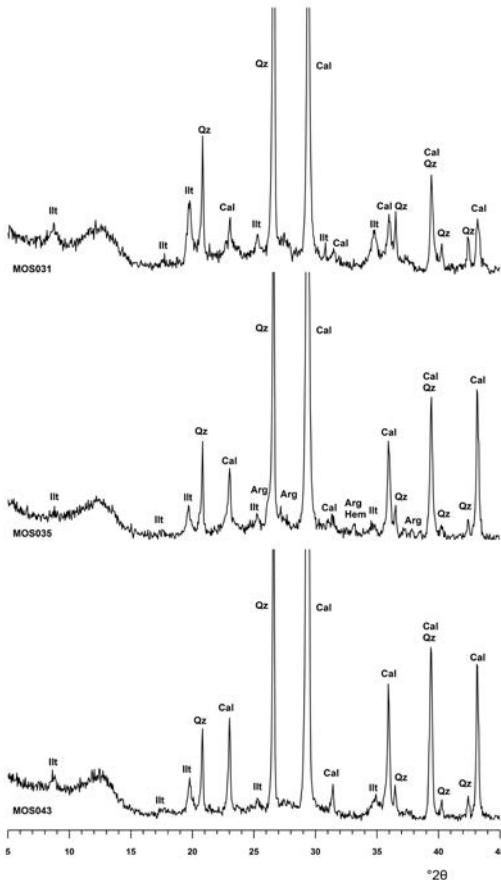
Fig. 9. Diagrama ternari del sistema SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO. An: anortita (Ca[Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]); Gh: gehlenita (Ca<sub>2</sub>Al(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>); Mul: mul-lita (Al<sub>6</sub>[Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>]); Qz: quars (SiO<sub>2</sub>); Wo: wol-lastonita (CaSiO<sub>3</sub>). Abreviatures, segons Whitney i Evans, 2010.

dissociació de la calcita primària (Picon, 1973; Rye, 1976; Maniatis *et al.*, 1981, 1983; Tite *et al.*, 1982; Buxeda i Cau, 1997).

Mineralògicament, la situació dels individus de la URCP a1 en el diagrama ternari del sistema SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO (fig. 9) es troba en el triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-wol-lastonita, que caracteritza les ceràmiques calcàries, mentre que la resta es troba en el triangle d'equilibri termodinàmic wol-lastonita-anortita-gehlenita o, en el cas dels individus MOS043, MOS044 i MOS056, per sota d'aquest triangle, ja que presenten valors de CaO molt més elevats. Així doncs, com a primera aproximació, caldria esperar que aquestes fases dels triangles d'equilibri termodinàmic fossin les predominants a mesura que les temperatures de cocció augmenten (Heimann, 1989).

Quant a l'anàlisi per DRX, els difractograms de la URCP a1, de ceràmiques calcàries, mostren un predomini dels pics de quars, amb una presència notable de calcita, així com de fil·losilcats (il·lita-moscovita) (fig. 10, superior). En la resta d'individus, altament calcaris, s'observa el predomini dels pics de calcita. En el cas de la URCP a2 s'observa també la presència d'un segon carbonat com és l'aragonita (CaCO<sub>3</sub>), junt amb la il·lita-moscovita, el quars i, possiblement, l'hematites (fig. 10, centre). En el cas de la URCP b1, així com de la resta d'individus, només s'hi observa la presència majoritària de calcita junt amb el quars i la il·lita-moscovita (fig. 10, inferior).

En els difractograms d'aquestes ceràmiques, doncs, només s'hi observen fases primàries; sense que s'hi aprecii cap d'alta temperatura propiciada per la descomposició dels carbonats (Maggetti, 1981). Aquests indicis ens permeten inferir una temperatura de cocció



**Fig. 10.** Difractogrames de raigs X. Superior: individu MOS031, representant de la URCP a1. Centre: MOS035, representant de la URCP a2. Inferior: MOS043, representant de la URCP b1. Arg: aragonita; Cal: calcita; Hem: hematites; Ilit: il·lita-moscovita; Qz: quars. Abreviatures, segons Whitney i Evans (2010).

equivalent (TCE) estimada per tots aquests individus inferior als 750 °C, i probablement al voltant d'uns 600-700 °C.

L'estudi per MER permet observar en tots els casos l'estructura laminar de les argiles sense indicis de sinterització, fet que permet estimar un estadi de no vitrificació de la matriu que correspon a una temperatura de cocció equivalent (TCE) inferior als 750 °C (fig. 11, a). Únicament en la matriu dels individus MOS046 i MOS058 (fig. 11, b) s'observa en alguns punts una vitrificació inicial, amb un inici de sinterització de les làmines d'argiles, així com indicis de reacció en la superfície de les inclusions no plàstiques. Aquest estadi de vitrificació inicial ens permet estimar una temperatura de cocció equivalent (TCE) lleugerament superior, en al rang dels 750-800 °C, que cal considerar igualment baixa; és a dir, inferior a la necessària per a una descomposició total de la calcita.

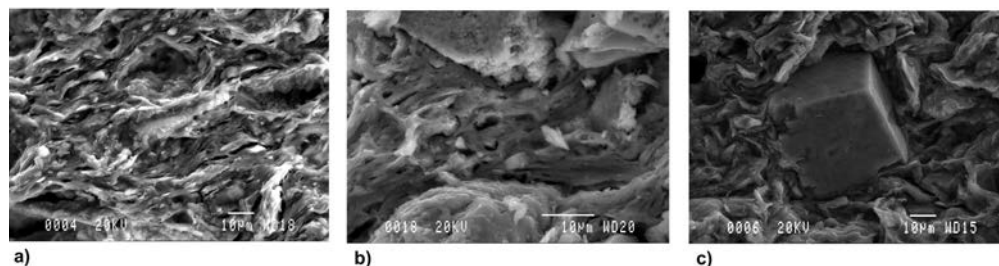


Fig. 11. Microfotografies per MER. a) Microestructura no vitrificada de l'individu MOS055 de la URCP a1, b) Microestructura amb vitrificació inicial de l'individu MOS058 de la URCP b1, c) Detall de romboedre euhèdric de calcita espàtica de l'individu MOS057 de la URCP a1. L'escala gràfica correspon a 10 µm.

A banda de la matriu, l'estudi per MER ha permès confirmar les observacions fetes amb lupa binocular, junt als indicis de la composició química, sobre les inclusions no plàstiques. Tots els individus estudiats presenten una gran quantitat d'inclusions no plàstiques, que la microanàlisi permet confirmar com  $\text{CaCO}_3$ . La seva morfologia correspon en molts casos, i en tots els individus, a cristalls euhèdrics de romboèdres, que es poden interpretar com el resultat de la trituració mecànica de calcita espàtica per a ser afegida com a desgreixador (fig. 11, c).

Cal destacar que, tot i les petites diferències mineralògiques i microestructurals observades entre alguns dels individus, tots comparteixen una mateixa tècnica de producció, indiferentment del fet que puguin correspondre a províncies diverses. Es tracta en tots els casos de ceràmiques altament calcàries, desgreixades amb calcita espàtica (triturada mecànicament i afegida pels ceramistes) i cuites, obligadament, a baixa temperatura. Aquest és el cas, fins i tot, de la URCP a1, que no correspon en principi a ceràmiques altament calcàries, però que, malgrat tot, incorpora el mateix desgreixador i aplica les mateixes coccions a baixa temperatura. Curiosament, les ceràmiques d'aquesta agrupació es defineixen tècnicament com a ceràmiques calcàries, perquè el ceramista hi va emprar un percentatge de desgreixador inferior a l'habitual, tot i que finalment en el procés de fabricació va mantenir el comportament necessari per a fer ceràmiques altament calcàries.

L'ús de desgreixador de calcita en ceràmiques altament calcàries és força conegut en diferents llocs i cronologies, però, en concret, i per al que aquí ens interessa, és present al Llevant peninsular, des del sud d'Alacant fins al Llobregat, durant l'edat del bronze i fins al primer ferro (Clop, 2007, 2008). Aquesta perduració fins al primer ferro és important de destacar, ja que algun cop s'ha interpretat que el seu ús podria desaparèixer en aquesta zona del Llevant a la fi del bronze, quan la seva utilització durant el primer ferro està clarament testimoniada al sud d'Alacant i a tota l'àrea del sud de Catalunya (Boix *et al.*, 1995; Clausell *et al.*, 1998; Espí, 2000; Buxeda, 2001, 2007; Buxeda i Madrid, 2011). Igualment, a les Balears també se n'inicia l'ús durant el bronze, clarament en el bronze

mitjà, i continua durant el primer ferro (Albero, 2008). La seva forma més característica és la de rombòedres de calcita espàtica; les seves formes geomètriques denoten que provenen de pràctiques de trituració mecànica de la roca original.

## Conclusions

Com s'ha vist, els resultats obtinguts en el present estudi permeten posar en dubte la visió que les produccions a mà d'aquest període corresponen a produccions locals. La ceràmica a mà de Sant Jaume presenta una alta variabilitat química, que cal relacionar amb l'existència d'una important diversitat de provinences; és a dir, amb la presència de diverses produccions d'orígens diferents.

En concret, s'ha proposat l'existència de tres agrupacions; dues de les quals, a1 (MOS057 i MOS031-055) i a2 (MOS035 i MOS036), formen part d'una tendència A més àmplia, que inclou dos altres individus (MOS042 i MOS059). Tot i que aquesta tendència s'identifica per les similituds en les composicions químiques, cal partir de la hipòtesi que hi pot haver representades fins a quatre produccions diferenciades. Morfològicament parlant, en aquesta tendència A hi ha representats els tres plats amb peu alt inclosos en la mostra caracteritzada, si bé en tres agrupacions diferents (MOS031-055, d'a1; MOS036, d'a2; i MOS059, individu aïllat). Els altres individus corresponen a tipologies diverses: un bol (MOS057, agrupació a1), un gibrell (MOS035, agrupació a2) i un vas de perfil en essa (MOS042, individu aïllat).

La tercera agrupació, b1 (MOS043 i MOS058), s'inclou dins de la tendència B, junt amb tres altres individus aïllats (MOS046, MOS018 i MOS041). Com en el cas de la tendència A, tot i que hi ha algunes similituds en la composició química, aquesta tendència pot incloure hipotèticament fins a quatre produccions diferenciades. Des del punt de vista tipològic, l'agrupació b1 inclou un gibrell (MOS043) i una tapadora (MOS058), mentre que els tres individus aïllats representen tres tipus diferents: un vas indeterminat amb decoració (MOS046), una tassa (MOS018) i un plat-tapadora (MOS041).

Hi ha tres individus aïllats que corresponen igualment a tres noves produccions diferenciades i que, d'aquesta manera, completen les 11 possibles produccions diferents que es troben en aquesta mostra analitzada de Sant Jaume i que reflecteix una àmplia diversitat de provinences diferenciades. Des del punt de vista tipològic, aquests vasos corresponen a vasos de perfil en essa (MOS004, MOS044 i MOS056).

Aquesta diversitat de produccions entra en conflicte amb la hipòtesi d'un origen local, si per tal cosa s'interpreta que la ceràmica a mà es fabricava al mateix jaciment de Sant Jaume. Al contrari, els resultats semblen suggerir que la ceràmica a mà formava part d'una complexa xarxa de distribució, possiblement a escala regional, o fins i tot més àmplia i que inclouria diversos orígens. Amb tot, la inexistència de tallers coneguts i la utilització de la mateixa tècnica de producció dificulta proposar aquestes provinences, però el fet que

aquesta tècnica de producció es doni en una àmplia zona del Llevant peninsular apunta un marc ideal per a l'existència de complexos xarxes per a la circulació d'aquestes ceràmiques fabricades a mà.

Finalment, i des del punt de vista de la tècnica de producció, el conjunt d'individus analitzats no presenta diferències, sinó que segueix, com dèiem, una única tradició tècnica de producció, present en aquest Llevant peninsular durant el primer ferro i que constitueix una important tradició en la fabricació ceràmica. Aquesta tècnica es caracteritza pel fet de presentar una gran quantitat d'inclusions no plàstiques de tipus calcari, típicament calcita espàtica, amb uns fragments angulosos, translúcids o transparents i de dimensions relativament grans. Aquest mineral hauria estat molturat i afegit pel ceramista a la pasta, que adquiriria així, majoritàriament, un caràcter altament calcari. Conseqüentment, aquestes ceràmiques haurien de ser cuites a baixes temperatures (entorn als 700 °C), per a evitar la dissociació de carbonats que podrien significar la destrucció d'aquests vasos per la recarbonatació del CaO lliure un cop finalitzada la cocció. És important destacar que en l'agrupació a1, malgrat que presenta un nombre molt menor d'aquestes inclusions i un caràcter calcari (i no altament calcari), la temperatura de cocció equivalent s'ha mantingut baixa. Aquest fet reforça la interpretació que ens trobem davant d'una tradició tècnica, que va fins i tot més enllà del fet que la pasta en qüestió s'hagués pogut coure de manera diferent, a temperatures més elevades.

Aquesta única tècnica és, a més, utilitzada en la fabricació de tots els tipus ceràmics analitzats (vasos de perfil en essa, gibrells, tasses, bols, plats amb peu alt, etc.). D'aquest fet es desprèn que, a diferència del que passa en altres períodes, els ceramistes no opten per diferents eleccions tècniques, almenys pel que fa a les inclusions no plàstiques, en funció del producte final i de l'ús al qual estigui destinat. Fins i tot, cal assenyalar que els vasos ceràmics realitzats amb aquest tipus de tècnica són especialment aptes per a ser emprats a la cuina, ja que aquestes inclusions no plàstiques eviten la propagació de les fractures causades pel xoc tèrmic (Rye, 1976). No obstant això, les ceràmiques recuperades al jaciment de Sant Jaume, en funció de la seva tipologia, no semblen estar destinades a aquesta funció, i es reforça encara més la idea d'una tradició tècnica àmpliament compartida en una part important del Llevant peninsular durant el primer ferro.

Així doncs, a tall de resum, podem dir que de l'estudi dels materials de Sant Jaume es desprèn la identificació d'una tradició tècnica i la possible existència d'una complexa xarxa regional de circulació de ceràmica fabricada a mà, tot i que cal encara fer nous estudis tant per a tractar d'identificar aquestes possibles xarxes, com per a poder proposar orígens a aquestes produccions, més encara davant l'absència de restes arqueològiques que indiquin els llocs on es podien produir. Amb tot, les noves preguntes semblen deixar pas a una hipòtesi molt allunyada del simple esquema que igualava necessàriament la ceràmica a mà del primer ferro amb una ceràmica de producció estrictament local.

## Agraïments

Aquest article és resultat del projecte de recerca dut a terme per C. Puig Barrachina com a Treball de Fi de Màster en Arqueologia de la Universitat de Barcelona, titulat *Estudi arqueològic i caracterització arqueomètrica de la ceràmica a mà del jaciment del primer ferro de Sant Jaume-Mas d'en Serrà (Alcanar, Montsià)*. L'autora vol agrair als directors d'aquest estudi, el Dr. D. Garcia i Rubert i el Dr. J. Buxeda i Garrigós, així com als membres del tribunal, el Dr. F. Gracia Alonso, la Dra. M. Madrid i Fernández i el Dr. F. J. López Cachero, membres de la Universitat de Barcelona, les seves respectives aportacions al treball. L'article s'emmarca en el projecte HAR2008-04663/HIST del GRAP, finançat pel Ministeri de Ciència i Innovació i en el SGR2009-243 de la Generalitat de Catalunya. És també parcialment deutor dels ajuts econòmics atorgats per a la realització dels treballs d'excavació de l'assentament de Sant Jaume pel Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya i per l'Ajuntament d'Alcanar. C. Puig Barrachina és becària del programa de formació de personal investigador (FI-DGR) de la Generalitat de Catalunya. Les anàlisis s'han realitzat als centres científics i tecnològics de la Universitat de Barcelona (CCiTUB).

## Bibliografia

AITCHISON, J., 1986, *The Statistical Analysis of Compositional Data*, Chapman & Hall, Londres.

AITCHISON, J., 2005, *A concise guide to compositional data analysis*. 2<sup>nd</sup> Compositional Data Analysis Workshop – CoDaWork'05, Universitat de Girona, Girona.

ALBERO SANTACREU, D., 2008, La calcita como desgrasante añadido en cerámicas arqueológicas prehistóricas: estado de la cuestión, a OrJIA (coord.), *Actas de las I Jornadas de Jóvenes en Investigación Arqueológica: dialogando con la cultura material, 3-5 septiembre 2008*, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 93-100.

ARMADA, X. L., GARCIA i RUBERT, D., MONTERO, I., MORENO, I., RAFEL, N. i ROVIRA, M.C., 2005, Minería y metalurgia durante la I Edad del Hierro. Procesos de cambio en el sur de Catalunya, *Revista d'Arqueologia de Ponent* 15, 133-150.

BANNER, J.L., 1995, Application of the trace element and isotope geochemistry of strontium to studies of carbonate diagenesis, *Sedimentology* 42, 805-824.

BARCELÓ-VIDAL, C., MARTÍN-FERNÁNDEZ, J. i PAWLOWSKY-GLAHN, V., 2001, Mathematical foundations of compositional data analysis, a G. ROSS (ed.), *Proceedings of IAMG'01 - The annual meeting of the International Association for Mathematical Geology, 6-12 September 2001*, Cancun, Mèxic, 1-20.

BEA, D., DILOLI, J., GARCIA i RUBERT, D., GRACIA, F., MORENO, I., RAFEL, N. i SARDÀ, S., 2008, Contacte i interacció entre indígenes i fenicis a les terres de l'Ebre i del Sénia durant la primera edat del ferro, a D. GARCIA i RUBERT, I. MORENO i F. GRACIA (coords.), *Contactes. Indígenes i fenicis a la Mediterrània occidental entre els segles VIII i VI a.n.e.*, Simposi d'Arqueologia d'Alcanar,



24-26 novembre 2006, GRAP, Universitat de Barcelona i Ajuntament d'Alcanar, Barcelona, 135-169.

BOIX, A., CLAUSELL, G., JORDAN, M.M. i SANFELIU, T., 1995, Estudio arqueométrico de fragmentos de cerámica antigua de Torrelló del Boverot de Almazora, Castellón (España), a M. VENDRELL-SAZ, T. PRADELL, J. MOLERA i M. GARCÍA (eds.), *Estudis sobre ceràmica antiga. Actes del simposi sobre ceràmica antiga 2<sup>nd</sup> EMAC, Barcelona 18-21 novembre 1993*, Generalitat de Catalunya, Departament de Cultura, Barcelona, 73-76.

BUXEDA i GARRIGÓS, J., 1999, Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: The Perturbation Problem, *Journal of Archaeological Science* 26, 295-313.

BUXEDA i GARRIGÓS, J., 2001, Observació preliminar sobre les ceràmiques del jaciment del Barranc de Gàfols, a J. SANMARTÍ, M.C. BELARTE, J. SANTACANA, D. ASENSIO i J. NOGUERA (eds.), *L'assentament del bronze final i primera edat del ferro del Barranc de Gàfols (Ginestar, Ribera d'Ebre)*, Arqueo-Mediterrània 5, Universitat de Barcelona, Barcelona, 231-232.

BUXEDA i GARRIGÓS, J., 2007, *Caracterització arqueomètrica de la ceràmica del Turó del Calvari (Vilalba dels Arcs, Terra Alta)*, Informe del Projecte FBG 302401, Universitat de Barcelona, Barcelona (inèdit).

BUXEDA i GARRIGÓS, J., 2008, Revisiting the compositional data. Some fundamental questions and new prospects in Archaeometry and Archaeology, a J. DAUNIS I ESTADELLA i J. MARTÍN FERNÁNDEZ (eds.), *Proceedings of CODAWORK'08, The 3<sup>rd</sup> Compositional Data Analysis Workshop, May 27-30*, Universitat de Girona, Girona, 1-18.

BUXEDA i GARRIGÓS, J., 2010, *La caracterització arqueomètrica de la ceràmica de Terra Sigillata Hispanica Avançada de la ciutat romana de Clunia i la seva contrastació amb la Terra Sigillata Hispanica d'un centre productor contemporani, el taller d'Abella*, TDX [recurs electrònic]: tesis doctorals en xarxa, Barcelona [versió en línia de l'original de 1994].

Consulta: 20 de juliol de 2013. Disponible a <<http://www.tdx.cat/TDX-0323110-110831/>>.

BUXEDA i GARRIGÓS, J. i CAU ONTIVEROS, M. A., 1997, Caracterización arqueométrica de las ánforas T-8.1.3.1. del taller púnico FE-13 (Eivissa), a J. RAMON TORRES, *FE-13: un taller alfarero de época púnica en Ses Figueretes, Eivissa*, Treballs del Museu Arqueològic d'Eivissa i Formentera 39, Govern Balear, Conselleria d'Educació, Cultura i Esports, Eivissa, 179-205.

BUXEDA i GARRIGÓS, J. i KILIKOGLU, V., 2003, Total variation as a measure of variability in chemical data sets, a L. Van Zelst (ed.), *Patterns and Process. A Festschrift in honor of Dr. Edward V. Sayre*, Smithsonian Center for Materials Research and Education, Suitland, Maryland, 185-198.

BUXEDA i GARRIGÓS, J. i MADRID i FERNÁNDEZ, M., 2011, *Caracterització arqueomètrica de les ceràmiques fenícies dels jaciments del Coll del Moro i del Calvari del Molar*, Informe del projecte FBG 302401, Universitat de Barcelona, Barcelona (inèdit).

CARCELLER i ROQUÉ, X. (dir.), 1999, *Pla especial de protecció del medi natural i del paisatge de la Serra de Montsià*, Direcció General de Patrimoni Natural i del Medi Físic, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

CLAUSELL, G., FERNÁNDEZ, F., JORDAN, M.M. i SANFELIU, T., 1998, Estudio arqueométrico de cerámicas arqueológicas del Torrelló del Boverot (Almassora, Castellón), *La Murà: Revista del Museu Municipal d'Almassora* 2, 43-89.

CLOP i GARCÍA, X., 2007, *Materia Prima, Cerámica y Sociedad: La gestión de los recursos minerales para manufacturar cerámicas del 3100 al 1500 ANE en el noreste de la Península Ibérica*, BAR International Series 1660, Archaeopress, Oxford.

CLOP i GARCÍA, X., 2008, L'estudi de les ceràmiques prehistòriques des de l'arqueometria, *Cota Zero* 23, 25-37.

COLLOMB, P. i MAGGETTI, M., 1996, Dissolution des phosphates présentes dans des céramiques contaminées, *Revue d'Archéométrie* 20, 69-75.

COLOMBO PIÑOL, F., 1975, Estratigrafia del cretácico de la sierra del Montsià (El Montsià, Tarragona), *Boletín de Estratigrafía* 2, 33-44.

ESPÍ PÉREZ, I., 2000, Anàlisi petrològica de ceràmiques del Ferro i Ibèric Antic de jaciments de l'Alcoià i el Comtat, *Recerques del Museu d'Alcoi* 9, 107-118.

FONT, L., NADAL, J., GARCIA i RUBERT, D. i MORENO, I., en premsa, Les restes d'origen animal del jaciment del primer ferro de Sant Jaume - Mas d'en Serrà (Alcanar, Montsià). Interpretació del sector 1 a través de l'estudi zooarqueològic, a *La transició bronze final – la edat del ferro en el Pirineu Oriental, Actes del XV Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà, 17-19 novembre 2011*, Puigcerdà.

GARCIA i RUBERT, D., 2005, *El poblament del primer ferro a les terres del riu Sénia. Els assentaments de la Moleta del Remei, Sant Jaume, la Ferradura i la Cogula durant els segles VII i VI aC*, Universitat de Barcelona, Barcelona (tesí doctoral inèdita).

GARCIA i RUBERT, D., 2008, *Tyrichae* al riu Sénia. Rellegint l'*Ora Marítima* d'Aviè, *Saguntum* 40, 79-108.

GARCIA i RUBERT, D., 2009, Els sistemes de fortificació de la porta d'accés a l'assentament de la primera edat del ferro de Sant Jaume (Alcanar, Montsià), *Revista d'Arqueologia de Ponent* 19, 205-230.

GARCIA i RUBERT, D., 2011, Nuevas aportaciones al estudio de los patrones de asentamiento en el nordeste de la Península Ibérica durante la Primera Edad del Hierro. El caso del Complejo Sant Jaume, *Trabajos de Prehistoria* 68, 331-352.

GARCIA i RUBERT, D. i GRACIA, F., 2011, Phoenician trade in the North-East of the Iberian Peninsula: a historiographical problem, *Oxford Journal of Archaeology* 30, 33-56.

GARCIA i RUBERT, D., GRACIA, F., MONTERO, I., MORENO, I. i ROVIRA, M.C., 2007, Estudio de composición mediante ED-XRF de materiales metálicos del asentamiento protohistórico de Sant Jaume Mas d'en Serrà (Alcanar, Montsià, Tarragona), a J. MOLERA, J. FARJAS, P. ROURA

i T. PRADELL (eds.), *Avances en Arqueometría 2005. Actas del VI Congreso Ibérico de Arqueometría, 16-19 noviembre 2005*, Universitat de Girona, Girona, 145-152.

GARCIA i RUBERT, D., GRACIA, F. i MORENO, I., 2004, L'impacte del fenomen comercial fenici a les terres del Sénia durant el primer Ferro a partir de l'estudi quantitatiu de la ceràmica. Dades del jaciment de Sant Jaume (Alcanar, Montsià), a J. SANMARTÍ, D. UGOLINI, J. RAMON i D. ASENSIO (eds.), *La Circulació d'àmfores al Mediterrani occidental durant la Protohistòria (segles VIII-III aC): aspectes quantitativs i anàlisi de continguts. Actes de la II Reunió Internacional d'Arqueologia de Calafell, 21-23 març 2002*, Arqueo-Mediterrània 8, Universitat de Barcelona, Barcelona, 191-201.

GARCIA i RUBERT, D., GRACIA, F. i MORENO, I., 2005, L'assentament de la primera edat del ferro de Sant Jaume-Mas d'en Serrà (Alcanar, Montsià). Balanç de les campanyes d'excavació realitzades entre els anys 1997 i 2003, a *Món Ibèric als Països Catalans, Vol. I, Homenatge a Josep Barberà i Farràs, Actes del XIII Col·loqui Internacional d'Arqueologia de Puigcerdà, 14-15 novembre 2003*, Institut d'Estudis Ceretans, Puigcerdà, 117-140.

GARCIA i RUBERT, D. i MORENO, I., 2008, Marcadors socials durant el primer ferro a Catalunya i al País Valencià. Apunts en relació a l'assentament de Sant Jaume (Alcanar, Montsià), a M. MIÑARRO i S. VALENZUELA (eds.), *Actes del I Congrés de Joves Investigadors en Arqueologia dels Països Catalans: la protohistòria als Països Catalans, Vilanova del Camí, 18-19 novembre 2005*, Arqueo-Mediterrània 10, Universitat de Barcelona, Barcelona, 215-225.

GARCIA i RUBERT, D. i MORENO, I., 2009, Un servei de vaixel·la procedent de l'assentament de la primera edat del ferro de Sant Jaume (Alcanar, Montsià), *Citerior* 5, 97-162.

HEIMANN, R.B., 1989, Assessing the Technology of Ancient Pottery: The Use of Ceramic Phase Diagrams, *Archaeomaterials* 3, 123-148.

HEIN, A., TSOLAKIDOU, A., ILIOPOULOS, I., MOMMSEN, H., BUXEDA i GARRIGÓS, J., MONTANA, G. i KILIKOGLU, V., 2002,

Standardisation of elemental analytical techniques applied to provenance studies of archaeological ceramics: an inter laboratory calibration study, *The Analyst* 127, 542-553.

LIPPMANN, F., 1973, *Sedimentary Carbonate Minerals*. Minerals, Rocks and Inorganic Materials 6, Springer-Verlag, Berlín.

LÓPEZ, D., BUXÓ, R., GARCIA i RUBERT, D. i MORENO, I., 2011, Noves aportacions sobre agricultura i alimentació durant la primera edat del ferro a Catalunya: dades del jaciment de Sant Jaume (Alcanar, Montsià), *Pyrenae* 42, 77-118.

MAGGETTI, M., 1981, Composition of Roman pottery from Lousanna (Switzerland), a M.J. HUGHES (ed.), *Scientific Studies in Ancient Ceramics*, British Museum Occasional Paper 19, London, 33-49.

MANIATIS, Y., SIMOPOULOS, A. i KOSTIKAS, A., 1981, Moessbauer Study of the Effect of Calcium Content on Iron Oxide Transformations in Fired Clays, *Journal of the American Ceramic Society* 64, 263-269.

MANIATIS, Y., SIMOPOULOS, A., KOSTIKAS, A. i PERDIKATIS, V., 1983, Effect of Reducing Atmospheres on Minerals and Iron Oxides Developed in Fired Clays: the Role of Ca, *Journal of the American Ceramic Society* 66, 773-781.

MATEU SAGUÉS, M., 2012, Anàlisi tipològic de elements muebles protohistòrics elaborats con terra. Aproximación micromorfológica, a

J. CASALHEIRA i C. GONÇALVES (eds.), *Actas das IV Jornadas de Jovens em Investigação Arqueológica - JIA 2011, Vol. 2, 11-14 maio 2011*, Promontoria Monográfica 16, Universidade do Algarve, Faro, 331-338.

MATHSOFT, 1999, *S-PLUS 2000. User's Guide*, Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle.

PICON, M., 1973, *Introduction à l'étude technique des céramiques sigillées de Lezoux*, Centre de Recherches sur les techniques Gréco-romaines 2, Université Dijon, Dijon.

R CORE TEAM, 2012, *R: A language and environment for statistical computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [en línia]. Consulta: 20 de juliol de 2013. Disponible a <<http://www.R-project.org/>>.

RYE, O.S., 1976, Keeping Your Temper under Control: Materials and the Manufacture of Papuan Pottery, *Archaeology & Physical Anthropology in Oceania* 11, 106-137.

TITE, M.S., MANIATIS, Y., MEEKS, N.D., BIMSON, M., HUGHES, M.J. i LEPPARD, S.C., 1982, Technological Studies of Ancient Ceramics from the Near East, Aegean and Southeast Europe, a T.A. WERTIME i S.F. WERTIME (eds.), *The evolution of the first fire-using industries*, Smithsonian Institution Press, Washington, 61-71.

WHITNEY, D.L. i EVANS, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist* 95, 185-187.

