

Els gresols metal·lúrgics del s.VIII del Saló del Tinell (Palau Reial de Barcelona)

Estudi arqueològic i arqueomètric

Marta Valls Llorens (niub: 16615126)

Treball Final de Grau d'Arqueologia, Curs 2017/18

Universitat de Barcelona, Departament d'Història i Arqueologia

Bloc d'Arqueologia Medieval i Postmedieval

Dirigit per: Dra. Marta Sancho i Planas

*“ [...] mientras el agua de la nube se desataba en el aire
como pura plata que se extiende al fundirse.”*

Ibn Hazm, s. VIII-XI

(traducció de T. Garulo, M.J. Hagerty i *M. al-Ramli*)

Sumari

Resum	1
Agraïments	2
<i>INTRODUCCIÓ</i>	3
1. Motivació, característiques i objectius	3
2. Mètodes	4
<i>BLOC I. ESTUDI HISTÒRIC I ARQUEOLÒGIC</i>	6
3. Context històric del Palau Reial de Barcelona: evolució des de la medina islàmica a la ciutat carolíngia	7
4. Context arqueològic	10
4.1. Història de la recerca arqueològica al nucli episcopal/comtal de Barcelona	10
4.2. Evolució arquitectònica i context estratigràfic dels gresols	11
5. Estudi morfològic dels gresols	15
5.1. Descripció	15
5.2. Paral·lels: la ciutat de Barcelona i la península Ibèrica	16
6. El treball de la plata al món medieval	18
6.1. Historiografia	18
6.2. Tècniques	21
<i>BLOC II. ESTUDI ARQUEOMÈTRIC</i>	24
7. Els estudis arqueomètrics entorn a la metal·lúrgia de la plata: un estat de la qüestió.	25
8. Composició química dels gresols: Fluorescència de raigs X (FRX)	25

8.1. Resultats	25
8.2. Discussió	28
8.2.1. El calci (CaO)	28
8.2.2. El sodi (Na ₂ O)	29
8.2.3. Altres components: el coure (Cu), el mercuri (Hg) i el potassi (K ₂ O)	31
9. Caracterització mineralògica dels gresols: Difracció de raigs X (DRX)	32
9.1. Resultats	32
9.2. Discussió	34
10. Anàlisi macroscòpica: lupa binocular	34
10.1. Resultats	34
10.2. Discussió	39
11. Microanalítica: Microscòpia electrònica de rastreig (MER)	41
11.1. Resultats	41
11.2. Discussió	45
CONCLUSIONS	48
BIBLIOGRAFIA	51
WEBGRAFIA	60
ANNEX I. DESCRIPCIÓ DE LES TÈCNiques, MOSTREIG I RUTINA ANALÍTICA	62
A. Fluorescència de raigs X (FRX)	63
B. Difracció de raigs X (DRX)	65
C. Lupa binocular	66
D. Microscòpia electrònica de rastreig (MER)	68
ANNEX II. PLÀNOLS	72
ANNEX III. LÀMINES DE MATERIALS I INVENTARIS	74
ANNEX IV. ESTUDI ESTADÍSTIC: TAULES I GRÀFICS	79

Resum

En el treball que aquí es presenta s'estudia un conjunt de gresols metal·lúrgics adscrits a un moment d'ús situat a finals del s.VIII dC. Aquests foren localitzats al Saló del Tinell del Palau Reial de Barcelona i suposen una de les escasses evidències materials d'aquest període trobades a la ciutat. La seva anàlisi respon a l'objectiu de concretar la informació al voltant de la funció i característiques tècniques d'aquestes ceràmiques, així com a la voluntat d'ampliar la informació històrica sobre la transició entre la Barcelona andalusina i la ciutat carolíngia. L'estudi s'ha dut a terme a partir de la informació històrica i arqueològica del context al qual es vinculen les peces i també en base a l'anàlisi arqueomètrica de les mateixes. Així, s'han fet observacions macroscòpiques de cadascun dels gresols i a més s'han aplicat les tècniques de la Fluorescència de Raigs X (FRX), Difracció de Raigs X (DRX) i Microscòpia Electrònica de Rastreig (MER).

Paraules clau

Gresols metal·lúrgics, al-Andalus, Palau Reial de Barcelona, arqueometria, plata

Abstract

The present work shows a research on a group of metallurgical crucibles (8th century) that have been found in the Saló del Tinell (Palau Reial de Barcelona). They represent one of the few examples of archaeological materials from this period that have been located in Barcelona. The aim of the study is to settle on the information about the purpose and the technical features of these ceramic pieces. Moreover, we have tried to increase the historical knowledge relating to the transition from the Andalusian Barcelona to the Carolingian city. The methodology of the research has considered the historical and archaeological information as well as archaeometric analysis. In particular, macroscopic observations of each one of the crucibles, X Ray Fluorescence (XRF), X Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM).

Keywords

Metallurgical crucibles, al-Andalus, Palau Reial de Barcelona, archaeometry, silver

Agraïments

La investigació que es presenta a continuació ha estat possible gràcies a la col·laboració de nombroses persones i institucions que han jugat un paper clau en la realització d'aquesta recerca, des del mateix fet d'oferir-me l'oportunitat i les facilitats per a la realització d'aquest treball fins al suport i consells a nivell científic i personal.

En primer lloc, agrair a la tutora d'aquest treball, la Dra. Marta Sancho i Planas, el seguiment del mateix. Sobretot, la dedicació a l'hora d'ajudar-me a definir, concretar i millorar cadascun dels conceptes que conformen l'escrit.

Dirigir-me d'una forma molt especial al grup de recerca ARQUB/GRAPCE i als Centres Científics i Tecnològics de la Universitat de Barcelona. Concretament, al Dr. Jaume Buxeda i Garrigós i a la Dra. Marisol Madrid i Fernández. Ells m'han obert les portes del món de l'arqueometria i cadascun dels membres de l'equip m'ha acompanyat en aquests primers passos que es materialitzen finalment en el present treball. A banda dels coneixements adquirits, agrair el temps invertit i els valors transmesos.

També voldria expressar la meva consideració cap a la Dra. Julia Beltrán de Heredia Bercero (MUHBA) per la cessió dels materials que han fet possible aquest estudi, així com pel constant interès en l'evolució de la recerca.

Finalment, dedicar unes línies als meus pares i al meu germà pels constants esforços, per l'interès demostrat dia a dia i pels consells. Per l'impagable gest que suposa donar una segona oportunitat. Perquè la seva confiança és l'eina més fiable a l'hora de mesurar els propis progressos.

Introducció

1. Motivació, característiques i objectius

En la present investigació es realitza l'estudi arqueològic i arqueomètric d'un conjunt de vuit greus metal·lúrgics destinats al treball de la plata. Les peces procedeixen del Saló del Tinell (Palau Reial de Barcelona) i la interpretació del seu context estratigràfic els atorga un moment d'ús de finals del s.VIII, amb una amortització datada a inicis del s.IX. Els objectius generals del treball han estat, doncs, precisar la funció exacta d'aquestes ceràmiques i el seu paper social, a més d'ampliar la informació arqueològica sobre la ciutat de Barcelona en aquest moment d'inflexió i canvi cultural.

D'una banda es parteix de l'anàlisi química i mineralògica de les peces per tal de generar un major coneixement - i més directe - sobre el procés productiu de la plata a l'edat mitjana. D'altra banda, això ens permetrà obtenir més dades sobre el Palau Reial de Barcelona i el seu entorn en l'etapa immediatament prèvia al període comtal, atenent a la possible importància de la zona com a nucli artesanal i al seu vincle amb el poder local.

En relació a això, cal tenir en compte que la tecnologia suposa una de les principals expressions materials de la humanitat. Més enllà de la caracterització dels propis materials, la investigació sobre la història del desenvolupament tècnic ens acosta a la societat en la qual aquests s'emmarquen: a les persones que els fabricaren i els usaren, al significat, a la funció – pràctica o simbòlica – i al valor de les peces, però també a les necessitats que trobem darrere de la seva utilització, reutilització i abandonament. Així, cal analitzar tant els objectes estranys com els comuns, els luxosos i els quotidians, les produccions en sèrie i les obres d'artesanía. Encara més, no podrem considerar completa la recerca si no es tenen en compte els processos de fabricació més enllà de l'estadi final que suposa la peça en si i el seu ús social. Només així serem capaços de copsar el seu valor i de conèixer el paper que aquesta va jugar en un context social i econòmic determinat, amb la finalitat de generar un discurs històric complet i coherent (VITEZOVIĆ, ANONOVIĆ, 2014: 7).

2. Mètodes

Al llarg de la història, els estudis sobre tecnologia en època medieval s'han basat quasi exclusivament en la lectura de tractats, amb les limitacions que això comporta. Com a conseqüència, la recerca ha tendit a girar entorn a complexos debats teòrics i a grans figures innovadores en camps concrets. D'aquesta manera, sovint no s'ha tingut en compte la tècnica emprada als tallers artesanals en tant que una mostra realment representativa de l'estadi de desenvolupament tecnològic d'una societat determinada. A més, cal considerar la manca general de fonts primàries referents als processos minerometal·lúrgics, tema que aquí ens ocupa.

És per això que l'estudi directe de les restes materials vinculades a aquestes activitats ofereix un punt de vista alternatiu i empíric des d'on poder compensar alguns buits de coneixement en referència als aspectes més tècnics dels processos productius: activitats de taller, matèries primeres, tècniques i estratègies, errors durant el procés, variacions al respecte d'allò establert als tractats, etc. (MARTINÓN-TORRES, 385-387). Així doncs, aquesta investigació ha optat per la combinació de l'estudi de les fonts escrites i del registre arqueològic amb l'anàlisi arqueomètrica del conjunt de gresols.

En referència a aquest darrer aspecte, s'ha optat tant per tècniques d'observació macroscòpica (observació directa i lupa binocular) com per estudis a nivell químic i mineralògic: principalment la fluorescència de raigs X (en endavant, FRX). Aquesta darrera tècnica s'ha complementat amb la difracció de raigs X (en endavant, DRX) i la microscòpia electrònica de rastreig (en endavant, MER). Els resultats de la FRX, a més, han estat sotmesos a estudis estadístics a través dels entorns de software lliure per a la computació estadística i l'elaboració de gràfics R i R Commander (FOX, 2005).

Els mètodes emprats han estat l'observació macroscòpica i l'aplicació de la tècnica de FRX per a la totalitat del conjunt i l'ús de les tècniques de DRX i MER només en casos concrets. Això es deu al fet que l'observació comparada de les peces amb lupa binocular ens aporta una idea inicial pel que fa a les seves característiques macroscòpiques i ens orienta al voltant d'una primera classificació de caire genèric. La tècnica de FRX, al seu torn, aporta dades referents a la composició química dels gresols que ens permeten distingir grups ceràmics concrets. Una vegada determinats aquests grups, podrem aplicar la DRX per tal d'obtenir la informació sobre la seva composició minera-

lògica que ens permetrà observar variacions dins d'un mateix grup, atribuïbles principalment a la temperatura de cocció equivalent (en endavant, TCE). Finalment, l'observació amb MER resulta útil a l'hora de caracteritzar qüestions específiques o particularitats observades mitjançant les tècniques anteriorment esmentades.

Tal com veurem al llarg del treball, la FRX ha confirmat l'homogeneïtat composicional del conjunt de gresols, tot i que a nivell d'ús s'ha pogut diferenciar entre dos grups amb diferent contingut de plata. Tot seguit s'ha analitzat a nivell mineralògic (DRX) un dels exemplars més representatius de cada grup per tal d'establir o descartar concordances entre la TCE i la major o menor presència de plata en els gresols. Finalment, l'observació amb la lupa binocular ha servit per identificar elements significatius presents en els gresols - entre els quals destaquen una sèrie de taques de color blau intens en la superfície d'un dels individus - que han estat posteriorment microanalitzada amb MER.

En relació amb l'anterior, cal tenir present que els resultats dels estudis químics i mineralògics no s'han d'entendre com a informacions independents, sinó que cal fer-ne una lectura interrelacionada. Així, la composició final d'una peça es veurà condicionada tant per les diferents fases del procés de fabricació previ a ser sotmesa al foc com per la pròpia cocció (BUXEDA i MADRID, 2016). Per tant, la determinació primera de grups químics homogenis resulta imprescindible a l'hora de poder interpretar les variabilitats quant a composició mineralògica que puguin generar-se dins de cada grup químic.

En darrer terme, remarcar la importància de les fonts escrites, que en combinació amb els estudis analítics, han estat imprescindibles per tal d'obtenir una visió completa del tema tractat; especialment, el seu vincle amb el context de transició entre la Barcelona andalusina i la carolíngia. Partint d'aquesta premissa, s'ha volgut atorgar al llarg de tot el treball un pes important tant a la contextualització històrica i arqueològica dels gresols com a la lectura de les fonts primàries medievals, que han estat vinculades en tot moment als resultats de les analítiques.

Bloc I. Estudi històric i arqueològic





© Patricia Bofill

Fig.1: Fotografia del Saló del Tinell. Imatge: Ajuntament de Barcelona. Disponible a: http://www.bcn.cat/museumares/interactiu/palaureialmajor/palaureialmajor_cat.html

3. Context històric del Palau Reial de Barcelona: evolució des de la medina islàmica a la ciutat carolíngia.

El conjunt ceràmic objecte del present estudi es va recuperar durant les excavacions dutes a terme entre els anys 1953 i 1956 al Palau Reial de Barcelona, més concretament a l'espai anomenat "Sitja sota Tinell" (Fig. 1), i s'adscriu a una cronologia ubicada entre el final del s. VIII i l'inici del s. IX. Les raons d'aquesta atribució cronològica, però, seran exposades amb més detall en les següents pàgines, on es concretaran el context estratigràfic de la troballa, els materials que s'hi vinculen i els paral·lels localitzats arreu de la península Ibèrica.

Cal associar aquests gresols a un moment d'ús situat en les darreres dècades d'ocupació andalusina de Barcelona i a un abandonament datat en l'etapa més inicial del domini carolíngi de la ciutat. Per tal d'entendre aquest context, acotar la cronologia i extreure'n la major informació possible s'ha començat per fer una breu introducció a la Barcelona d'aquest moment i, més concretament, per definir les característiques, el paper històric i les funcions de l'indret de la troballa. Ens trobem, doncs, davant d'un període especialment interessant i al mateix temps desconegut, en front d'un moment de canvi i transició social, cultural i econòmica. Malgrat tot, poc sabem arqueològicament sobre els



Fig. 2: Enterrament segons el ritual islàmic localitzat al carrer Antic de Sant Joan el gener de 2018. Imatge: Sergio Arroyo (Global Geomàtica, SL). Disponible a: <http://ajuntament.barcelona.cat/arqueologiabarcelona/necropolis-islamica-del-born-nouenterrament-islamic-al-barri-de-la-ribera/>

vuitanta-set anys de vida de la medina islàmica de Barcelona (en aquest moment, *Baršiluna*), un punt geoestratègic, cultural i comercial clau entre els dominis franc i andalusí que cauria l'any 801 sota el poder carolingi (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 16-17).

Aquesta Barcelona del primer moment d'ocupació andalusina era hereva, però, del darrer govern visigot d'Akila II, que va capitular el 714 front al control musulmà. Tot i l'escàs coneixement de les restes arqueològiques del període andalusí, molt més patents per als moments immediatament anterior i posterior, les fonts escrites evidencien clarament la presència musulmana a la ciutat²⁰ i mostren una continuïtat més pròpia d'una adaptació que d'un procés de trencament. Aquesta és tan evident que es manifesta més enllà de les fronteres del canvi de segle de manera que, per exemple, el traçat general de carrers i muralles de la Barcelona carolíngia difereix molt poc ja no en relació al període islàmic sinó, fins i tot, al visigot (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 77).

A nivell polític-administratiu també el *comes civitatis* visigot seria substituït pel *wali* musulmà, romanent la figura del bisbe com a cap de l'administració urbana. Aquesta transició es traduiria pel que fa al registre material en una pràctica absència de construccions de nova planta, fet que hauria pogut dificultar la localització de la medina andalusina. Per exemple, al *suburbium* de la ciutat la falta d'estructures relacionades amb el període islàmic fa plantejar que aquesta ocupació va tenir

¹ AL-'UDRĪ. Nuṣūṣ, p. 28-29, IBN ḤALDŪN. Kitāb al-'ibar. Vol. 4, p. 123, 124d, IBN ḤAZM. Ġamhara, p. 94, 430b, IBN SA'ĪD AL-MAGRIBĪ. Kitāb al-rawḍ, p. 114b. BRAMON, D. (2000) *De quan érem o no musulmans. Textos del 713 al 1010*. Barcelona: Eumo editorial, Institut d'Estudis Catalans i Institut Universitari d'Història Jaume Vicens i Vives, docs. 92, 179, 200, 209, 211, 224

un caràcter essencialment administratiu, polític i militar, de manera que no va implicar un canvi poblacional ni una profunda substitució cultural². Tanmateix, a nivell urbanístic es pot concloure que al s. VIII es perden definitivament les traces que restaven en peu de les antigues *domus* romanes. Més enllà d'aquest escenari, la *Baršiluna* andalusina es va mostrar notòriament en l'excavació de les zones funeràries del *suburbium* oriental, datades al s. VIII (Fig. 2). Aquestes conviuen amb tombes tardoantigues, fet que referma aquest caràcter de continuïtat (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 68, 70 i 74).

Amb l'arribada dels francs el 801 es constituïria la *Marca Hispanica*³, caracteritzada per una organització en comtats dependents de l'estructura imperial. A nivell religiós, aquesta zona es va vincular a l'arquebisbat de Narbona, donat que el de Tarragona havia desaparegut amb l'ocupació islàmica. Amb la conquesta franca, però, trobem referències toponímiques i antroponímiques que al·ludeixen a l'existència d'algunes comunitats musulmanes a extramurs de la ciutat, a més d'un conjunt de cultura material corresponent a aquest context islàmic propi del segle IX. Aquest fet sembla apuntar a una rendició per pacte o capitulació, tal com afirmen les fonts musulmanes, que esmenten la concessió d'un any de treva per part dels francs a aquestes comunitats perquè puguin abandonar la ciutat⁴ (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 75). Això es contradiu amb la versió descrita en les fonts carolíngies, on es parla d'un setge llarg i violent per part de Lluís el Pietós que no podem sinó adscriure a la voluntat de crear tot un discurs vehiculat a la reafirmació del nou poder sobre el territori i sobre la mateixa ciutat. També s'ha definit per al s. IX una debilitació de les xarxes comercials i una forta ruralització de la ciutat que s'argumenta en base a una absència general de materials importats, de forma que aquests contactes haurien quedat reduïts a l'àmbit de la Cort i a les curtes i mitjanes distàncies (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 77).

Pel que fa a l'estructura administrativa i política de la Barcelona carolíngia, remarcar que tant el bisbe

2 AL-BAKRĪ. *al-Masālik wa l-mamālik*, p. 96. BRAMON, D. (2000) *De quan érem o no musulmans. Textos del 713 al 1010*. Barcelona: Eumo editorial, Institut d'Estudis Catalans i Institut Universitari d'Història Jaume Vicens i Vives, doc. 89

3 ANÒNIM. *Dīkr bilād al-Andalus*, p. 110, IBN ḤALDŪN. *Kitāb al-'ibar*. Vol. 4, p. 125b. BRAMON, D. (2000) *De quan érem o no musulmans. Textos del 713 al 1010*. Barcelona: Eumo editorial, Institut d'Estudis Catalans i Institut Universitari d'Història Jaume Vicens i Vives, docs. 230 i 231

4 AL-WANŠARĪŠĪ. *al-Mi'yār al muğrib*. Vol. 2, p. 129-130. BRAMON, D. (2000) *De quan érem o no musulmans. Textos del 713 al 1010*. Barcelona: Eumo editorial, Institut d'Estudis Catalans i Institut Universitari d'Història Jaume Vicens i Vives, doc. 232

com el comte actuaran de forma conjunta, amb la diferència que en època carolíngia el segon adquirirà un major poder territorial i jurisdiccional respecte al primer, la qual cosa els portarà a una lluita constant per la distribució del poder. A més, el govern carolingi continuarà ocupant el mateix espai físic que en el període visigot i que va ocupar el *wali* musulmà en època islàmica (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 82). Així doncs, l'anomenat Palau Reial des de temps de Jaume I, es va construir a la segona meitat del s.VI com a residència del poder civil visigot de la ciutat i romandrà en actiu, tot i que amb múltiples reformes, fins la seva transformació en el Palau Comtal baixmedieval (BELTRÁN DE HEREDIA, 2006: 110).

4. Context arqueològic

4.1. Història de la recerca arqueològica al nucli episcopal/comtal de Barcelona

Les primeres intervencions al Palau Reial de Barcelona es produïren el 1931 arran de l'obertura de la Via Laietana, que va obligar a desmuntar l'edifici de la casa Padellàs, un palau civil d'origen gòtic situat al carrer de Mercaders que va ser reubicat a la plaça del Rei. Aquest esdeveniment va fer possible l'excavació arqueològica del lloc, que es perllongà fins el 1935. Les obres no van poder reprendre's fins després de la Guerra Civil Espanyola, moment en que es va decidir ubicar en aquest emplaçament el Museu d'Història de la Ciutat de Barcelona (en endavant, MUHBA), que s'inauguraria el 1943. Entre els anys 1953-56 l'historiador i arqueòleg Josep de Calassanç Serra i Ràfols va dirigir les excavacions al subsòl del Tinell amb l'objectiu de comprovar la solidesa dels fonaments per a l'ampliació del museu. Aquests treballs es van reprendre als anys 60 amb la col·laboració de l'arqueòleg Joan Maluquer de Motes de la Universitat de Barcelona. En els anys següents es va continuar intervenint de forma puntual a la plaça del Rei en la línia de la reforma i manteniment dels diferents equipaments del museu fins que el 1994 el MUHBA va començar una sèrie d'accions encaminades a remodelar l'àrea arqueològica. Va ser en base a aquestes intervencions que es van posar sobre la taula les primeres hipòtesis al voltant del Conjunt Episcopal de la ciutat (BELTRÁN DE HEREDIA i NICOLAU, 2000: 125-127). Finalment, entre els anys 1996 i 2003 se succeïren diverses intervencions a la plaça del Rei (BELTRÁN DE HEREDIA, 2006: 110), però no va ser fins el 1997 que es va plantejar un projecte encarat per primera vegada a una revisió de la informació procedent de les actuacions anteriors i a la recerca sobre la història del lloc més enllà de les obres vinculades directament a la construcció del museu (BELTRÁN DE HEREDIA i NICOLAU, 2000: 132).

4.2. Evolució arquitectònica i context estratigràfic dels gresols

Tal com hem vist, segons la hipòtesi de J. Beltrán de Heredia i C. Bonnet (BONNET i BELTRÁN DE HEREDIA, 2000), el poder musulmà es repartiria a la seva arribada els edificis més representatius del nucli episcopal/comtal visigot, amb l'excepció del Palau del Bisbe. Així, amb l'assentament carolingi a la ciutat s'amplia l'espai destinat al comte, que ocuparà en aquest període part de l'àrea vinculada a l'antiga església cruciforme del s.VI, al mateix temps que es construeix una capella comtal (Annex 2, Fig. 1). Al s. XII i per decret del comte Ramon Berenguer IV, es va edificar sobre els seus fonaments el Palau Reial Major de la Corona d'Aragó i Catalunya, una construcció que ocuparà una de les ales de l'antic Palau Episcopal, que es trasllada en aquest moment al seu emplaçament actual. És precisament en aquest indret on s'ubica el Saló del Tinell del Palau Reial de Barcelona, al subsòl del qual trobem excavada la sitja que conté el conjunt de gresols estudiats en el present treball (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 71, 82 i 91).

Aquesta sitja podria relacionar-se amb les sitges urbanes que es documenten a la ciutat ja des de l'antiguitat tardana i que continuen presents en contextos del s. VIII i, sobretot, dels s. IX-X. Aquestes, situades tant a l'interior com a l'exterior de les estructures, semblen respondre a una funció primigènica d'emmagatzematge (fonamentalment cereals, però també altres productes alimentaris i provisions diverses) i serien utilitzades posteriorment com a abocadors domèstics. Principalment a causa de la humitat, aquestes sitges tindrien una curta vida que es manifesta amb una ràpida amortització (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 80).

La dificultat pel que fa a la comprensió de l'estratigrafia de la plaça del Rei rau en el fet que durant dècades els estudis s'han basat solament en l'anàlisi de paraments, però també en una complexitat estructural pròpia de l'arqueologia urbana - que implica transformacions, superposicions, desplaçaments i alteracions en els elements - que es veu agreujada per la manca de detall en el registre de les excavacions antigues (BELTRÁN DE HEREDIA i NICOLAU, 2000: 130). Tanmateix, comptem amb l'avantatge que l'indret es va segellar ràpidament a causa de la construcció del palau carolingi. En aquest moment, doncs, es va destruir la primera església cruciforme de forma que es produí un recreixement en les cotes de circulació actuals d'aproximadament dos metres. A més, el fet que el nou edifici es construís reaprofitant les estructures altmedievals va reduir en gran mesura l'alteració de la seqüència estratigràfica del conjunt (BELTRÁN DE HEREDIA, 2006: 111).

Pel que fa als gresols a estudiar, la majoria van ser recuperats durant les excavacions de 1953-1956⁵ dirigides per J.C. Serra i Ràfols a l'àrea denominada "Sitja sota Tinell, volta A, departament 1", corresponent a la zona de les voltes romàniques del Palau Comtal del s. XII⁶ (BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa). D'entre les peces recuperades en la intervenció duta a terme el març de 1953 destaca la troballa de set d'aquests gresols (amb sigles d'anàlisi arqueomètrica BCN344, 345, 346, 347, 348, 349 i 350), mentre que en la intervenció de 1956 se'n va localitzar un de vuitè (amb sigla BCN351) que es corresponia en mor-



Fig. 3: Imatge de la restauració dels gresols del Tinell. Font: BELTRÁN DE HEREDIA, 2005. Làm. 15. Figs. 3, 4.

fologia i tipus de pasta amb els set anteriors (Fig. 3 i Annex 3, Figs. 5 i 6)⁷. Tots aquests gresols s'han associat estratigràficament amb el nivell XXI-E, amb l'excepció de la peça BCN351, localitzada en l'estrat immediatament inferior (XXI-F). El nivell XXI-E correspon a un horitzó definit en un moment concret entre finals del s.VIII i inicis del s.IX que s'ha interpretat com a un estrat format en el primer moment de conquesta carolíngia que amortitza estructures andalusines anteriors (BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa).

Entre els materials recuperats tant del subsòl del Tinell com del baptisteri que es corresponen amb l'horitzó cronocultural adscrit al nivell XXI-E, destaquen uns quants fragments de ceràmica comuna vidrada. Aquests es poden relacionar amb algunes de les peces de les fases III (s. VIII) i IV (s. VIII i inicis del s. IX) de les excavacions de 1998 a l'Arxiu Administratiu de Barcelona (GARCÍA, MIRÓ i REVILLA, 2003). També amb les del Palau Arque-

⁵ Les seqüències estratigràfiques d'aquestes intervencions es troben en procés de revisió en el moment de realització d'aquest treball.

⁶ La documentació corresponent a aquesta intervenció es pot localitzar a: "caixa 3-Barcelona", apartat "3.03- Campanya XXIII F Sota el Tinell" de l'Inventari 1 basat en Eduard Riu i col·laboradors (revisat i ampliat), Agost 1999 [v. 2], al "grup 1-arxivador 1/1", apartat "1.1.5. Sobre: Llocs diversos" i al "grup 2- arxivador 2/2", apartat "2.2.13. Carpeta: Sense títol" de l'Inventari 2 basat en Marta Prevosti (revisat i ampliat), Octubre 1998 [v.1], IEC, Fons Josep de C. Serra i Ràfols-Inventaris, *Arxiu de l'Institut d'Estudis Catalans*, IEC: Servei de Documentació i Arxiu, pp. 10, 63 i 68.

⁷ Informació extreta dels inventaris del Museu d'Història de la Ciutat de Barcelona (MUHBA).

bisbal i les de la porta decumana d'entrada a la ciutat, a més d'altres exemples puntuals localitzats arreu de la península Ibèrica. Degut a la falta de fòssils directors per al s. VIII i a la manca de contextos estratigràfics clars per a aquesta època a la ciutat de Barcelona, no s'ha pogut concretar amb més detall la cronologia d'aquest tipus de ceràmiques vidrades. De forma general, s'han situat a cavall entre el món visigot – on, ocasionalment, s'han trobat ja alguns testimonis de ceràmiques vidrades importades des de la Mediterrània Oriental– i l'andalusí. En relació a això, només es pot afirmar amb seguretat que es tracta d'un segle amb escasses importacions, com a mínim a grans distàncies i en un àmbit extra-peninsular, i amb una important continuïtat de formes en relació amb el període anterior (BELTRÁN DE HEREDIA, 2005: 75 i 77; AZUAR, 1989: 145-146).



Fig. 4: Inscripció en àrab sobre escàpula de bòvid. Font: BELTRÁN DE HEREDIA, 2013. Fig. 65.

Quant a les peces recuperades de l'Arxiu Administratiu, aquestes s'han datat a partir de la troballa d'una escàpula de bòvid amb inscripcions en àrab⁸ (Fig. 4) i d'un *dirham* de plata que conserva part de la referència a la data d'emissió - entre el 150 i 160 de l'Hègira (767-776 dC) - i que correspon al govern de l'emirat d'Abd al-Rahmân I. Aquestes produccions ceràmiques han estat comparades amb algunes de les primeres peces vidrades de Mesopotàmia i Egipte, datades al 700 dC, i s'interpreten com a importacions. Es descarta la possibilitat de tractar-se d'intrusions a causa de la seva troballa reiterada arreu del jaciment i en diferents estrats separats físicament entre ells

⁸ L'escàpula conserva una inscripció en dues línies. La primera correspon a un verset de l'Alcorà que s'ha transcrit com a "En nom de Déu, el Cle [ment, el Misericordiós] protegeixi'ls [de...]" mentre que la segona com a una seqüència de nou de les lletres que té l'alfabet àrab. En base a això s'ha interpretat com a eines per a l'ensenyament de l'alfabet o com a peça religiosa vinculada a una funció de protecció, degut també a la seva troballa juntament amb amulets (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 70).

corresponents a un mateix moment. A més, existeix una manca d'exemplars similars per a cronologies posteriors (GARCÍA, MIRÓ i REVILLA, 2003: 366-368). Aquesta argumentació pel que fa a l'origen forà d'aquests primers vidrats es reforça pel fet que la recerca en arqueologia andalusina ha constatat una tardana introducció del vidrat en la perifèria d'al-Andalus, que no comença a generalitzar-se fins a mitjans del s. X (AZUAR, 1989: 145).

En el nivell XXI-E trobem, a més, peces vinculades directament amb l'amortització duta a terme en època carolíngia. Destaquen dos gibrells/servidores i una olla grisa de perfil en "S" i fons pla amb vora girada i rebaixada que respon a una cronologia compresa entre el 767-1061, segons resultats de datació per termoluminiscència. A més, trobem peces d'adscripció cronològica menys precisa com alguns exemplars de ceràmica comuna i altres de peces de boca ampla (BELTRÁN DE HEREDIA, 2006: 134; BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa).

El nivell immediatament inferior, XXI-F, es caracteritza pels nombrosos exemplars de ceràmica comuna tant oxidada com reduïda, majoritàriament cremada. En general, es tracta de fons de cassoles altes amb dues nanses i parets que presenten canaladures amples. Trobem també en aquest nivell una olla bescuitada amb interior reduït i exterior oxidat recoberta per una engalba negra que podria vincular-se amb un ventall cronològic molt ampli. A més, s'han recuperat dues cassoles baixes de producció local (BUXEDA i CAU, 2005; BELTRÁN DE HEREDIA, 2005: 73) que s'han associat a cronologies que van des de l'antiguitat tardana fins el s. IX i una cassola alta amb nanses aplicades horitzontals de cronologia més acotada, situada entre la segona meitat del s. VI i el s. VIII, encara que podria ser més tardana. A més, s'ha recuperat la vora d'una gerra amb abocador pinçat de pasta grisa clara, compacta i amb un acabat brunyit de gran qualitat que pot situar-se en contextos visigots o posteriors (BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa; GUTIÉRREZ, 2015).

L'estudi de la seqüència estratigràfica - especialment la relació dels gresols amb les ceràmiques vidrades - juntament amb els paral·lels que exposarem més endavant, sembla indicar-nos un conjunt de gresols usats al s. VIII i amortitzats just en el moment de l'arribada dels carolíngis (BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa).



Fig. 5: Exemples de gresols triangulars de diferents mides (MARTINÓN-TORRES i REHREN, 2014. Fig. 6.16).

5. Estudi morfològic dels gresols

5.1. Descripció

El mot gresol⁹ prové del català medieval *cresol*¹⁰, que té el seu origen en la forma llatina *cruceolum*, variant de *crucibulum* (“vas amb brocs, de forma semblant a una creu”¹¹) (ALCOVER i MOLL, 2001-2002). En general, els gresols medievals presentaven una base plana i una vora triangular amb brocs que facilitaven la tasca d’abocar el metall fos. La seva alçada podia arribar als 15cm (Fig. 5) (MARTINÓN-TORRES, 2003: 392).

Aquesta forma en creu, que és la més habitual en els gresols des d’època romana al període modern (MARTINÓN-TORRES, 2003: 385), difereix de la que caracteritza al conjunt de gresols del Tinell,

⁹ Vas més ample de dalt que de baix, fet de matèria refractària que serveix per a fondre i calcinar substàncies que requereixen d’un grau de calor molt elevat (ALCOVER i MOLL, 2001-2002).

¹⁰ Es tracta de la forma habitual en alguns territoris de l’àmbit lingüístic català com ara el País Valencià (ALCOVER i MOLL, 2001-2002).

¹¹ cf. RFE, XXVI, 502.

que presenten una forma troncocònica i sense brocs. A més, són recipients poc profunds (no més de 3cm de fondària), de parets obertes i irregulars, base plana i un diàmetre d'entre 11 i 18 cm (BELTRÁN DE HEREDIA, 2005: 78). S'observa també un reforç entre la base i el començament de les parets que tindria sentit en relació amb la seva funcionalitat. A més, els gresols del Tinell anaven segurament coberts per unes tapadores troncocòniques de característiques similars a les que s'esmenten en els tractats de metal·lúrgia medieval (BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa; SEGARRÉS, 2015: 145). El conjunt estudiat presenta pastes oxidants amb un desgreixador gruixut, les peces estan fetes a mà i acabades amb l'ajuda d'un torn o torneta de rotació lenta (BELTRÁN DE HEREDIA, 2005: 78; BELTRÁN DE HEREDIA *et al*, en premsa). Aquest allisat final de la superfície és del tot recomanable en peces d'aquest tipus i respon a la funció de dificultar que quedin atrapades al recipient partícules d'escòries i restes de metalls que puguin corroir les seves parets (BAYLEY *et al.*, 1991).

5.2. Paral·lels: la ciutat de Barcelona i la península Ibèrica

A nivell morfològic, el conjunt de gresols s'ha relacionat amb la forma àrab *alcadafe*, plat baix o cassola que trobem també en alguns contextos del carrer Lladó¹², la Basílica dels Sants Màrtirs Just i Pastor¹³ i l'Arxiu Administratiu¹⁴ de Barcelona (Annex 3, Fig. 1) i que han estat vinculats a aquesta mateixa cronologia (BELTRÁN DE HEREDIA, 2013: 61). Tot i no ser la més comuna, podem trobar aquesta forma de plat baix o cassola associada a la producció d'or i plata en les fonts medievals. Per exemple, en l'obra *De diuersis artibus*, Teophilus es refereix indistintament als recipients refractaris com a gresols o com a cassoles (SEGARRÉS, 2015: 129, 145, 149, 151). A més, trobem altres paral·lels en el registre arqueològic d'arreu de la península Ibèrica, entre els quals destaquen els jaciments de la Ràbita Califal de las Dunas de Guardamar (Guardamar del Segura, Alacant), Marroquíes Bajos (Jaén) i els teatres romans de Cartagena i Mèrida (ALBA i FEIJOO, 2001; AZUAR, 1989; CASTILLO, 1998; MURCIA i GUILLERMO, 2003; PÉREZ *et al*, 2003):

A Guardamar del Segura trobem un total de vuit peces vinculades a la forma *alcadafe* amb caracte-

12 Excavacions de l'any 2009.

13 Excavacions de l'any 2012.

14 Excavacions de l'any 1998.

rístiques morfològiques molt semblants a les nostres (Annex 3, Fig. 2). Tots ells es caracteritzen per tenir una vora exvasada i un llavi generalment arrodonit (solament un exemplar mostra un llavi bisellat). La pasta presenta com a norma general una cocció oxidant, desgriador gruixut i un tornejat lent. Les característiques són molt similars a les dels exemples de la sitja del Tinell, amb l'excepció de les seves dimensions, ja que les peces de Guardamar ofereixen uns diàmetres que varien entre els 30-40cm i l'únic exemple que es conserva amb un perfil complet fa una alçada de 7cm. Les ceràmiques de Guardamar s'atribueixen a una fase anterior al 944 caracteritzada per la producció de materials de primera necessitat. Es tractaria d'un període que el director del jaciment defineix com a "*pre-tecnològic*" pel fet de presentar una factura tècnicament menys complexa i anterior a la introducció del tornejat ràpid, les decoracions i els vidrats (AZUAR, 1989: 145-146).

En el cas del jaciment de Marroquies Bajos, els exemples que hem comparat amb els gresols del Tinell són una sèrie de ceràmiques constatades a la fase IIa del jaciment (Annex 3, Fig. 3), datades a inicis del s.IX i amb una pervivència molt curta. En aquest cas, les peces s'atribueixen a les formes olla i cassola i es descriuen de nou com a ceràmiques a mà amb un acabat de tornejat lent. És interessant el fet que els autors les relacionen amb alguns materials recuperats de la Campiña de Jaén, a Peñaflor, datats a finals del s.VIII. Això podria vincular-les, com en el nostre cas, a un moment d'ús corresponent a un s. VIII avançat (CASTILLO, 1998; PÉREZ *et al*, 2003).

Per acabar, es van recuperar al teatre romà de Cartagena una sèrie de ceràmiques tardoantigues i altmedievals d'entre les quals ens interessa especialment una peça classificada novament com a *alcadafe* i ubicada en contextos del s. IX. Es tracta també d'un exemple de vora exvasada i engrossida (Annex 3, Fig. 4). En aquest cas, les peces presenten una engalba fosca a la part interior i un cordó amb digitacions aplicat que faria una funció de reforç. El seu diàmetre, novament, estaria al voltant dels 40 cm (MURCIA i GUILLERMO, 2003: 198). Com en l'exemple anterior, podrien vincular-se a una cronologia més antiga ja que tant la forma com el tipus de cordons són freqüents en contextos emirals anteriors, tal com succeeix amb la forma *barreño* registrada al teatre romà de Mèrida (ALBA i FEIJOO, 2001: 350).

A nivell formal, la diferència més evident que trobem entre els nostres *alcadafes* (tant els del Tinell com els relatius a la resta de jaciments barcelonins esmentats) i els del sud de la Península rau en el diàmetre de les peces, que és molt major en el segon cas. Tanmateix, això no suposa del tot una

incoherència pel que fa a la possible funció d'aquestes peces, ja que les mateixes fonts medievals esmenten una gran variabilitat de mides i gruixos pel que fa als gresols vinculats al processat de l'or i la plata¹⁵. Sembla ser que això depenia de la quantitat de producte a processar¹⁶, de la funció específica dins del procés de treball de la plata¹⁷ o d'altres qüestions tècniques com ara la grandària del forn¹⁸.

Malgrat les diferències de mida, però, resulta evident la similitud morfològica entre les peces dels diferents jaciments i, sobretot, és especialment important la seva coherència quant a cronologia, situada en tots els casos a inicis del s. IX i amb possibilitat d'haver estat en ús a finals del s. VIII.

6. El treball de la plata al món medieval

6.1. Historiografia

A l'hora d'enfrontar-nos a les fonts medievals sobre el treball dels diferents metalls ens trobem amb la dificultat que la majoria d'aquestes són d'origen àrab¹⁹ o són versions o reproduccions occiden-

15 “*Deinde pone duas partes argillae tritae et tertiam coctae testae, et commiscens cum aqua tepida macera fortiter, et inde compone uascula maiora et minora, in quibus liquerfacias aurum et argentum.*” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXII, v.1. Trad. “Després posa dues terceres parts d'argila mòlta i una de terrissa cuïta, barreja-ho amb aigua tèbia i pasta-ho enèrgicament. Fabrica amb això recipients grans i petits, on fondràs l'or i la plata” (SEGARRÉS, 2015: 127, 129).

16 “*Cribra cineres commiscens eos aqua, et accipe testam ollae in igne probatam, quae tantae magnitudinis sit, in qua credas liqueferi posse argentum, quod prurificari debet, ut non effundatur*” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXIII, v.1. Trad. “Sedassa cendra barrejant-la amb aigua i agafa una cassola de terrissa provada al foc i de la mida necessària per poder fondre la plata que s'ha d'afinar i sense que vessi” (SEGARRÉS, 2015: 129)

17 “*De fundendo argento: His ita dispositis mitte argentum in uno uasculorum [...]*” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXV, v.1. Trad. “La fosa de la plata: Un cop preparat tot això, fica plata en un dels gresols petits [...]” (SEGARRÉS, 2015: 131) i “*De molendo auro: [...]* Tolle quoque unum uasculum ex his, in quibus aurum uel argentum funditur, quod tamen ad opus istud spissius illis esse debet [...]” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXXV, v.1. Trad. “La mòlta de l'or: [...] Pren també un petit gresol d'aquests en què es fon or o plata, però, per a aquesta tasca ha de ser més gruixut que aquells [...]” (SEGARRÉS, 2015: 147)

18 “*De compositione vasorum: [...]* Deinde accipe lignum rotundum, et incide illud ad mensuram, quam uolueris habere uas secundum quantitatem fornacis [...]” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, LXV, v.1. Trad. “La fabricació de gresols: [...] Després agafa un tros de fusta rodó i talla'l a la mida que vulguis que tingui el gresol segons la grandària del forn [...]” (SEGARRÉS, 2015: 201, 203)

19 Destaquen les obres experimentals basades en la classificació, transformació i propietats de les substàncies de Jabir al Sufi (conegut com a Geber, s. VIII), Al-Kindi i Al-Razi (s. IX-X) (GALARZA i CORONEL, 2003) o l'exemple dels textos de Kufi (s. IX), on descriu la copel·lació de l'or i la plata (SÁNCHEZ, 1989: 77).

tals d'aquestes (SÁNCHEZ, 1989: 112). També solen emprar un llenguatge alquímic²⁰ difícil de desxifrar que sovint amaga referències simbòliques a processos i components reals²¹. A més, freqüentment són textos intencionadament crítics que tracten de desacreditar alguna d'aquestes pràctiques (MARTINÓN-TORRES, 2003: 385; SÁNCHEZ, 1989: 61). Això se suma al fet que, mentre la majoria de tractats tècnics medievals desenvolupen idees sobre la confecció i aplicació de pigments, la literatura sobre minerometal·lúrgia és pràcticament inexistent fins el s. XIII i, majoritàriament, està centrada en el treball del ferro. Durant molt de temps, aquest fet ha portat a considerar la inexistència de producció mineral i de tècniques metal·lúrgiques complexes pel que fa a altres metalls en l'alta edat mitjana (SÁNCHEZ, 1989: 62).

L'arqueologia, però, ha estat capaç d'aportar llum allà on no era possible arribar a través dels textos. Aquest és el cas dels estudis sobre la França merovíngia, que mostra una activitat minerometal·lúrgica basada en sofisticades tècniques d'origen romà manifestades en una gran varietat de forns, entre ells alguns d'especialitzats en la producció de plata (SÁNCHEZ, 1989: 63). Si ens traslладem a la península Ibèrica, l'arqueologia també ha permès refutar aquelles tesis que qüestionaven l'activitat metal·lúrgica a al-Andalus amb una recerca centrada sobretot en l'estudi numismàtic (GRAÑEDA, 2009). També cal destacar la tasca de localització de centres d'extracció de plata d'època califal mitjançant prospeccions, estudis documentals i anàlisis toponòmiques (Annex 2, Fig. 2) (SÁNCHEZ, 1989). Els treballs referents a la metal·lúrgia de l'or i la plata per a aquest període s'han centrat en l'estudi de les explotacions mineres (CANTÓ, CRESSIER i GRAÑEDA, 2008; CARBONELL, 1929; ECHEVARRÍA, 2010; GRAÑEDA, 1998 i 2008; MARTÍN, 2005; MARTÍNEZ, 2006; PUCHE, 2005 i QUINTANA, 2006), el treball d'aquests metalls nobles (CÓRDOBA, 2008; GRAÑEDA, 1998; PORTER i ROSSER-OWEN, 2014 i SIERRA, 2012) i la cultura material associada (PORTER i ROSSER-OWEN, 2014 i SINCLAIR, 2011), a més de les rutes comercials (LIARTE, 2010). El conjunt d'aquesta recerca ha permès, encara més, reforçar la idea que l'estat andalusí va tenir una importància cabdal en referència a la producció monetària en or, coure i plata.

20 Els alquimistes sovint basen els seus estudis en la relació entre les propietats dels metalls i la seva generació amb els planetes però també tracten qüestions més tècniques com ara la descripció dels processos de fusió, mescla, color, aspecte, estat d'agregació i pes específic de metalls i altres minerals. Així, s'aborden temes com ara la separació del metall pur del seu mineral o la generació d'aliatges (GALARZA i CORONEL, 2003: 8).

21 Teophilus afirma que l'or hispà es compon de coure vermell, pols de basilisc, sang humana i vinagre: "*Est etiam aurum, quod dicitur Hispanicum, quod conficitur ex rubeo cupro et pulvere basilisci et sanguine humano atque aceto.*" THEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XLVIII, v.2-3. Trad. "Hi ha a més un or que s'anomena hispànic que es fa amb coure vermell, pols de basilisc, sang humana i vinagre". (SEGARRÉS, 2015: 163).

A més, es va donar un progrés en la tècnica de laminació dels diferents metalls que va fer possible la fabricació d'objectes domèstics de luxe com ara revestiments de portes de fusta. En general, la producció de metalls esdevé un sector essencial en el desenvolupament de l'activitat econòmica pre-industrial. La plata, concretament, es va erigir principal recurs monetari, de manera que va ser durant aquest període un dels metalls més subjectes al comerç internacional (VÁZQUEZ, 1988: 257-258). Una mostra la tindriem en els *dírhams* andalusins, que s'exportaren fins el punt que la plata va esdevenir escassa dins del propi territori, fet que va obligar a l'encunyament de moneda de billó, un aliatge amb coure (SÁNCHEZ, 1989: 69, 74, 76).

Tanmateix, comptem amb un cert nombre d'autors medievals occidentals que tracten de forma molt acurada la producció i el treball amb metalls nobles. Entre aquests cal destacar l'obra de Teophilus, amb una datació imprecisa entre els segles IX i XIII, i Heraclius (s.X-XI). Teophilus va ser un monjo benedictí pertanyent al monestir alemany de Helmarshausen²² que va viatjar per tota Europa aprenent diferents tècniques artesanals dels tallers grecs, francesos italians i alemanys. El fet que la seva obra se centri especialment en la descripció precisa dels procediments relatius al treball de l'or i la plata ha fet pensar que fou aquesta la seva ocupació principal (SEGARRÉS, 2015). Els coneixements apresos els va sintetitzar en el seu tractat *Diuersarium artium Schedula* o *De diuersis artibus*, un manual dirigit a constructors i decoradors d'edificis religiosos. En aquesta obra s'exposen els mètodes principals per a l'obtenció, elaboració, transformació i decoració dels metalls preciosos: amalgamació i copel·lació de l'or i la plata, descripció de diversos tipus de soldadures, gresols i forns de copel·lació, etc. Heraclius, per la seva part, és conegut per l'obra *De coloribus et artibus Romanorum* que, tot i que no aporta tanta informació com el primer pel que fa al tema que aquí ens ocupa, descriu també processos d'amalgames, refinats d'or i plata, soldadures i manufactures de diferents metalls i aliatges (SÁNCHEZ, 1989: 111).

L'exactitud pel que fa a les descripcions d'aquests personatges en referència al treball de la plata ha estat de gran ajuda a l'hora de comparar-les amb els resultats de les anàlisis arqueomètriques. És per això que, al llarg de les pàgines dedicades a aquest estudi veurem constantment referències a l'obra d'aquests dos autors.

²² Tot i que no es coneix amb certesa el seu lloc d'origen, tot sembla indicar que fou alemany o italià (SEGARRÉS, 2015).

6.2. Tècniques

Es defineix la tècnica com al conjunt d'accions i relacions vinculades a la producció d'un objecte de consum. Entenem per producció, doncs, el procés de fabricació o de creació que inclou tant els objectes materials com les tècniques i mètodes emprats i per sistema tècnic les interconnexions que es donen entre les persones i els objectes durant la seva creació, distribució, ús i abandonament (MILLER, 2007: 4-5). En aquest sentit entra en joc el concepte de cadena operativa, definit per A. Leroi-Gourhan i P. Lemonnier (LEMONNIER, 1993; LEROI-GOURHAN, 1945), que ens proporciona tot un recurs per a l'estudi de la creació, utilització i amortització dels artefactes des de l'obtenció de les matèries primeres fins el seu ús i abandonament, passant per la seva manufactura i, per descomptat, considerant les possibles reutilitzacions i reparacions. Això respon a l'objectiu de conèixer els factors i les relacions derivades d'un sistema tècnic sotmès a les variacions promogudes pels diferents contextos en els quals s'inscriuen els objectes estudiats, és a dir, a les transformacions culturals, socials i econòmiques (VITEZOVIĆ, ANONOVIĆ, 2014: 7).

Al llarg de la història, tant l'or com la plata s'han emprat en activitats com ara la producció monetària i el treball de la joieria, entesa en el sentit més ampli: orfebreria vinculada a l'ornament personal o al culte, arts sumptuàries, brodats de sedes i altres teles de luxe, etc. (LIARTE, 2010: 4; SEGARRÉS, 2015: 380). Això es deu en gran part a les seves propietats físicoquímiques, en tant que són metalls extremadament dúctils i mal·leables (SEGARRÉS, 2015: 380). L'orfebreria esdevenia en època medieval un ofici vinculat a les classes més benestants, mentre que les persones amb menys poder econòmic que volien lluir ornaments havien de limitar-se a la bijuteria de llautó, ferro o coure (SÁNCHEZ, 1989: 157). El treball arqueometal·lúrgic sobre aquests gresols resulta, doncs, especialment motivador per tal d'ampliar el coneixement de les tècniques medievals del treball de l'or i la plata més enllà dels sovint poc assequibles tractats dels alquimistes i erudits de l'època.

Pel que fa al treball tradicional de la plata, aquest neix en època romana i romandrà invariable fins els períodes baixmedievals i, en alguns casos, fins l'edat moderna (LIARTE, 2010: 2). Tècnicament, es dividiria en tres etapes consistentes a l'obtenció de les matèries primeres (tècniques extractives o mine-res), la preparació del metall (tècniques metal·lúrgiques) i el treball al taller (orfebreria o numismàtica)

(MONTERO, 2010)²³.

Els dipòsits d'or i plata purs són extremadament poc freqüents en la natura i sovint es troben vinculats a altres minerals. En el cas de la plata, parlem generalment del plom o galena argentífera (PbS) però també d'altres minerals com la jarosita ($KFe^{3+}_3(SO_4)_2(OH)_6$) o el coure (Cu) (LIARTE, 2010: 3; MONTERO i RENZI, 2012: 343, SEGARRÉS; 2015: 380). D'aquesta manera, després d'un treball d'extracció, trituració, preparació, rentat i garbellat del material es procedeix al tractament d'aquest mitjançant la fosa²⁴ i copel·lació en un forn amb gresol (MONTERO, 2010, SEGARRÉS, 2015: 380). Aquesta tècnica, coneguda amb el nom de procés de Pattinson i que ha estat documentada durant més de 2000 anys (GALARZA i CORONEL, 2003: 10; SEGARRÉS, 2015: 381), permet assolir una puresa dels metalls nobles a l'entorn del 99% (GOZALBES i RIPOLLÉS, 2003: 3) i, fins i tot, extreure la plata de minerals de galena argentífera amb un contingut en argent menor al 2.5%. A nivell químic, la copel·lació o desplatació del plom parteix del principi de l'oxidació selectiva del plom o galena argentífera, de forma que se separen els cristalls de plom pur del plom enriquit amb plata. Això es realitza gràcies a les elevades temperatures aconseguides mitjançant, d'una banda un potent foc i, de l'altra, l'arribada d'un corrent d'aire. Aquest propiciarà el torrat, oxidació i reducció del mineral fins obtenir primerament un òxid de plom o litargiri²⁵. L'oxidació del plom que causa aquesta separació entre ambdós metalls es produeix entorn als 1000°C (ROVIRA, *et al*, 2000: 140). Com a conseqüència, es generarà un dipòsit en forma de botó de plata pura i el final d'aquest procés vindrà indicat per un "llampec de plata" produït en aparèixer la superfície neta de plata pura fosa (GALARZA i CORONEL, 2003: 10-11; LIARTE, 2010: 3; SEGARRÉS, 2015: 381).

En el cas de compostos argentífers deficitaris en plom, caldrà afegir més quantitat d'aquest mineral²⁶ durant la copel·lació, ja que el plom actua com a col·lector imprescindible per al procés d'extracció de l'argent tant en el cas de galenes argentíferes com altres minerals (MONTERO i RENZI, 2012: 343).

23 Tot i que aquesta no és la nomenclatura emprada per l'autor citat, es considera més adient parlar d'obtenció de matèries primeres i preparació del metall que d'obtenció del metall i preparació del material, tal com apareix al text original.

24 Els alquimistes medievals definien l'or i la plata com a roques fusibles que solidifiquen per refredament (GALARZA i CORONEL, 2003:21).

25 En els textos medievals, *argenti spuma* (GALARZA i CORONEL, 2003: 14).

26 "*Deinde mitte argentum in eam, et superpone modicum plumbi*" THEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXIII, v.6-7. Trad. "Després fica-hi la plata i posa-hi a sobre una mica de plom" (SEGARRÉS, 2015: 129)

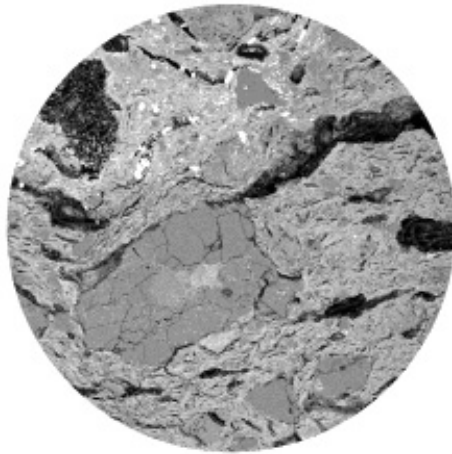
Un altre procediment que facilitava l'obtenció de la plata pura era afegir a aquest extra de plom sal comuna (NaCl) o un quart de bòrax vidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Així, amb l'ajuda del forn de carbó i dels bufadors s'obtenia la plata al cap de dues o tres hores de funcionament ininterromput dels forns (CASTILLO, 2001: 43; LIARTE, 2010: 3). Una vegada obtinguda la plata, es procediria a l'aplicació de diverses tècniques de taller com ara la deformació (laminació, martellejat, gravat, repussat, cisellat, etc.), el colat en motlles (cera perduda), el granulat, la filigrana o la combinació amb pedres precioses i altres materials (MONTERO, 2010).

Els gresols entren en joc en el processat de la plata tenint com a usos principals la fosa o reducció d'un metall a partir d'un compost mineral (copel·lació), el refinat i la fusió o líquefacció del metall (pas d'estat sòlid a líquid) (MARTINÓN-TORRES, 2003: 392). Aquest darrer procediment serà usat, per exemple, per a la reutilització del material a partir d'objectes defectuosos, vells o obsolets o per a l'obtenció de plata líquida a partir de lingots. Així, es tracta d'un recipient ideat per processar substàncies com ara els metalls però també altres com el vidre, que requereixen de temperatures elevades (FREESTONE, 1989). És aquest ús el que definirà una peça com a gresol per sobre d'una forma concreta ja que, tal com hem vist anteriorment, aquesta pot ser realment variable depenent del context i de les matèries primeres disponibles. De fet, les fonts primàries medievals ens parlen fins i tot d'alternatives als gresols ceràmics en cas de no tenir disponibilitat d'aquests útils²⁷.

Tècnicament, els gresols han de ser fabricats amb un material refractari que permeti aguantar altes temperatures sense patir alteracions fisicoquímiques importants. Han de ser resistents a l'impacte tèrmic, és a dir, no esquarterar-se a causa d'un contrast tèrmic en diferents punts de la peça en ser sotmeses al foc. També han de poder suportar els efectes de la corrosió generada pels òxids metàl·lics o les cendres. Aquesta sofisticació tècnica va fer dels gresols eines de gran valor per la complexitat de la seva fabricació i pel fet d'haver de tenir una composició química i unes característiques físiques concretes que garantissin la seva funcionalitat. Així, tot i que els fabricants d'aquests útils i els artesans que els empraven no coneixien la composició química requerida en les seves pastes, sí que seleccionaven les argiles o les mescles d'argiles més idònies a base d'operacions d'assaig i error (MARTINÓN-TORRES, 2003: 392, 393).

²⁷ *“Deinde accipe partem lateris cocti, et secundum quantitatem auri coquendi fodi in eo fossulam, quae illud capere possit; et si non habeas laterem, in lapide sabuleo [...]”* TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, L, v.1. Trad. “Després agafa un tros de maó cuit i segons la quantitat d'or que s'hi hagi de coure, fes-hi un petit clot que pugui contenir-lo. I si no tinguessis un maó, en una pedra sorrenca [...]” (SEGARRÉS, 2015: 146)

Bloc II. Estudi arqueomètric



7. Els estudis arqueomètrics entorn a la metal·lúrgia de la plata: un estat de la qüestió

Més enllà de concebre's com a una informació complementària, els treballs desenvolupats durant les darreres dècades han fet palès la importància de les analítiques químiques i mineralògiques per a l'estudi de la metal·lúrgia històrica. D'aquesta manera, l'arqueometria ha esdevingut una eina indispensable per tal de resoldre moltes de les incògnites que comporta la metal·lúrgia tradicional de l'or o la plata, a més de contribuir a la seva interpretació històrica. Això resulta especialment important si tenim en compte que el refinat dels metalls preciosos, juntament amb els intents de transmutació d'altres metalls en or o plata, ha estat fins a l'època moderna una activitat fonamental de l'experimentació de químics i alquimistes. (MARTINÓN-TORRES, 2003: 385- 388).

Tanmateix, els estudis arqueomètrics aplicats a la metal·lúrgia són relativament recents. En relació a això, val a dir que les primeres passes en aquest camp es produïren a finals del s. XX de la mà d'investigadors com ara S. Moorhouse als anys 70 i R.G.W. Anderson i J.T. Stock en la dècada dels 80, que estudiaren bàsicament l'instrumental químic antic de les diferents col·leccions europees. A la dècada dels 90 entrarà en joc la figura de T. Rehren, ja vinculat al món dels estudis analítics que aniran desenvolupant-se profusament fins els nostres dies (MARTINÓN-TORRES, 2003: 388). Les investigacions més recents, però, han volgut anar més enllà de l'estudi químic de l'objecte metàl·lic en si - és a dir, del producte final - i han centrat la seva atenció en el procés de fabricació d'aquest. Com a conseqüència, s'ha generat tota una línia de recerca al voltant de les ceràmiques tècniques (MARTINÓN-TORRES i REHREN, 2014) i, més concretament, dels gresols metal·lúrgics (BAYLEY i REHREN, 2007; DUNGWORTH, 2000; REHREN, 2016). A més, també s'han realitzat analítiques dels motlles emprats durant aquests processos (KEARNS, MARTINÓN-TORRES i REHREN, 2010; DUNGWORTH, 2000) i, durant els darrers deu anys, s'ha obert una important camp d'investigació interdisciplinària que combina els estudis arqueomètrics amb la classificació tipològica (BAYLEY i REHREN, 2007).

8. Caracterització química dels gresols: fluorescència de raigs X (FRX)

8.1. Resultats

Tot i que, tal com s'apunta a la descripció de la rutina analítica (Annex1, A), són molts més els ele-

ments químics considerats pel que fa a l'estudi mitjançant FRX, treballarem en aquest cas amb una selecció de cinc components que es resumeix en la taula de resultats (Fig. 6). Mentre que a trets generals, la composició química global dels gresols és homogènia per a tots ells, s'ha detectat un seguit d'elements i òxids que presenten una considerable variabilitat entre els diferents individus (CaO, Ag, Cu, Pb i Na₂O). D'una banda, la plata o argent (Ag), el coure (Cu), el plom (Pb) i el sodi (expressat com a òxid: Na₂O) són elements que no es troben normalment en les ceràmiques en concentracions tan elevades com les aquí observades i que, per tant, ens poden aportar informació sobre l'ús dels gresols. D'altra banda, el calci (expressat com a òxid: CaO) és un compost habitual en les ceràmiques que ens donaria més aviat informació sobre la temperatura de cocció assolida per aquestes.

Resultats FRX					
	CaO	Na ₂ O	Pb	Cu	Ag
BCN344	7800	9500	38	34	3
BCN345	12400	47800	25	252	734
BCN346	7800	9600	45	19	3
BCN347	11600	57700	18	606	3433
BCN348	8000	34000	108	689	1343
BCN349	8400	10000	202	36	12
BCN350	11500	47800	58	1607	3336
BCN351	10100	76200	53	980	6073
\bar{x}	9700	36575	68	528	1867

Fig. 6: Taula de resultats corresponent a la caracterització química per FRX. Es marquen en color aquells valors especialment elevats per a cada element. Resultats expressats en parts per milió ($\mu\text{g g}^{-1}$). Font: Arxiu de l'autor.

Amb la finalitat d'estudiar aquestes relacions s'han realitzat una sèrie de tractaments estadístics que es descriuen a continuació.

D'entrada, crida especialment l'atenció la important presència de plata en la composició química d'aquestes ceràmiques. L'alta concentració d'aquest element, òbviament, no és intrínsec a les matèries primeres emprades per a la fabricació de la ceràmica sinó que resulta d'un enriquiment posterior vinculat al seu ús. Així, tot i que en un primer moment i mitjançant

l'estudi morfològic, aquestes peces no havien estat relacionades amb la producció i manufactura de la plata, la seva elevada presència pel que fa a alguns exemplars ens porta directament a considerar aquests recipients com a gresols vinculats al treball de la plata. La gràfica d'estimació de densitat per kernels (KDE) corresponent a la plata (Annex 4, Fig. 1) mostra tres pics diferenciats: el primer fa referència a un grup de gresols amb un contingut que oscil·la entre 0-1300 $\mu\text{g g}^{-1}$ aproximadament (BCN344, 345, 346, 348 i 349), en el segon grup aquesta se situa als volts de 3000 $\mu\text{g g}^{-1}$ (BCN347 i 350) i trobem un darrer gresol amb uns nivells de plata molt elevats, sobre els 6000 $\mu\text{g g}^{-1}$ (BCN351). Aquest primer estudi estadístic permet diferenciar grups segons tinguin valors majors o menors de plata. Tanmateix, cal puntualitzar que el que ens interessa no és tant la major o menor presència del metall noble en els diferents gresols sinó, més aviat, establir una distinció entre aquells que mostren uns valors realment baixos d'aquest element - que poden deure's a contaminacions - (BCN344, 346 i 349; amb valors sempre inferiors a 12 $\mu\text{g g}^{-1}$) dels que mostren una quantitat que cal relacionar necessàriament amb el seu ús com a ceràmica tècnica vinculada al procés de treball de la plata (BCN345, 347, 348, 350 i 351; amb valors que oscil·len entre els 700-6000 $\mu\text{g g}^{-1}$). Serà aquesta, doncs, la diferenciació grupal que s'utilitzarà al llarg de tot el treball per establir les categories de "gresols amb presència elevada d'argent" i "gresols amb baixa presència d'argent".

Atenent ara a la resta d'elements i compostos esmentats, s'han realitzat un resum numèric i dos gràfics de caixa de dispersió amb la finalitat d'estudiar la distribució de cadascun d'ells en la composició química dels gresols (Annex 4, Figs. 2, 3a i 3b). Tant les gràfiques com la taula mostren com el component que presenta una major desviació estàndard²⁸ és, amb un valor sorprenentment alt, el sodi ($s=25191\mu\text{g g}^{-1}$). Seguidament, trobaríem la plata ($s=2211\mu\text{g g}^{-1}$) i el calci ($s=1931\mu\text{g g}^{-1}$). Finalment, el coure ($s=563\mu\text{g g}^{-1}$) i el plom ($s=61\mu\text{g g}^{-1}$) són els que presenten major homogeneïtat. Pel que fa a aquest darrer, s'observa al gràfic un valor aberrant que correspon a l'individu BCN349, amb un contingut de plom que pràcticament dobla la corresponent al segon gresol amb major presència d'aquest element.

Per acabar, l'estudi de la relació entre els components químics analitzats s'ha vehiculat a través d'una matriu de correlacions i d'una matriu de diagrames de dispersió (Annex 4, Figs. 4 i 5). En un primer

²⁸ Mesura de dispersió dels valors de cada variable en relació a cadascun dels individus. Es representa amb l'abreviatura *s* (de l'anglès *standard deviation*)

terme, la correlació CaO-Ag no arriba a 0.50 (coeficient de determinació del 24%), de manera que *a priori* no ens permet establir una relació directa entre ambdós elements. Tanmateix, aquesta escassa correlació sembla deure's a la influència d'un individu concret (BCN348), que no segueix la mateixa pauta de proporcionalitat que la resta ja que, tot i contenir un elevat percentatge de plata ($1343\mu\text{g g}^{-1}$), presenta un valor proper als del grup de "gresols amb baixa presència d'argent" quant a calci ($8000\mu\text{g g}^{-1}$).

Contràriament, en referència al coure i al sodi, la seva relació amb la plata és evident i realment destacable en el segon cas (de 0.76 i 0.91 respectivament, traduït per coeficients de determinació del 58% i del 98%). Finalment, el plom és l'element que presenta un menor grau de correlació (0.30, el que seria un coeficient de determinació del 9%). Això pot haver-se vist influenciat pels gresols BCN347 i 349, amb una relació Pb-Ag de proporció inversa.

8.2. Discussió

Tal com hem vist, la variabilitat pel que fa a la composició química dels gresols del Tinell ve introduïda principalment pels cinc elements mostrats a la taula. Si no els tinguéssim en compte, obtindríem pel que fa als vuit individus un panorama homogeni propi de ceràmiques corresponents a una mateixa font de fabricació o provinença. Pel que fa al plom, tot i que es tracta d'un metall present en diferents etapes del processat de la plata com ara la copel·lació (GALARZA i CORONEL, 2003: 10; SEGARRÉS, 2015; VÁZQUEZ, 1988: 258), no presenta una correlació directa amb els nivells de plata. Cal pensar, doncs, que la seva major o menor presència no es vincula de forma estricta a l'obtenció d'aquest metall sinó a possibles contaminacions durant l'enterrament de les peces. Això no ens ha d'estranyar si tenim en compte que el plom, a l'igual que altres metalls com ara el zinc (Zn) formen òxids químicament molt reactius que enriqueixen de forma forta i amb gran facilitat les ceràmiques (REHREN, 2016: 212).

8.2.1. El calci (CaO)

En general, podem afirmar que ens trobem davant d'un grup ceràmic poc calcari ($\text{CaO} < 50000\text{-}60000\mu\text{g g}^{-1}$). Les ceràmiques poc calcàries presenten durant la cocció un menor desenvolupament de les fases o minerals d'alta temperatura i la microestructura resultant de la cocció a altes tempe-

ratures és densa, poc porosa i amb una ràpida formació de la fase vítria (MANITATIS *et al*, 1981, 1983; TITE *et al*, 1982). Aquesta manca de porositat resulta necessària per a la funció que duen a terme aquests gresols, ja que minimitza la probabilitat de pèrdua de material durant la fosa de la plata.

8.2.2. El sodi (Na₂O)

El sodi ens és especialment interessant en aquest estudi ja que es vincula molt fortament amb la plata. Segons la lectura de les fonts medievals, la presència de sodi en les ceràmiques tècniques podria ser resultat de l'ús de la sal (NaCl) o del bòrax (Na₂[B₄O₅(OH)₄]·8H₂O) en el processat dels metalls nobles. D'aquesta manera, l'ús d'aquestes substàncies vinculades a la manufactura de la plata hauria generat deposicions contínues i abundants de sodi que haurien estat finalment absorbides per la matriu dels gresols en forma d'òxid.

En relació a això, Heraclius (s. X-XI) esmenta tant l'ús de la sal com el bòrax³⁰ a l'hora de realitzar les soldadures dels objectes d'or i plata²⁹. A més, segons els seus tractats, la sal presenta també altres usos com ara la preservació de l'acció mordent de diverses substàncies, ja que contribueix al manteniment de la humitat (LÓPEZ, 2007: 182). En les fonts primàries trobem exemples d'alquímistes medievals destacats com van ser els Germans Creients (s. X-XI) que ens parlen del bòrax com a substitut de la goma aràbiga en soldadures, així com d'una mescla de nitro (Na₂CO₃)³¹, sofre, coure i plom que, després de ser sotmesa a altes temperatures³², es pot fer servir per tal de separar la plata d'altres minerals impurs. També Isidor de Sevilla (s. VI-VII) i l'alquímista àrab conegut amb el sobrenom de Geber (s. VIII) ens parlen d'aquest darrer procés. Al s. XIII Vincent de Beauvais esmenta també la propietat de la sal com a una substància liquidadora i purificadora de l'or i la plata que, a més, po-

29 “[...] *id est de sale et temperamento facta, ubi volueris solidare*” HERACLIUS (s. X-XI), *De coloribus et artibus romanorum*, Llibre 2, 22, v. 5-6. Trad. “[...] *fatto ciaè di sale e della mistura, e l'applicherai là done vorrai soldare.*” (GARZYA, 1996)

30 “*Quomodo distemperatur bures et servatur*” HERACLIUS (s. X-XI), *De coloribus et artibus romanorum*, Llibre 2, 46, v. 1. Trad. “*Come si tempera e si conserva il borace*” (GARZYA, 1996)

31 També anomenat en alguns llocs com a soda.

32 Els textos medievals sobre alquímia, pel fet de no existir un sistema normativitzat, no precisen les temperatures exactes a que fan referència amb termes com ara “altes” o “elevades”. Seria interessant, doncs, poder aclarir en un futur aquestes qüestions mitjançant proves d'arqueologia experimental.

tència el seu color (CASTILLO, 2001: 43; GALARZA i CORONEL, 2003: 10, 13, 14). Igualment, el propi Teophilus tracta en la seva obra magna l'ús de la sal en la fosa de plata, generalment amb la finalitat de fer-la líquida (SEGARRÉS, 2005: 381), tot i que també la vincu la a operacions de recuita³³, soldadura (juntament amb el coure³⁴) i daurat de les peces³⁵. També Teophilus esmenta el bòrax per a l'aplicació del niell³⁶ en la tècnica que porta el mateix nom. El bòrax, però, sovint és esmentat sota altres nomenclatures com ara *parahas* en el cas de Teophilus (SEGARRÉS, 2005: 139) o *paramentum* en el cas d'Heraclius, que defineix aquesta substància com a una eflorescència salina emprada per soldar metalls (LÓPEZ, 2007: 183).

Alternativament, caldria valorar la possibilitat que aquestes partícules de sodi es relacionessin amb restes de dipòsits de sorra vinculats a la fabricació de vidre, ja que aquest s'obté a partir de diòxid de silici (SiO₂), carbonat de sodi (Na₂CO₃) i pedra calcària (CaCO₃). D'aquesta manera, es podria plantejar un ús més diversificat d'aquests gresols. Tanmateix, tornant a les dades de la FRX, veiem com es mostren uns valors molt homogenis pel que fa al component principal del vidre, el diòxid de silici (595400-667700µg g⁻¹) (Annex I, Fig. 1). Aquests no van de la mà de la forta variabilitat mostrada en el cas del sodi, on el valor més alt és vuit vegades major al més baix. Això ens fa interpretar el diòxid de silici com a un component propi de la pasta dels gresols, sense cap atribució vinculada a l'ús d'aquests com a gresols de fosa de vidre.

33 “[...] mitte argentum in uno uascularim, et cum liquefactum fuerit, proice podicum salis super illud [...] Deinde fac tibi confectionem ex faecibus claris et sale” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXV, v.1-6. Trad. “[...] fica plata en un dels gresols petits i, quan s’hagi fos, tira-li una mica de sal a sobre [...]. Després fes-te un preparat fet de vinassa clara i sal, on apagaràs la plata submergint-la-hi, cada vegada que la recoguis” (SEGARRÉS, 2015: 131)

34 “Pondera duas partes argenti puri et tertiam cupri rubri [...] et illud ustum tere in cupreo uase cum rotundo malleo, admixta aqua et sale [...] sufflabis longo flatu, donec soldatura liquefiat sufficienter” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXXI, v.5-13. Trad. “Pesa dues parts de plata pura i una tercera de coure vermell [...] mol aquesta substància cremada en un recipient de coure, barrejada amb aigua i sal [...] ho manxaràs suaument amb un llarg buf fins que la soldadura es fongui adequadament” (SEGARRÉS, 2015: 141)

35 “De invivandis et deaurandis auricus: sume uini lapidem [...], addeque ei tertiam partem salis” TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXXVIII, v.1-2. Trad. “Amalgamar i daurar les nanses: Obtén tartrà [...], hi afegiràs una tercera part de sal” (SEGARRÉS, 2015: 151)

36 L'autora M. Segarrés empra en la la seva obra (SEGARRÉS, 2005) el terme niell per tal de referir-se a l'amalgama emprada per a niellar, tot i que no es tracta d'un mot normatiu en català. El niellat és un tipus de decoració basat en l'aplicació d'una substància de color negre composta de sulfurs de coure, plata i plom i que s'obtenia cremant sofre amb les llimadures dels metalls. El procediment consistia, primer, a gravar amb el burí la planxa d'or i de plata per a, a continuació, omplir les incisions amb aquesta amalgama de color negre. Quan s'havia refredat, es polia la planxa (SEGARRÉS, 2005: 396-397).

8.2.3. Altres components: el coure (Cu), el mercuri (Hg) i el potassi (K₂O)

El coure, tot i que de forma no tan extremada, també presenta una relació evident amb els nivells de plata. Aquest s'utilitza en diferents estadis del treball de la plata i s'ha emprat sovint, juntament al plom i el nitro, per tal de separar-la dels minerals que la contenen (GALARZA i CORONEL, 2003: 10). A més, tal com s'ha esmentat en l'apartat anterior, actua juntament amb la sal en el procés de la soldadura de la plata. Malgrat això, mentre que elements com l'estany, el zenc o el plom oxiden preferentment, el coure només ho fa una vegada la resta de metalls s'han eliminat en forma d'òxid (per evaporació, incorporació en el gresol o rebutjats en forma d'escòria), de manera que la presència de restes de coure pur (no eliminat o absorbit pel gresol en forma d'òxid) podria conduir a una errònia sobrerrepresentació d'aquest metall en relació als esmentats anteriorment (REHREN, 2016: 212).

També el coure, juntament amb l'argent, el plom i el sofre s'empren per a la fabricació del niell, una aplicació molt estesa en l'orfebreria medieval (SEGARRÉS, 2015:139). Tanmateix, tot i que existeix una correspondència entre els nivells dels dos primers elements, el vincle amb els dos darrers sembla no acomplir-se, fet que ens porta a descartar aquesta possibilitat. Tampoc sembla que en aquest cas el coure s'hagi utilitzat per a la fabricació de llautó (aliatge de coure i estany) en tant que els valors d'estany són negatius segons els resultats de FRX (Annex I, Fig. 1). És a dir, són tan escassos que no arriben al límit de detecció de l'aparell i, per tant, es tracta de valors que no poden considerar-se en l'estudi.

El coure, juntament amb el ferro i la sal també s'ha documentat en època medieval com a un element amb el qual s'enriquia el mercuri en el procés d'amalgamació de la plata. El metall líquid s'adheria a l'or i la plata facilitant la seva extracció de forma que, més tard i mitjançant l'acció tèrmica, se separava el mercuri del metall noble (CASTILLO, 2001: 45; GALARZA i CORONEL, 2003: 11). Tot i que trobem al·lusions a aquest procés pel que fa a l'amalgamació de l'or ja en les obres de Vitruvi (s. I aC) i Plini (s. II dC), no es va desenvolupar a Europa Occidental fins el s.IX i especialment al s. XIII, quan apareix descrit en les obres de Geber (s. VIII-IX), al-Razi (s. IX-X) i Avicena (s. X-XI). En l'àmbit cristià, ens en parla Isidor de Sevilla (s. VI-VII) i no torna a esmentar-se fins època baixmedieval. En el cas de la plata es tractava d'una operació més complicada que en l'or pel fet que aquesta oxida en contacte amb l'aire i

queda coberta per una capa d'òxid o carbonat de plata que impedeix el contacte entre ambdós metalls. Pel que fa al nostre cas, podem descartar l'aplicació d'aquest procés o, almenys, l'ús d'aquests gresols per al procés de separació de la plata de l'amalgama entre plata i mercuri, ja que els nivells de mercuri proporcionats per la FRX se situen també per sota del límit de detecció (Annex I, Fig. 1).

El potassi (expressat com a òxid, K_2O) presenta valors oscil·lants entre el 25900-43000 $\mu\text{g g}^{-1}$ de la composició de la mostra (Annex I, Fig. 1). L'enriquiment dels gresols pel que fa a aquest compost es vincula directament al contingut en cendres i es pot deure a una contaminació per les restes de la combustió del forn o a l'ús de cendra en la fabricació de les pròpies peces (GALARZA i CORONEL, 2003: 10; GOZALBES i RIPOLLÉS, 3; MARTINÓN-TORRES, 2003: 392; SEGARRÉS, 2015: 203). A més, segons els escrits de Teophilus, la cendra s'ha utilitzat també en la fusió de la plata i, juntament amb coure, com a material de soldadura (SEGARRÉS, 2015: 129 i 167). Tanmateix, el fet de no trobar cap correlació $K_2O\text{-Ag}$ o $K_2O\text{-Cu}$ ens fa descartar aquests darrers usos i la seva homogeneïtat en el conjunt de peces més aviat porta a pensar en un ús de les cendres durant la seva fabricació o en una contaminació en el moment de l'enterrament.

9. Caracterització mineralògica dels gresols: difracció de raigs X (DRX)

9.1. Resultats

L'anàlisi de la composició mineralògica dels gresols s'ha fet mitjançant DRX (Annex I, B). Aquesta analítica s'ha aplicat sobre un exemple de gresol de cadascun dels dos grups diferenciats anteriorment en base al seu contingut en plata i respon a l'objectiu de definir o de descartar una correspondència entre els nivells de plata de les mostres i la seva temperatura de cocció estimada (en endavant, TCE).

Com a mostra representativa del grup de gresols amb poc contingut en argent s'ha pres l'individu BCN344. Els resultats de DRX determinen pics ben definits d'il·lita-moscovita³⁷ (Ilt) i de plagiòclasi (Pl). A més, presenta no es detecta la presència d'hematites (Hem). Per contra, el gresol BCN351, que mostra els nivells d'argent més alts del conjunt, ofereix pics molt intensos d'aquests dos darrers elements. En aquest segon cas, però, els nivells d'il·lita-moscovita són inapreciables (Fig. 7).

³⁷ Fil·losilicat del grup de les miques.

9.2. Discussió

Si tenim en compte que, sense considerar les variabilitats derivades del seu ús, els gresols presenten una composició química homogènia, l'absència d'hematites en alguns exemplars condueix a pensar que aquesta no és una fase primària³⁸ en la matriu dels gresols del Tinell. En relació a la temperatura de cocció equivalent (TCE) cal valorar que tant l'hematites com la plagiòclasi (fases de cocció³⁹) cristal·litzen entre els 800-850°C, de tal manera que la TCE per als gresols amb escassa presència d'argent no hauria estat superior a aquesta temperatura. A més, si tenim en compte que la calcita no es mostra en el difractograma de cap de les peces, cal situar el rang de cocció d'aquestes ceràmiques entre 700°C (temperatura a la que es descompon la calcita i apareix la calç) i 800-850°C. Conseqüentment, com que el punt de fusió de la plata és de 961.78°C, podem inferir que molt probablement aquest primer grup de gresols no hauria arribat a utilitzar-se en el taller.

Pel que fa al segon grup, com hem dit, apareixen pics intensos de plagiòclasi i hematites, de forma que és evident la TCE per a aquests és superior a la de les peces anteriors. També en aquest darrer cas l'absència d'il·lita-moscovita porta a precisar que la seva TCE podria haver arribat als 950-1000°C, punt en el qual es descompon completament aquest mineral. Aquesta temperatura seria suficient per a dur a terme la fusió de la plata (961.78°C), més encara si es considera que elements com ara el sodi contribueixen a disminuir aquest punt de fusió.

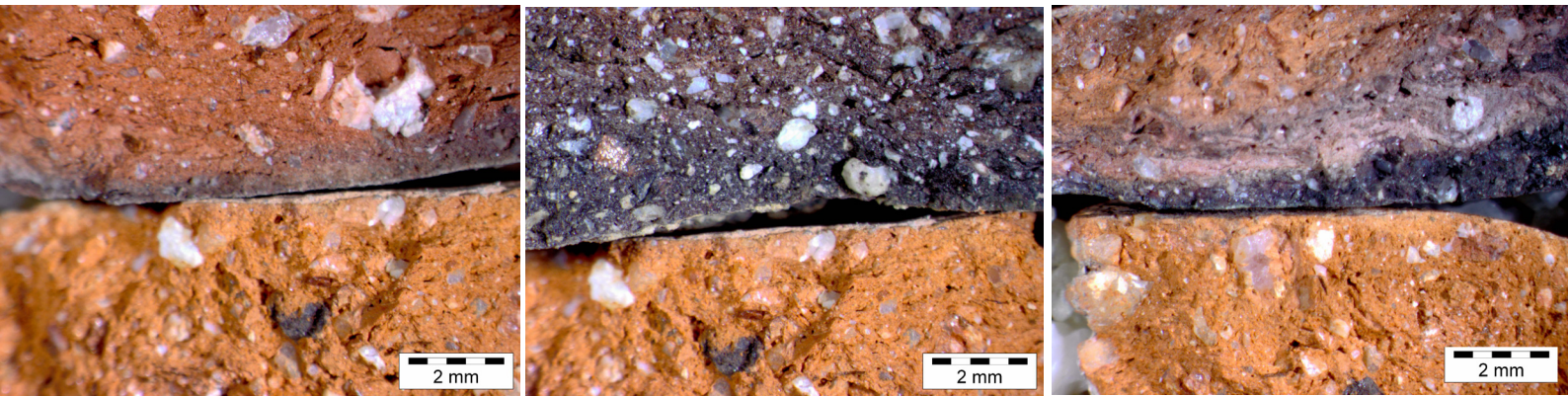
10. Anàlisi macroscòpica: lupa binocular

10.1. Resultats

Els resultats de la caracterització amb lupa binocular (Annex1, C) mostren com, de forma general, la pasta dels gresols amb un nivell d'argent més alt presenta coloracions ataronjades (oxidants) al nucli de la matriu que es tornen grises (reductores) en aproximar-se a les superfícies. Referent als gresols amb poca presència d'argent, aquests mostren una matriu ataronjada

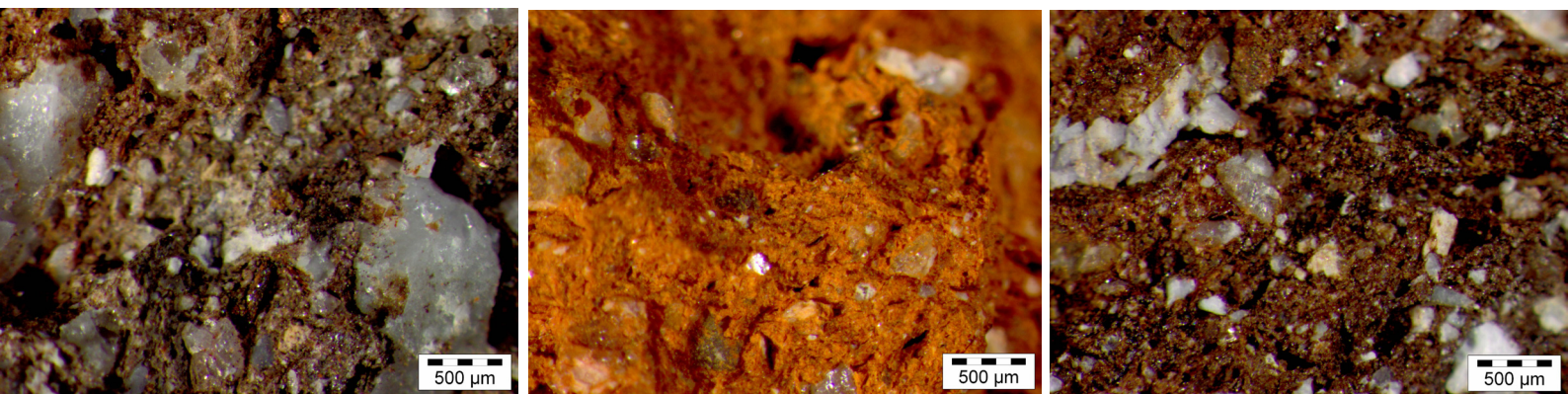
38 Definim amb el terme “fases primàries” tots aquells minerals que es troben en la pasta d'una ceràmica abans de la cocció.

39 Definim amb el terme “fases de cocció” tots aquells minerals que es formen durant la cocció a partir del material lliure que queda per la descomposició de les fases primàries.

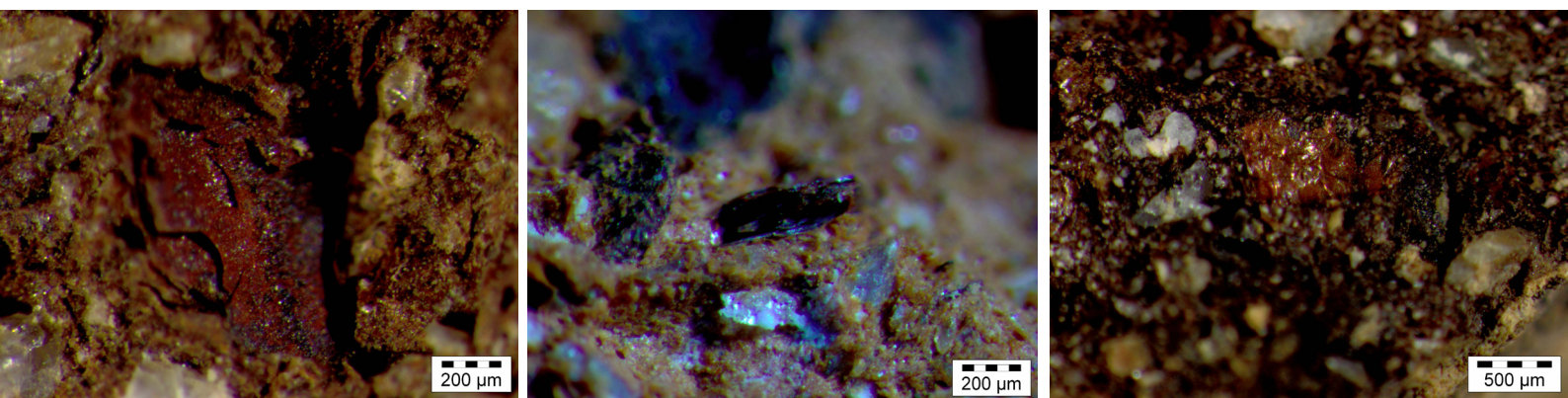


Figs. 8,9 i 10: Imatges que comparen la mostra amb poca presència d'Ag BCN346 (baix) amb les mostres amb alta presència d'Ag BCN348,347 i 350 respectivament (dalt). En elles es pot veure com mentre la mostra pertanyent al grup amb poca plata presenta una matriu ataronjada homogènia, les mostres pertanyents al grup amb alt nivell de plata mostren pastes ataronjades en el nucli que es van enfosquint en apropar-se a la superfície. Font: Arxiu de l'autor.

en tot el tall (Figs. 8, 9 i 10). Totes les mostres presenten una quantitat de desgreixador molt abundant caracteritzat per inclusions de gran mida: principalment cristalls transparents i translúcids i també partícules blanques opaques (Figs. 11, 12 i 13). En una proporció menor s'identifiquen una sèrie d'inclusions vermelloses i allargades que podrien correspondre's amb miques o amb les empremtes resultants del seu desprendiment (Figs. 14, 15 i 16).



Figs. 11, 12 i 13: Mostra dels diferents tipus i mida de partícules presents en la matriu de les mostres corresponents a les peces BCN345, 346 i 347 respectivament. Font: Arxiu de l'autor.



Figs. 14, 15 i 16: Mostra de diferents mostres d'inclusions vermelloses i allargades i que presenten exfoliacions en les peces BCN351, 346 i 347 respectivament. Font: Arxiu de l'autor.

Aquestes observacions inicials amb fractura fresca s'han pogut precisar amb l'observació de seccions polides. Mentre que en el grup de gresols amb poca presència d'argent es va realitzar un mostreig general de cada peça, pel que fa al grup de gresols amb una elevada presència d'argent, es van fer observacions diferenciades de fragments tant de la base (B) com de la vora (V) dels gresols:

Gresols amb poca presència d'argent:

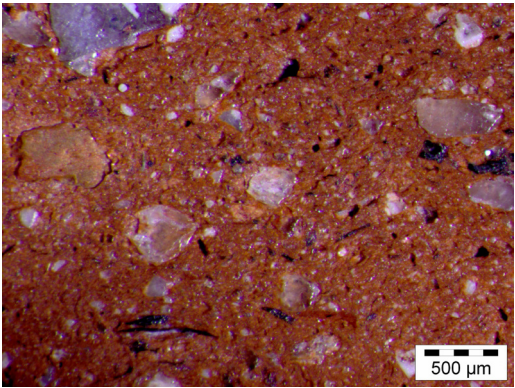
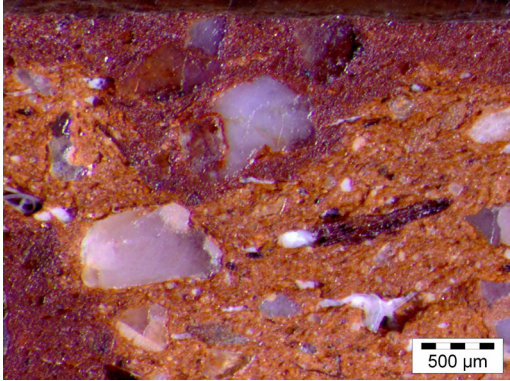
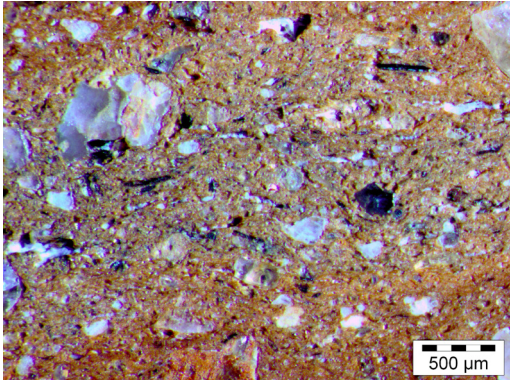
INDIVIDU	IMATGE LUPA BINOCULAR
BCN344	
BCN346	
BCN349	

Fig 17: Taula que mostra la imatge amb lupa binocular (25X) dels gresols amb baixa presència d'Ag. Les peces s'ordenen en aquesta imatge de menor a major presència d'Ag en la seva caracterització FRX. Font: Arxiu de l'autor.

Gresols amb presència elevada d'argent:

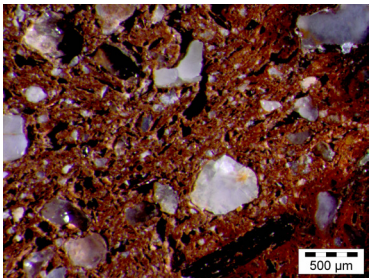
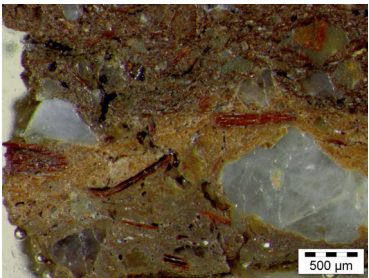
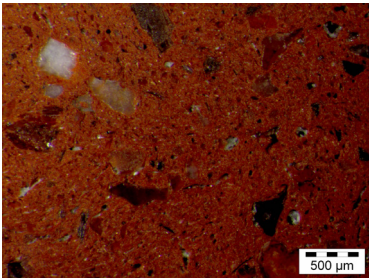
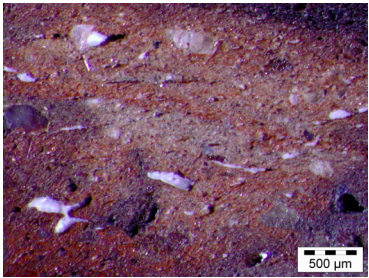
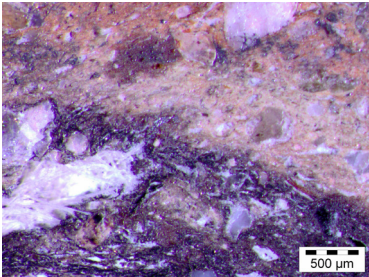
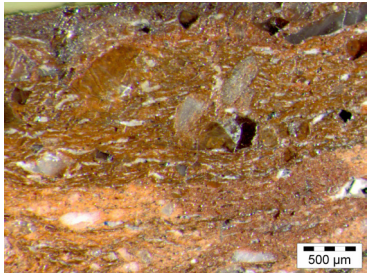
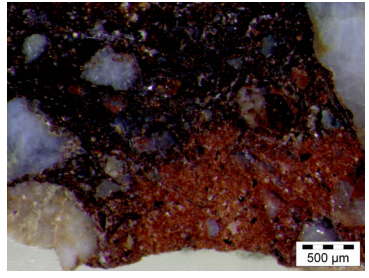
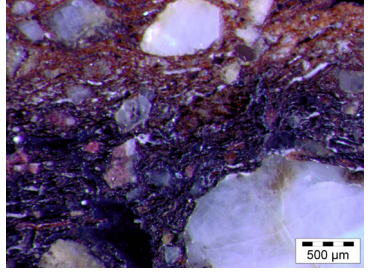
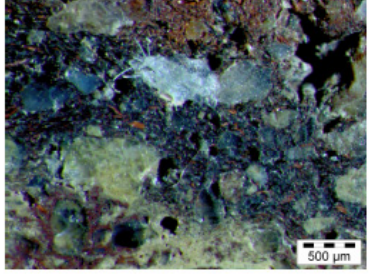
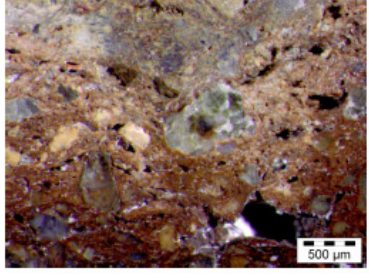
INDIVIDU	IMATGE LUPA BINOCULAR	
	vora	base
BCN345		
BCN348		
BCN350		
BCN347		
BCN351		

Fig 18: Taula que mostra la imatge amb lupa binocular (25X) dels gresols amb ALTA presència d'Ag. Les peces s'ordenen en aquesta imatge de menor a major presència d'Ag en la seva caracterització FRX. Font: Arxiu de l'autor.

Gresols amb poca presència d'argent:

BCN344: Matriu de pasta taronja amb inclusions (esfèriques i arrodonides, tant cristalls com roques) que segueixen l'orientació de les parets de la peça (Fig. 17, BCN344).

BCN346: Matriu ataronjada amb inclusions (tant cristalls com roques) generalment arrodonides, tot i que en trobem alguna d'angulosa. En menor mesura, s'han detectat inclusions laminars. (Fig. 17, BCN346).

BCN349: Matriu de coloració menys homogènia amb el centre més clar. Entre els cristalls i les roques trobem tant partícules petites esfèriques, anguloses i laminars a més d'altres de més grans, que són el·líptiques i anguloses. S'observa una concentració d'inclusions al centre (Fig. 17, BCN349).

Gresols amb presència elevada d'argent:

BCN345-V/BCN345-B: Tant la vora com la base presenten una matriu de color marró que s'enfosqueix en arribar a la superfície i presenta zones puntualment més vermelloses. Com en el cas anterior, les inclusions són de mida i tipologia diversa (sobretot, esfèriques i anguloses i laminars) (Fig. 18, BCN345).

BCN348-V/BCN348-B: Matriu ataronjada amb la zona propera a la superfície enfosquida en el cas de la base. Les inclusions són de tipus divers (esfèriques, tant arrodonides com anguloses, i laminars), sobretot, cristalls. Les inclusions segueixen l'orientació de la superfície (Fig. 18, BCN348).

BCN350-V/BCN350-B: Tant en la vora com en la base trobem una variabilitat de colors clarament diferent que van des de l'exterior cap a l'interior de marró a ocre, passant per tons vermells i taronja intermedis. Les inclusions (tant cristalls com roques) són esfèriques, tant arrodonides com anguloses i, en general, s'orienten seguint la superfície de la peça (Fig. 18, BCN350).

BCN347-V/BCN347-B: Coccio general oxidant, tot i que trobem algunes zones reduïdes a la superfície exterior de la peça. Trobem inclusions esfèriques i anguloses que segueixen la direcció de la superfície de la peça (Fig. 18, BCN347).

BCN351-V/BCN351-B: Observem pel que fa a la vora una coloració predominantment ataronjada que es torna grisa en apropar-se a les superfícies. La base contempla un ventall de coloracions disposades en capes superposades. Així, des de l'exterior a l'interior veiem primerament un color gris, seguit per un marró fosc, un de més clar i un blanc rosat al nucli. Les inclusions són esfèriques, tant arrodonides com anguloses i segueixen en el cas de la base l'orientació de la superfície mentre que en el cas de la vora, tenim una orientació en cercles. Tant la base com la vora presenten una crosta blanca interior (Fig. 18, BCN351).

10.2. Discussió

Gràcies a les observacions realitzades a través de la lupa binocular s'han arribat a inferir algunes qüestions referides tant al disseny com a la fabricació i ús dels gresols. Quant al disseny, convé esmentar la importància de la selecció de les matèries primeres adequades per tal d'aconseguir les propietats mecàniques i tèrmiques òptimes en relació a la funció concreta de les ceràmiques. En aquest cas, la fosa de metalls a alta temperatura. Primerament, cal remarcar que la presència tant d'inclusions anguloses com arrodonides de diversa mesura (oscil·lants en molts casos entre $50\mu\text{m}$ i 1.5mm) ens mostra una manca de selecció de les partícules destinades a actuar com a desgreixador en les peces. Aquestes inclusions prendran un paper protagonista pel que fa a la funcionalitat dels gresols en tant que es tracta de ceràmiques destinades a ser sotmeses a temperatures molt elevades i a un continu canvi de temperatura. Aquesta variabilitat tèrmica té com a conseqüència un estrès produït pel contrast entre la cara interna i l'externa del recipient, fet que pot propiciar la seva fractura. És en aquest sentit que la gran presència d'inclusions posa de manifest la clara intenció de fabricar una ceràmica molt tenaç, és a dir, resistent a la propagació de les possibles fractures. En relació a això, l'existència de partícules no plàstiques (especialment, quarsos) dificulta l'avanç de la fractura en tant que dissipa la seva energia de propagació, evitant així el conseqüent col·lapse de la peça (REHREN, 2016: 211).

També la disposició de les inclusions, observable amb la lupa binocular, ens mostra algunes de les característiques tècniques de la confecció dels gresols. De forma general, s'observa com aquestes es posicionen seguint les parets de la peça, fet que es relaciona amb un modelat a torn com a mínim pel que fa a l'acabat.

Pel que fa al tipus d'argila seleccionada, ens trobem davant d'una de les qüestions que evidencien una discrepància major entre allò que ens arriba a través de les fonts escrites i l'anàlisi dels materials arqueològics. Així doncs, mentre que Heraclius esmenta l'ús de vasos de terracota com a gresols⁴⁰, Teophilus i altres autors més tardans com ara Georgius Agricola o Lazarus Ercker (s. XVI) aconsellen per a la fabricació de gresols argiles de coloració blanca o grisa i no vermellova. Això es deu al fet que l'alt contingut en òxids d'alumini (Al_2O_3) i titani (TiO_2), sumat a l'absència de concentracions d'altres òxids metàl·lics – sobretot d'òxids de ferro, causants d'aquesta coloració vermellova – contribueixen a fer d'aquestes ceràmiques peces més refractàries (MARTINÓN-TORRES, 2003: 393; SEGARRÉS, 2005: 127). Per contra, tant la coloració predominantment oxidant d'aquestes peces, que arriba en alguns casos a mostrar pastes d'un vermell realment intens, com la caracterització química ens mostren una elevada presència de ferro (Fe_2O_3) en la seva composició (que en la FRX mostren percentatges entre 60300-72000 $\mu g g^{-1}$) (Annex I, Fig. 1). Això també es podria relacionar amb la composició mineralògica de les peces. Així, la majoria de gresols metal·lúrgics es fabriquen en base a argiles caolinítiques ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), que compten amb propietats molt refractàries i que presenten una coloració blanca que es correspon amb el que citen les fonts medievals. Tanmateix, en el nostre cas, la caracterització mineralògica de les peces ens ha mostrat unes argiles més aviat il·lítiques ($(K_2O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2, (H_2O)]$), de color vermellós pel seu contingut en ferro i menys refractàries, però que queden compensades en certa manera per la poca porositat que presenten en tractar-se d'argiles poc calcàries.

A més, no observem en els gresols del Tinell la presència de xamota o gorg com a desgreixador. La xamota és un tipus de desgreixador confeccionat a partir del picat de ceràmiques ja cuites, normalment provinents d'un context de rebuig. Això fa la pasta dels gresols més resistent als contrastos tèrmics i a la corrosió (FREESTONE i TITE, 1986). L'ús d'aquest recurs no només es coneix en base a estudis arqueològics i arqueomètrics d'aquest tipus de peces sinó que també les fonts medievals en parlen⁴¹.

40 *"Postea accipe paramentum tres partes et quasi atramentum in testeo vase arde in igne"* HERACLIUS (s. X-XI), *De coloribus et artibus romanorum*, Llibre 2, 22, v. 3. Trad. *"Prendi tre parti di paramentum e fallo ardere sul fuoco in un vaso de terracotta come fosse atramento"* (GARZYA, 1996)

41 *"Acceptisque uasis ueteribus, in quibus aurum uel argentum prius infusum fuit, comminue singulariter"* TEOPHILUS (s. X-XIII), *De diuersis artibus*, Llibre III, XXII, v.2. Trad. *"Agafa recipients vells on prèviament s'hagi fos or o plata i esmicola'ls un per un"* (SEGARRÉS, 2015: 127)

En referència a l'ús dels gresols, destacar la coloració més fosca present en les superfícies de les amb alta presència d'argent. Això seria lògic amb el plantejament de la hipòtesi que aquestes peces van estar utilitzades per a la funció de gresols de fosa de plata, contràriament als exemplars BCN344, 346 i 349, que presenten pastes molt més homogènies quant a coloració. També la gran varietat cromàtica present en les pastes dels gresols BCN350 i 351, a l'igual que l'aparició de crostes superficials, podria correspondre's a un enriquiment produït per l'ús de components diversos durant el tractament de la plata.

11. Microanalítica: microscòpia electrònica de rastreig (MER)

11.1. Resultats

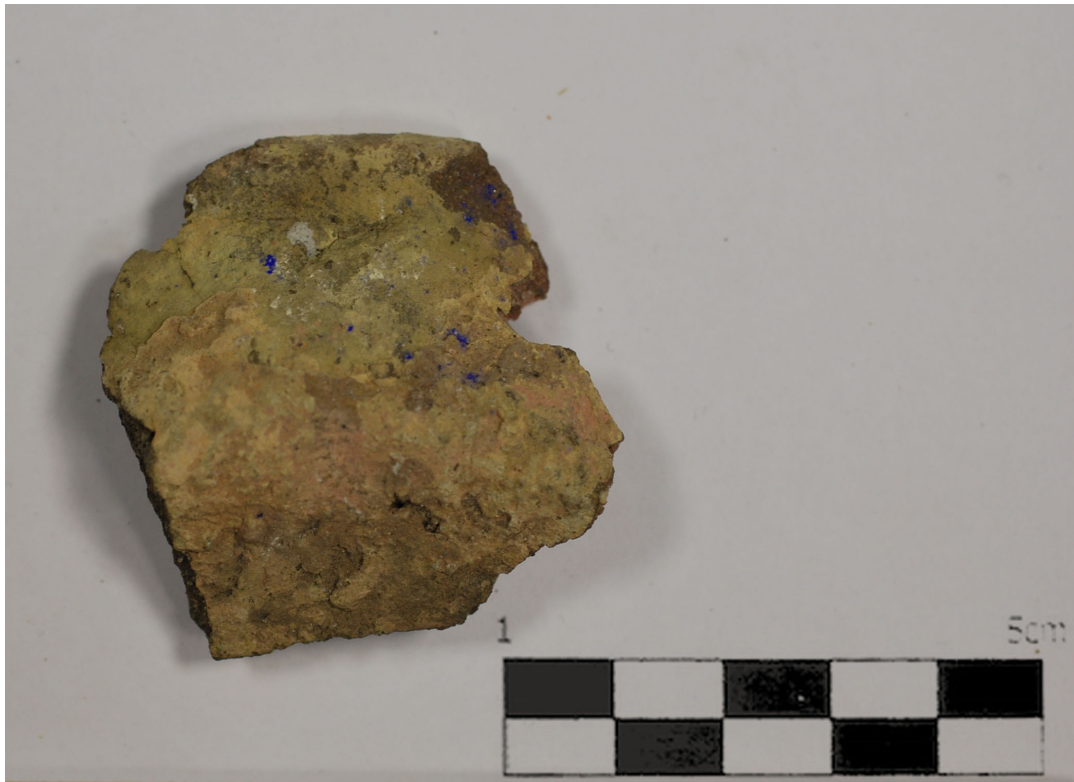


Fig. 19: Imatge de l'anvers de la peça BCN351 on es pot observar un seguit de taques de color blau en la superfície. Font: Arxiu de l'autor

L'anàlisi amb MER (Annex 1, D) s'ha aplicat sobre dues mostres de l'individu BCN351 corresponents a la vora i la base d'aquest i respon a tres finalitats principals: caracteritzar la naturalesa de la matriu d'un dels gresols amb alt contingut d'argent, concretar més encara en la composició química de les peces i caracteritzar una sèrie de taques blaves intenses situades a la superfície exterior d'aquesta peça (Fig. 19).

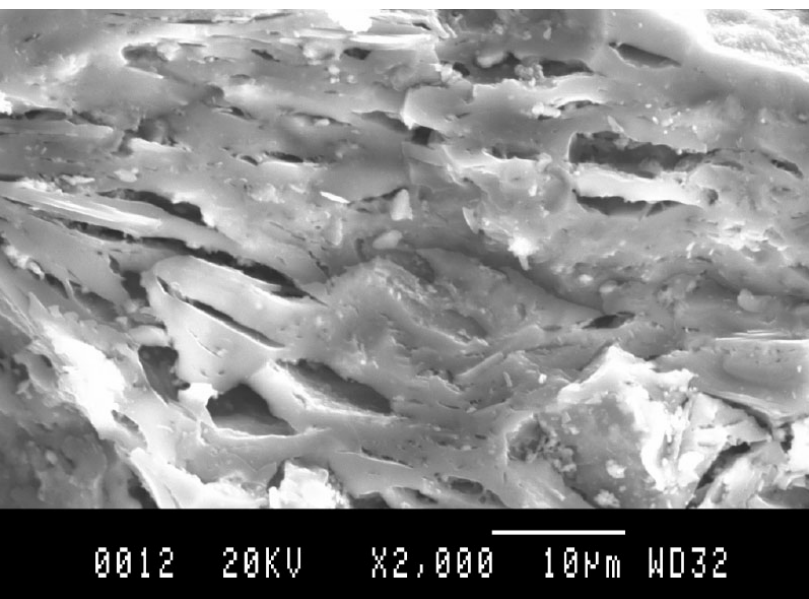
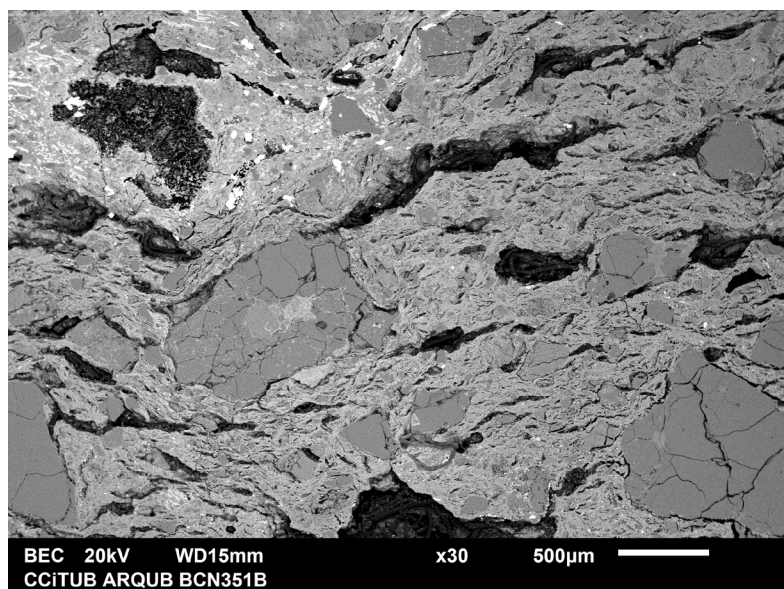
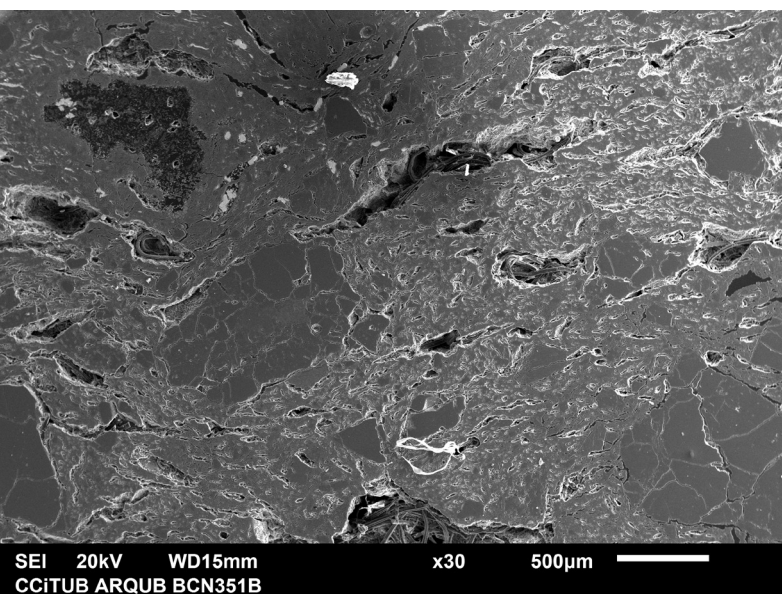


Fig. 20: Imatge amb microscòpia electrònica de la matriu de la peça BCN351. Font: Arxiu de l'autor.

Pel que fa a l'estudi de la matriu, observem en l'individu BCN351 un estadi de sinterització que arriba fins i tot al punt de vitrificació, tal com mostra l'aparença porosa, laminar i compacta de la imatge del microscopi (Fig. 20). Quant a la composició química, observem en la base del gresol zones de brillantor intensa a la cantonada superior esquerra de la imatge generada pel detector d'electrons retrodifosos. Aquestes es corresponen amb les restes de plata dipositades en l'interior de la secció (Figs. 21 i 22).



Figs. 21 i 22: Imatges de microscòpia electrònica de la base de l'individu BCN351. A l'esquerra, imatge generada pel detector d'electrons secundaris i a la dreta, imatge generada pel detector d'electrons retrodifosos. La primera mostra una imatge en escala de grisos que pot interpretar-se com una fotografia a molts augments d'una zona concreta de la peça. La segona, per contra, crea una imatge on les àrees amb una composició química d'elements més pesants es representen amb tons més clars i, les zones conformades d'elements més lleugers, amb tons més foscos. Font: Arxiu de l'autor.

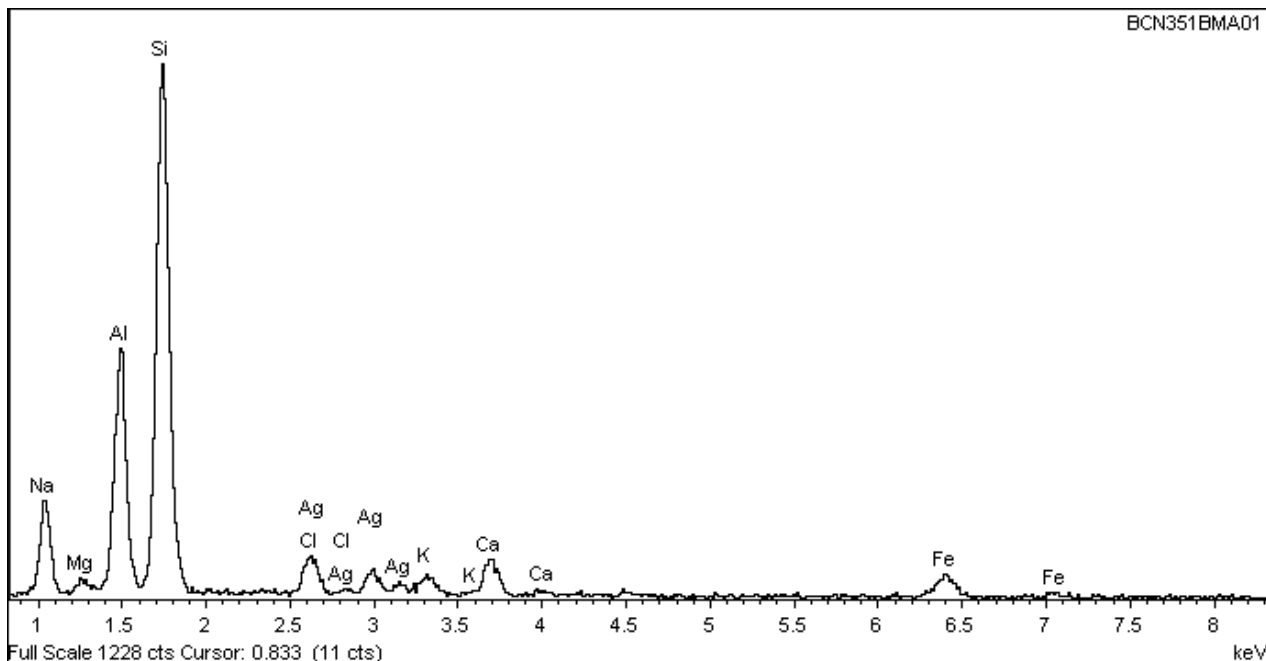
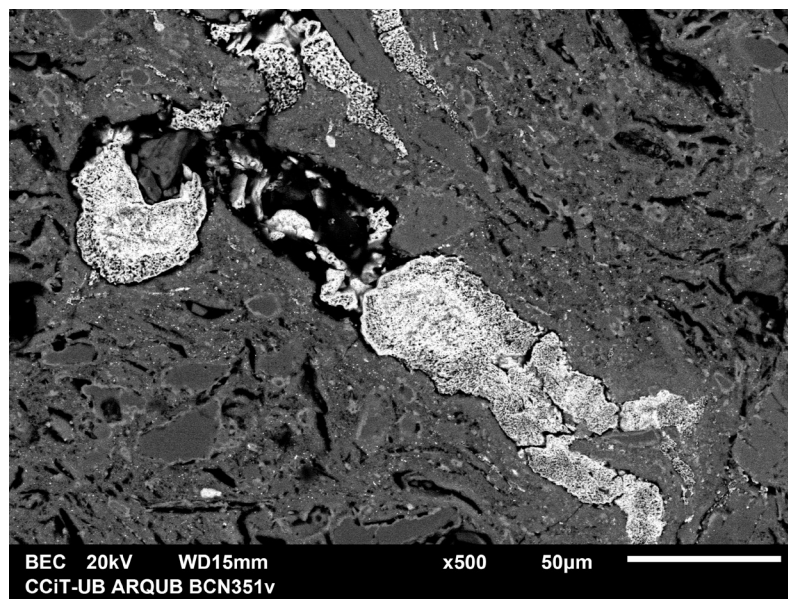
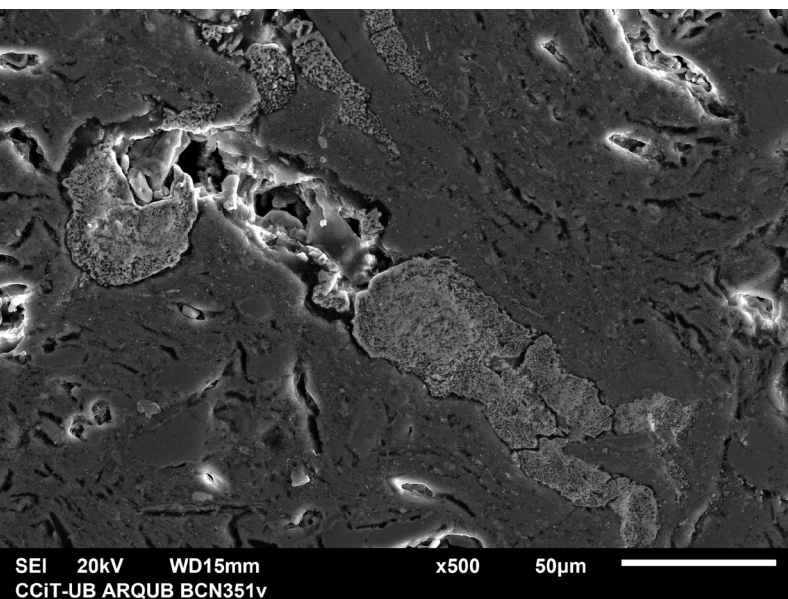


Fig. 23: Espectre resultant de la microanàlisi realitzada en la base de l'individu BCN351 que mostra la composició química d'aquesta zona. Font: Arxiu de l'autor.

Per a aquesta zona s'ha realitzat una microanàlisi que ha detectat, a més de plata (Ag), un pic rellevant de sodi (Na) i altres més lleus de potassi (K), calci (Ca) i ferro (Fe) (Fig. 23).

Després d'haver microanalitzat altres zones del gresol s'ha localitzat la presència d'or (Au) en la seva composició, juntament amb partícules de sodi (Na), plata (Ag), potassi (K), calci (Ca), titani (Ti) i ferro (Fe) (Figs. 24, 25 I 26).



Figs. 24 i 25: Imatges de microscòpia electrònica de la base de l'individu BCN351. A l'esquerra, imatge generada pel detector d'electrons secundaris i a la dreta, imatge generada pel detector d'electrons retrodifosos. Font: Arxiu de l'autor.

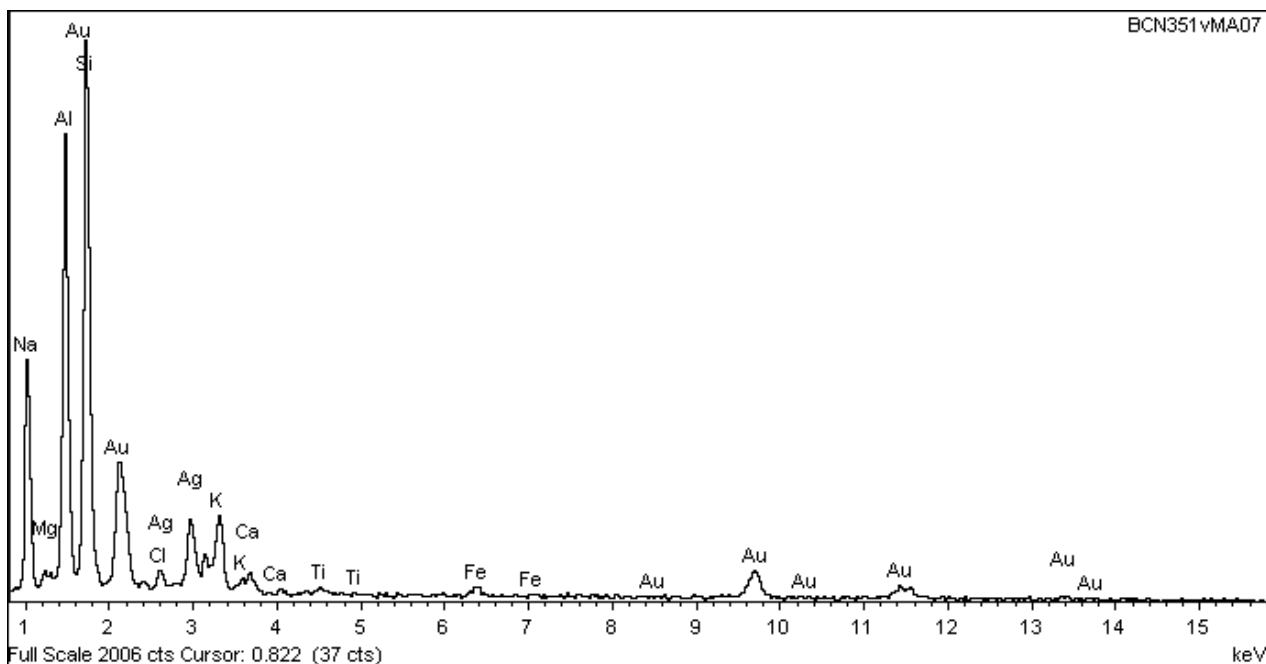
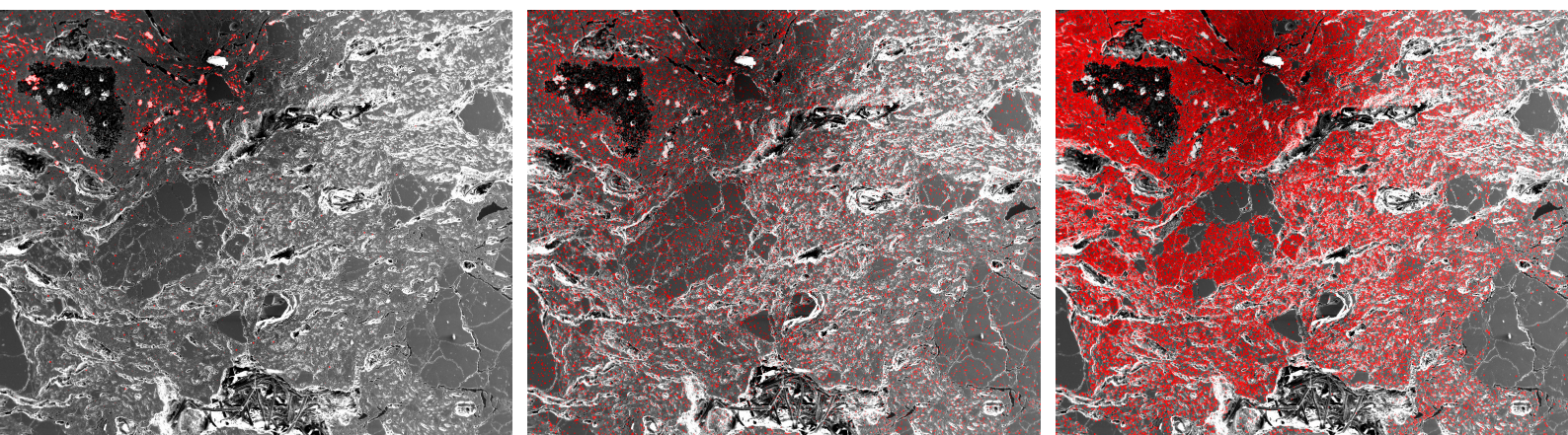


Fig. 26: Espectre resultant de la microanàlisi realitzada en la base de l'individu BCN351 que mostra la composició química d'aquesta zona. Font: Arxiu de l'autor.

En darrer terme, s'ha realitzat un *mapping* sobre la imatge "Fig. 32/33" que ens mostra les zones exactes on es troben els elements caracteritzats. En aquest cas, ens ha interessat especialment la localització de les partícules de plata, coure i sodi, degut a la relació que hem pogut observar gràcies tant als estudis estadístics en base als resultats de FRX com a la lectura de les fonts medievals. Així doncs, veiem com aquests tres elements no solament es vinculen entre ells pel que fa a les quantitats sinó que també se situen físicament en les mateixes zones del gresol (Figs. 27, 28 i 29).



Figs. 27, 28 i 29: *Mappings* que mostren la densitat de l'Ag, Cu i Na respectivament en una zona concreta de la base del gresol BCN351. Font: Arxiu de l'autor.

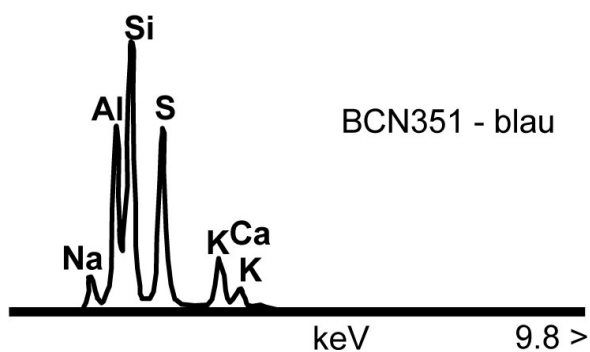


Fig. 30: Espectre resultant de la microanàlisi realitzada en les taques blaves de l'individu BCN351 que mostra la composició química d'aquesta zona. Font: Arxiu de l'autor.

Per acabar, cal remarcar com a un fet rellevant del present estudi la identificació de les taques blaves del gresol BCN351 com a taques de lapislàtzuli (Fig. 30). Es tracta d'una pedra semi-preciosa resultant de l'agregat de diferents minerals: calcita, pirita, diòpsid i altres fases. Entre aquests minerals trobem latzurita $((\text{NaCa})_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl})_2)$, un aluminosilicat amb anions de sodi i calci molt valuós per ser el responsable del seu particular color (GIL, 2016).

11.2. Discussió

En referència al grau de sinterització de la matriu, cal concretar que aquestes vitrificacions són característiques de les ceràmiques escassament refractàries quan són sotmeses a altes temperatures. També poden ser mostra d'un ús continuat i en constant contacte amb el llit de carbons dels forns (REHREN, 2016: 207). A més, en ser ceràmiques poc calcàries, generen una microestructura densa, compacta i vítria en ser cuites a altes temperatures (MANITATIS *et al*, 1981, 1983; TITE *et al*, 1982).

Pel que fa a la composició química, veiem com els elements resultants de la microanàlisi es corresponen amb els detectats amb FRX i, a més, són coherents amb els resultats d'aquesta quant a l'associació de la plata amb el coure i el sodi. Tanmateix, comptem amb un element inesperat: l'or. Aquest fet ens portaria a pensar en la utilització d'aquestes peces també per a la fosa d'aquest metall i enriquiria la informació al voltant de la tasca del taller medieval al qual s'associarien els gresols del Tinell. Novament, la polivalència dels tallers medievals quant al treball de diferents metalls és quelcom ben documentat en les fonts primàries de manera que, si tornem a l'obra magna de Teophilus, podem informar-nos de com en un mateix taller – i, sobretot, amb les mateixes eines – es processaven conjuntament l'or i la plata però també el coure, el llautó i o el niell (SEGARRÉS, 2015).

Ara bé, resulta especialment interessant en aquest punt de la recerca la identificació del lapislàtzuli no només per ser un bé luxós (com també ho són l'or i la plata), sinó per la seva raresa i l'exotisme que representa. Així, el fet que es necessitin condicions geològiques i geoquímiques molt concretes per a la generació petrològica del lapislàtzuli fa que només es compti amb un nombre molt reduït de dipòsits d'aquesta roca arreu del món (GUIDO i BRUN, 2016: 42). Com a conseqüència, es tractava d'un producte extremadament car i preuat pel seu color blau intens de manera que sovint s'havien d'emprar com a substitutius tints orgànics com ara el blau d'indi o, a partir d'època baix-medieval, el mineral d'atzurita, un carbonat bàsic de coure ($\text{Cu}_3^{2+}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) (RAFT, 1968:4; WAETZOLDT, 1953: 150-158). Pel que fa als seus usos en època medieval, el lapislàtzuli es va emprar per a la fabricació de pintures i tints, amb finalitats mèdiques, per a l'acoloriment de vidres i en la confecció de ceràmiques vidrades, mosaics i imitacions de pedres precioses (GUIDO i BRUN, 2016: 43).

El color resultant del pigment de lapislàtzuli rep diferents noms al llarg de la història i en els diferents àmbits geogràfics (entre les denominacions més comunes, trobem la de blau ultramarí). Aquesta denominació – vinculada als termes català i alemany *blau*, al francès *bleu* i a l'anglès *blue* – apareix a partir del s. XV a Europa Occidental, mentre que els mots més antics – *lazur* o *azur*; dels quals derivaran l'italià *azzurro* i el castellà i portuguès *azul* – provenen dels derivats llatins *lazurius*, *lazurum*, *lazurin*, *lazulus* i *azura*. Aquests mots, al seu temps, tenen com a origen el grec *lazour*, l'àrab *al-lazward* i el persa *lâjward*, que signifiquen “pedra de *lazur*”, terme amb que es coneix aquest mineral a Pròxim Orient. El nom del pigment amb el qual es produeix, el lapislàtzuli, ve del llatí *lapis lazuli*, que significa pedra blava (CÓRDOBA, 2025: 24; FRISON i BRUN, 2016: 41; HANDLONG, 1969: 22).

En època medieval, les mines de Badakshan (Afganistan) van ser la principal font d'extracció del lapislàtzuli que arribava a Occident i van suposar un exemple de la importació de mercaderies de luxe fruit dels intercanvis comercials i culturals entre la península Ibèrica i la Mediterrània Oriental (DELGADO, 1996: 291-319; FRISON i BRUN, 2016: 43). Tanmateix, alguns autors defensen la idea de l'explotació del lapislàtzuli de les mines de Lorca (Múrcia) durant època califal (LIARTE, 2010: 8), en una cronologia més tardana a la datació dels gresols del Tinell. Tot i que no se sap amb certesa si els artesans occidentals produïen els pigments a partir del mineral o els compraven – ja que els tractats medievals sobre comerç sovint no empen cap terme per diferenciar el pigment del mineral en si

–, la segona opció sembla la més versemblant si tenim en compte el complex procés d'obtenció d'aquests pigments. La seva elaboració comportava, doncs, no només la mòlta del mineral sinó un posterior enriquiment amb latzurita per flotació (FRISON i BRUN, 2016: 45), tècnica que no es va conèixer a Europa fins el s. XII (CÓRDOBA, 2015: 24) i de la qual no tenim escriptures de receptes a Occident fins els s. XIII-XIV (FRISON i BRUN, 2016: 41; KROUSTALLIS, 2011: 787).

Conclusions

La troballa i caracterització dels gresols del Tinell es relaciona directament amb la documentació que ens informa sobre els tallers artesanals medievals d'aquesta zona. Així, les fonts escrites identifiquen els voltants del Palau Comtal, almenys des del s. XI, amb una àrea artesanal d'obradors entre els quals destaquen els dedicats a la fabricació de moles i al tractament del cuir (BANKS, 1992; ORTÍ, 2000 i SALRACH, 1987). A més, sabem que al s. XII existeix en aquest mateix emplaçament un important artesanat metal·lúrgic relacionat amb els comtes, i en general amb la noblesa de la ciutat, que perviurà en aquest indret durant segles (BANKS, 2003).

Com a novetat, aquest treball permet afirmar tota una vertadera especialització artesanal en aquesta zona en una cronologia molt anterior a la que descriuen les fonts i vinculada en aquest moment als productes de luxe. Aquesta idea es pot reforçar, a més de mitjançant la caracterització d'aquestes ceràmiques com a gresols de fosa de plata, per la troballa en el mateix Palau Reial i en la mateixa cronologia de ceràmiques amb deposicions de vidre que podrien vincular-se al treball d'aquesta matèria (BELTRÁN DE HEREDIA, 2005:75-76). Malgrat tot, l'aparició d'aquest dipòsit en el context d'una sitja evidenciaria el cessament d'aquesta activitat en la zona al s. IX, data d'amortització del nivell estratigràfic. Aquesta idea d'aturada sobtada es reforça amb el fet de trobar entre el conjunt una sèrie de gresols que van ser soterrats sense haver-se arribat a utilitzar. Amb tot, aquest fet no pot sinó vincular-se al conflicte succeït a la ciutat amb l'arribada dels carolingis i el conseqüent canvi del patró cultural i econòmic a la ciutat de Barcelona.

A nivell tècnic, la troballa d'aquests gresols evidencia un grau de desenvolupament elevat pel que fa a la metal·lúrgia en tant que aquestes pràctiques requerien de destacables coneixements. En relació a això podríem afirmar que aquestes peces esdevenen una mostra humil i involuntària dels sabers alquímics de l'època que – tot i que amb altres finalitats – eren transmesos als tallers metal·lúrgics, on els artesans els posaven en pràctica (MARTINÓN-TORRES, 2003: 386). Entre els seus possibles usos, l'arqueometria sembla indicar com el conjunt del Tinell s'hauria emprat principalment per a les activitats de líquüefacció o de refinament de la plata més que no pas en tasques de copel·lació. Això es pot afirmar degut a que segons el procés de copel·lació (que es basa en una oxidació del mineral en brut) els gresols haurien d'haver quedat enriquits per capil·laritat amb òxids de plom (PbO) o de coure (CuO) procedents de les matèries

primeres (MARTINÓN-TORRES et al, 2009: 436). Malgrat tot, els resultats de FRX no ens mostren un vincle PbO-Ag i, tot i que la correspondència Cu-Ag és prou evident, aquesta correlació no és tan potent com en el cas, per exemple, del sodi (Na₂O). Així doncs, parlaríem d'un obrador que rebria el metall ja separat del seu mineral primigeni i el refinaria o liquaria per poder treballar-lo amb diferents tècniques de taller. El sodi i el coure correspondrien a recursos emprats per facilitar aquests processos de líquüefacció i refinament, realitzar soldadures, etc. A més, la producció d'aquest taller sembla vincular-se principalment amb el treball de la plata i, en menor mesura, amb el processat de l'or. Tot i la presència de coure associat a la plata, no és plausible considerar *a priori* la producció de billó en aquest context, ja que es tracta d'una producció vinculada a un període més tardà de la història d'al-Andalus. Així doncs, el billó no es popularitza fins època de taifes, moment en què s'observa una crisi important pel que fa a l'abastiment de la plata a la península Ibèrica, i desapareix durant l'ocupació dels almoràvits (ALMAGRO, 2003; CANTÓ, 1991; DE VILLAR, 2015; DELGADO, 2001; DOMÉNECH, 1995).

La contaminació amb restes de lapislàtzuli de l'individu BCN351, tot i no permetre'ns afirmar que aquesta gemma s'emprava en el mateix taller metal·lúrgic dels gresols, ens aporta una idea sobre l'activitat artesanal d'alt luxe d'aquest indret. El fet de localitzar-se aquestes evidències vinculades a la residència del *wali* andalusí entronca amb la informació sobre l'existència de tallers d'artesanía relacionats amb palaus i altres centres de poder en el món islàmic (ALI, 1999: 94; ANDERSON, 2013: 34; DOLEZALEK, 2017: 81; HADJ, 2014: 32-35), influència cultural que es faria palès en la Barcelona del s. VIII. La presència de lapislàtzuli, a més, és testimoni d'un comerç a llarga distància actiu durant els s. VIII-IX a la ciutat de Barcelona, a banda dels contactes a mitja i curta distància que evidencien els paral·lels trobats arreu de la península Ibèrica. Finalment, cal considerar que l'orfebreria i la producció monetària no tenen per què entrar necessàriament en contradicció en tant que podrien haver estat dues activitats complementàries i dur-se a terme simultàniament en el context d'un taller d'aquesta època.

Pel que fa al registre, convé contemplar la possibilitat que el conjunt d'eines vinculades a aquest taller metal·lúrgic (en aquest cas, gresols) fos major i que solament ens n'hagi arribat una mostra testimonial. Aquesta és una hipòtesi que pren força si tenim en compte que les peces van ser recuperades d'una intervenció aïllada que va tenir lloc als anys 50 del s. XX i no d'un projecte arqueològic actualitzat, amb una excavació sistemàtica i en extensió de la zona.

Finalment, resulta necessari matissar, però, el fet que la coincidència entre els gresols del Tinell i els paral·lels identificats en aquest treball és real pel que fa a morfologia i observació macroscòpica de les pastes. En relació a això, val a dir que la majoria d'aquestes peces no han estat analitzades a nivell arqueomètric i, per tant, no es presenten com a gresols metal·lúrgics en les publicacions. D'aquesta manera, simplement es descriuen des d'un punt de vista formal com a *alcadafes*, plats baixos o cassoles. Cal pensar, doncs, que si no s'han identificat més restes d'aquest tipus relacionades amb la producció metal·lúrgica és, probablement, pel fet de no haver-se caracteritzat el seu ús mitjançant analítiques. En referència a això, cal considerar l'interès que suposaria l'anàlisi química d'algunes d'aquestes peces per tal d'establir si la forma *alcadafe* guardava amb certa freqüència relació amb aquest món de l'orfebreria medieval o, per contra, es tracta d'una forma genèrica que en el cas particular de la troballa del Tinell es va emprar amb aquesta finalitat.

Bibliografia

ADAMS, A. E., MAKENZIE, W. S., GUILFORD C. (1984) *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Harlow, Essex: Longman.

ALBA, M., FEIJOO, S. (2001) *Garb. Sitios islámicos del sur peninsular*. Lisboa: IPPAR

ALCOVER, A.M., MOLL, F.B. (2001-2002) *Diccionari català-valencià-Balear*. Institut d'Estudis Catalans i Editorial Moll. [consultat el 13 de febrer de 2018]. Disponible en línia a: <http://dcvb.iecat.net>

ALI, W (1999) *The arab contribution to islamic art. From the seventh to the fifteenth centuries*. El Cairo: The American University in Cairo Press i The Royal Society of Arts (Jordan)

ALMAGRO, M. (2003) *250 años de arqueología y patrimonio*. Madrid: Real Academia de la Historia.

ANDERSON, G.D. (2013) *The islamic villa in Early Medieval Iberia. Architecture and court culture in Umayyad Córdoba*. Nova York: Routledge.

AZUAR, M. (1989) *La rábida califal de las Dunas de Guardamar (Alicante). Cerámica, epigrafía, fauna y malacofauna*. Alacant: Diputació Provincial d'Alacant

BANKS, P. (1992) L'estructura urbana de Barcelona, 714-1300, en *Historia de Barcelona*, ed. SOBREQUÉS I CALLICÓ, J. Barcelona: Edicions62. pp. 27-71

BANKS, P. (2003) El creixement físic de Barcelona, segles X.XIII, *Quarhis: Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, núm. 8, pp. 11-33

BAYLEY, S., REHREN, T. (2007) Towards a functional and typological classification of crucibles, en *Metals and mines: studies in archaeometallurgy*, eds. LA NIECE, S., HOOK, D., CRADDOCK, P. Londres: Archetype, pp. 46-55

BELTRÁN DE HEREDIA, J. (2005) Las producciones locales e importaciones de la cerámica común del yacimiento de la Plaza del Rei de Barcelona, entre la época visigoda y el período islámico. Siglos VI-VIII, *Quarhis: Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, núm. 1, pp. 68-89

BELTRÁN DE HEREDIA, J. (2006) Los contextos altomedievales de la Plaza del Rei de Barcelona: la cerámica de tradición carolingia (siglos IX-X), *Quarhis: Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, núm. 2, pp. 108-139

BELTRÁN DE HEREDIA, J. (2013) Barcino, de colònia romana a sede regia visigoda, medina islàmica i ciutat comtal: una urbs en transformació, *Quarhis: Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, núm. 9, pp. 16-118

BELTRÁN DE HEREDIA, J., BUXEDA, J., MADRID, M., VALLS, M. (2018) Un conjunt de gresols ceràmics del s.VIII localitzats al jaciment de la plaça del Rei de Barcelona: arqueologia i arqueometria, *Quarhis: Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, núm. 14 (en premsa)

BELTRÁN DE HEREDIA, J., NICOLAU (2000) El projecte de remodelació del subsòl del Museu d'Història de Barcelona: resultats de les darreres intervencions arqueològiques. Una església dels segles VI-VII a la Plaça del Rei, *Tribuna d'Arqueologia*, núm. 1997-1998, pp. 125-144

BONNET, C., BELTRÁN DE HEREDIA, J. (2000) Cristianismo y espacio urbano en la antigüedad tardía: el ejemplo de Barcino, en *Los orígenes del cristianismo en Valencia y su entorno*, coord. RIBERA, A. València: Ajuntament de València. pp. 119-225

BRAMON, D. (2000) *De quan érem o no musulmans. Textos del 713 al 1010*. Barcelona: Eumo editorial, Institut d'Estudis Catalans i Institut d'Història Jaume Vicens i Vives

BUXEDA, J., CAU, M.A. (2005) Caracterització arqueomètrica de les ceràmiques tardanes de la Plaça del Rei de Barcelona, *Quarhis: Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona*, núm. 1, pp. 91-99

BUXEDA, J., MADRID, M. (2016). Designing Rigorous Research: Integrating Science and Archaeology, en *The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis*, ed. HUNT, A.M.W. Oxford: Oxford Handbooks in Archaeology, Oxford University Press. pp. 19-47.

CANTÓ, A.J. (1991) Cuestiones económicas y numismática andalusí, *Aragón en la Edad Media*, núm. 9, pp. 429-444.

CANTÓ, A.J., CRESSIER, P., GRAÑEDA, P. (2008) *Minas y metalurgia en al-Andalus y Magreb occidental: explotación y poblamiento*. Madrid: Casa de Velázquez

CARBONELL, A. (1929) *La minería y la metalurgia entre los musulmanes de España*. Madrid: Imprenta del sucesor de Enrique Teodoro

CASTILLO, J.C. (1998) El poblamiento islámico en la Campiña de Jaén: la época emiral y el tránsito a la califal en Hispania en *Al-Andalus, Castilla*, coord. MALPICA, A. Jaén: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén. pp. 42-70

CASTILLO, M. (2001) La amalgamación y Bartolomé de Medina, *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, núm. 4. pp. 43-49

CÓRDOBA, R. (2005) Un recetario técnico castellano del s. XV: el manuscrito H490 de la Facultad de Medicina de Montpellier, *En la España Medieval*, núm. 28, pp. 7-48

CÓRDOBA, R. (2008) *Las artes del fuego: metalurgia y alfarería, Ars mechanicae: ingeniería medieval en España* [exposició, aut. GRAU, M.]. Fundación Juanelo Turriano (Ministerio de Fomento). pp. 203-214

DE VILLAR, J. L. (2015) *Al-Andalus y las fuentes del oro*. Director: VALOR, M. Universidad de Sevilla: Facultad de Geografía e Historia. Departamento de Historia Medieval y Ciencias y Técnicas Historiográficas. [Consultat el 8 de maig de 2018]. Disponible en línea a: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/36391>

DELGADO, A. (2001) *Estudios de numismática arabico-hispánica*. Madrid: Real Academia de la Historia.

DELGADO, C. (1996) El arte de Ifriqiya y sus relaciones con distintos ámbitos del Mediterráneo: Al-Ándalus, Egipto y Sicilia, *Al-qantara*, vol. 17, fasc. 2, pp. 291-320.

DOLEZALEK, I. (2017) *Arabic Script on Christian Kings. Textile inscriptions on royal garments from Norman Sicily*. Leck: CPI books GmbH.

DOMÉNECH, C. (1995) Circulación monetaria de época emiral en el País Valenciano. El problema de las primeras emisiones en cobre, en *IX Congreso Nacional de Numismática*. Elx: 2 al 6 de noviembre de 1994, pp. 281-302.

DUNGWORTH, D. (2000). A note on the analysis of crucibles and moulds. *Historical Metallurgy*, núm. 34, pp. 83-86

DURAN, P. (1999) El procesado de polvos cerámicos manoparticulados. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, núm. 38, pp. 403-415

ECHEVARRÍA, A. (2010) Explotación y mano de obra en las minas y salinas de al-Andalus, Espacio, tiempo y forma. Serie III, *Historia Medieval*, núm. 23. pp. 55-74

FOX, J. (2005) The R Commander: A Basic-Statistics Graphical User Interface to R, *Journal of Statistical Software*, v. 14, núm. 9, pp. 1-42.

FREESTONE, I.C. (1989) Refractory materials and their procurement, en *Old World archaeometallurgy, proceedings of the International Symposium, Heideberg 1987*, eds. HAUPTMANN, A., PERNICKA, E., WAGNER, G.A.. Bochum: Selbstverlag des Deutschen Bergbau-Museums, pp. 155-162.

FREESTONE, I.C., TITE, M.S. (1986) Refractories in the Ancient and Preindustrial World, en *High-Technology Ceramics: Past, Present and Future*, ed. KINGERY, W.D. Westerville: The Ame

rican Ceramic Society, vol. 3, pp. 35-63

FRISON, G., BRUN, G. (2016) Lapis lazuli, lazurite, ultramarine “blue” and the colour term “azure” up to the 13th century, *Journal of the International Colour Association*, núm. 16, pp. 41-55

GALARZA, O.D., CORONEL, M.V. (2003) El conocimiento químico de la edad media, en *NOA, Congreso Regional de Ciencia y tecnología*, Universidad Nacional de Catamarca: 3 i 4 de juliol de 2013. pp. 1-31

GARCÍA, J.E., MIRÓ, N., REVILLA, E. (2003) Un context paleoandalusí a l’excavació de l’Arxiu Administratiu de Barcelona (1998), en *ACRAM, II Congrès d’Arqueologia Medieval i Moderna de Catalunya*, Sant Cugat del Vallès: 18 a 21 d’abril de 2002. vol.1. pp. 363-380

GARCIA, C. Ed. (1996) *I colori e le arti dei Romani e la compilazione pseudo-eraciana. Eraclio: introduzione, testo latino e traduzione, commentario a cura di Chiara Garzya Romano*. Nàpols: Il Mulino

GOZALBES, M., RIPOLLÉS, P.P. (2003) La moneda en la edad antigua: la fabricación de moneda en la antigüedad, en *XI Congreso Nacional de Numismática (Zaragoza 2002)*. Zaragoza: 16 a 19 d’octubre de 2002. pp. 11-34

GRAÑEDA, P. (1998) Los lingotes andalusíes de plata de Hornachuelos (Córdoba): métodos de fabricación, *Qurtuba: estudios andalusíes*, núm. 3, pp. 65-80

GRAÑEDA, P. (2008) La explotación andalusí de los metales preciosos: los trabajos a bocamina, *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, núm. 24-26, pp. 141-154

GRAÑEDA, P. (2009) Las monedas emirales y califales de la Colección Vives en el Museo Arqueológico Nacional (Madrid), *Actas XIII Congreso Nacional de Numismática “Moneda y arqueología”*, coord. ARÉVALO, A. Cadis: Universidad de Cádiz i Museo Casa de la Moneda. Vol. 2. pp. 771-798

GUTIÉRREZ, S. (2005) Al-Andalus: an archaeological approach to the process of islamization in

the Iberian Peninsula (7th to 10th centuries), en *New directions in early medieval european archaeology: Spain and Italy compared*, eds. GELICHI, S., HODGES, R. Turnhout: Brepols. pp. 43-86

HADJ, N (2014) Las huellas culturales y científicas de los musulmanes en Al-Andalus. Periodo de Emires Omeyas. Directora: ZIANE, H. Universitat d'Abou Bekr Belkaid-Tlemcen (República Argelina Democrática y Popular). Facultad de Letras y Lenguas. Departamento de Lenguas Extranjeras. Sección de Español. [Consultat el 27 de maig de 2018]. Disponible en línea a: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/7090/1/hadjabdelkader-nora.pdf>

HANDLONG, R.B. (1969) *Dictionary of Artist's Oil Pigments: Their Chemical and Physical Properties*. Honors Projects, paper 2. [Consultat el 13 de març de 2018]. Disponible en línea a: http://digitalcommons.iwu.edu/art_honorproj/2

KEARNS, T., MARTINÓN-TORRES, M., REHREN, T. (2010). Metal to mould. Alloy identification in experimental casting moulds using XRF. *Historical Metallurgy*, núm. 44, pp. 48-58

KROUSTALLIS, S. (2011) Quomodo decoretur pictura librorum: materiales y técnicas de la iluminación medieval, *Anuario de Estudios Medievales*, núm. 41/2, pp. 775-802

LEMONNIER, P. (1993) *Technological Chain. Transformation in Material Cultures since Neolithic*. London: Rontledge

LEROI-GIURHAN, A. (1945) *Milieu et techniques*. Paris: Albin Michel

LIARTE, M.R. (2010) Sectores secundario y terciario: la industria y el comercio en el Califato Andalusí, *Revista de Claseshistoria*, article núm. 129

LÓPEZ, E. (2007) *Estudio de los materiales y procedimientos del dorado a través de las fuentes literarias antiguas: aplicación en las decoraciones de pinturas castellanas sobre tabla*. Director: DALMAU, C. Universidad Complutense de Madrid: Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura-Restauración. [Consultat el 9 de març de 2018]. Disponible en línea a: <http://eprints.ucm.es/7520/1/T29743.pdf>

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

MANIATIS, Y., SIMOPOULOS, A., KOSTIKAS, A., PERDIKATSI, 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*, núm. 66, pp. 773-781.

MARTÍN, F. (2011) *Las monedas de Al-Andalus. De actividad ilustrada a disciplina científica*. Madrid: Real Academia de la Historia.

MARTÍN, J.M. (2005) El cerro del Toro y la minería en la Kura de Ilbira (Granada-Almería), en *Minería y metalurgia históricas en el Sudoeste europeo*, coord. PUCHE, O., AYARGÜENA, M. Madrid: Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y minero i Sociedad Española de Historia de la Arqueología. pp. 101-125

MARTÍNEZ, A. (2006) Explotación de la plata en el condado de las montañas de Prades (Tarragona) durante la Baja Edad Media, en *Minería y metalurgia históricas en el Sudoeste europeo*, coord. PUCHE, O., AYARGÜENA, M. Madrid: Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y minero i Sociedad Española de Historia de la Arqueología. pp. 357-363

MARTINÓN-TORRES, M. (2003) Química en arqueología y la arqueología de la química: el ensayo, *Gallaecia*, núm. 22. pp. 383-405

MARTINÓN-TORRES, M., REHREN, T. (2014) *Technical ceramics*, en *Archaeometallurgy in global perspective: methods and syntheses* eds. ROBERTS. B., THORNTON, C. Nova York: Springer, pp. 107-131

MARTINÓN-TORRES, M., REHREN, T., THOMAS, N., MONGIATTI, A. (2009) Identifying materials, recipes and choices: some suggestions for the study of archaeological cupels, *2nd International Conference Archaeometallurgy in Europe*. Aquileia: juny de 2007, pp. 435-445

MILLER, H.M.L. (2007) *Archaeological approaches to Technology*, Elsevier: Academic Press.

MONTERO, I. (2010) *Manual de arqueometalurgia*. Alcalá de Henares: Museo Arqueológico Nacional i Sección de Arqueología del Colegio Oficial de Doctores y Licenciados en Filosofía y Letras y en Ciencias

MONTERO, I., RENZI, M. (2012) Metalurgia en la Meseta Sur: síntesis sobre el primer milenio aC, en *El primer milenio aC en la Meseta Central: de la longhouse al oppidum*, coords. MORÍN, J., URBINA, D. Madrid: Auditores de Energía y Medio Ambiente. pp. 341-350

MURCIA, A.J., GUILLERMO, M. (2003) Cerámicas tardorromanas y altomedievales procedentes del teatro romano de Cartagena, en *Cerámicas tardorromanas y altomedievales en la Península Ibérica*, ed. CABALLERO, L., MATEOS, P., RETUERCE, M. Madrid: IAM i CSIC. pp. 169-225

ORTÍ, P. (2000) *Renda i fiscalitat en una ciutat medieval. Barcelona, segles XII-XIV*. Barcelona: CSIC

QUINTANA, I. (2006) Minería y territorio durante el Califato de Córdoba, la ruta de Còrduba a Batalyaws, *Boletín geológico y minero*, vol. 117, núm. Extra 1, pp. 567-569

PÉREZ, S., MONTILLA, I., SALVATIERRA, V., CASTILLO, C. (2003) Las primeras cerámicas de Marroquíes Bajos (Jaén), entre la tardoantigüedad y el Islam, en *Cerámicas tardorromanas y altomedievales en la Península Ibérica*, ed. CABALLERO, L., MATEOS, P., RETUERCE, M. Madrid: IAM i CSIC. pp. 389-411

PORTER, V., ROSSER-OWEN, M. (2014) *Metalwork and Material Culture in the Islamic World: art, craft and text*. Londres: Tauris & Co. Ltd

PUCHE, O. (2005) La minería visigótica y musulmana en la península Ibérica, *Bocamina: patrimonio minero de la región de Murcia: del 8 de setembre al 9 de novembre de 2005*. Murcia: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

- RAFT, A (1968) About Teophilus' Blue Colour, "Lazur", *Studies in conservation*, núm. 13, pp. 1-6
- REHREN, T. (2016) Appendix 2: Bells and crucibles from medieval Reykholt, en *Reykholt, the church excavations*, SVEINBJARNARDÓTTIR, G. Reykjavík: National Museum of Iceland, Snorrastofa i University of Iceland Press
- REINA, M.F. (ed) (2007) *Poesía andalusí*. Madrid: Biblioteca Edaf
- RIU, E., PREVOSTI, M. (revisió i ampliació) (1999) *Arxiu de l'Institut d'Estudis Catalans: Fons Josep de C. Serra i Ràfols-Inventaris*. Barcelona: IEC- Servei de Documentació i Arxiu
- ROVIRA, S., BLÁZQUEZ, J.M., BALLESTER, A., GONZÁLEZ, F. (2000) Estudio metalográfico del Disco de Teodosio, en *El disco de teodosio*, eds. ALMAGRO, M., ÁLVAREZ, J.M., BLÁZQUEZ, S. ROVIRA. Madrid: Real Academia de la Historia. pp. 139-141
- SALRACH, J.M. (1987) El imperio Carolingio, *Historia 16*, núm. 139, pp. 18-36
- SÁNCHEZ, J. (1989) *De minería, metalúrgica y comercio de metales: la minería no férrica en el Reino de Castilla*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca
- SEGARRÉS, M. (2015) *De diuersus artibus de Teòfil: edició, traducció al català i comentari*. Director: QUETGLAS, P.J. Universitat de Barcelona: Facultat de Filologia, Departament de Filologia Llatina. [Consultat el 20 de desembre de 2017]. Disponible en línia a: <http://hdl.handle.net/10803/396122>
- SIERRA, C.E. (2012) *Ciencia y tecnología andalusí: alquimia y metalurgia*. Medellín: Departamento de Publicaciones de la Universidad de Antioquia
- SINCLAIR, S. (2011) *Bibliography of art and architecture in the Islamic World*. 2 vol. Leiden: Brill
- TITE, M. S., MANIATIS, Y., MEEKS, N. D., BIMSON, M., HUGHES, M. J., LEPPARD, S. C. (1982). *Technological Studies of Ancient Ceramics from the Near East, Aegean and Southeast*

Europe, en *The evolution of the first fire-using industries*, ed. WERTIME, T.A., WERTIME, S.F. Washington: Smithsonian Institution Press. pp. 61-71.

VÁZQUEZ, V. (1988) La coyuntura de la minería y de la metalurgia (siglos XIII-XVIII), *Revista de Historia Económica*, núm. 2. pp. 257-276

VITEZOVIĆ, S., ANONOVIĆ, D. (2014) *Archaeotechnology: studying technology from prehistory to the middle ages*. Belgrad: Srpsko arheoško društvo

WAETZDOLT, S. (1953) Systematisches Verzeichnis der Farbnamen, *Münchener Jahrbuch der bildenen Kunst*. Núm. IV, pp. 150-158

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

Webgrafia

AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Palau Reial Major* [Consultat el 18 de març de 2018] Disponible a: http://www.bcn.cat/museumares/interactiu/palaureialmajor/palaureialmajor_cat.html

CALLÓN, J. *Elementos: elementos de la tabla periódica y sus propiedades* [Consultat el 4 de març de 2018] Disponible a: <http://elementos.org.es>

DAYAH, M. (1997) *Ptable: The Interactive Periodic Table* [Consultat el 3 de març de 2018] Disponible en línia a: <https://www.ptable.com/about.html>

GIL, P.P. (2016) *Atlas de mineralogía óptica* [Consultat el 14 de març de 2018] Disponible en línia a: http://www.ehu.eus/mineralogiaoptica/Atlas_de_Mineralogia_Optica/Atlas_de_Mineralogia_Optica.html

R CORE TEAM (2017) *R: A language and environment for statistical computing* [Consultat el 20 de febrer de 2018] Disponible en línia a: <http://www.R-project.org/>

SERVEI D'ARQUEOLOGIA DE BARCELONA (2018) *Necròpolis islàmica del Born: nou enterrament islàmic al barri de la Ribera* [Consultat el 8 de febrer de 2018] Disponible en línia a: <http://ajuntament.barcelona.cat/arqueologiabarcelona/necropolis-islamica-del-born-nou-enterrament-islamic-al-barri-de-la-ribera/>

*Annex I. Descripció de les tècniques, mostreig i
rutina analítica*

A. Fluorescència de raigs X (FRX)

La fluorescència de raigs X (FRX) és el mètode emprat principalment en aquesta investigació. Suposa una de les principals tècniques d'anàlisi química (anàlisi a nivell atòmic) i permet conèixer millor la matèria i la seva estructura. Tècnicament, el seu funcionament es basa en una primer bombardeig de raigs X primaris o incidents sobre mostra que provoca l'excitació dels seus àtoms i l'emissió de raigs X fluorescents – o secundaris –, que són identificats per un detector. Això és possible pel fet que els àtoms compten amb diverses òrbites internes amb electrons que es mouen a través d'elles. En excitar els àtoms, els electrons es desplacen d'una òrbita a una altra de manera que cadascuna de les transicions vinculades amb aquests desplaçaments té una energia diferent, que es manifestarà en una emissió de raigs X característica: els raigs X secundaris o fluorescents ($\nu = E_2 - E_1 / \lambda$)¹. El resultat és un espectre que consta d'un fons i uns pics que es corresponen amb diferents transicions possibles. La situació de cadascun dels pics ve donada per la seva energia i permet identificar l'àtom que l'ha generat. La seva mida, però, es relaciona amb la concentració d'aquest àtom que hi ha a la mostra, fet que fa de la FRX una tècnica quantitativa que permet posteriors estudis estadístics. Tanmateix pot donar-se en alguns casos un solapament entre diferents àtoms amb energia similar.

Els resultats d'aquest espectre es tradueixen, amb la finalitat de cercar una major intel·ligibilitat, en una taula on trobem representats, d'una banda, cadascun dels individus estudiats. D'altra banda, i com a variables, es presenten els diferents elements i molècules atòmiques identificades mitjançant aquesta tècnica. En el cos de la taula trobem les quantitats (expressades en ppm o $\mu\text{g g}^{-1}$) corresponents a cadascun dels elements químics en relació als individus analitzats.

Per a la seva caracterització arqueomètrica, s'han pres mostres d'entre 10 i 15g dels 24 individus (Buxeda i Madrid, 2016). D'aquestes mostres s'han després mecànicament les capes superficials i han estat posteriorment polvoritzades i homogeneïtzades mitjançant un molí de boles amb cel·la de carbur de tungstè Spex Mixer mod. 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 12h. Per a la determinació dels elements majors i menors, s'han fet preparacions de dos replicats de perles de 30mm de diàmetre, mesclant 0.3g d'espècimen amb 5.7g de tetraborat de liti ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)

¹ On ν és la freqüència i λ la longitud d'ona.

com a fonent (dilució 1/20) i 5mg de iodur de liti (LiI) com a agent antiadherent. Aquesta mescla homogeneïtzada s'ha dipositat en un gresol de 95%Pt-5%Au i ha estat fosa en un forn automàtic d'inducció d'alta freqüència PANalytical Perl'X-3 a una temperatura màxima de 1125°C. Els resultats s'expressen en concentracions d'òxids en percentatge en massa. Per a la determinació dels elements traça, s'han fet preparacions de pastilles a partir de 6g de l'espècimen anteriorment preparat, sec i de mida de gra < 80µm, barrejat amb 2ml d'una solució de reïna sintètica n-butil metacrilat (Elvacite® 2044), en acetona al 20% en massa. Aquesta mescla, homogeneïtzada manualment en un morter d'àgata fins a sequedat i disposada sobre una base d'àcid bòric (H₃BO₃) en un recipient d'alumini de 40mm de diàmetre, ha estat sotmesa a una pressió de 200 kN durant 60s en una premsa Herzog. Els resultats s'expressen com a concentracions elementals en µg g⁻¹ (o ppm —parts per milió). La quantificació s'ha realitzat amb un espectròmetre Axios mAX-Advanced PANalytical, amb una font d'excitació de Rh, calibrada amb un conjunt de 56 patrons (Estàndards Geològics Internacionals). Les interferències han estat preses en consideració i els efectes matrius han estat corregits emprant el software PANalytical Pro-Trace pels elements traça. Així, s'ha determinat la concentració en: Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, Cr, MnO, Fe₂O₃ (com a Fe total), Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Ba, Ce, W, Pb i Th. En el present estudi, de manera excepcional, es consideren també les concentracions d'Ag.

Resultats FRX										
	CaO	Na ₂ O	Pb	Cu	Ag	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Hg	Sn
BCN344	7800	9500	38	34	3	663900	36800	63600	-26	4
BCN345	12400	47800	25	252	734	636800	37700	60300	-28	-1
BCN346	7800	9600	45	19	3	667700	36100	70500	-32	4
BCN347	11600	57700	18	606	3433	627400	31900	65500	-26	-23
BCN348	8000	34000	108	689	1343	651500	43000	63500	-33	-5
BCN349	8400	10000	202	36	12	660300	34000	72000	-26	3
BCN350	11500	47800	58	1607	3336	622200	32500	68900	-38	-19
BCN351	10100	76200	53	980	6073	595400	25900	68100	-65	19
\bar{x}	9700	36575	68	528	1867	562225	34737.5	472812.5	-34.25	-2.25

Fig. 1: Resultats de FRX de tots els elements esmentats tinguts en compte en l'elaboració d'aquest treball. Resultats expressats en µg g⁻¹. Font: Arxiu de l'autor.

B. Difracció de raigs X (DRX)

Tot i que, tal com hem vist, l'anàlisi mitjançant FRX ens ha donat una primera classificació entre gresols utilitzats i no utilitzats en referència a la seva composició química, és la difracció de raigs X (DRX) la tècnica més adequada per tal d'estudiar les característiques de les ceràmiques quant a la seva temperatura de cocció estimada (TCE).

Així doncs, la DRX és una tècnica d'estudi que determina la composició mineralògica de la ceràmica i les seves proporcions. Aquest tipus d'anàlisi es basa en el fet que, independentment de la mida d'un mineral, la seva estructura cristal·lina té la capacitat de difractar un feix de raigs X incident de manera que es poden identificar els angles característics de cada mineral, fet que permet caracteritzar-los. Això es basa en la llei de Bragg, que posa en relació la longitud d'ona del raig X incident amb la distància dels plans cristal·lins del minerals. Tanmateix, un mateix mineral pot tenir molts plans cristal·lins. L'avantatge de la DRX sobre altres tècniques d'anàlisi a nivell mineralògica és que aquesta identifica totes aquelles fases principals – o no accessòries –, independentment de la seva mida. Entenem per fases principals aquelles que són més abundants en l'objecte estudiat i que, de forma general, són també més abundants a l'escorça terrestre.

La DRX ens proporciona informació sobre la temperatura de cocció estimada (TCE) partint del principi que les reaccions que se succeeixen durant la fabricació o ús d'una peça ceràmica a causa de l'acció tèrmica (en aquest cas, gresols de fosa) modifiquen la composició química primària de les ceràmiques. D'aquesta manera, alguns components mineralògics es transformen, altres es desintegren i n'apareixen de nous. Aquests darrers seran anomenats fases de cocció (REHREN, 2016: 212). Així doncs, mitjançant l'experimentació s'ha arribat a conèixer a quina temperatura es produeixen aquestes modificacions per a cadascuna de les fases mineralògiques presents en una peça. D'aquesta manera, per comparació, es pot arribar a estimar la temperatura a la qual una ceràmica va estar sotmesa i inferir qüestions relacionades amb el seu ús o fabricació.

La composició mineralògica d'aquests individus ha estat estudiada mitjançant DRX, emprant aproximadament 1g de la pols de l'espècimen prèviament preparat anteriorment pressionat amb un vidre esmerilat en un porta-mostres de 27mm de diàmetre i 2.5mm d'alçada (PW 1811/27). Les mesures s'han pres emprant un difractòmetre de geometria Bragg-Brentano PANalytical X'Pert PRO MPD

Alpha-1 (radi = 240mm), treballant amb la radiació $K\alpha$ del Cu filtrada amb Ni ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), amb un monocromador primari focalitzant de Ge (111) i una potència de treball de 45kV, 40mA. El difractòmetre compta amb finestra de divergència variable per tal d'aconseguir una longitud irradiada en la direcció paral·lela al feix de raig-X de 10 mm, amb màscara en el feix incident que regula la longitud irradiada sobre la mostra en la direcció axial a 12mm, així com amb un detector X'Celerator amb longitud activa de 2.122° . Les mesures han estat realitzades de $(4 \text{ a } 70)^\circ 2\theta$ amb una mida de pas de $0.017^\circ 2\theta$ i un temps de comptatge de 50s per pas, amb un moviment circular de la mostra a 1Hz. Les fases cristal·lines presents en cada mostra analitzada han estat identificades i avaluades amb el paquet de programes PANalytical X'Pert HighScore Plus que inclou el banc de dades de l'International Centre for Diffraction Data-Joint Committee of Powder Diffraction Standards, 2006 (ICDD-JCPDS).

C. Lupa binocular

La caracterització macroscòpica del conjunt de gresols ha consistit en una primera diferenciació a ull nu de les pastes, que es concretaria mitjançant l'observació amb lupa binocular tant de peces amb fractura fresca com de seccions polides. La lupa binocular permet una visió estereoscòpica gràcies a dues entrades de llum que aporten a la visió ocular dues imatges amb angles de visió diferents. D'aquesta manera, es genera una imatge en 3D que ens permet copsar la topografia de la superfície a observar (en aquest cas, la matriu ceràmica). Això ens ha permès realitzar, d'entrada, una primera diferenciació de pastes atenent a característiques com ara la porositat, la coloració i la quantitat, mida o disposició del desgreixador; a més d'observar qualsevol particularitat susceptible de ser estudiada amb MER, darrer mètode emprat i descrit en el següent apartat. El fet de comptar prèviament amb els resultats de l'anàlisi FRX ha permès emprendre aquesta caracterització macroscòpica tenint en compte algunes característiques com ara la presència d'un grup de peces que semblen haver estat utilitzades i que presenten un gran contingut d'argent i altres components associats. Pel que fa al conjunt de gresols amb un alt contingut d'argent (BCN345, BCN347, BCN348, BCN350 i BCN351) s'han pres dues mostres de cadascuna de les peces (una corresponent a la vora i, una altra, a la base). Aquestes s'han diferenciat amb una V o una B en la sigla, segons el cas (per exemple, BCN345-V i BCN345-B). Això s'ha fet partint de la idea que, en tractar-se de gresols metal·lúrgics, alguns dels elements emprats durant el procés de fosa haurien quedat dipositats a la seva base i retinguts per l'absorció de les substàncies a través dels porus, de manera que s'establirien

diferències en relació a la composició química de la base i la vora de cada peça.

Les diferents peces han estat observades de forma individual però també s'han realitzat comparacions entre mostres amb una visió simultània d'algunes d'elles per tal de poder establir millor tant semblances com particularitats. La visió de les mostres s'ha fet valent-nos tant de fractures fresques com de seccions polides obtingudes mitjançant un procediment que s'explica en el següent apartat. A l'hora de descriure la mida de les inclusions s'han establert una sèrie de criteris mètrics per tal de facilitar la comprensió de les observacions descrites (Fig. 1). Pel que fa als criteris morfològics i de selecció d'aquestes inclusions s'ha pres com a model el definit per A.E.Adams, W.S. Makenzie i C.Guilford en l'obra referencial *Atlas of sedimentary rocks under the microscope* (ADAMS *et al*, 1984) (Figs. 2 i 3).

Per a la seva observació macroscòpica s'ha utilitzat una lupa binocular Olympus SZ i una font d'il·luminació de llum freda disposada en un angle de 45° aproximadament. El model d'aquesta font és l'Olympus KL 1500 LCD i ve equipada amb un filtre de llum de dia regulat a una temperatura de 2900K. La lupa emprada compta amb objectius d'1K i oculars ajustables de 15K, a més d'un zoom que fa possible observacions entre 0.67-4.5X. Per tal de subjectar-les, s'han emprat porta-mostres amb sorra.

La imatge observada a través dels oculars s'ha digitalitzat mitjançant una càmera fotogràfica Olympus DP25 i el software Cell'A (Olympus) instal·lat en un ordinador de taula amb un sistema operatiu WindowsXP. Això ens ha permès obtenir imatges digitals d'allò observat a través de la lupa binocular.

Molt gran	>1500 µm
Gran	1500-100 µm
Mitjana	1000-500 µm
Petita	500-100 µm
Molt petita	<100 µm

Fig.2: Criteri d'estandardització de les mides de les inclusions i els porus. Font: Arxiu de l'autor

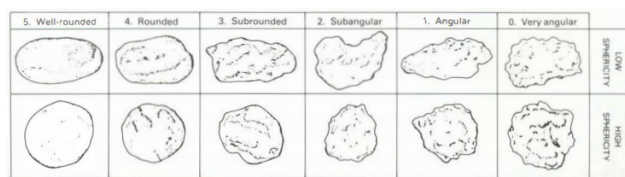


Fig. 3: Criteri d'estandardització de la forma de les inclusions i els porus. Font: ADAMS, *et al*, 1984.

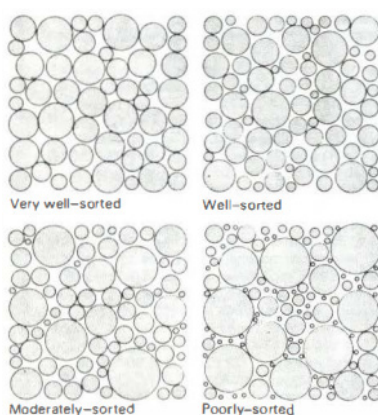


Fig. 4: Criteri per a la classificació de tria de les inclusions. Font: ADAMS, *et al*, 1984.

D. Microscòpia electrònica de rastreig (MER)

La microscòpia òptica de rastreig (MER) és una tècnica d'anàlisi a nivell atòmic que combina una visió òptica generada a partir d'un senyal electrònic amb tècniques analítiques elementals. Això permet copsar la transformació de la matriu argilosa, el canvi en la seva microestructura i en l'estadi de sinterització, així com microanalitzar alguns elements com ara vernissos, decoracions, inclusions no plàstiques, etc.

El seu funcionament es basa en el bombardeig d'un feix d'electrons primaris (incidentes) que interacciona sobre la mostra. Amb un detector adequat aquestes interaccions poden ser emprades per generar, bé una imatge monocroma, bé un espectre de raigs X que ens informarà sobre la composició química de zones concretes de la peça. Així, el detector d'electrons secundaris produeix una imatge en base a la senyal emesa pels electrons que surten disparats de les diferents òrbites de cada àtom en ser bombardejada la mostra amb el feix d'electrons primaris. Les zones de la mostra més properes al detector seran susceptibles de transmetre més electrons que seran captats per aquest detector, de manera que emetran una senyal més intensa que es traduirà en un to més clar. Les zones que quedin fora de l'àrea de captació del detector es traduiran en una imatge de to fosc. Així, es

produeix una imatge en escala de grisos que pot interpretar-se com una fotografia a molts augments d'una zona concreta de la mostra i que permetrà percebre la morfologia i mida de les diferents inclusions, així com la textura de la matriu. El detector d'electrons retrodifosos, per contra, genera una imatge en base a la senyal emesa pels electrons primaris que, en passar prop del nucli d'un àtom, canvien la seva orientació i són captats pel detector corresponent. Els elements més pesants (situats a la part més baixa de la taula periòdica), en tant que àtoms més complexos, tindran més capacitat per alterar aquesta òrbita i emetran una major quantitat d'electrons retrodifosos. D'aquesta manera, el detector captarà amb més intensitat la senyal provinent dels elements més pesants. En base a això, es crearà una imatge caracteritzada per unes àrees de to més clar que es correspondran amb els elements més pesants i unes amb tons més foscos, vinculades als elements més lleugers. La imatge resultant no és, doncs, una representació fidel de la morfologia de la mostra (com en el cas anterior) sinó que es tracta d'un mapa on es mostren en tons clars els components químics més pesants i en tons foscos els més lleugers.

El procés de preparació de les seccions polides que es descriu a continuació ha servit tant per a l'observació de les mostres a través de la lupa binocular com per a l'observació microscòpica (MER). Així, de la mateixa manera que en el cas de la lupa binocular, mentre que per als gresols amb baix contingut de plata solament hem pres un fragment de la base, per als que mostren una composició argentífera més elevada s'han pres mostres tant de la base com de la vora per tal de poder fer comparacions arran de les quals inferir dades sobre el seu ús.

Totes les seccions s'han fet en l'eix oral-aboral de la paret de les peces i, per tal que la mostra fos totalment plana, cadascuna d'elles s'ha polit amb una polidora de doble disc de carborundum Buehler Metaserv Grinder-Polisher. A l'hora de preparar les mostres, cadascuna d'aquestes s'ha d'introduir en un motlle cilíndric de plàstic de manera que es col·loqui la secció a analitzar en contacte directe amb la part inferior del porta-mostres. Finalment, es s'afeg una barreja de 2.5mg de resina epoxy Buehler eopothin i 0.9mg de líquid enduridor de la mateixa marca. En el transcurs d'aproximadament 24h les mostres estan enllestides.

Com a principal dificultat caldria destacar el fet que, degut a la porositat d'aquestes peces, en la majoria de casos vam observar com la resina era absorbida per les mostres, generant una coloració més fosca en la part superficial d'aquestes. Per tal d'evitar confusions a l'hora de realitzar les obser-

vacions, es va optar per tallar la capa més superficials de les mostres obtingudes abans de polir-les mitjançant un disc de coure a baixa velocitat.

A l'hora de polir aquestes mostres s'ha fet ús d'una màquina Phoenix Beta que funciona amb una velocitat de 30-600rpm, una potència de 0.2kw i un nivell de soroll de funcionament de < 75db. La màquina es compon d'un capçal motoritzat Vector LC per a polidores Alpha/Beta fabricat per Wirtz-Buehler GmbH que exerceix una pressió de contacte de fins a 50N sobre cada mostra. Aquestes se subjecten a un porta-mostres que, mitjançant un volant de mà, pot aixecar-se per facilitar el canvi dels papers o draps de polir. La posició quedarà fixada amb una palanca d'immobilització. Una vegada el porta-mostres està ple, s'ajusta la pressió per a cada mostra mitjançant un sistema d'enroscat i ajudant-nos de les indicacions gràfiques marcades sobre el capçal de la màquina. Després d'obrir una alimentació d'aigua per tal de suavitzar la fricció durant el polir i d'evitar el sobrecalfament de la màquina, podem passar a engegar-la. S'han emprat de forma consecutiva tres papers de polir de la marca CAMI amb un microgranulat de 16 μ m, 12.6 μ m, i 6.5 μ m respectivament i dos draps adherits a dos discs. Aquests draps s'han utilitzat en aquest ordre: un cobert per pols d'alumini de 3 μ m, un de sec i un amb líquid de diamant. Cadascun dels papers microgranulats i dels draps han estat treballant en la polidora durant 3 minuts.

Els gresols han estat estudiats per microscòpia electrònica de rastreig acoblada a un detector de raigs X per dispersió d'energies (MER-EDX) per tal d'observar l'estadi de sinterització de la matriu argilosa, les concrecions que presenten i, en el cas de l'individu BCN351, identificar unes taques blaves d'aspecte pulverulent que són presents a l'exterior de la seva paret. L'estudi s'ha fet emprant un microscopi JEOL JSM-840, acoblat a un sistema de microanàlisi de raigs X per dispersió d'energies (EDX) INCA Energy 250 (Oxford Instruments). Totes les observacions s'han fet sobre fractures polides de mostres incloses en resina mitjançant el procediment anteriorment descrit i, en el cas de l'individu BCN351, també amb una fractura fresca.

Les mostres han estat adherides a un porta-mostres metàl·lic amb silicona, recoberta amb plata col·loïdal, i han estat fetes conductores per deposició d'una capa de carboni en una atmosfera d'alt buit. En aquest cas, i de forma excepcional, s'ha hagut de parar especialment atenció a que aquesta plata no estigués en contacte directe amb les mostres sinó que la conducció entre la mostra i el porta-mostres es realitzés mitjançant l'adhesió d'unes tires de carboni. S'ha triat aquest procediment, que

no és l'usual, degut a que en aquest cas un dels principals objectes d'estudi és precisament el contingut de d'Ag i, per això, hem d'intentar evitar qualsevol tipus de contaminació de la mostra amb aquest metall.

El voltatge d'acceleració emprat és de 20kV, la intensitat en el feix és d'1nA i el temps de comptatge en la microanàlisi és de 100s.

Annex II. Plànols



Fig. 1: Plànol de l'evolució del Conjunt Episcopal de Barcelona segons C. Bonnet i J. Beltrán de Heredia i ubicació del saló del Tinell. Dibuix original: Emili Revilla i Marion Berti (MUHBA). Font: BELTRÁN DE HEREDIA, 2013. Fig. 66.



Fig. 2: Plànol dels principals punts d'extracció de plata a la península Ibèrica durant el període andalusí. Font: SÁNCHEZ, 1989: 70,71.

Annex III. Làmines de materials i inventaris

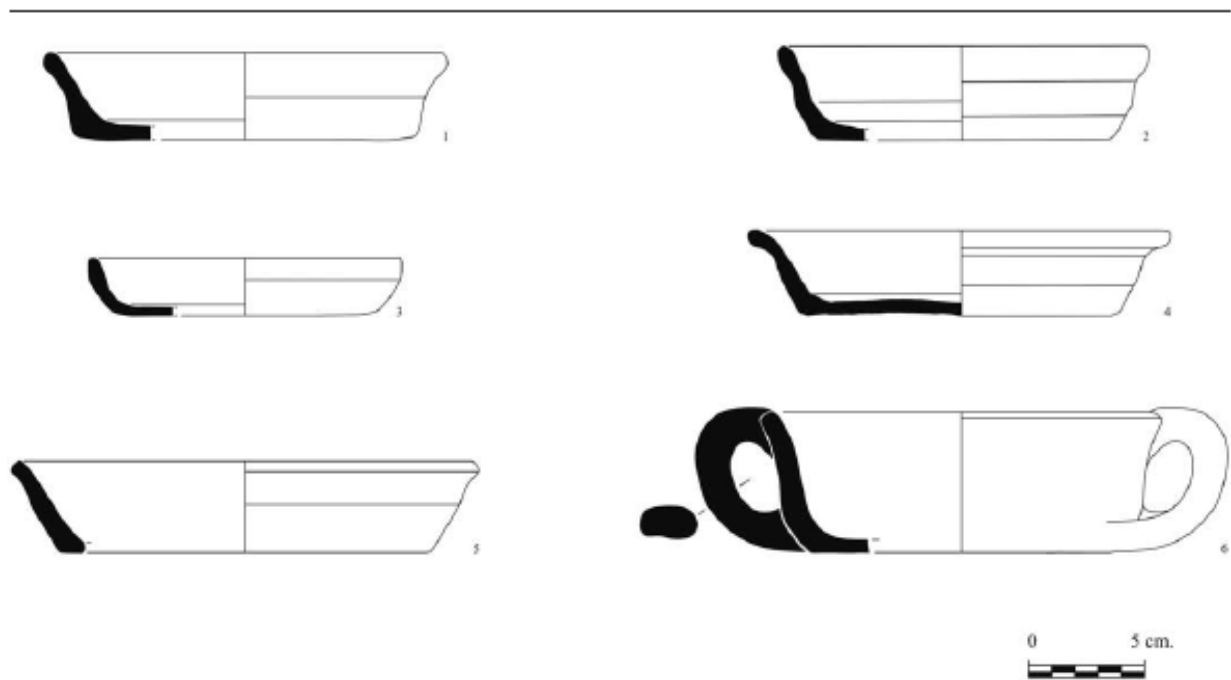


Fig. 1: Làmina de dibuixos de materials provinents dels contextos de la Plaça del Rei (1-3), carrer Lladó (4), Basílica dels Sants Màrtirs Just i Pastor (5) i de l'Arxiu Administratiu de Barcelona (6). Font: BELTRÁN DE HEREDIA, 2013. Fig. 61.

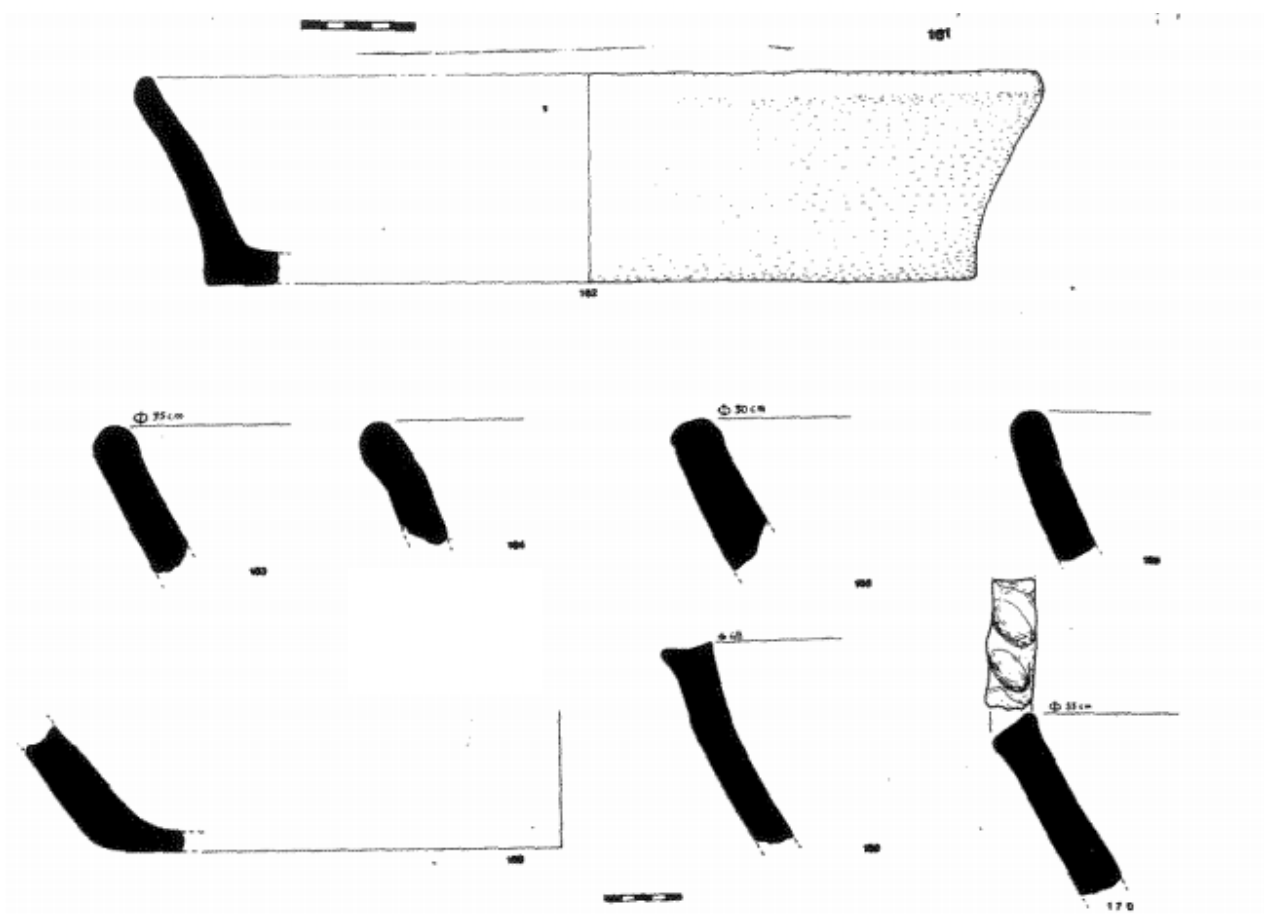


Fig. 2: Làmina de dibuixos dels materials de las Dunas de Guardamar assimilables a la forma *alcadafe*. Font: AZUAR, 1989: 105.

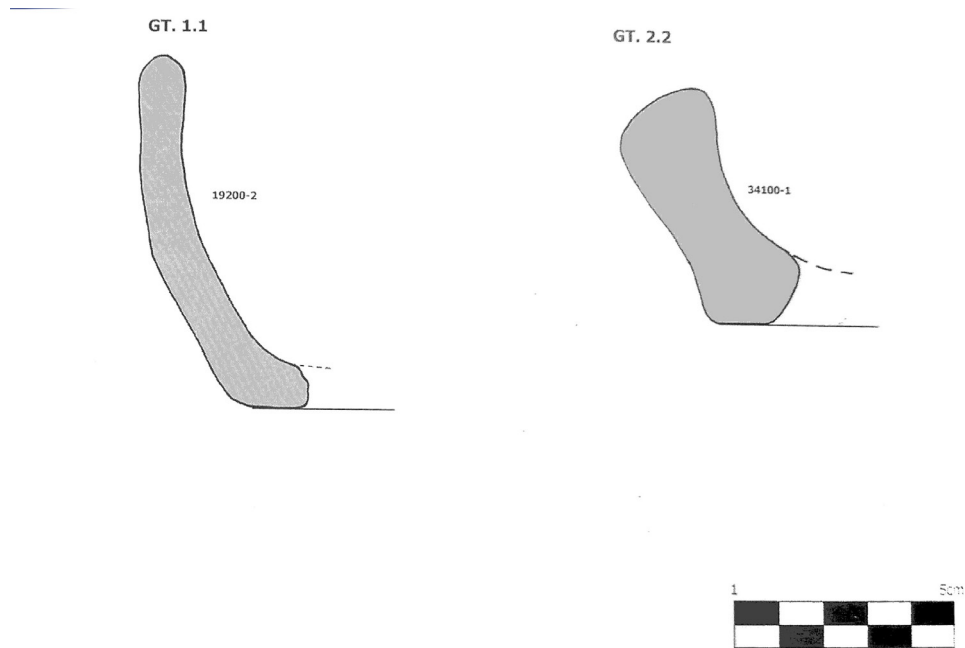


Fig. 3: Làmina de dibuixos dels materials de Marroquíes Bajos assimilables a la forma *alcadafe*. Font: CASTILLO, 1998. Fig. 7.

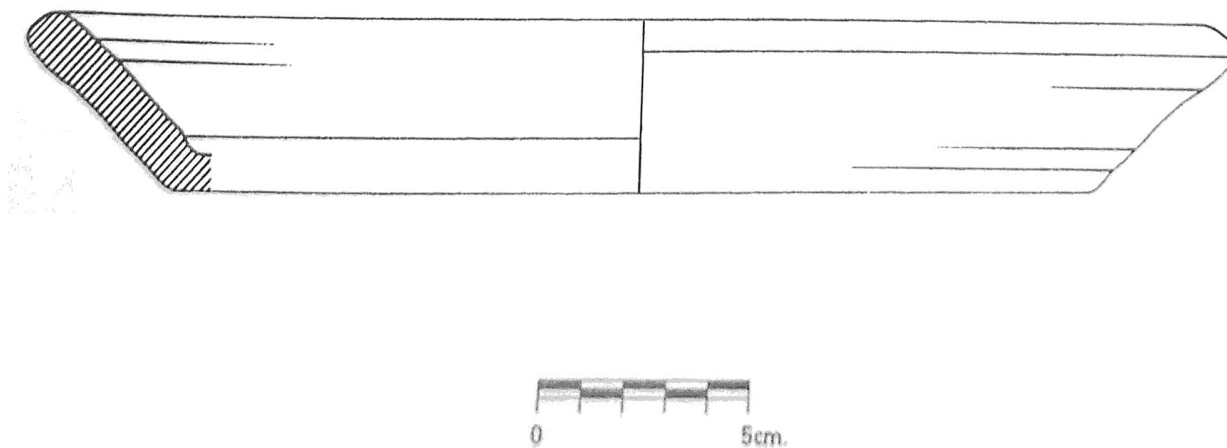


Fig. 4: Làmina de dibuixos dels materials de Cartagena assimilables a la forma *alcadafe*. Font: MURCIA i GUILLERMO, 2003. Fig. 5.













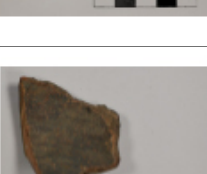
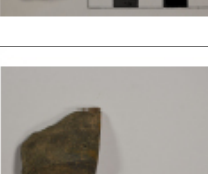


SIGLA	INTERVENCIÓ	UE	FORMA	CRONOLOGIA	IMATGE ANVERS	IMATGE REVERS
BCN344	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN345	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN346	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN347	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN348	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN349	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN350	Tinell 1953	XXI-E	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		
BCN351	Tinell 1956	XXI-F	Plat/ cassola baixa	s. VIII avançat/s. IX		

Fig. 5: Inventari dels gresols del Tinell. Autoria de l'inventari: MUHBA. Fotografies: Marta Valls..

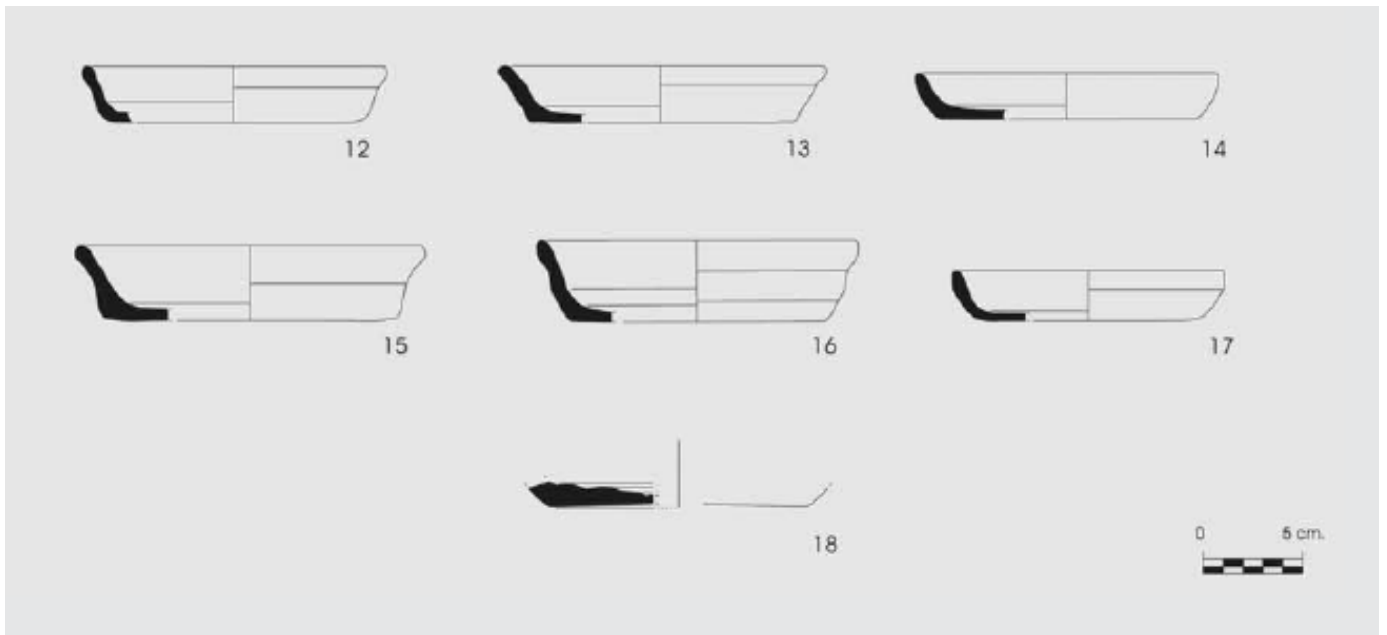


Fig. 6: Làmina de dibuixos dels gresols trobats en el nivell XXI-F del Saló del Tinell. Font: BELTRÁN DE HEREDIA, 2005, làmina 12.

Annex IV. Estudi estadístic: taules i gràfics

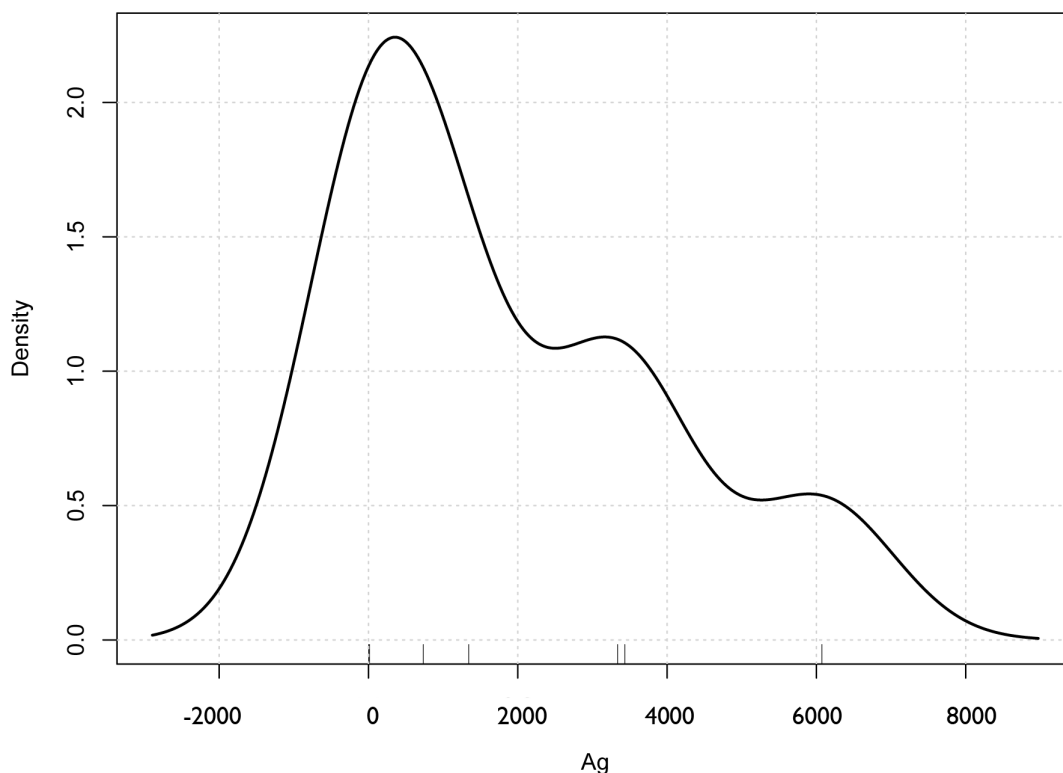
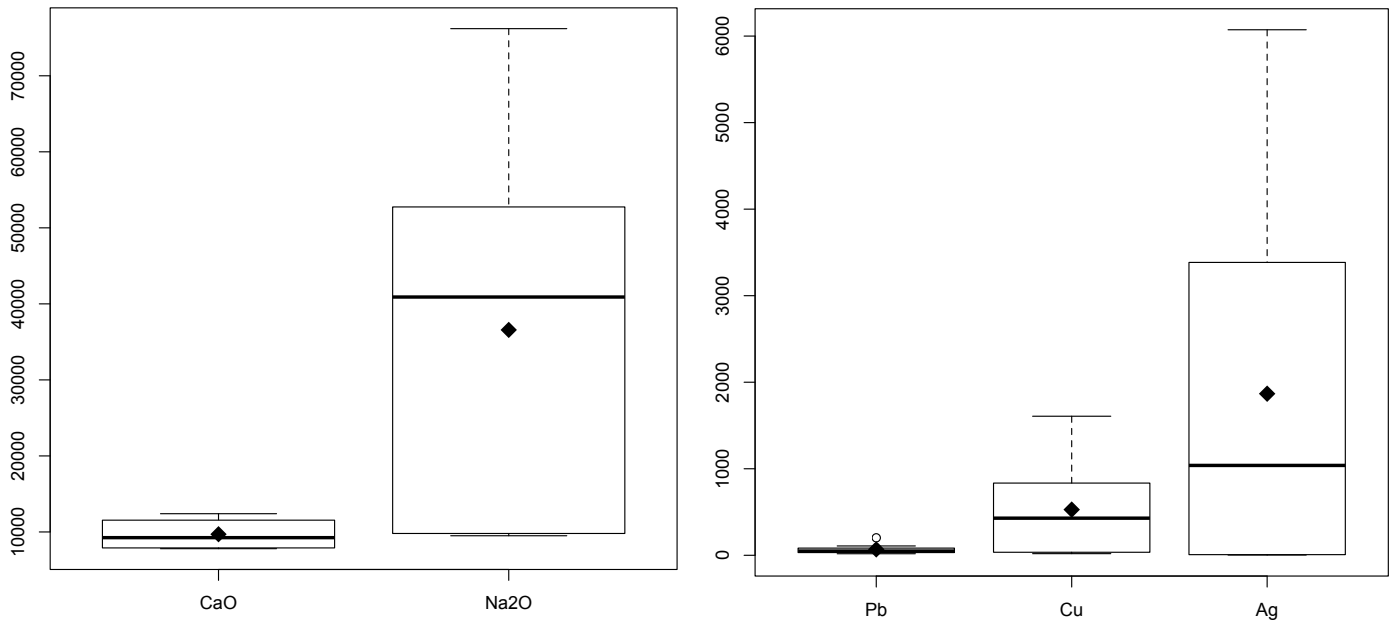


Fig 1: Gràfic d'estimació de densitat per kernels (KDE) on en l'eix de les X es mostren els diferents valors donats per a l'Ag mentre que en l'eix de les Y la densitat corresponent a cadascun d'ells. Resultats expressats en $\mu\text{g g}^{-1}$. Font: Arxiu de l'autor.

	mean	sd	IQR	0%	25%	50%	75%	100%	n
Ag	1867	2212	3351	3	10	1039	3360	6073	8
CaO	9700	1931	3575	7800	7950	9250	11525	12400	8
Cu	528	563	726	19	36	429	762	1607	8
Na₂O	36575	25191	375	9500	9900	900	50275	76200	8
Pb	68	61	36	18	35	49	71	202	8

Fig 2: Resum numèric corresponent als elements i molècules Ag, CaO, Cu, Na₂O i Pb on es mostren, per a cadascun d'aquests, la mitjana aritmètica (mean), la desviació estàndard (sd), el menor dels valors observats (0%), el major dels valors observats (100%), la mediana o valor que separa el 50% dels individus amb valors més baixos del 50% amb valors més elevats (50%), el punt de separació entre el primer i segon quartils o mediana del primer 50% (25%), el punt de separació entre el tercer i quart quartil o mediana del segon 50% (75%), l'amplitud interquartílica o rang comprès entre el 25%-75% (IQR) i el nombre d'individus (n). Resultats expressats en $\mu\text{g g}^{-1}$. Font: Arxiu de l'autor.



Figs 3a i 3b: Caixes de dispersió. Gràfic que reflecteix les dades anteriors on el segon i tercer quartils formen la caixa i la línia que la parteix, la mediana. Les línies superiors i inferiors representaran el 100% i el 0% respectivament. Els valors aberrants s'identifiquen amb cercles mentre que la mitjana aritmètica de cada individu es mostra amb un rombe. Resultats expressats en $\mu\text{g g}^{-1}$. Font: Arxiu de l'autor.

	CaO	Na₂O	Pb	Cu	Ag
CaO	1.00	0.73	-0.46	0.50	0.49
Na₂O	0.73	1.00	-0.42	0.69	0.91
Pb	-0.46	-0.42	1.00	-0.18	-0.30
Cu	0.50	0.69	-0.18	1.00	0.76
Ag	0.49	0.91	-0.30	0.76	1.00

Fig 4: Matriu que mostra la correlació entre les variables Ag, CaO, Cu, Na₂O i Pb. Una correspondència perfecta dels valors d'ambdues variables implica una correlació màxima representada amb el nombre 1 (negatiu si la proporció és inversa i positiu si és directa). Per això la diagonal sempre presenta valors d'1. Així, els números mostrats corresponen el grau de correlació entre les diferents variables. Si multipliquem el quadrat de cadascun d'aquests nombres per 100 obtindrem el coeficient o percentatge de determinació entre aquestes Font: Arxiu de l'autor.

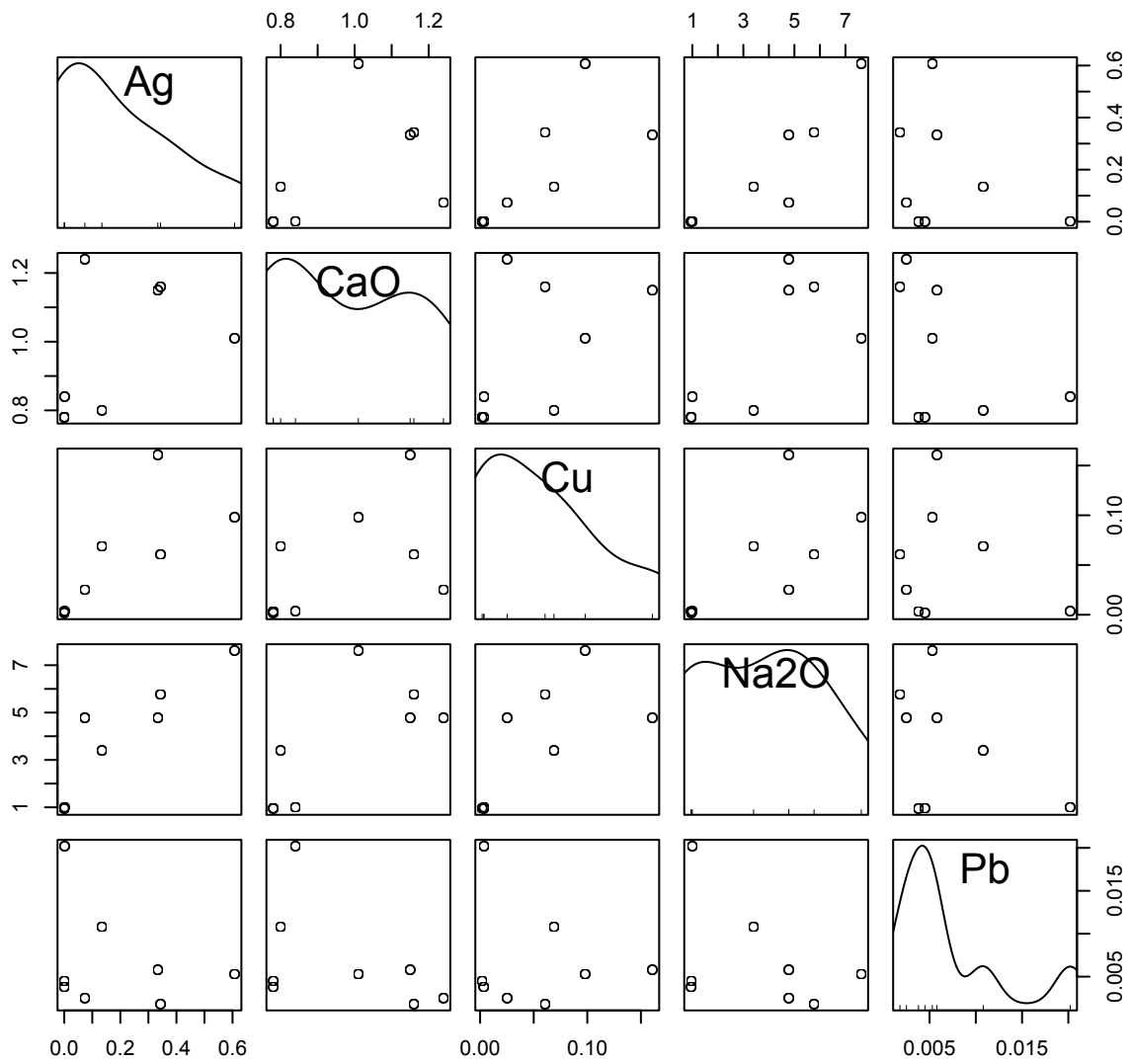


Fig. 5: Matriu de diagrames de dispersió de les variables Ag, CaO, Cu, Na2O i Pb. A la diagonal es mostra el gràfic d'estimació de densitat per kernels de cadascuna de les variables mentre que a dins de la matriu podem veure la informació creuada corresponent a cada parella de variables. Valors expressats en percentatges. Resultats expressats en percentatge. Font: Arxiu de l'autor.