

Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia
Universitat de Barcelona

Programa de Doctorat:
Ciències de l'Antiguitat (bienni 2003-2005)

**Estudi arqueomètric i arqueològic de la
producció i difusió d'àmfores vinàries de la
zona central i sud de la costa catalana
durant els segles I aC i I dC**

Verònica Martínez Ferreras

Tesi Doctoral dirigida per:

Dr. Jaume Buxeda i Garrigós
Professor agregat d'Arqueologia

Capítol 8

LA CARACTERITZACIÓ ARQUEOMÈTRICA DE LES ÀMFORES

8.1. Introducció a l'anàlisi arqueomètrica

Un total de 405 mostres han estat analitzades químicament per FRX i mineralògicament per DRX. Aquestes mostres procedeixen de centres productors de l'àrea central-sud catalana, així com dels centres receptors i redistribuïdors de *Barcino* (Barcelona), *Narbo Martius* (Narbona) i *Lattara* (Lattes, Hérault).

L'anàlisi dels materials procedents dels centres productors documentats arqueològicament, com Ca l'Arnau-Can Pau Ferrer, el carrer Princesa i possiblement el Mercat de Sta. Caterina, el Barri Antic i El Vilarenc, ens portarà a l'establiment dels grups de referència (GR) de cada taller. Els grups de referència es determinen a partir del tractament estadístic de les dades composicionals obtingudes de l'anàlisi química per als diferents individus. A partir de les característiques i la composició de la pasta dels diferents grups de referència, podrem atribuir la provenença de les àmfores a zones d'incertitud o zones de conjunció de la producció amforal. L'establiment dels GR ens aproximarà al coneixement d'alguns aspectes relacionats amb el tipus de matèries primeres seleccionades per preparar la pasta argilosa. En el cas dels individus estudiats que no procedeixen d'un centre de producció, sinó que són materials importats a altres ciutats de l'Imperi, que han circulat, com els casos de les àmfores de *Barcino*, *Narbo Martius* i *Lattara*, l'anàlisi permetrà agrupar-los o no als GR determinats segons la semblança química. Tanmateix, aquestes agrupacions no definiran grups de referència, ja que l'àrea d'origen de fabricació es desconeix. En aquests casos, només podrem establir Unitats de Referència Composicional de Pasta (URCP). Només la comparació dels centres receptors amb els productors, en el cas de produir-se associacions entre els individus dels primers i els GR definits per als segons, permetrà l'adscripció de URCP a una zona d'incertitud determinada.

L'estudi dels centres productors ens ha de permetre conèixer l'organització i execució en la fabricació amforal de les diferents àrees costaneres del litoral català durant el final de la República i l'Alt-Imperi. Els quatre centres de producció ceràmica estudiats es distribueixen al llarg de la costa central-sud catalana, des del Maresme fins al Penedès. La caracterització de la seva producció ens permet determinar el tipus de matèria primera utilitzada en la fabricació ceràmica així com els diferents processos tecnològics portats a terme a cada centre o als diversos tallers ceràmics.

L'anàlisi d'aquests aspectes ens porta a considerar el grau de coneixement tecnològic dels ceramistes i el grau d'innovació tecnològica experimentat a cada centre

al llarg de la seva existència. L'anàlisi de les característiques tecno-funcionals d'aquests envasos destinats al transport serà útil en la identificació de les eleccions tecnològiques adoptades per a cada producció en cada centre, i la relació d'aquestes amb els objectius i propòsits funcionals dels diferents tipus.

8.2. Característiques composicionals de les àmfores

L'anàlisi química per Fluorescència de Raigs X (FRX) dels 404 individus amforals mostrejats ha permès determinar les concentracions elementals majors i menors (expressats en òxids) i traça següents: Fe₂O₃ (com a Fe total), Al₂O₃, MnO, P₂O₅, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. Els resultats de l'anàlisi química per al conjunt d'individus analitzats es donen a la Taula 8.1, juntament amb els resultats obtinguts en la determinació de la pèrdua al foc (PAF).

Tanmateix, en el tractament estadístic de les dades composicionals no s'han tingut en compte el Co, W, Mo, Sn, ni el Th per les raons que s'han comentat al Capítol 4.1.3. Per tal de definir la variabilitat entre els individus ceràmics a partir de les 24 concentracions considerades (Buxeda i Kilikoglou, 2003), s'han seguit les consideracions d'Aitchison sobre l'estructura de la covariància d'un conjunt **X** de **D**-parts (Aitchison, 1986: 65, 1992; Buxeda, 1999a: 301). El conjunt de variàncies determina completament l'estructura de la covariància i ve expressada en la matriu de variació composicional (MVC) que es defineix com

$$\mathbf{T}=[\tau_{ij}]=[\text{var}\{\ln(x_i/x_j)\};i,j=1,\dots,D].$$

La MVC ens informa de la variabilitat que presenta el conjunt de dades. Proporciona la variació total (v_t), que quantifica la variabilitat existent entre el total de les dades químiques; la $\tau_{.i}$, que representa la suma del total de variàncies en les transformacions emprant el component (i) com a divisor, i la $v_t/\tau_{.i}$, que indica la part que la variació total representa del total de la suma de les variàncies en les transformacions emprant el component (i) com a divisor (Buxeda, 1999a).

Per tal d'evitar el problema que comporten las dades composicionals en quant a la restricció de suma a la unitat, com s'ha vist al Capítol 5, els valors de les 24

composicions per als 404 individus han estat transformades en concentracions relatives (raons) per tal d'obtenir el logaritme d'aquestes raons. En aquest procés, el vector composicional D-dimensional \mathbf{x} ha estat transformat segons

$$\mathbf{x} \in S^d \rightarrow \mathbf{y} = \ln\left(\frac{\mathbf{x}_{-D}}{x_D}\right) \in \mathbb{R}^d,$$

on $d=D-1$ i $\mathbf{x}_{-D}=(x_1,\dots,x_d)$. En la transformació en logaritmes de raons s'ha utilitzat com a divisor, en aquest cas, la composició que presenta menys variabilitat en la MVC. D'aquesta manera aconseguim una quasi estandardització de les variables transformades i totes elles presenten un pes similar en el càlcul de la distància (Aitchison, 1986, 1992; Aitchison, *et al.*, 2002; Buxeda, 1999a). S'obtenen a més uns nous valors relatius que ja no estan subjectes a cap restricció.

La MVC que presenten els 404 individus analitzats a partir de la subcomposició Fe_2O_3 (com a Fe total), Al_2O_3 , MnO, P_2O_5 , TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, ofereix una $v_t = 1.988$ (Taula 8.2), que s'ha d'interpretar com força elevada. El gràfic de la Figura 8.1 mostra les concentracions relatives que contribueixen majorment a la variabilitat total. Si bé els elements que presenten uns valors $\tau_{.i}$ més alts en la Taula 8.2 són el CaO ($\tau_{\text{CaO}} = 9.217$), MgO ($\tau_{\text{MgO}} = 7.778$), Na_2O ($\tau_{\text{Na}_2\text{O}} = 7.061$), P_2O_5 ($\tau_{\text{P}_2\text{O}_5} = 7.899$), Sr ($\tau_{\text{Sr}} = 5.799$) i Pb ($\tau_{\text{Pb}} = 5.832$), tant en el cas del P_2O_5 i Pb, com del Cu la variabilitat pot ser deguda a

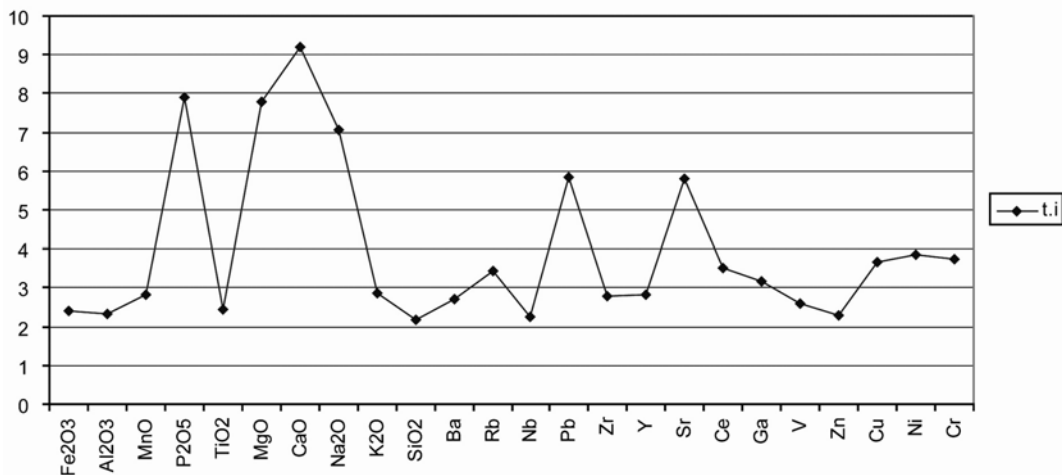


Figura 8.1. Gràfic representant la variabilitat dels 24 elements químics considerats per als 404 individus ceràmics analitzats a partir dels valors de $\tau_{.i}$ de la Taula 8.2

factors d'alteració composicional originats com a processos secundaris durant l'enterrament de les ceràmiques.

Per tal d'evitar el problema de les alteracions que presenten aquestes concentracions elementals, s'ha repetit el tractament estadístic però sense tenir en compte les concentracions relatives de P_2O_5 , Pb i Cu. La MVC resultant, tenint en compte 404 individus ceràmics i 21 composicions elementals mostra una $v_t = 1.4785$ (Taula 8.3), que continua sent força elevada i característica d'una població poligènica (Buxeda i Kilikoglou, 2003). En aquest cas, com a la MVC de la Taula 8.2, s'observa com, si bé tots els elements químics contribueixen notablement a la v_t , els que més variabilitat introdueixen al conjunt de dades són el MgO ($\tau_{MgO} = 6.096$), el CaO ($\tau_{CaO} = 7.884$), el Na₂O ($\tau_{Na_2O} = 5.535$), el Sr ($\tau_{Sr} = 4.841$) i, en menor mesura, el Rb ($\tau_{Rb} = 2.706$), el Ce ($\tau_{Ce} = 2.637$), el Ga ($\tau_{Ga} = 2.408$), el Ni ($\tau_{Ni} = 3.273$) i el Cr ($\tau_{Cr} = 3.022$). En canvi, l'element que comporta menys variabilitat és el SiO₂, ($\tau_{SiO_2} = 1.617$) i serà aquest l'element utilitzat com a divisor en la transformació en logaritmes de raons.

El dendrograma de la Figura 8.2 mostra la distribució d'aquesta mostra poligènica (404 individus) segons les semblances composicionals a partir de la subcomposició Fe₂O₃ (com a Fe total), Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, transformada en logaritmes de raons utilitzant el SiO₂ com a divisor. Aquest gràfic és el resultat de l'anàlisi de conglomerats, emprant l'algoritme aglomeratiu del centroide i la distància euclidiana al quadrat, utilitzant el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). Sobre aquest primer pla es pot observar l'existència de diverses agrupacions que coincideixen, de forma més o menys homogènia, amb els diferents centres productors estudiats. La primera observació a fer és la gran semblança composicional que presenten els individus amforals procedents del carrer Princesa de Barcelona (PRINC) en relació a la resta d'agrupacions. Tots els individus analitzats, excepte l'àmfora CSC085 i els 5 sediments procedents de l'estructura del forn circular del taller, resten inserides en aquesta agrupació (PRINC). L'individu CSC085 es troba a una distància ultramètrica suficient com per poder pensar que la seva àrea de provinença no és la del taller del carrer Princesa. Igualment, els sediments mostrejats (A-PR) a diferents parts del forn circular, com l'argila de l'inici del *praefurnium* (CSC099), de la paret superior exterior del forn (CSC100), del pilar central (CSC101) i del fons interior del forn (CSC102), resten propers a les àmfores del mateix jaciment, però no semblen mostrar gaire relació composicional amb les àmfores

Pascual 1 del grup PRINC. Tanmateix, el sediment procedent de la paret exterior del forn (CSC098) resta separat, situat en la primera posició a l'esquerra del dendrograma, i és l'individu que es separa a una distància ultramètrica més gran dels individus analitzats.

Els individus procedents del taller del Barri Antic, a St. Boi de Llobregat (SBL), també mostren una gran similitud (Figura 8.2), si bé tres subconjunts poden apreciar-se a l'interior de l'agrupació SBL. A més, tres individus procedents d'aquest centre no comparteixen aquesta provinença (SBL001, SBL004 i SBL005) i resten aïllats en el dendrograma, tot i que situats pròxims als sediments d'argila del carrer Princesa. A l'interior de les agrupacions PRINC com SBL apareixen intercalats alguns individus procedents de la ciutat de Lattes (Hérault, França).

Tanmateix, els individus procedents de la resta de centres productors no s'uneixen formant una sola agrupació, sinó que la variabilitat present en el conjunt de dades porta a la formació de més d'una agrupació (Figura 8.2). Aquest seria el cas dels 100 individus analitzats procedents de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer (Cabrera de Mar). A més de la divisió dels individus formant dues agrupacions (ACM-CPF i ACM), la distància ultramètrica a la que s'uneixen els individus des de la base del dendrograma en aquestes dues agrupacions és superior als dos casos anteriors citats (PRINC i SBL). D'una banda, el grup ACM-CPF acull la majoria d'àmfores Dressel 1 citerior procedents de Can Pau Ferrer (CPF) així com una gran part de les àmfores Dressel 1 citerior i Tarraconense de Ca l'Arnau (ACM). Associats a aquests individus es troben àmfores procedents dels centres receptors de Barcelona, Narbona i Lattes. D'altra banda, la resta d'individus s'uneixen en l'agrupació ACM, representada majoritàriament per les àmfores Pascual 1 de Ca l'Arnau, si bé s'associen alguns individus de Dressel 1 citerior tant d'aquest centre com de Can Pau Ferrer. En la distribució interna de l'agrupació ACM s'observa la presència d'alguns individus amforals recuperats a la ciutat portuària *Lattara* (Lattes). Tanmateix, molts dels individus procedents d'aquests dos centres de la vall de Cabrera de Mar no s'uneixen amb cap d'aquestes agrupacions ni als altres grups. Finalment, el sediment d'argila (ACM105) procedent de Ca l'Arnau es troba emplaçat en la primera posició a l'esquerra del dendrograma (A-CA). L'argila analitzada no presenta cap similitud química amb les àmfores procedents dels centres productors situats a la mateixa vall i mostra, a més, una gran diferència composicional amb la resta d'individus analitzats.

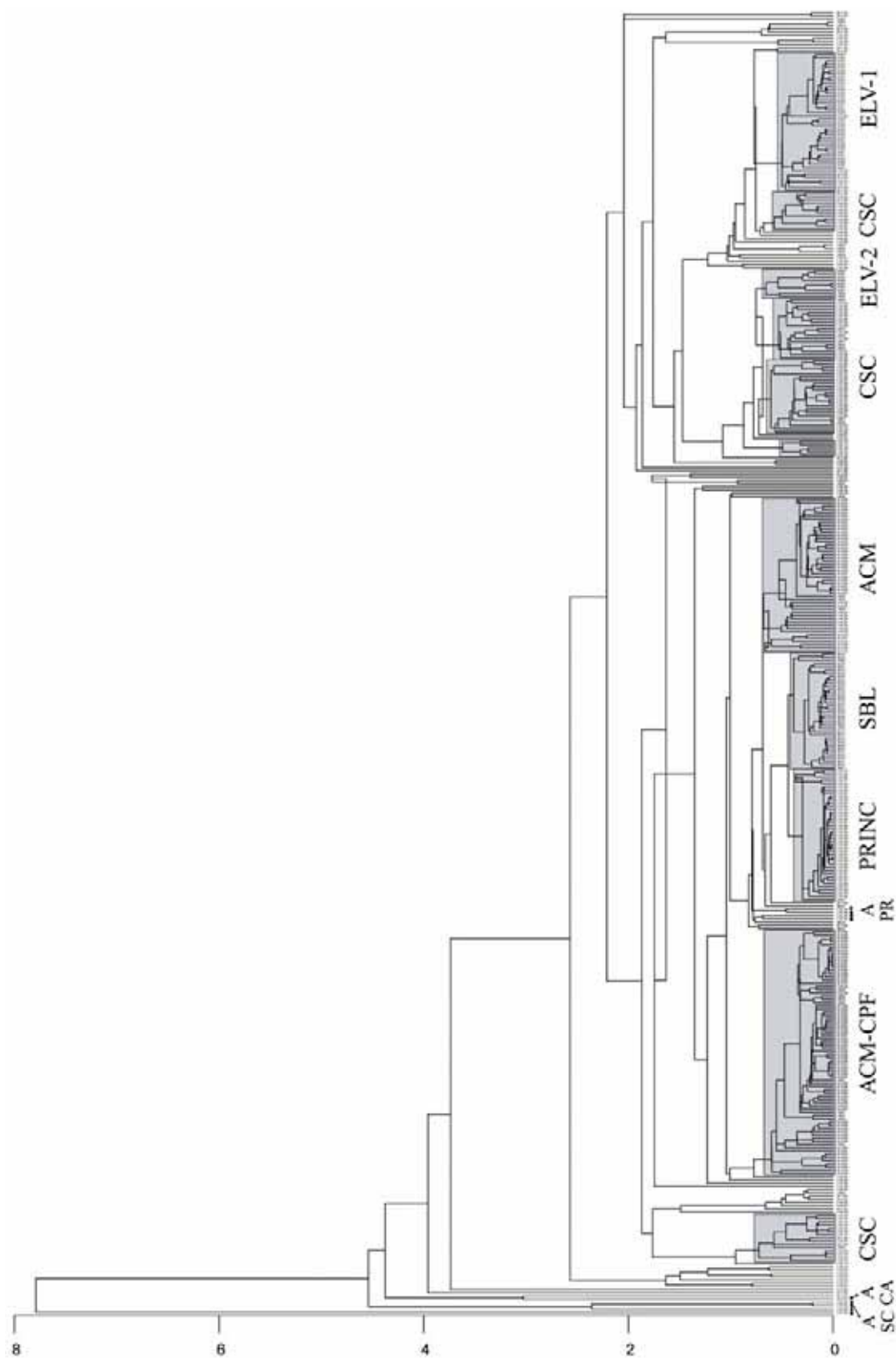


Figura 8.2. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 404 individus a partir de la subcomposició transformada en logaritmes de raons, utilitzant el SiO₂ com a divisor: Fe₂O₃ (com a Fe total), Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroid. Indicació de les agrupacions: ACM-CPF i ACM (Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer); PRINC (Princesa); SBL (Barri Antic); ELV (El Vilarenc) i CSC (Sta. Caterina) i els sediments d'argila de Santa Caterina (A-SC), de Princesa (A-PR) i de Ca l'Arnau (A-CA)

A la dreta del dendrograma de la Figura 8.2 s'intercalen diverses agrupacions compostes majoritàriament pels individus del Vilarenc (ELV) i del mercat de Sta. Caterina (CSC). En quant als primers, es distribueixen formant dues agrupacions (ELV-1 i ELV-2). El conjunt ELV-1 aplega la majoria d'àmfores procedents del Vilarenc, tot i que s'observen dos subconjunts que representen, respectivament, un les àmfores Tarraconense 3 i l'altre les àmfores Pascual 1 d'aquest centre. Alguns individus del mercat de Sta. Caterina i de la colònia *Barcino* (Barcelona) s'insereixen en aquesta agrupació. El segon grup, ELV-2, està format per algunes àmfores Pascual 1 i els individus amforals no classificats tipològicament. Aquests presenten una composició pròxima als individus que componen l'agrupació majoritària de Sta. Caterina (CSC), però es separen a una distància ultramètrica suficient com per poder-los considerar de provinença diferent.

De tots els centres productors considerats, les àmfores del possible taller de Sta. Caterina, procedents d'uns abocadors ceràmics, són les que més variabilitat intrínseca presenten. Aquesta alta variabilitat no és només evident en la formació de diverses agrupacions, sinó que la variabilitat interna dels individus que conformen cada grup és també elevada. A més, una sèrie d'individus recuperats en aquests abocadors (CSC006, CSC009, CSC010, CSC013, CSC014, CSC029, CSC031, CSC049, CSC103 i CSC114) no s'associen amb cap de les agrupacions CSC. En aquest cas, els tres tipus de sediment argilós mostrejats en tres punts del solar del mercat pròxims a les restes d'època alt-imperial, resten a l'esquerra del dendrograma (A-SC), sense mostrar cap relació amb cap de les agrupacions formades per les àmfores del mercat de Sta. Caterina.

A més d'aquestes agrupacions, una part important dels individus analitzats resten aïllats, mostrant l'alta variabilitat composicional que els separa, tant entre ells com amb la resta d'agrupacions. Alguns d'aquests individus que no es classifiquen amb cap grup han estat mostrejats en centres productors d'àmfores. El fet de no quedar integrats en les agrupacions identificades per als centres respectius evidenciaria una àrea de provinença diferent a la del centre de procedència. Tanmateix, la diferència composicional que mostren alguns d'aquests individus pot ser deguda a processos de contaminació que poden haver comportat l'alteració d'algunes de les seves composicions relatives durant l'ús i/o l'enterrament dels contenidors ceràmics. Aquestes alteracions composicionals serien l'origen, en certs casos, de la variabilitat química que separa aquests individus dels altres procedents del mateix centre de producció. Tanmateix, la majoria d'individus no classificats i que comporten les majors distàncies

ultramètriques del dendrograma corresponen, a més dels sediments argilosos de Ca l'Arnau, del Carrer Princesa i de Sta. Caterina, a àmfores procedents dels centres receptors. La no integració en cap de les agrupacions químiques observades en el dendrograma de la Figura 8.2 podria indicar que la seva provinença no correspon amb cap dels centres productors retinguts en aquest estudi. Malgrat tot, és evident que algunes concentracions químiques s'hauran vist alterades durant el procés d'ús i enterrament d'alguns individus, factors que contribueixen a la seva diferenciació química. En aquest sentit, les àmfores procedents de Port-La-Nautique (Narbona), que han estat recuperades en un medi marí, o les àmfores procedents de Malard (Narbona) i Lattes, on l'alt nivell de la capa freàtica ha mantingut durant un llarg temps a aquests materials en un medi semi-aquàtic, presentaran, molt probablement, algunes composicions relatives alterades.

D'aquesta manera, tot i que l'anàlisi de les produccions dels tallers ceràmics serà tractada més àmpliament al capítol següent, en aquest punt ja es poden fer algunes remarques generals. Si observem el dendrograma de la Figura 8.2 a partir de les agrupacions químiques definides, veiem com l'estructura interna del dendrograma resta marcada per tres tendències principals. La primera conformaria les agrupacions ACM-CPF, ACM, PRINC i SBL, que representen als individus amb un baix contingut en MgO (al voltant del 1.2 i 2%) però alts valors en Fe_2O_3 i Al_2O_3 . La diversitat de valors en CaO, comportant la coexistència de pastes poc calcàries (algunes àmfores ACM) amb pastes clarament calcàries (algunes àmfores ACM i totes les que formen els grups PRINC i SBL), evidencia que el MgO és l'element que discrimina principalment aquests individus de la resta.

La segona conformaria les agrupacions CSC del mercat de Sta. Caterina i els grups ELV-1 i ELV-2 del Vilarenc. Aquests individus es diferencien de la resta per presentar, principalment, uns valors relatius en MgO força elevats, per sobre del 2% i arriben, en alguns casos, fins al 7%. Les concentracions relatives en CaO (entre 7 i 17%) és igualment alta, evidenciant el caràcter calcari d'aquestes pastes. Aquests individus es caracteritzen per presentar uns valors alts en Ni i, en el cas dels grups CSC de la dreta, mostren unes concentracions relatives en Na_2O força elevades.

Finalment, la tercera tendència vindria representada per l'agrupació CSC situada a l'esquerra del dendrograma, caracteritzada per unes pastes molt poc calcàries (entre 1-3% de CaO), amb valors baixos de MgO, Na_2O i Sr, però molt elevats en Cr i V.

Les composicions relatives que marquen aquestes tres tendències en la distribució dels individus estan estretament relacionades amb les concentracions que presenten més variabilitat al conjunt de dades, com el MgO, el CaO, el Na₂O i el Sr (Figura 8.1 i Taula 8.2).

El gràfic bivariant de la Figura 8.3 mostra la distribució dels 404 individus a partir de les concentracions transformades en logaritmes de raons de CaO i MgO, utilitzant el SiO₂ com a divisor. Sobre aquest gràfic, els individus mostren una distribució exponencial. Els individus procedents del Vilarenc i de Sta. Caterina són els que presenten uns valors més elevats en CaO i MgO. La distribució dels individus en quant al calci no comporta una evolució des dels individus poc calcaris fins als més calcaris però sí s'observa que tots els individus amb concentracions de MgO elevades són calcaris, i per aquest aspecte, les variables adopten una correlació positiva, tot i que poc intensa.

La variabilitat del CaO podria estar relacionada, d'una banda, amb la diferència del caràcter calcari de la pasta argilosa utilitzada en les diverses produccions. Tanmateix, com ja s'ha vist en alguns casos (Martínez *et al.*, 2005, 2006; 2007; Vila *et al.*, en premsa), podria també estar relacionada amb la transformació dels carbonats durant la

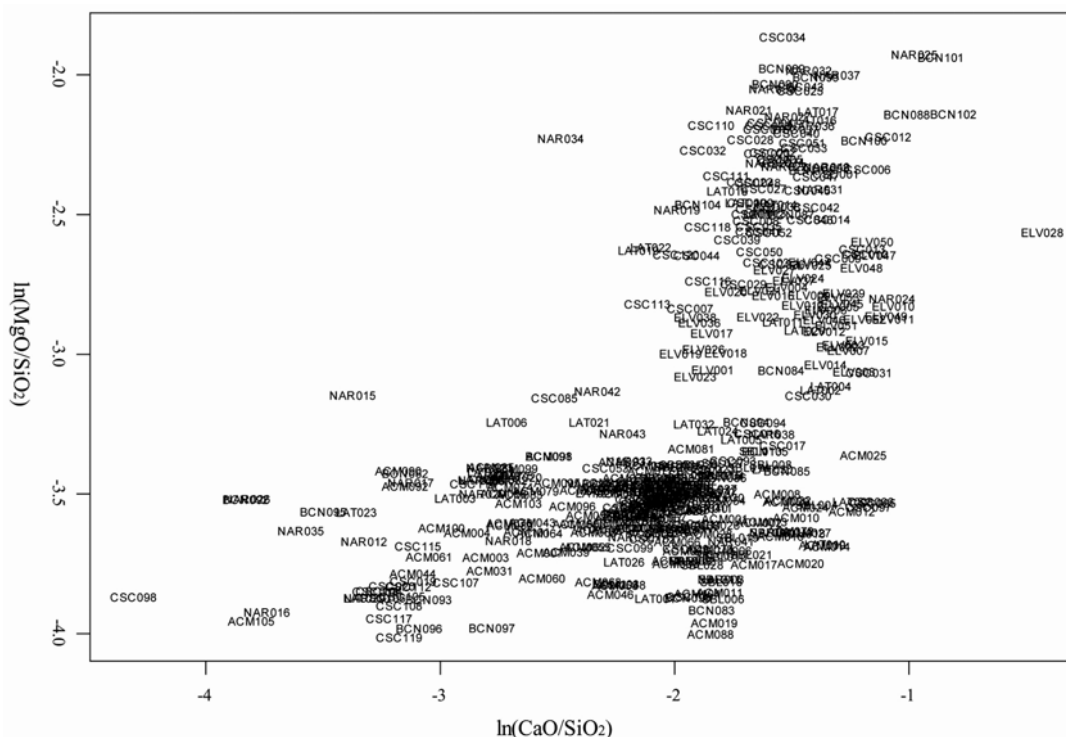
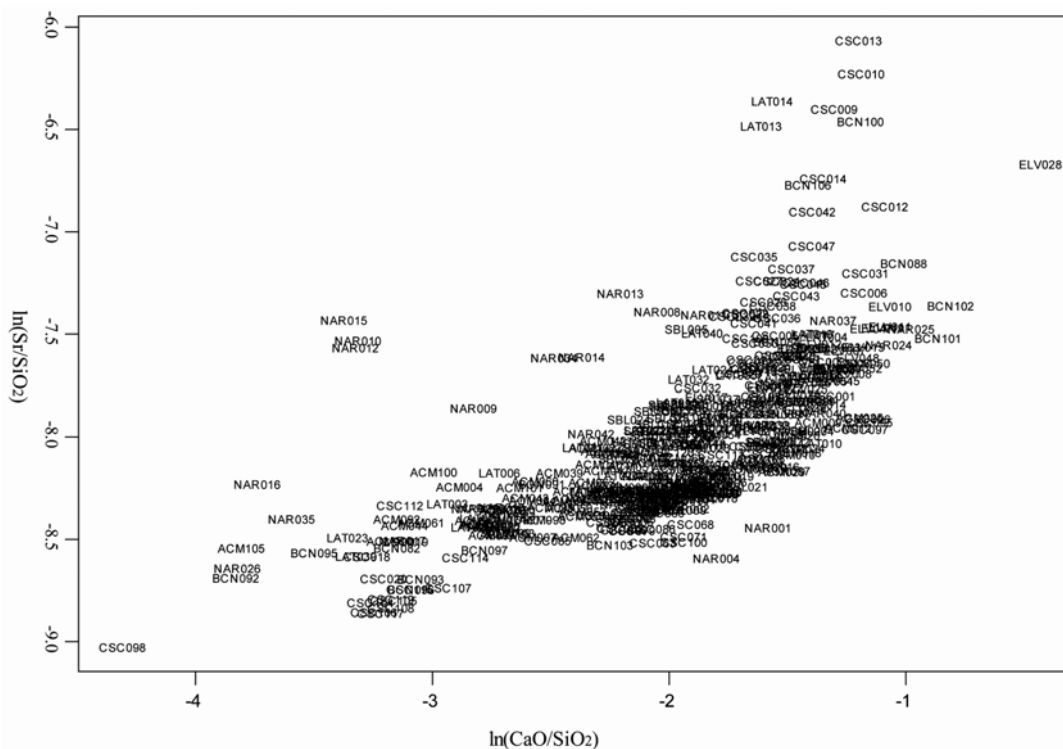


Figura 8.3. Gràfic bivariant dels 404 individus amforals, amb els valors $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ a l'eix d'ordenades

coccio a alta temperatura i amb el procés de recristal·lització de la calcita secundària, que pot implicar un enriquiment parcial de Ca^{2+} al·lòcton (Heimann i Maggeti, 1981; Buxeda, 1999a; Buxeda i Cau, 1995). La disposició que presenten els individus ceràmics en el gràfic bivariant de la Figura 8.4 mostra una correlació positiva, indicant que els individus que presenten un alt valor en Sr tenen al mateix temps un alt valor en CaO i viceversa. Aquesta correlació pot ser explicada per la relació químic-geològica que presenten aquests dos elements, en tractar-se ambdós de metalls alcalinoterris del grup IIA. A més, es pot observar com la majoria d'individus altament calcaris procedeixen del mercat de Sta. Caterina mentre que, al mateix temps, un dels grups menys calcaris està format també per individus procedents del mercat. Tanmateix, altres àmfors de Can Pau Ferrer (ACM), Narbona (NAR), Barcelona (BCN) i Lattes (LAT) configuren el grup de les àmfors poc calcàries.

Les diferències de les concentracions relatives de Na_2O en alguns individus poden ser degudes, amb molta probabilitat, a processos secundaris d'alteració, com ja s'ha vist en estudis anteriors (Martínez *et al.*, 2005, 2006, 2007; Vila *et al.*, en premsa). Aquestes alteracions vindrien originades per la cristal·lització de l'analcima ($\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), una zeolita sòdica que apareix com a fase secundària en àmfors



Aquest primer tractament estadístic, considerant els 404 individus analitzats i 21 concentracions elementals, apunta a l'existència d'una forta variabilitat introduïda per la cristallització de fases minerals secundàries durant l'enterrament, associades a diferents graus de contaminació i alteració composicional. Tanmateix, deixant de banda les possibles alteracions, que seran tractades de forma individual en el següent capítol, s'observa una marcada diferència tecnològica entre algunes produccions. Si bé predominen els materials calcaris, una part de les àmfores analitzades procedents de Can Pau Ferrer i del mercat de Sta. Caterina han estat fabricades amb pastes poc calcàries. Igualment, una gran part de les àmfores procedents dels centres receptors de *Barcino*, *Narbo Martius* i *Lattara* presenten concentracions en CaO molt baixes. Tanmateix, molts d'aquests individus no s'associen ni a les produccions poc calcàries del mercat de Sta. Caterina ni de Can Pau Ferrer, testimoniant una provinença desconeguda i conferint una alta variabilitat al conjunt de dades. Finalment, tot i que les produccions dels diferents tallers ceràmics semblen agrupar-se, de forma més o menys homogènia, els sediments argilosos no s'associen amb les produccions amforals de les àrees on han estat mostrejats aquests sediments. Ni l'argila de Ca l'Arnau, ni els tres tipus d'argila del mercat de Sta. Caterina, ni els sediments de les diferents parts del forn circular del taller del carrer Princesa presenten cap similitud amb els contenidors manufacturats en els respectius centres. L'explicació d'aquestes diferències podria trobar-se en la selecció, al llarg de la producció d'aquests centres, de matèries primeres diferents o determinats processos tecnològics. Aquests comportarien diferents mètodes de processat de la pasta, amb la consegüent depuració i decantació, l'afegiment de desgreixadors particulars, etc., que implicarien diferències en la composició química a més de diferències en les característiques físiques i en les propietats mecàniques dels contenidors manufacturats. A partir de la metodologia de l'anàlisi arqueomètrica realitzada en aquest treball, només es poden establir aquestes hipòtesis però no podem arribar a determinar quins han estat els mecanismes que fan tan diferents els sediments argilosos mostrejats a Ca l'Arnau, al mercat de Santa Caterina i a l'estructura del forn circular del carrer Princesa, de les àmfores analitzades a cada centre. Aquestes diferències, no obstant, poden deure's a altres factors que haurien de ser analitzats de manera individual mitjançant una sèrie d'experiments a partir de les possibles matèries primeres utilitzades en aquests centres i adoptant processos tecnològics de manufactura diversos, que depassen els objectius d'aquest treball.

Per tal d'evitar els problemes de variabilitat composicional que comporten els elements químics susceptibles de presentar concentracions relatives alterades així com els individus que introdueixen més variabilitat, s'ha repetit el tractament estadístic sense tenir en compte el Na₂O, K₂O, Ba, Rb i Sr ni les 9 mostres d'argila de Ca l'Arnau (ACM105), Santa Caterina (CSC095, 096, 097) i del forn del carrer Princesa (CSC098, 099, 100, 101 i 102).

Per als 394 individus i les 16 concentracions relatives transformades considerades, la matriu de variació composicional (Taula 8.4) mostra una variació total (vt) de 0.93702, la qual tot i ser més reduïda que a la Taula 8.3, pot considerar-se encara relativament alta i típica d'una població poligènica (Buxeda i Kilikoglou, 2003). A més, continuen sent els valors relatius transformats de CaO ($\tau_{\text{CaO}} = 5.5929$) i MgO ($\tau_{\text{MgO}} = 4.9513$) els que més variabilitat introdueixen al conjunt de dades, si bé el Ce ($\tau_{\text{Ce}} = 1.7989$), el Ni ($\tau_{\text{Ni}} = 2.1858$) i el Cr ($\tau_{\text{Cr}} = 2.0566$) també hi contribueixen en gran mesura. En canvi, ara és el Nb el que presenta menys variabilitat ($\tau_{\text{Nb}} = 1.0412$) i serà l'element utilitzat com a divisor en la transformació de les concentracions en logaritmes de raons.

La distribució dels 394 individus ceràmics sobre la subcomposició transformada Fe₂O₃ (com a Fe total), Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, SiO₂, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, es pot observar en el dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats (Figura 8.6), emprant l'algoritme aglomeratiu del centroide i la distància euclidiana al quadrat, utilitzant el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). Sense tenir en compte els individus que presenten més variabilitat ni les concentracions relatives dels elements susceptibles d'estar alterats, la distribució dels individus d'acord als centres de producció és ara més clara. En aquest sentit, es tornen a repetir les agrupacions corresponents a les produccions de Ca l'Arnau (ACM) i Can Pau Ferrer (CPF) a Cabrera de Mar, del taller del Barri Antic (SBL) a St. Boi de Llobregat i del carrer Princesa (PRINC) a Barcelona. Ara, però, a més dels individus CSC085 i ELV028, que continuen sense classificar-se amb cap agrupació, cal afegir als individus no classificats les àmfores ACM001 de Ca l'Arnau i ACM104 de Can Pau Ferrer. Tanmateix, s'observen canvis en la distribució dels individus del Vilarenc (ELV) i del mercat de Sta. Caterina (CSC), en relació als grups definits en el dendrograma de la Figura 8.2. En quant a les àmfores del Vilarenc, ara s'associen totes en una sola agrupació (ELV) evidenciant que les concentracions que discriminaven dos grups anteriorment eren

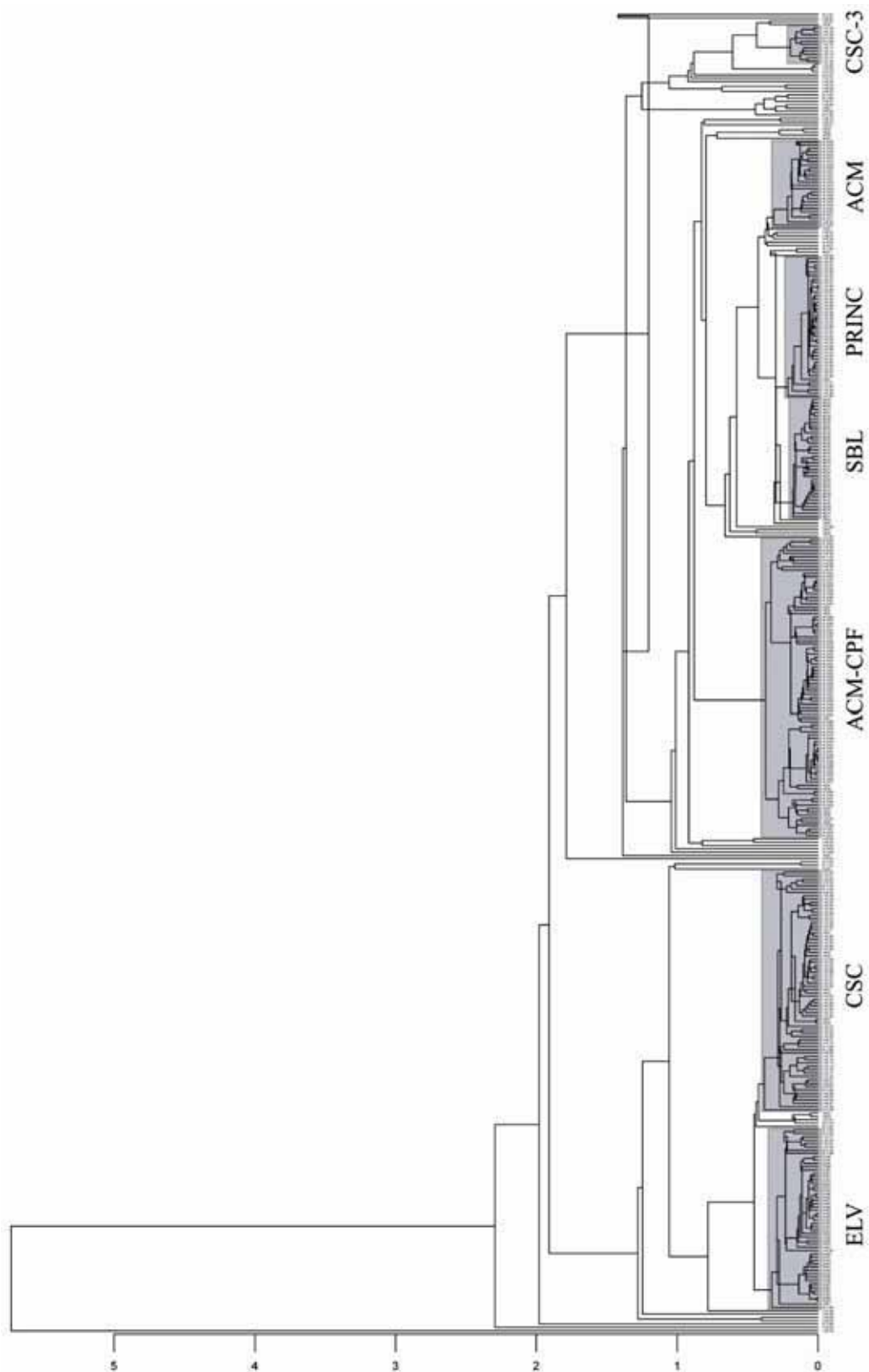


Figura 8.6. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 394 individus emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide sobre la subcomposició transformada en logaritmes de raons, utilitzant el Nb com a divisor: Fe₂O₃ (com a Fe total), Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, SiO₂, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr. Indicació dels grup: ACM-CPF i ACM (Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer); PRINC (Princesa); SBL (Barri Antic); ELV (El Vilarenc) i CSC (Sta. Caterina)

principalment els valors de Na_2O i K_2O . Tanmateix, en l'agrupació ELV del dendrograma de la Figura 8.6 els individus procedents del Vilarenc es divideixen en dos subconjunts, diferenciats bàsicament pels valors en CaO, si bé un tercer conjunt més heterogeni, format per àmfores de Sta. Caterina i Barcelona ve a associar-se als individus del Vilarenc. Finalment, els individus procedents del mercat de Sta. Caterina que formaven anteriorment diverses agrupacions (Figura 8.2) es distribueixen ara en dos conjunts (CSC) caracteritzats per una gran variabilitat interna. El grup CSC majoritari arreplega tres dels anteriors conjunts, els quals es discriminaven a partir, sobretot, de les concentracions relatives en Na_2O , K_2O i Sr. Però un cop no s'han tingut en compte aquestes concentracions possiblement alterades, els individus de Santa Caterina resten diferenciats en les dues agrupacions pels valors relatius en CaO, sent les àmfores del grup majoritari calcàries i les del segon poc calcàries (Figura 8.6). A més, el grup CSC situat a la dreta del dendrograma es diferencia de la resta d'individus analitzats pels seus alts valors relatius en V i Cr. Com ja s'ha apuntat, alguns dels individus procedents del mercat de Sta. Caterina s'associen al grup del Vilarenc (ELV) mentre que d'altres formen petites agrupacions de 3 o 4 individus, associats en alguns casos a àmfores de centres receptors. En canvi, alguns individus del mercat resten aïllats en l'estructura del dendrograma, mostrant una distància ultramètrica força gran en relació als altres individus analitzats. Aquest seria el cas de les àmfores CSC006, CSC029, CSC049 i CSC114. A més d'aquests individus, una gran part de les àmfores procedents dels centres receptors de *Barcino*, *Narbo Martius* i *Lattara* resten també sense agrupar-se a cap de les produccions dels centres productors.

Com a resum d'aquesta primera visió general, en quant a les concentracions químiques dels 394 individus analitzats, destaca la gran variabilitat que presenten les àmfores vinàries produïdes a la costa catalana. Aquesta variabilitat està relacionada amb les característiques pròpies de la pasta grollera que caracteritza aquests envasos.

A partir de les dades composicionals dels 394 individus ceràmics estudiats, obtingudes mitjançant l'anàlisi química, podem apuntar cap a una certa evolució en quant a la tecnologia de fabricació dels contenidors vinaris.

El primer pas de la cadena operacional, l'aprovisionament de les matèries primeres utilitzades en la fabricació de les àmfores a cada centre productor, ha estat abordat, des del punt de vista arqueomètric, amb l'anàlisi química de mostres d'argiles procedents de Ca l'Arnau, del carrer Princesa i del mercat de Sta. Caterina. Tanmateix, la comparació de les composicions d'aquests sediments amb les composicions de les

àmfores procedents dels mateixos centres no ha permès associar-los, degut a les diferències composicionals que els caracteritzen. En tots tres casos, els sediments han estat extrets de l'àrea de les restes arqueològiques, que pot no ser la mateixa que el jaciment argilós que permetia, als ceramistes, l'aprovisionament de l'argila. A més, les diverses activitats portades a terme durant el procés tecnològic de fabricació, a partir de la matèria argilosa seleccionada, contribuiran igualment a l'aportació de variabilitat entre l'argila i el producte manufacturat. Primer, el sediments pot ser rentat i decantat fins al punt necessari de plasticitat per permetre el seu treball. Tanmateix, altres materials poden ser afegits com a desgreixadors, de tipus mineral i/o vegetal, per donar-li a la pasta les propietats necessàries per modelar l'àmfora i obtenir un envàs resistent. Finalment, les condicions d'ús i les característiques del medi d'enterrament poden arribar a alterar la composició de les àmfores, incrementant encara més la variabilitat respecte als materials originals. D'aquesta manera, la relació entre les argiles locals i els productes manufacturats no té perquè ser unívoca, ja que molts factors poden contribuir a crear certa variabilitat composicional.

L'anàlisi química permet, però, caracteritzar les pastes ceràmiques i, en aquest sentit, determinar la composició elemental dels diferents individus analitzats. Els resultats són sorprenents en el que respecta alguns centres de producció, que presenten una producció força homogènia, com el taller del carrer Princesa (Barcelona), el del Barri Antic (Sant Boi de Llobregat) i el del Vilarenc (Calafell). Els altres, amb produccions més heterogènies, ens porten a pensar, ara per ara, amb l'aprovisionament de matèries primeres diferents i/o tecnologies de fabricació diferents al llarg de la seva activitat ceràmica.

Com s'ha apuntat al Capítol 3.3.1., la principal característica de la pasta argilosa és el contingut en CaO, ja que les característiques i les propietats d'una argila calcària són molt diferents a les d'una argila poc calcària. Tots els centres productors analitzats han fabricat àmfores amb pasta calcària. Només les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer i una minoria d'àmfores Dressel 1 citerior i Tarraconense 1 de Ca l'Arnau (Cabrera de Mar) han estat fabricades amb pastes poc calcàries, així com alguns individus procedents dels abocadors ceràmics del mercat de Sta. Caterina. En canvi, moltes de les àmfores procedents dels centres receptors analitzats, *Barcino*, *Narbo Martius* i *Lattara*, són de pasta poc calcària, i coexisteixen en els mateixos nivells que els materials calcaris. Aquesta diversitat es pot observar en situar els individus en el diagrama ternari del triangle ceràmic CaO-Al₂O₃-SiO₂ (Figura 8.7). Els individus més

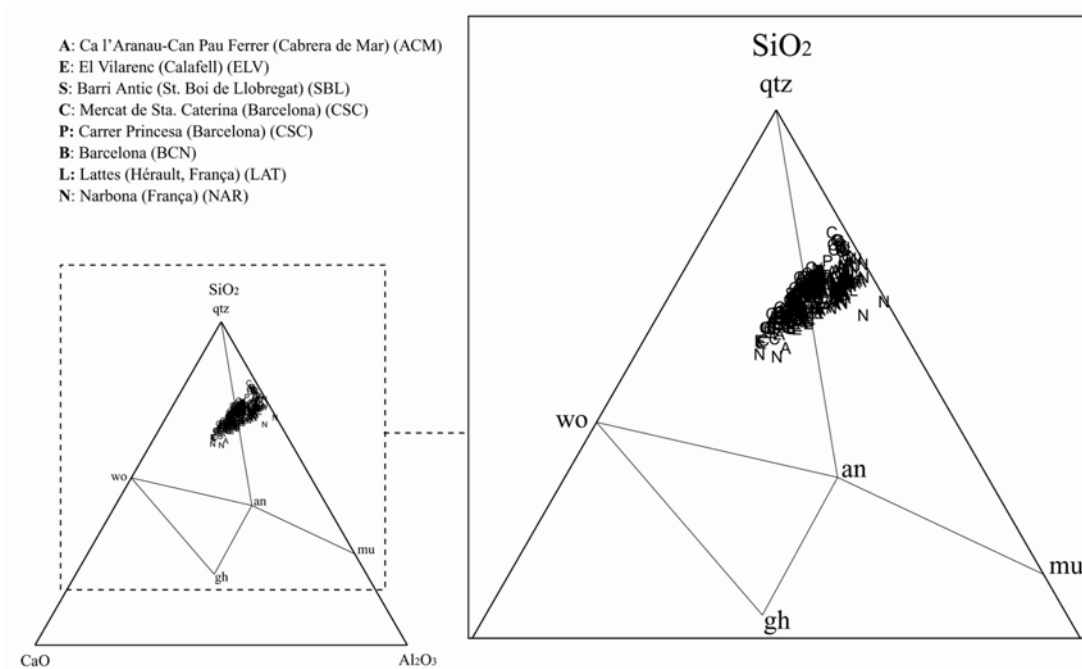


Figura 8.7. Diagrama ternari del sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ amb l'emplaçament dels 394 individus analitzats. an = anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); mu = mul·lita ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$); gh = gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_2$); wo = wol·lastonita (CaSiO_3); qtz: quars (SiO_2)

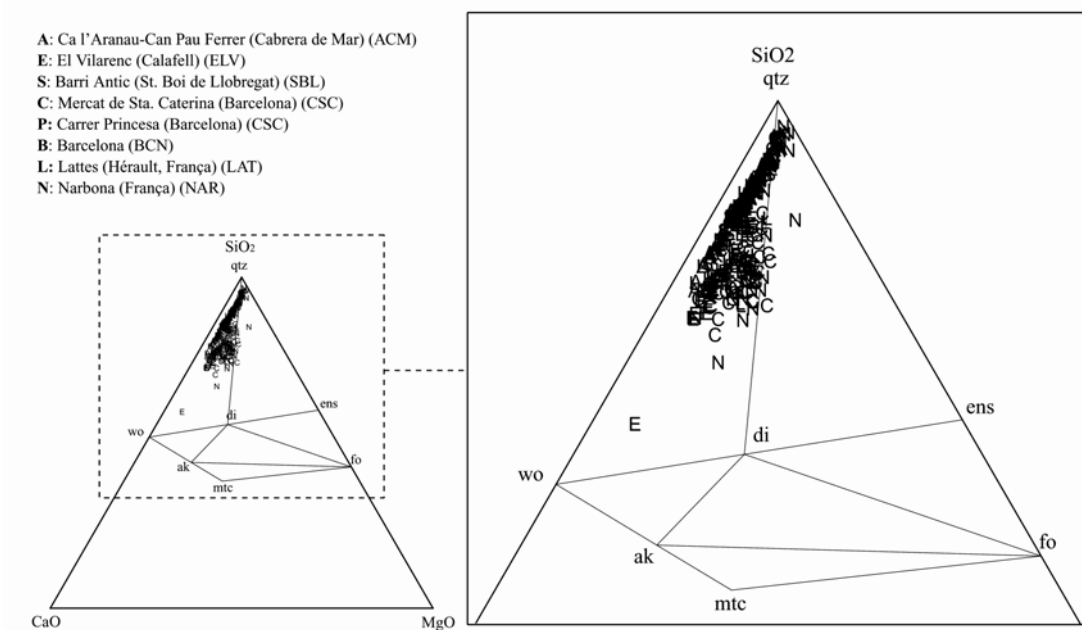


Figura 8.8. Diagrama ternari del sistema CaO-MgO-SiO_2 amb l'emplaçament dels 394 individus analitzats. wo = wol·lastonita (CaSiO_3); di = diòpsid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$); qtz: quars (SiO_2); ens = enstatita (MgSiO_3); fo = forsterita (Mg_2SiO_4); ak = akermanita ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$); mtc = monticel·lita (CaMgSiO_4)

calcaris resten emplaçats en el triangle d'equilibri termodinàmic quars-wol·lastonita-anortita, mentre que els individus menys calcaris o poc calcaris s'agrupen dins el triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mullita (Heimann, 1989).

Les diferències en quant al contingut en MgO s'observen millor si emplacem els 394 individus ceràmics en el diagrama ternari del sistema CaO-MgO-SiO₂ (Heimann, 1989). La major part d'àmfores analitzades resten emplaçades dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-wol·lastonita-diòpsid (Figura 8.8). Els individus que es distribueixen formant la part ampla són més calcaris i presenten concentracions relatives en MgO més elevades. La majoria d'aquests individus corresponen als materials mostrejats al mercat de Sta. Caterina. Tanmateix, algunes de les àmfores del grup calcari, procedents del Vilarenc (E), Narbona (N) i Sta. Caterina (C) es distancien pels seus alts valors en CaO i MgO. En canvi, una minoria dels individus poc calcaris s'emplaceen al vèrtex del triangle d'equilibri termodinàmic quars-diòpsid-enstatita. Alguns d'aquests individus procedents de Narbona presenten composicions força diferents a la resta d'individus.

8.3. La producció amforal

8.3.1. Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer

A partir de la definició, al Capítol 7.1.3, de les hipòtesis de partida en les que es basa l'estudi arqueomètric sobre la producció amforal del centre de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer, els 100 individus amforals mostrejats han estat caracteritzats químicament mitjançant la Fluorescència de Raigs X seguint el protocol descrit al Capítol 4.1.3.

8.3.1.1. La caracterització química

Les concentracions elementals considerades en l'anàlisi estadística dels 100 individus amforals corresponen a Fe_2O_3 (com a Fe total), Al_2O_3 , MnO, TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr. La matriu de variació composicional ens dona la variació total (vt), que quantifica la variabilitat existent entre les dades químiques (Aitchison, 1986; Buxeda, 1999a). La Taula 8.5 mostra un valor de la vt de 0.48311, que deu ser considerada elevada i lligada, segurament, al poligenisme dels conjunts ceràmics de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer (Buxeda i Kilikoglou, 2003) (Figura 8.9). La gran variabilitat existent entre les àmfores procedents d'aquests tallers de la vall de Cabrera de Mar ja ha estat constatada en altres estudis anteriors (Buxeda i Gurt, 1998; Martínez *et al.*, 2005). Per tal d'evitar els

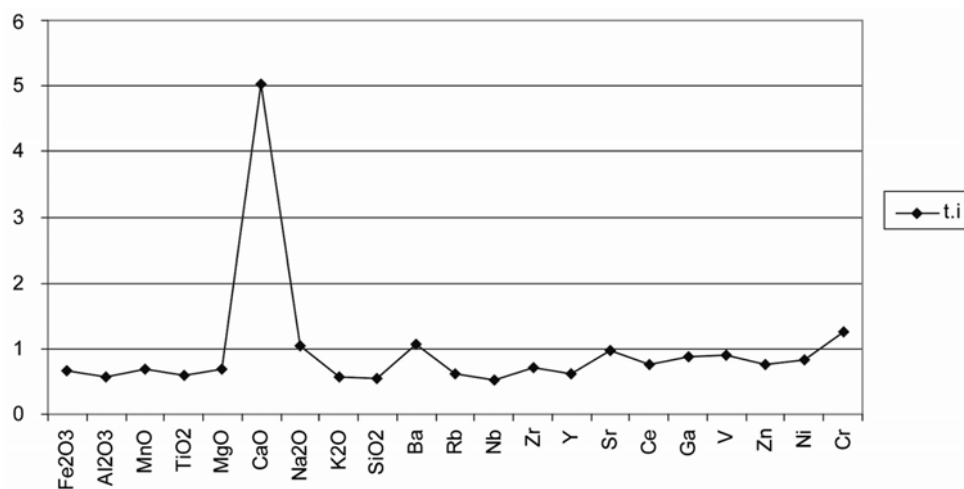


Figura 8.9. Gràfic representant la variabilitat dels 21 elements químics considerats per als 100 individus amforals procedents de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer (Cabrera de Mar), a partir dels valors τ_i de la Taula 8.5

problemes que comporten les dades composicionals (Capítol 5), els valors dels 21 elements químics considerats per als 100 individus amforals analitzats han estat transformats en logaritmes de raons (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a).

La primera observació a fer sobre la Taula 8.5 és el paper que juga la composició relativa del CaO ($\tau_{CaO} = 5.033$) en la variabilitat total. Tanmateix, les concentracions relatives de Cr ($\tau_{Cr} = 1.253$), Na₂O ($\tau_{Na_2O} = 1.045$), Ba ($\tau_{Ba} = 1.056$) i Sr ($\tau_{Sr} = 0.979$) contribueixen en gran mesura a l'elevada variabilitat.

La variabilitat que presenta el CaO pot correspondre a la diferència del caràcter calcari de la pasta argilosa utilitzada en les diverses produccions. Tanmateix, podria estar relacionada amb el procés de recristal·lització de la calcita secundària, que implica un enriquiment parcial de Ca²⁺ al·lòcton (Heimann i Maggeti, 1981; Picon, 1985; Buxeda, 1999a; Buxeda i Cau, 1995). L'alta variabilitat que s'observa en les concentracions relatives de Ba i Sr podria estar relacionada amb la utilització d'unes argiles amb unes concentracions en Ba i Sr força variants. En aquest sentit, és interessant observar la correlació positiva que presenten aquests individus tenint en compte les concentracions relatives en CaO i Sr (Figura 8.10) i que pot deure's a que aquests elements apareixen força relacionats des del punt de vista geo-químic, ja que

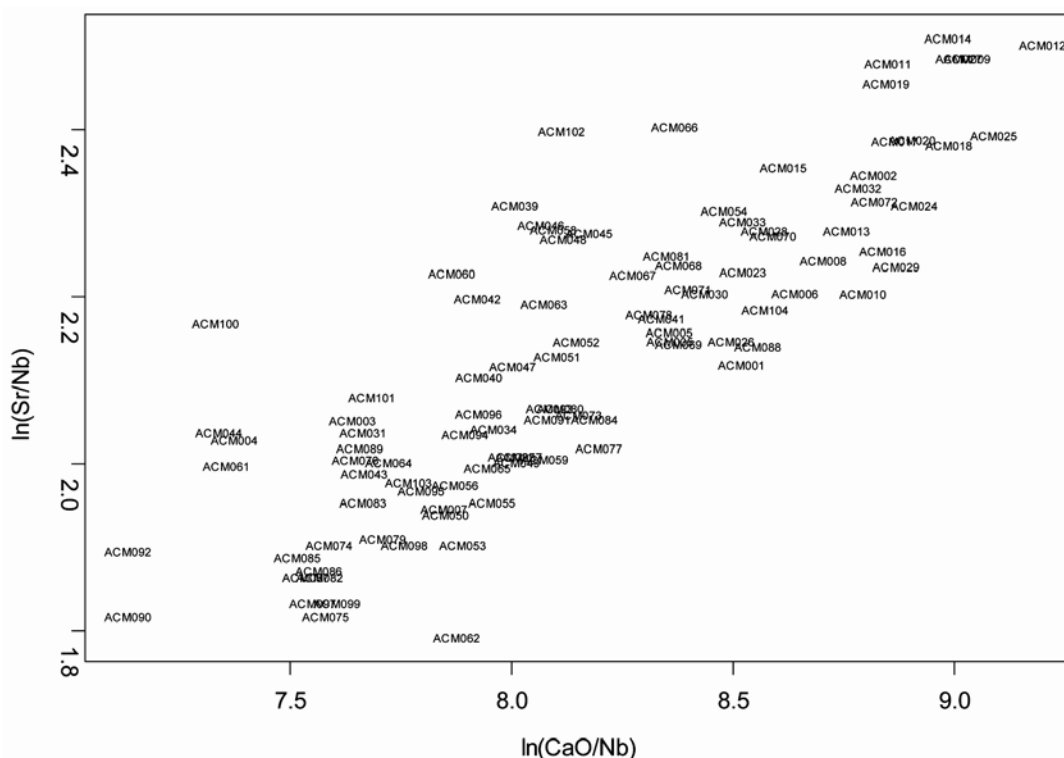


Figura 8.10. Gràfic bivariant dels 100 individus de ca l'Arnau i Can Pau Ferrer, amb els valors ln(CaO/Nb) a l'eix d'abscisses i ln(Sr/Nb) a l'eix d'ordenades

pertanyen al grup IIA, corresponent als metalls alcalinotérreos.

Per tal d'aconseguir una visió més neta de la variabilitat química que caracteritza les àmfores procedents de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer, s'ha repetit la matriu de variació composicional, però sense tenir en compte ni el CaO, ni el Ba ni el Sr. Aquesta mostra ara una variació total (vt) de 0.1927, disminuint de forma significativa i indicant, doncs, l'alta contribució del CaO, Ba i Sr a la variabilitat total (Buxeda i Kilikoglou, 2003). Els elements que més variabilitat proporcionen són el Na₂O ($\tau_{\text{Na}_2\text{O}} = 0.6167$), el Cr ($\tau_{\text{Cr}} = 0.9516$). Contràriament, l'Al₂O₃ és l'element que ofereix menys de variabilitat, tot i que continua sent alta ($\tau_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 0.2282$).

Per tal de conèixer la distribució dels individus amforals i determinar les possibles agrupacions segons la semblança composicional, així com els individus que no presenten una composició química similar a la resta, s'ha portat a terme una anàlisi de components principals (ACP). Aquest ha estat realitzat a partir de la combinació lineal de la subcomposició Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Rb, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr transformada en logaritmes de raons utilitzant l'Al₂O₃ com a divisor i emprant la matriu de variàncies-covariàncies, sense rotació dels eixos, amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). El gràfic bivariant de la Figura 8.11 mostra els dos components principals que, tot i que només expliquen, conjuntament, el 53% de la variació, es pot observar com aquests individus ceràmics apareixen de manera dispersa, però que podem dividir en tres grans agrupacions. D'una banda, la majoria d'individus de Can Pau Ferrer resten agrupats, tot i que s'insinua una divisió en dos subgrups (Figura 8.11). Els individus de Ca l'Arnau presenten una composició més heterogènia i apareixen dispersos en el gràfic. Tanmateix, tot i que només s'identifiquen petites agrupacions, s'observa com els individus del primer (Ca l'Arnau 1) i del segon mostreig (Ca l'Arnau 2) apareixen separats degut a les concentracions relatives de Cr, Ni i Zr. Donat que aquests elements són traça i apareixen a la natura de forma estable geològicament i químicament, aquestes diferències podrien indicar la utilització, als centres productors de la vall de Cabrera de Mar, d'argiles de composició diferent. Així, les àmfores de l'abocador de Can Pau Ferrer han estat fabricades amb una argila, que anomenarem A, mentre que a Ca l'Arnau sembla com si les primeres produccions amforals (tipus Dressel 1 citerior i Tarraconense 1) que formen part del segon mostreig es caracteritzin per estar fabricades amb un tipus d'argila diferent, que hem anomenat B. La gran dispersió que mostren les àmfores del segon mostreig pot deure's, segurament, a canvis introduïts pels ceramistes en la pasta argilosa comuna B durant els processos de

fabricació. Finalment, els individus procedents del primer mostreig i que corresponen, majoritàriament, als darrers tipus produïts, les àmfors Pascual 1, es caracteritzen per presentar unes concentracions relatives de Cr, Ga i Ni superior a la resta d'individus. Com a confirmació de l'existència d'aquests tres agrupacions bàsiques, hem realitzat una anàlisi discriminant quadràtica sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr. Aquests valors han estat transformats en logaritmes de raons centrats, dividint les concentracions de cada individu per la mitjana geomètrica de les seves concentracions (Aitchison, 1986). Tanmateix, no hem tingut en compte els components transformats de CaO , Ba i Sr per evitar la seva gran influència en la discriminació. L'anàlisi discriminant quadràtica ha estat realitzada amb la rutina 7M del programa BMDP (Dixon, 1993). Aquest, a partir de l'anàlisi de la variància i la covariància pas a pas, identifica les variables més aptes per a formar les funcions discriminants. Així, podem conèixer les

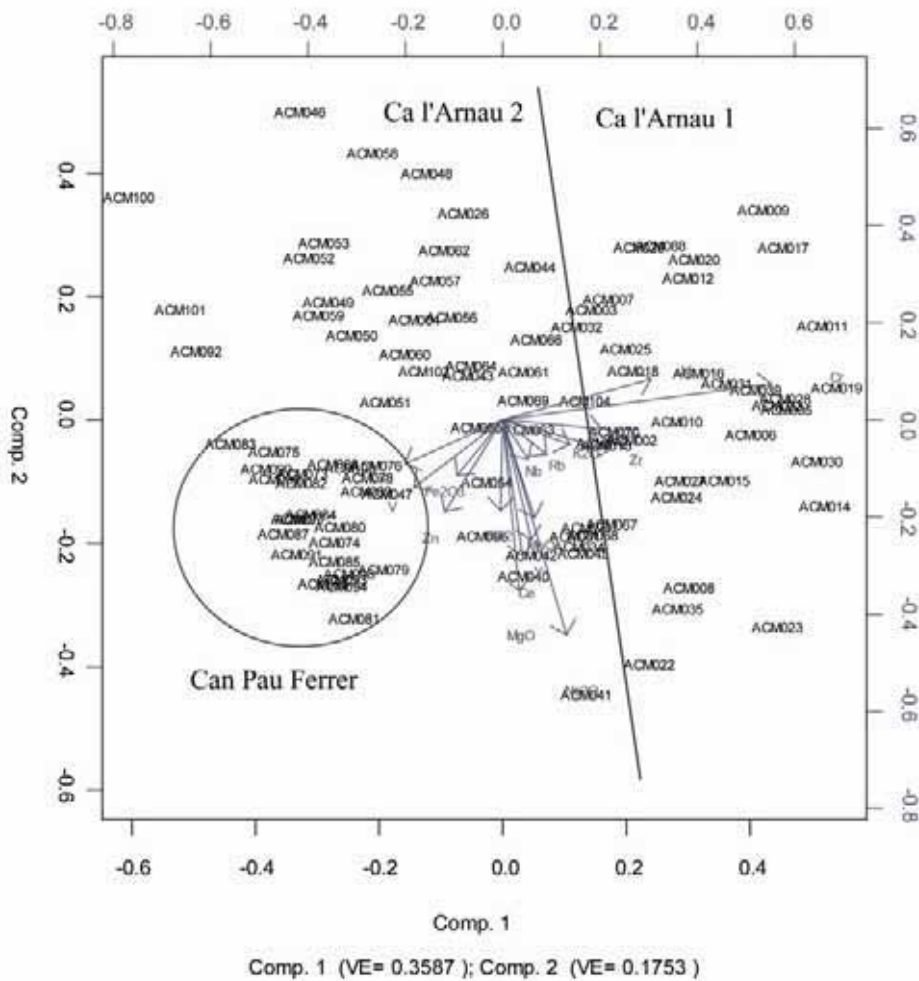


Figura 8.11. Gràfic bivariant de la primera i la segona component principal obtingudes de l'ACP, amb indicació dels individus de Can Pau Ferrer i Ca l'Arnau

variables que diferencien els grups químics descrits que, en aquest cas, són els valors transformats Al_2O_3 , MnO , MgO , Rb , Zr , Ce , Ga , Ni i Cr . A continuació, l'anàlisi de la correlació canònica realitzat sobre les variables transformades més discriminants ens permetrà definir dues variables canòniques amb una proporció total acumulada de la dispersió del 100%. Els gràfic bivariant amb els eixos definits per aquestes dues variables canòniques (Figura 8.12), mostra clarament la discriminació entre els individus del primer mostreig de Ca l'Arnau (Ca l'Arnau I: ACM001 a ACM035) i del segon (Ca l'Arnau II: ACM039 a ACM072) i els procedents de Can Pau Ferrer (ACM073 a AMC104). L'agrupació dels individus analitzats en aquests tres grans conjunts evidencia la utilització de tres tipus d'argiles diferents segons els valors transformats Al_2O_3 , MnO , MgO , Rb , Zr , Ce , Ga , Ni et Cr . Per diferenciar les argiles, la matèria primera utilitzada en la producció de les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer serà la A, mentre que l'argila utilitzada en les primeres produccions de Ca

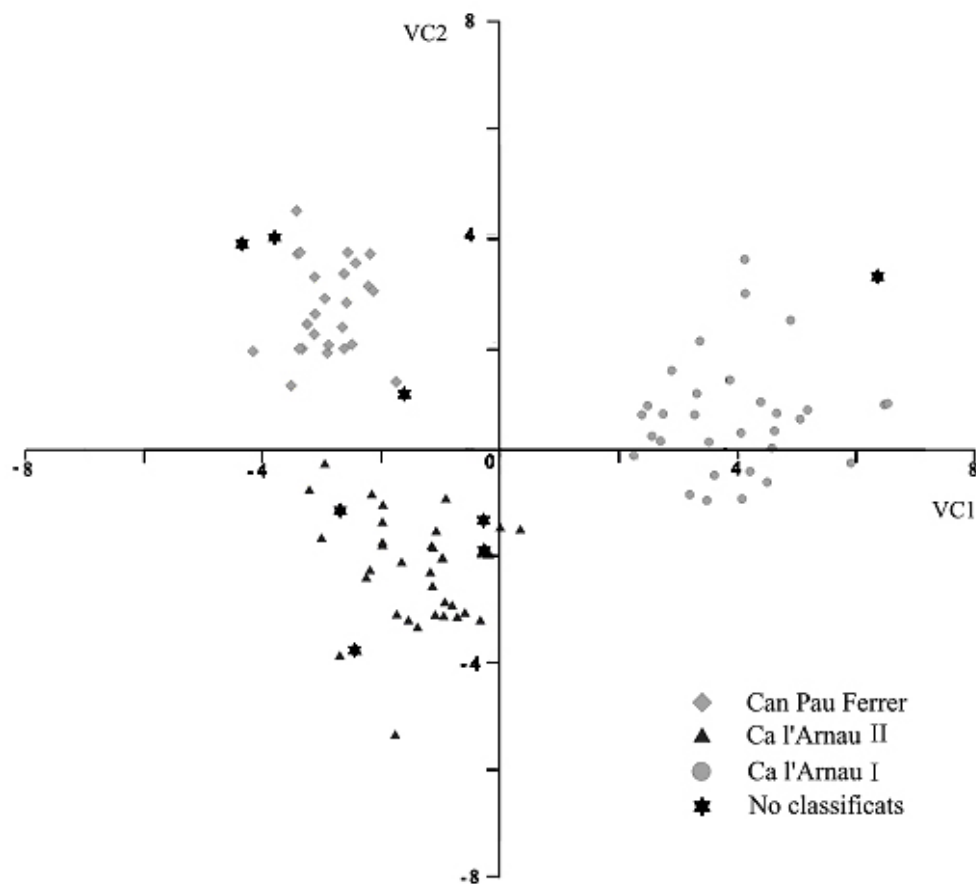


Figura 8.12. Gràfic bivariant amb la primera variable canònica (VC1) (proporció de la dispersió: 71.95%) sobre l'eix d'abscisses i la segona variable canònica (VC2) sobre l'eix d'ordenades (proporció de la dispersió 28.05%)

l'Arnau (Dressel 1 citerior i Tarraconense), que corresponen majoritàriament al segon mostreig serà l'argila B. Finalment, les àmfors procedents del primer mostreig, corresponent majoritàriament a les darreres produccions amforals (individus informes i àmfors Pascual 1) formen conjuntament el grup de l'argila C.

Per tal de conèixer quins individus formen part exactament d'aquestes agrupacions, com es distribueixen els individus a dins de cada agrupació i quins són els individus que resten inclassificables, la Figura 8.13 mostra el dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament realitzada amb el programa S-Plus (MathSoft, 1999). Per tal de calcular la distància que separa els diferents individus s'ha utilitzat la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant el Nb com a divisor en la transformació de logaritmes de raons. El dendrograma resultant mostra la semblança dels individus amforals, en un procés jeràrquic d'aglomeració a partir de la unió, a cada etapa, d'un individu amb un altre o amb un grup, o la unió entre diferents grups, fins a obtenir, a l'estadi final, un sol grup format per tots els individus analitzats. Com més gran sigui la diferència en la composició química entre individus, més gran serà la distància que els separa. El dendrograma de la Figura 8.13 mostra variacions químiques existents dins els tres grups d'argila identificats, A, B i C.

A partir dels resultats de l'anàlisi química, podem diferenciar, en una mateixa àrea geològica la utilització de pastes diferents en la fabricació ceràmica. Per això pensem que a la vall de Cabrera de Mar degueren existir diversos centres ceràmics que començarien la seva producció amb les imitacions itàliques del tipus Dressel 1 citerior. Tanmateix, és possible l'existència, a l'interior d'aquests centres ceràmics, de diversos ceramistes que podrien haver participat de la producció dels diferents tipus amforals mitjançant l'aprovisionament de matèries primeres lleugerament diferents i processos tecnològics diversos.

Les restes arqueològiques relacionades amb aquesta producció que es coneixen a l'actualitat són l'abocador de Can Pau Ferrer i el taller ceràmic de Ca l'Arnau. En quant al primer, l'anàlisi química de les àmfors Dressel 1 citerior procedents de l'abocador de Can Pau Ferrer es divideixen en dos grups químics. D'una banda, un grup químic poc calcari, A1, que agrupa 14 individus (ACM074, 075, 076, 079, 082, 083, 085, 086, 087, 089, 097, 098, 099 i 103). D'altra banda, un grup mitjanament calcari, A2, format per 8 individus (ACM073, 077, 080, 084, 091, 093, 094 i 095). A més del

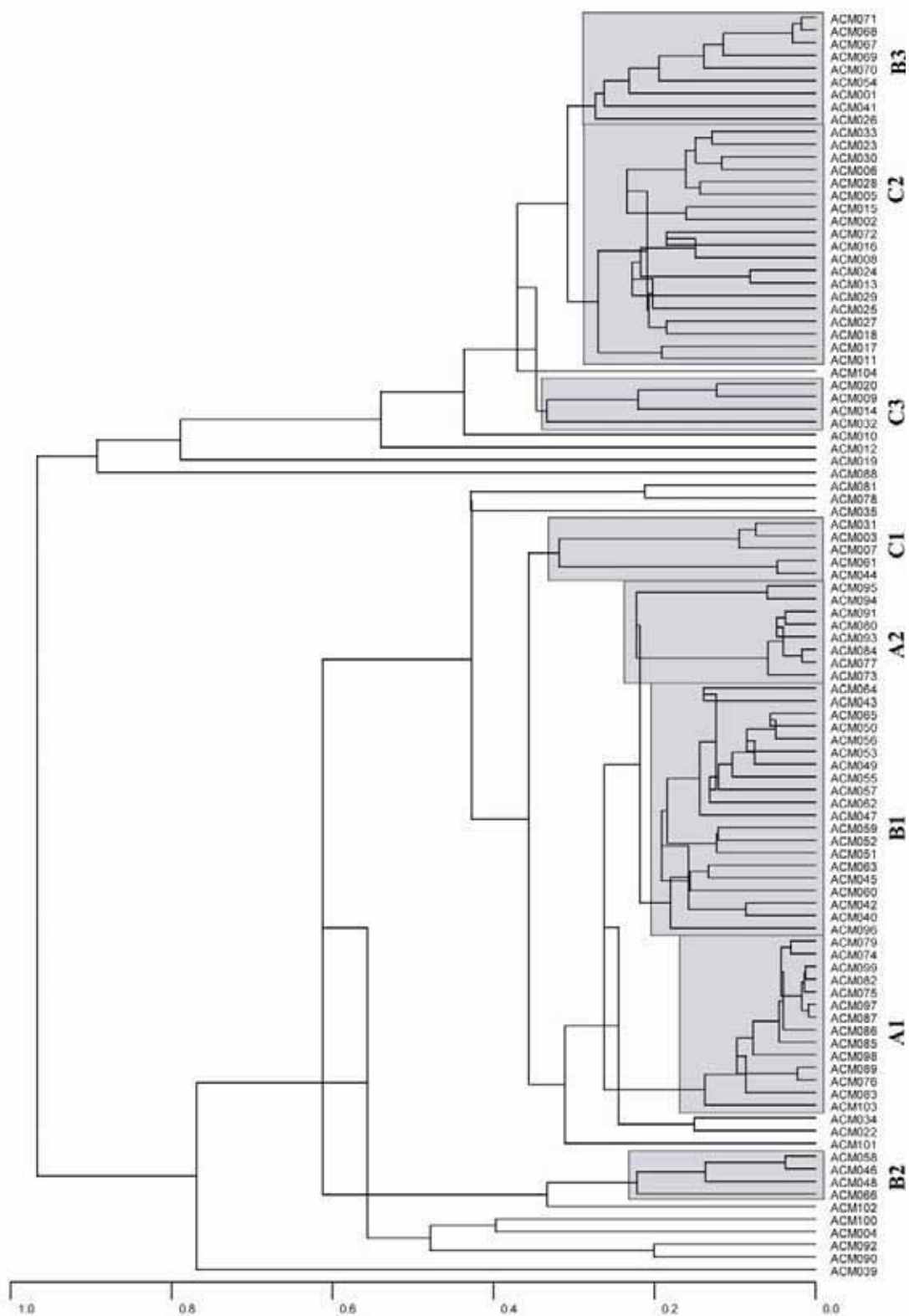


Figura 8.13. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 100 individus de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer, amb indicació del grup poc calcari (A1) i mitjanament calcari (A2) de Can Pau Ferrer; el grup calcari (B1) i mitjanament calcari (B2) d'àmfores Dressel 1 citerior i Tarraconense 1 de Ca l'Arnau; el grup de les àmfores Tarraconense 1E poc calcàries (C1) i els grups d'àmfores Pascual 1 calcàries (C2 i C3) de Ca l'Arnau

caràcter calcari o poc calcari dels individus, altres concentracions, com el Ba i Sr contribueixen a diferenciar ambdós grups. Cal remarcar a més, que un total de 9 àmfors mostrejades als abocadors de Can Pau Ferrer no s'associen a cap grup químic (Figura 8.14) i resten aïllades (ACM078, 081, 088, 090, 092, 100, 101, 102 i 104).

Les àmfors Dressel 1 citerior recuperades als abocadors del taller de Ca l'Arnau estan fabricades amb una pasta, la composició de la qual és diferent a la identificada en les àmfors del mateix tipus recuperades a Can Pau Ferrer. Tanmateix, les àmfors Dressel 1 citerior de Ca l'Arnau presenten una argila molt similar a les àmfors Tarraconenses i algunes Pascual 1 del mateix centre. L'argila base utilitzada, tipus B, ha estat, tanmateix, processada de diverses maneres, donant com a resultat tres tipus de pasta ceràmica diferent. Aquests individus es poden classificar, doncs, en tres grups químics. El grup B1 està format per 4 àmfors poc calcàries o quasi-calcàries (ACM040, 042, 043, 045), 1 individu d'àmfora Tarraconense 1C (ACM065), 2 individus d'àmfora Tarraconense 1E (ACM060 i 063), 12 individus d'àmfora Tarraconense 1D (ACM047, 049, 050, 051, 052, 053, 055, 056, 057, 059, 062 i 064) i un fragment de pivot de Can Pau Ferrer, corresponent suposadament a una àmfora Dressel 1 citerior (ACM096). En segon lloc, dos fragments d'àmfora Tarraconense 1D (ACM046 i 048) i un fragment de possible Tarraconense 1E o Pascual 1 (ACM068) conformen el grup de les àmfors calcàries (B2). Finalment, el grup químic B3 està format majoritàriament per àmfors Pascual 1 del segon mostreig (ACM067, 068, 069, 070, 071 i 072), tot i que s'inclou una procedent del primer mostreig (ACM001), així com una àmfora Dressel 1 citerior (ACM044) i un individu informe (ACM026).

Tres grups químics es discriminen entre els individus fabricats amb el tipus d'argila C. El primer, C1, està representat majoritàriament per 4 individus que presenten una vora d'àmfora Tarraconense 1E molt pròxima a l'àmfora Pascual 1 (ACM003, 007, 031 i 061), tant del primer com del segon mostreig a Ca l'Arnau, així com un individu d'àmfora Dressel 1 citerior (ACM044). El grup químic C2 es compon de 19 individus d'àmfora del primer mostreig, tots informes excepte 4 vores d'àmfora Pascual 1 (ACM002, 005, 006, 008). Finalment, 3 individus informes (ACM014, 020 i 032) i una vora d'àmfora Pascual 1 (ACM009) formen el grup químic C3. De les àmfors mostrejades a Ca l'Arnau, 8 àmfors resten sense associar-se a cap grup químic identificat (Figura 8.14), corresponents a una àmfora greco-itàlica (ACM039), una àmfora Tarraconense 1D (ACM004) i 7 individus informes (ACM010, 012, 019, 022, 034 i 035).

Les diferències químiques de cada grup són esquematitzades a la Taula 8.6, que representa la mitjana aritmètica i la desviació estàndard a la mitjana dels individus que formen part de cada grup químic identificat. Aquests valors són els valors de les dades normalitzades al 100%, sense considerar la pèrdua al foc (PAF). Com podem observar, els elements que més variabilitat aporten i que són els causants de diferenciar els grups químics dins cada tipus d'argila són el CaO, Ba i Sr. La implicació d'aquestes concentracions en la variabilitat total dels individus de Cabrera de Mar serà tractada a continuació. Tanmateix, a partir dels resultats, la diversitat de tipus d'argila pot respondre a la presència de més d'un centre productor a la vall de Cabrera de Mar, no documentats arqueològicament fins el moment, o a la utilització, en el mateix centre, de matèries primeres diferents al llarg de l'evolució de l'activitat artesanal. D'aquesta manera, durant la fabricació de les àmfores Dressel 1 citerior, diversos centres podrien utilitzar els mateixos abocadors, i els grups A1 i A2 de Can pau Ferrer podrien ser un testimoni. Tanmateix, aquests dos grups poden respondre a la producció del mateix centre que decideix, en un moment donat, canviar la seva producció i modelar unes pastes més calcàries o a la inversa.

En el cas de Ca l'Arnau, la seva producció també sembla caracteritzar-se per l'aprovisionament de matèries primeres diferents al llarg de la seva producció. Així, les Dressel 1 citerior poc calcàries, fabricades cap el segon quart del s. I aC, presenten la mateixa pasta que el tipus Tarraconense 1, que es fabrica entorn els anys 40 aC. Tanmateix, el tipus Tarraconense presenta una gran diversitat de formes que semblen caracteritzar-se, a més, per pastes ceràmiques diferents. Mentre que una primera variant, la Tarraconense 1D, és majoritàriament poc calcària, altres individus d'aquesta variant s'associen a formes de la variant Tarraconense 1E, de pasta calcària. Però a més

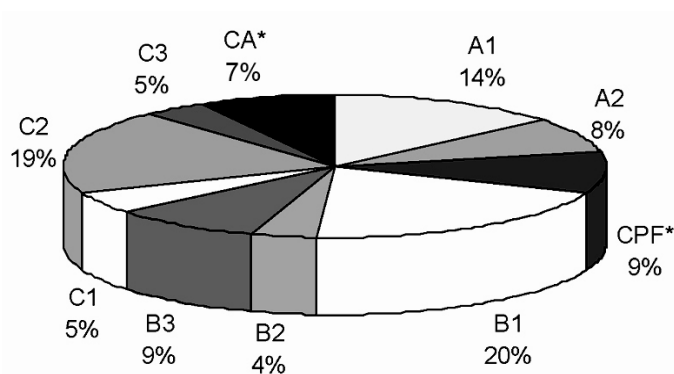


Figura 8.14. Percentatge dels individus amforals que conformen cada grup químic, així com els individus de Can Pau Ferrer (CPF*) i Ca l'Arnau (CA*) no classificats

d'aquestes diferències composicionals, venen a sumar-se els individus d'àmfora Tarraconense 1E del grup C1. Tanmateix, aquestes àmfores presenten una pasta força similar a les àmfores Pascual 1, clarament calcàries (C2 i C3).

Aquests resultats ens permeten traçar una línia evolutiva de la innovació afegida en el procés de fabricació dels diferents tipus així com dels canvis tecnològics experimentats en les produccions amforals de la vall de Cabrera de Mar. Així, mentre que els primers tipus amforals produïts semblen estar fabricats amb pastes poc calcàries (A1 i C1) o mitjanament calcàries (A2 i B1), com les àmfores Dressel 1 citerior i Tarraconense 1, els darrers tipus produïts, les àmfores Tarraconense 1E i Pascual 1 són clarament calcàries (B2, B3, C2 i C3).

8.3.1.2. La caracterització petrogràfica

8.3.1.2.1. Can Pau Ferrer

Per a la caracterització petrogràfica de les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer s'han seleccionat tres individus: ACM097 i AMC099 del grup químic A1 i ACM080 del grup químic A2. La temperatura de cocció equivalent (TCE) estimada per aquests individus, a partir de la DRX, que serà exposada en el Capítol 8.3.1.3., es situa entorn els 950-1000°C per als dos individus del grup químic A1 i de 800/850-900°C per a l'individu ACM080. Les observacions i anàlisi per làmina prima mitjançant el microscopi òptic polaritzant permeten confirmar l'existència de dues produccions, que tot i que comparteixen el mateix tipus de components lítics, es poden diferenciar des del punt de vista químic i petrogràfic a partir de la presència o no de fragments metamòrfics i per la quantitat de nòduls calcaris presents a la matriu ceràmica. D'aquesta manera, s'han identificat dues fàbriques petrogràfiques, FP-ACM-A1 i FP-ACM-A2.

D'una banda, els individus ACM097 i ACM099 es classifiquen en la FP-ACM-A1. Es caracteritzen per mostrar una matriu de color marró vermellós, òpticament força inactiva (Làmina 8.1). La porositat es desenvolupa bàsicament a la part central de la matriu, formada per espais oberts generalment de forma allargada que segueixen la mateixa orientació que les parets de l'àmfora (de 50 a 400 µm). Les inclusions presents a la pasta ceràmica segueixen una distribució en espaiat simple o doble. La fracció grollera (superior a 100 µm) més abundant correspon a fragments de roques ígnies,

bàsicament granodiorites de tipus biotítico-hornblèndica, de forma sub-angular a sub-arrodonida (Làmina. 8.2, a, b, c). El component principal d'aquestes roques són els cristalls de quars, que apareixen associats a cristalls de plagiòclasi, sovint maclada, zonada o alterada a sericita, i feldspat potàssic, sovint caolinitzat (1500-200 μm). Abunden els fragments de quars mono i policristal·lí i plagiòclases despresos dels fragments ignis. De manera esporàdica, es troben alguns fragments de roca metamòrfica, de tipus pissarra o esquist, de forma allargada i sub-arrodonida i de mides al voltant dels 500-1000 μm (Làmina 8.2, c). Aquestes partícules es componen de petits cristalls de quars monocristal·lí, oferint extinció ondulant, envoltats per cristalls de biotita. També de manera esporàdica apareixen fragments de roca sedimentària, compostes de petits fragments de quars, plagiòclasi i filosilicats cimentats amb carbonat. D'aquestes roques semblen derivar els fragments calcaris que es troben a la pasta en forma de calcita micrítica, que assoleixen mides entre 300 i 700 μm . Làmines de filosilicats apareixen també de forma aïllada en la matriu, en forma de petits cristalls allargats de biotita i moscovita. La biotita present és de granulometria fina (40-100 μm), mitjana (200-500 μm) i grollera (600-1600 μm) (Làmina 8.2, a, b, c). En la fracció fina (menor a 100 μm) predominen els cristalls de quars i plagiòclasi, juntament amb abundants làmines de biotita i moscovites. Com a minerals accessoris es troben hornblendes de forma allargada i tonalitat marró-groguenca (300 μm) (Làmina 8.2, b). Finalment, l'individu ACM099 mostra clarament la barreja de diferents tipus d'argiles (Làmina 8.2, d).

D'altra banda, l'individu ACM080 presenta una composició petrogràfica similar a la fàbrica anterior, si bé cap inclusió metamòrfica ha estat localitzada, i són més freqüents les concentracions de calcita micrítica. Per aquest motiu, ha estat classificat en la FP-ACM-A2. La matriu és de color marró-vermellós, òpticament inactiva (Làmina 8.1). La porositat és poc comuna, de forma sub-arrodonida i no mostra una orientació preferencial. La granulometria és major en aquest individu que en els de la FP-ACM-A1. Les inclusions grolleres (superior a 100 μm) presenten una forma predominantment sub-angular a sub-arrodonida i es distribueixen de manera uniforme en la pasta ceràmica. La fracció grollera es compon essencialment de roques ígnies de tipus granodiorita biotítico-hornblèndica i de minerals despresos d'aquestes partícules. La majoria de fragments ignis són de forma sub-arrodonida i es componen majoritàriament de quars, microclina i sobretot plagiòclasi, que en alguns casos apareix zonada, alterada o presenta cristallitzacions vermiformes de quars (Làmina 8.2, e). Les mides d'aquestes partícules varien entre 700 i 1700 μm . Entre els fragments despresos, els més abundants

són els cristalls de quars mono i policristal·lí, de forma sub-angular a sub-arrodonida (100-700 µm), que apareixen ben distribuïts en la matriu ceràmica, juntament amb fragments de plagiòclasi, de forma subangular i mides al voltant de 100 µm o en casos esporàdics de 1000 µm. Acompanyant aquesta fracció grollera apareixen, de forma menys comuna, alguns amfíbols de tipus hornblenda, de forma quadrangular i subarrodonida i tonalitat vermella a marró fosc en extinció (100-700 µm) (Làmina 8.2, e). També són presents, de manera accessòria, fragments allargats i quadrangulars d'epidota (400-750 µm), mineral accessori en algunes roques ígnies (Làmina 8.2, f). En XP, presenta una alta birefringència, mostrant els colors superiors del segon i tercer ordre, bàsicament tonalitats blaves, verdes i grogues. En PP, la tonalitat és groguenca i no mostra extinció. Les concentracions de calcita són freqüents en la matriu ceràmica, de tendència circular (entre 100-1000 µm). D'altra banda, apareixen fragments de roca sedimentària, de forma semicircular a oblonga (2000x3000 µm), composta bàsicament per petits cristalls de quars, feldspats i filosilicats cimentats per una matriu calcària (Làmina 8.2, g, h). Els nòduls de calcita micrítica dispersos en la matriu ceràmica semblen procedir d'aquestes roques sedimentàries. Però en alguns casos, aquests nòduls es troben fortament descompostos, per l'efecte de la coccio i, en d'altres casos, la descomposició total ha donat lloc a l'aparició de porositat. Alguns d'aquests espais buits apareixen envoltats per petits cristalls de calcita secundària (Làmina 8.2, f). Finalment, entre la micromassa s'identifiquen filosilicats de tipus moscovita, de forma allargada (100-400 µm). La fracció fina (inferior 100 µm) es caracteritza per ser força abundant, mostrant un espaiat doble. Es compon bàsicament de fragments de quars i plagiòclasi de forma quadrangular, sub-arrodonida (20-100 µm). Acompanyant aquestes petites partícules apareixen concentracions de calcita micrítica, hornblendes i moscovites.

8.3.1.2.2. Ca l'Arnau

Un total d'onze individus procedents de Ca l'Arnau, representatius de la majoria de grups químics identificats al Capítol 8.3.1.1 o corresponents a individus sense classificar, han estat analitzats per làmina prima. Així, les àmfores Dressel 1 citerior ACM040 i Tarraconense 1E ACM063 corresponen al grup químic B1. Les àmfores Pascual 1 ACM001 i ACM071 formen part del grup químic B3. L'àmfora Tarraconense 1C ACM003 i l'individu ACM031 representen el grup químic C1, mentre que

l'individu ACM020 forma part del grup químic C3. Altres tres individus, l'àmfora greco-itàlica ACM039, Tarraconense 1D ACM004 i l'individu ACM012 no s'associen a cap de les agrupacions identificades químicament. A partir de la composició petrogràfica, aquests onze individus han estat classificats en tres fàbriques petrogràfiques. Tot i que la composició lítica predominant en aquestes àmfors són els fragments de roques ígnies de tipus granitoide, com ja veiem a Can Pau Ferrer, alguns individus presenten com a materials accessoris fragments de roca sedimentària. A partir d'aquestes diferències, s'han identificat tres fàbriques petrogràfiques. A l'interior d'aquestes fàbriques es pot observar, en alguns individus, la presència d'algunes característiques texturals singulars o l'absència d'alguns dels constituents característics d'aquestes produccions, bàsicament filosilicats, possiblement degut a les transformacions originades per la temperatura de cocció en la matriu ceràmica.

La FP-ACM-1 acull els individus poc o mitjanament calcaris ACM004, 039, 040, 061 i 063, corresponents als grups químics B1, C1 o sense classificar. La seva composició predominant són les roques ígnies de tipus granitoide, però existeixen diferències entre aquests individus segons la mida, freqüència i distribució de la fracció grollera, amb l'estat òptic de la matriu, amb la major o menor presència de filosilicats i amb la presència o absència d'amfíbols i altres minerals accessoris. Aquestes diferències poden estar relacionades amb els processos tecnològics relacionats amb diferents estratègies d'aprovisionament de les matèries primeres i amb diferents mètodes de preparació de la pasta ceràmica i amb les temperatures de cocció a que han estat sotmeses aquestes àmfors. L'absència d'alguns minerals accessoris pot deure's a la poca representativitat de l'individu, ja que només es disposa d'un fragment en làmina prima per a la seva caracterització petrogràfica. Així, la fracció grollera és molt poc abundant a l'individu ACM004 i presenta una distribució poc homogènia (Làmina 8.3, a), ja que les grans inclusions apareixen agrupades, deixant alguns espais desprovistos de fracció grollera. Tanmateix, tant les inclusions com la porositat presenten una orientació preferencial seguint les parets de l'àmfora (Làmina 8.3, b). En canvi, l'individu ACM063 presenta un desgriador abundant i de gran mida, d'espaiat normalment simple i orientació preferencial resseguint les parets de l'àmfora (Làmina 8.3, c). La resta d'individus, es troben en un terme mitjà, compostos per una fracció fina i grollera però menys abundant que a l'individu ACM063. La matriu de tots els individus és de tonalitat vermella, més o menys intensa, poc calcària i poc porosa, òpticament poc inactiva (Làmina 8.1). Tanmateix, les àmfors Tarraconense 1D

ACM004, Tarraconense 1E ACM063 i l'àmfora greco-itàlica ACM039 presenten una matriu més activa que la resta d'individus, indicant segurament que la seva TCE és inferior.

A pesar d'aquestes diferències, la composició petrogràfica grollera correspon, en tots els individus, a fragments de roques ígnies, bàsicament granodiorites biotítico-hornblèndiques de forma allargada o sub-arrodonida (400-1600 µm). Els constituents principals d'aquestes roques són grans fragments de quars mono i policristal·lí, associats a feldspats potàssics, plagiòclasi, hornblenda, moscovita i biotita. Cristalls d'aquests minerals, despresos de les roques ígnies, constitueixen també la fracció grollera de la ceràmica (Làmina 8.3). Les partícules predominants són làmines de biotita, que assoleixen grans mides en algunes ocasions (fins 1100 µm), de tonalitat vermella-amarronada i cristalls laminars de mica moscovita (Làmina 8.3, a, b, c, d). També s'observen cristalls d'epidota (Làmina 8.3, b, c, d, e, f, h), com a les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer, i òxids de ferro. Les hornblendes són igualment força abundants (200-800 µm) (Làmina 8.3, c, d, g, h). Acompanyant els fragments ignis apareixen, en una freqüència rara, alguns fragments de roques sedimentàries de forma arrodonida, formades bàsicament per fragments de quars i filosilicats en una matriu calcària (Làmina 8.3, g). Les fines làmines de moscovita són força comunes, distribuïdes de forma homogènia en la matriu ceràmica, mostrant colors d'interferències de segon ordre (100-350 µm). La fracció fina ve formada per petits cristalls corresponents a aquestes roques, bàsicament quarsos, botides, moscovites i plagiòclasi.

Els individus ACM001 i ACM071, que representen el grup químic de pasta calcària B3, i l'individu ACM020, també calcari (grup químic C3), formen la fàbrica FP-ACM-2. A diferència de la fàbrica anterior, aquestes àmfores presenten els mateixos components lítics, però menys amfibols i cap epidota. A més, els filosilicats són menys comuns i les concentracions de calcita són més freqüents, així com els pors deixats per la seva descomposició. La matriu és de color marró, òpticament inactiva (Làmina 8.1). La fracció grollera (superior a 100 µm) està representada per roques ígnies de tipus granitoide, compostes bàsicament per fragments de quars i feldspat potàssic, sovint alterat (Làmina 8.4, a, b, c, d). Predominen els fragments de forma sub-arrodonida de mides entorn 700-1700 µm. També s'observen fragments de roques microgranítiques (Làmina 8.4, c). Les partícules més abundants són els cristalls de quars policristal·lí, feldspat potàssic (Làmina 8.4, a, d), i, en menor mesura, plagiòclasi zonada i alterada procedents de roques plutòniques, que es distribueixen de forma homogènia i espaiat

simple o doble en la matriu ceràmica (Làmina 8.4, a, c). De manera accessòria es documenta un fragment d'ortopiroxè (Làmina 8.4, b) i òxids de ferro. Les concentracions de calcita micrítica (100-200 µm) es distribueixen en la matriu i s'observen processos de calcitització secundària, amb una incipient implantació d'aquests cristalls dins la porositat. La fracció fina es compon fonamentalment de petits cristalls de quars (20-100 µm), de nòduls de calcita i làmines petites de moscovita.

La fàbrica petrogràfica FP-ACM-3 agrupa als individus poc calcaris del grup químic C1, l'àmfora Tarraconense 1E ACM003 i l'individu ACM031. La matriu d'aquestes àmfores és de color marró vermellós, òpticament poc activa (Làmina 8.1). Les partícules grolleres són més abundants que en els individus de les fàbriques anteriors. A més, les inclusions segueixen una orientació preferencial seguint la direcció de les parets de l'àmfora, i es troben majorment concentrades a la vora de les parets (Làmina 8.5). La porositat és distribueix entre les inclusions en forma de petits porcs allargats, que segueixen igualment una orientació preferent, com les inclusions. Les partícules grolleres predominants són les roques ígnies, bàsicament granodiorites de tipus biotítico-hornblèndiques. De forma sub-angular a sub-arrodonides, aquestes fragments presenten fortes alteracions dels seus components, sobretot dels feldspats potàssics i plagiòclases (Làmina 8.5, a, b, c, d). Fragments despresos d'aquestes roques, bàsicament quars monocristal·lí, però també feldspat potàssic, plagiòclasi i hornblenda es distribueixen de forma homogènia en la matriu ceràmica (Làmina 8.5, c). Aquestes inclusions presenten mides al voltant de 100-1000 µm. Petits fragments d'amfibols de tipus hornblenda apareixen de manera accessòria. Tampoc es documenten epidotes. Els filosilicats de tipus biotita i moscovita són freqüents, però de mida més petita i tonalitat més fosca que a la fàbrica FP-ACM-1 (entre 100-300 µm). La fracció fina es compon bàsicament de petits fragments de quars de forma subangular a subarrodonida, que s'escampen de forma homogènia en la matriu ceràmica. Acompanyant aquests fragments de quars són comunes les petites làmines de biotites i moscovites, així com rars feldspats i plagiòclasi de petita mida i opacs (15-100 µm).

La fàbrica FP-ACM-4 ve representada per la làmina prima de l'individu calcari ACM012. La matriu és de color marró clar, òpticament activa (Làmina 8.1). Es caracteritza per la gran abundància de nòduls calcaris de forma circular, 100-300 µm de diàmetre, mostrant un alt grau de calcitització secundària creixent a l'interior de la porositat que la descomposició dels carbonats a partir dels 700-800 °C ha creat en la matriu (Làmina 8.6). El component litològic groller majoritari són els fragments de roca

ígnia de tipus granitoide, de forma quadrangular a allargada, sub-angular a sub-arrodonida, i dimensions al voltant de 1000 µm. Aquestes partícules es componen de fragments de quars mono i policristal·lí, feldspat potàssic i plagiòclasi, als que s'associen cristalls d'amfibols, biotita o moscovita. Els feldspats apareixen sovint alterats, especialment la plagiòclasi, maclada, zonada o alterada a sericita. En grau menor s'observen opacs, biotites i miques laminars d'unes mides entre 200-100 µm. La fracció fina ve representada pels nòduls calcaris, petits cristalls de quars monocristal·lí i filossilicats de petita mida (30-100 µm).

8.3.1.3. La caracterització tecnològica

A partir de l'anàlisi química ja hem vist que existeixen produccions poc calcàries i calcàries a la vall de Cabrera de Mar. Les pastes són poc calcàries quan presenten uns valors normalitzats inferiors a 5-6%, mentre que, contràriament, són calcàries quan les concentracions normalitzades depassen aquesta proporció. Existeixen diferències químiques en les argiles utilitzades que indica l'ús de diferents matèries primeres disponibles a l'àrea de producció. Tanmateix, el fet més característic és el canvi tecnològic que es produeix en el pas de les primeres produccions poc calcàries a les darreres produccions calcàries (Martínez *et al.*, 2005). Aquest canvi en l'elecció del tipus de matèria primera comportarà l'adopció de nous sistemes tecnològics (tipus d'atmosfera de cocció i post-cocció i la temperatura de cocció), amb els que s'obtindran uns envasos de característiques físiques (microestructura, textura, color, etc.) i propietats mecàniques (porositat, resistència mecànica a la fractura, tenacitat, etc.) particulars i diferents als materials poc calcaris (Heimann 1982, 1989; Heimann i Maggetti 1981; Maniatis *et al.* 1981).

Aquestes diferències tecnològiques es poden observar en situar els individus estudiats en el diagrama ternari del sistema CaO-Al₂O₃-SiO₂ (Figura 8.15). Així, veiem com totes les mostres calcàries (B2, C2 i C3) es troben dins el triangle de compatibilitat quars-wollastonita-anortita (Heimann, 1989; Maggetti, 1982), indicant les altes concentracions en calci de tots aquests individus. En canvi, els individus dels grups químics A1, A2, B1 i C1, on trobem les àmfors poc o quasi calcàries, es situen dins el triangle de compatibilitat quars-anortita-mullita.

A partir de l'estudi dels difractogrames resultants de l'anàlisi de DRX, hem estimat la temperatura de cocció equivalent (TCE) de cada individu amforal a partir de l'associació de les fases cristal·lines presents a cada mostra (Picon, 1973; Buxeda *et al.*, 1995). Per tal d'aproximar-nos a la TCE correcta i conèixer l'evolució de les diferents fases cristal·lines durant el procés de cocció, s'han realitzat experiments de recocció d'un nombre determinat d'individus, corresponents a cada grup químic, i que semblen cuits a baixa temperatura. La contrastació dels difractogrames corresponents als experiments de recocció amb els difractogrames dels 100 individus analitzats facilitarà l'estimació de la TCE. Sobre els individus utilitzats en els experiments de recocció s'han portat a terme anàlisi de fractura fresca mitjançant el Microscopi Electrònic de Rastreig. Les fractures fresques observades permeten determinar l'evolució de la microestructura ceràmica i de l'estadi de sinterització del mateix individu ceràmic cuit a diferents temperatures. Mitjançant la conjunció de totes aquestes dades, s'han pogut identificar 12 fàbriques diferents (Taula 8.7) segons les fases cristal·lines que resulten dels quatre grups químics identificats anteriorment (Figura 8.13 i Taula 8.6).

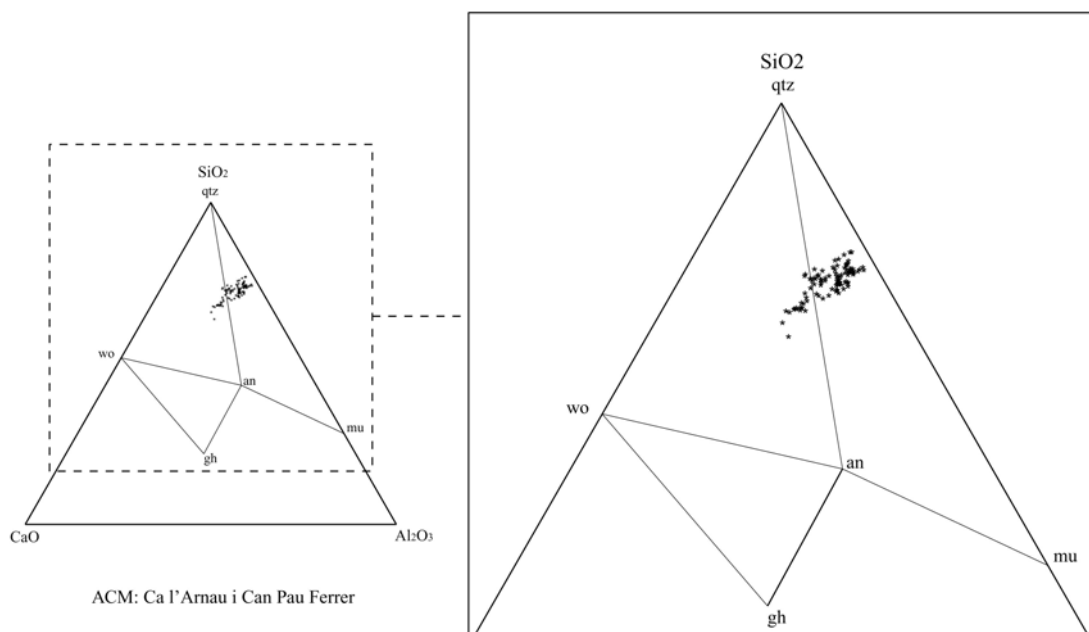


Figura 8.15. Diagrama ternari del sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ amb l'emplaçament dels 100 individus analitzats: an = anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); mu = mul·lita ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$); gh = gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_2$); wo = wol·lastonita (CaSiO_3); qtz: quars (SiO_2)

8.3.1.3.1. Can Pau Ferrer

Per tal d'observar com evoluciona la formació i desaparició de les fases cristal·lines presents a les fàbriques dels individus del grup químic A1 amb l'augment de la temperatura de cocció, s'han realitzat experiments de recocció sobre l'individu ACM086, corresponent a una àmfora Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer. La recocció de fragments pertanyent a aquest individu, utilitzant set rangs de temperatura diferents (800, 850, 900, 950, 1000, 1050 i 1100°C) i l'anàlisi mineralògica per DRX de les fàbriques resultants, ens permetrà contrastar les fases cristal·lines presents a cada rang de temperatura de l'individu ACM086 amb les fases cristal·lines observades als diferents individus del grup químic A1. D'aquesta manera, podrem estimar la TCE per a cada fàbrica mineralògica identificada.

L'evolució de les fases cristal·lines presents a cada un dels set rangs de temperatura a que s'ha recuit l'individu ACM086 s'esquematitza a la Figura 8.16. A 800°C, s'observen fases de cocció primària com el quars, il·lita, feldspats potàssics i plagiòclasi. L'hematites, sembla respondre a una fase primària, ja que s'observa des de l'inici. Fins als 950°C es mantenen les mateixes fases cristal·lines, si bé s'observa una clara disminució en la intensitat dels pics corresponents a les il·lites i als feldspats potàssics i l'increment progressiu de les fases de cocció, com la plagiòclasi i l'hematites.

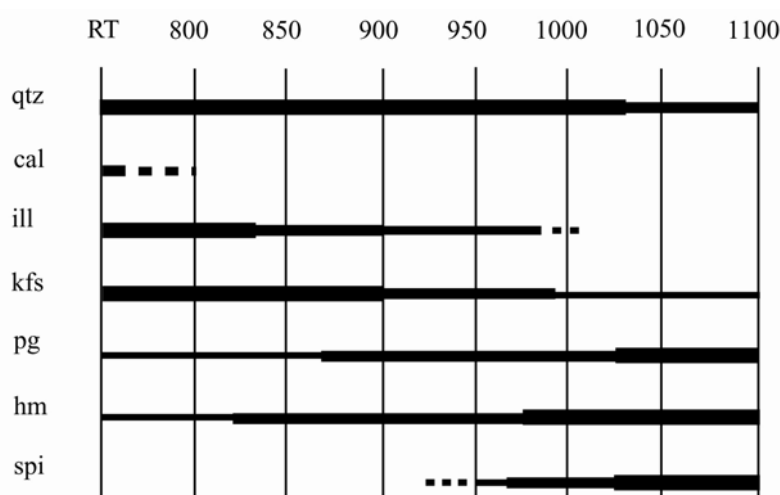


Figura 8.16. Evolució de les fases cristal·lines segons els experiments de recocció de l'individu ACM086, corresponent al grup químic A1 de Can Pau Ferrer. RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; spi: espinel·la

A més s'observa la incipient cristal·lització de l'espinel·la. A partir de 1000-1050°C, es desenvolupen grans canvis mineralògics a la pasta ceràmica produïts per l'elevada temperatura, que comporta la total desaparició de les il·lites, el descens d'intensitat del quars i del feldspat potàssic i el desenvolupament de la plagiòclasi, l'hematites i l'espinel·la. Aquestes darreres fases de cocció aniran intensificant-se amb l'increment de temperatura, assolint la major intensitat a 1100°C.

L'aspecte que presenta la matriu ceràmica a diferents rangs de temperatura ha estat analitzat mitjançant MER, que ens permet determinar les característiques de la microestructura i l'estadi de sinterització assolit. Han estat observades les fractures fresques de l'individu ACM086 en l'estat com es va rebre (ECER), recuit a 950°C i a 1100°C, per determinar com afecta la temperatura de cocció en l'estructura ceràmica de la matriu. L'individu ACM086-ECER mostra una microestructura amb una consistència considerable, presentant una vitrificació inicial que en alguns punts de la matriu és més intensa (Figura 8.17, superior) i en d'altres més lleugera. La porositat és tancada i de baixa freqüència, en forma d'espais oberts, normalment entre la matriu ceràmica i els constituents no plàstics, tot i que també s'observen petits pors circulars a l'interior de la matriu ceràmica. A 950°C, l'individu ACM086 ha desenvolupat un estat de vitrificació intensa i extensiva a tota la pasta ceràmica (Figura 8.17, central). La porositat és ara major i separa paquets d'argila vitrificada amples, sovint fusionats amb les inclusions no plàstiques. A 1100°C, la microestructura de l'individu ACM086 s'ha convertit en una massa vidriada densa, en la que tant la matriu com les inclusions es troben fusionades degut a l'estat de vitrificació total. La porositat desenvolupada no és gaire abundant i es presenta en forma de petits pors de forma oval (Figura 8.17, inferior). L'evolució que presenta l'hematites a mesura que augmenta la temperatura de cocció, sent cada cop més intensa, estaria relacionada amb els canvis de tonalitat dels fragments ceràmics recuits.

L'anàlisi dels difractogrames del grup químic A1, que representa els individus poc calcaris de Can Pau Ferrer, mostra una dispersió de temperatures de cocció formant 4 fàbriques diferents, compreses entre els individus cuits a baixa (fàbrica A1-A) i alta temperatura (fàbrica A1-D). Els individus de la fàbrica A1-A presenten pics de quars, així com els pics més desenvolupats dels filosilicats del grup de la il·lita-moscovita (Taula 8.7). Altres fases cristal·lines presents són feldspat potàssic, plagiòclasi, calcita i pics ben desenvolupats d'hematites (Figura 8.18, superior). Aquestes fases ens porten a estimar una TCE entre 800/850-950°C per l'absència en aquests individus de la fase de

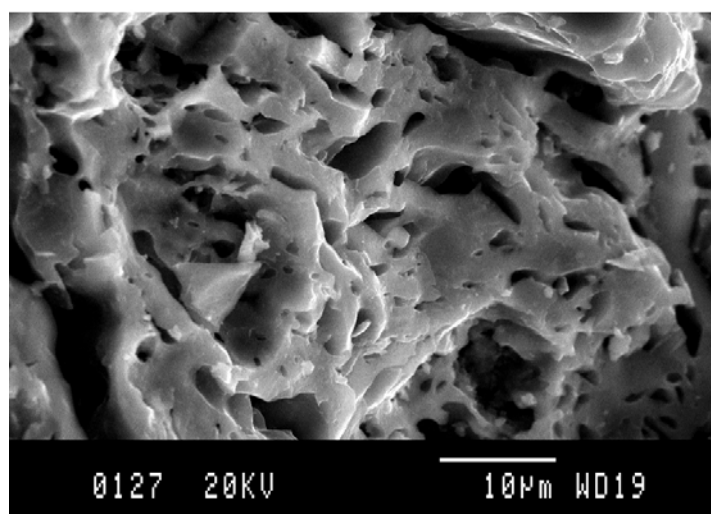
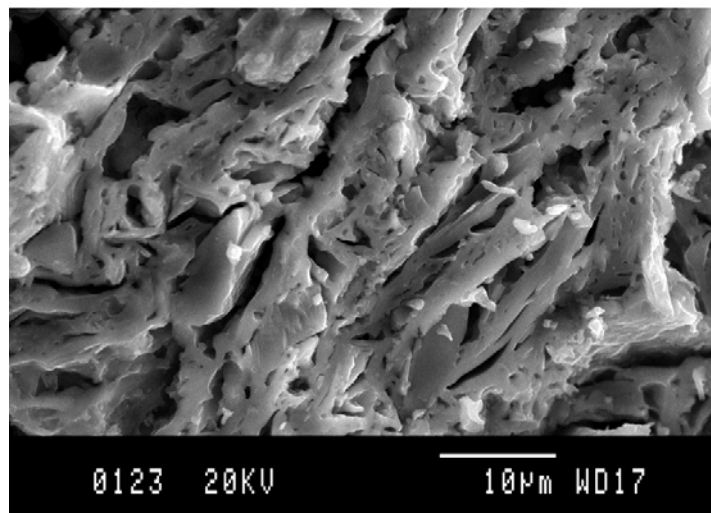
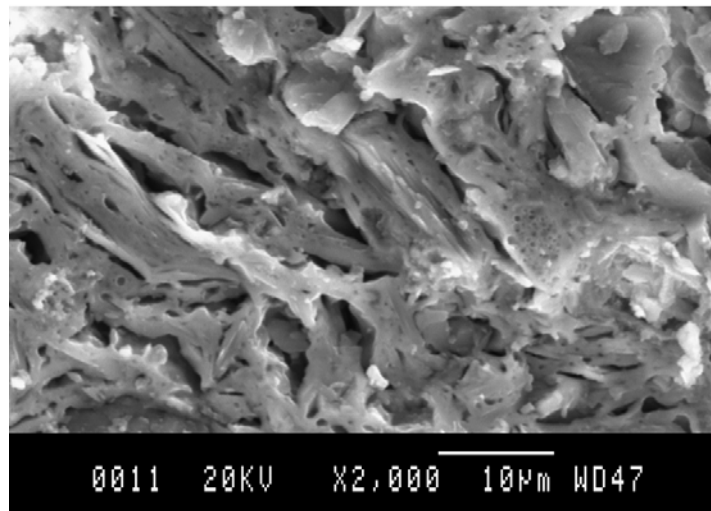


Figura 8.17. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu ACM086 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

cocció de l'espinel·la. La fàbrica A1-B conserva la il·lita-moscovita en menor proporció i es detecta la reducció de la calcita fins desaparèixer. En canvi, apareixen noves fases de cocció, com l'espinel·la, que apareix paral·lela a l'augment del pic de l'hematites. La TCE considerada per aquesta fàbrica és superior als 900-950°C, ja que és al voltant d'aquesta temperatura quan es desenvolupa la espinel·la, en ceràmiques poc calcàries cuites en atmosfera oxidant. Seguint l'evolució de fases cristal·lines d'alta temperatura, la fàbrica A1-C presenta ja la total desaparició del pic 10Å de la il·lita-moscovita i ens permet estimar la TCE d'aquesta fàbrica entre 950-1000°C. Finalment, els individus del grup químic A1 cuits a més alta temperatura són representats per la fàbrica A1-D (Figura 8.18, inferior). Els difractogrames d'aquests individus mostren la desaparició dels pics de filosilicats i l'aparició de pics més intensos d'espinel·la i d'hematites, indicant que la TCE és superior a 1000°C (Taula 8.7). La presència de calcita en aquestes ceràmiques poc calcàries, independentment de la temperatura de cocció, deu respondre a un fenomen de cristal·lització de calcita secundària durant l'enterrament. Efectivament, sabem que, durant la cocció, la descomposició de la calcita es produeix abans dels 800-850°C i que el CaO alliberat participa en la formació de fases cristal·lines d'alta temperatura i, sobretot, en ceràmiques calcàries. Tanmateix, és possible que després de la cocció, part del CaO alliberat reaccioni recarbonatant-se i formant calcita secundària (Buxeda i Cau, 1995).

El grup químic A2, representat per àmfores quasi calcàries de la forma Dressel 1 citerior procedent de Can Pau Ferrer, mostra també un rang de variacions que poden ser considerades com les diferents etapes de l'evolució de les transformacions mineralògiques durant la cocció (Taula 8.7). Així, la fàbrica A2-A correspon als individus cuits a baixa temperatura (TCE inferior a 800/850-900°C), com demostren els pics de quarz, il·lita moscovita, calcita, feldspat potàssic, palgiòclasi i l'hematites, així com l'absència d'espinel·la (Figura 8.19, superior). La fàbrica A2-B mostra una forta reducció dels pics dels filosilicats i s'aprecia la cristal·lització de l'espinel·la, indicant una TCE al voltant dels 900-950°C. La fàbrica A2-C es diferencia de l'anterior per la total desaparició del pic de 10Å de la il·lita moscovita i per l'aparició dels piroxens. Aquesta darrera fase pot aparèixer a la fàbrica A2-B, però la cristal·lització és feble per a que siguin identificats. Per aquest motiu, la TCE s'estima al voltant dels 950-1000°C. Finalment, la fàbrica A2-D representa els individus cuits a TCE superior als 1000°C, amb la total desaparició dels filosilicats i el marcat desenvolupament de les fases de cocció (Figura 8.19, inferior).

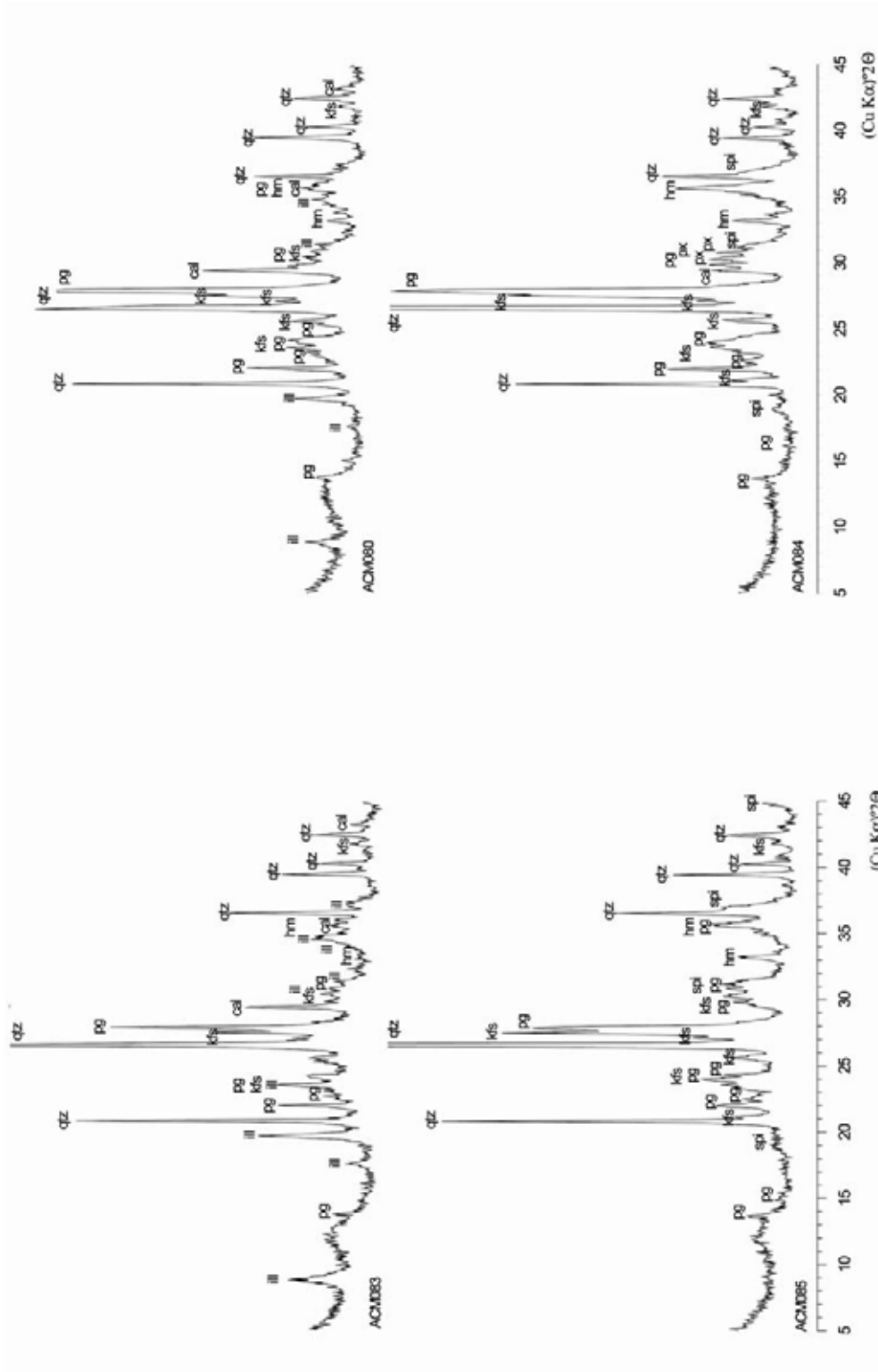


Figura 8.19. Difractograms corresponents a la fàbrica de baixa temperatura F-A2-A (superior) i a la fàbrica d'alta temperatura F-A2-D (inferior) del grup químic A2 de Can Pau Ferrer

Figura 8.18. Difractograms corresponents a la fàbrica de baixa temperatura F-A1-A (superior) i a la fàbrica d'alta temperatura F-A1-D (inferior) del grup químic A1 de Can Pau Ferrer

8.3.1.3.2. Ca l'Arnau

Per tal d'estimar l'evolució de les fases cristal·lines a partir de l'augment de la temperatura de cocció s'han realitzat experiments de recocció amb l'individu ACM059 del grup químic B1 mitjanament calcari i l'individu ACM005 del grup químic C2 calcari.

En el cas de l'individu ACM059 s'observa com, a 800°C, presenta majoritàriament fases cristal·lines primàries, com el quars, les il·lites, el feldspat potàssic i la plagiòclasi. L'hematites ja presenta un pic ben format, segurament desenvolupat durant la cocció (Figura 8.20). Tanmateix, veiem com un cop recuit l'individu ACM059, el pic de calcita ha desaparegut totalment a 800°C. Això indicaria que part de la calcita que presenten actualment els individus d'aquesta fàbrica, i les de més elevada temperatura del grup químic B1, podria ser secundària i hauria cristal·litzat en forma de calcita secundària. A partir de 850°C s'observen les mateixes fases, amb un fort increment dels feldspats i plagiòclasi, a més de la cristal·lització de la gehlenita. A partir dels 1000°C, els feldspats potàssics i la plagiòclasi experimenten un gran desenvolupament, impedint la identificació d'altres pics que difracten al seu voltant. Per això es fa difícil identificar l'existència o no d'espinel·la o de piroxens. La tonalitat

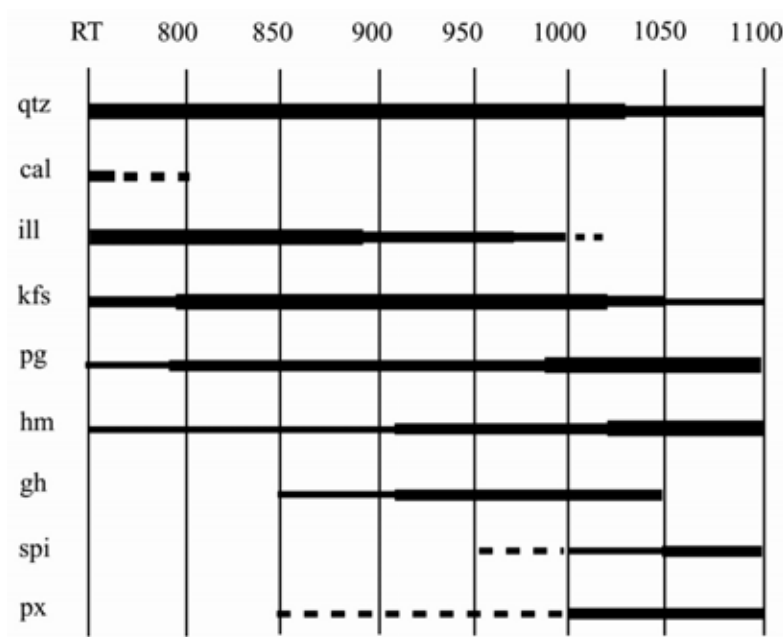


Figura 8.20. Resultats dels experiments de recocció de l'individu ACM059, corresponent al grup químic B1 de Ca l'Arnau. RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; gh: gehlenita; spi: espinel·la; px: piroxè

vermella d'aquest individu esdevé més intensa a mesura que augmenta la temperatura de cocció, degut a l'increment progressiu dels cristalls d'hematites.

La matriu ceràmica de l'individu mitjanament calcari ACM059 també experimenta certs canvis a mesura que s'incrementa la TCE, que afecten majoritàriament a la microestructura i a l'estadi de sinterització. Aquests aspectes han estat avaluats mitjançant l'anàlisi per MER de l'individu ACM059 en l'ECER, així com dels exemplars d'aquest individu recuits a 950°C i a 1100°C. En el rang de TCE estimada per aquest individu en l'ECER, <800-800/850°C, la pasta és poc porosa i la microestructura ceràmica presenta una vitrificació inicial en alguns punts, al voltant de les partícules no plàstiques (Figura 8.21, superior). A 950°C, l'estat de vitrificació de la matriu ceràmica de l'individu ACM059 és força intens i la fase vítria s'entén en tota la matriu ceràmica (Figura 8.21, central). Tanmateix, la pasta ceràmica sembla esdevenir més porosa a mesura que s'incrementa la temperatura de cocció. A 1100°C, la fase vítria s'ha desenvolupat molt intensament i la matriu ha esdevingut totalment vitrificada (Figura 8.21, inferior).

A partir d'aquestes dades, s'han determinat 5 fàbriques mineralògiques per als 20 individus quasi-calcaris (5.83% CaO de mitjana) de Ca l'Arnau que conformen el grup químic B1 (Taula 8.7). La fàbrica B1-A pot ser considerada com la de més baixa temperatura (800-850°C). Aquesta està representada per 6 dels individus analitzats de Ca l'Arnau, corresponents a dues àmfores Dressel 1 citerior (ACM042 i ACM045) així com per 2 àmfores del tipus Tarraconense 1D (ACM052 i ACM059) i 2 àmfores del tipus Tarraconense 1E (ACM060 i ACM063). Tots aquests individus es caracteritzen per presentar fases mineralògiques primàries, com el quars, els filosilicats del tipus il·lita moscovita, el feldspat potàssic, la plagiòclai, l'hematites i la calcita, sense cap fase de cocció (Figura 8. 22, superior). En comparar aquestes fases amb els difractogrames obtinguts dels experiments de recocció de l'individu ACM059, veiem com la TCE proposada per a la fàbrica F-ACM-B1-A ha de ser inferior o pròxima a 800°C.

En canvi, la fàbrica, B1-B, tot i que és molt similar a la fàbrica B1-A, presenta una cristal·lització inicial de piroxens i, possiblement, gehlenita. Tanmateix, no s'observa encara l'espinel·la, que sí trobarem a les fàbriques de més alta temperatura d'aquest grup químic. Per tots aquests aspectes, considerem que la TCE de la fàbrica B1-B, formada per l'àmfora Dressel 1 citerior (ACM043) i l'àmfora Tarraconense 1D (ACM051) pot situar-se al voltant dels 800/850-900°C. A la fàbrica B1-C, la presència d'espinel·la, juntament als piroxens i la gehlenita, així com la conservació del pic de

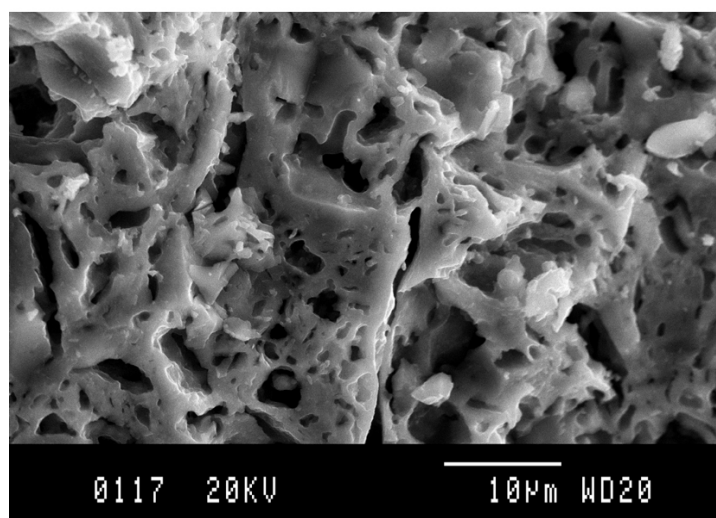
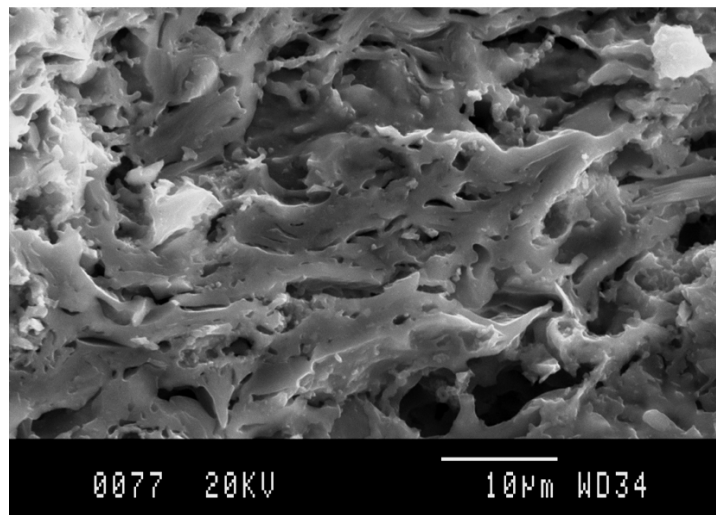
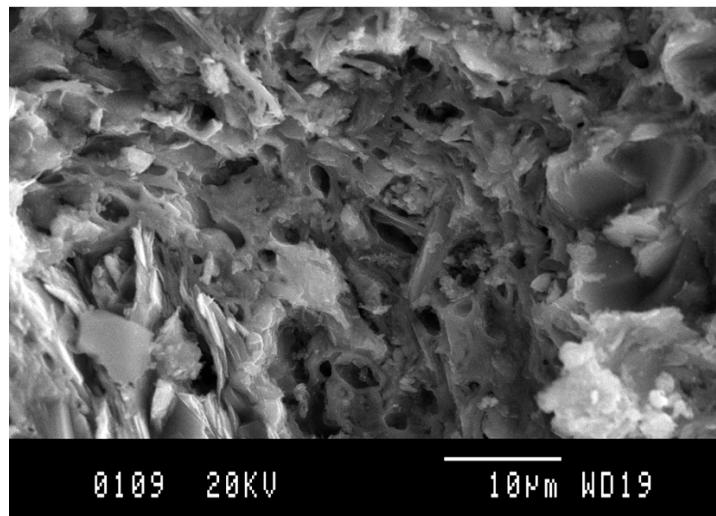


Figura 8.21. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu ACM059 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

10Å de la il·lita moscovita, permet estimar que la TCE és inferior als 950°C. Per això hem fixat, per a les 5 àmfores Tarraconense 1D (ACM049, ACM050, ACM053, ACM062 i ACM064) i els dos individus d'àmfora Dressel 1 citerior, un de Ca l'Arnau (ACM040) i un altre de Can Pau Ferrer (ACM096), una TCE al voltant dels 900-950°C.

A més alta temperatura, els dos individus d'àmfora Tarraconense 1D (ACM055 i ACM056) i l'individu d'àmfora Tarraconense 1C (ACM065) que formen la fàbrica B1-D, ja han perdut el pic de 10Å de la il·lita moscovita i la TCE s'emmarca entre els 950-1000°C. Finalment, la fàbrica B1-E, composta per dos individus d'àmfora Tarraconense 1D, mostra la total descomposició dels filosilicats que formen l'argila i un fort desenvolupament de les fases cristal·lines de cocció, especialment l'hematites i l'espinel·la, que ens porta a considerar una TCE superior a 1000°C (Figura 8.22, inferior).

El grup químic quasi calcari, B2, diferenciat del B1 per mostrar unes composicions relatives més elevades en CaO, Ba i Sr, es pot dividir en dues fàbriques segons la temperatura a la que han estat cuits els individus que el formen. Així, la fàbrica B2-A mostra fases cristal·lines típiques de baixa temperatura, com el quars, les il·lites moscovites, el feldspat potàssic, la plagiòclasi i la calcita, sense haver cristal·litzat cap fase de cocció. Aquests individus, 2 àmfores Tarraconense 1D (ACM046 i ACM048), 1 àmfora Tarraconense 1E (ACM066) i un fragment del cos d'una àmfora de Can Pau Ferrer, possible Dressel 1 citerior, poden ser considerats de baixa temperatura, cuits al voltant dels 800/850°C. En canvi, l'àmfora Tarraconense 1D ACM058, que s'insereix en aquest grup químic, testimonia una TCE superior per la cristal·lització de la fase metaestable de la gehlenita i els piroxens, que ens porten a considerar la TCE al voltant dels 850-950°C.

Un rang de temperatura similar es pot establir per als individus de la fàbrica B3-A del grup químic B3, de pasta calcària (8.86 % CaO). Un àmfora Dressel 1 citerior (ACM041, una Tarraconense 1D (ACM054) i un fragment informe (ACM026) formen la fàbrica B3-A. La presència de filosilicats juntament amb la cristal·lització de fases de cocció (piroxens i hematites) indicaria una TCE al voltant de 900-950°C (Figura 8.23, superior). L'evolució de les fases cristal·lines permet estimar una TCE més elevada per als individus Pascual 1 de la fàbrica B3-B (ACM001, 067, 068, 069, 070 i 071). En aquest cas, la descomposició total de la il·lita-moscovita i el marcat desenvolupament de les fases de cocció mostra una TCE superior als 950/1000°C (Figura 8.23, inferior).

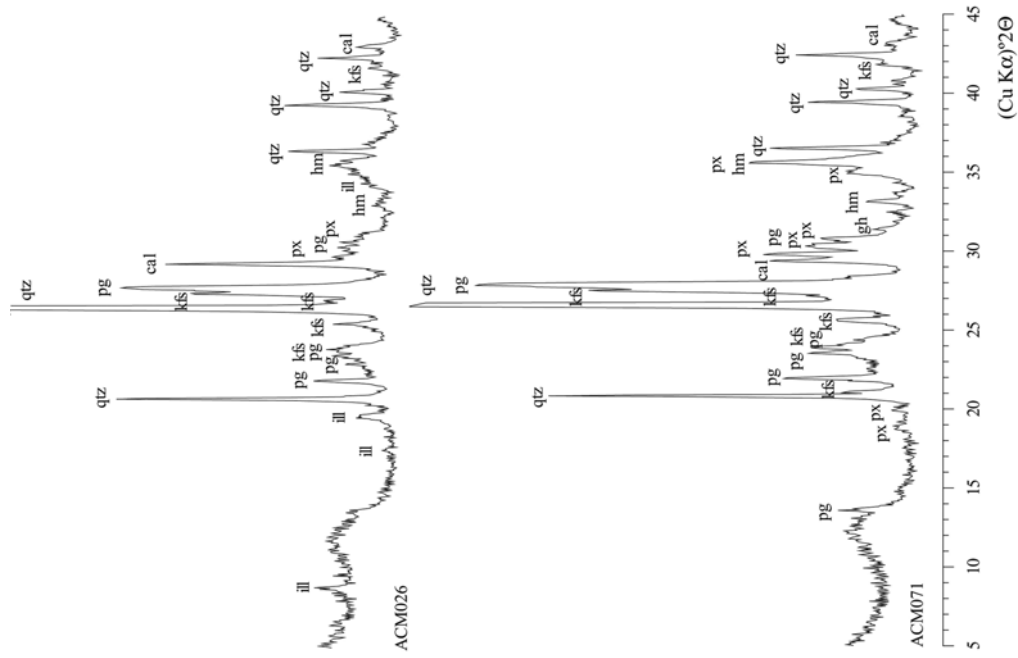


Figura 8.23. Difractogrames corresponents a les fàbriques B3-A i B3-B del grup químic B3 de Ca l'Arnaud.

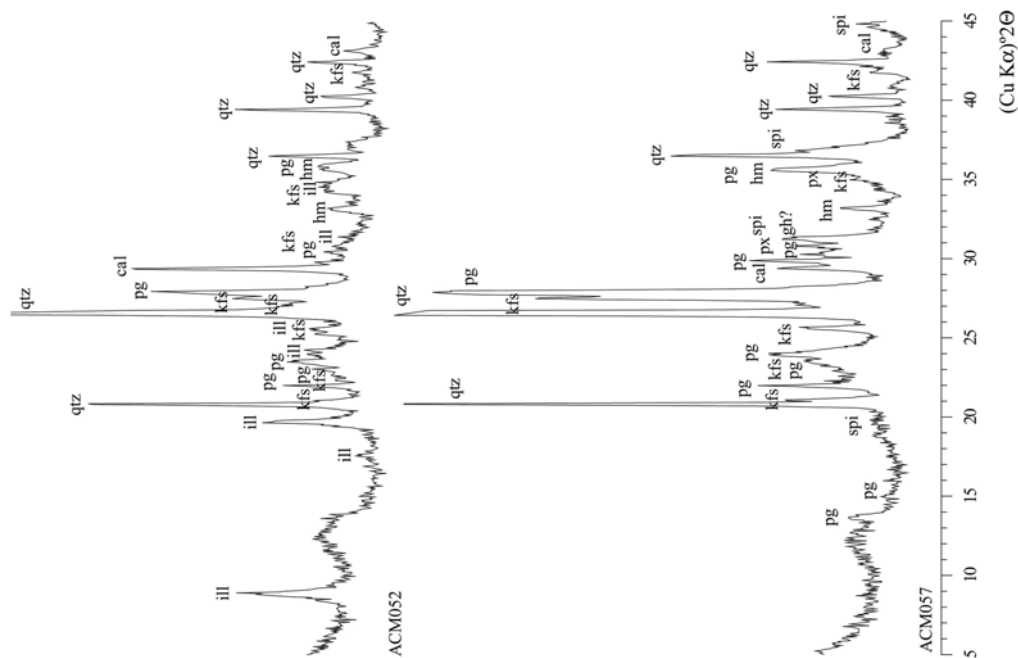


Figura 8.22. Difractogrames corresponents a les fàbriques B1-A i B1-E del grup químic B1 de Ca l'Arnaud.

Els experiments de recocció realitzats sobre l'individu ACM005, corresponent al grup químic C2, permet estimar l'evolució de les fases cristal·lines durant la recocció a diferents temperatures (Figura 8.24). A 800°C, sembla conservar encara un petit pic de calcita a 800°C, que desapareix a 850°C. També són presents fases primàries (quars, il·lites, feldspats potàssics i plagiòclases) i s'aprecia un pic incipient d'hematites. A partir dels 950°C es detecta l'aparició de noves fases cristal·lines de cocció, com la gehlenita i els piroxens. Aquestes darreres fases cristal·lines, juntament amb els feldspats potàssics, la plagiòclasi i l'hematites, s'intensifiquen a partir de 950°C, si bé serà a partir de 1000°C quan mostraran més intensitat, en detriment de les il·lites que desapareixen totalment a partir de 1000-1050°C. La cristal·lització cada cop més intensa de l'hematites a mesura que augmenten els graus de temperatura contribueix a crear tonalitats vermelles cada cop més intenses.

L'anàlisi per MER de l'estat de vitrificació i sinterització de la matriu ceràmica ens permet determinar els canvis produïts en la microestructura de l'individu calcari ACM005 un cop recuit a 950°C i a 1100°C. La TCE estimada per aquest individu en l'ECER mitjançant la DRX és d'entorn 800°C o inferior. L'anàlisi microestructural sembla concordar amb l'estimació d'una baixa temperatura de cocció, ja que no es detecta la vitrificació de la matriu. Només en alguns punts es pot arribar a determinar un estat inicial de vitrificació incompleta en una matriu poc porosa (Figura 8.25, superior).

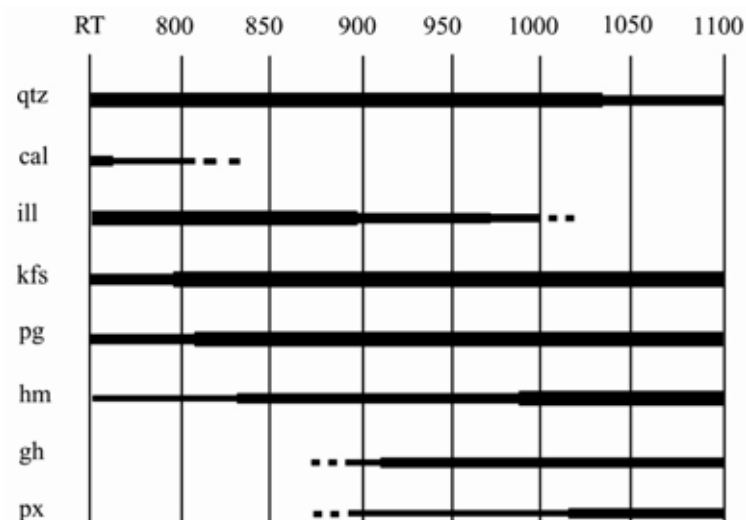


Figura 8.24. Resultats dels experiments de recocció de l'individu ACM005, corresponent al grup químic C2 de Ca l'Arnau. RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematite; gh: gehlenita; px: piroxè

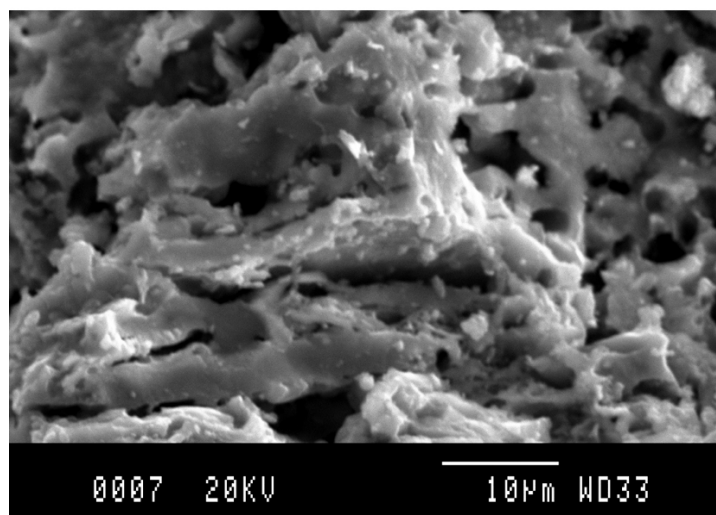
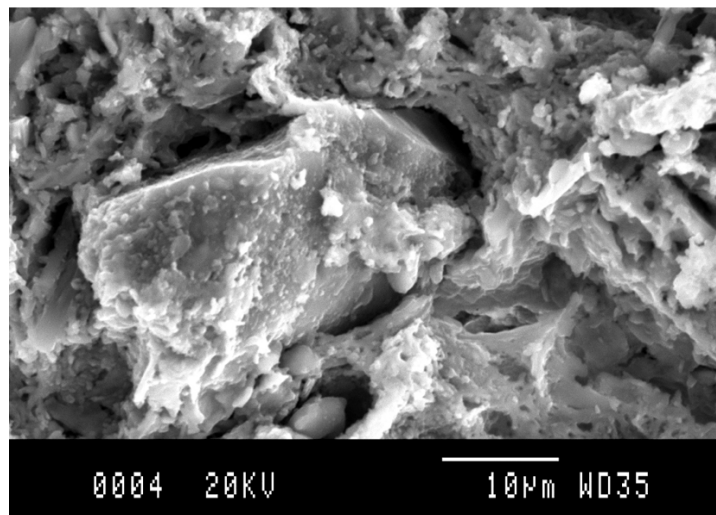
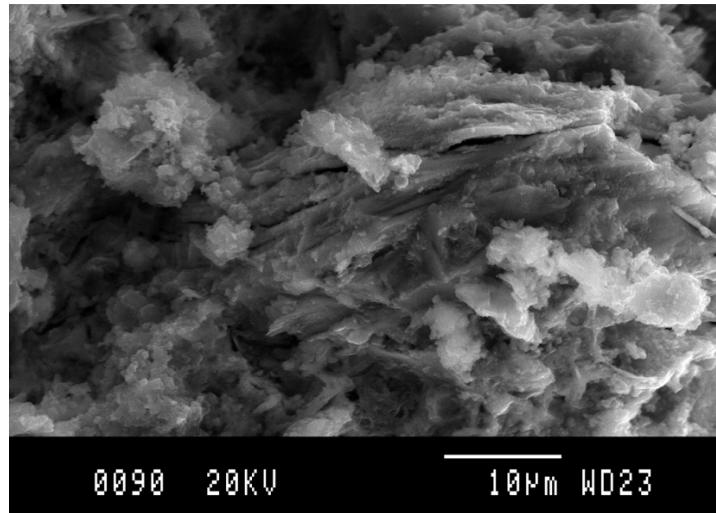


Figura 8.25. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu ACM005 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

A 950°C, s'observa una vitrificació intensa de la matriu que s'estén envoltant les partícules no plàstiques, sense mostrar un alt grau de sinterització (Figura 8.25, central). A 1100°C, s'ha desenvolupat una certa porositat en una matriu intensament vitrificada en la que l'estat de sinterització sembla complet (Figura 8.25, inferior).

A partir dels difractograms obtinguts de l'anàlisi per DRX dels individus corresponents al grup químic C1, han estat identificades 2 fàbriques mineralògiques. Recordem que aquest grup químic està representat majoritàriament per les àmfors Tarraconense 1E, poc calcàries i amb la concentració relativa de Cr més elevada (Taula 8.6 i 8.7). Una àmfora Dressel 1 citerior (ACM044) i una Tarraconense 1E (ACM061) formen la fàbrica C1-A. La TCE estimada és 850-900°C ja que presenten uns difractograms on les fases primàries (il·lita moscovita, calcita, quars, feldspat potàssic i plagiòclasi) coincideixen amb l'inici de la formació de fases de cocció (piroxens, hematites i espinel·la) (Figura 8.26, esquerra). A major temperatura, les àmfors Tarraconense 1E de la fàbrica C1-B (ACM003, 007 i 031) es caracteritzen per la descomposició dels filossilicats i el predomini de les fases de cocció (Figura 8.26, dreta), indicant una TCE al voltant dels 900-950°C.

Les àmfors Pascual 1 calcàries (11.11% CaO) del primer mostreig de Ca l'Arnau, així com la majoria d'individus informes es concentren en el grup químic C2, en el que s'han identificat 6 fàbriques mineralògiques (Taula 8.7). La fàbrica C2-A es compona per l'individu ACM005, cuit a baixa temperatura (TCE inferior a 800-850°C), com ho suggereix l'absència de fases cristal·lines de cocció. Només l'hematites, si es

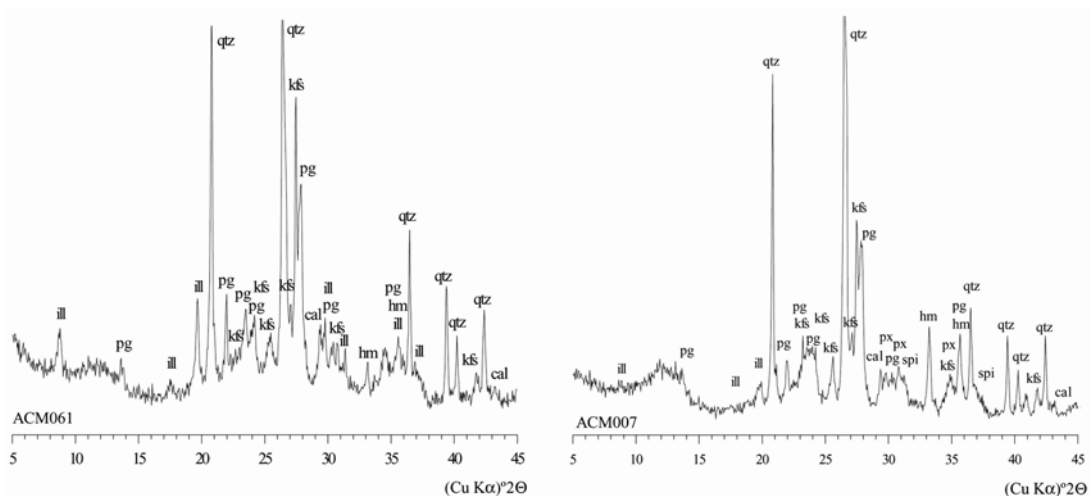


Figura 8.26. Difractograms corresponents a les fàbriques C1-A i C1-D del grup químic C1. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematite; ill: il·lita moscovita kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

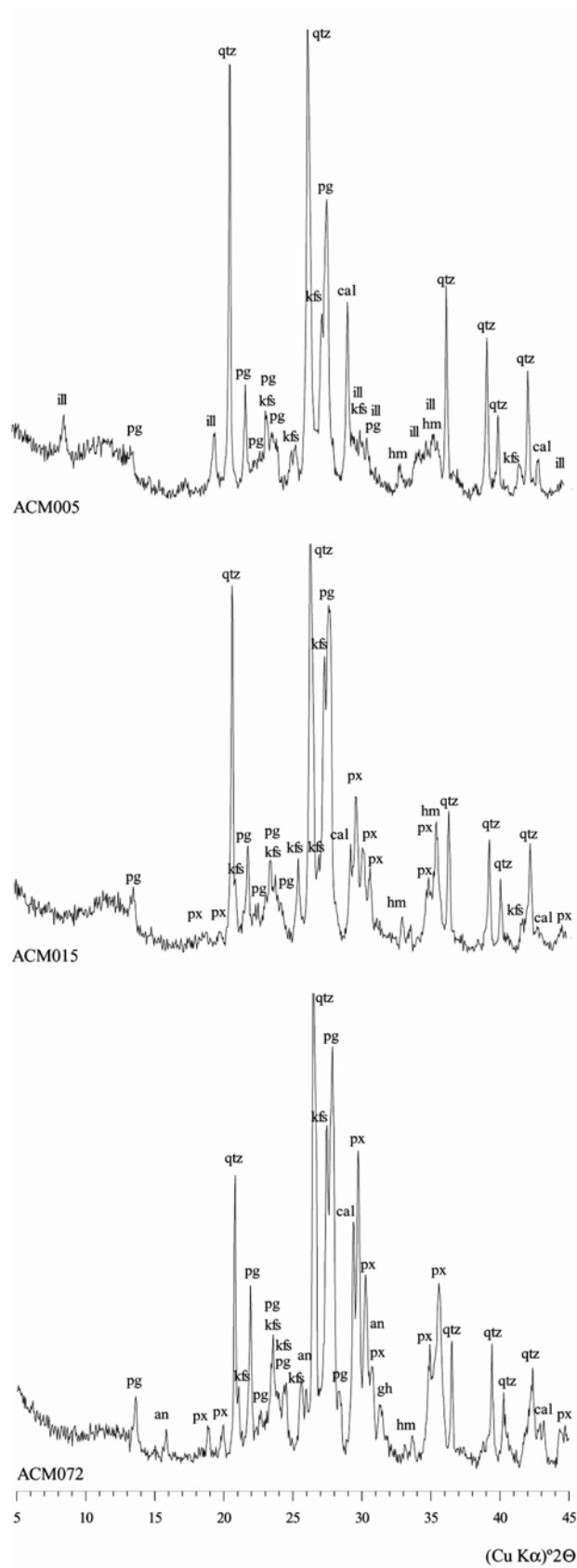


Figura 8.27. Difractogrames corresponents a les fàbriques C2-A, C2-C i C2-F del grup químic C2. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematite; ill: il·lita moscovita kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

pot considerar una fase de cocció en aquest cas, podria indicar una temperatura al cristallització de piroxens, i la TCE es pot estimar al voltant dels 800-850°C (ACM006 i ACM028). A continuació, la fàbrica C2-C mostra la cristallització de la gehlenita (Figura 8.27, central) que, juntament amb els piroxens i les il·lites ens porta a establir una TCE al voltant 850-900/950°C. La desaparició de les il·lita-moscovita serà la característica principal de la fàbrica C2-D, tot i que la presència de la gehlenita indicaria una TCE al voltant dels 950-1000/1050°C (Taula 8.7). Finalment, la intensitat del pic de la gehlenita disminueix notablement a més alta temperatura (TCE superior als 1050°C), donant lloc a la fàbrica C2-E. Tanmateix, és interessant de veure com en l'experiment de recocció de l'individu ACM005, el difractograma de les mostres cuites entre 1000 i 1100°C conserven els pics de gehlenita (Figura 8. 24). Finalment, cinc individus que deurien pertànyer a la fàbrica C2-D, han estat classificats en una nova fàbrica, C2-F, per la presència de l'analcima en els difractogrames. Aquest mineral és una zeolita sòdica que comporta la precipitació de Na₂O en la mostra, a partir d'un procés afavorit per l'alteració de la fase vítria (Buxeda, 1999a, Buxeda *et al.*, 2002). Aquesta alteració ve acompanyada sovint de la pèrdua de potassi i rubidi, i és un procés d'alteració que podem observar en la ceràmica calcària amb sobrecoccions severes (Figura 8.27, inferior). Finalment, el grup químic C3, format per les àmfores més calcàries (13.73% CaO) i amb un alt contingut en Ba i Sr, presenta dues fàbriques d'alta temperatura (Taula 8.7). La fàbrica C3-A permet observar la formació de piroxens i de la gehlenita,

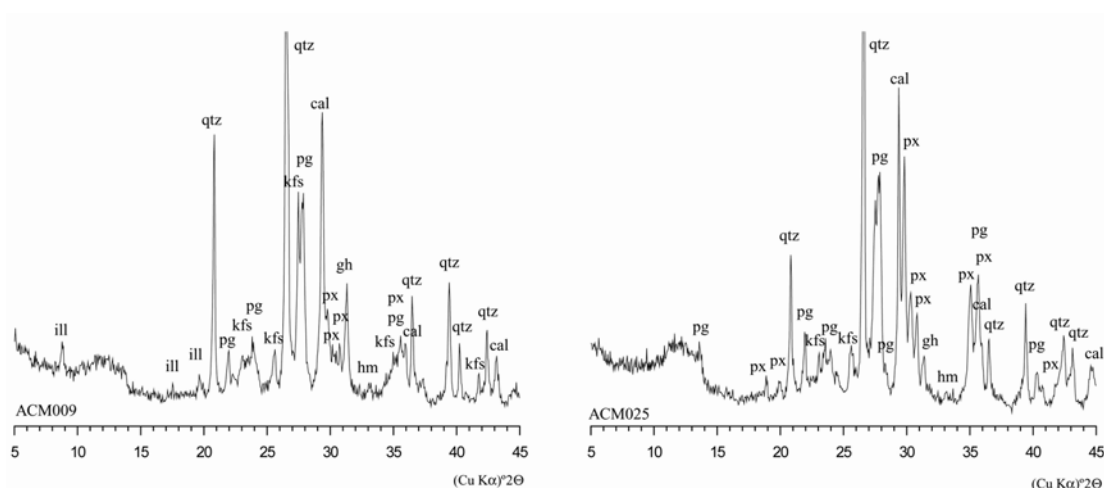


Figura 8.28. Difractogrames corresponents a les fàbriques F-C3-A i F-C3-B del grup químic C3: cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematite; ill: il·lita moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

paral·lelament a l'existència de la il·lita-moscovita (Figura 8.28, esquerra). La TCE proposada és d'uns 850-950/1000°C (ACM009, 020 i 032). La cristallització de la gehlenita, després de la descomposició de la il·lita-moscovita ens porta a estimar una TCE al voltant de 1000-1050°C per als individus ACM014 i ACM025 de la fàbrica C3-B (Figura 8.28, dreta).

8.3.1.4. Contrastació dels resultats

Tant les àmfores analitzades procedents de Ca l'Arnau com les procedents de Can Pau Ferrer corresponen a les produccions de com a mínim dos tallers ceràmics o centres de producció ceràmica instal·lats a la vall de Cabrera de Mar. D'aquesta manera, s'han identificat diverses produccions (GR), a les que podem adscriure una àrea de provenença localitzada en aquesta vall, en la que poden haver existit diversos centres ceràmics, a més dels que coneixem, que haurien fabricat contenidors vinaris.

Les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer formen dos grups químics, A1 i A2, que es diferencien bàsicament pel contingut en CaO (Taula 8.6). El GR A1 comprèn 14 individus caracteritzats per una pasta poc calcària que corresponen a la fàbrica petrogràfica FP-ACM-A1 (Làmina 8.2). La porositat present a la matriu ceràmica és de forma allargada i segueix les orientacions de la paret de l'àmfora. Les inclusions grolleres predominants corresponen a fragments de roques ígnies, bàsicament granodiorites de tipus biotític-hornblèndic així com fragments de quars, plagiòclasi, feldspat potàssic, hornblendes i filosilicats despresos d'aquestes roques. Les dimensions d'aquestes inclusions oscil·la entre 200 i 1500 µm. Aquesta fracció majoritària ve acompanyada per fragments de roques metamòrfiques de tipus pissarra i esquist de mida inferior als fragments ignis (500-1000 µm). Les aportacions sedimentàries són inferiors però també presents en aquests individus.

La majoria se les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer han estat cuites a una bona temperatura que podem estimar, amb petites variacions, entre 800/850-1000°C. Alguns individus, però, presenten una TCE superior a 1000°C i es tractaria, doncs, de sobrecoccions. Els diferents rangs de temperatura de cocció han estat identificats, bàsicament, a partir de la desaparició de fases primàries, com els filosilicats, i de l'aparició i desenvolupament de fases de cocció, com l'hematites i l'espinel·la (Figura 8.16). D'aquesta manera, dins la pasta argilosa GR A1 s'han identificat fins a quatre

fàbriques mineralògiques, entre les quals es troben individus de pasta de tonalitat vermell-marronosa juntament amb individus que presenten una pasta similar però amb l'interior de la matriu de tonalitat gris fosca (Taula 8.7). Les diferències en la temperatura de cocció de les àmfores del GR A1 s'observen, en certa manera, en les diferents tonalitats que presenta la pasta. Així, les àmfores Dressel 1 citerior cuites a més baixa temperatura (inferior a 950°C), presenten una tonalitat marró clar-ataronjada (fàbriques F-A1-A i F-A1-B). En canvi, les àmfores cuites entre 950 i 1000/1050°C, adopten una tonalitat més vermellova (fàbriques F-A1-C i F-A1-D). Aquesta evolució amb l'augment de la temperatura de cocció cap a tons vermells més intensos estaria relacionada amb el desenvolupament dels cristalls d'hematites en atmosferes oxidants (Figura 8.18).

La matriu ceràmica de les àmfores de cada una d'aquestes fàbriques presenta característiques microestructurals diferents. Les àmfores del GR A1 poc calcari cuites entre 800/850-900°C presenten una microestructura amb una consistència considerable i una vitrificació inicial que en alguns punts de la matriu és més intensa, juntament amb una porositat tancada i de baixa freqüència (Figura 8.17). A una TCE d'entorn 950°C, la matriu desenvolupa un estat de vitrificació intensa i extensiva a tota la pasta ceràmica i s'observa una grau major de la porositat. La matriu esdevé una massa vidriada densa a una TCE d'entorn 1100°C. Tant la matriu com les inclusions es troben fusionades degut a l'estat de vitrificació total que ha originat el desenvolupament d'una porositat de petites dimensions i de forma oval.

En quant a les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer que formen el GR A2 han estat fabricades amb una pasta lleugerament diferent a la pasta A1. Es tracta d'una argila mitjanament calcària de tonalitat marró-vermellova, poc porosa i grollera. La fracció més gran és molt similar als individus fabricats amb la pasta A1, si bé la mida d'alguns fragments de roca ígnia és superior a la pasta A2 (700-1700 µm). A diferència de l'anterior, però, es constata l'absència de fragments de tipus metamòrfic i la presència d'epidota (400-750 µm) i de grans làmines de miques moscovites (100-400 µm). S'han diferenciat fins a quatre fàbriques mineralògiques per a la producció A2 de Can Pau Ferrer, que presenten diversos rangs de temperatura de cocció equivalent entre 800°C i igual o superior a 1000°C. Tanmateix, la majoria d'individus analitzats es situen en un rang de TCE entorn 900-950°C. L'hematites cristal·litza segurament com a fase de cocció a partir dels 800/850°C. L'epinel·la apareix entorn 900/950°C, mentre que a una temperatura de cocció superior a 950°C cristal·litzen els piroxens (Figura 8.19).

En el cas de les àmfores de Ca l'Arnau han estat identificats 6 grups de referència diferents que es desprenen de dos tipus de matèries primeres de composició química lleugerament diferent (Figura 8.13). Les concentracions elementals diferents d'aquestes pastes, B i C, no només afecten elements majors com el CaO i Na₂O, sinó també elements traça com el Ba, Sr, Ce, Ga, V i Cr. Tot i que part d'aquesta variabilitat en la composició de les dues pastes pot deure's a alteracions patides pels individus ceràmics en el context d'enterrament, sembla que aquests dos tipus de pasta argilosa hagin estat processats seguint processos tecnològics diferents que ens permeten identificar fins a tres grups químics per al tipus d'argila B (B1, B2 i B3) i tres per al tipus d'argila C (C1, C2 i C3) (Taula 8.6).

Els grups químics B1 i B2 estan formats principalment per àmfores del tipus Tarraconense 1D i 1E, si bé en el cas del primer es troba un fragment d'àmfora Tarraconense 1C i 4 corresponents al tipus Dressel 1 citerior. Aquestes àmfores han estat fabricades amb una pasta mitjanament calcària, amb un desgreixador abundant i de gran mida. Tanmateix, aquests dos tipus de pasta es diferencien bàsicament per les concentracions en CaO, Na₂O, K₂O, Ba, Sr, Rb i Zr que, en alguns casos poden estar relacionades amb processos secundaris d'alteració i en d'altres a diferències en la composició química primària.

L'anàlisi dels difractogrames corresponents a diverses mostres de l'individu ACM059 recuit a 7 rangs de temperatura diferents, ens aporta informació per tal d'establir els rangs de TCE a les diverses fàbriques identificades per al grup químic B1 (Figura 8.20). Cal recalcar que la calcita present a l'individu ACM059 ha desaparegut totalment a 800°C. Dins aquest grup químic, els individus cuits a més baixa temperatura s'agrupen a la fàbrica B1-A ($\leq 800-850^{\circ}\text{C}$) mentre que els de més alta temperatura (TCE $\geq 1000^{\circ}\text{C}$) s'agrupen a les fàbriques F-B1-D i F-B1-E (Taula 8.7; Figura 8.22). Els individus del grup químic B2 conformen dues fàbriques mineralògiques, F-B2-A i F-B2-B, que mostren una TCE entre 800 i 950°C. Les fases cristal·lines desenvolupades durant la cocció són els piroxens i la gehlenita a partir de 950°C. Tanmateix, a partir de 1050°C la gehlenita es descomposa mentre que els piroxens es mostren de forma més intensa. D'altra banda, el grup químic B3 agrupa majoritàriament àmfores del tipus Pascual 1 de pasta calcària, tot i que també s'associen una àmfora Dressel 1 citerior i una Tarraconense 1D. Les fàbriques identificades són d'alta temperatura, entre 900 i 1000°C (Figura 8.23).

Finalment, s'han identificat tres grups químics corresponents a diferents mètodes de processament de la matèria primera C, a partir de la qual s'ha obtingut una pasta poc calcària (C1), utilitzada per a la manufactura del tipus Tarraconense 1E i dues pastes calcàries (C2 i C3) amb les que s'han fabricat les àmfores Pascual 1. Les diferències entre aquestes dues darreres pastes estan relacionades amb les concentracions relatives en CaO, Na₂O, Ba, Rb, Sr, Ga i V (Taula 8.6).

L'experiment de recocció realitzat amb l'individu ACM005 del grup químic C2 permet observar l'evolució en el desenvolupament de les fases cristal·lines amb l'augment de la temperatura de cocció (Figura 8.24). A 800°C, només s'observen fases primàries com quars, il·lites, feldspats potàssics, plagiòclasi i hematites, que també han estat identificades en l'anàlisi per làmina prima dels individus de Ca l'Arnau. La fase vítria no s'ha desenvolupat encara a 800°C i el component calcari ha desaparegut completament. Entre 850-900°C s'inicia la cristal·lització de piroxens i de la gehlenita. A 950°C, l'estat de vitrificació de la matriu és intens mentre que a 1100°C la vitrificació és total i estesa per tota la matriu (Figura 8.25). Paral·lelament, s'incrementa la intensitat dels feldspats potàssics, de la plagiòclasi i de l'hematites, i baixa la de les il·lites, que desapareixen entorn 1000°C.

Les àmfores de pasta poc calcària (C1), corresponents bàsicament a àmfores Tarraconense 1E i una àmfora Dressel 1 citerior, han estat cuites a bona TCE (entre 850 i 950°C) (Figura 8.26).

Els individus calcaris del grup químic C2 presenten un rang de TCE més ampli, ja que trobem àmfores cuites a baixa, bona i alta TCE (Figura 8.27). En alguns dels individus cuits a més alta temperatura s'ha identificat la cristal·lització de fases secundàries, com la calcita secundària i l'analcima (Buxeda, 1999a, Buxeda *et al.*, 2002). El tercer grup químic, C3, agrupa cinc individus informes de pasta calcària cuits a bona o alta TCE (entre 850 i 1050°C) (Figura 8.28). Aquests individus van ser recuperats en els nivells superficials i poden correspondre a la darrera producció de Ca l'Arnau, el tipus Pascual 1.

D'aquesta manera, per a la fabricació de les àmfores Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer s'han emprat majoritàriament argiles poc calcàries (A1) i argiles mitjanament calcàries (A2). Com que totes les àmfores procedeixen del mateix context arqueològic, podem suposar que a Can Pau Ferrer es va imitar el model amforal Dressel 1 citerior a partir del segon quart del s. I aC però, que en alguns casos, la pasta ceràmica utilitzada en la producció era més calcària.

A Ca l'Arnau, els individus d'àmfora Dressel 1 citerior analitzats acostumen a associar-se químicament amb altres tipus amforals, mostrant més variabilitat composicional. Dels cinc individus analitzats, tres formen part del grup químic B1 mitjanament calcari (ACM040, 042 i 045), un altre al grup poc calcari C3 (ACM044) i un altre al grup químic calcari B3 (ACM041). En tots els casos, els contextos arqueològics de procedència daten entorn els anys 50-40 aC. Entre aquests anys, es documenta a Ca l'Arnau l'adopció de nous dissenys amforals, bàsicament el tipus Tarraconense 1 D però també Tarraconense 1E i Tarraconense 1C. Per a la fabricació d'algunes d'aquestes noves àmfors, s'utilitza la mateixa pasta que en el cas de les àmfors Dressel 1 citerior, que és mitjanament calcària (B1) i amb grans inclusions de quars i roques ígnies de tipus granitoide (Làmina 8.3). Entre el material recuperat a la UE 1020, a més d'aquestes àmfors, apareix un altre grup d'àmfors del tipus Tarraconense 1D i una Tarraconense 1E (B2) una mica més calcàries i amb una composició química lleugerament diferent.

Durant aquests primers decennis de la segona meitat del s. I aC, es van fabricar igualment el tipus Tarraconense 1 E utilitzant pastes poc calcàries (C1). Finalment, en les darreres dècades del s. I aC fins la segona dècada del s. I dC, el centre ceràmic de Ca l'Arnau abandona la diversitat de dissenys i la producció amforal es centra en un sol envàs, l'àmfora Pascual 1, fabricada utilitzant pastes calcàries (B3, C2 i C3).

Aquesta variabilitat en quant als processos tecnològics de selecció i manipulació de les matèries primeres per obtenir la pasta argilosa desitjada ha de relacionar-se, d'una banda, amb la disponibilitat en el medi natural d'unes matèries primeres determinades en cada moment de la producció del centre. D'altra banda, la selecció de matèries primeres i processos tecnològics determinats vindran condicionats per les pràctiques culturals del ceramista i les seves tradicions, així com pel seu coneixement tecnològic, fruit de la tradició o de la innovació tecnològica per transmissió. En aquest sentit, l'evolució que presenta la producció amforal en aquesta àrea de la Laietània pot ser analitzada des del període ibèric. Les àmfors ibèriques fabricades a l'àrea de Mataró estan fabricades utilitzant pastes poc calcàries (Tsantini, 2007). Les àmfors Dressel 1 citerior de Can Pau Ferrer mostren la voluntat per part dels ceramistes d'imitar el model italià, utilitzant pastes més grolleres i modelant parets més gruixudes, si bé en alguns casos el procés de cocció sembla ser molt similar a l'utilitzat en la cocció dels tipus ibèrics. La pasta utilitzada continua sent poc calcària o mitjanament calcària.

A Ca l'Arnau la variabilitat composicional entre els individus analitzats és major que a Can Pau Ferrer. Aquesta variabilitat no només és present en el disseny amforal sinó també en el tipus de pasta utilitzada. Els primers envasos fabricats presenten una tecnologia de tradició romana i les pastes són poc o mitjanament calcàries, excepte un individu de pasta calcària (ACM041). La fabricació d'aquestes àmfors és contemporània a la de diverses variants del tipus Tarraconense 1 i totes han estat fabricades amb pastes poc o mitjanament calcàries. En canvi, la darrera producció del taller, el tipus Pascual 1, que s'inicia cap a les darreres dècades del s. I dC i durant les dues primeres dècades del s. II dC, és plenament calcària.

A més, hi ha una sèrie d'individus que no es poden agrupar a cap grup químic i per als que no podem suposar una provinença ni del centre de Ca l'Arnau ni de Can Pau Ferrer. En el cas d'aquest darrer, les àmfors ACM090, ACM092, ACM100, ACM101, ACM102, ACM078, ACM081, ACM088 i ACM104 no s'agrupen ni amb A1 ni amb A2. De tots, però, els dos darrers individus són els que mostren més variabilitat química. Tanmateix, no descartem la producció d'aquests contenidors a la vall de Cabrera de Mar, en altres centres de producció que desconeixem actualment i que formarien part d'aquesta zona de producció ceràmica. La producció del centre de Ca l'Arnau és més heterogènia. A més del grups químics identificats, apareixen un gran nombre d'individus que no es poden classificar amb cap agrupació. Aquest és el cas de l'àmfora grecoitàlica ACM039, l'àmfora Tarraconense 1D ACM004 i els individus informes ACM010, ACM012, ACM019 i ACM035. A pesar de la variabilitat composicional, en el cas dels individus ACM039 i ACM012, la composició litològica és similar a la de les àmfors d'aquests dos centres. Per aquest motiu, les àmfors que no es classifiquen amb cap dels grups químics identificats podrien haver estat fabricades a Ca l'Arnau però seguint uns processos tecnològics diferents o podrien haver estat fabricades en altres tallers propers. D'altra banda, alguns d'aquests individus inclassificables podrien haver patit alteracions en la seva composició química difícils d'identificar.

En quant al procés tecnològic de la cocció, tots els individus analitzats procedents de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer, estan cuits a una TCE igual o superior a 800°C. Quan l'atmosfera del forn assoleix una temperatura entorn els 700/750°C el component calcari de la pasta ceràmica comença un procés de descomposició que anirà en augment a mesura que s'incrementa la temperatura. A 800°C, la calcita present a la pasta ceràmica hauria d'estar en procés de descomposició o haver-se descomposat totalment (Rice, 1987). L'experiment de recocció realitzat sobre l'individu ACM086

confirma aquest procés, ja que en realitzar la recocció a 800°C, la calcita ha desaparegut totalment. Contràriament, als individus analitzats del grup químic A1, poc calcari, trobem la presència de calcita fins a una TCE de 900°C i als individus del grup químic A2, mitjanament calcaris, la calcita és present a tots els individus, fins i tot en aquells que presenten una TCE superior a 1000°C. En tots aquests casos, excepte pot ser en alguns individus de la fàbrica F-A1-A, en el que la calcita (CaCO₃) pot ser primària, els carbonats presents tenen un origen secundari. Això es deu a que a partir d'aproximadament 800°C es produeix la dissociació completa de la calcita en CaO i CO₂. Tanmateix, si aquesta TCE no s'ha mantingut el temps suficient per a que el CaO resultant d'aquesta descomposició es barregi amb la resta de constituents de la pasta, restarà una part de CaO en la matriu ceràmica. Però el CaO de la matriu pot reabsorbir H₂O i el gas carbònic CO₂ de l'atmosfera del forn. D'aquesta manera, es produeix una recarbonatació segons les reaccions: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Igualment, la calcita pot haver cristal·litzat com a conseqüència de la precipitació de carbonats originats per l'aigua subterrània en un context de deposició humit, que pot originar, igualment, precipitacions de carbonat. Aquesta cristal·litza en forma de geodes en la porositat de la matriu ceràmica. La cristal·lització de la calcita secundària implica un enriquiment parcial de Ca²⁺ al lòcton (Figura 8.29).

Tanmateix, la descomposició de la calcita a partir dels 700-750°C, dona pas a una sèrie de reaccions entre els òxids de calci i altres substàncies originades per la

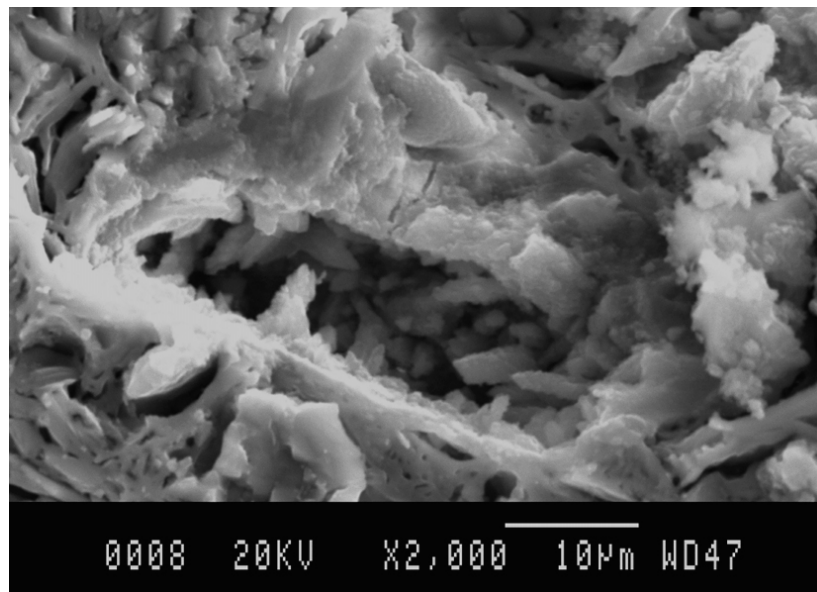


Figura 8.29. Microfotografia per MER de cristalls de calcita secundària en una porositat de la matriu de l'individu ACM085-ECER

descomposició paral·lela dels minerals d'argila. Aquests processos donen pas a la formació de calco-silicats, calco-alumino-silicats i ferrosilicats de calci, que cristal·litzen com a fases minerals de cocció (plagiòclasi, gehlenita, piroxens, hematites, etc.) (Heimann i Maggetti, 1981; Heimann 1982, 1989; Maniatis *et al.*, 1981). D'aquesta manera, els piroxens, com el diòpsid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), cristal·litzen a una temperatura igual o superior als 850°C , com a reacció entre la calcita i els òxids de silici i magnesi. En canvi, la gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$) es forma a partir dels 850°C com a conseqüència de les reaccions entre la calcita i els òxids de silici i alumini presents a la pasta ceràmica. El mineral resultant és una fase metaestable ja que a més alta temperatura (superior a 1000°C), la gehlenita reaccionarà amb altres silicats.

La plagiòclasi (anorthita - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) és present a la matriu de forma primària o natural, procedent dels fragments de roca ígnia, com demostra l'anàlisi petrogràfica. Tanmateix, s'observa l'increment d'aquesta fase a mesura que augmenta la temperatura de cocció, especialment a partir dels $950\text{-}1000^\circ\text{C}$ (Heimann i Maggetti, 1981; Tite i Maniatis, 1975).

Els òxids i hidròxids de ferro són presents a la pasta de les àmfores de manera primària. Tanmateix, a temperatures de cocció superiors als 800°C en atmosferes oxidants, el CaO reacciona amb aquests compostos. Els òxids i hidròxids de ferro són força inestables i tendeixen a descomposar-se i a formar nous cristalls d'òxid fèrric (Fe^{3+}), originant la formació de l'hematites (Fe_2O_3). El desenvolupament total d'aquest òxid fèrric apareix cap als $950\text{-}1000^\circ\text{C}$. La formació d'aquest mineral comporta canvis en la coloració de la pasta que dependrà, en gran mesura, de la concentració de ferro primari en la pasta, de la mida dels cristalls d'hematites i del grau de reacció segons la temperatura assolida. En ceràmiques poc calcàries amb concentracions de Fe_2O_3 com les que presenten les nostres àmfores, al voltant del 5-6% Fe_2O_3 , a partir dels 900°C , la cristal·lització de l'hematites donaria una coloració vermella intensa de la pasta. En ceràmiques calcàries (grups químics A2, B2, B3, C2 i C3), les reaccions de la descomposició de la calcita fa que s'inhibeixi el creixement dels cristalls d'hematites. Si la TCE assolida és elevada (superior a 1000°C), la fase líquida que es produeix a la matriu impedeix l'oxidació constant dels òxids fèrrics i la tonalitat de la pasta resultant és més clara.

8.3.2. Els possibles tallers ceràmics de la ciutat de *Barcino*

8.3.2.1. La caracterització química

Procedents dels possibles tallers ceràmics localitzats al suburbi est de la ciutat de *Barcino*, han estat analitzats 112 individus corresponents a 52 vores d'àmfora Pascual 1 (CSC001 a CSC052) i 18 pivots amb marca (CSC103-CSC120) procedents del mercat de Sta. Caterina i del carrer Giralt el Pellicer i 40 àmfores Pascual 1 i dos pondera del taller del carrer Princesa (CSC053-CSC094). A més, s'han afegit 3 sediments argilosos procedents del solar de Santa Caterina (CSC095, CSC096, CSC097) i 5 corresponents a diferents parts del forn circular del taller del carrer Princesa (CSC098 a CSC112) (Taula 6-Annex 1).

L'anàlisi per FRX ens ha permès determinar la concentració química dels elements químics majors i menors (expressats en òxids) i dels elements traça següents: Fe₂O₃ (en tant que Fe total), Al₂O₃, MnO, P₂O₅, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. Tanmateix, per les raons explicades al Capítol 4.1.3, no s'han considerat les concentracions relatives de P₂O₅, Pb i Cu.

Els resultats han estat tractats estadísticament seguint les consideracions d'Aitchison sobre dades composicionals (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a). Les concentracions elementals de les 120 mostres analitzades han estat transformades en logaritmes de raons.

La matriu de variació composicional resultant d'aquest tractament, tenint en compte els 21 elements químics i els 120 individus proporciona una vt de 1.5917, que s'ha de considerar força elevada (Taula 8.9). Aquesta variabilitat no es tradueix només en diferències composicional degudes a pocs elements químics, sinó a tots els elements majors, menors i traça (Martínez *et al.*, 2007). No obstant, els responsables principals d'aquesta variabilitat composicional són el MgO, Sr, CaO, Na₂O, Rb, Cr, K₂O, Ce, MnO i Ba, com indiquen els valors de τ_i respectius de cada composició ($\tau_{\text{MnO}}= 2.378$; $\tau_{\text{MgO}}= 7.791$; $\tau_{\text{CaO}}= 7.038$; $\tau_{\text{Na}_2\text{O}}= 5.996$; $\tau_{\text{K}_2\text{O}}= 2.653$; $\tau_{\text{Ba}}= 2.191$; $\tau_{\text{Rb}}= 3.940$; $\tau_{\text{Zr}}= 2.276$; $\tau_{\text{Sr}}= 6.911$; $\tau_{\text{Ce}}= 2.354$; $\tau_{\text{Ga}}= 3.419$; $\tau_{\text{Cr}}= 3.320$) (Figura 8.30).

Per tal d'observar quines concentracions són les que proporcionen major variabilitat i en quins individus ceràmics repercuteix més aquesta variabilitat, s'ha

realitzat una anàlisi de components principals a partir de les concentracions transformades en logaritmes de raons dels 21 elements químics (Figura 8.31). Aquest gràfic representa els dos primers components principals que expliquen el 72% de la variació total. S'observa com les àmfores del carrer Princesa, així com els dos pondera i 4 dels sediments procedents del forn (CSC099 a CSC102) s'agrupen en el conjunt més homogeni (PR), com ja esperàvem en tractar-se, realment, de la producció d'un taller ceràmic. A aquest conjunt s'uneix un individu procedent del mercat de Sta. Caterina (CSC049) i dos altres (CSC016, CSC017) resten molt pròxims, presentant algunes concentracions relatives similars a la producció amforal d'aquest taller. Aquests individus es caracteritzen per oferir uns valors de CaO, K₂O i Rb elevats, en comparació amb la resta de conjunts. El sediment CSC098 apareix força distanciat a la banda dreta superior del gràfic, ja que presenta un valor en CaO força més baix que la resta d'individus, però més elevat en MnO, SiO₂, Ze i V.

En quant als individus procedents dels abocadors del mercat de Sant Caterina i del carrer Giralt el Pellicer, ofereixen una alta variabilitat entre ells, com indica la gran dispersió de la seva distribució en el gràfic. Tanmateix, es pot observar com els individus amb marca de pasta vermella (CSC104, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 114, 115, 117) i les tres àmfores de pasta vermella (CSC018, CSC019 i CSC020) resten aïllats formant un conjunt bastant heterogeni a la banda dreta superior del gràfic. La pasta d'aquestes àmfores es caracteritza per ser poc calcària i amb concentracions elevades de K₂O, V i Cr.

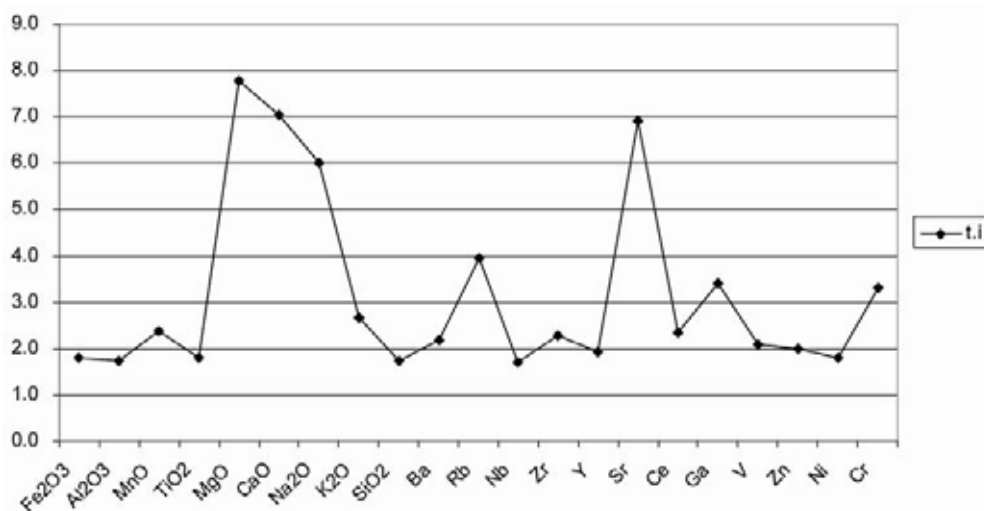


Figura 8.30. Gràfic representant la variabilitat dels 21 elements químics considerats per als 120 individus amforals procedents del Mercat de Sta. Caterina, el carrer Giralt el Pellicer i el carrer Princesa (Barcelona), segons els valors τ_i de la Taula 8.9

La resta d'individus de pasta clara es distribueixen a la banda esquerra del dendrograma. Els individus que presenten marca epigràfica apareixen a la part superior (CSCM-2), força distanciats entre ells. Tot i que és evident l'existència de grans diferències químiques entre aquests individus de Santa Caterina, tots es caracteritzen principalment per mostrar concentracions més elevades de CaO, MgO, Na₂O i Sr i inferiors de K₂O i Zr que els individus agrupats a PR i CSCM-1. D'aquesta manera, les àmfores amb segell epigràfic de pasta clara (CSCM-2) presenten certes semblances amb les àmfores procedents del mateix jaciment que tenen, igualment, una tonalitat clara, tot i que no sembla tractar-se de la mateixa producció. En canvi, els individus de pasta vermella (CSCM-1) tenen una composició química força diferent a la resta d'individus de pasta clara procedents de l'àrea del mercat de Santa Caterina. Les tres mostres d'argila (CSC096, CSC097 i CSC098) també apareixen aïllades i més o menys associades entre elles degut als alts valors en CaO que presenten, tot i que es caracteritzen també per

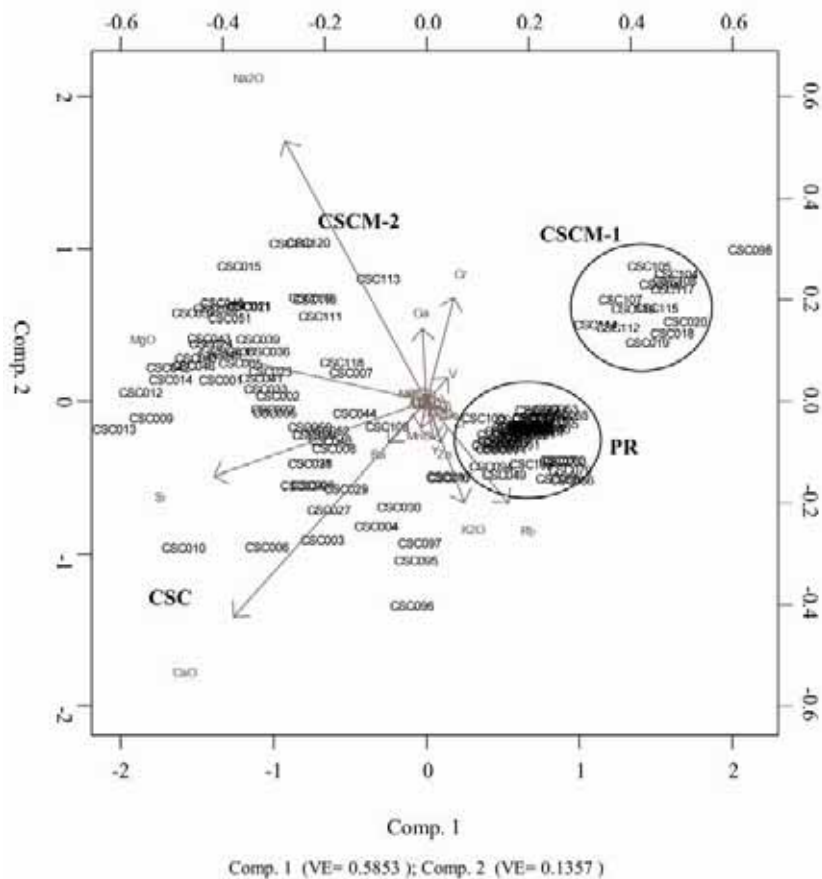


Figura 8.31. Gràfic bivariant de la primera i la segona component principal obtingudes de l'ACP per als 120 individus tenint en compte 21 elements químics. Indicació de les diferents agrupacions que formen els individus: PR: Princesa; CSC: Mercat de Santa Caterina; CSCM-1: marques de Sta. Caterina de pasta vermella; CSCM-2: marques de Sta. Caterina de pasta clara

valors baixos en Ga, Ce i Rb.

Ja que l'alta variabilitat es deguda, en part, a les diferències composicionals presents entre els individus ceràmics i els sediments argilosos, s'ha repetit el tractament estadístic utilitzant les 21 composicions elementals anteriors però sense tenir en compte les 8 mostres d'argila i de sediments analitzats. La vt que mostra la matriu de variació composicional (Taula 8.10) continua sent molt elevada ($vt = 1.4549$) com per a pensar que les àmfores del carrer Princesa i les àmfores dels abocadors del solar de Santa Caterina, distanciat per uns 100 m, estan fabricades amb les mateixes matèries primeres i amb el mateix procediment tecnològic. Si, en el cas de les 100 àmfores procedents dels centres de Cabrera de Mar, una $vt = 0.4831$ ja ens permet documentar diverses produccions i identificar l'ús de tres tipus d'argila diferents seguint una gran diversitat de tecnologies, el valor obtingut per a les àmfores de Barcelona esdevé certament desorbitat com per a pensar en una producció amforal homogènia o similar. Els elements químics que més variabilitat introdueixen al conjunt de dades són el MgO, Sr, CaO, Na₂O, Rb, Cr, K₂O, Ce, MnO i Ba, com indiquen els valors de τ_i respectius de cada composició ($\tau_{MnO} = 2.072$; $\tau_{MgO} = 7.582$; $\tau_{CaO} = 5.951$; $\tau_{Na_2O} = 5.951$; $\tau_{K_2O} = 2.576$; $\tau_{Ba} = 2.022$; $\tau_{Rb} = 3.962$; $\tau_{Sr} = 6.892$; $\tau_{Ce} = 2.219$; $\tau_{Cr} = 3.190$).

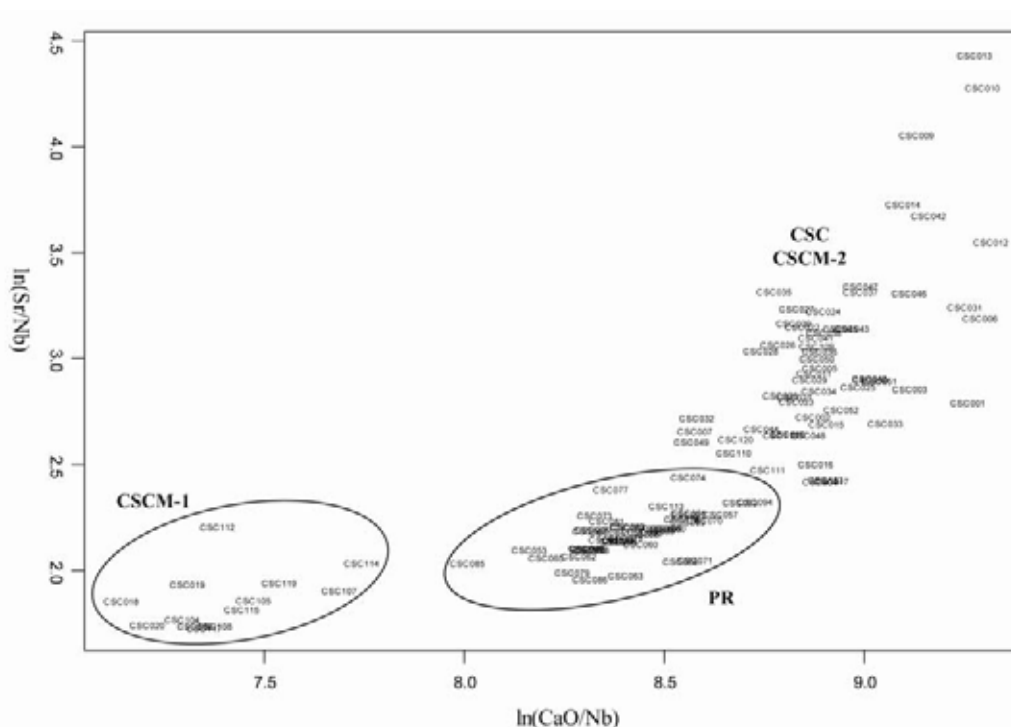


Figura 8.32. Gràfic bivariant dels 112 individus del carrer Princesa i del Mercat de Santa Caterina, amb els valors $\ln(\text{CaO}/\text{Nb})$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{Sr}/\text{Nb})$ a l'eix d'ordenades

Per tal de tenir una idea de la variabilitat de les àmfores recuperades als diferents jaciments arqueològics, s'ha repetit l'operació, individualitzant, aquesta vegada, les àmfores del carrer Princesa de les recuperades a l'àrea del mercat de Santa Caterina. La matriu de variació composicional dels 40 individus amforals i dels 2 pondera del carrer Princesa presenta un valor considerablement baix, ($vt = 0.1233$), indicant el seu caràcter monogènic, com s'espera de la producció d'un taller (Taula 8.11). Si més no, continuen sent el Na_2O i el CaO els elements que provoquen les diferències en la composició de les pastes dels individus, com mostren els valors de τ_{Na_2O} i τ_{CaO} (Casas i Martínez, 2006). En canvi, els 70 individus del mercat de Santa Caterina i del carrer Giralt el Pellicer, que formarien part del mateix jaciment arqueològic, mostren una variabilitat total molt més elevada ($vt = 1.7127$) (Taula 8.12). Veiem, doncs, que el material amforal procedent de l'àrea del Mercat és el causant de l'alta variabilitat composicional que documentàvem en iniciar el tractament estadístic de les àmfores de Barcelona. Això indicaria que entre les àmfores mostrejades en els nivells que reomplien els abocadors ceràmics d'aquest solar, es trobar material de diferents proveniències.

Com ja havíem documentat al centre productor de Ca l'Arnau (Cabrera de Mar), les composicions relatives de CaO , Ba i Sr tornen a jugar un paper important en la variabilitat de les àmfores analitzades de la colònia *Barcino*. Aquesta variabilitat pot ser deguda a diversos factors. D'una banda, l'adopció de diferents estratègies en l'aprovisionament i processat de les matèries primeres o de processos tecnològics diferents, que comportaria, entre d'altres processos, l'ús d'argiles calcàries i/o poc calcàries en els centres de la ciutat. D'altra banda, podria ser la conseqüència d'alteracions d'origen secundari que comportaria la precipitació de carbonats durant el procés deposicional d'alguns dels individus. I, com veïem en el cas anterior, també ara es produeix una correlació directa positiva entre les concentracions relatives de CaO i Sr (Figura 8.32), possiblement deguda a que aquests elements apareixen força relacionats des del punt de vista geo-químic, ja que pertanyen al grup IIA, corresponent als metalls alcalinotérreos.

També sorprèn la variabilitat que s'observa entre els individus ceràmics en quant a la concentració relativa de Na_2O i K_2O . Aquestes diferències poden ser degudes a processos secundaris d'alteració, dels quals parlarem en el capítol següent. Tanmateix, el gràfic bivariant de la Figura 8.33 permet observar una tendència en la que els individus de pasta clara del Mercat de Sta. Caterina, fabricats amb una argila calcària, ofereixen uns valors de Na_2O més alts, però més baixos en K_2O . En canvi, els individus

amb marca de pasta vermella són més propers a les àmfores del carrer Princesa que als individus procedents del mercat, amb concentracions relatives més baixes de Na_2O i més elevades de K_2O .

Com que es poden intuir alteracions d'origen secundari que poden haver modificat la composició química de la pasta durant el procés d'enterrament i que poden ser les causants, en part, de la variabilitat química existent entre els individus del mercat, s'ha repetit el tractament estadístic però sense tenir en compte els elements que poden haver patit alteracions durant el període de deposició.

D'aquesta manera, s'ha tingut en compte només els 110 individus amforals analitzats i no s'han utilitzat les concentracions relatives de Na_2O , K_2O i Rb. La matriu de variació composicional ens dóna, en aquest cas, una $v_t = 1.0748$, que es pot considerar encara molt elevada, tot i que ha disminuït notablement (Taula 8.13). Els elements que mostren més variabilitat continuen sent el MgO, CaO, Sr i Cr, tot i que els valors τ_i de tota la composició són molt elevats. Com a resum d'aquest tractament estadístic, podem observar a la Figura 8.34 el dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats, realitzat amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la

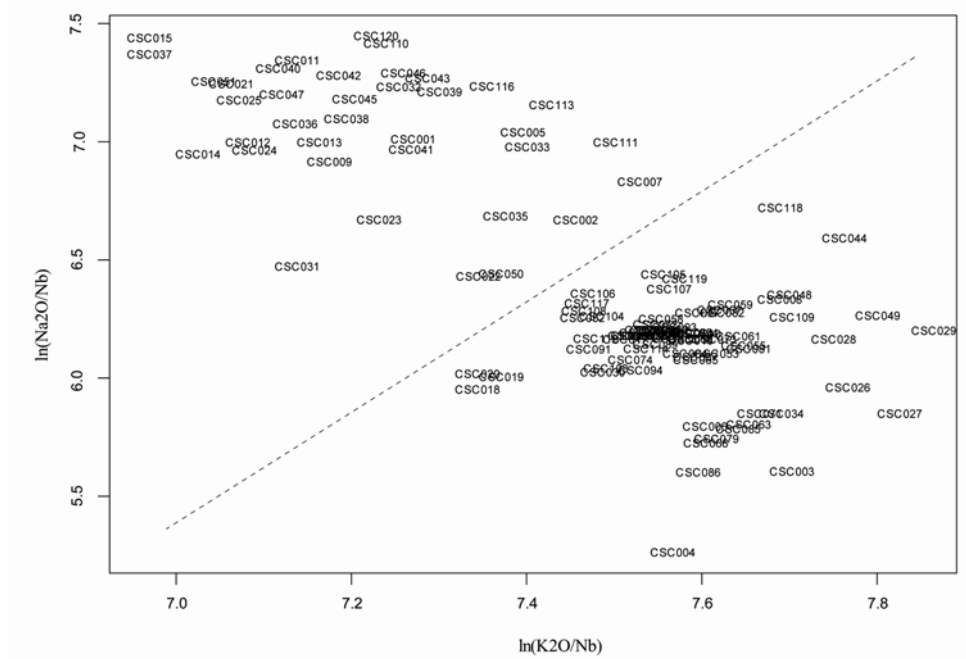


Figura 8.33. Gràfic bivariant dels 112 individus del carrer Princesa i del Mercat de Santa Caterina, amb els valors $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{Nb})$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{Nb})$ a l'eix d'ordenades

subcomposició Fe₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, SiO₂, Ba, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, utilitzant el Nb com a divisor en la transformació de logaritmes de raons. Aquest gràfic posa de relleu una estructura complexa en la que podem estimar una sèrie d'agrupacions, amb més o menys variabilitat interna. Per tal de resumir les diferències químiques entre els grups definits, la Taula 8.14 representa la mitjana aritmètica i la desviació estàndard a la mitjana dels individus corresponents al grup de referència de la producció del taller del carrer Princesa i als grups químics de les àmfores procedents de l'Avinguda Cambó-mercat de Sta. Caterina. Aquests valors són els valors de les dades normalitzades al 100%, sense considerar la pèrdua al foc (PAF).

El conjunt més homogeni està format pels 40 individus del taller del carrer Princesa que formen el grup de referència del taller (GR - PR) (Casas i Martínez, 2006). L'individu ACM049 del mercat també presenta certes semblances amb aquest grup de referència, tot i que les diferències són encara notables com per a considerar que forma part de la producció del taller del carrer Princesa. Així, l'individu CSC049 ofereix concentracions més altes en Ba i Sr que el grup de referència PR, però més baixes de MnO (Taula 8.14).

A una certa distància ultramètrica s'uneixen una sèrie d'individus corresponents a les àmfores amb marca del mercat de Sta. Caterina amb pasta de tonalitat vermella (SCM-1). Aquestes corresponen al *cognomina* LAETI (CSC104), a tres marques amb el *tria nomina* PLOC (CSC115, CSC117 i CSC119) i a tres marques amb el *cognomina* EPAPR (CSC105, CSC106 i CSC107), que presenten poc CaO i més Cr que la resta. Pròximes a aquests pivots de pasta vermella es situa el grup químic SC-1, compost per tres individus de pasta vermella (CSC018, CSC019 i CSC020).

L'altre pivot d'àmfora de tonalitat vermella amb la marca LAETI (CSC112) apareix més associada al grup SC-1 que a les altres marques de Sta. Caterina, ja que tenen valors en MnO, Ba i Sr més elevats que el grup SCM-1 (Taula 8.14).

Finalment, la marca CSC114, que correspon a la lletra P, s'ajunta a aquest conjunt a una major distància ultramètrica, degut a que presenta un contingut en MgO i Sr més elevat, però més baix en MnO (Figura 8.34).

A la dreta del dendrograma, s'estenen la resta de materials procedents de l'Av. Cambó i del mercat de Sta. Caterina, caracteritzats per un alt contingut en calci i magnesi. Com es pot observar, l'estructura d'aquests grups és molt més complexa que la que es troba en el cas de la producció del taller del carrer Princesa (PR).

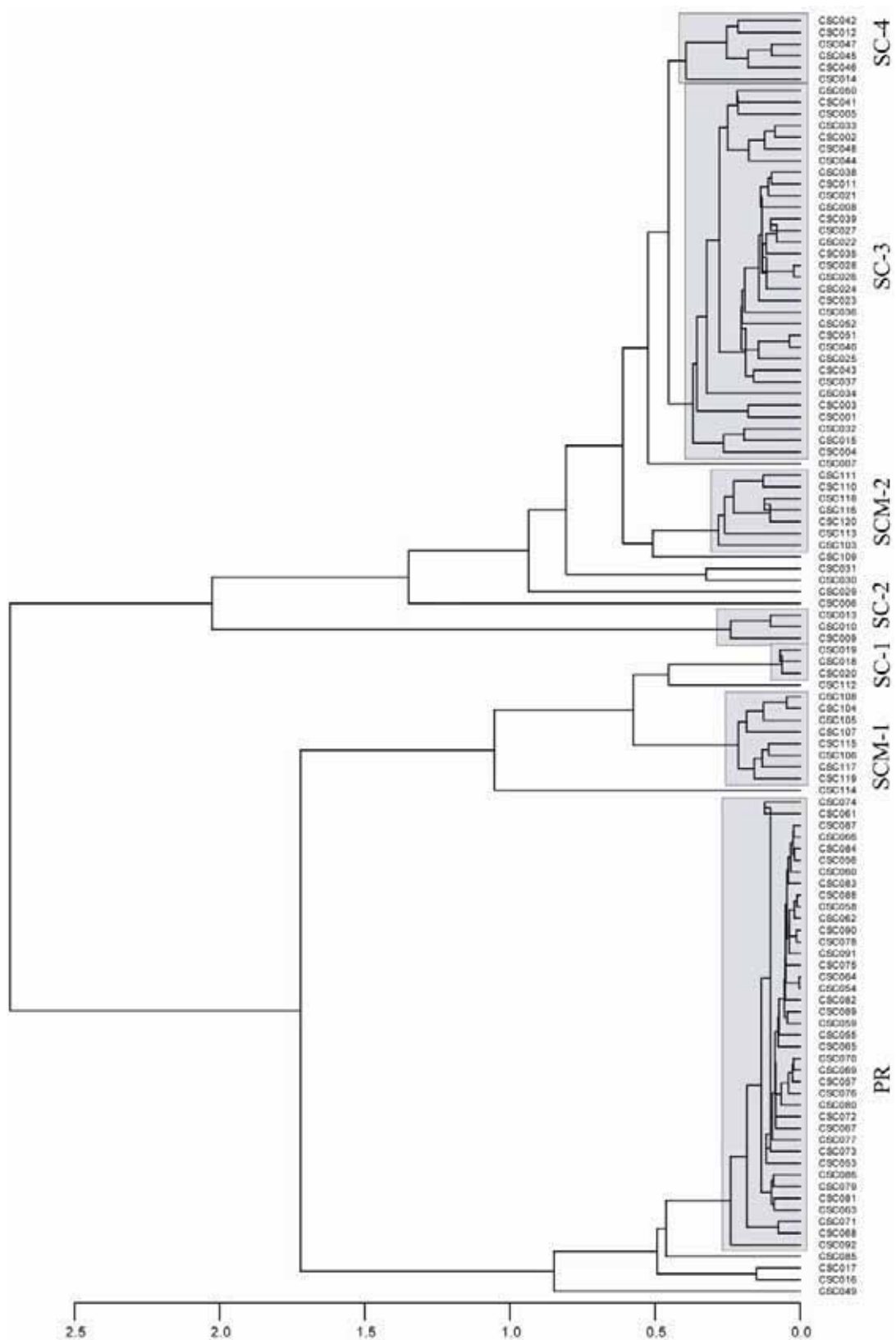


Figura 8.34. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 110 individus amforals del carrer Princesa i del mercat de Sta. Caterina (Barcelona), amb indicació dels grups PR (Princesa) i SC-1, SC-2, SC-3, SC-4, SCM-1 i SCM-2 (Sta. Caterina)

El grup químic SC-2 agrupa als individus CSC009, CSC010 i CSC013, que es separen de la resta d'individus per presentar, bàsicament, concentracions relatives superiors de Ba i Sr. El grup químic SC-4 és, no obstant, el que presenta les màximes concentracions en CaO, Ba i Sr.

Les vuit marques d'àmfora de pasta clara, SCM-2, s'associen més amb aquests conjunts poc uniformes, tot i que resten separades perquè les marques presenten unes concentracions relatives majors de Cr. Aquestes marques corresponen a dos individus amb el *cognomina* LAETI (CSC103, 113), un individu amb el *tria nomina* PLOC (CSC116), tres marques amb l'estampilla LEBS (CSC109, 110, 111) i, finalment, una amb el *cognomina* THEOP (CSC118) i una altra amb la lletra O (CSC120).

La resta d'àmfores, CSC006, CSC007, CSC029, CSC030, CSC031 i CSC109 resten aïllades en l'estructura del dendrograma ja que les seves concentracions relatives difereixen en gran mesura de la resta d'individus analitzats. Tanmateix, l'individu CSC007 s'aproxima als grups SC-3 i SC-4, la marca CSC109 s'associa en certa manera al grup SCM-2 i els individus CSC030 i CSC031 presenten certes semblances químiques.

Donada la variabilitat química existent entre els individus del carrer Princesa i els del mercat de Santa Caterina, ens resulta singular pensar que, en tractar-se de centres productors, les matèries primeres utilitzades siguin tan diferents des del punt de vista químic. Si partim de la hipòtesi que tots dos centres són contemporanis i que en ambdós casos s'han utilitzat les matèries primeres locals, la provinença d'aquestes matèries sembla diferent. En el cas del taller del carrer Princesa, la homogeneïtat de la producció indicaria la fabricació, en aquest punt de l'extraradi de la ciutat, d'àmfores i altres materials ceràmics, com ceràmica comuna i pondera. Les àmfores de l'àrea del mercat de Santa Caterina, destaquen, en canvi, per la seva heterogeneïtat composicional. Nombrosos processos secundaris originats durant l'enterrament d'aquests materials pot haver alterat en gran mesura la seva composició original. Tanmateix, s'evidencien produccions diferents, fabricades amb matèries primeres i processos tecnològics diferents.

Ja que no es coneix cap estructura de forn ceràmic o d'estructures directament relacionades amb la producció ceràmica en l'àrea de la ciutat on es localitza el mercat de Santa Caterina, no es poden considerar, els diversos grups químics identificats, com grups de referència de la producció d'un centre ceràmic.

8.3.2.2. La caracterització petrogràfica

8.3.2.2.1. Princesa

Des del punt de vista petrogràfic, s'han analitzat 5 individus amforals del carrer Princesa (CSC054, CSC058, CSC059, CSC067 i CSC070) que formen part del GR-PR de la producció d'àmfores Pascual 1 d'aquest taller. L'anàlisi petrogràfica per làmina prima mitjançant el microscopi polaritzant permet confirmar el mateix origen, des del punta vista petrogràfic de tots aquests individus, que han estat classificats dins la fàbrica petrogràfica F-PRINC-A. Tanmateix, es poden identificar diferents rangs de temperatura per als 5 individus caracteritzats, aspecte que serà tractat amb profunditat en l'anàlisi dels processos tecnològics de manufactura d'aquests contenidors. No obstant, s'observa que la matriu d'aquestes àmfores, de color marró-vermellós, és òpticament més inactiva en els individus CSC058 i CSC070 que en el cas de les àmfores CSC054, 067 i 059, reflectint canvis en la temperatura de cocció (Làmina 8.7).

L'aspecte general d'aquests individus és heteromètric en quant a les inclusions i el tipus de porositat. Els pors són força freqüents en la matriu ceràmica i es distribueixen de manera uniforme seguint la mateixa direcció que les parets de la ceràmica. (50-600 µm). La porositat és tancada, constituïda per pors de forma allargada i arrodonida que envolten alguns fragments de roca i minerals.

La fracció grollera està representada majoritàriament per fragments de roques ígnies amb aportacions metamòrfiques i sedimentàries. Les roques ígnies dominants són granits i granodiorites formades per quars, feldspat i plagiòclasi o quars, feldspat i moscovita (entre 1000-1500 µm) (Làmina 8.8, a, b). En alguns casos, tant el feldspat potàssic com la plagiòclasi apareixen fortament alterats. Els primers a caolí i la plagiòclasi apareix sovint zonada, alterada a sericita, o amb inclusions vermiformes de quars (Làmina 8.8, c, d). Al costat dels fragments ignis es documenten alguns fragments de quars mono i policristal·lí i plagiòclasi de gran mida.

Les roques metamòrfiques que dominen són fil·lites o pissarres de caràcter minoritari. Aquests fragments són de forma ovalada o circular i presenten mides al voltant de 400-900 µm (Làmina 8.8, e, f, g).

Les roques sedimentàries estan representades per gresos i ciments calcaris, de mides entre els 500 i 800 µm i de forma força arrodonida. Les concentracions de calcita micrítica, que arriben a assolir mides de 500 µm, presenten una corona de reacció amb

els òxids al seu voltant. Les roques sedimentàries estan compostes bàsicament per quars i de vegades de feldspats i fragments de roca (Làmina 8.8, f, h).

La fracció fina està formada bàsicament per fragments de quars monocristal·lí de forma subangular i subarrodonida i amb diverses mides (entre 20 i 100 μm). Aquesta fracció fina de quars ve acompanyada de feldspat alcalí i plagiòclasi. Els filosilicats majoritaris són les làmines de miques moscovites allargades i de mida petita (entre 30 i 280 μm , tot i que abunden amb dimensions entre 50 i 120 μm). També apareixen distribuïdes en la matriu òxids de ferro (entre 90 i 200 μm) i petits nòduls de calcita micrítica. En el cas de l'individu CSC070, s'han observat cristalls de calcita de caràcter primari. Tanmateix, també es documenten cristallitzacions de calcita secundària a la matriu ceràmica i a l'interior dels pors.

8.3.2.2.2. Santa Caterina

Una selecció de vuit individus procedents del mercat de Santa Caterina han estat caracteritzats petrogràficament (CSC001, 003, 008, 017, 020, 023, 026 i 037). Tots els individus corresponen al grup químic SC-3 excepte l'àmfora CSC020 que pertany al grup químic SC-1. L'anàlisi de les làmines primes d'aquests individus mitjançant el microscòpic òptic polaritzant ha permès identificar una composició geològica homogènia caracteritzada per roques ígnies amb aportacions metamòrfiques i sedimentàries. Tanmateix, alguns trets permeten diferenciar diverses tecnologies de fabricació en els vuit individus analitzats, que donen lloc a diverses fàbriques petrogràfiques.

Els individus CSC001, 008, 017, 023, 026 i 037 formen la fàbrica petrogràfica FP-CSC-A1. Es caracteritzen per presentar en una proporció semblant fragments de roca ígnia, metamòrfica i sedimentària que conformen la fracció grollera, així com grans fragments de minerals despresos d'aquests materials. Aquestes partícules es distribueixen en una matriu de color marró clar-rosat, òpticament inactiva (Làmina 8.9).

Les partícules presenten una distribució preferencial resseguint l'àrea perifèrica a les parets dels individus. Contràriament, la porositat, tancada, apareix força concentrada a l'interior de la matriu, adoptant una forma oval que segueix la mateixa orientació que les parets de l'àmfora. En alguns casos es tracta de grans vaquols que fan fins 3000 μm de longitud.

Els fragments de roca ígnia de tipus granitoide estan formats bàsicament de quars, feldspat potàssic i plagiòclasi o quars, feldspat i mica. Les mides d'aquestes inclusions varien entre 500 i 1700 μm i la forma acostuma a ser subarrodonida (Làmina 8.10). També dominen en la pasta ceràmica els grans de quars de forma allargada i subangular, amb mides al voltant de 400 a 700 μm . Alguns fragments de microclina i plagiòclasi també formen part de la fracció grollera (entre 300 i 700 μm), de vegades alterats, la primera caolinitzada i la segona zonada o alterada a sericita (Làmina 8.10, a, c, d, e).

Al costat de les roques i minerals de roques ígnies apareixen fragments de pissarres o fil·lites de forma allargada i oval (entre 400 i 800 μm), formats per una matriu moscovítica i petits fragments de quars (Làmina 8.10, a, b, g). També apareixen alguns fragments sedimentaris, corresponents a gresos de forma subarrodonida, amb mides que varien entre 400 i 800 μm (Làmina 8.10, c, d, f, g). Algunes concentracions circulars de calcita micrítica són presents sobretot a tocar les parets interna i externa de l'àmfora (entre 300-1100 μm) (Làmina 8.10, a). Sovint es veuen cristallitzacions de calcita secundària envoltant la perifèria dels pors (Làmina 8.10, c, e). Finalment, els minerals opacs presents mostren una forma arrodonida i mides d'entre 400-500 μm . La fracció fina es compon bàsicament de fragments de quars (entre 20 i 100 μm), normalment de forma subarrodonida. Els filosilicats venen representats per una làmina de miques (50-150 μm). Minerals opacs també apareixen com a fracció fina, de forma rodona (entre 50 i 150 μm). En alguns d'aquests individus s'aprecien, tot i que no sempre de forma clara, grumolls d'argila a la pasta ceràmica (Làmina 8.10, h).

L'individu CSC003 forma la fàbrica petrogràfica FP-CSC-A2. La matriu de és de color marró clar, òpticament inactiva i es caracteritza per la gran abundància de concentracions de calcita micrítica (Làmina 8.9). La porositat és elevada, distribuïda generalment a la part central de la matriu, i es desenvolupa en pors grans i petits de forma allargada (80-800 μm) o arrodonida (600-300 μm), tot i que sempre és tancada. La composició litològica grollera predominant de la làmina prima de l'individu CSC003 correspon a roques ígnies de tipus granitoide, de forma allargada, de subangular a subarrodonida (300-1000 μm). Aquests materials plutònics es componen principalment de quars, feldspat potàssic i plagiòclasi, que apareixen de forma individual, com a partícules despreses de les roques ígnies (Làmina 8.11, a, b, c, d, e, f). En alguns casos, tant la microclina com la plagiòclasi apareixen alterades, sobretot la plagiòclasi, normalment zonada o alterada a sericita. Les roques sedimentàries són força comunes i

venen representades per una sèrie de gresos de forma allargada subarrodonida que varien entre 400 i 1400 μm (Làmina 8.11, b), que segueixen la mateixa orientació de les parets de l'àmfora. Finalment, en menor proporció apareix una sèrie de roques metamòrfiques, bàsicament pissarres i micaesquistos (Làmina 8.11, c, h), de forma quadrangular o allargada, arrodonits i de mida més petita (300-600 μm). El component majoritari d'aquestes inclusions metamòrfiques són els cristalls de biotita i/o mica envoltant i sobreposats als petits cristalls de quars. Una característica d'aquesta làmina és la presència dominant de concentracions de calcita micrítica de tendència circular (al voltant de 300 μm) i menys freqüentment allargada (200-1000 μm) (Làmina 8.11, c, d, e). També es troben cristallitzacions de calcita secundària dins la porositat (Làmina 8.11, b, d, e). Acompanyen la fracció grollera una sèrie d'opacs de forma allargada i sub-arrodonida, que varien entre 100 i 500 μm . De forma rara, apareixen alguns fragments petits d'amfibols de tipus hornblenda (125 μm) (Làmina 8.11, d). La fracció fina de la matriu està dominada per petits fragments de quars (20-100 μm), distribuïts de forma unimodal, mostrant un caràcter força arrodonit. L'altre component de la fracció fina són les biotites de forma allargada i fina. Si bé la fracció que predomina presenta unes mides entre 40 i 100 μm , en alguns casos la biotita assoleix els 270 μm . A més d'aquesta composició litològica, l'individu CSC003 es caracteritza igualment per presentar grumolls d'argila (Làmina 8.11, e, f), que assoleixen mides entorn els 800-1000 μm .

Finalment, l'individu poc calcari CSC020 constitueix per si mateix la fàbrica petrogràfica FP-CSC-B. La matriu d'aquest individu és de color marró-vermellós, òpticament activa. Les partícules es distribueixen de forma homogènia, amb porositat baixa i sense mostrar una orientació preferent (Làmina 8.9). La fracció grollera és menys freqüent que als individus anteriors. Aquesta es compon principalment de roques ígnies de tipus granitoide, de forma quadrangular a allargada i mesuren entre 550 i 1400 μm . Aquestes partícules estan formades per quars, feldspat potàssic i plagiòclasi, que apareixen alterats i, en el cas de la plagiòclasi, també zonada (Làmina 8.12, a, b). Fragments d'aquests minerals, sobretot quars, apareixen distribuïts per la matriu ceràmica de manera unimodal. La forma d'aquests fragments és de tendència arrodonida (100-300 μm). A més d'aquesta fracció dominant, els fragments de roca sedimentària són força comuns (Làmina 8.12, c). Es tracta bàsicament de gresos de forma allargada i sub-arrodonida, que mesuren entre 700-1500 μm . Finalment, les roques metamòrfiques també hi són presents. Apareixen alguns fragments de pissarres i esquistos de forma

quadrangular i generalment allargada, i mides entorn 400-1200 μm (Làmina 8.12, d, e). Com a mineral accessori es documenta la presència d'amfibols de tipus hornblenda, de color vermell a marró en nícols creuats (364 μm) (Làmina 8.12, f). Les partícules opaques són poc freqüents (200-300 μm). Les concentracions de calcita micrítica són rares, però la seva presència podria indicar una baixa temperatura de cocció, ja que no ha arribat a descomposar-se totalment (entre 300-1000 μm). La fracció fina es compon principalment de cristalls de quars, de tendència arrodonida, que mesuren al voltant de 20-100 μm . Acompanyant aquestes partícules, les biotites i miques de forma allargada arriben a assolir, en alguns casos, mides de 200 μm .

8.3.2.3. La caracterització tecnològica

Per tal d'analitzar els processos tecnològics portats a terme en la fabricació de les àmfores del carrer Princesa i del mercat de Santa Caterina que conformen els diferents grups químics identificats mitjançant la FRX, els 112 individus ceràmics han estat analitzats mineralògicament per DRX. Aquesta tècnica, juntament amb l'anàlisi petrogràfica, ens aproximarà al coneixement del tipus de constituents que formen la pasta ceràmica, del tipus d'atmosfera de cocció i post-cocció i de la temperatura de cocció. La selecció de les matèries primeres i d'uns processos de cocció determinats donarà com a resultat una gran varietat d'àmfores amb característiques físiques (microestructura, color, etc.) i propietats físiques (porositat, resistència mecànica a la fractura, tenacitat, etc.) diferents. Tanmateix, com hem indicat anteriorment, el procés d'ús, deposició i post-deposició de les ceràmiques arqueològiques pot haver provocat alteracions i transformacions mineralògiques que repercutiran en canvis en la composició química i en les seves propietats físiques i mecàniques finals (Picon, 1973, 1991; Tite *et al.*, 2001).

Des del punt de vista tecnològic, les àmfores del grup de referència PR i dels grups químics SC-2, SC-3, SC-4 i SCM-2, són calcàries, mentre que les àmfores dels grups químics SC-1 i SCM-1 són poc calcàries. Aquesta diferència entre ceràmiques poc calcàries (amb un contingut de CaO inferior al 5-6%) i calcàries (amb un contingut de CaO superior al 5-6%) comporta importants variacions tecnològiques tant en el

procés de producció de les ceràmiques com en les seves propietats finals (Heimann, 1982, 1989; Heimann, Maggetti 1981; Maniatis *et al.*, 1981). Aquesta divisió es pot observar en situar els individus estudiats en el diagrama ternari del sistema CaO-Al₂O₃-SiO₂ (Figura 8.35). Les àmfors del carrer Princesa (PR) i els individus poc calcaris del mercat (CSCM-1) o els pròxims a la producció del taller del carrer Princesa (CSC016, CSC017 i CSC049) es situen dins el triangle de compatibilitat quars-anorthita-mullita, indicant que les concentracions en CaO són poc importants. En canvi, la resta d'individus calcaris del mercat, entre els quals es troben els pivots amb marca de pasta clara, s'agrupen de forma més dispersa en el triangle de compatibilitat quars-wol·lastonita-anorthita (Heimann, 1989; Maggetti, 1982).

8.3.2.3.1. Princesa

Entre els individus amforals del carrer Princesa, s'han seleccionat les àmfors CSC071 i CSC073 per a realitzar experiments de recocció a 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050 i 1100°C. L'anàlisi per DRX de les mostres resultants de la cocció a cada rang de temperatura ens permet estimar l'evolució de les fases cristal·lines amb l'increment de la temperatura de cocció. D'aquesta manera, es pot crear un model que

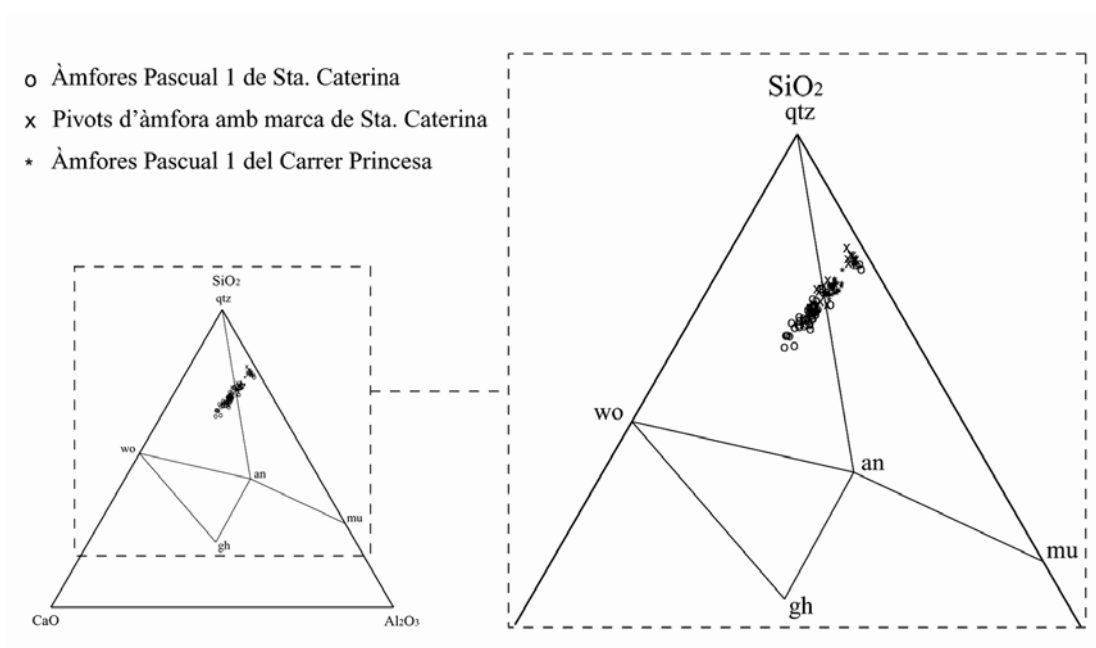


Figura 8.35. Diagrama ternari del sistema CaO-Al₂O₃-SiO₂ amb l'emplaçament dels 110 individus analitzats: qtz = quars (SiO₂); wo = wol·lastonita (CaSiO₃); an = anorthita (CaAl₂Si₂O₈); mu = mullita (Al₆Si₂O₁₃); gh = gehlenita (Ca₂Al₂SiO₇)

serà utilitzat posteriorment com a patró en l'estimació de la TCE de les diverses fàbriques mineralògiques identificades per al grup de referència PR.

A 750°C, l'individu ACM071 presenta fases cristal·lines primàries com les il·lites moscovites, el quars, el feldspat potàssic i la plagiòclasi, minerals que trobem també per làmina prima (Làmina 8.8). La calcita continguda a l'individu CSC071 és encara present a 750°C. També es detecta la cristal·lització d'òxids de ferro, com l'hematites (Figura 8.36). Aquestes fases es mantenen fins als 900°C excepte la calcita, que a partir de 800°C mostra una forta reducció i a 850°C ja ha desaparegut totalment. A 900°C, els piroxens comencen a cristal·litzar, mentre que la gehlenita apareix amb un pic molt intens que contrasta amb la seva absència a 850°C. Les il·lites es mantenen fins a 1000°C i, a partir d'aquesta temperatura, s'observa un increment dels pics de piroxens i d'hematites, mentre que els pics de gehlenita apareixen ara més reduïts. Aquesta, però, és encara present a 1100°C, temperatura en la que els pics de feldspat potàssic, plagiòclasi i piroxens apareixen més intensos. Els pics de quars experimenten una petita reducció a partir de 1050°C, però són sempre ben representatius.

A partir de les fases cristal·lines identificades a cada rang de temperatura, podem estimar que la TCE de l'individu CSC071 ha de ser inferior a 750°C, ja que el difractograma de l'individu CSC071 en l'estat com es rep (ECER) no presenta la cristal·lització d'hematites que si veiem en el difractograma de la mateixa mostra cuita a

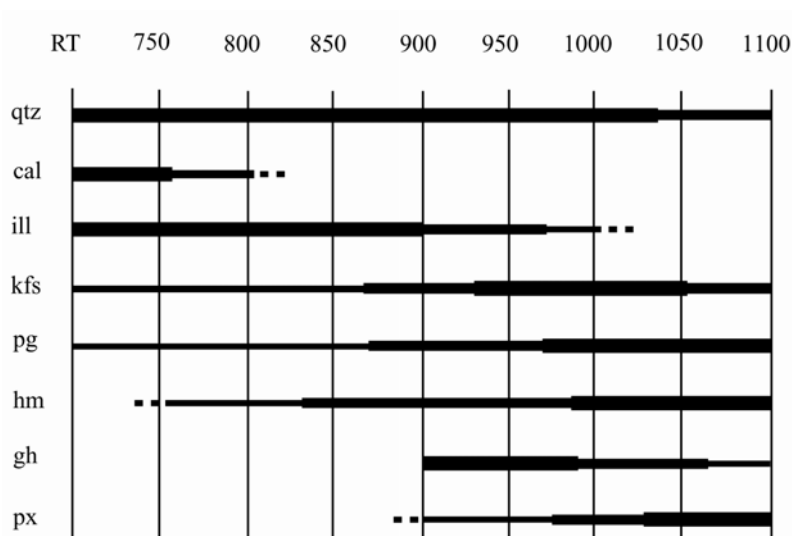


Figura 8.36. Resultats dels experiments de recocció de l'individu CSC071, corresponent a la fàbrica PR-F1 del carrer Princesa de Barcelona. RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovota; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; gh: gehlenita; px: piroxè

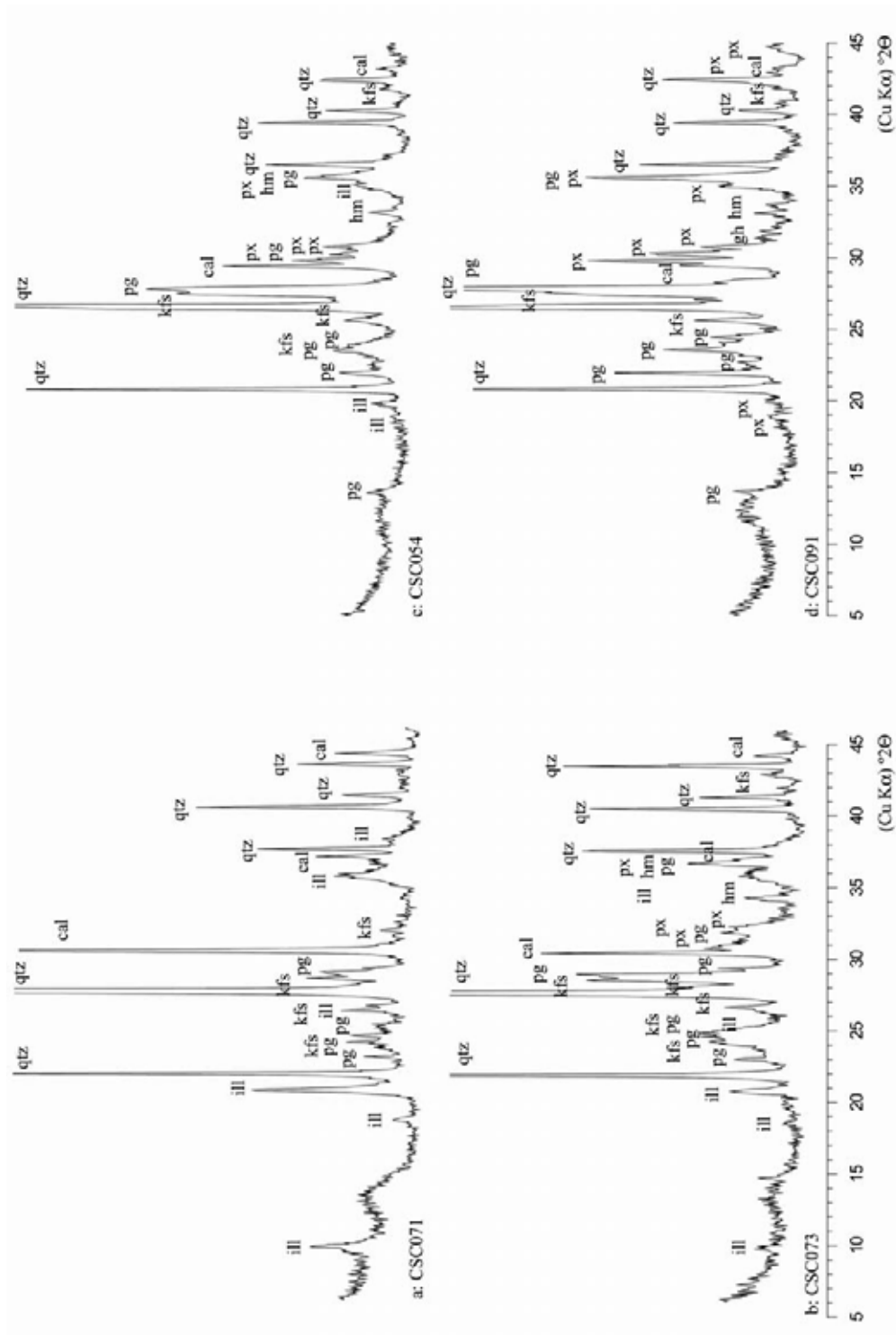


Figura 8.37. Difractograms corresponents a les fàbriques mineralògiques PR-F1 (a), PR-F3 (b), PR-F4 (c) i PR-F5 (d) del grup de referència PR de la producció ceràmica del taller del carrer Princesa (Barcelona). cal: calcita; hm: hematites; ill: il·lita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxe; qtz: quars

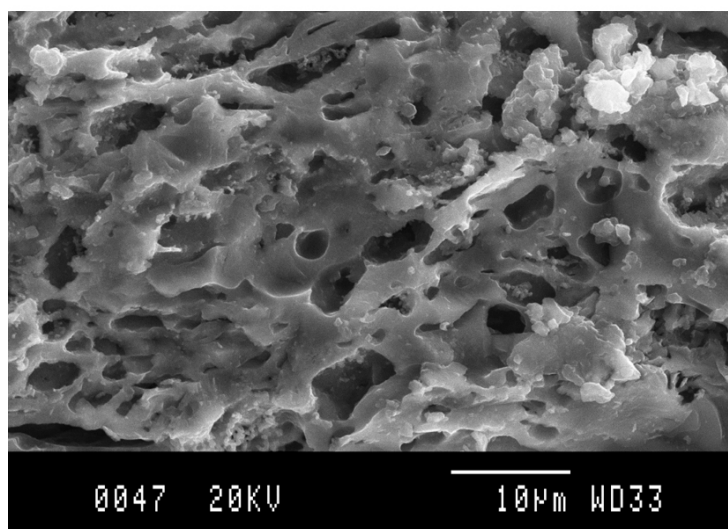
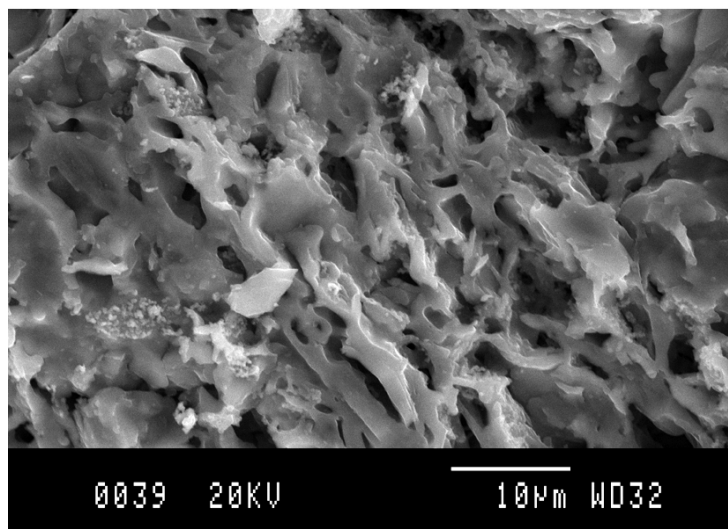
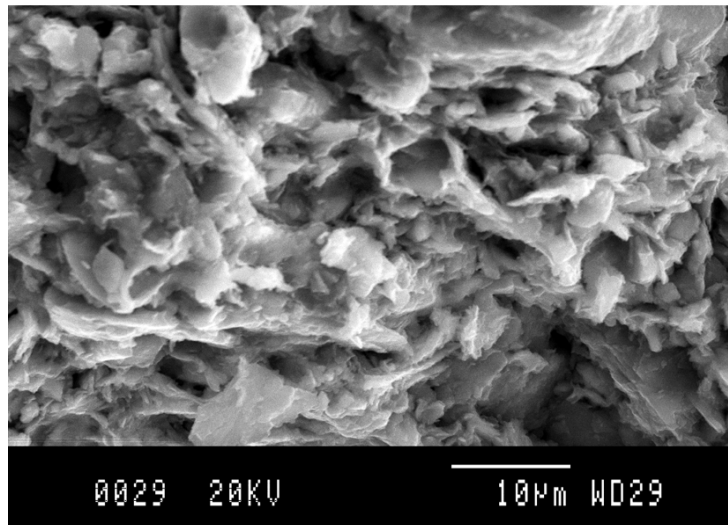


Figura 8.38. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu CSC071 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

750°C (Figura 8.37 a). La calcita continguda a la mostra en l'ECER pot considerar-se, en part, primària. No obstant, també pot respondre, en part, a calcita secundària fixada en la matriu ceràmica durant el procés d'enterrament. Ja que a l'individu CSC071 en l'ECER només s'observen fases primàries i, degut a la textura i poca resistència que presenta aquest material, pensem que pot tractar-se d'un envàs que no ha estat cuit. Les mateixes característiques mostra l'individu CSC086 i, com que els seus difractogrames són molt similars, aquests dos individus han estat classificats en la fàbrica mineralògica PR-F1 (Taula 8.15). Aquests dos individus, doncs, o no han estat cuits o, en cas d'estar-ho estat, la TCE no ha sobrepassat els 750°C. A aquesta temperatura, però, el cos ceràmic no ha assolit l'estat de rigidesa i vitrificació necessaris per a que l'àmfora esdevingui un material dur, impermeable i resistent. Això suggereix l'anàlisi per MER de la fractura fresca de l'individu CSC071 en l'ECER, que evidencia que la fase vítria no s'ha iniciat (Figura 8.38, superior). Aquest mateix individu cuit a 950°C presenta una intensa fase vítria de la matriu calcària i un alt estadi de sinterització (Figura 8.38, central). Finalment, a 1100°C, la matriu es compon d'una massa densa vidriada i l'estadi de sinterització és total (Figura 8.38, inferior).

L'experiment de recocció realitzat sobre l'individu CSC073 presenta unes fases cristal·lines una mica diferents a mesura que augmenta la temperatura de cocció (Figura 8.39). La calcita ha desaparegut quasi completament a 800°C i a 850°C ja no s'observa

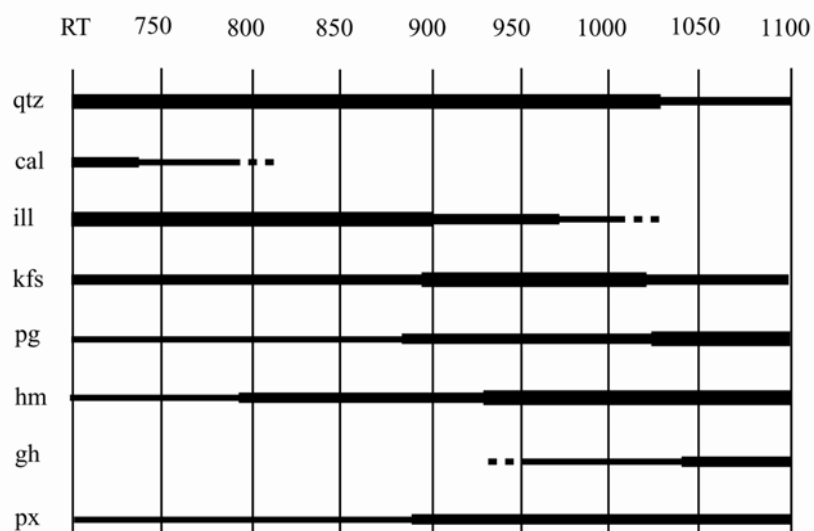


Figura 8.39. Resultats dels experiments de recocció de l'individu CSC073, corresponent a la fàbrica PR-F3 del carrer Princesa de Barcelona. RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovota, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; gh: gehlenita; px: piroxè

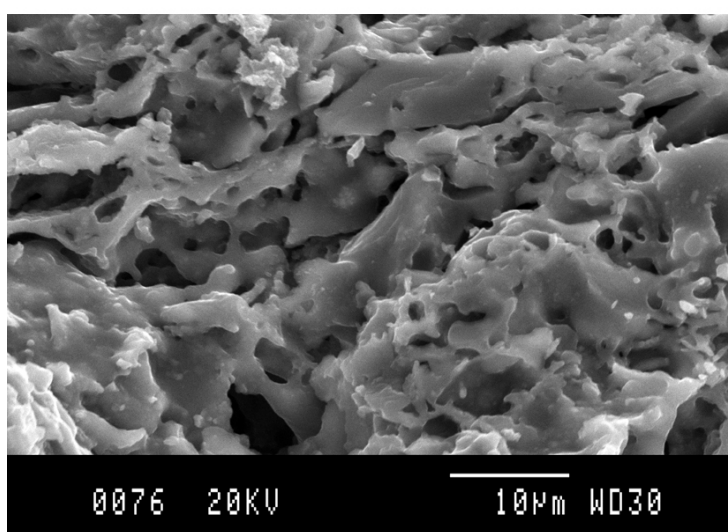
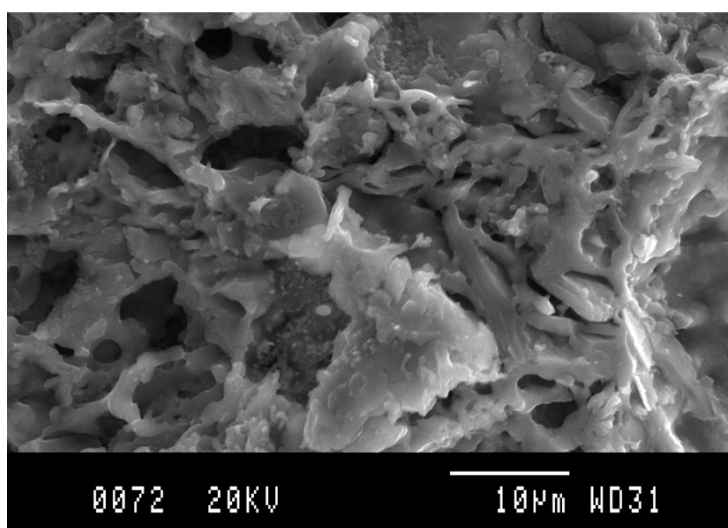
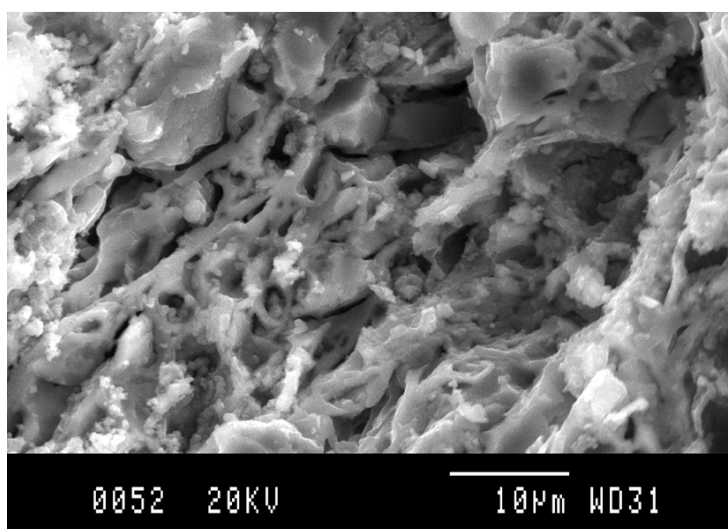


Figura 8.40. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu CSC073 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

cap pic. El feldspat potàssic i la plagiòclasi, presents sempre, incrementen la seva intensitat a mesura que augmenta la TCE. Els pics mostren un creixement a 900°C, però és a partir de 1050°C quan mostren una major intensitat. Les il·lites es mantenen de manera notable fins 900/950°C fins desaparèixer entorn 1000°C ja que a 1050°C ja no s'observa cap pic. Els cristalls d'hematites són presents a qualsevol rang de temperatura. A 950°C, aquests cristalls apareixen ben cristal·litzats, però els pics més intensos es donen a partir de 1050°C i sobretot a 1100°C. Els pics de piroxens són presents a l'individu CSC073 en l'ECER així com en els diferents rangs de temperatura. Tanmateix, s'observa un increment en la intensitat dels pics a partir de 950°C, que serà encara superior entre 1050 i 1100°C. La gehlenita cristal·litza en aquest individu a partir de 950°C i a 1050°C la seva presència és més notable.

Si comparem l'evolució de les fases cristal·lines identificades en els diferents rangs de temperatura a que ha estat recuit l'individu CSC073 amb el difractograma obtingut en l'ECER, ens porta a estimar la seva TCE entre 800-900°C. Els individus CSC053, 055, 073, 075, 081, 083 i 087 mostren uns difractogrames similars a l'individu CSC073. Es caracteritzen per la presència de fases primàries com les il·lites, que té representats tots els pics, el quarz, el feldspat potàssic i la plagiòclasi (Figura 8.37 b). També es troba ben representada la calcita en aquests difractogrames. Part d'aquest mineral pot ser considerat d'origen primari, ja que els experiments termodifractomètrics mostren que a 800°C encara és mínimament present i a 850°C ja ha desaparegut. Tanmateix, part d'aquesta calcita pot respondre a la fixació de carbonats durant l'enterrament. Aquests minerals apareixen acompanyats de fases de cocció, com la incipient cristal·lització de l'hematites i dels piroxens. La presència conjunta d'aquestes fases, unida a l'absència de la gehlenita, ens porta a estimar, doncs, una TCE entre 800-900°C. Els difractogrames dels individus CSC063, 079 i 086 representen unes fases intermitjies entre aquest darrer grup identificat i el corresponent a la fàbrica PR-F1. Les fases cristal·lines d'aquests tres individus són molt similars a les de la fàbrica PR-F1, si bé les il·lites presenten menys intensitat i es documenta, a més, la cristal·lització de l'hematites. Per aquest motiu, s'ha considerat la TCE d'aquests tres individus entorn 750-800°C i han estat agrupats en la fàbrica PR-F2. Els altres sis individus que presenten una TCE una mica superior (800-900°C) i que s'associen a l'individu CSC073, han estat agrupats en la fàbrica PR-F3 (Taula 8.15).

L'anàlisi per MER de l'individu CSC03 en l'ECER i recuit a 950°C i a 1100°C permet avaluar la transformació que experimenta la microestructura amb l'augment de

temperatura. A 800°C, la matriu de l'individu CSC073 presenta una vitrificació inicial en alguns punts (Figura 8.40, superior). A 950°C, la fase vítria és intensa i s'estén per tota la matriu ceràmica (Figura 8.40, central). A 1100°C, la vitrificació és total i la matriu ha esdevingut una massa densa en la que les làmines d'argila es mostren totalment sinteritzades (Figura 8.40, inferior).

La comparació entre els difractogrames de la resta d'individus i els patrons identificats en els experiments termodifracromètrics permet definir altres fàbriques de més alta temperatura de cocció.

La fàbrica PR-F4 ve representada pels individus CSC054, 064, 065 i 084, caracteritzats per presentar les mateixes fases cristal·lines que la fàbrica anterior, però la intensitat dels pics de les il·lites ha disminuït notablement, fins desaparèixer el pic de 10Å. A més, els pics de piroxè apareixen força més desenvolupats (Figura 8.37 c). La TCE estimada es situa entorn 900/950-1000°C (Taula 8.15).

La majoria d'individus s'agrupen en la fàbrica de més elevada temperatura, PR-F5, ja que les il·lites han desaparegut totalment, fet que indicaria una TCE superior a 1000°C (Taula 8.15). A més, aquests difractogrames mostren uns pics més intensos de feldspat potàssic, plagiòclasi, hematites i piroxens i s'observa, a més, la cristal·lització de la gehlenita (Figura 8.37 d).

8.3.2.3.2. Santa Caterina

Per tal d'avaluar l'evolució de les fases cristal·lines en els individus que formen el grup químic SC-1, s'ha realitzat un experiment de recocció sobre l'individu poc calcari CSC020 de pasta vermella. A 800°C, la calcita s'ha descompost totalment però resten altres fases primàries com el quars, les il·lites, els feldspats potàssics, la plagiòclasi i l'hematites, que podria tractar-se, en part, d'una fase de cocció (Figura 8.41). A partir de 850°C, s'observa la cristal·lització de l'espinel·la. Tanmateix, a partir de 1000°C desapareixen les il·lites i es fan més intenses altres fases minerals de cocció com l'hematites i l'espinel·la. A partir de 1050°C, es documenta un gran increment de la plagiòclasi en detriment dels feldspats potàssics, així com una gran intensitat dels pics d'hematites. La cristal·lització d'aquests òxids de ferro contribuirà a crear una tonalitat vermella cada cop més intensa, a mesura que augmenta la temperatura de cocció.

Aquesta anàlisi ens permet estimar una TCE entre 800-850°C per a l'individu CSC020 en l'ECER.

A partir de l'evolució de les fases mineralògiques que experimenta aquest individu, podem considerar dues fàbriques en el grup químic SC-1 (Taula 8.15). Una de baixa temperatura, SC-1A (Figura 8.42, esquerra), en la que s'observen bàsicament les fases cristal·lines primàries (quars, filosilicats del tipus de les il·lites moscovites, calcita, feldspats potàssics i plagiòclasi), així com la cristal·lització de l'hematites. Aquestes fases ens porten a estimar una TCE al voltant dels 750-800°C per als individus CSC018 i CSC019. En canvi, a l'individu CSC020, corresponent a la fàbrica SC-1B, els pics d'il·lites i de calcita han disminuït considerablement i s'aprecia la cristal·lització de l'espinel·la. La TCE es situa entorn 800-850°C (Figura 8.42, dreta).

L'anàlisi per MER de l'individu CSC020 en l'estat com es rep (ECER), i recuit a 950 i a 1100°C permet observar les transformacions que pateix la microestructura amb l'augment de la temperatura. En l'ECER, és a dir, cuit entorn els 800-850°C, la matriu ceràmica mostra els primers efectes de la fase vítria en determinats punts així com un estat de vitrificació inicial (Figura 8.43, superior). A 950°C, les partícules d'argila apareixen ben sinteritzades i l'estat de vitrificació és extensiu a gran part de la matriu, excepte en els punts de connexió amb les partícules no plàstiques, que apareixen encara individualitzades (Figura 8.43, central). Finalment, a 1100°C, la matriu ceràmica ha patit canvis importants (Figura 8.43, inferior). L'estat de vitrificació és total i els

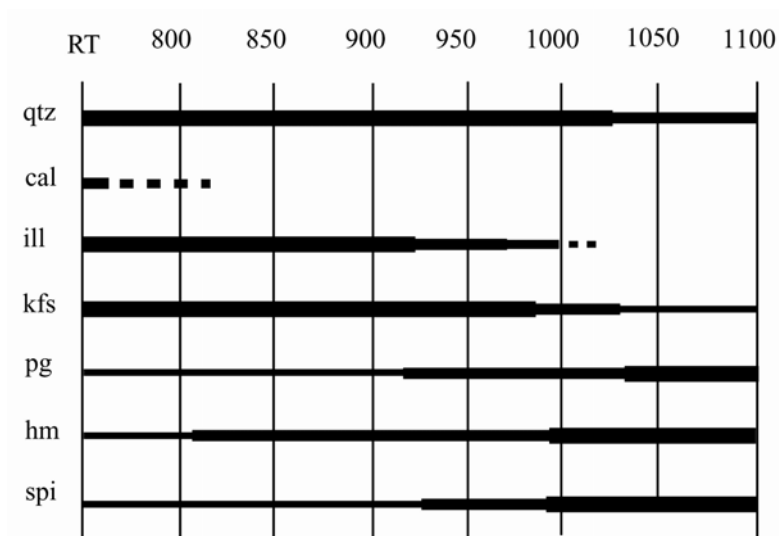


Figura 8.41. Resultats dels experiments de recocció de l'individu CSC020, corresponent a la fàbrica SC-1B del mercat de Santa Caterina. RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovita, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematite; spi: espinel·la

constituents de la pasta formen unes masses vídrioses amples en les que el grau de sinterització de les partícules és força elevat.

El grup químic SC-2 ve representat per una sola fàbrica mineralògica d'alta temperatura (CSC009, 010 i 013). Els difractogrames mostren fases cristal·lines de cocció, com la gehlenita i els piroxens, així com una forta representació dels pics de plagiòclasi i d'hematites (Taula 8.15). La presència d'aquestes fases i l'absència d'il·lites ens porta a estimar una TCE superior a 1000°C. La calcita present a la mostra deu correspondre, segurament, a cristal·litzacions de calcita secundària, ja que els carbonats haurien estat descompostos en assolir una temperatura de cocció superior a 800-850°C (Figura 8.44). A més, s'observa la cristal·lització de l'analcima. Aquest mineral és una zeolita sòdica ($\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) que s'identifica en ceràmiques calcàries cuites a alta temperatura o sobrecuites. La seva formació com a fase secundària sembla estar en relació amb l'alteració de la fase vítria desenvolupada per les ceràmiques en ser cuites a alta temperatura. Aquesta alteració es produeix en el material format per silicats i comporta un procés doble. D'una banda, l'alteració de la fase vítria de ceràmiques calcàries cuites a una temperatura elevada, amb la lixiviació de potassi i, normalment, també de rubidi. Posteriorment, sobre aquesta fase vítria alterada es produeix la cristal·lització de l'analcima que comporta la fixació de sodi al·lòcton (Buxeda, 1999a; Buxeda *et al.*, 2002; Schwedt *et al.*, 2006).

En quant al grup químic SC-3 corresponent a àmfors calcàries i amb alt contingut en MgO, s'ha realitzat un experiment termodifractomètric sobre l'individu CSC027, per tal d'observar l'evolució de les fases cristal·lines amb l'augment de la

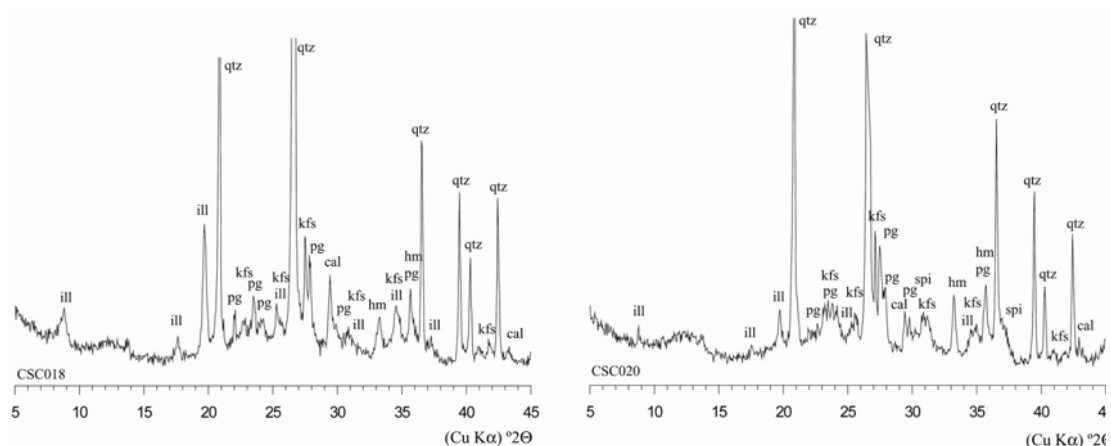


Figura 8.42. Difractogrames corresponents a les fàbriques SC-1A i SC-1B del grup químic SC-1 de Santa Caterina (Barcelona). cal: calcita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; qtz: quars; spi: espinel·la

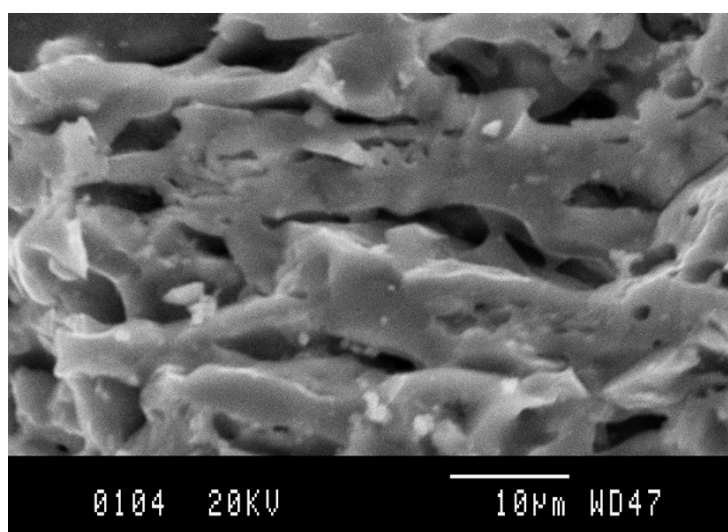
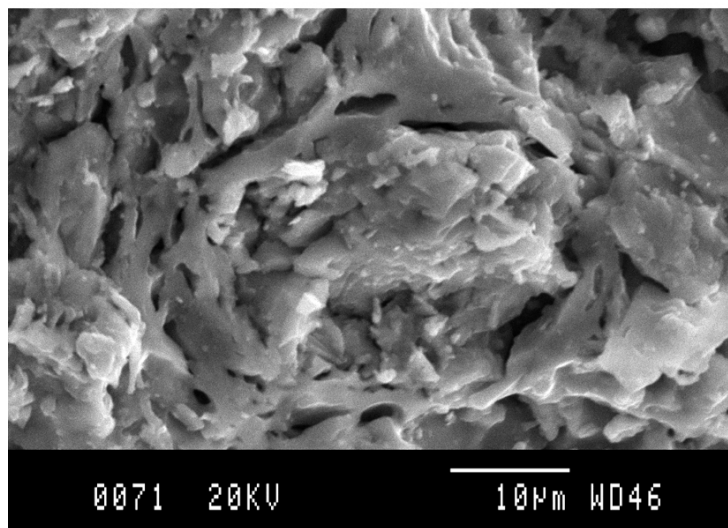
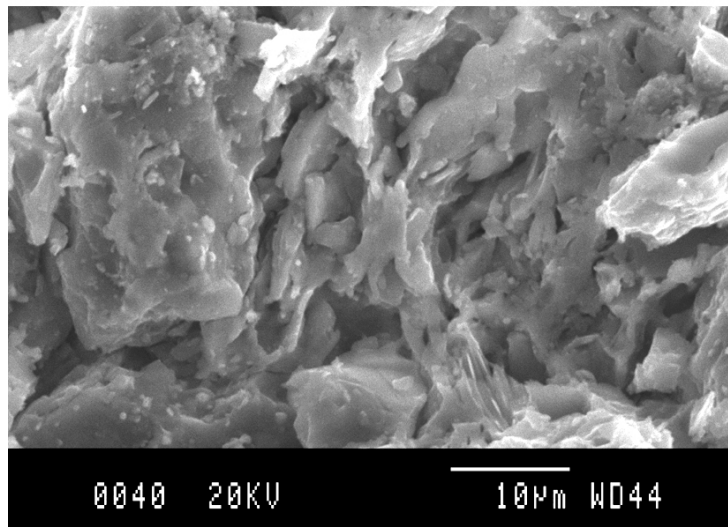


Figura 8.43. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu CSC020 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

temperatura de cocció i així estimar la TCE per als individus d'aquest grup químic. La Figura 8.45 mostra com, entre 800-850°C, la calcita s'ha descompost totalment i això confirmaria que, amb molta probabilitat, part dels carbonats presents als individus de Santa Caterina són d'origen secundari. Les il·lites apareixen com a fase primària però desapareixen completament entorn de 1000°C. L'hematites, present a tots els rangs de temperatura, apareix sempre poc desenvolupada. Altres fases primàries, com la plagiòclasi, experimenten un gran desenvolupament amb l'augment de la temperatura, sobretot quan aquesta és superior a 1000°C i especialment a 1100°C. Des de 850°C, s'observa la cristal·lització de la gehlenita i dels piroxens, que es desenvolupen amb més intensitat a partir dels 1000°C i, especialment, a 1100°C.

A partir d'aquesta anàlisi podem identificar 4 fàbriques mineralògiques diferents per als individus d'aquest grup químic.

Els individus CSC027 i CSC004, que presenta un difractograma molt similar, han estat agrupats en la fàbrica SC-3A (Taula 8.15). Són les àmfores del grup químic SC-3 cuites a més baixa temperatura, que s'estima inferior a 850°C per l'absència de la gehlenita (Figura 8.46, esquerra). L'individu CSC003 (fàbrica SC-3B) sembla cuit a una TCE al voltant de 850-950°C, ja que s'observa la cristal·lització de gehlenita i els pics de piroxè són més intensos. A temperatures entorn els 950-1000/1050°C, els filosilicats

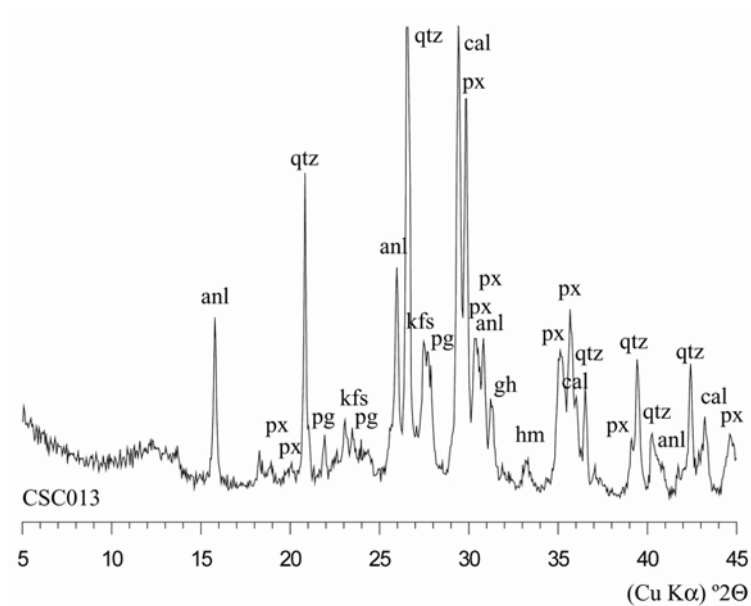


Figura 8.44. Diffractograma corresponent a la fàbrica SC-2A d'alta temperatura (superior a 1000°C) del grup químic SC-2 de Santa Caterina (Barcelona). anl: analcima; cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

de tipus il·lita moscovita han desaparegut quasi totalment i les fases de cocció apareixen amb més intensitat (fàbrica SC-3C). Finalment, la fàbrica SC-3D és similar a la fàbrica anterior en quant a la TCE estimada. Tanmateix, es diferencia per la presència, en un gran nombre d'individus de pasta clara, de la cristal·lització de l'analcima com a fase secundària (Figura 8.46, dreta). En tots els individus que formen les 4 fàbriques del grup químic SC-3 s'observa la presència de calcita, que probablement, té un origen secundari, ja que a partir dels 800-850°C s'hauria descompost per donar pas a la formació de fases de cocció.

L'anàlisi per MER de l'individu CSC027 en l'ECER i cuit a 950°C i a 1100°C ens permet observar l'evolució que experimenta la microestructura ceràmica i l'estadi de sinterització dels constituents de la matriu ceràmica amb l'augment de la temperatura de cocció. La TCE estimada per a l'individu CSC027 a partir de l'anàlisi per DRX, es situa entorn els $\leq 800-850^\circ\text{C}$. A aquesta temperatura, no es troba cap senyal de vitrificació a la matriu ceràmica (Figura 8.47, superior). A 950°C, la microestructura ha esdevingut una pasta intensament vidriada amb un alt grau de sinterització de les làmines d'argila (Figura 8.47, central). A 1100°C l'estadi de vitrificació és total i s'estén per tota la matriu ceràmica, formant una superfície vidriada densa (Figura 8.47, inferior).

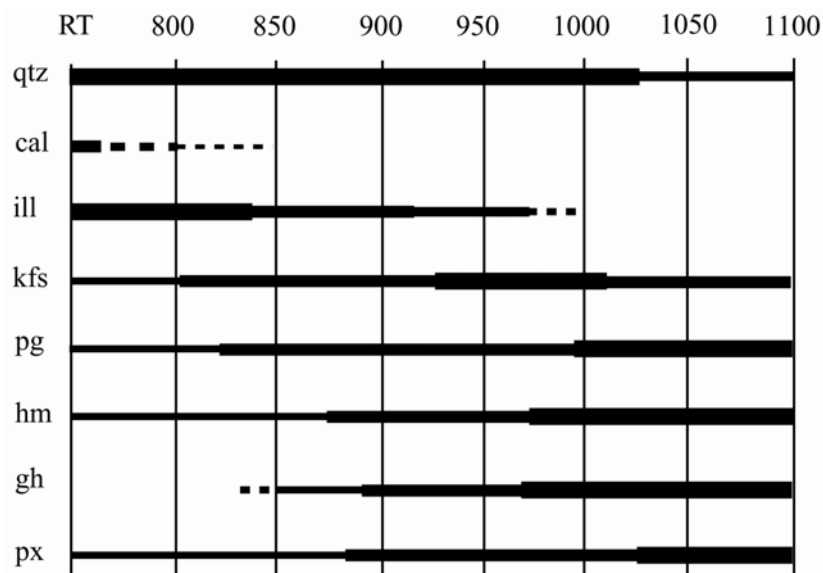


Figura 8.45. Resultats dels experiments de recocció de l'individu CSC027 corresponent a la fàbrica SC-3A del mercat de Santa Caterina. RT : temperatura ambient ; qtz : quars ; cal : calcita ; ill : il·lita moscovita ; kfs: feldspat potàssic ; pg: plagiòclasi ; hm: hematites ; gh ; gehlenita ; px: piroxè

El grup químic SC-4 de Santa Caterina forma una sola fàbrica mineralògica d'alta temperatura (TCE superior a 1000°C). Els difractogrames d'aquests individus de pasta clara presenten unes fases cristal·lines molt semblants a la fàbrica SC-3D (Taula 8.14).

Els diversos pivots d'àmfora de pasta vermella amb marca epigràfica del grup químic SCM-1, poc calcari, formen tres fàbriques mineralògiques ja que semblen estar cuits en tres rangs de temperatura diferents. La fàbrica mineralògica SCM-1A agrupa als individus cuits a bona temperatura (850-900°C), ja que encara són presents les il·lites moscovites, tot i que ja han cristal·litzat algunes fases de cocció com els piroxens i l'hematites és ben present (Figura 8.48, esquerra). Els individus de la fàbrica mineralògica SCM-1B semblen cuits a una TCE superior als 900°C, ja que ha cristal·litzat l'espinel·la, però aquesta no pot ser superior a 1000°C, ja que encara són presents les il·lites moscovites, tot i que amb poca intensitat. A més, els pics de plagiòclasi i hematites han experimentat un fort creixement i l'associació d'aquestes fases ens porta a estimar una TCE entre 900-1000°C per a la fàbrica mineralògica SCM-1B. Finalment, els individus que formen la fàbrica mineralògica SCM-1C semblen cuits a una TCE superior a 1000°C, ja que les il·lites han desaparegut totalment i les fases de cocció apareixen de forma més intensa (Figura 8.48, dreta).

Els pivots amb marca de pasta clara que formen el grup químic SCM-2 semblen cuits a una TCE superior a 1000°C, ja que no s'observen pics corresponents a filosilicats i les fases de cocció (plagiòclasi, piroxè i hematites) estan ben desenvolupades. A més, destaca en la presència d'analcima com a fase secundària, igual que a les fàbriques

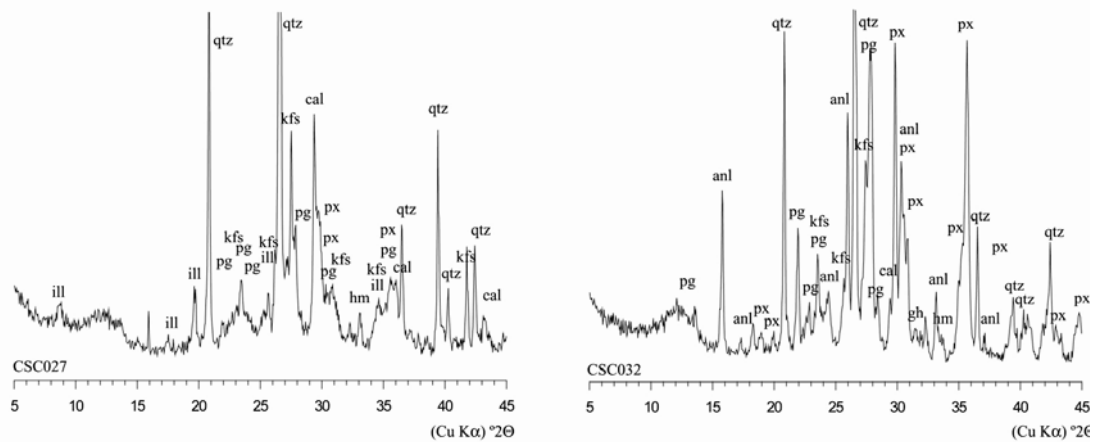


Figura 8.46. Difractogrames corresponents a les fàbriques SC-3A (dreta) i SC-3D (esquerra) del grup químic SC-1 de Santa Caterina (Barcelona). anl: analcima; cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

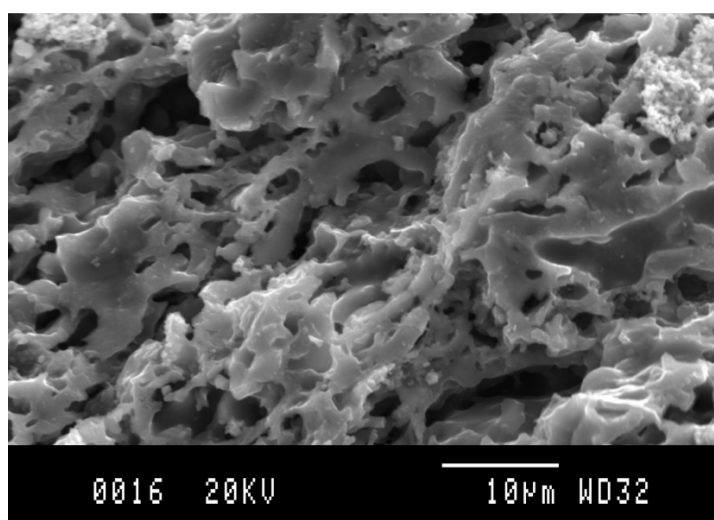
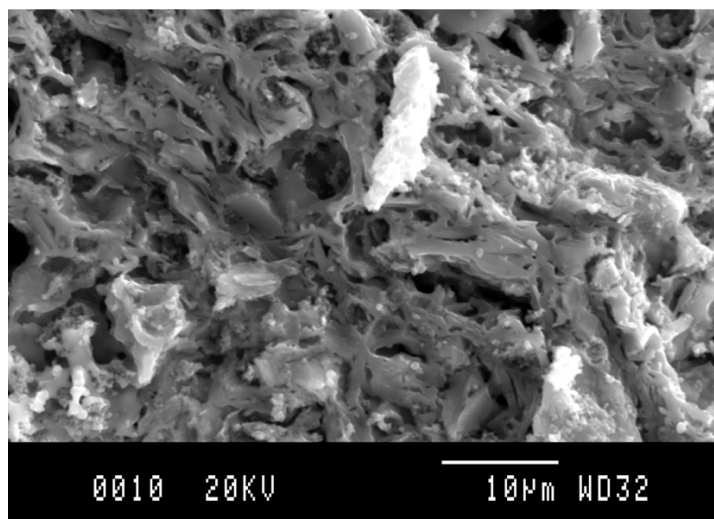
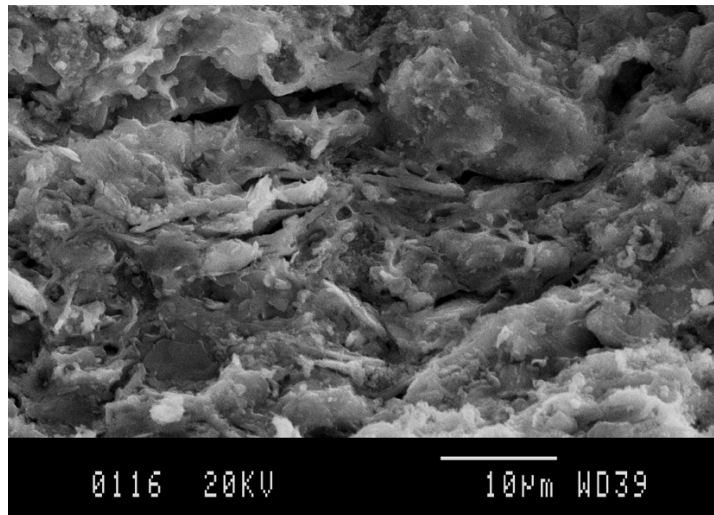


Figura 8.47. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu CSC027 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

calcàries de pasta clara i cuites a elevada temperatura SC-2A, SC-3D i SC-4A (Taula 8.14).

Per a les àmfores procedents del mercat de Santa Caterina que no s'associen a cap grup químic, la TCE es dóna a la Taula 8.16.

8.3.2.4. Contrastació dels resultats

A partir de l'anàlisi química per FRX hem pogut identificar tota una sèrie de produccions amforals que suposem corresponen a una diversitat de tallers ceràmics que estarien situats en una zona pròxima a l'antiga ciutat romana de *Barcino* (Figura 8.34, Taula 8.13). Malauradament, només s'ha constatat la presència d'un forn ceràmic al taller situat al carrer Princesa que, per les seves dimensions, no pensem que hagi estat destinat a la cocció d'àmfores (Casas i Martínez, 2006). Malgrat això, la producció amforal en aquest taller ve assegurada per la caracterització del grup de referència calcari PR. En el cas del jaciment situat a l'Av. Cambó-mercat de Sta. Caterina, l'abundant material aparegut als abocadors, així com els rebutjos de cocció i l'escòria ceràmica, ens permeten suposar aquesta activitat. Malgrat tot, la manca d'estructures de combústió i la diversitat de pastes i tecnologies ceràmiques identificades impedeix confirmar l'existència d'un taller ceràmic en aquest solar.

Les diverses produccions amforals corresponents al tipus Pascual 1 del taller ceràmic del carrer Princesa i dels abocadors del mercat de Santa Caterina presenten una fracció grollera similar que podem relacionar amb l'entorn geològic del pla de

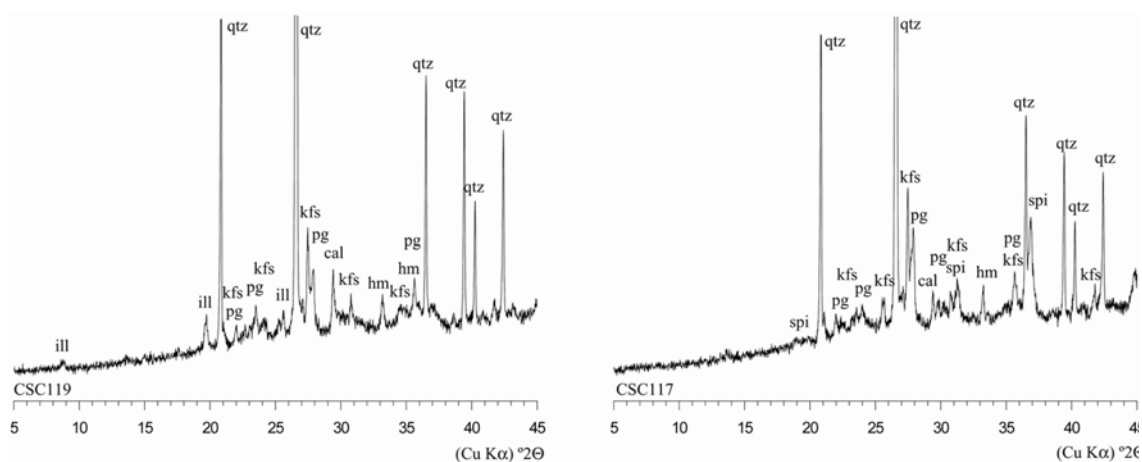


Figura 8.48. Difractogrames corresponents a les fàbriques SCM-1A (esquerra) i SCM-1C (dreta) del grup químic SCM-1 de Santa Caterina (Barcelona). cal: calcita; hm: hematites; ill: il·lita moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; qtz: quars; spi: espinel·la

Barcelona. Tanmateix, l'origen de les matèries primeres amb les que estan fabricades les àmfores a ambdós jaciments sembla procedir de sediments argilosos diferents. Els valors que diferencien majoritàriament les àmfores del carrer Princesa amb les procedents del mercat de Santa Caterina són el CaO i el MgO, més elevat en els individus del mercat, entre d'altres diferències composicionals.

Les àmfores del carrer Princesa presenten una matriu de color marró-vermellós (Làmina 8.7) amb una porositat freqüent que es distribueix de manera uniforme (50-600 μm). La fracció grollera està representada majoritàriament per fragments de roques ígnies de tipus granitoide (entre 1000-1500 μm) amb aportacions metamòrfiques, fil·lites o pissarres (400-900 μm), i sedimentàries, representades per gresos i ciments calcaris, de mides entre els 500 i 800 μm (Làmina 8.8). També apareixen distribuïts en la pasta ceràmica fragments de quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, il·lites, òxids de ferro i petits nòduls de calcita micrítica. Igualment, es documenten cristal·litzacions de calcita secundària a la matriu ceràmica i a l'interior de la porositat.

Aquestes àmfores han estat cuites en atmosfera oxidant a una TCE majoritàriament superior a 1000°C. Tanmateix, trobem individus cuits a una TCE inferior, que ens permeten identificar fins a 5 fàbriques mineralògiques diferents (Taula 8.15). A baixa TCE (inferior a 750°C), les partícules d'argila no han arribat a sinteritzar en la matriu ceràmica i la microestructura no ha arribat a desenvolupar cap fase vítria (Figura 8.38, superior). Entre 800 i 900°C, la microestructura presenta un estat de vitrificació inicial (Figura 8.40, superior) i s'observa la descomposició total de la calcita i la cristal·lització de fases de cocció, com la gehlenita i els piroxens (Figura 8.37 b). A temperatures superiors a 1000°C, la plagiòclasi, l'hematites, els piroxens i la gehlenita experimenten un fort desenvolupament (Figura 8.37 d). La fase vítria formada en la matriu ceràmica és molt intensa i el grau de sinterització de les partícules d'argila és molt alt (Figura 8.38 i 8.40, central). La porositat creada en la matriu durant el procés de cocció a alta temperatura és tancada i la pasta ceràmica esdevé impermeable (Figura 8.38 i 8.40, inferior).

Als abocadors de Santa Caterina, les àmfores analitzades han estat fabricades amb pastes i processos tecnològics diferents. Trobem, d'una banda, dos petits grups d'àmfores poc calcàries (SC-1 i SCM-1), de pasta de tonalitat vermella (fàbrica petrogràfica F-CSC-A3) (Làmina 8.12) que presenten, a més, valors baixos en MgO. Però les tres vores del grup SC-1 es diferencien dels pivots del grup SCM-1 perquè aquests darrers presenten valors en Cr molt més elevats, a part d'altres diferències

composicionals (Taula 8.14). A més, les àmfores del grup SC-1 semblen cuites a baixa TCE, entre 750 i 850°C, mentre que els pivots del grup SCM-1 estan cuits a una TCE superior, sent al voltant de 850°C en alguns individus i superior a 1000°C en d'altres (Taula 8.15).

La fàbrica petrogràfica FP-CSC-B corresponent als individus poc calcaris del grup químic SC-1 mostra una composició litològica força similar a les àmfores del carrer Princesa. Les partícules es distribueixen de forma homogènia, amb porositat baixa, sense mostrar una orientació preferent i la fracció grollera és menys freqüent que als individus calcaris del mercat de Santa Caterina (Làmina 8.12). La fracció grollera ve representada majoritàriament per roques ígnies de tipus granitoide, acompanyades per aportacions sedimentàries, com gresos, que mesuren entre 500-1500 µm i fragments de pissarres i esquistos amb mides d'entorn 400-1200 µm. A diferència de les fàbriques petrogràfiques anteriors, les concentracions de calcita micrítica són rares. En canvi, les biotites i miques són força presents i arriben a assolir, en alguns casos, mides de 200 µm.

La majoria d'àmfores Pascual 1 procedents dels abocadors de Santa Caterina són, no obstant, de pasta calcària i presenten una tonalitat més clara, que en molts casos esdevé beige (SC-2, SC-3, SC-4 i SCM-2). L'elevada proporció en Cr diferencia majoritàriament els pivots amb marca del grup SCM-2 de la resta. Els grups SC-3 i SC-4 són els més calcaris i presenten els valors més elevats en Ba i Sr, que són excepcionalment elevats en el cas del grup SC-3 (Taula 8.13). No obstant, trobem alguns individus procedents del mercat de Santa Caterina, CSC016 i CSC017, que s'associen més a les àmfores del carrer Princesa que a les procedents dels abocadors del mercat.

Alguns dels individus calcaris del grup químic SC-3 formen la fàbrica petrogràfica FP-CSC-A1, caracteritzada per presentar, en una proporció semblant, fragments de roca ígnia, metamòrfica i sedimentària que conformen la fracció grollera, així com grans fragments de minerals despresos d'aquests materials (Làmina 8.10). Aquestes partícules es distribueixen en una matriu de color marró clar-rosat, mostrant una distribució preferencial resseguint l'orientació de les parets (Làmina 8.9). Les roques ígnies són de tipus granitoide i presenten unes mides d'entorn 500 i 1700 µm. Les roques metamòrfiques venen representades per fragments de pissarres o fil·lites de forma allargada i oval (entre 400 i 800 µm), mentre que els fragments sedimentaris, de proporcions similars, corresponen a gresos. També s'observen nombroses

concentracions circulars de calcita a tocar les parets interna i externa de l'àmfora (entre 300-1100 µm) i, sovint, s'observen cristalls de calcita secundària envoltant la perifèria dels por. Finalment, s'aprecien minerals opacs i la fracció fina es compon bàsicament de fragments de quars, filosilicats i grumolls d'argila. Tanmateix, alguns dels individus del grup químic SC-3 es distingeix petrogràficament de la resta i s'han agrupat en la fàbrica petrogràfica FP-CSC-A2 (Làmina 8.11). Si bé la composició litològica està formada per aportacions ígnies, metamòrfiques i sedimentàries, destaca en aquests individus la presència de cristalls de biotita i d'hornblendes. Una altra característica és la presència dominant de concentracions de calcita micrítica juntament amb cristallitzacions de calcita secundària dins la porositat

En quant als aspectes pirotècnics, la majoria d'àmfores calcàries del mercat de Santa Caterina estan cuites a bona o alta temperatura (fàbriques SC-2A, SC-4A, SCM-2A) (Figura 8.49). A una TCE igual o inferior a 800°C, predominen les fases cristal·lines primàries (Figura 8.45 i 8.46, esquerra) i la fase vítria no s'ha iniciat en la microestructura ceràmica (Figura 8.47 superior). A partir de 850°C, la calcita s'ha descomposat totalment i apareixen fases cristal·lines de cocció, com la gehlenita i els piroxens. Entre 950 i 1000°C les fases de cocció, així com la plagiòclasi i l'hematites, s'intensifiquen notablement i les il·lites tendeixen a descomposar-se totalment en assolir 1000°C (Figura 46 dreta). La fase vítria és intensa a 950°C però, a 1100°C, les partícules d'argila assoleixen un estadi de sinterització i vitrificació total que s'estén a tota la matriu ceràmica (Figura 8.47 central i inferior). A més, les fàbriques SC-2A, SC-3D,

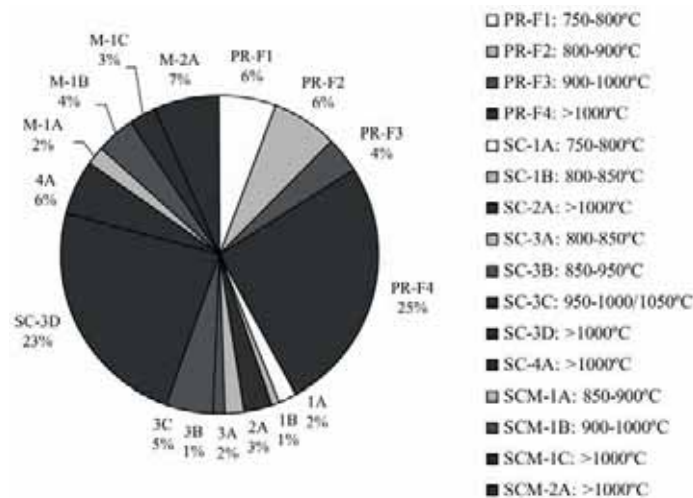


Figura 8.49. Gràfic representant el % d'àmfores de cada fàbrica mineralògica i la TCE estimada per a cada fàbrica a partir de l'anàlisi per DRX

SC-4A i SCM-2A, que presenten una pasta de tonalitat clara, es caracteritzen per presentar cristalls d'analcima com a fase secundària en la matriu ceràmica. La formació d'aquests cristalls, com ja hem comentat anteriorment, està relacionada amb l'alteració de la fase vítria produïda en les pastes més calcàries que han estat cuites a alta temperatura (Buxeda, 1999a, Buxeda *et al.*, 2002). D'aquesta manera, tant les característiques físiques com les propietats mecàniques d'aquestes pastes han estat alterades durant el procés deposicional i no responen a la dels mateixos individus a l'Antiguitat.

A partir d'aquests resultats, podem confirmar l'existència d'un taller ceràmic en el solar del carrer Princesa 21 de Barcelona que hauria fabricat àmfores vinàries amb una pasta i amb processos tecnològics molt similars. Les àmfores analitzades, procedents majoritàriament de la UE 582, presenten una pasta molt homogènia i han estat fabricades seguint processos tecnològics similars, tot i que la temperatura de cocció sembla variar entre els diversos individus. Tanmateix, les diferències en la temperatura de cocció poden ser produïdes fins i tot durant la cocció d'una fornada, ja que la temperatura no és homogènia a l'interior de la cambra de cocció.

Tot i la variabilitat de pastes existent entre les àmfores del mercat de Santa Caterina, cal remarcar que tant les procedents del mercat com del solar del carrer Giralt el Pellicer resten associades en els grups químics SC-3 i SC-4, formats bàsicament per àmfores procedents del carrer Giralt el Pellicer. En canvi, els grups químics SC-1, SC-2, SCM-1 i SCM-2 estan constituïts únicament per àmfores procedents del mercat de Santa Caterina i, concretament, de la UE 7219. La gran variabilitat química que presenten aquestes àmfores ens porten a considerar que aquests contenidors no són el resultat de la producció d'un taller ceràmic sinó de diversos que deuriem estar localitzats en una àrea pròxima a la ciutat, ja que la composició litològica d'aquestes pastes sembla compatible amb l'entorn geològic de la ciutat de Barcelona. A aquesta variabilitat contribueix, a més, la presència de diverses fonts d'alteració composicional, segurament originades durant el procés d'enterrament d'aquests contenidors. S'observa també una gran diversitat de processos tecnològics en la fabricació d'aquests envasos, relacionats amb el contingut calcari i amb la mida, forma i distribució de les inclusions no plàstiques i la porositat.

Els vuit pivots amb marca de pasta vermella que conformen el grup químic SCM-1 corresponen, d'una banda, als segells EPAPR (CSC105, 107, 108) i LAETI (CSC104). D'altra banda, un quart segell EPAPR (CSC106) i tres pivots amb la marca

PLOC (CSC115, 117, 119). L'individu CSC112 amb la marca LAETI així com el pivot CSC114 amb la marca P, presenten una composició química força diferent a la resta de pivots de pasta vermella i no s'associen amb cap dels grups químics identificats al mercat de Santa Caterina. EPAPR només es coneix al mercat de Santa Caterina i sembla fer referència a un *cognomina* itàlic d'origen servil força conegut a l'Imperi romà. El *cognomina* itàlic LAETI, en canvi, sembla correspondre a un ciutadà lliure (Aguelo *et al.*, 2006). Aquest nom apareix en àmfores Pascual 1 procedents del taller ceràmic d'Aspiran (Mauné *et al.*, 2006). La marca PLOC es coneix en altres contenidors del tipus Dressel 2-4 de Castra Pretoria (Roma)l La lletra P ha estat també documentada en contenidors d'aquest tipus a Badalona, datades a principis del s. I dC, tot i que també s'han recuperat altres variants tant en aquests tipus com en les àmfores Pascual 1.

Els pivots de pasta clara que formen el grup químic SCM-2 corresponen a les marques epigràfiques LESB (CSC110, 111), PLOC (CSC116), THEOP (CSC118) i O (CSC120). Els dos *cognomina* LAETI (CSC103 i CSC113) i EPAPR (CSC109), també de pasta calcària, mostren poques semblances amb els altres pivots de tonalitat clara. El *cognomina* THEOP pot estar associat a IVLI THEOPLILI, i ha estat documentat tant al centre del Barri Antic (Sant Boi de Llobregat) com a Sant Vicenç dels Horts.

Tot i que no sabem quina era la funció dels personatges marcats a les àmfores, podem suposar que aquests tenien a veure amb el comerç del vi envasat. Si aquests personatges van encarregar la producció de les àmfores segellades, veiem com alguns adquiriren majoritàriament àmfores poc calcàries (EPAPR i PLOC), mentre que d'altres utilitzarien les àmfores calcàries (LESB i THEOP) per al transport del vi. Tanmateix, trobem molts personatges que acceptarien, indiferentment, envasar el vi en àmfores poc calcàries com calcàries. La presència d'una mateixa marca en els dos tipus de pasta, com és el cas del *tria nomina* PLOC i dels *cognomina* LAETI i EPAPR, sempre que es pugui confirmar que el nom marcat als diferents individus correspon al mateix personatge, és un fet força singular. Els arqueòlegs associen aquest aspecte amb el període cronològic de transició entre el que ells consideren la producció de les àmfores de pasta clara i vermella. Ara sabem que les diferències de tonalitat d'aquestes àmfores no respon només a tècniques de cocció diferents, com assenyalen els arqueòlegs (Aguelo *et al.*, 2006), sinó a l'ús tant de matèries primeres com de processos tecnològics diferents, relacionats principalment amb el caràcter més o menys calcari de les pastes. Aquestes diferències es tradueixen en unes característiques físiques i en uns propietats mecàniques diferents, que seran tractades en el Capítol 8.5.

8.3.3. El Barri Antic (Sant Boi de Llobregat)

8.3.3.1. La caracterització química

La caracterització arqueomètrica de la producció del taller del Barri Antic ha estat realitzada sobre 37 individus. D'aquests, 36 són vores d'àmfora Pascual 1 (SBL001-SBL003 i SBL005-SBL037), una de les quals presenta la marca epigràfica *Iulius Anicetus* (SBL003), mentre que l'individu SBL004 correspon a un pivot d'una possible àmfora Dressel 2-4, amb la marca *QVA*.

L'anàlisi per FRX ha permès determinar les concentracions elementals següents: Fe_2O_3 (com a Fe total), Al_2O_3 , MnO, P_2O_5 , TiO_2 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr, si bé, com ja indicàvem al Capítol 4.1.3, les concentracions relatives de Co, W, Mo, Sn, Th, P_2O_5 i Pb no han estat valorades, tot i que ara si s'ha tingut en compte el Cu perquè no presenta una alta variabilitat química entre els diferents individus.

Els resultats han estat avaluats estadísticament seguint les consideracions d'Aitchison sobre dades composicionals. D'aquesta manera, els valors dels 22 elements analitzats per als 37 individus han estat transformats en logaritmes de raons. Aquest càlcul permet quantificar la variabilitat del conjunt de dades (vt), així com la contribució de cada composició a la variabilitat total (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a).

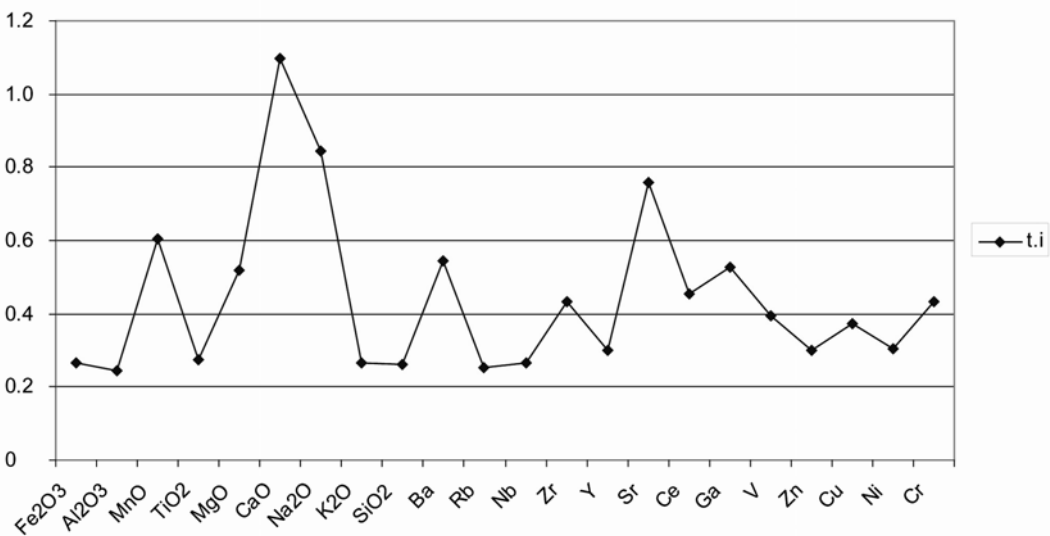


Figura 8.50. Gràfic representant la variabilitat dels 22 elements químics considerats per als 37 individus ceràmics del Barri Antic analitzats a partir dels valors de τ_i de la Taula 8.17

Per als 37 individus d'àmfora analitzats, la MVC mostra un valor de la v_t de 0.22102 (Taula 8.17), que pot ser considerada força baixa i representativa d'una població parcialment monogènica (Buxeda i Kilikoglou, 2003). Els elements que més contribueixen a la variabilitat en aquesta matriu (τ_i) són el CaO ($\tau_{CaO} = 1.0986$), Na₂O ($\tau_{Na_2O} = 0.84555$), MnO ($\tau_{MnO} = 0.6046$), Sr ($\tau_{Sr} = 0.75868$), Ba ($\tau_{Ba} = 0.54618$) i MgO ($\tau_{Mg} = 0.51723$). En canvi, l'Al₂O₃ és l'element que presenta menys variabilitat ($\tau_{Al_2O_3} = 0.24554$) i el que serà utilitzat com a divisor en la transformació (Figura 8.50). Aquestes diferències químiques entre els individus pot ser deguda a diversos factors. D'una banda, la composició química d'alguns individus pot ser diferent a la resta per ser fabricades amb una matèria primera diferent indicant, així, diversos orígens. D'altra banda, aquesta variabilitat podria ser la conseqüència de l'ús de diferents tecnologies de fabricació en el mateix centre productor, que podrien comportar diferències entre els individus. Finalment, es poden haver donat casos d'alteracions en la composició química d'alguns individus durant el procés d'enterrament.

La distribució que presenten els individus del Barri Antic, tenint en compte dos dels elements químics més estables geològicament, com el SiO₂ i el Zr, forma una correlació directa positiva, com mostra el gràfic bivariant $\ln(SiO_2/Al_2O_3)$ - $\ln(Zr/Al_2O_3)$

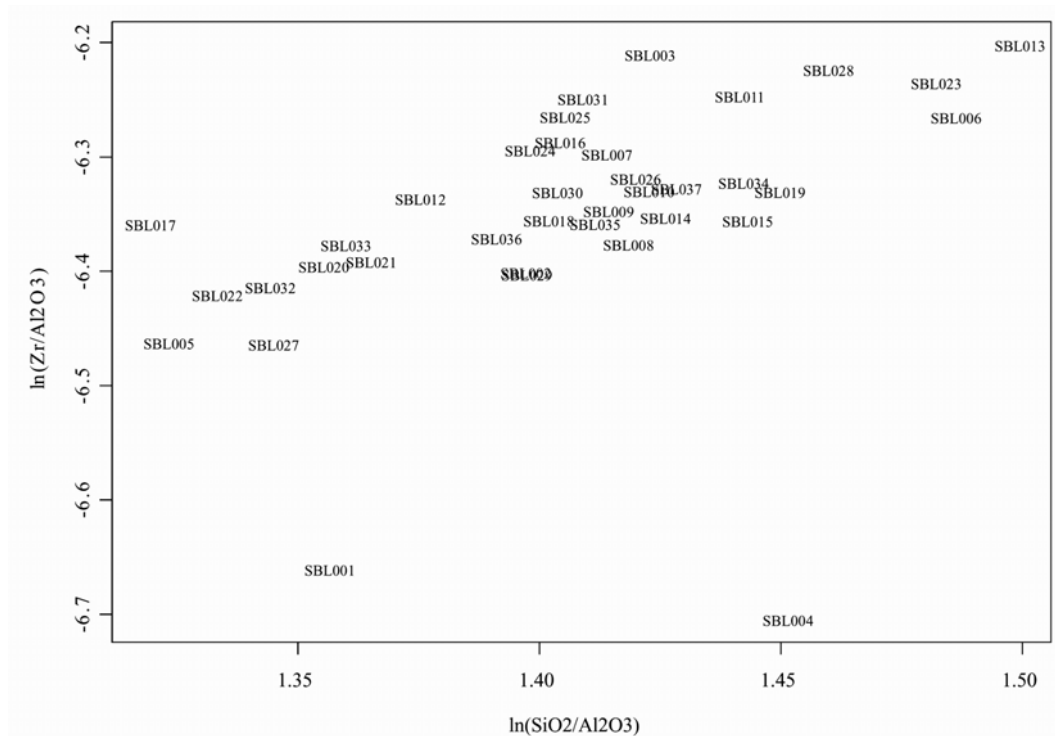


Figura 8.51. Gràfic bivariant dels 37 individus del Barri Antic (St. Boi de Llobregat), amb els valors $\ln(SiO_2/Al_2O_3)$ a l'eix d'abscisses i $\ln(Zr/Al_2O_3)$ a l'eix d'ordenades

de la Figura 8.51. Tanmateix, una àmfora Pascual 1 (SBL001) i un pivot de possible àmfora Dressel 2-4 amb la marca *QVA* (SBL004) apareixen aïllats, testimoniant els seus valors diferenciats en quant a aquests dos elements. Així, com que 35 dels 37 individus analitzats segueixen la mateixa tendència, podem pensar que la matèria primera amb que va ser fabricats van ser la mateixa o molt semblant.

El comportament dels individus, tenint en compte dos dels elements que més variabilitat presenten al conjunt de dades, com el CaO i el Sr, és totalment diferent. El gràfic bivariant $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\ln(\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ de la Figura 8.52 mostra una estructura en dos grups principals. No obstant, a l'interior de cada grup s'observa una correlació positiva. Aquesta organització indicaria la utilització de dos tipus d'argila diferents, una amb unes concentracions relatives més elevades en Sr que l'altra, tot i que el contingut en CaO és similar. A més, dos individus resten ara aïllats, per presentar un valor superior en CaO (SBL004) o Sr (SBL005) que la resta d'individus analitzats.

Per precisar la relació existent entre els individus i la seva distribució segons la seva similitud composicional, ha estat realitzat una anàlisi de components principals (ACP). Aquesta s'ha portat a terme mitjançant la combinació lineal de les concentracions transformades en logaritmes de raons dels elements Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO ,

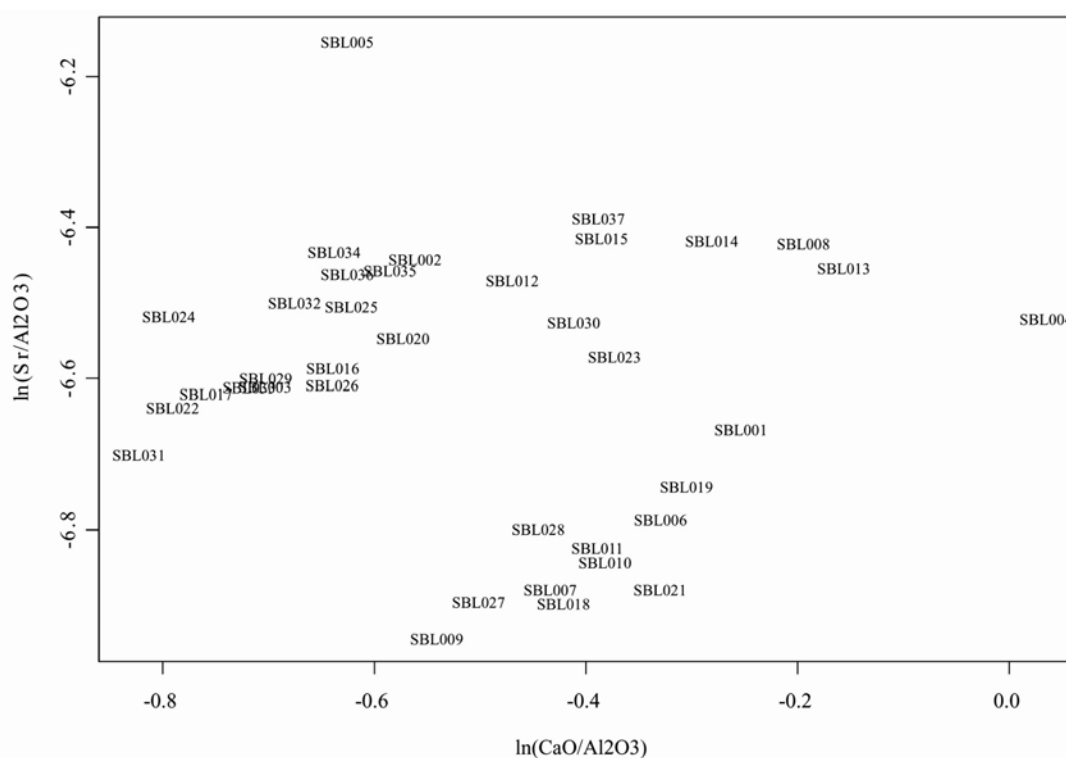


Figura 8.52. Gràfic bivariant dels 37 individus del Barri Antic (St. Boi de Llobregat), amb els valors $\ln(\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{Sr}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ a l'eix d'ordenades

TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr. S'ha utilitzat la matriu de variàncies-covariàncies, sense rotació dels eixos, amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). El gràfic de la Figura 8.53 mostra la primera i la segona component principal. Tot i que només representen el 55% de la variabilitat total, ens permeten constatar que les concentracions relatives transformades de MnO, CaO, Na₂O, Ba, Sr i també MgO són les que aporten més variabilitat al conjunt de dades. Sobre aquest primer gràfic, veiem com els individus es distribueixen formant tres conjunts (SBL-1, SBL-2 i SBL-3), mentre que tres individus (ACM001, ACM004 i ACM005) no s'ajunten amb cap d'aquestes agrupacions. A més, veiem com els tres individus que formen el grup químic SBL-1 (SBL034 i SBL036) mostren concentracions relatives en MnO, Ba i Sr més elevades, però més baixes en CaO que la resta d'individus. El grup químic SBL-2, que agrupa una desena d'individus (SBL006, 007, 009, 010, 011, 018, 019, 021, 027, 028) es diferencia del grup químic SBL-3,

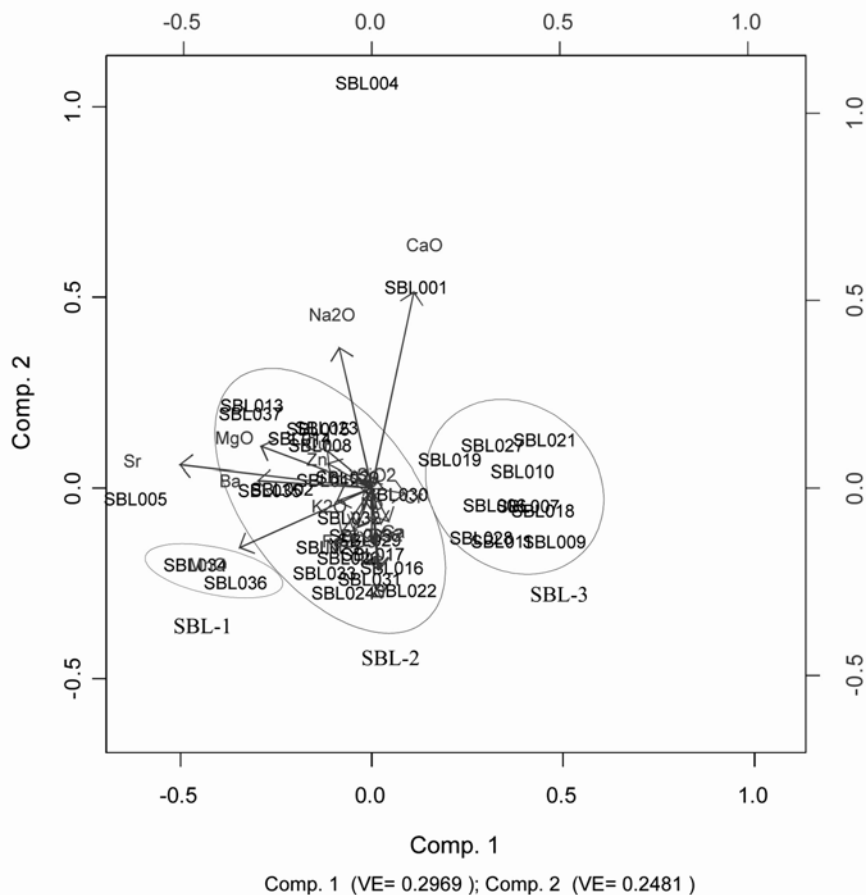


Figura 8.53. Gràfic bivariante de la primera i la segona component principal obtingudes de l'ACP, dels 37 individus del Barri Antic, a partir de la combinació lineal de les concentracions transformades en logaritmes de raons Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni et Cr, utilitzant l'Al₂O₃ com a divisor. Indicació dels grups SBL-1, SBL-2 i SBL-3

format per 22 individus (SBL002, 003, 008, 012, 013, 014, 015, 016, 017, 020, 022, 023, 024, 025, 026, 029, 030, 031, 032, 033, 035, 037), per tenir, principalment, valors més alts en MgO, Na₂O, K₂O i Rb però més baixos en CaO. Finalment, les àmfors SBL001 i 004 mostren unes concentracions relatives més elevades en CaO i Na₂O però més baixes en K₂O i Zr que la resta d'individus. En canvi, l'individu SBL005 presenta una concentració relativa en Sr extraordinàriament elevada.

Per confirmar l'existència d'aquests tres grups i comprovar quines són les variables més discriminants, s'ha realitzat una anàlisi discriminant quadràtica sobre la mateixa sub-composició elemental transformada en logaritmes de raons centrats (Aitchison, 1986; Buxeda, 1999a). L'anàlisi discriminant quadràtica ha estat realitzada amb el programa Statgraphics Plus 5.0. A partir de l'anàlisi de la matriu de variàncies-covariàncies pas a pas, identifica les funcions més aptes per formar les funcions discriminants. En aquest tractament, no hem pres en consideració els individus ACM001 i ACM004, ja que presenten nombroses diferències composicionals. Les variables identificades que discriminen els tres grups químics són els valors transformats de Sr, Ba, CaO, MgO, V i Rb. L'anàlisi de la correlació canònica realitzada sobre aquestes variables transformades ha permès definir dues variables canòniques amb una proporció total acumulada de la dispersió del 100%. A continuació, el gràfic bivariant amb els eixos definits per aquestes dues variables canòniques mostra clarament l'existència de les tres agrupacions (Figura 8.54). Així, a partir dels 35 individus considerats, es confirma que el Sr, Ba i CaO són els elements que diferencien principalment les agrupacions identificades. El grup SBL-1 ofereix unes concentracions relatives més baixes en CaO però més elevades en Sr i Ba que els grups SBL-2 i SBL-3.

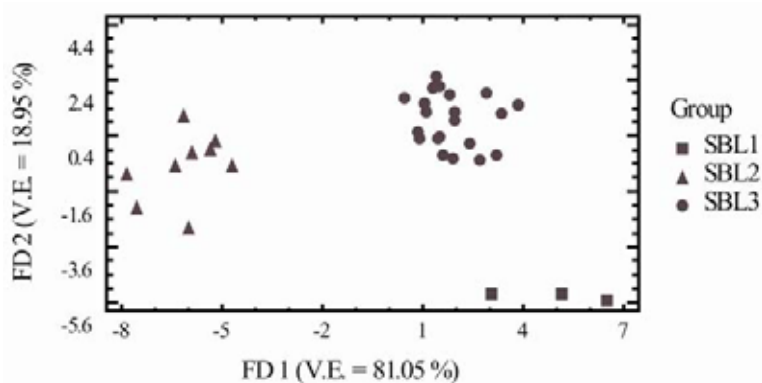


Figura 8.54. Gràfic bivariant amb la primera variable canònica (VC1) (proporció de la dispersió: 81.05%) sobre l'eix d'abscisses i la segona variable canònica (VC2) sobre l'eix d'ordenades (proporció de la dispersió 18.95%)

En canvi, el MgO discrimina més clarament el grup SBL-3 dels grups SBL-1 i SBL-2. El Rb i V diferencien també el grup químic SBL-3 de la resta. Els valors mitjans que representen les tres agrupacions, així com les concentracions relatives dels individus SBL001, SBL004 i SBL005, són esquematitzades a la Taula 8.18. Aquesta representa la mitjana aritmètica i la desviació estàndard a la mitjana dels individus analitzats segons les agrupacions, en dades normalitzades al 100%.

Malgrat aquestes diferències i, considerant la relativa baixa variabilitat total obtinguda en la matriu de variació química (Taula 8.17), no podem parlar de tres tipus d'argila diferents, sinó d'una producció d'àmfores fabricades amb una argila molt semblant, tot i que es poden identificar petites diferències. En tot cas, és difícil saber si l'origen d'aquestes diferències és primari (utilització d'argiles procedents de diferents jaciments de la mateixa àrea geològica), o secundari (conseqüència de processos d'alteració i/o contaminació durant el període de fabricació o d'enterrament de les àmfores. En aquest sentit, la variabilitat que presenta el CaO pot ser la conseqüència de diferents tecnologies desenvolupades durant la fabricació de les àmfores o bé a processos de cristallització de carbonats durant l'enterrament (Buxeda i Cau, 1995).

La variabilitat del MnO pot correspondre a processos secundaris d'alteració i contaminació, ja que és un element poc estable i, especialment, en medis associats amb l'aigua i a la presència de matèria orgànica. Aquests factors poden haver provocat la precipitació de manganès en les àmfores que formen el grup químic SBL-1, durant el seu enterrament (Freeth 1967).

Tenint en compte només els 15 elements químics menys variables, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, MgO, SiO₂, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, la matriu de variació composicional de la Taula 8.19 mostra una $v_t = 0.0829$ que podem considerar força baixa tot i que és el que s'esperava, ja que s'han tret les fonts principals de variabilitat. S'ha repetit l'anàlisi de components principals (ACP) a partir de la combinació lineal de les concentracions dels elements Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, SiO₂, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr transformats en logaritmes de raons utilitzant el TiO₂ com a divisor. S'ha emprat la matriu de variància-covariància, sense rotació dels eixos, amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). El gràfic de la Figura 8.55 mostra els dos components principals que expliquen, conjuntament, el 63% de la variació. Es pot observar com els individus ceràmics s'agrupen en un conjunt que, tot i presentar una forma dispersa, manifesten poca variabilitat. Tanmateix, els individus SBL001, SBL004

i també l'individu SBL011 resten allunyats del conjunt principal, indicant diferències en les concentracions relatives de MgO, Cr i Ga.

Tot i que no podem estar segurs de l'origen de la variabilitat introduïda pel CaO, Ba, Sr, MnO, Na₂O, K₂O i Rb entre els individus amforals, sembla clara l'existència d'una matèria primera, que difereix en determinades composicions entre les àmfors, donant pas a un mínim de tres pastes (SBL-1, SBL-2 i SBL-3). Aquestes representen els tres grups de referència (GR) identificats en la producció amforal del taller ceràmic del Barri Antic (Taula 8.18). En canvi, tot indica que els individus SBL001, SBL004 i SBL005 no han estat fabricats en aquest taller, ja que la seva composició química és molt diferent a la resta d'individus. El mateix podem suposar per a l'àmfora Pascual 1 SBL011 ja que, tot i que considerant 22 elements químics s'insereix en el grup químic SBL-2, en utilitzar els 15 elements químics menys variables, aquest individu resta aïllat (Figura 8.55). Tampoc podem pensar que aquests individus que no formen part de la

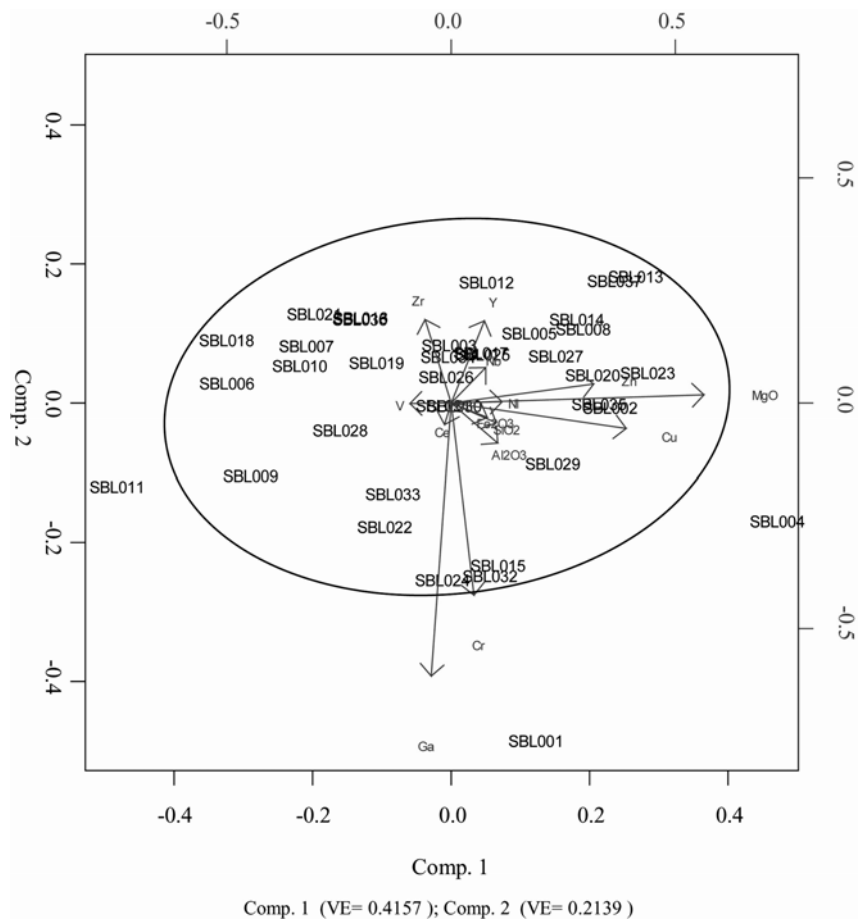


Figura 8.55. Gràfic bivariant de la primera i la segona component principal obtingudes de l'ACP dels 37 individus del Barri Antic a partir de la combinació lineal de les concentracions dels elements Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, SiO₂, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr transformats en logaritmes de raons i utilitzant el TiO₂ com a divisor

producció del Barri Antic han estat fabricats en el mateix taller, ja que presenten grans diferències químiques entre ells. Tot sembla indicar que aquestes àmfores, una, a més, signada amb la marca *QVA*, hagin arribat a la terrisseria de Sant Boi per raons que desconeixem,. A pesar d'aquestes diferències, des del punt de vista tecnològic la pasta ceràmica dels 37 individus del Barri Antic és calcària. Aquesta característica és important, ja que influeix fortament en el procés de fabricació i en les propietats finals de la ceràmica (Heimann, 1989 ; Heimann i Maggetti, 1981 ; Maniatis *et al.*, 1981; Tite *et al.*, 2001).

8.3.3.2. La caracterització petrogràfica

Els individus SBL006 i SBL028 han estat caracteritzats petrogràficament i poden incloure's ambdós dins la mateixa fàbrica petrogràfica (F-SBL-A), que presenta una composició litològica semblant als individus procedents de Barcelona, però l'aportació metamòrfica i sedimentària és major en les àmfores de Sant Boi de Llobregat. La matriu és òpticament inactiva, de tonalitat més rogenca a l'individu SBL028 i més marronosa a l'individu SBL006 degut, segurament, a petites diferències en la temperatura de cocció. També s'observen canvis de color a la matriu de l'individu SBL006, sent més fosca a les cares exteriors de la paret de l'àmfora. L'individu SBL028 presenta una esquerda que travessa pràcticament tota la paret ceràmica. La tonalitat de la matriu varia a banda i banda de la fractura, però pot deure's a la diferència de gruix de la làmina prima. Les partícules no plàstiques són abundants i es distribueixen de forma homogènia en la matriu ceràmica. La porositat és de tendència allargada i més abundant a l'individu SBL028 que a l'individu SBL006. Tant les inclusions com la porositat acostumen a seguir la mateixa orientació que les parets de l'àmfora.

La fracció grollera (superior a 100 µm) es compon principalment de cristalls de quars mono i policristal·lins i fragments de roques ígnies, bàsicament granits (Làmina 8.13, a, b, c, d). Aquests estan formats majoritàriament per cristalls de quars, feldspat potàssic, plagiòclasi, biotites i miques (800-1200 µm). Els feldspats i plagiòclases apareixen sovint alterats, els primers caolinitzats i els segons a sericita (Làmina 8.13, a, c). Alguns dels constituents d'aquestes roques ígnies apareixen aïllats en la matriu

ceràmica (Làmina 8.13, e). El component metamòrfic ve representat per fil·lites i pissarres de forma allargada o circular, amb mides al voltant de 500-900 μm (Làmina 8.13 a, b, e, f), si bé en algun cas arriben a mesurar més de 2000 μm (Làmina 8.134, g). Els fragments sedimentaris són bàsicament gresos (Làmina 8.13, h) de forma subarrodonida (400-1600 μm). Destaca la presència d'epidota, a l'igual que a les àmfors de les fàbriques petrogràfiques FP-ACM-A2 de Can Pau Ferrer i FP-ACM-1 i FP-ACM-1 de Ca l'Arnau i (Cabrera de Mar) (Làmina 8.13, a, c). Els nòduls calcaris es distribueixen en la matriu en forma de calcita micrítica de forma arrodonida (250-700 μm).

La fracció fina està representada majoritàriament per petits fragments de quars monocristal·lí (20-100 μm) i altres partícules despreses de la fracció grollera. Destaquen les làmines de moscovita, biotita i opacs (Làmina 8.13, a, b, d, e, h).

8.3.3.3. La caracterització tecnològica

Des del punt de vista tecnològic, els 37 individus amforals analitzats procedents del taller del Barri Antic han estat fabricats amb una pasta argilosa calcària. Aquesta característica serà molt important durant el procés de fabricació, ja que les argiles calcàries presenten unes propietats concretes que requereixen uns processos de fabricació determinats tant en el processat de la pasta, el modelatge, l'assecat i, sobretot, la cocció (Maniatis *et al.*, 1981, 1983). Un cop finalitzat el procés de fabricació, les ceràmiques calcàries també presenten unes característiques físiques i unes propietats mecàniques determinades, molt aptes per a algunes funcions però no per a qualsevol ús. El caràcter calcari de les àmfors del Barri Antic és evident si situem els individus en el diagrama ternari del triangle ceràmic $(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (Figura 8.56). S'observa com tots els individus resten emplaçats dins del triangle d'equilibri termodinàmic quars-wollastonita-anortita (Heimann, 1989).

L'estudi de la caracterització mineralògica per DRX ha permès establir la temperatura de cocció equivalent (TCE) de cada individu (Picon, 1973), així com identificar les fàbriques mineralògiques relatives als tres tipus de pasta (GR) identificades químicament (Taula 8.20) (Buxeda *et al.*, 1995). Les diferents fàbriques mineralògiques s'han identificat a partir de l'associació de fases cristal·lines, ja sigui el

seu origen primari, de cocció o secundari (Maggetti, 1981). La formació de les fases de cocció depèn de la mineralogia inicial i dels paràmetres de temperatura, atmosfera i temps de cocció. Igualment, el tipus de fases secundàries formades dependrà de la composició primària de la ceràmica, de les característiques de la microestructura i del medi en el que aquesta ha estat utilitzada, dipositada i enterrada.

L'experiment de recocció realitzat sobre l'individu SBL034, pertanyent al grup de referència SBL-1, permet estimar el rang de temperatura en el que es formen, es desenvolupen i es descomponen algunes de les fases cristal·lines presents a les pastes ceràmiques. Com s'observa a la Figura 8.57, la calcita ha desaparegut totalment a 800°C. L'hematites i els piroxens són presents a tots els rangs de temperatura, si bé la seva presència és més forta a partir de 950-1000°C, i encara més intensa entorn 1100°C. Les il·lites, presents de manera primària, s'han descompost pràcticament a 1000-1050°C. A partir de 950°C s'observa l'aparició de pics lleugers de gehlenita. A 1100°C, les fases de cocció i la plagiòclasi mostren el màxim desenvolupament. A partir d'aquestes dades, podem establir una TCE entorn de 800-850°C per a l'individu SBL034 i per a la resta d'individus que presenten difractogrames similars (SBL005 i SBL036), i que han estat agrupats en la fàbrica mineralògica F-SBL-1 (Figura 8.58). En aquest estat, s'observen incipients fases cristal·lines de cocció (gehlenita, piroxens i, possiblement, la plagiòclasi), juntament amb la presència d'il·lites-moscovites.

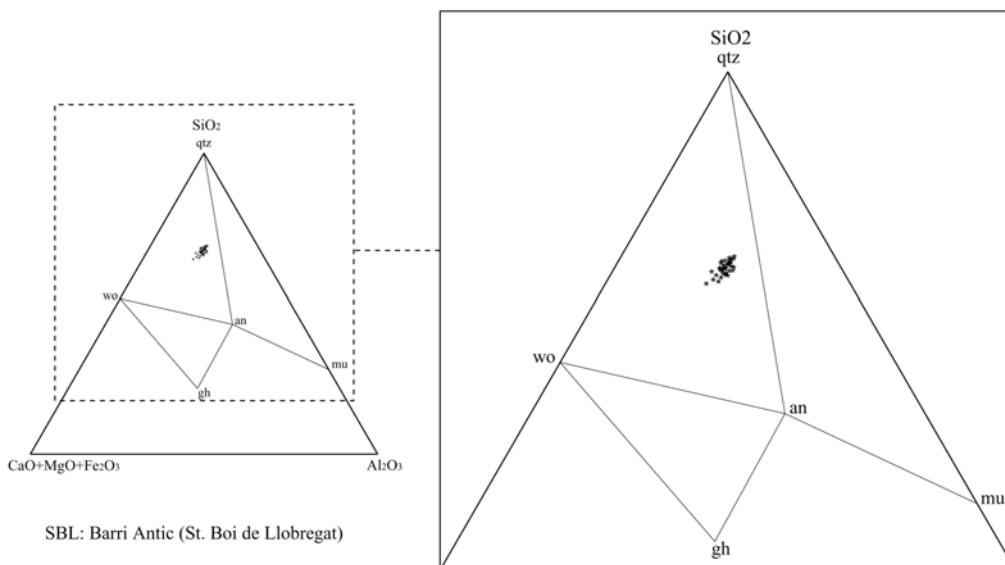


Figura 8.56. Diagrama del triangle ceràmic $[\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3]-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ amb l'emplaçament dels 37 individus analitzats. an = anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); mu = mul·lita ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$); gh = gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_2$); wo = wol·lastonita (CaSiO_3); qtz: quars (SiO_2)

L'anàlisi per MER d'una fractura fresca corresponent a l'individu SBL034 (ECER) i del mateix individu recuit a 950°C i a 1100°C permet observar com afecta l'augment de la temperatura de cocció en les característiques microestructurals de la pasta. A 800-850°C, la fase vítria ja s'ha iniciat a la matriu ceràmica, però és incompleta, ja que les partícules d'argila es troben lleugerament sinteritzades en alguns punts de la matriu (Figura 8.59, superior). A 950°C, la microestructura presenta una fase vítria intensa i una porositat de petites dimensions (Figura 8.59, central). Finalment, a 1100°C, l'estadi de sinterització i vitrificació és total (Figura 8.59, inferior).

El mateix procés s'ha seguit per als individus del grup químic SBL-2. L'experiment termodifractomètric s'ha portat a terme sobre l'individu SBL011 (Figura 8.60). Aquest mostra com a 800°C, la calcita present en la matriu ceràmica s'ha descompost totalment. D'aquesta manera, la calcita present a tots els individus analitzats sembla ser, probablement, d'origen secundari. Sorpren la presència de la fase metaestable de la gehlenita a 750°C i el seu gran desenvolupament fins els 950°C, temperatura a la que es manté estable fins a 1050-1100°C, que redueix la seva intensitat. Els cristalls de piroxè també es documenten des de 750°C, si bé la seva presència és poc significativa. És a partir de 900°C quan experimenten una major intensitat. L'hematites apareix poc representada fins a 950-1000°C i la plagiòclasi experimenta un fort

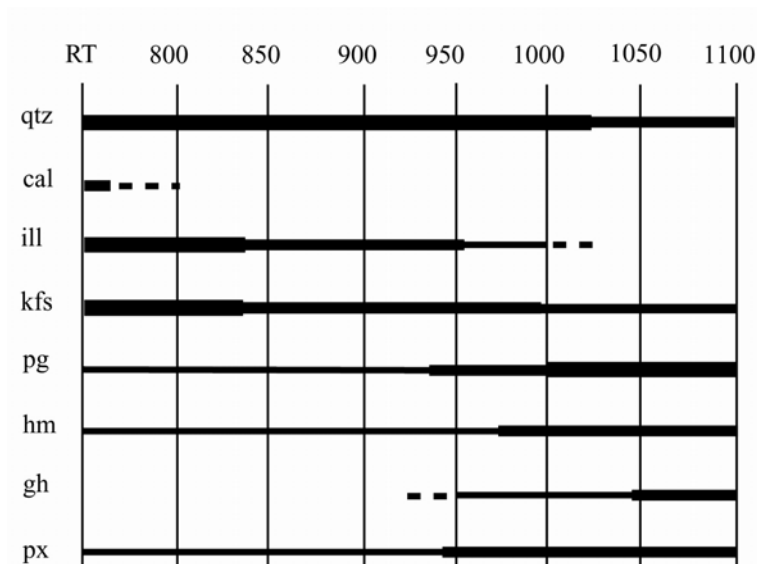


Figura 8.57. Resultats dels experiments de recocció de l'individu SBL034, corresponent a la fàbrica F-SBL-1 del Barri Antic (Sant Boi de Llobregat). RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovita, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; gh: gehlenita; px: piroxè

desenvolupament entre 900-950°C, que serà encara superior a 1050-1100°C. Entorn 1000°C, les il·lites han desaparegut totalment.

A partir de les fases mineralògiques identificades en els experiments de recocció, s'han identificat dues fàbriques per al grup químic SBL-2 (Taula 8.20). La de més baixa temperatura, F-SBL-2A, està representada pels individus SBL006, 011, 018, 019 i 028. Es aquests difractograms es marquen clarament els pics dels filosilicats del tipus il·lita-moscovita. Però també destaca la presència de fases de cocció, com la plagiòclasi, la gehlenita i els piroxens (Figura 8.61, esquerra). A la fàbrica F-SBL-2B (SBL007, 009, 010 i 021), s'observa la forta disminució de les il·lites moscovites, així com el desenvolupament major de les fases de cocció, excepte de la gehlenita, que apareix menys intensa que a la fàbrica anterior. Aquestes fases cristal·lines ens porta a estimar una TCE al voltant de 900-950°C (Figura 8.61, dreta).

L'anàlisi microestructural per MER de l'individu SBL011 en l'ECER permet observar que al voltant de 800-850°C ja s'ha produït una fase vítria inicial en alguns punts de la matriu ceràmica (Figura 8.62, superior). A 950°C, l'estat de vitrificació creat a la matriu és intens i s'estén formant unes superfícies amples que mostren un estadi de sinterització elevat entre les partícules d'argila (Figura 8.62, central). A 1100°C, la matriu es presenta intensament vitrificada i es caracteritza per una porositat

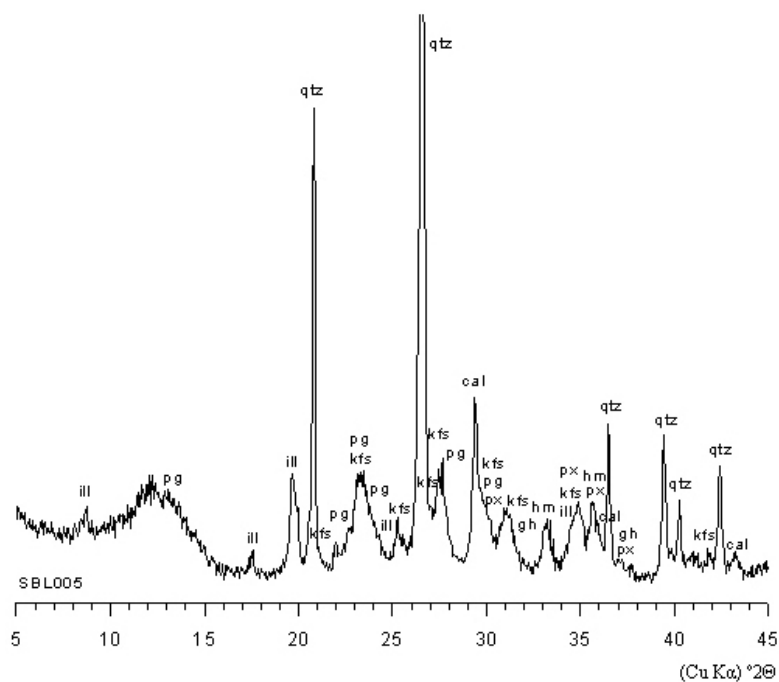


Figura 8.58. Difractograma representant la fàbrica F-SBL-1 del GR SBL-1. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

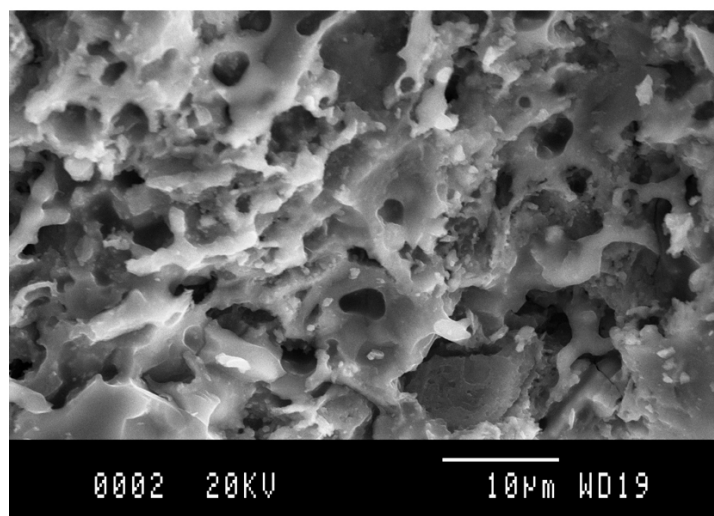
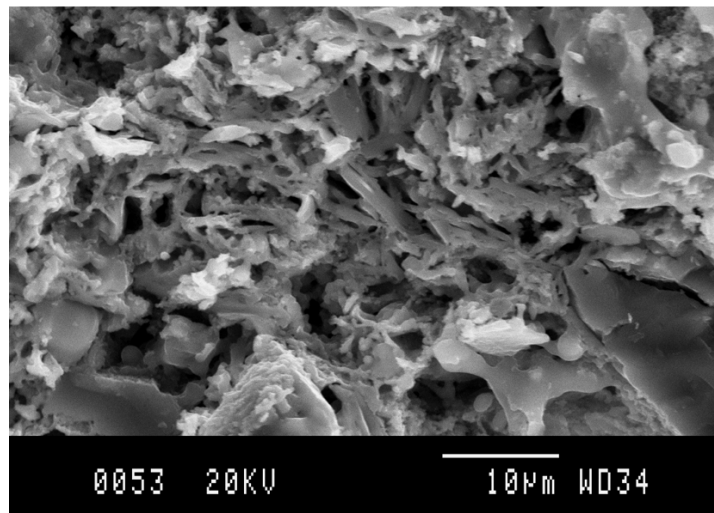
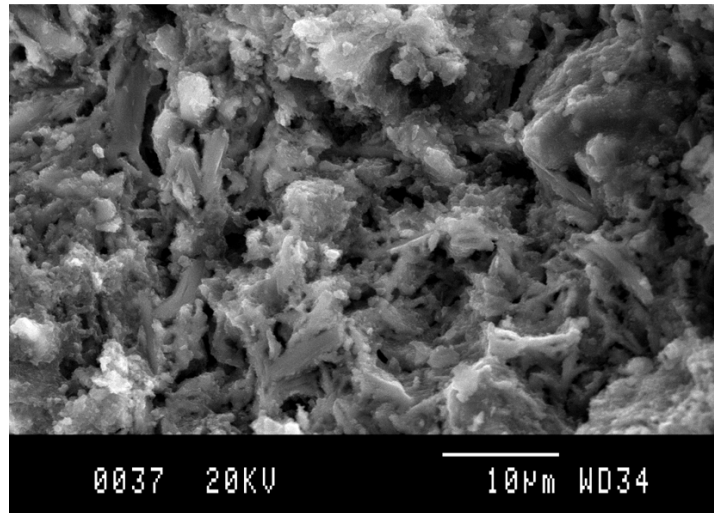


Figura 8.59. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu SBL034 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

tancada i un estadi de sinterització total. Tots els constituents de la pasta apareixen altament fusionats (Figura 8.62, inferior).

El grup de referència SBL-3 mostra una dispersió important de les temperatures de cocció en les fàbriques F-SBL-3A, F-SBL-3B, F-SBL-3C i F-SBL-3D (Figura 8.63). Un sol individu (SBL008) forma la fàbrica F-SBL-3A, corresponent a una cocció a baixa temperatura (800/850°C), com indica la presència de fases primàries com el quars, filosilicats, feldspats potàssics, plagiòclasi i calcita. Tanmateix, els efectes de la cocció es deixen entreveure amb la formació dels pics dels piroxens. La fàbrica F-SBL-3B correspon als individus cuits a bona temperatura (850-950°C), per la presència conjunta de fases primàries i l'incipient creixement de les fases de cocció, com la gehlenita i els piroxens. A més alta temperatura (950-1000°C), els individus de la fàbrica F-SBL-3C ja han perdut el pic de 10Å de les il·lites-moscovites, mentre que els pics d'hematites, gehlenita i piroxens apareixen més desenvolupats. Finalment, el difractograma de la fàbrica F-SBL-3D mostra la desaparició total de les il·lites-moscovites i l'inici de la descomposició de la gehlenita. S'observa, en canvi, un fort creixement dels pics de piroxens, que permet estimar la TCE superior a 1000°C (Taula 8.20).

En quant als individus SBL001, SBL004 i SBL005, que no pertanyen a cap grup de referència, les temperatures de cocció poden ser considerades força elevades. La no presència d'il·lites-moscovites i el fort desenvolupament de la gehlenita i piroxens suggereixen una TCE de 950/1000-1050°C. No obstant, s'observa una fase secundària

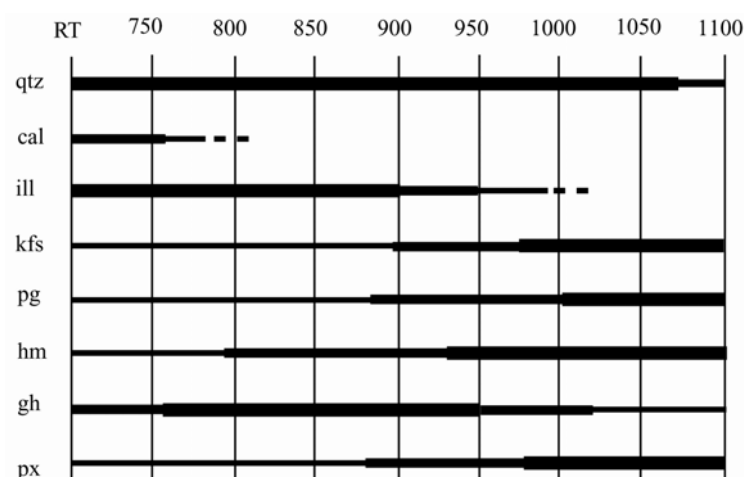


Figura 8.60. Resultats dels experiments de recocció de l'individu SBL011, corresponent a la fàbrica F-SBL-2A del Barri Antic (Sant Boi de Llobregat). RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovita, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematite; gh: gehlenita; px: piroxè

en aquests dos individus. La cristal·lització de l'analcima ($\text{Na}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), una zeolita sòdica que ja trobàvem en alguns individus de Ca l'Arnau i del Mercat de Santa Caterina de Barcelona, sobre àmfores calcàries cuites a alta temperatura o sobrecoïtes. La seva formació està relacionada amb l'alteració de la fase vítria desenvolupada en la matriu ceràmica calcària, que comporta la lixiviació de potassi i normalment de rubidi, associat a la cristal·lització de l'analcima en el material silicatat per la fixació de sodi al·lòcton (Buxeda 1999a; Buxeda *et al.*, 2002; Schwedt *et al.* 2006). En aquest sentit, l'alteració de la fase vítria i la cristal·lització de l'analcima, amb la fixació de sodi i la pèrdua de potassi i rubidi pot explicar la posició dels individus SBL001 i SBL004 amb els valors relatius més baixos en K_2O i més elevats en sodi (Na_2O) (Taula 8.18).

La presència de calcita, en tots els difractograms de les fàbriques d'alta temperatura deu respondre a un fenomen de cristal·lització secundària durant l'enterrament de les àmfores. Això significa que la calcita apareix en fase secundària ja que la seva descomposició total es produeix abans dels $800\text{-}850^\circ\text{C}$. El procés de formació d'aquesta calcita secundària està relacionat amb el CaO alliberat durant la cocció i que participa en la formació de fases d'alta temperatura. Al final de la cocció, és freqüent que una part del CaO alliberat es torni a recarbonatar sota la forma de calcita secundària. Tanmateix, la cristal·lització de la calcita secundària pot ser deguda a possibles precipitacions de carbonats durant l'enterrament (Buxeda i Cau, 1995).

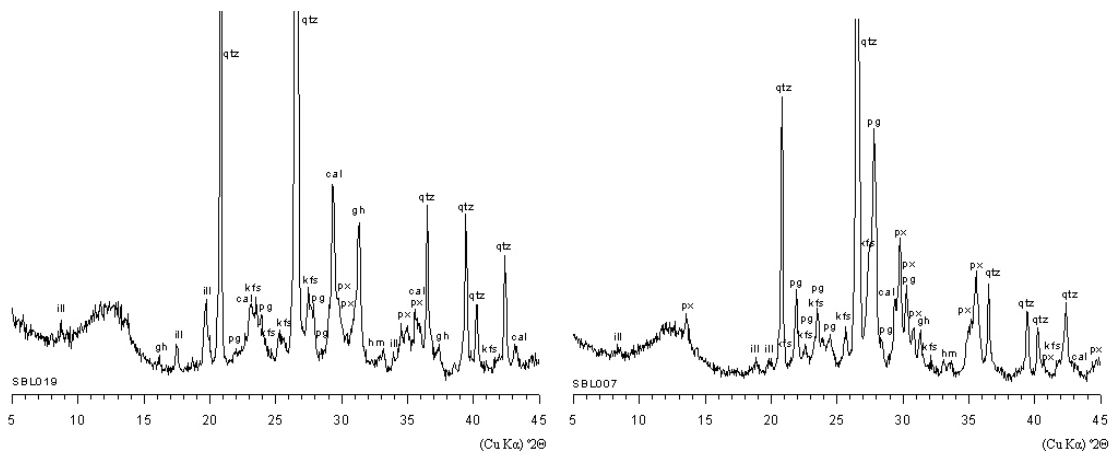


Figura 8.61. Difractograma representant la fàbrica F-SBL-2A (esquerra) i F-SBL-2B (dreta) del GR SBL-2. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagioclasi; px: piroxè; qtz: quars

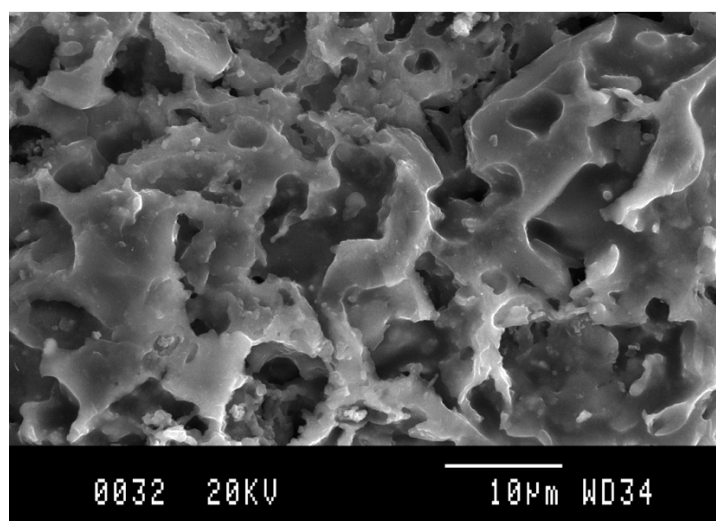
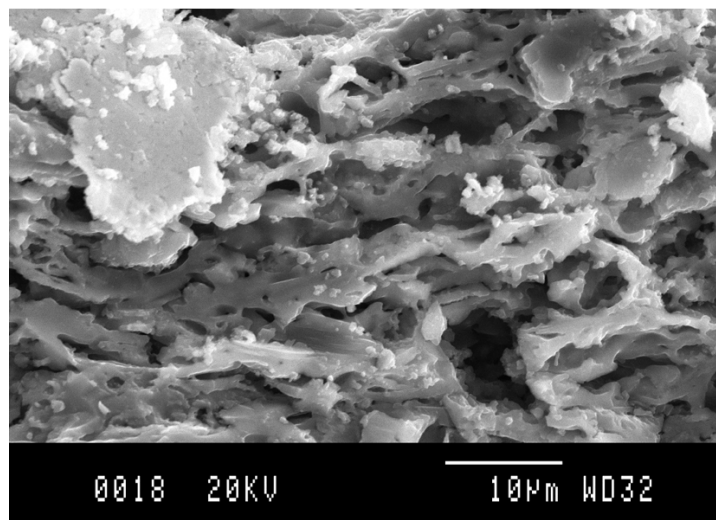
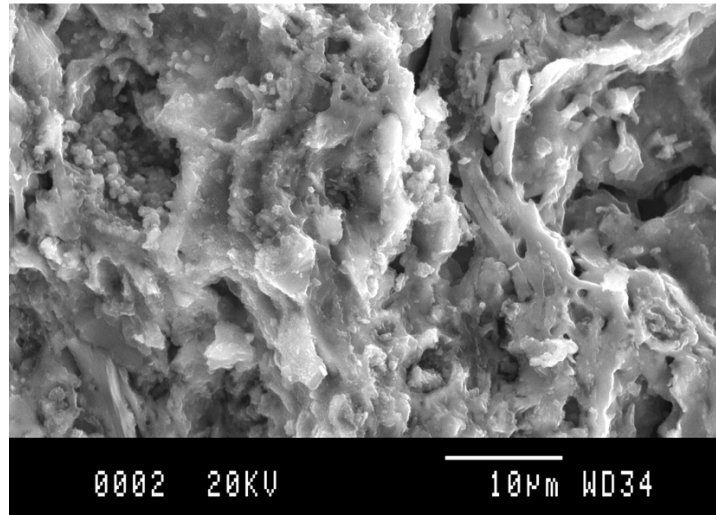


Figura 8.62. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu SBL011 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

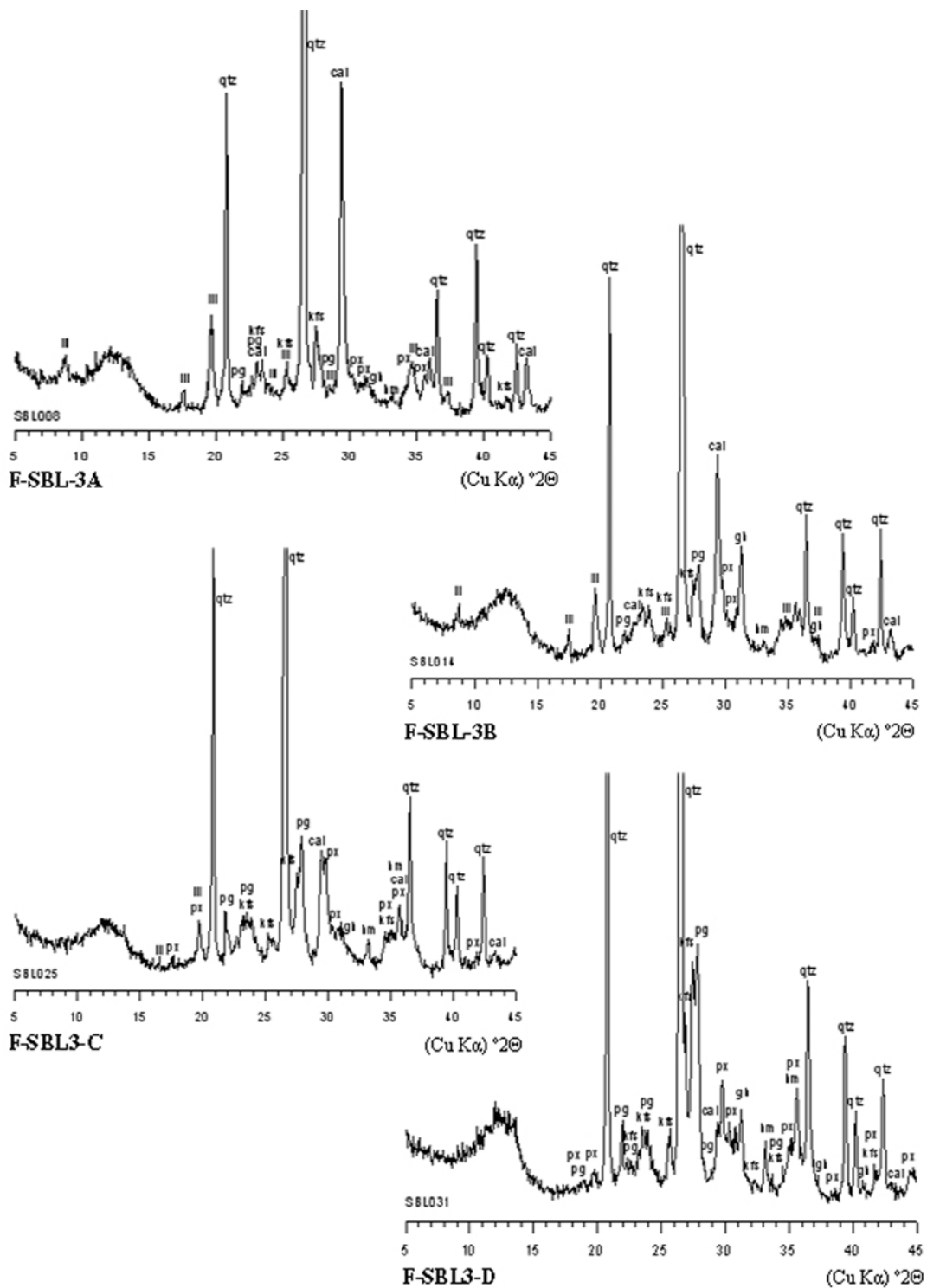


Figura 8.63. Difractograma representant la fàbrica F-SBL-3A (esquerra, superior), F-SBL-3B (esquerra, inferior), F-SBL-3C (dreta, superior) i F-SBL-3D (dreta, inferior del GR SBL-3. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagioclasi; px: piroxè; qtz: quars

8.3.3.4. Contrastació dels resultats

Des del punt de vista arqueològic, les restes del taller ceràmic del Barri Antic mostren diferents fases de l'activitat productora, com evidencien les cronologies dels tres forns documentats que han estat utilitzats en diferents moments de l'activitat d'aquest taller. El forn F1, datat entre els anys 20/30 aC i 20/30 dC hauria servit majoritàriament per a la fabricació d'àmfores Pascual 1, tot i que ja es documenta algun exemplar de Dressel 2-4 en el transcurs de la seva utilització. En el moment en què els forns F2 i F3 estan en ús, des dels anys 20/30 dC i al llarg de la centúria, la fabricació d'àmfores consisteix bàsicament en el tipus Dressel 2-4. Entre les àmfores analitzades, els individus SBL006 a SBL013 estan datats al voltant dels anys 20/30 dC (Horitzó F), i són els materials que predominen en el GR SBL-2 i podrien haver estat cuits en el forn F1 (Figura 8.64). En canvi, els individus SBL014 a SBL025, que s'agrupen majoritàriament en el GR SBL-3, semblen haver estat produïts cap a mitjans del s. I dC (Horitzó G) i, possiblement, en la seva cocció s'haurien utilitzat els forns F2 o F3.

Des del punt de vista químic, podem considerar la producció amforal al Barri Antic com molt homogènia i estandarditzada. Tot i que s'han identificat tres grups de referència, podem suposar la utilització d'una matèria primera molt similar, potser procedent dels mateixos jaciments argilosos. En quant als processos tècnics de fabricació amforal al Barri Antic, totes les àmfores analitzades es caracteritzen per estar fabricades amb una pasta calcària. La variacions semblen respondre a alteracions i contaminacions elementals originades en el context de deposició o enterrament dels contenidors ceràmics. Això explicaria l'abundància de MnO, Ba i Sr en el GR SBL-1 en

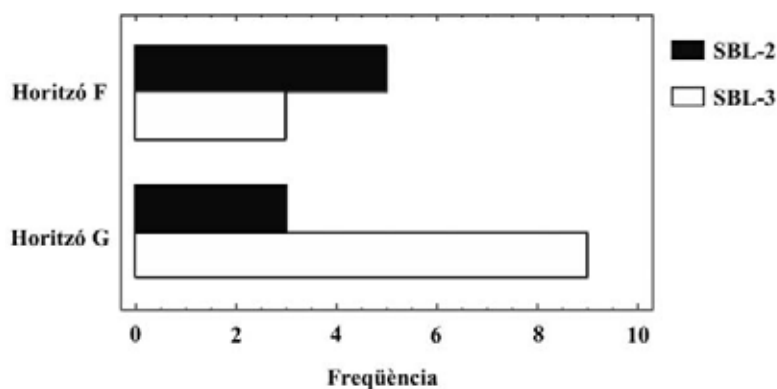


Figura 8.64. Gràfic representant la presència d'àmfores dels grups químics SBL-2 i SBL-3 del Barri Antic en els horitzons cronològics F (20/30aC-20/30dC) i G (20/30 dC fins final s. I dC)

relació als altres grups, o del Na₂O en el cas dels individus SBL001 i SBL004. Tanmateix, en el cas d'aquests dos individus, a més de presentar fases mineralògiques d'origen secundari com a conseqüència de la recarbonatació de la calcita secundària i la cristallització de l'analcima, que poden haver canviat la composició química original, no poden ser considerats com a produccions del taller del Barri Antic.

No estem davant d'un centre on es documentin canvis tecnològics adoptats en períodes concrets de l'activitat artesanal, com sí s'ha vist en el cas de la producció amforal al centre productor de Ca l'Arnau, a Cabrera de Mar, al llarg de la segona meitat del s. I aC (Martínez *et al.*, 2005). Deixant de banda les possibles alteracions composicionals, la variabilitat química de les diferents pastes pot respondre a les característiques geològiques i geomorfològiques de l'antic estuari del Llobregat. L'àrea geogràfica on es localitza el taller del Barri Antic es caracteritza per una hidrosedimentació particular, en la que els fenòmens d'erosió a la conca del riu, relacionats amb processos torrencials, poden canviar parcialment la sedimentació fluvial. D'aquesta manera, la variabilitat química podria correspondre, en part, a l'ús d'uns jaciments argilosos formats a partir d'aportacions sedimentàries de tipus fluvial i torrencial que arrossegarien els materials lítics i sedimentaris de diferents àrees geològiques de la conca del riu Llobregat.

La tonalitat de la pasta és ataronjada, vermell rosat o marró clar, en funció de la temperatura de cocció. La fracció grollera es compon bàsicament de fragments de quars i roques ígnies de tipus granitoide i aportacions metamòrfiques i sedimentàries de mides entorn 1 mm, en alguns casos (Làmina 8.14). Les diferències en la tonalitat, en

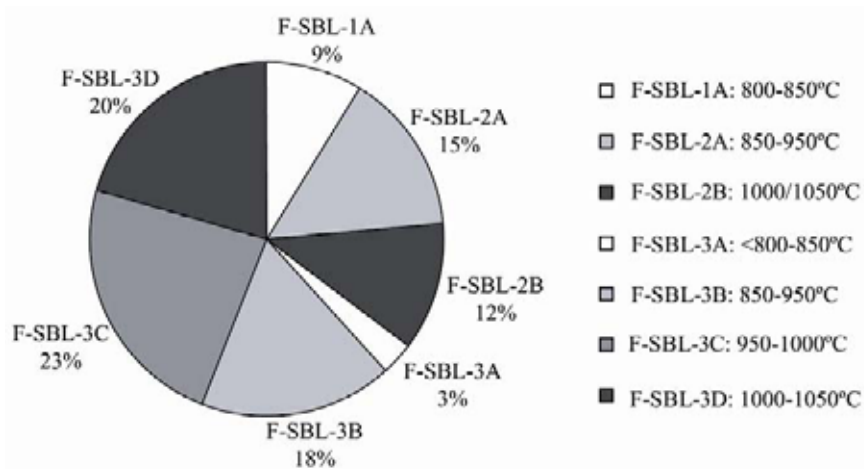


Figura 8.65. Gràfic representant el % d'àmfores de cada fàbrica mineralògica identificades al Barri Antic (Sant Boi de Llobregat i la TCE estimada per a cada fàbrica a partir de l'anàlisi per DRX

les característiques físiques i en les propietats mecàniques és la conseqüència de les diferents temperatures de cocció i del percentatge de carbonats presents en la pasta. Algunes àmfores han estat cuites a baixa temperatura (800-850°C), com les fàbriques SBL-1A, SBL-2A i SBL-3A (Figura 8.65). A aquesta temperatura, s'observa un estadi de vitrificació en alguns punts de la matriu calcària (Figura 8.59 i 8.62, superior). Tanmateix, la majoria d'àmfores apareixen cuites a una bona temperatura (950-1050°C), com les fàbriques F2-B, F3-B, F3-C, F3-D (Taula 8.20). La microestructura d'aquestes àmfores presenta una fase vítria intensa, i la matriu esdevé més densa, amb un alt estadi de sinterització de les partícules d'argila. La porositat és de dimensions petites i la pasta esdevé dura i compacta (Figura 8.59 i 8.62, central). Aquestes característiques s'intensifiquen amb temperatures superiors, ja que a 1100°C la matriu ceràmica apareix totalment vitrificada (Figura 8.59 i 8.62, inferior).

Tot i que els individus analitzats procedeixen d'abocadors ceràmics, en cap cas es tracta de material de rebuig per sobrecocció, sinó que les àmfores analitzades estan fabricades amb un material de qualitat. Per aquest motiu pensem que pot tractar-se de contenidors trencats en el procés de fabricació o durant el seu maneig abans de sortir de la terrisseria del Barri Antic. Aquesta interpretació no és vàlida per als individus SBL001 i SBL004, que possiblement no han estat fabricats en aquest centre, tot i que semblen cuites a una alta temperatura. En quant a les àmfores analitzades que presenten un segell epigràfic, podem atribuir el nom *Iulius Aniceti* de l'àmfora SBL003 a la producció del taller del Barri Antic. Aquest individu s'associa al grup de referència majoritari del Barri Antic SBL-3. Aquest nom, recuperat en altres àmfores Pascual 1 d'Enserune i Vieille Toulouse, datades en època d'August, és molt freqüent entre el material de rebliment dels pous d'extracció d'argila del Barri Antic que semblen haver estat utilitzats durant el període de funcionament del forn F1 (Miró 1988: 217; Pascual 1991; Revilla, 1995: 191). En canvi, el pivot d'àmfora que presenta l'estampilla *QVA* (SBL004), no sembla formar part de la producció del taller del Barri Antic. No obstant, aquest segell ha estat recuperat en diversos contenidors procedents dels centres de producció de Can Tintorer, situat més al nord, en la riba esquerra del Llobregat i de Can Portell (Argentona), localitzat més al nord, sobre la costa septentrional del Maresme.

8.3.4. El Vilarenc (Calafell)

8.3.4.1. La caracterització química

Els 43 individus amforals del Vilarenc caracteritzats per FRX corresponen a dues àmfores Dressel 1 citerior (ELV001 i ELV002), tres Tarraconense 1D (ELV046, ELV050 i ELV051), una possible Tarraconense 1E (ELV053), 18 individus d'àmfora Tarraconense 3 (ELV003 a ELV015, ELV028 a ELV030, ELV045 i a ELV052) i 16 individus d'àmfora Pascual 1 (ELV010 a ELV027, ELV036 a ELV038 i ELV044) (Taula 3 - Annex 1). A més d'aquests tipus, s'ha analitzat una àmfora Tarraconense de base plana i amb una vora de perfil rectangular sense atribució tipològica (ELV047) així com dues àmfores de base plana i llavi de secció triangular amb un cos de gran diàmetre (ELV048 i ELV049). Aquesta anàlisi ens ha permès determinar la concentració química dels elements químics majors i menors (expressats en òxids) i dels elements traça següents: Fe₂O₃ (en tant que Fe total), Al₂O₃, MnO, P₂O₅, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. En aquest cas, no s'han utilitzat les concentracions relatives del Co, W, Mo, Sn, Th, P₂O₅ i Pb per les raons comentades al Capítol 4.1.3.

Les concentracions elementals dels 43 individus han estat transformades en logaritmes de raons (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a) i la matriu de variació

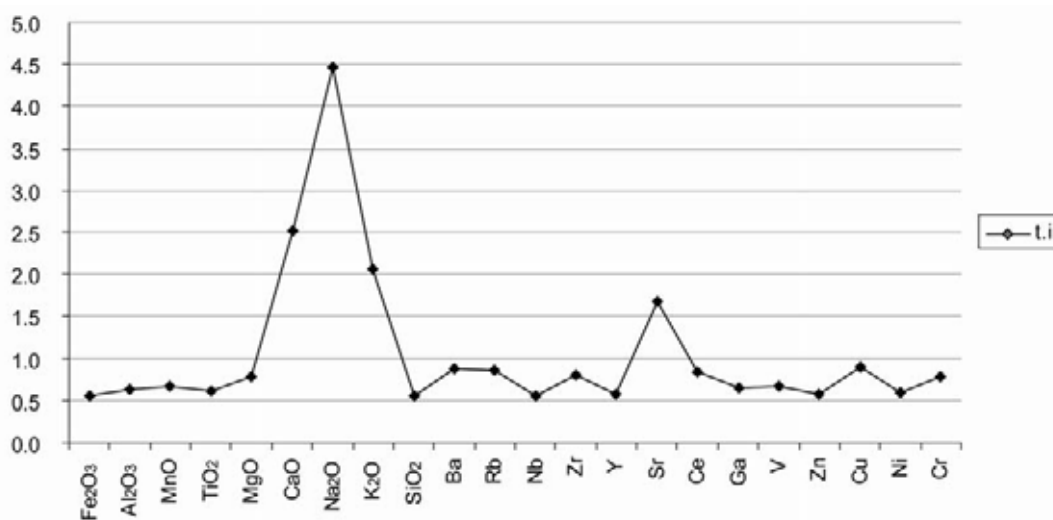


Figura 8.66. Gràfic representant la variabilitat dels 22 elements químics considerats per als 43 individus ceràmics del Vilarenc analitzats a partir dels valors de τ_i de la Taula 8.21

composicional (MVC) resultant proporciona una variació total $v_t = 0.5266$ (Taula 8.21), que pot ser considerada lleugerament elevada per tractar-se de la producció d'un taller ceràmic (Buxeda i Kilikoglou, 2003). En aquesta MVC s'observa, a més, que les composicions que més variabilitat proporcionen al conjunt de dades són, com ja veïem en els casos d'estudi anteriors, el CaO ($\tau_{CaO} = 2.516$), el Na₂O ($\tau_{Na_2O} = 4.463$), el K₂O ($\tau_{K_2O} = 2.054$) i el Sr ($\tau_{Sr} = 1.675$). Contràriament, el Nb és l'element que ofereix menys variabilitat ($\tau_{Nb} = 0.553$) i serà utilitzat com a divisor en la transformació en logaritmes de raons (Figura 8.66).

Aquests valors ens porten a sospitar l'origen de les diferències que presenten els individus analitzats, que pot deure's, en gran mesura, a processos secundaris d'alteració i contaminació. A l'igual que en el cas de les àmfores calcàries de Ca l'Arnaú, del carrer Princesa, del mercat Santa Caterina i del Barri Antic, el gràfic bivariant $\ln(\text{CaO}/\text{Nb})$ i $\ln(\text{Sr}/\text{Nb})$ de la Figura 8.67, mostra com els individus es distribueixen seguint una correlació positiva, en la que a mesura que els valors de Sr augmenten, creixen els valors de CaO. Sobre aquest gràfic s'observa com la majoria d'individus del Vilarenc presenten unes concentracions relatives en CaO entre 8 i 18%. Només l'individu ELV028 presenta una concentració relativa en CaO superior a 20% i uns valors de Sr d'entorn 585 ppm, que és més elevat que a la resta d'individus, que es situa entre 200 i

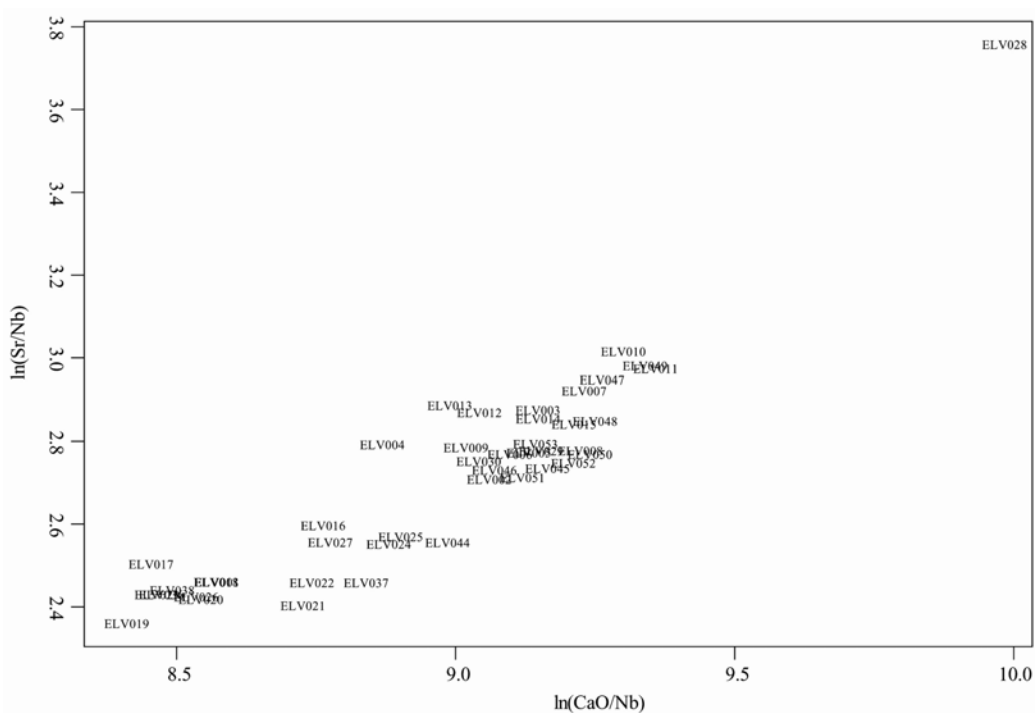


Figura 8.67. Gràfic bivariant dels 43 individus del Vilarenc (Calafell), amb els valors $\ln(\text{CaO}/\text{Nb})$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{Sr}/\text{Nb})$ a l'eix d'ordenades

300 ppm. Així, l'alta variabilitat del CaO i Sr pot ser introduïda per l'àmfora Tarraconense 3 ELV028, que apareix força distanciat de la resta d'àmfores, tot i que dins el conjunt de dades s'observen igualment petites agrupacions i les diferències existents entre elles poden contribuir igualment a l'alta variabilitat del CaO i Sr. Aquestes diferències poden respondre a l'ús d'estratègies diferents, per part dels ceramistes, en el moment de preparació de la pasta, que portaria a la manufactura d'unes àmfores de pasta més calcària que d'altres. La correlació entre CaO i Sr pot ser explicada per la relació químic-geològica que presenten aquests dos elements, en tractar-se ambdós de metalls alcalinoterris del grup IIA.

D'altra banda, el gràfic bivariant $\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{Nb})$ i $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{Nb})$ de la Figura 8.68, mostra, en canvi, una correlació negativa en comparar les concentracions relatives de Na_2O i K_2O . S'observa com els individus que presenten una alta concentració relativa de sodi, mostren uns valors baixos de potassi i viceversa. Aquest gràfic ens permet observar, a més, com una gran part dels individus analitzats resten agrupats ja que presenten uns valors més elevats de potassi. La resta d'individus, en canvi, presenten concentracions relatives més elevades de sodi que de potassi. Aquesta correlació indirecta entre el Na_2O i el K_2O són típiques de l'existència de fases secundàries sobre les que parlarem àmpliament a l'apartat de l'estudi mineralògic.

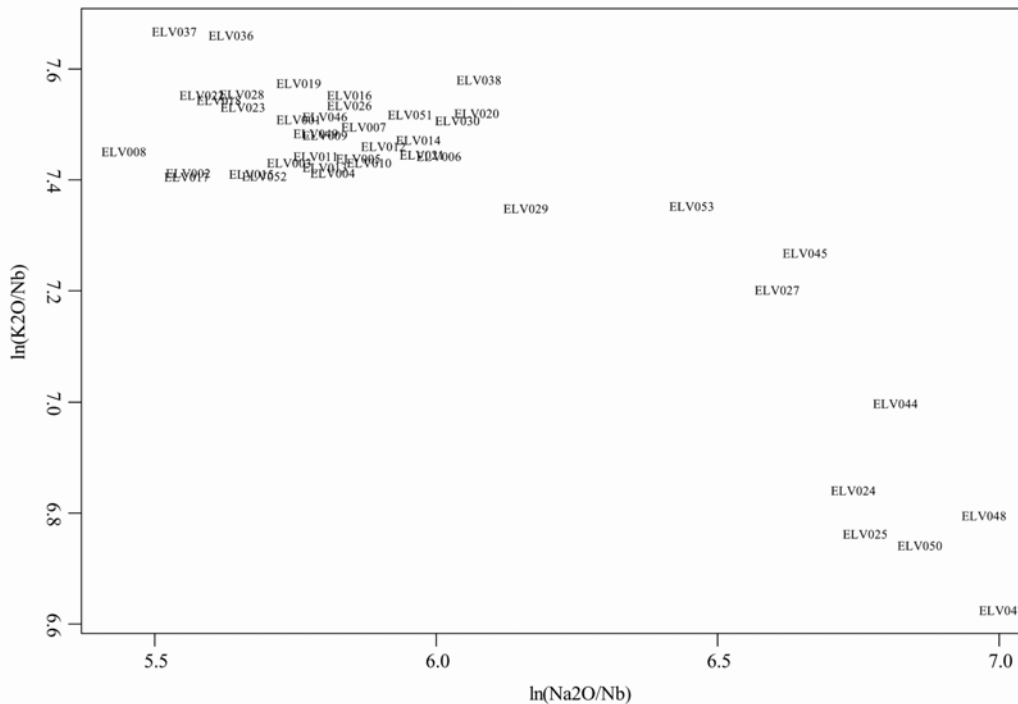


Figura 8.68. Gràfic bivariant dels 43 individus del Vilarenc (Calafell), amb els valors $\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{Nb})$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{Nb})$ a l'eix d'ordenades

El dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats, realitzat amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba , Rb , Nb , Zr , Y , Sr , Ce , Ga , V , Zn , Ni i Cr i utilitzant el Nb com a divisor (Figura 8.69). Aquest gràfic posa de relleu dues grans agrupacions, subdividides en conjunts, mentre que l'àmfora Tarraconense 3 (ELV028) resta aïllada a l'esquerra del dendrograma.

El grup químic ELV-1 està format majoritàriament per àmfors Tarraconense 3 (ELV003 a ELV015, ELV029, ELV030 i ELV052), tot i que també s'agrupen a aquest conjunt dues àmfors Tarraconense 1D (ELV046 i ELV051), una Dressel 1 citerior (ELV002) i una àmfora de base plana i vora triangular (ELV049). Aquestes presenten una pasta força calcària (15.44 % CaO), com es pot observar a la Taula 8.22, que recull la mitjana i la desviació estàndard dels grups químics identificats (Figura 8.69). Presenten, a més, uns valors relatius de Sr més elevats que l'altre grup majoritari, ELV-2, tot i que la concentració relativa en Al_2O_3 presenta valors més baixos. El contingut en K_2O és alt però baix en Na_2O , com veiem a la Figura 8.68.

Les àmfors Pascual 1 es divideixen en dos grups químics (ELV-2 i ELV-5), diferenciats bàsicament pels continguts de CaO , Na_2O , K_2O , Ba , Rb i Sr . El grup químic ELV-2 recull el nombre majoritari d'àmfors Pascual 1 (ELV016 a 023, 026, 036, 037 i 038), així com l'àmfora Dressel 1 citerior (ELV001). El percentatge en CaO és ara inferior que en el grup químic ELV-1, però les àmfors continuen sent calcàries (9.71% CaO). Els valors dels traça Rb i Sr són pròxims als del grup ELV-5 (Taula 8.22).

El grup químic ELV-3 agrupa l'àmfora Tarraconense 1D (ELV050), una àmfora de base plana i vora rectangular, pròxima al tipus Gauloise 2 (ELV047) i una àmfora de base plana i vora de secció triangular (ELV048). Aquestes presenten la pasta més calcària de tots els individus (16.8% CaO), així com unes concentracions relatives elevades en MgO , Na_2O i Sr . Tanmateix, els valors de K_2O , Rb i Ba són més baixos que als altres grups. Aquests 3 individus es situen en l'extrem oposat als individus dels grups químics ELV-1 i ELV-2 en el gràfic bivariant de la Figura 8.68.

Dos individus formen el grup químic ELV-4, que s'uneix al conjunt ELV-5 a poca distància ultramètrica. L'àmfora Tarraconense 3 (ELV045) i la nansa de tipus indeterminat (ELV053) són calcàries i presenten unes concentracions relatives en Na_2O i K_2O intermitges a la resta de grups (Taula 8.22).

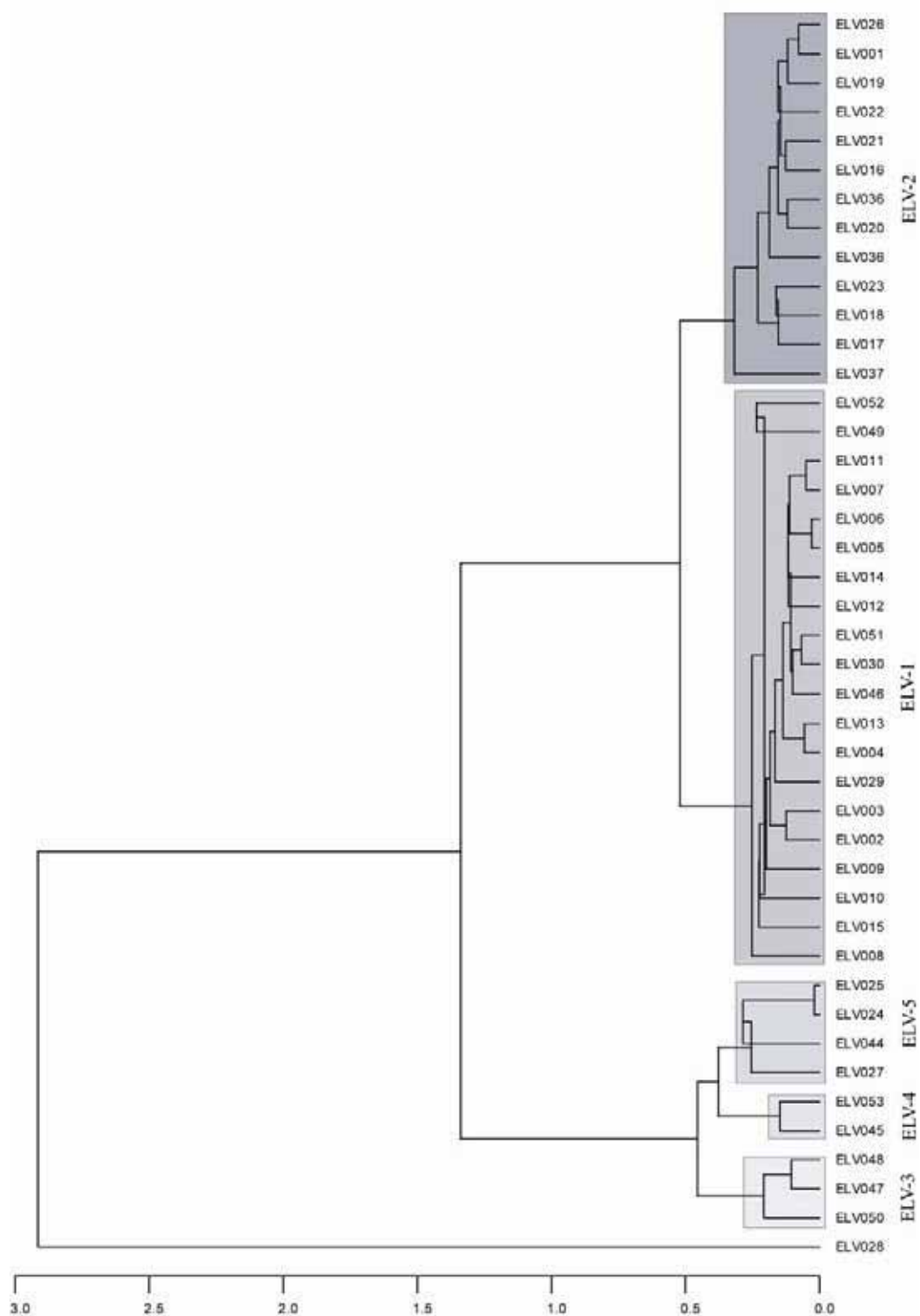


Figura 8.69. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 43 individus del Vilarenc (Calafell), amb indicació dels 5 grups químics resultant de la transformació de les dades composicionals en logaritmes de raons utilitzant el Nb com a divisor i l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide

El grup químic ELV-5 està format, com ja s'ha comentat, per tres àmfores Pascual 1 (ELV024, 025 i 027) i una vora pròxima a l'àmfora Pascual 1 però més curta i similar a les vores de l'àmfora Tarraconense 1E (ELV044). Totes estan fabricades amb una argila calcària que, en aquest cas, presenta uns valors de Na₂O elevats i unes concentracions relatives en K₂O baixes. Finalment, l'àmfora Tarraconense 3 ELV028 es distancia de la resta d'individus pel seu alt contingut en calci (29.23%CaO), K₂O, Sr i Zr i el seu baix contingut en Na₂O, entre d'altres diferències (Taula 8.22).

Per tal de veure com es comporten els individus si no tenim en compte els elements que poden introduir certa variabilitat ocasionada per possibles processos d'alteració i contaminació d'origen secundari, s'ha repetit el tractament estadístic sense tenir en compte el Na₂O, K₂O, Rb ni el Cu. La MVC resultant (Taula 8.23) mostra ara una $v_t = 0.2428$, que podem considerar baixa i típica d'una producció homogènia. Si repetim el tractament estadístic per conèixer quina és la variabilitat química que presenta el conjunt de dades sense tenir en compte l'individu ELV028 i utilitzant la subcomposició Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, SiO₂, Ba, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr (sense el Na₂O, K₂O, Rb i Cu), la v_t resultant és de 0.1920, que és molt baixa i pot ser considerada com la variabilitat intrínseca en la producció d'un taller ceràmic (Buxeda i Kilikoglou, 2003). Els elements que contribueixen més a aquesta variabilitat continuen sent el CaO i Sr i, en menor mesura, el MgO i el Cr (Taula 8.24). Això indicaria que l'individu ELV028 introdueix una gran variabilitat a la composició química general, segurament per tractar-se d'una àmfora que ha estat fabricada amb unes matèries primeres diferents a la resta d'individus. Però per tal de veure com es distribueixen els 43 individus sense considerar els altres elements que aporten gran variabilitat al conjunt de dades, s'ha repetit el tractament estadístic sense tenir en compte el Na₂O, K₂O, CaO, Ba, Rb, Sr i Cu. La MVC resultant (Taula 8.25) ofereix un valor de la $v_t = 0.0792$, que és realment molt baix. Això es deu, d'una banda, a que només s'han considerat 15 concentracions elementals per als 43 individus. D'altra banda, a que les pastes amb les que han estat fabricades les àmfores del Vilarenc són força similars des del punt de vista químic. Un cop hem tret els elements susceptibles de presentar alteracions en alguns individus, aquests es diferencien bàsicament pels valors relatius en MgO, Zr, Ce i Cr.

El dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats (Figura 8.70), realitzat amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició Fe₂O₃, Al₂O₃,

MnO, TiO₂, MgO, SiO₂, Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr i utilitzant el Nb com a divisor en la transformació de logaritmes de raons, posa de relleu dues agrupacions. El conjunt majoritari i més homogeni agrupa les dues àmfores Dressel 1 citerior (ELV001 i ELV002), la majoria d'àmfores Tarraconense 3 i Pascual 1 així com un dels individus d'àmfora Tarraconense 1D (ELV051) i la nansa de pasta marró allargada i gruixuda (ELV053). La segona agrupació, més heterogènia, recull una àmfora Tarraconense 3, una Pascual 1, una Tarraconense 1D, així com les tres àmfores de base plana (ELV047, ELV048 i ELV049). Els elements químics que diferencien aquestes dues agrupacions són principalment el MgO i el Cr, sent més elevats en els 6 individus que formen el conjunt més petit. Respecte als 5 grups químics identificats a partir de les concentracions relatives de 21 composicions, s'observa com el grup majoritari i homogeni de la Figura 8.69 reagrupa bàsicament els conjunts ELV-1, ELV-2, ELV-4 i ELV-5. En canvi, l'altre conjunt es compon dels individus que formaven el grup químic ELV-3, més tres individus procedents dels grups ELV-1, ELV-2 i ELV-5 respectivament (Figura 8.70).

A partir de l'anàlisi química sembla evident com, sense tenir en consideració els elements químics que comporten més variabilitat, tots els individus, excepte l'àmfora Tarraconense 3 ELV028, han estat fabricats al taller ceràmic instal·lat a la vila del Vilarenc. A partir dels 43 individus analitzats s'han identificat fins a 5 tipus de pasta diferents utilitzades en la fabricació dels diferents envasos, que han donat pas a un mínim de cinc produccions. Aquestes són considerades com els cinc grups de referència identificats per a la producció amforal del Vilarenc (Taula 8.22). Les diferències majors determinades en les pastes d'aquestes produccions tenen a veure amb el CaO i el Na₂O. Si bé totes les produccions estan fabricades amb una pasta calcària, el contingut en CaO varia d'unes produccions a les altres. Tanmateix, la variabilitat del contingut calcari pot estar relacionada tant amb els processos tecnològics de fabricació (la utilització d'argiles més o menys calcàries i amb altres diferències composicionals) com als processos secundaris d'alteració i contaminació que podria comportar la precipitació de calcita secundària en la pasta d'alguns contenidors. D'altra banda, el Na₂O, que es presenta en percentatges diferents entre els individus analitzats, podria estar afectat igualment per processos secundaris d'alteració i contaminació que, com veurem en la caracterització tecnològica, poden haver afectat també als valors relatius de K₂O i Rb.

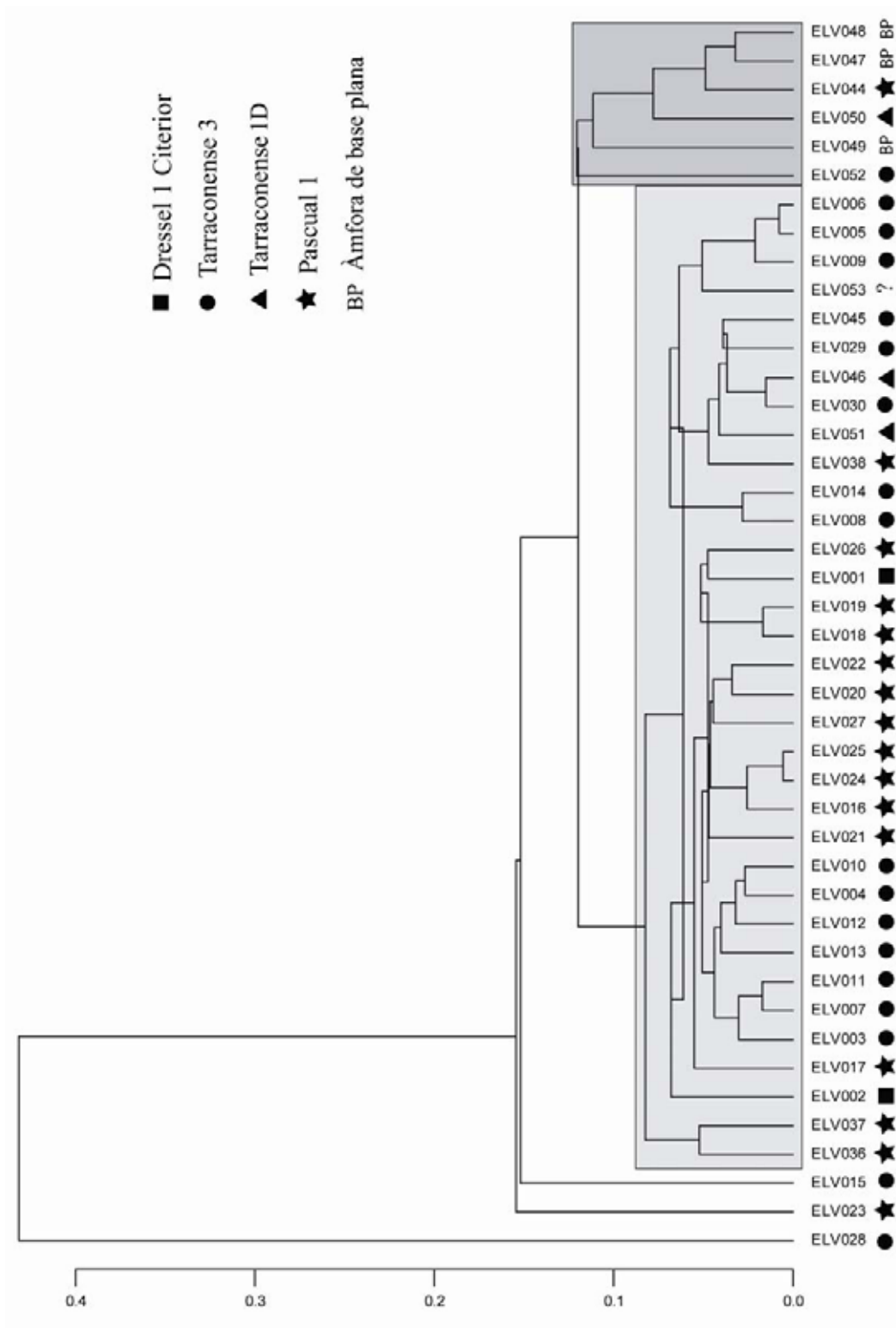


Figura 8.70. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 43 individus del Vilarenc (Calafell), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroid, sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , SiO_2 , Nb, Zr, Y, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr i utilitzant el Nb com a divisor

8.3.4.2. La caracterització petrogràfica

Des del punt de vista petrogràfic, els dos individus analitzats mitjançant MO procedents del Vilarenc presenten la mateixa composició litològica (F-ELV-A), si bé l'àmfora Tarraconense 3 (ELV007) mostra una matriu més calcària que l'àmfora Pascual 1 (ELV019) i aquesta sembla cuita a una temperatura superior que l'anterior.

Una característica a destacar és la diferència en la mida de gra de la matriu ceràmica en comparació amb les àmfors del Maresme, del Barcelonès i del Baix Llobregat analitzades. La matriu és força calcària, de tonalitat marró a marró clar groguenc, òpticament inactiva (Làmina 8.14).

La fracció grollera presenta sempre mides inferiors a 500 μm i es compon principalment de fragments de quars monocristal·lins i petits fragments de roques ígnies, bàsicament granits (200-500 μm). Els constituents de les partícules granitoides són bàsicament el quars amb aportacions de miques, biotites, feldspats potàssics, sovint caolinitzats, i plagiòclasi (Làmina 8.14, a, b, c, d). També apareixen alguns cristalls dispersos de quars, plagiòclasi de forma sub-arrodonida (Làmina 8.14, d), biotites i miques de mida inferior (Làmina 8.14, c, e).

S'observen fragments de roca metamòrfica, amb mides al voltant de 400 μm (Làmina 8.14, b, f). Els cristalls de calcita primària són presents a l'individu ELV007, que indicaria una TCE per aquest individu inferior a 800°C (Làmina 8.14, g, h). Però alguns d'aquests cristalls es troben altament alterats a conseqüència de la temperatura de cocció i també s'observen nòduls de calcita micrítica, indicant l'estat de descomposició d'aquest mineral a aquesta temperatura (Làmina 8.14, e, f). Destaca la presència de grumolls d'argila de forma circular (700-1200 μm) i de minerals opacs (30-150 μm) que també hi són presents (Làmina 8.14, a, b).

La presència, força abundant, dels cristalls de calcita, és un criteri petrogràfic distintiu entre la producció amforal del Vilarenc i la resta de produccions analitzades de l'àrea del Maresme i Barcelonès, ja que aquestes partícules només han estat identificades en aquestes produccions penedesenques.

La fracció fina està formada per petits cristalls de quars i làmines de biotita i moscovita (Làmina 8.14). Finalment, cal destacar la presència de microfauna de tipus foraminífera (Làmina 8.14, e).

8.3.4.3. La caracterització tecnològica

El caràcter calcari de les 43 àmfors del Vilarenc, així com els valors relatius en MgO pot ser observat en situar els individus en el diagrama ternari del triangle ceràmic (CaO+MgO+Fe₂O₃)-Al₂O₃-SiO₂ (Figura 8.71). Tots els individus resten inserits en el triangle d'equilibri termodinàmic quars-wol·lastonita-anortita (Heimann, 1989). Tanmateix, els individus estan distribuïts formant diferents agrupacions segons les seves concentracions en CaO, MgO i Fe₂O₃. L'àmfora ELV028 es distancia de la resta pel seu alt contingut en CaO i Sr (Taula 8.1), situant-se al límit amb el triangle d'equilibri termodinàmic wol·lastonita-gehlenita-anortita. Les característiques físiques i les propietats mecàniques de les àmfors fabricades al Vilarenc estan directament relacionades amb la composició de la pasta i els diferents processos de fabricació, com el processat de la pasta, el modelatge, la temperatura, el temps i l'atmosfera de cocció (Maniatis *et al.*, 1981, 1983).

Per tal d'avaluar alguns d'aquests processos tecnològics sobre el conjunt d'individus, aquests s'han analitzat mineralògicament per DRX. L'anàlisi dels difractogrames obtinguts per cada individu ens permet determinar la TCE, a partir de l'associació de les fases cristal·lines presents a cada mostra, ja siguin primàries, de cocció o secundàries (Taula 8.26).

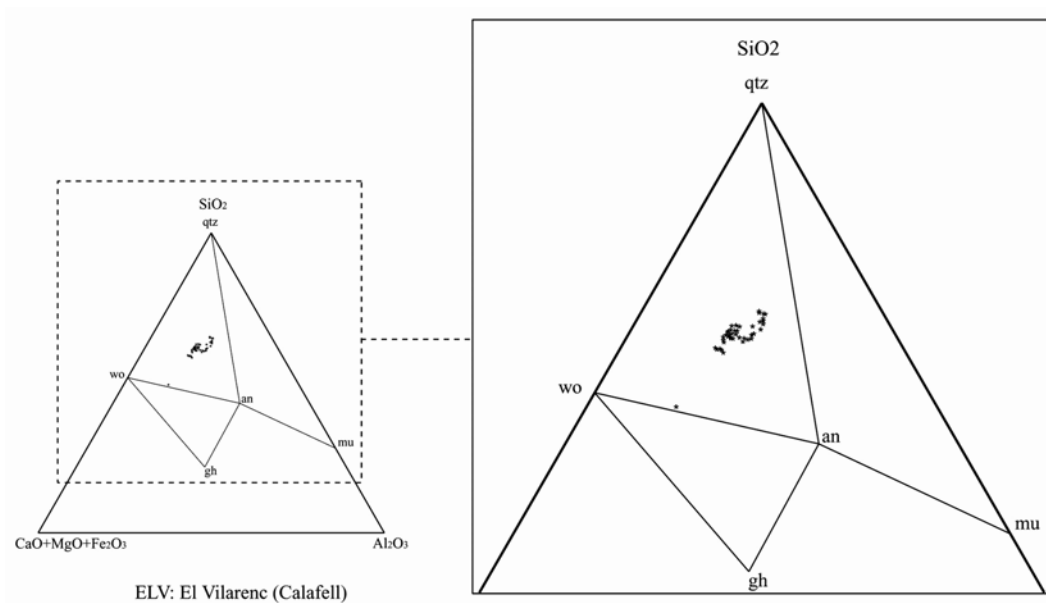


Figura 8.71. Diagrama del triangle ceràmic [CaO+MgO+Fe₂O₃]-Al₂O₃-SiO₂ amb l'emplaçament dels 43 individus analitzats. an = anortita (CaAl₂Si₂O₈); mu = mul·lita (3Al₂O₃·2SiO₂); gh = gehlenita (Ca₂Al₂SiO₂); wo = wol·lastonita (CaSiO₃); qtz = quars (SiO₂)

L'experiment termodiffractomètric realitzat sobre l'individu ELV008 del grup químic ELV-1 permet precisar l'evolució de les fases cristal·lines amb l'augment de la temperatura de cocció. Així, es podrà estimar la TCE per a les àmfores que formen aquest grup de referència (Figura 8.72).

És interessant remarcar com la calcita és present, tot i que en petita proporció, fins a 900°C. Les il·lites moscovites es mantenen fins a 1000°C, tot i que a aquesta temperatura apareixen uns pics molt reduïts i el corresponent a 10Å ja ha desaparegut. També sorprèn la ràpida formació de la gehlenita i dels piroxens com a fases de cocció, que ja són presents a partir de 800°C. El difractograma corresponent a la cocció a 900°C adopta, d'una banda, un pic de gehlenita molt intens, que roman amb aquesta intensitat fins a 1100°C. D'altra banda, s'observa també un fort creixement dels pics de piroxè, que apareixen encara més desenvolupats a partir de 1050°C. L'hematites és poc present en aquesta pasta i no experimenta cap desenvolupament amb l'augment de temperatura. Finalment, els cristalls de feldspat potàssic pateixen els efectes de l'augment de la temperatura, ja que la seva intensitat disminueix amb l'augment d'aquesta. Si bé són sempre presents, pateixen una notable reducció entorn 1050°C. A aquesta temperatura, els cristalls de quars també es veuen afectats. En canvi, la plagiòclasi es desenvolupa amb més força amb l'augment de la temperatura, especialment des de 950°C.

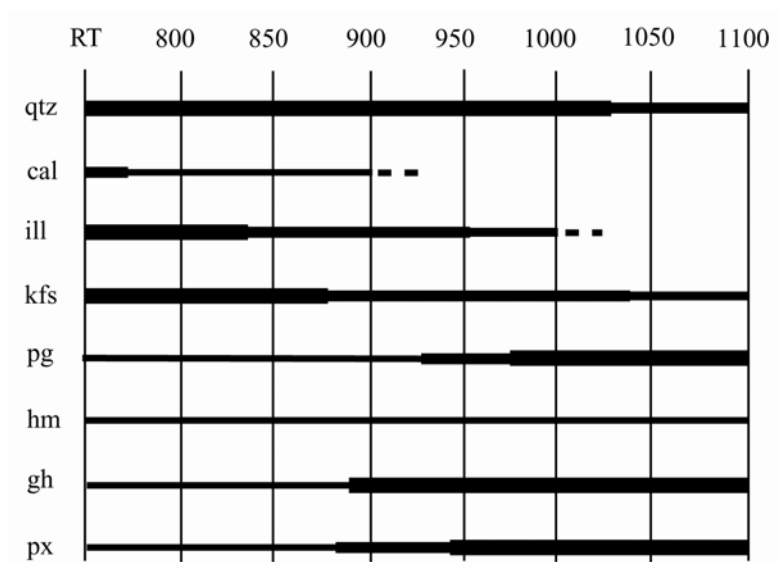


Figura 8.72. Resultats dels experiments de recocció de l'individu ELV008, corresponent a al grup químic ELV-1 del Vilarenc (Calafell). RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovita, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; gh: gehlenita; px: piroxè

L'esquema que acabem de determinar sobre la presència conjunta de les diverses fases cristal·lines a una determinada temperatura és utilitzat com a patró en l'anàlisi dels difractogrames dels individus que formen el grup químic ELV-1. D'aquesta manera, s'han identificat tres fàbriques mineralògiques, F-ELV -1A, F-ELV -1B i F-ELV -1C i les respectives TCE.

La fàbrica de més baixa temperatura, F-ELV-1A, presenta majoritàriament fases primàries com el quars, la calcita, les il·lites-moscovites, els feldspats potàssics i la plagiòclasi. També són presents fases de cocció però de forma molt minoritària, com la gelhenita, els piroxens i l'hematites, que és encara molt petita. L'associació d'aquestes fases, en relació a la Figura 8.72, ens porta a establir una TCE al voltant dels 800-850°C per a l'àmfora Dressel 1 citerior (ELV002) i les àmfores Tarraconense 3 (ELV007, 008, 013 i 014) (Figura 8.73, superior).

La majoria d'individus del grup químic ELV-1 presenten, però, una bona TCE i s'agrupen en la fàbrica F-ELV-1B. La TCE més elevada d'aquesta fàbrica en relació a l'anterior ve manifestada pel desenvolupament de les fases de cocció (plagiòclasi, piroxens i hematites) i per l'aparició de la gehlenita, coincidint encara amb la presència de filosilicats, calcita i feldspat potàssic. La presència conjunta d'aquestes fases ens els individus d'àmfora Tarraconense 3 (ELV003, 004, 005, 006, 009, 010, 011, 012, 015, 030 i 052), d'àmfora Tarraconense 1D (ELV046 i ELV051) i l'individu de base plana i vora de forma triangular (ELV049), permet establir una TCE al voltant dels 850-950/1000°C (Figura 8.73, central).

Finalment, l'àmfora Tarraconense 3 (ELV029) pertanyent també al grup químic ELV-1, presenta la desaparició total dels pics de filosilicats d'il·lita-moscovita i un desenvolupament més marcat de fases de cocció (Figura 8.73, inferior). La TCE estimada per a la F-ELV-1C és superior a 1000°C (Taula 8.26).

L'anàlisi per MER de la microestructura ceràmica de l'individu ELV008 cuit a baixa (ECER), bona (950°C) i alta temperatura (1100°C) ens permet estimar el grau de vitrificació i l'estadi de sinterització dels individus que formen les tres fàbriques del grup químic ELV-1 (Taula 8.26). A 800-850°C la matriu ceràmica no presenta cap fase vítria o només alguns punts de vitrificació incompleta (Figura 8.74, superior). En canvi, a 950°C, ja s'ha desenvolupat una fase vítria intensa, amb superfícies amples que envolten les partícules no plàstiques (Figura 8.74, central). Al voltant de 1100°C, l'estadi de sinterització és total i la fase vítria és densa i s'estén per tota la matriu ceràmica (Figura 8.74, inferior).

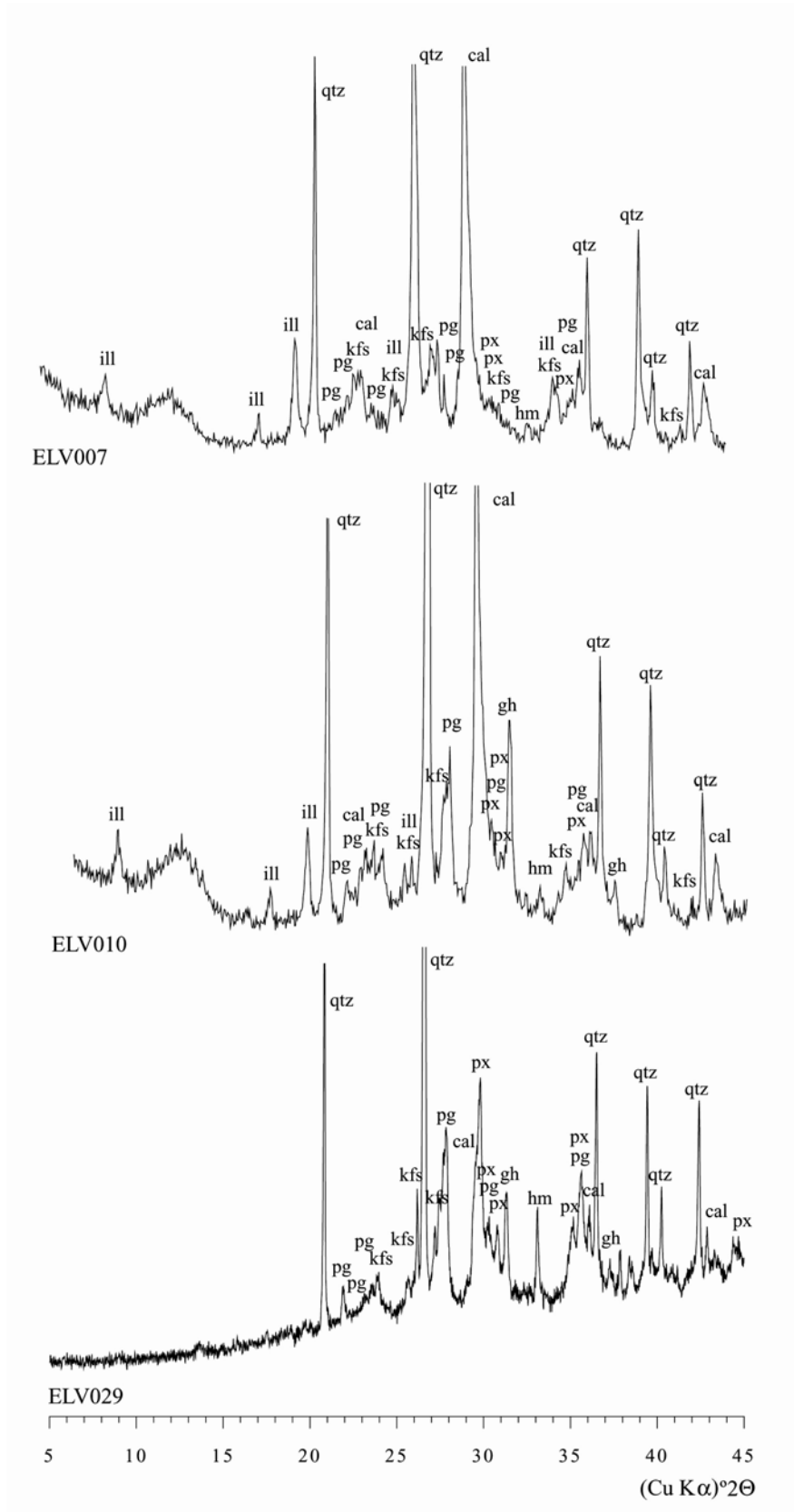


Figura 8.73. Difractograma representant la fàbrica F-ELV-1A (superior), F-ELV-1B (centre) i F-ELV-1C (inferior) GR ELV-1. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

L'experiment termodiffractomètric realitzat sobre l'individu ELV018 del grup químic ELV-2 ens permet definir amb més precisió les fases primàries i de cocció presents en els set rangs de temperatura de 800 a 1100°C (Figura 8.75).

És força singular que la calcita es manifesti, tot i que amb molt poca intensitat, fins a 950-1000°C. Suposem que la no descomposició total dels carbonats, que en principi no superen una temperatura d'entorn 850°C, ha d'estar relacionada amb la mida d'aquestes partícules. Aquestes deuen ser força grans i, per aquest motiu, es necessita assolir una alta temperatura per descomposar-les completament. Recordem, però, que l'anàlisi petrogràfica per làmina prima de l'individu ELV019 del mateix grup químic, mostrava la presència d'alguns fòssils marins, l'estructura dels quals està formada bàsicament per carbonats, com l'aragonita. La presència d'aquestes partícules en la pasta ceràmica podria explicar, en part, l'alt contingut calcari que s'observa tant en aquest grup químic com a la resta d'àmfores del Vilarenc. No obstant, el contingut calcari pot procedir igualment dels sediments argilosos utilitzats per obtenir la pasta ceràmica procedents de l'entorn geològic on es situa el taller, com s'ha vist al Capítol 6.4.

Les il·lites moscovites es mantenen fins a 1000°C, tot i que ja no s'observa el pic de 10 Å i a 1050°C ja ha desaparegut completament. El feldspat potàssic manifesta un creixement progressiu, força marcat a 900°C i especialment entre 1050 i 1100°C. La plagiòclasi és sempre present i apareix més desenvolupada amb l'increment de la temperatura. Els pics són especialment intensos a partir de 1000°C. L'hematites apareix amb poca intensitat a tots els rangs de temperatura, si bé experimenta un lleuger creixement a partir de 1000°C. La fase metaestable de la gehlenita és present a tots els rangs de temperatura i experimenta un fort creixement entre 900 i 950°C. Els piroxens també apareixen a 800°C, però els pics són més intensos a 900°C i sobretot a partir de 950°C fins a 1100°C.

La comparació d'aquest esquema amb els difractogrames dels individus que formen el grup químic ELV-2 permet identificar fins a tres fàbriques mineralògiques (Taula 8.26). La fàbrica de més baixa temperatura, F-ELV-2A, presenta les fases primàries com el quars, les il·lites-moscovites, la calcita, els feldspats potàssics i la plagiòclasi. Associades a aquestes fases apareixen fases de cocció, com els piroxens, juntament amb pics poc desenvolupats d'hematites i gehlenita. Tot indica que la TCE ha de situar-se al voltant de 800-850°C per als 7 individus d'àmfora Pascual 1 (ELV017, 018, 019, 022, 023, 036 i 037) (Figura 8.76, superior).

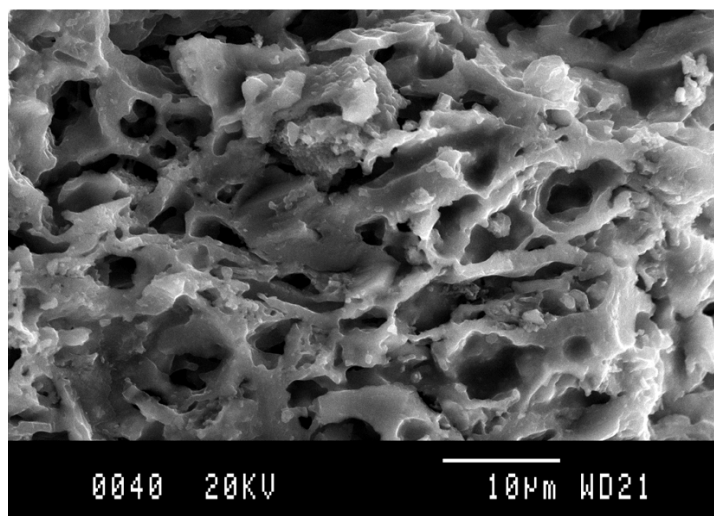
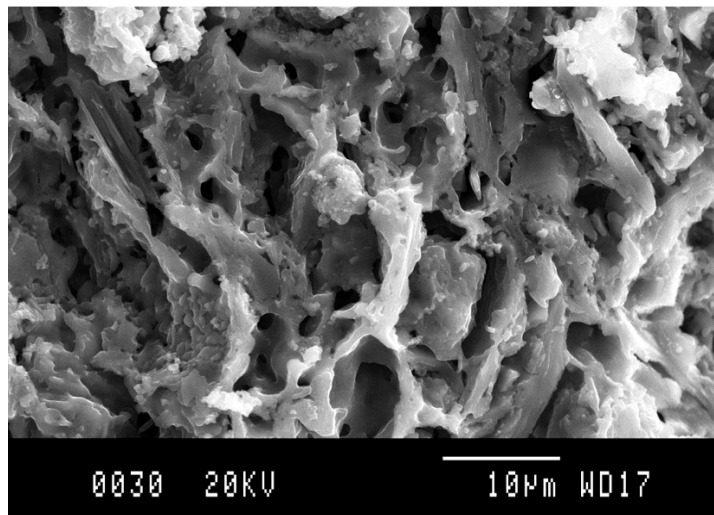
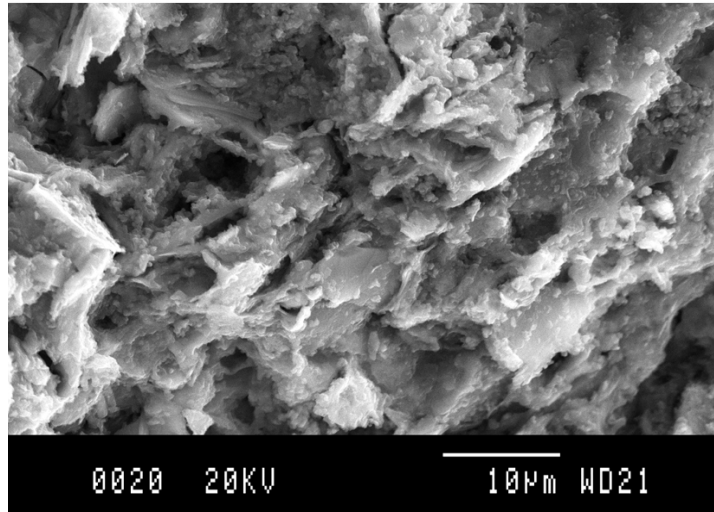


Figura 8.74. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu ELV008 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

Una segona fàbrica mineralògica agrupa els individus cuits a bona temperatura, F-ELV-2B, corresponents a una àmfora Dressel 1 ceterior (ELV001) i 4 individus d'àmfora Pascual 1 (ELV016, 020, 026 i 038). Tots aquests presenten un major creixement de les fases de cocció (piroxens i gehlenita) i de l'hematites, coincidint amb la presència de fases primàries com els filosilicats i la calcita, que ens porta a estimar una TCE al voltant dels 900-950°C (Figura 8.76, central).

Un sol individu forma la fàbrica F-ELV-2C (ELV021) d'alta temperatura (superior a 1000°C), com mostren les fases de cocció i l'absència de filosilicats (Figura 8.76, inferior).

L'anàlisi per MER de l'individu ELV018 en l'ECER així com de les mostres resultants dels experiments de recocció a 950°C i 1100°C, permet estimar una evolució microestructural de la matriu ceràmica similar a l'individu ELV008. A baixa temperatura, (ELV018-ECER), la matriu no presenta evidència de l'inici de la formació de la fase vítria i s'observen les làmines dels minerals d'argila i les partícules que conformen la pasta ceràmica (Figura 8.77, superior). A 950°C, s'observa un estat de vitrificació intens en la matriu ceràmica, que ha esdevingut una massa densa, dura i molt compacta (Figura 8.77, central). A 1100°C, l'estadi de vitrificació i de sinterització dels minerals d'argila és total. La matriu ceràmica apareix força fusionada amb les partícules no plàstiques i la porositat a l'interior de la matriu és tancada (Figura 8.77, inferior).

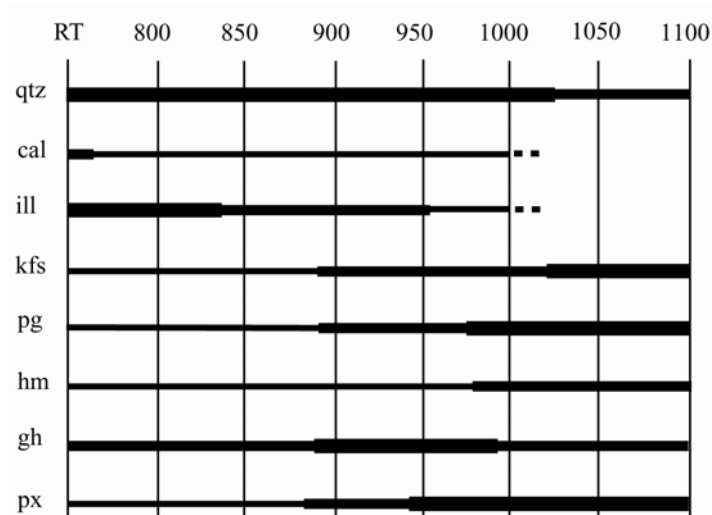


Figura 8.75. Resultats dels experiments de recocció de l'individu ELV018, corresponent al grup químic ELV-2 del Vilarenc (Calafell). RT: temperatura ambient; qtz: quars; cal: calcita; ill: il·lita moscovita, kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; hm: hematites; gh: gehlenita; px: piroxè

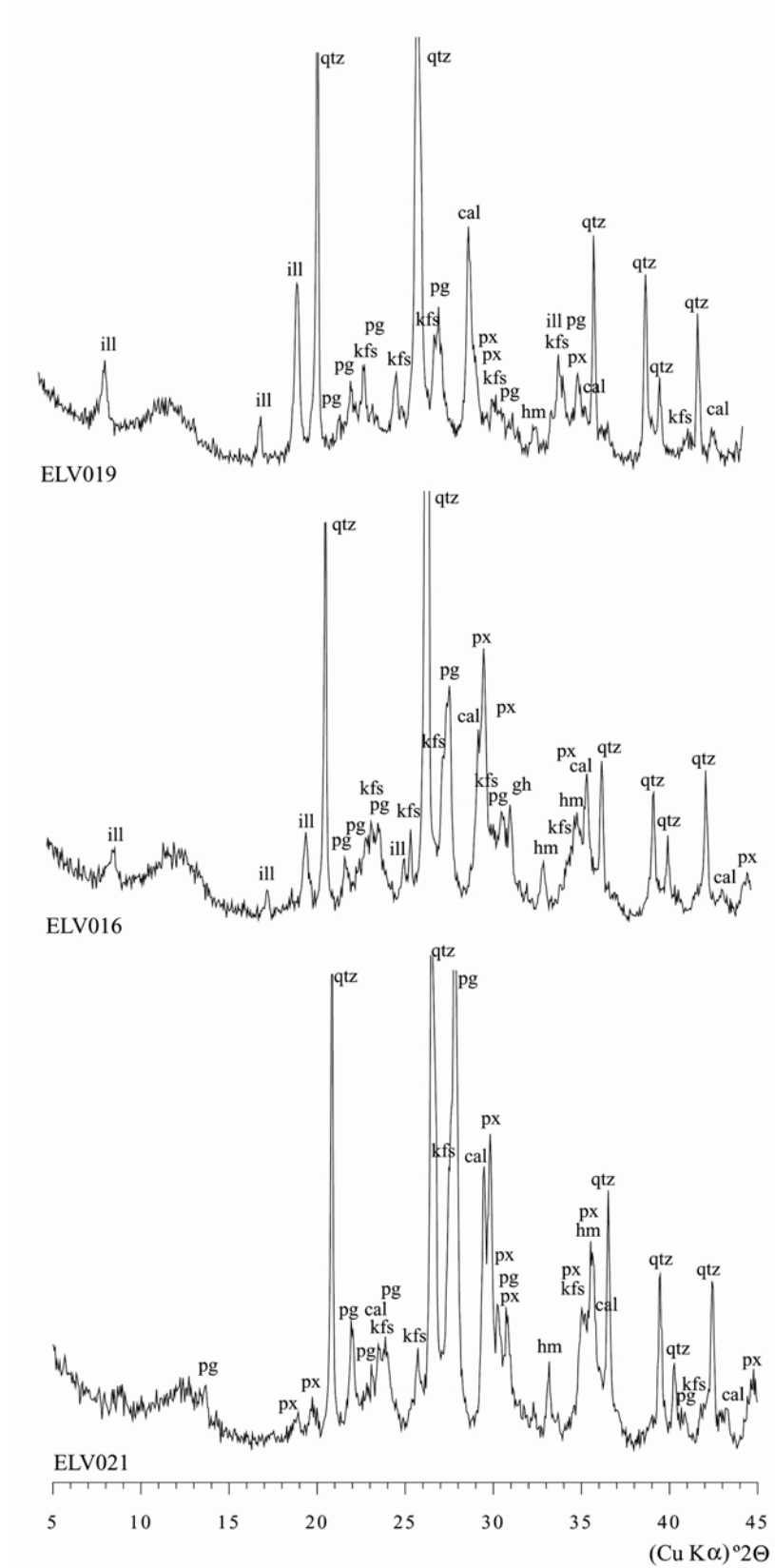


Figura 8.76. Difractograma representant la fàbrica F-ELV-2A (superior), F-ELV-2B (centre) i F-ELV-2C (inferior) GR ELV-2. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

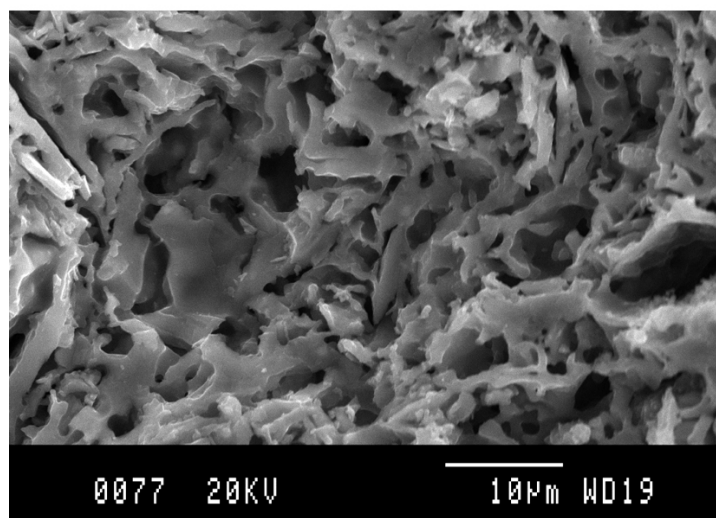
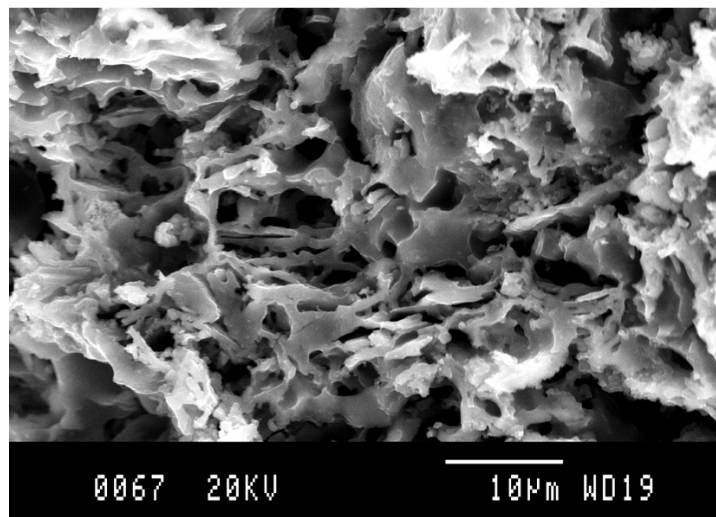
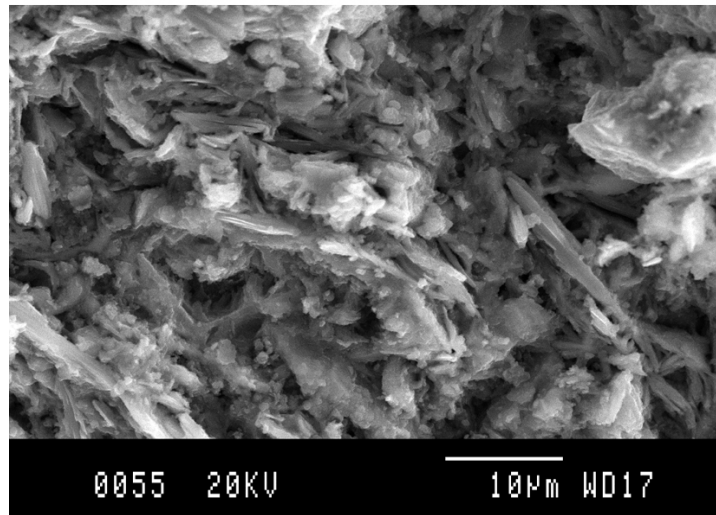


Figura 8.77. Microfotografies per MER de la matriu de l'individu ELV018 en l'estat com es rep (ECER) (superior) o després dels experiments de recocció a 950°C (central) i a 1100°C (inferior)

La resta d'individus analitzats, que formen els grups químics ELV-3, ELV-4 i ELV-5, excepte l'individu no classificat ELV028, formen les fàbriques F-ELV-3, F-ELV-4 i F-ELV-5 que agrupen àmfores cuites a alta temperatura. La desaparició dels filosilicats de tipus il·lita moscovita i el fort desenvolupament de fases de cocció (piroxens, hematites, gehlenita) ens portarien a considerar una TCE superior a 1000°C (Figura 8.78). Tanmateix, en els difractogrames d'aquests 9 individus (ELV047, 048, 050, 045, 053, 027, 024, 025 i 044) s'observa el pic de l'analcima, una fase secundària que ha cristal·litzat durant el procés d'enterrament d'aquestes àmfores, com ja s'ha comentat en algunes fàbriques de Ca l'Arnau, dels abocadors del mercat de Santa Caterina i del Barri Antic. L'analcima és una zeolita sòdica que s'observa en ceràmiques calcàries amb sobrecoccions severes i que cristal·litza a partir d'un procés afavorit per l'alteració de la fase vítria a alta temperatura. Aquest comporta la pèrdua de potassi i rubidi en la mostra, que sovint ve acompanyada de la precipitació de Na₂O (Buxeda, 1999a, Buxeda *et al.*, 2002).

Un cop analitzades les fases mineralògiques d'aquest individu podem entendre la correlació negativa dels individus estudiats en el diagrama bivariant ln(Na₂O/Nb) i ln(K₂O/Nb) de la Figura 8.68, en el que es veu com tots aquests individus amb analcima es situen a la dreta del gràfic, mostrant els seus alts valors relatius en Na₂O i les baixes concentracions relatives en K₂O.

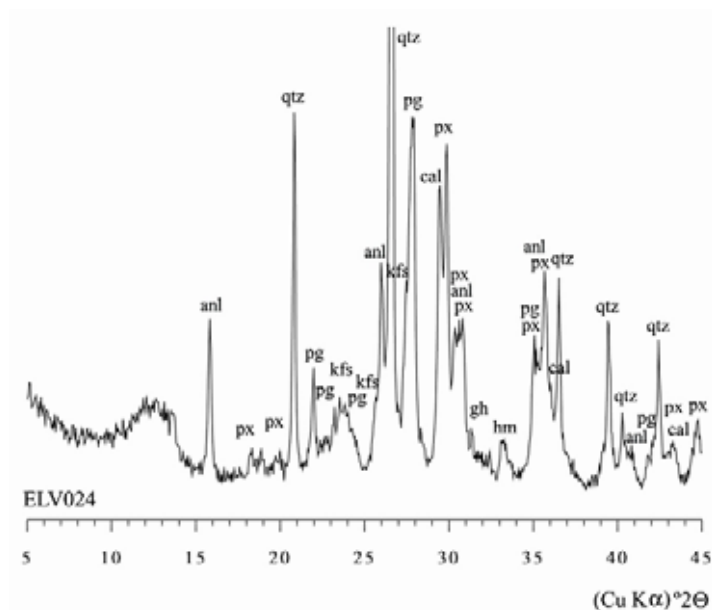


Figura 8.78. Diffractograma representant els individus del grup químic ELV-5, que presenta fases cristal·lines molt similars als individus dels grups químics ELV-3 i ELV-4. anl: analcima; cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

La calcita present en els individus de les fàbriques de baixa temperatura (F-ELV-1A i F-ELV-2A) pot ser d'origen primari i/o secundari. Els experiments de recocció ens indiquen que aquest mineral és present fins a 900°C i pot arribar, de forma molt reduïda, fins a 950-1000°C. L'anàlisi petrogràfica per làmina prima d'individus corresponents a aquestes fàbriques manifesta clarament la presència de cristalls de calcita primària. Tanmateix, també s'observa per làmina prima nòduls de calcita micrítica i alguns cristalls aïllats de calcita secundària dins la porositat d'aquests individus (Làmina 8.14). Per les fàbriques que presenten una TCE superior a 1000°C, la calcita ha de considerar-se, molt probablement, d'origen secundari.

8.3.4.4. Contrastació dels resultats

La producció amforal al Vilarenc es caracteritza per un gran repertori de contenidors ceràmics fabricats entre els anys 30/20 aC i el s. I dC.

Una característica a destacar i que ja anunciaven els estudis arqueològics, és la diferència en la mida de gra de la matriu ceràmica en comparació amb les àmfores del Maresme, del Barcelonès i del Baix Llobregat. La matriu és força calcària, de tonalitat marró a marró clar groguenc, i la fracció grollera presenta sempre mides inferiors a 500 µm i es compon principalment de fragments de quars i petits fragments de roques ígnies, bàsicament granits (200-500 µm), acompanyats d'aportacions metamòrfiques. També apareixen alguns cristalls dispersos de quars, plagiòclasi, biotites i miques. A més, només en el cas de les àmfores cuites a baixa temperatura, el component calcari procedeix, majoritàriament, de cristalls de calcita primària (Làmina 8.14), que no trobem a cap de les altres produccions caracteritzades de la costa catalana. Igualment, només a les àmfores del Vilarenc s'han identificat restes de microfauna de tipus foraminífera. Tot i que l'àmfora Tarraconense 3 i Pascual 1 caracteritzades petrogràficament presenta una composició litològica i unes característiques texturals similars, el component calcari sembla més abundant en el tipus Tarraconense 3 que a les àmfores Pascual 1.

La caracterització química per FRX mostra clarament l'existència d'una producció amforal força homogènia a la vil·la del Vilarenc. A més, es confirma la producció dels diversos dissenys amforals considerats. Tanmateix, al llarg del període d'activitat d'aquest centre són evidents certes diferències en quant a la composició

elemental de la matèria primera utilitzada per obtenir la pasta ceràmica. D'una banda, les àmfores Tarraconense 3 (excepte ELV028 i ELV045) i dues de les àmfores Tarraconense 1D (ELV046 i ELV051) formen els grup de referència GR ELV-1 i GR ELV-4 (Taula 8.22). Però quan no es tenen en consideració els elements químics que introdueixen certa variabilitat, possiblement originada com a conseqüència de processos secundaris d'alteració i contaminació, podem observar una distribució més homogènia i tots els individus, excepte l'àmfora ELV028, poden ser considerats com productes manufacturats en aquest centre (Figura 8.70). Ja que tots presenten una composició molt similar, podem considerar que les àmfores Tarraconense 1D ELV046 i ELV051 i les àmfores Tarraconense 3 podrien haver estat fabricades contemporàniament. Això podria significar que el ceramista del Vilarenc va decidir, en un moment donat, adoptar una producció minoritària d'un nou disseny amforal, per a la fabricació del qual va utilitzar les mateixes matèries primeres que les utilitzades en la fabricació de les àmfores Tarraconense 3. El mateix podríem pensar de la nansa de forma allargada i secció gruixuda (ELV053) que, tot i no correspondre a cap d'aquest tipus, sembla haver estat fabricada amb la mateixa pasta ceràmica. No obstant, podria tractar-se igualment de diversos ceramistes que utilitzen una pasta molt similar per a la fabricació amforal, però que adopten dissenys diferents.

Les dues àmfores Dressel 1 ceterior analitzades s'associen una amb les àmfores Tarraconense 3 i l'altra amb les àmfores Pascual 1. Tanmateix, la representació d'aquest tipus en aquest estudi no és suficient com per extreure'n cap interpretació segura sobre la seva producció.

Les àmfores Pascual 1, fabricades des del canvi d'era, presenten una composició elemental lleugerament diferent a les Tarraconense 3 i la pasta és menys calcària. Tanmateix, les àmfores Pascual 1 dels grups químics ELV-2 i ELV-5, que es diferencien pels valors relatius de CaO i Na₂O majoritàriament, resten agrupades quan no es consideren els elements susceptibles de presentar alteracions introduïdes durant el context post-deposicional (Figura 8.70). D'altres individus d'àmfora Pascual 1, no s'agrupen en aquest conjunt, sinó que es distribueixen a l'inici del dendrograma de la Figura 8.70, mostrant lleugeres diferències composicionals.

Finalment, podem considerar que les tres àmfores de base plana han estat fabricades al Vilarenc, tot i que la seva composició química és una mica diferent a la resta d'individus (ELV-3).

A més de l'ús de dipòsits d'argiles lleugerament diferents en el transcurs de la producció ceràmica al centre del Vilarenc, es pot observar una certa evolució en els processos tecnològics portats a terme en la fabricació dels diferents tipus. Les diverses produccions, doncs, no només afecten al canvi formal.

La majoria d'àmfores Tarraconense 3 estan cuites a una bona o elevada temperatura (fàbriques ELV-1A, ELV-1B i ELV-1C). Les àmfores Pascual 1 també acostumen a estar cuites a una bona temperatura (fàbriques ELV-2A, ELV-2B i ELV-2C), si bé d'altres semblen cuites a elevada temperatura (fàbrica ELV-5A) al igual que les àmfores de base plana de la fàbrica ELV-3A (Figura 8.79; Taula 8.26).

Entre 800 i 850°C, no s'observa la formació de cap fase vítria a la matriu ceràmica ni cap estadi de sinterització de les partícules d'argila (Figura 8.74 i 8.77). A 950°C, la matriu presenta un estadi de vitrificació intens, creant una porositat tancada i una matriu vidriada i densa. A 1100°C, l'estadi de vitrificació és total i els minerals d'argila es troben completament sinteritzats. D'aquesta manera, tot i estar fabricades amb una pasta semblant, les característiques físiques i les propietats mecàniques dels diferents contenidors analitzats dependran, en gran mesura, de les fases cristal·lines formades durant la cocció, el tipus de porositat i l'estadi de vitrificació de la matriu ceràmica.

Igualment, cal remarcar la importància del disseny en les característiques tècniques i funcionals dels diferents contenidors. L'ús de les àmfores Dressel 1 citerior, Tarraconense 1 i 3 i Pascual 1 com a envasos de transport de l'excendent vinícola sembla

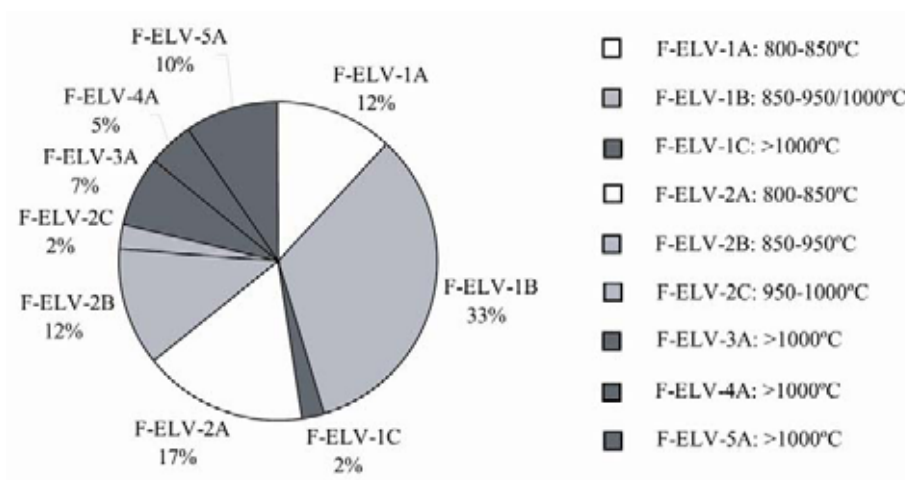


Figura 8.79. Gràfic representant el % d'àmfores de cada fàbrica mineralògica identificades al Vilarenc (Calafell) i la TCE estimada per a cada fàbrica a partir de l'anàlisi per DRX

acceptat des del punt de vista arqueològic. En canvi, desconeixem els propòsits funcionals per als quals van estar fabricades les àmfores de base plana. Podrien estar destinades al transport del vi o d'un altre producte o simplement utilitzades com a envasos d'emmagatzematge.

La producció múltiple i no sempre gaire homogènia del Vilarenc podria estar relacionada, d'una banda, amb la introducció de noves tecnologies i models en el transcurs de la fabricació ceràmica d'aquest centre, que sembla adaptar-se a les modes que trobem a Ca l'Arnau (Cabrera de Mar) al llarg de la segona meitat del s. I aC i de la plana del Besòs i del Llobregat en època d'August. D'altra banda, seguint algunes interpretacions que ens proporciona l'estudi arqueològic, la variabilitat formal i composicional pot estar relacionada amb la diversitat de ceramistes que podrien haver utilitzat el taller ceràmic instal·lat a la vila del Vilarenc per a fabricar les àmfores en les que, posteriorment, el propietari de la vila comercialitzaria l'excedent vinícola (Revilla, 2003). Aquesta interpretació seria la més correcta si, com indica Revilla (2003), la producció artesanal, tot i dependent del *fundus*, podria haver estat confiada pel propietari a ceramistes especialitzats, contractats durant un període determinat relacionat amb el cicle agrícola o comercial de l'excedent vinari. D'aquesta manera, en més d'un segle, els diferents ceramistes que fabricaren les àmfores al Vilarenc, ja estiguessin instal·lats de forma temporal o contínua, van utilitzar diferents dipòsits d'argila, tot i que similars, i adoptaren diferents dissenys, en funció de l'evolució cultural i de les necessitats tècniques i funcionals dels diferents contenidors. Així, s'observa com les àmfores Tarraconense 1D i Tarraconense 3 del grup de referència GR-ELV-1, així com els individus de base plana (GR-ELV-3) i els individus ELV044 i ELV053 (GR-ELV-4) semblen haver estat fabricats als anys 30/20 aC aproximadament, quan sembla iniciar-se la producció artesanal al Vilarenc. Tanmateix, les àmfores d'aquests tipus semblen haver estat fabricades amb pastes diferents. En canvi, en la producció d'àmfores Pascual 1, fabricades des de finals del s. I aC, haurien estat utilitzades unes matèries primeres que conformarien una pasta lleugerament diferent a la dels tipus anteriors i ha estat caracteritzada en els GR ELV-2 i ELV-5. Aquesta seria, però, més pròxima a la utilitzada en la fabricació de les àmfores Tarraconense 1D i 3 que no pas en els tipus de base plana.

8.4. La distribució i el consum del vi de la Tarraconense

8.4.1. *Barcino*, centre receptor i redistribuïdor?

L'antiga ciutat de *Barcino* ha estat estudiada no només com a centre de fabricació d'àmfores vinàries, ben evident en el cas del taller ceràmic del carrer Princesa, sinó també com a centre de consum, concentració, distribució i exportació d'àmfores vinàries de diverses procedències. Si bé aquest és un aspecte acceptat per alguns investigadors des del punt de vista arqueològic, la caracterització arqueomètrica d'àmfores dels tipus Tarraconense 1 i Pascual 1 ens aproximarà a la identificació de les possibles àrees de provenença d'aquests contenidors.

La caracterització arqueomètrica mitjançant l'anàlisi química per FRX s'ha realitzat sobre un conjunt de 25 individus amforals procedents de les excavacions de l'actual Plaça de la Verònica (BCN082 i BCN083), situada a la banda sud-occidental de la ciutat romana, del carrer del Sotstinent Navarro (BCN084 a BCN089), situat a tocar la muralla al sector sud-est, de la Plaça de la Catedral (BCN090 a BCN098), fora el cantó nord-oriental de la muralla i, finalment, del carrer del Correu Vell (BCN099 a BCN106), situat a la façana sud de la ciutat romana (Taula 7 – Annex 1).

Durant l'explicació de les característiques composicionals del conjunt d'individus analitzats (Capítol 8.2), ja s'ha parlat sobre l'associació d'alguns individus

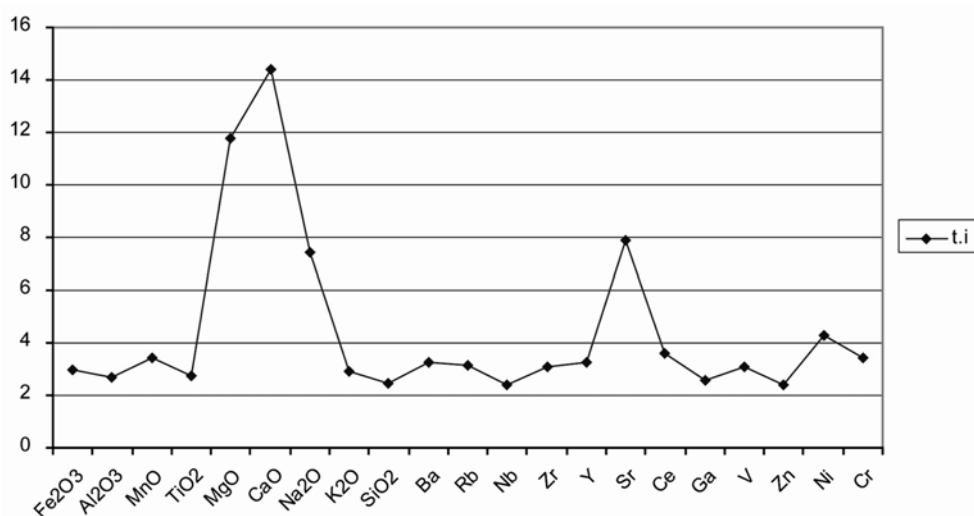


Figura 8.80. Gràfic representant la variabilitat dels 21 elements químics considerats per als 25 individus procedents de la ciutat de Barcelona (Carrer del Sotstinent Navarro, Carrer del Correu Vell, Pç. de la Verònica i Pç. de la Catedral) a partir dels valors de t_i de la Taula 8.27

procedents dels jaciments de Barcelona amb algunes produccions d'alguns tallers ceràmics estudiats. Igualment, s'ha vist com alguns d'aquests individus no es classifiquen a l'interior de cap de les agrupacions químiques, sinó que resten aïllats per les seves diferències composicionals. Tanmateix, el primer aspecte interessant a tractar estadísticament és l'avaluació de la variabilitat present en les dades composicionals obtingudes per als 25 individus amforals analitzats per FRX. La matriu de variació composicional obtinguda sobre la subcomposició Fe_2O_3 (en tant que Fe total), Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, mostra una $vt = 2.2184$ (Taula 8.27). Aquesta variabilitat és força elevada, però normal en el cas de les àmfores procedents d'un centre receptor, on se suposa l'arribada d'aquests contenidors des de diverses províncies. Tots els elements químics contribueixen en gran mesura a formar aquesta variabilitat composicional, però els que més hi participen són el CaO ($\tau_{\text{CaO}} = 14.422$), MgO ($\tau_{\text{Mg}} = 11.793$), Na_2O ($\tau_{\text{Na}_2\text{O}} = 7.449$) i Sr ($\tau_{\text{Sr}} = 7.875$), seguits del Ni ($\tau_{\text{Ni}} = 4.295$), Ce ($\tau_{\text{Ce}} = 3.620$), Cr ($\tau_{\text{Cr}} = 3.409$) i Mn ($\tau_{\text{MnO}} = 3.403$) (Figura 8.80). Contràriament, el Zn és l'element que ofereix menys

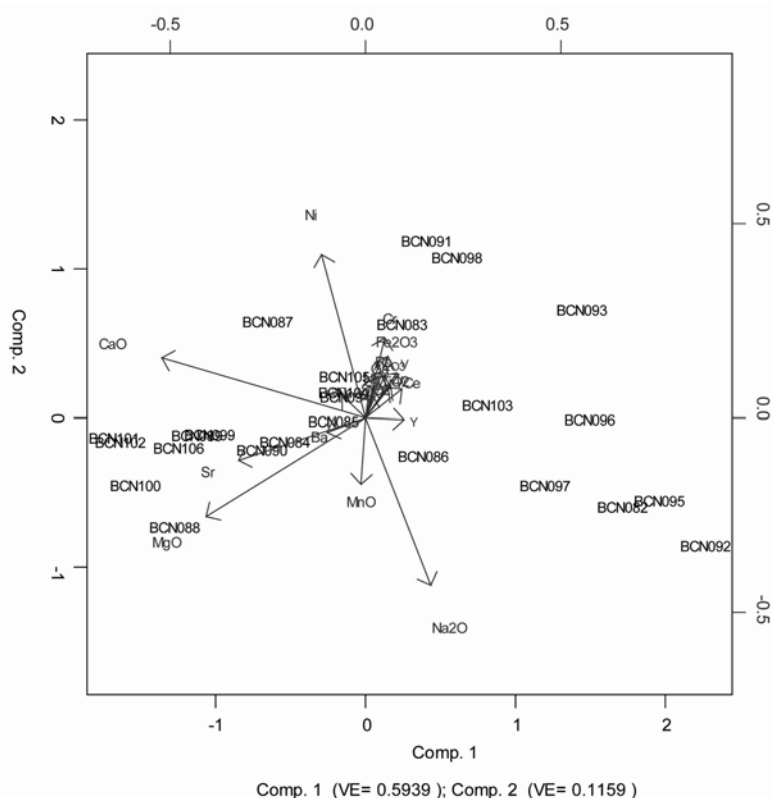


Figura 8.81. Gràfic bivariant de la primera i la segona component principal obtingudes de l'ACP dels 25 individus de *Barcino*, a partir de la combinació lineal de les concentracions transformades en logaritmes de raons Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, utilitzant el Zn com a divisor

de variabilitat, tot i que continua sent alta ($\tau_{Zn} = 2.380$). Les concentracions elementals de cada individu han estat transformades en logaritmes de raons utilitzant el Zn com a divisor, per ser l'individu que ofereix menys variabilitat (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a).

Els elements químics que més contribueixen a la variabilitat i la distribució dels individus segons la seva semblança composicional són visibles a la Figura 8.81. Aquest gràfic mostra els dos components principals, resultants de l'anàlisi de components principals (ACP), a partir de la combinació lineal de les concentracions elementals anteriors transformades en logaritmes de raons i utilitzant la matriu de variància-covariància, sense rotació dels eixos, amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). Els dos components principals expliquen, conjuntament, el 71% de la variació, on es pot observar la gran heterogeneïtat composicional que caracteritza els individus procedents de *Barcino*. Aquesta variabilitat és deguda, principalment, als valors en CaO, MgO, Na₂O, Ni, Sr, Ba i Cr que presenten els individus.

Si repetim el tractament estadístic sense tenir en compte el Na₂O, K₂O ni el Rb, la MVC obtinguda per als 25 individus mostra una $vt = 1.8743$, que s'ha de considerar encara molt elevada i producte d'una població poligènica (Taula 8.28). Els elements químics que contribueixen en major grau a la variabilitat total continuen sent el MgO, CaO, Sr, Ce i Ni, mentre que el Zn és l'element que aporta menys variabilitat al conjunt de dades. Sobre aquesta subcomposició transformada s'ha realitzat l'anàlisi de conglomerats amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, que dona com a resultat el dendrograma de la Figura 8.82. Les diverses agrupacions que es formen marquen principalment dues tendències en les dades composicionals, però les àmfors que les formen estan lluny de presentar la mateixa provinença. La primera, amb una gran variabilitat interna, està formada per les àmfors poc calcàries (BCN086, 092, 082 i 095), que correspondria cadascuna a una URCP diferent. La resta de les àmfors, de pasta calcària, formen la segona tendència, majoritària, que correspon als contenidors fabricats amb pastes calcàries. La gran variabilitat a l'interior d'aquesta tendència té a veure, a més del component calcari, amb els valors relatius en MgO, Ba, Sr i Cr. Els valors normalitzats de les composicions químiques considerades per als 25 individus es mostra a la Taula 8.29.

Quatre individus s'uneixen a la resta a una gran distància ultramètrica i tots procedeixen de les excavacions de la rasa de la Catedral. Crida especialment l'atenció

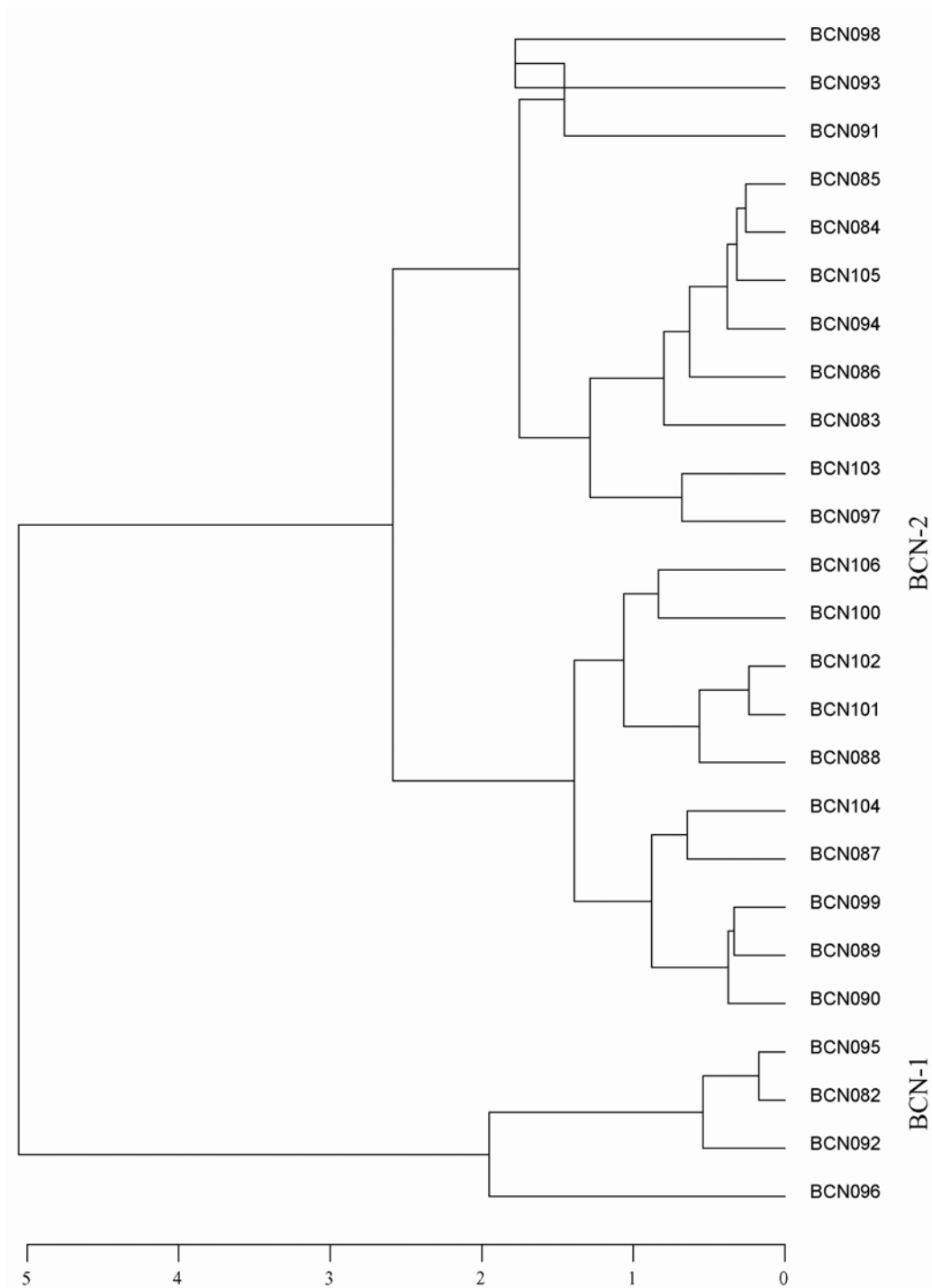


Figura 8.82. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 25 individus procedents de la colònia *Barcino* (Barcelona), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , SiO_2 , Ba, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr i utilitzant el Zn com a divisor

l'alt contingut en Cr dels individus BCN093 i BCN096, que ens obliga a qüestionar-nos si es tracta realment de produccions de l'àrea catalana o forana. En aquest mateix sentit, sorprenen l'alt valor del Ni en l'individu BCN098.

Una primera anàlisi de les dades composicionals permet veure com els dos individus que presenten la marca epigràfica PRI es separen en cada una de les tendències composicionals mencionades. D'una banda, el pivot BCN095 de pasta vermella procedent de la Rasa de la Catedral sembla proper al pivot BCN082, també de pasta vermella, procedent de la Plaça de la Verònica. Tots dos han estat fabricats amb una pasta poc calcària (2% CaO) amb alts valors relatius en MnO, Ti i Na₂O així com en la majoria d'elements traça. D'altra banda, el segon individu que presenta la marca PRI (BCN094) resta inclòs dins la gran tendència d'àmfores calcàries, pròxim a les àmfores BCN105 del Correu Vell i BCN084 i 085 del carrer Sotstinent Navarro. La pasta d'aquests individus presenta una gran varietat de tonalitats que van del vermell al marró rosat i al marró clar. Totes es caracteritzen per presentar uns valors de CaO al voltant de 11-12% i uns alts valors en K₂O, Ba, Rb i Sr. A aquests individus ve a ajuntar-se, a una major distància ultramètrica, el pivot BCN083, procedent de la Plaça de la Verònica (Figura 8.82). Aquest pivot presenta dues marques il·legibles en cartel·la rectangular disposades una sobre l'altra i es separa, principalment, dels individus anteriors per presentar un valor una mica inferior en CaO però superior en Cr.

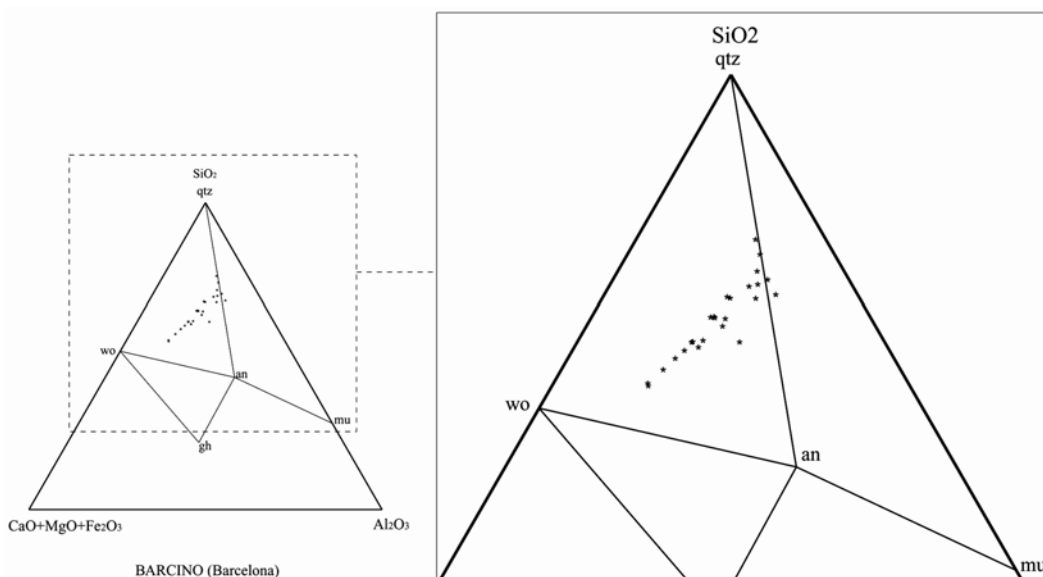


Figura 8.83. Diagrama del triangle ceràmic [CaO+MgO+Fe₂O₃]-Al₂O₃-SiO₂ amb l'emplaçament dels 43 individus analitzats procedent de la colònia *Barcino* (Barcelona). an = anortita (CaAl₂Si₂O₈); mu = mul·lita (3Al₂O₃·2SiO₂); gh = gehlenita (Ca₂Al₂SiO₂); wo = wol·lastonita (CaSiO₃); qtz: quars (SiO₂)

La darrera marca epigràfica, PRIMI, que apareix sobre pivot en cartel·la circular (BCN089) procedent del carrer del Sotstinent Navarro és també calcària. Apareix pròxima a l'àmfora Pascual 1 BCN090 procedent del mateix jaciment i a l'àmfora Tarraconense 1E BCN099, procedent de Correu Vell (Figura 8.82). Tots aquests individus es caracteritzen per presentar uns valors força elevats de MgO (superior a 7%) així com els valors més elevats en K₂O del conjunt d'individus.

L'alta variabilitat composicional present entre els individus analitzats procedents de la colònia *Barcino* és un testimoni de la diversitat de proveniències d'aquests contenidors. L'anàlisi comparatiu de les àmfores de *Barcino* amb les àmfores dels centres productors serà desenvolupada al Capítol 9, en el que es compararan els 404 individus analitzats en aquest treball amb la base de dades corresponents a les àmfores vinàries de la costa catalana que disposa l'ERAUB. D'aquesta manera, podrem aproximar-nos a identificar l'àrea de proveniència d'alguns dels envasos recuperats als contextos urbans de la colònia romana. No obstant, l'anàlisi composicional dels individus considerats mostra una major presència de contenidors fabricats amb una pasta predominantment calcària. Així, dels 25 individus analitzats, 7 han estat fabricats amb una pasta poc calcària (BCN096, 092, 082, 095, 091, 097 i 093), mentre que els 18 restants presenten una pasta calcària. Això s'observa també en el diagrama ternari del triangle ceràmic (CaO+MgO+Fe₂O₃)-Al₂O₃-SiO₂ (Figura 8.83). Els individus calcaris es distribueixen dins el triangle d'equilibri termodinàmic quars-wol·lastonita-anortita. Com més a prop de la base d'aquest triangle es situen els individus, més elevat és el seu valor en MgO. En canvi, els individus poc calcaris i amb concentracions relatives baixes en

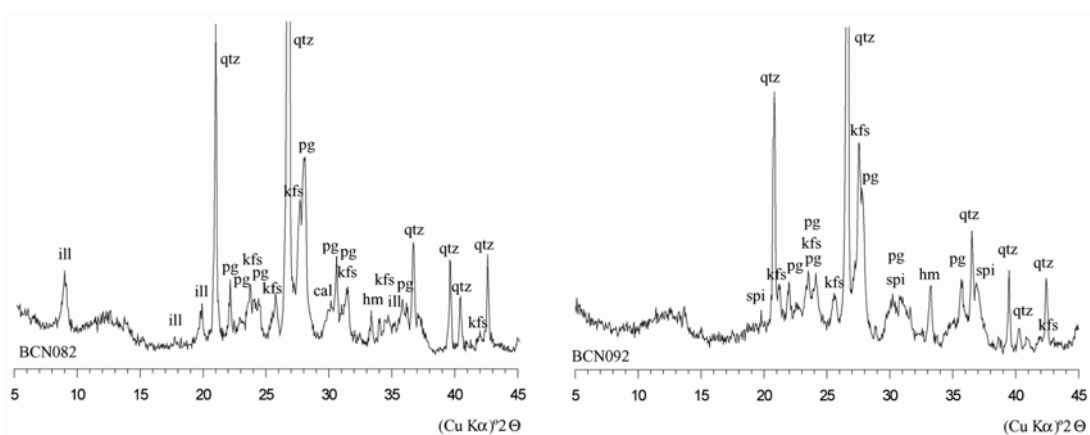


Figura 8.84. Difractogrames dels individus poc calcaris de baixa TCE (BCN082) i d'alta TCE (BCN092) de Barcelona. cal: calcita; spi: espinel·la; hm: hematite; ill: il·lita moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; qtz: quars

MgO s'emplacen al límit d'aquest triangle amb el triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mul·lita (Heimann, 1989).

L'anàlisi mineralògica per DRX ens ha permès estimar la TCE dels 25 individus amforals procedents de l'antiga colònia *Barcino* (Taula 8.30). En aquest cas, però, no s'han identificat les fàbriques mineralògiques ja que no estem treballant sobre individus corresponents a grups de referència (GR) sinó a Unitats de Referència Composicional de Pasta (URCP).

Les àmfores poc calcàries BCN082, 095 i 096 estan cuites al voltant de 800-850°C, ja que només són presents les fases cristal·lines primàries com el quars, les il·lites moscovites, la calcita, els feldspats potàssics, la plagiòclasi i, de manera inicial, l'hematites, que podria correspondre a una fase de cocció (Figura 8.84, esquerra). En canvi, l'individu BCN092 ha perdut completament les il·lites, la calcita i s'observa la cristal·lització de l'espinel·la com a fase de cocció, indicant una TCE entorn 950-1000°C (Figura 8.84, dreta).

Entre els individus calcaris que presenten uns valors relatius elevats en MgO, algunes àmfores semblen cuites a baixa temperatura, com l'individu BCN087 (Figura 8.85, esquerra). El difractograma d'aquest individu es caracteritza per la presència de fases cristal·lines primàries i de cristalls d'hematites. L'absència d'altres fases d'alta temperatura ens porten a suposar una TCE al voltant de 800-850°C. Altres individus (BCN089, 090, 099 i 104) estan cuits a una TCE superior, ja que s'observa la cristal·lització de fases de cocció, com la gehlenita, l'hematites i els piroxens (Figura 8.85, dreta). Una sèrie d'individus fortament calcaris (al voltant de 8% en CaO) i amb

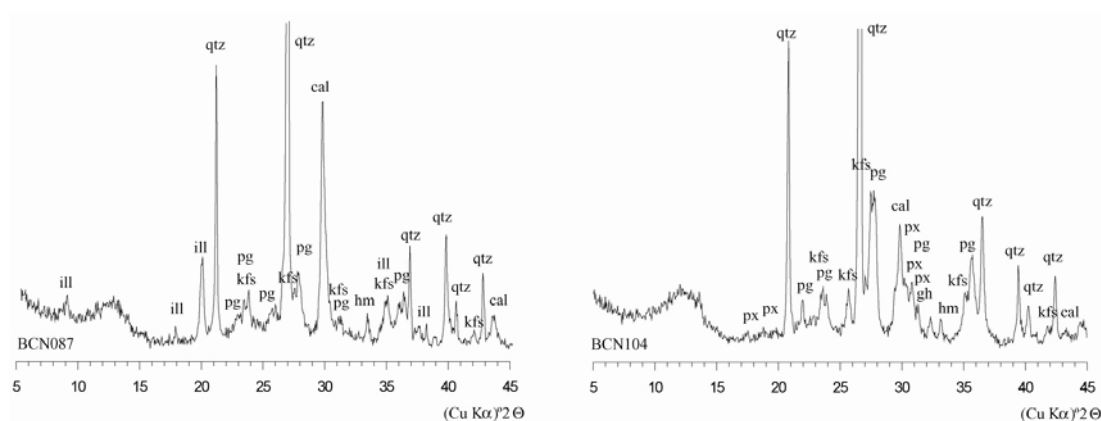


Figura 8.85. Difractogrames dels individus calcaris de baixa TCE (BCN087) i d'alta TCE (BCN104) de Barcelona. cal: calcita; hm: hematite; gh: gehlenita; ill: il·lita moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

un elevat contingut en MgO, Ba i Sr (BCN088, 100, 101, 102 i 106) semblen cuits a una TCE superior a 1000°C i s'ha identificat la cristal·lització de fases secundàries com l'analcima (Figura 8.86). Altres àmfors calcàries amb valors baixos en MgO presenten uns rangs de TCE més variats, tot i que predominen les àmfors cuites a bona TCE. Així, l'individu BCN083 sembla cuit a una TCE entorn 800-850°C, ja que presenta fases cristal·lines primàries, com el quars, les il·lites moscovites, els feldspats potàssics, la plagiòclasi i la calcita juntament amb una incipient cristal·lització de l'hematites, que pot correspondre a una fase de cocció. Els difractogrames dels individus BCN084, 085, 094, 103 i 105 ja presenten la cristal·lització de fases de cocció com la gehlenita i els piroxens, així que la TCE ha d'estimar-se al voltant de 850-950/1000°C. L'individu BCN097 presenta unes fases de cocció similars, però ja no són presents les il·lites moscovites. Per aquest motiu, s'ha estimat una TCE superior a 1000°C. L'àmfora BCN086 també sembla cuita a una TCE superior a 1000°C perquè presenta clarament fases cristal·lines de cocció. No obstant, també s'observa la cristal·lització de l'analcima que correspon, molt probablement, a una fase cristal·lina secundària.

A partir d'aquesta primera avaluació sobre els contenidors vinaris recuperats a la ciutat, sembla clara la funció de *Barcino* com a centre consumidor així com a centre principal de concentració i redistribució de les àmfors vinàries procedents de diferents àrees geogràfiques. Tanmateix, només la comparació de les àmfors de Barcelona amb els grups de referència (GR) identificats en les produccions dels tallers ceràmics analitzats ens permetrà associar aquests contenidors a una zona geogràfica de provinença o, en el millor dels casos, a una zona d'incertitud concreta.

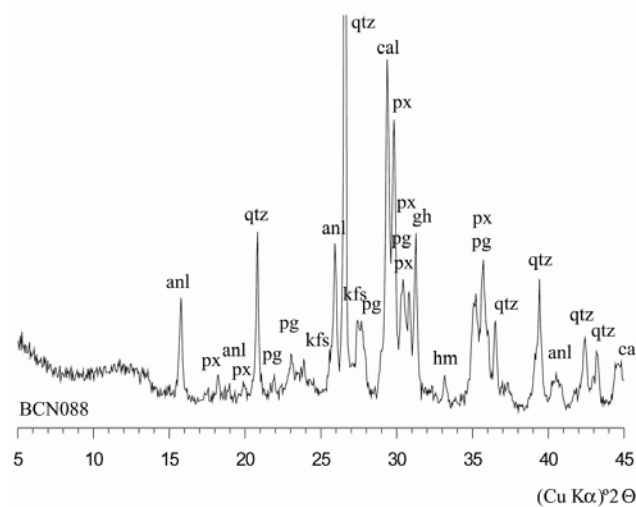


Figura 8.86. Diffractograma representant l'individu BCN088 d'alta TCE. anl: analcima; cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

8.4.2. Les ciutats portuàries del Golf de Lleó: *Lattara* (Lattes) i *Narbo Martius* (Narbona)

8.4.2.1. Narbona (Aude)

Els materials caracteritzats a les instal·lacions portuàries de Narbona procedeixen del port comercial (Port-La-Nautique) i d'un dels ancoratges fluvials més importants, Malard, que permetia la connexió comercial entre el port marítim i la ciutat. Els 15 fragments amforals procedents de Port-la Nautique (NAR001 a NAR015) i els 28 individus procedents de Malard (NAR016 a NAR043) han estat caracteritzats químicament mitjançant la FRX (Taula 8 – Annex 1). Les àmfores NAR011 a NAR015 es caracteritzen per presentar una tonalitat grisa, degut, probablement, als processos d'alteració provocats pel medi marí en què han estat enterrades. Alguns dels individus analitzats, com s'ha comentat al Capítol 7.5.1., porten inscrita una marca epigràfica: *C.IVNI* (NAR001), *FVL·PHIL* (NAR006), *CLEANTI* vel *ELEANTI* (NAR007) (Làmina 7.55, 7.56), *CIVLIANTER* (NAR019) (Làmina 7.57 i 7.58), *FVL·PHIL* (NAR030), *NI* (NAR025) i *CE* (NAR039).

Com en el cas de les àmfores de *Barcino* o *Lattara*, la caracterització de les àmfores procedents de Narbona ens permetrà aproximar-nos a les àrees de provenença on van ser fabricades. L'objectiu és arribar a dissenyar les línies i contactes comercials que permeteren l'arribada de vi de la Tarraconense a un dels ports principals de la Mediterrània nord-occidental des de la segona meitat del s. I aC i al llarg del s. I dC.

En aquest sentit, l'anàlisi de FRX ha permès determinar les concentracions elementals següents: Fe₂O₃ (com a Fe total), Al₂O₃, MnO, P₂O₅, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr. Per les raons indicades al Capítol 4.1.3, les concentracions relatives de Co, W, Mo, Sn, Th, P₂O₅, Pb i Cu no han estat considerades. Els resultats han estat avaluats estadísticament seguint les consideracions d'Aitchison i Buxeda sobre dades composicionals. D'aquesta manera, els valors dels 22 elements analitzats per als 43 individus han estat transformats en logaritmes de raons. Aquest càlcul permet quantificar la variabilitat del conjunt de dades (vt), així com la contribució de cada composició a la variabilitat total (Aitchison 1986 ; 1992; Buxeda 1999a).

Per als 43 individus d'àmfora analitzats, la MVC mostra un valor de la v_t de 1.9584 (Taula 8.31), que pot ser considerada força elevada i representativa d'una població poligènica. Així, podem constatar la presència, a Narbona, d'àmfores procedents de diversos centres productors, amb orígens diferents i tècniques de fabricació probablement diferents. En aquesta MVC s'observa, a més, que a la v_t hi contribueixen, en gran mesura, totes les concentracions químiques. Tanmateix, els valors que proporcionen més variabilitat al conjunt de dades són, com ja vèiem en els casos d'estudi anteriors, el CaO ($\tau_{\text{CaO}} = 12.147$), el MgO ($\tau_{\text{MgO}} = 9.399$) el Na₂O ($\tau_{\text{Na}_2\text{O}} = 7.736$), el Sr ($\tau_{\text{Sr}} = 5.492$), el Rb ($\tau_{\text{Rb}} = 4.103$), el Ni ($\tau_{\text{Ni}} = 4.059$), el K₂O ($\tau_{\text{K}_2\text{O}} = 2.597$) i el MnO ($\tau_{\text{MnO}} = 3.321$). Contràriament, el SiO₂ és l'element que ofereix menys variabilitat ($\tau_{\text{SiO}_2} = 2.140$) i serà utilitzat com a divisor en la transformació en logaritmes de raons (Figura 8.87). En alguns casos, els alts valors de τ_i que presenten algunes concentracions ens porta a sospitar l'existència de processos secundaris d'alteració i contaminació en alguns individus.

Un cop avaluada la variabilitat present en el conjunt de dades i els elements que més participen en la creació d'aquest valor elevat de la v_t , l'anàlisi de components principals (ACP) ens permet conèixer la distribució dels 43 individus segons les seves composicions. Aquest s'ha realitzat a partir de la combinació lineal de les concentracions Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr, transformades en logaritmes de raons, utilitzant el SiO₂ com a divisor.

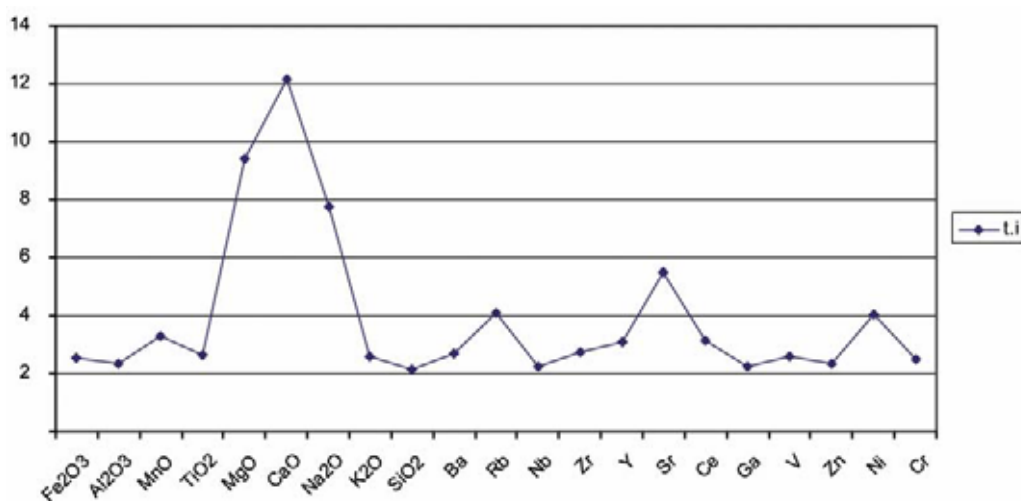


Figura 8.87. Gràfic representant la variabilitat dels 21 elements químics considerats per als 43 individus procedents de la ciutat portuària de Narbona a partir dels valors de τ_i de la Taula 8.31

poc calcàries o quasi calcàries presenten una concentració relativa baixa en MgO. En canvi, un altre grup d'àmfors calcàries presenta una concentració relativa elevada en MgO. Tanmateix, un conjunt d'individus que mostren uns valors alts o mitjans en CaO juntament amb un contingut baix en MgO. Aquesta mateixa diversitat s'ha documentat entre els individus analitzats a la colònia *Barcino*.

L'anàlisi de conglomerats de la composició transformada en logaritmes de raons anterior (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr), realitzat amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroid, dona com a resultat el dendrograma de la Figura 8.90. Aquest gràfic posa de relleu l'alta heterogeneïtat observada en la Figura 8.87. El dendrograma mostra una estructura que segueix principalment les tres tendències que acabem de comentar. A la dreta, els individus calcaris amb elevades concentracions en MgO.

A l'esquerra, individus poc calcaris o calcaris amb concentracions baixes en MgO (Figura 8.90). Dins el primer grup calcar de l'esquerra, els individus NAR037, NAR027 i NAR036 s'agrupen perquè presenten concentracions relatives elevades en Na_2O . L'altra agrupació és força heterogènia, si bé els individus NAR022, NAR031 i NAR040 s'ajunten a poca distància ultramètrica per presentar uns valors elevats en K_2O .

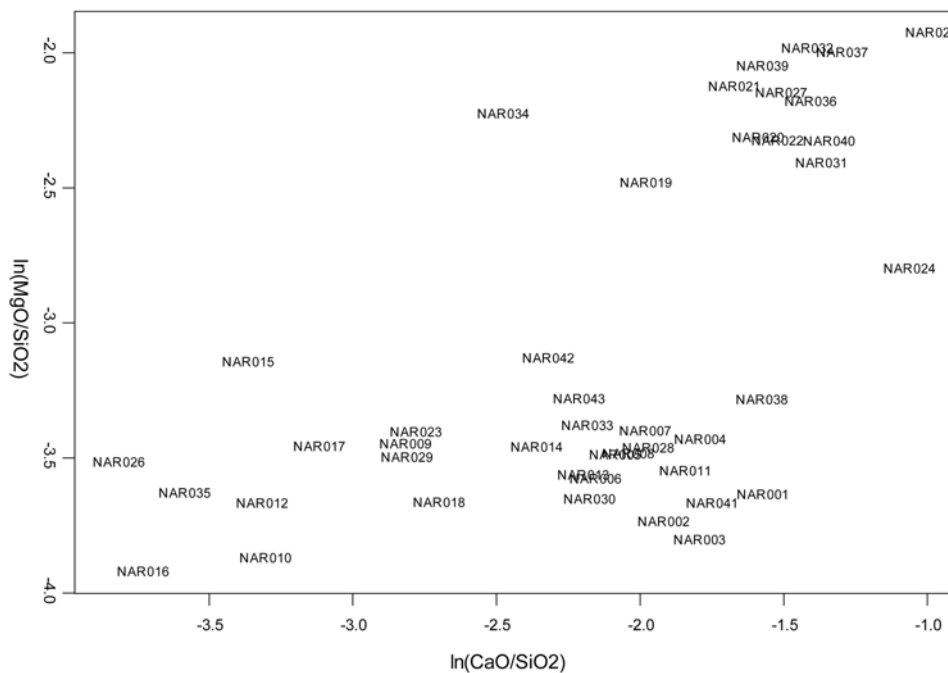


Figura 8.89. Gràfic bivariant dels 43 individus de Narbona, amb els valors $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ a l'eix d'abscisses i $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ a l'eix d'ordenades

L'individu NAR039 presenta valors alts en Ni, mentre que els individus NAR024, NAR021 i NAR025 es separen a una certa distància ultramètrica degut a les elevades concentracions relatives en Ba i, en el cas de NAR024, també en Rb.

Els individus poc calcaris es distribueixen al centre del dendrograma mostrant, igualment, gran variabilitat química entre ells (Figura 8.90). D'una banda, una característica comuna als individus de Port-La-Nautique NAR010, NAR012, NAR009, NAR014, NAR008, NAR011 i NAR013 és l'elevada concentració relativa en Na₂O i Sr. D'altra banda, els valors de Rb són més elevats en els individus NAR042, NAR018, NAR017, NAR023, NAR029, NAR026 i NAR035. Les àmfores emplaçades a la dreta del dendrograma són calcàries (des de l'individu NAR019 fins el NAR007). Aquests individus es distancien fortament de la resta d'àmfores calcàries per presentar, com ja hem indicat, valors relatius baixos en MgO (excepte els individus NAR019 i NAR020). Tanmateix, altres elements participen creant una forta variabilitat interna, com el Na₂O i el Rb (Taula 8.31).

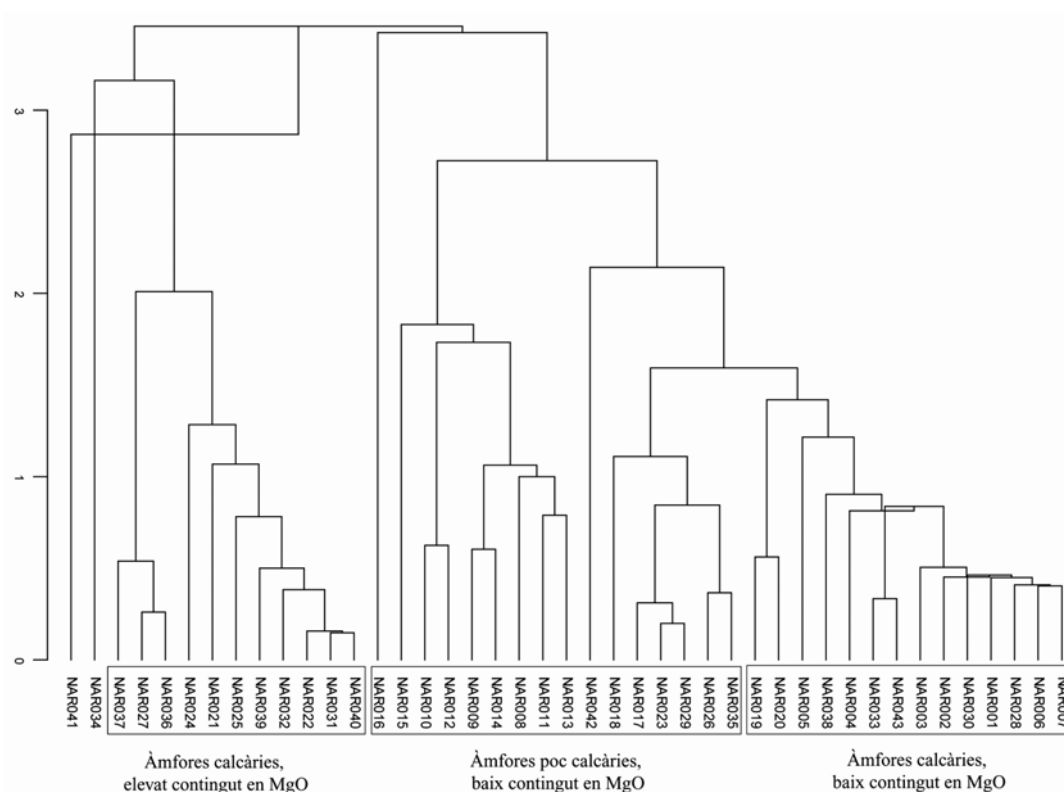


Figura 8.90. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 43 individus procedents de Narbona, emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició Fe₂O₃, Al₂O₃, MnO, TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr i utilitzant el SiO₂ com a divisor.

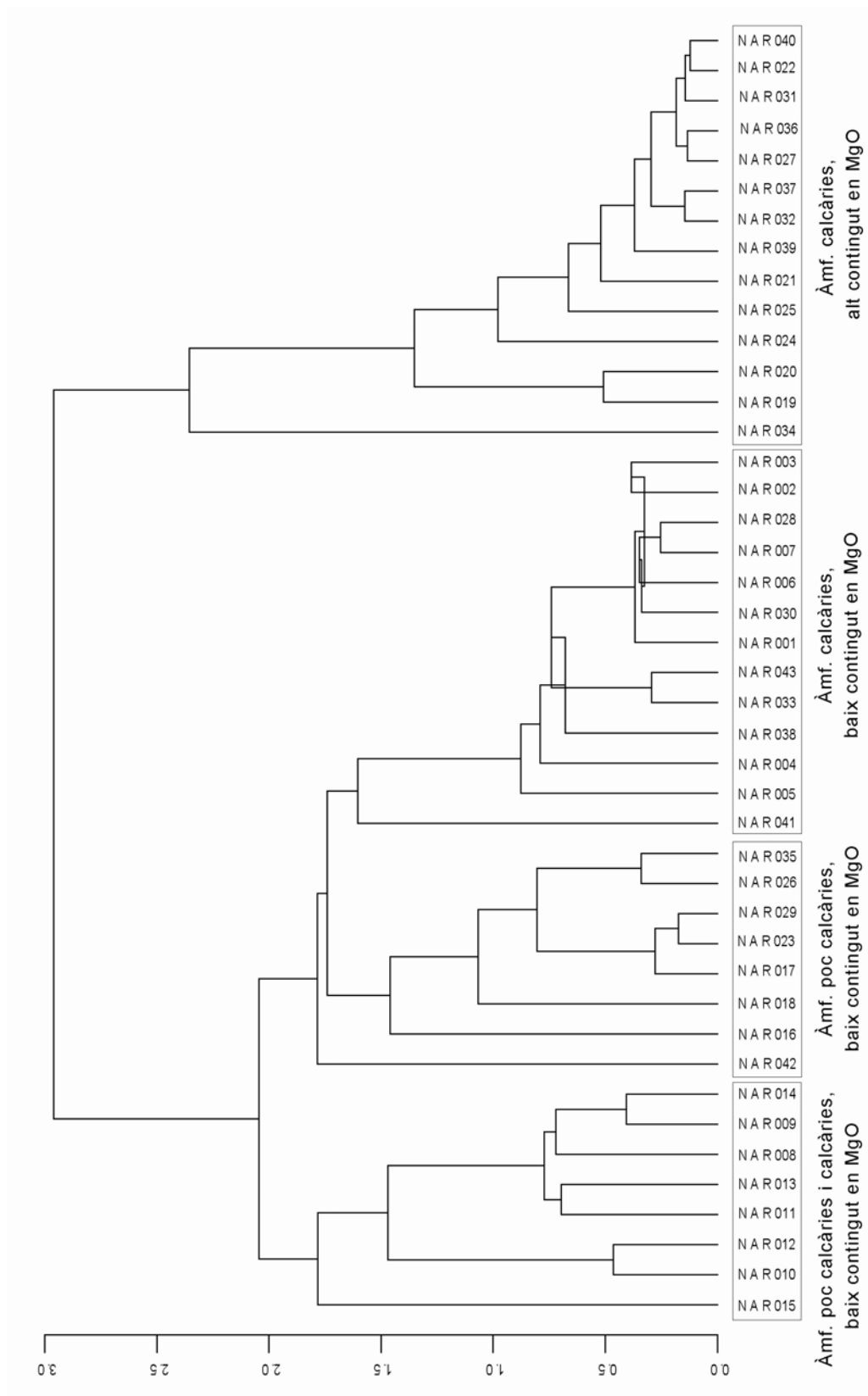


Figura 8.91. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 43 individus procedents de Narbona (França), amb indicació dels 4 grups químics resultant de la transformació de les dades composicionals en logaritmes de raons utilitzant el SiO_2 com a divisor i l'anàlisi d'agrupament utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centre

Si repetim el tractament estadístic sense tenir en compte el Na₂O, el K₂O i el Rb, la variabilitat total disminueix significativament en la matriu de variació composicional de la Taula 8.32 ($vt = 1.5334$), tot i que encara és elevada i representativa d'una població poligènica. Els elements que introdueixen més variabilitat continuen sent el CaO, MgO, Sr, Ni, Y i Ce. El dendrograma resultant de l'anàlisi de conglomerats sobre aquesta mateixa subcomposició, mitjançant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide (Figura 8.91), mostra una estructura similar al dendrograma de la Figura 8.90. Ara s'observa amb més claredat la distribució dels 43 individus en dues tendències diferenciades principalment pels valors relatius en MgO. D'aquesta manera, a la dreta del dendrograma s'ajunten, de forma molt heterogènia, els individus amb un valor relatiu baix en MgO, mentre que a l'esquerra s'ajunten els individus que presenten valors relatius elevats en MgO. Tanmateix, a l'interior d'aquestes dues tendències els individus es distribueixen de manera aïllada o formant altres agrupacions poc homogènies des del punt de vista composicional. En la formació d'aquestes agrupacions han jugat un paper important el CaO, MgO, Sr, Ni, Y i Ce, que són els que més contribueixen a crear més variabilitat en el conjunt de dades. La similitud química que presenten les àmfores que formen les agrupacions més petites no és suficient, però, com per considerar que els individus que les formen comparteixen la mateixa provinença. Per aquest motiu, en cap cas no es pot considerar aquestes agrupacions com a unitats de referència composicional, si bé alguns individus podrien provenir d'àrees de producció properes o de centres productors diferents però que han utilitzat unes matèries primeres similars. Tanmateix, per poder confirmar aquestes hipòtesis s'hauria d'ampliar l'estudi analític amb altres tècniques, com per exemple l'anàlisi petrogràfica d'aquests individus. Amb les dades disponibles, cada un dels 43 individus analitzats ha de ser considerat, per si mateix, com una URCP independent. Els valors normalitzats de la composició de cada individu es representa en la Taula 8.33

A l'extrem esquerra del dendrograma es distribueixen els individus poc calcaris (NAR009) i calcaris (NAR008, 011, 013 i 014) de Port la Nautique. Aquests presenten valors relatius més elevats en CaO i Sr però més baixos en Zr, Ce, V i Zn que els individus poc calcaris NAR010 i NAR012. Tanmateix, l'individu NAR015 es separa de la resta d'individus poc calcaris per presentar uns valors relatius elevats en Fe₂O, Al₂O₃, MnO, TiO₂ i Sr (Figura 8.91).

L'anàlisi mineralògica de les àmfores procedents de Port-la-Nautique evidencia la presència de nombroses fases secundàries. Aquestes han causat canvis significatius en

la composició de la pasta d'aquests individus que han repercutit, en alguns casos, en les seves característiques físiques, com els individus que han adoptat una tonalitat grisa (NAR011 a NAR015). Aquestes transformacions composicionals impedeixen, en molts casos, una possible assignació a un grup de referència d'un centre productor. Possiblement, l'alteració produïda en les pastes d'aquests individus expliqui també la posició marginal que presenten en el dendrograma de la Figura 8.91. El seu actual aspecte gris no guarda cap relació necessària amb la seva coloració original, sinó que sembla ser el resultat de la formació de la pirita, un sulfur de ferro, com a conseqüència de l'activitat bacteriana durant la seva deposició en un medi anòxic. Aquesta tendència també conté algunes àmfores que han patit en un grau menor aquestes alteracions i encara conserven en la seva coloració una tonalitat vermellosa, però que ha esdevingut més amarronada (NAR008, NAR009 i NAR010).

L'anàlisi mineralògica mostra que els individus NAR011 a NAR015 han estat cuits a elevada temperatura, ja que si bé es troben fases primàries com el quarz, el feldspat potàssic i la plagiòclasi, no s'observa cap pic de filosilicats de tipus il·lita-moscovita. A més, apareixen importants pics de piroxè com a fase de cocció i possibles fases secundàries, com la calcita magnèsica, l'aragonita i la pirita (Figura 8.92). Aquestes fases ens porten a estimar una TCE 950/1000 a 1050°C. Aquestes elevades

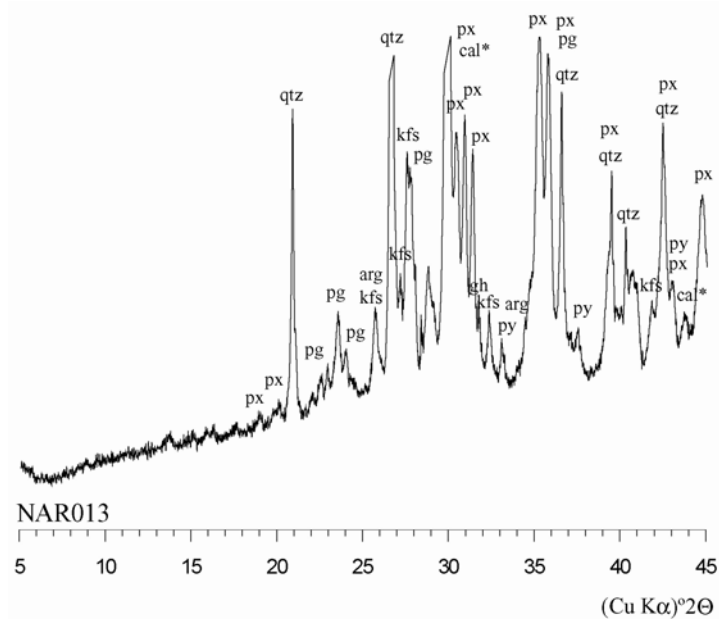


Figura 8.92. Difractogrames representant l'individu NAR013 del grup químic NAR-1 de Narbona. arg: aragonita; cal*: calcita magnèsica; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; py: pirita; qtz: quarz

temperatures de cocció estimades serien llavors incompatibles amb la presència de carbonats, com la calcita magnèsica i l'aragonita i de la pirita fases totes elles que haurien de ser secundàries, és a dir que haurien d'haver cristal·litzat després de la fabricació de la ceràmica durant la seva deposició (Maggetti, 1981), que han estat igualment identificades en altres ceràmiques procedents del medi marí (Pradell *et al.*, 1996; Amadori *et al.*, 2002; Buxeda *et al.*, 2005a, 2005b).

La calcita magnèsica s'identifica com a calcita amb un desplaçament a angles 2Θ més elevats degut a la substitució de part del Ca per Mg en la seva composició. És un mineral típic de sediments marins i té un origen biogènic o per precipitació directa de ciments marins. L'aragonita és la forma estable del carbonat de calci en medi marí. Aquestes precipitacions estarien controlades principalment per la pressió parcial de CO_2 i la raó dels ions $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ i podrien comportar la coprecipitació d'altres elements, especialment el Sr^{2+} (Morse i Mackenzie, 1990; Stumm i Morgan, 1996).

La presència de la pirita s'ha d'explicar per les condicions anòxiques del seu medi de deposició. En el fons marí, l'oxigen tindria una penetració limitada en els sediments, de possiblement pocs centímetres, existint més enllà una zona anomenada de reducció de sulfats. En aquesta zona, es produeix un cicle en el qual l'ió sulfat (SO_4^{2-}) present en l'aigua de mar és reduït a sulfit d'hidrogen (H_2S) en la respiració anaeròbia de bacteries sulfato-reductores. Part d'aquest sulfit d'hidrogen reaccionaria amb l'hematites, primària o de cocció, present en aquest individu per a formar minerals metaestables de sulfits, especialment sulfit de ferro amorf, mackinawita o greigita, que en una reacció posterior, formarien altres fase minerals, especialment la pirita (FeS_2) (Jørgensen, 2000; Kasten i Jørgensen, 2000). D'aquesta manera, la pirita neoformada serà responsable de la coloració grisa que presenta aquest individu. Malgrat tot, la formació d'aquesta pirita no implica necessàriament la fixació de Fe al·lòcton, encara que sí que pot implicar la fixació de metalls traces.

Els 43 individus han estat caracteritzats mineralògicament per DRX. A partir dels difractogrames, s'ha estimat la TCE de cada individu individualment. No s'ha pogut identificar cap fàbrica mineralògica perquè cada individu forma per si mateix una URCP i no es poden establir, doncs, evolucions de les fases cristal·lines en una mateixa producció (Taula 8.34).

Els individus NAR017, 023 i 029, procedents de Malard, presenten uns valors al voltant de 3% en CaO i uns valors relatius més alts en Sr i Zr que els individus NAR026 i NAR035. L'individu NAR023 sembla haver estat cuit a bona temperatura, com mostra

el difractograma de la Figura 8.93 (esquerra), on són presents fases primàries com el quars, la calcita, el potàssic, la plagiòclasi i les il·lites moscovites. El pic d'hematites és força intens i, donada l'absència d'altres fases de cocció, la TCE pot estimar-se al voltant de 850-950°C. En canvi, les il·lites ja han desaparegut en els difractogrames dels individus NAR017 i NAR029, en els que s'observa, a més, un fort desenvolupament de feldspats potàssics i de la plagiòclasi, així com la cristal·lització de fases de cocció com l'espinel·la i la gehlenita (Figura 8.93, dreta). Aquestes fases ens porten a establir una TCE al voltant de 950°C. Els individus NAR026 i NAR035 presenten un valor relatiu en CaO al voltant de 1% i valors més elevats en Zn. En canvi, els individus ceràmics NAR016, 018 i 042 apareixen a una distància ultramètrica major. L'individu NAR042 és més calcari i presenta valors en Sr més elevats. L'individu NAR016 és molt poc calcari amb un alt valor relatiu en Al₂O₃, Finalment, l'individu NAR018 presenta alts valors en Y i Zr.

Les àmfors poc calcàries NAR026 i NAR035 de Malard II presenten fases cristal·lines primàries, com el quars, el feldspat potàssic, la plagiòclasi, i les il·lites moscovites, especialment desenvolupades a l'àmfora NAR035. L'hematites es presenta com a única fase de cocció i és més intensa a l'individu NAR026. Així, tot i que l'individu NAR035 sembla cuit a una TCE inferior, tots dos individus podrien encaixar en una TCE al voltant de 850-950°C.

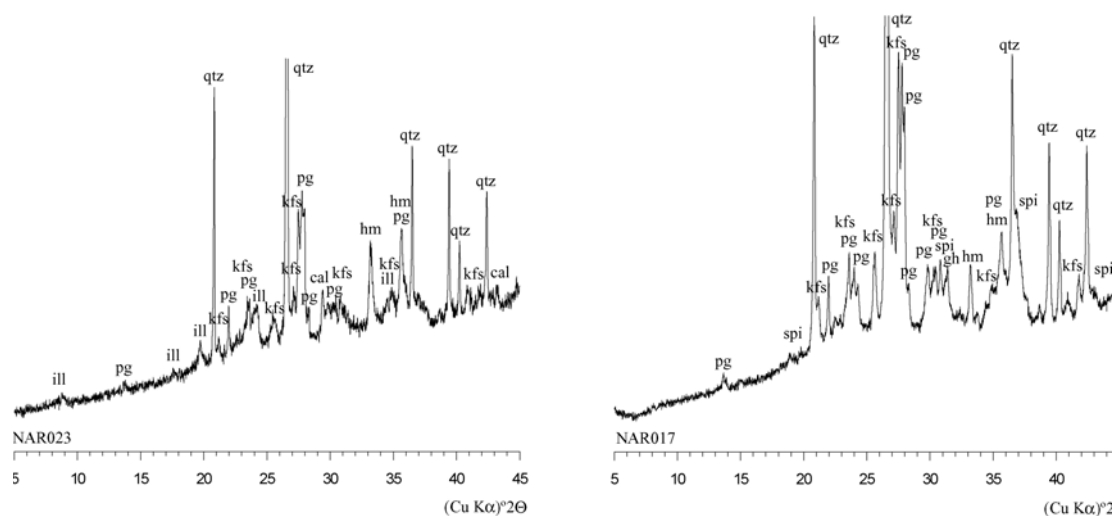


Figura 8.95. Difractogrames representant els individus poc calcaris de bona temperatura de cocció (NAR023) i d'alta TCE (NAR017) de Narbona. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars; spi: espinel·la

Altres individus procedents de Port-la-Nautique han conservat la tonalitat original (NAR002, 003, 006 i 007) i no sembla que hagin patit els mateixos processos d'alteració que els individus de pasta de tonalitat grisa, ja que segurament van estar dipositats en un medi òxic. No obstant, es constata l'existència d'altres fases cristal·lines secundàries que poden haver contribuït a ocasionar canvis significatius en la composició química i mineralògica d'aquests individus. Tots aquests individus són calcaris amb baix contingut en MgO. Els individus calcaris NAR002, 003 i 007 semblen cuits a una TCE entorn els 850-900/950°C, ja que es conserven els pics d'il·lites moscovites i són visibles algunes fases de cocció com l'hematites i, especialment, la gehlenita (Figura 8.94, esquerra). Els individus NAR001, 006, 028 i 030 semblen cuits a una TCE superior a 1000°C ja que les il·lites han desaparegut i les fases de cocció, com els piroxens i l'hematites, apareixen més desenvolupades (Figura 8.94, dreta).

Una altra àmfora, NAR041, es separa de la resta a una gran distància ultramètrica degut als valors relatius elevats en Ba, Sr, Ni i Cr. En canvi, els seus valors en MnO i Ce són més baixos (Figura 8.91).

El valor relatiu en CaO de les àmfores NAR033 i NAR043 de Malard és més baix que als individus anteriors, per als quals s'ha estimat una TCE superior a 1000°C, ja que no presenten pics d'il·lites moscovites i les fases de cocció com els piroxens, la gehlenita i l'hematites apareixen ben desenvolupats.

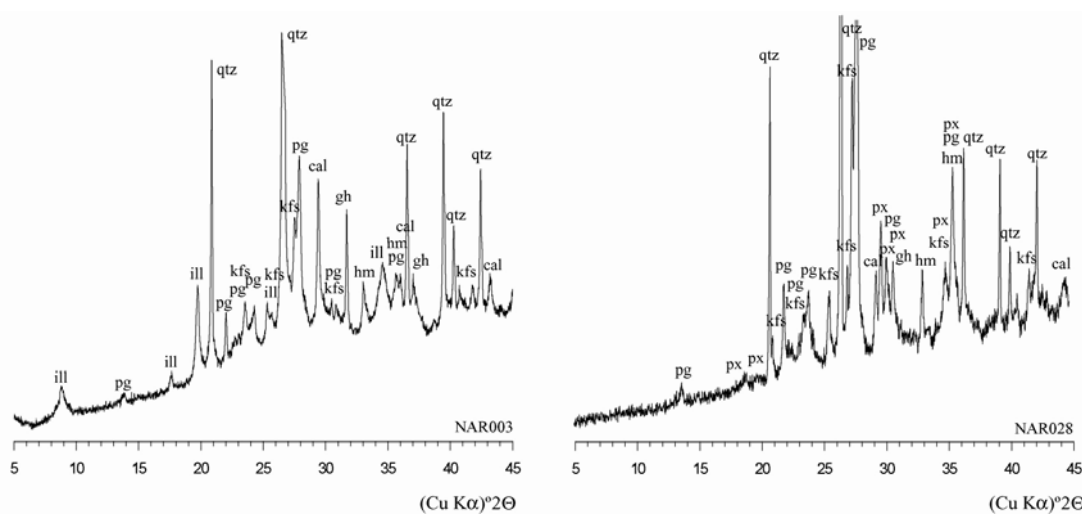


Figura 8.94. Diffractogrames representant els individus mitjanament calcaris de baixa TCE (NAR003) i d'alta TCE (NAR028) de Narbona. cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars; spi: espinel·la

Finalment, 14 individus de pasta calcària procedents de Malard es caracteritzen per presentar uns valors relatius elevats en MgO. Tanmateix, s'observa una elevada variabilitat interna deguda majoritàriament als valors relatius en CaO, Ba i Sr.

Els individus NAR022, 031, 032, 039 i 040 semblen cuits a una TCE al voltant de 850-950°C ja que en els seus difractogrames s'observen fases cristal·lines primàries com el quarz, la calcita, els feldspats potàssics, la plagiòclasi i les il·lites moscovites, juntament amb fases de cocció, com l'hematites i els piroxens (Figura 8.95, esquerra). En canvi, els individus NAR027, 036 i 037 semblen cuits a una TCE superior a 1000°C, ja que han desaparegut els pics de les il·lites moscovites i els pics corresponents a les fases de cocció apareixen més desenvolupats (Figura 8.95, dreta). A més, s'observa la cristal·lització de l'analcima, una zeolita sòdica ($\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\cdot\text{H}_2\text{O}$) que ja s'ha identificat en nombrosos casos, en ceràmiques calcàries amb sobrecoccions poc severes o severes. El procés seguit per la seva cristal·lització secundària sembla ser que es deriva d'una primera alteració de la fase vítria desenvolupada per aquestes ceràmiques a molt alta temperatura, que comporta la lixiviació de potassi i, sovint, de rubidi. Sobre aquesta fase vítria alterada, cristal·litzaria posteriorment l'analcima, incorporant sodi a la ceràmica (Buxeda, 1999; Buxeda *et al.*, 2002).

La presència de calcita en àmfores calcàries cuites a alta temperatura pot deure's a diversos processos. D'una banda, poden ser restes de calcita primària conservada que no ha arribat a descomposar-se per tractar-se d'inclusions de gran mida. De l'altra, la calcita present pot deure's a la cristal·lització de calcita secundària, a partir de l'òxid de

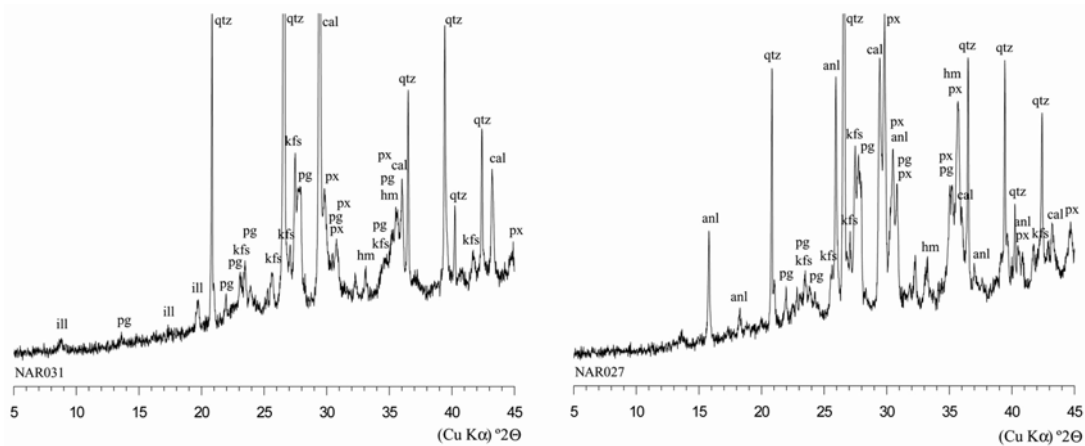


Figura 8.95. Difractogrames representant els individus calcaris amb alt contingut en MgO de bona TCE (NAR031) i d'alta TCE (NAR027) anl: analcima; cal: calcita; hm: hematites; ill: il·lita-moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; qtz: quarz; px: piroxè

calci que no ha reaccionat formant fases de cocció amb l'augment de la temperatura. Aquesta cristal·lització en forma de geodes en les porositats de la matriu ceràmica creades per la pròpia descomposició de la calcita primària. La cristal·lització de la calcita secundària implica un enriquiment parcial de Ca^{2+} al·lòcton (Buxeda, 1999; Buxeda i Cau, 1995). Tanmateix, la calcita pot haver cristal·litzat com a conseqüència de la precipitació de carbonats originats per l'aigua subterrània en un context de deposició humit, que pot originar, igualment, precipitacions de carbonat.

Els materials amforals procedents de Narbona mostren una gran diversitat de matèries primeres utilitzades en les diverses produccions, sinó també una gran varietat de tecnologies. Aquestes diferències poden ser avaluades en el diagrama de la Figura 8.96. D'una banda, dins el triangle ceràmic $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ de l'esquerra, els individus es distribueixen en dos triangles d'equilibri termodinàmic diferents. Mentre que els individus calcaris es troben situats en el triangle d'equilibri termodinàmic wol·lastonita-anortita-quars, els individus poc calcaris resten emplaçats en el triangle d'equilibri termodinàmic quars -anortita-mul·lita. D'altra banda, el triangle ceràmic CaO-MgO-SiO_2 a la dreta de la Figura 8.96 permet avaluar la distribució dels individus en relació a la concentració d'aquests elements. En aquest triangle els individus es divideixen en dos eixos diferents. Dins el triangle d'equilibri termodinàmic quars-wol·lastonita-diòpsid es troben tots els individus calcaris. Tanmateix, aquests presenten una distribució bimodal,

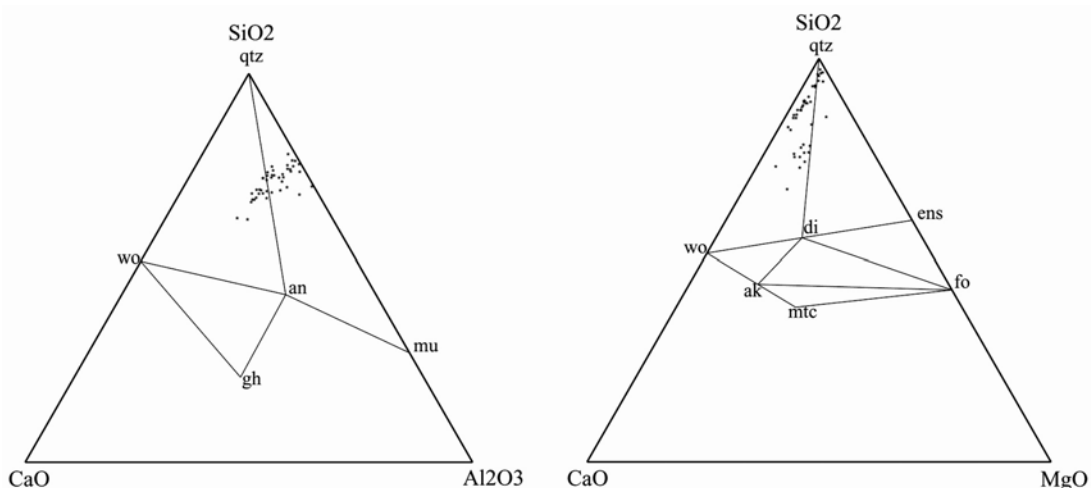


Figura 8.96. Emplaçament dels 43 individus analitzats procedent de Port-La-Nautique i Malard (Narbona) dins el diagrama del triangle ceràmic $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (esquerra) i dins el diagrama del triangle ceràmic CaO-MgO-SiO_2 (dreta). an = anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); mu = mul·lita ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$); gh = gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$); wo = wol·lastonita (CaSiO_3); qtz: quars (SiO_2); di = diòpsid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$); ens = enstatita (MgSiO_3); fo = forsterita (Mg_2SiO_4); mtc: monticel·lita (CaMgSiO_4) i ak = akermanita ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$)

en relació als valors de MgO. Mentre que en els individus situats al vèrtex superior d'aquest triangle presenten valors relatius baixos en MgO, aquests són força elevats en els individus que s'aproximen més a la base. Una minoria d'individus, els poc calcaris, es concentren al vèrtex superior del triangle d'equilibri termodinàmic quars-diòpsid-enstatita.

La variabilitat composicional que mostren els 43 individus analitzats és indicativa de l'arribada massiva a la colònia, en època d'August, de contenidors procedents d'àrees productores molt diverses. L'estudi de Narbona com a centre receptor, consumidor i redistribuïdor serà àmpliament tractat al Capítol 9.

Un estudi preliminar sobre la distribució de les àmfores que presenten marca epigràfica permet constatar que, en tots els casos, es tracta d'àmfores fabricades amb pastes calcàries. Així, les marques C. IVNI sobre àmfora Tarraconense 1E (NAR001), la marca il·legible sobre àmfora Tarraconense 1B (NAR002), la marca C.LEANTI (NAR007) sobre àmfora Tarraconense 1D i les marques FVL PHIL (NAR006 i 030) sobre àmfora Pascual 1 presenten, a més, uns valors en MgO baixos. No obstant, cap d'aquests individus sembla provenir del mateix centre ceràmic, ni tan sols en el cas de les dues marques FVL-PHIL. En canvi, les àmfores Pascual 1 amb les marques C. IVLIANTER (NAR019), NI (NAR025) i CE (NAR039) són calcàries i mostren uns valors relatius en MgO elevats.

8.4.2.2. Lattes (Hérault)

L'anàlisi arqueomètrica de les àmfores procedents de la ciutat de *Lattara* s'ha realitzat sobre 34 individus (Figura 7.55 i Taula 9 – Annex 1) (LAT001 a LAT032, LAT038 i LAT039). Les àrees mostrejades a la ciutat representen diferents sectors funcionals. Així, s'han analitzat àmfores Pascual 1 procedents de la zona portuària, àmfores Tarraconense 1A i Pascual 1 del sector residencial, àmfores Tarraconense 1D i Pascual 1 dels carrers de la ciutat, així com àmfores Dressel 1 citerior, Tarraconense 1E i Pascual 1 de l'abocador d'un centre de producció ceràmic especialitzat en les àmfores *gauloises*. Els diferents contextos d'on procedeixen les àmfores poden adscriure's a diferents fases cronològiques. No obstant, en alguns casos específics es tracta de contextos secundaris i la cronologia proposada per aquests contenidors no correspon al moment de rebuig sinó a un moment posterior. D'aquesta manera, amb la caracterització química no només es pretén determinar la provinença de les àmfores importades a la ciutat romana de *Lattara*, sinó també dissenyar, dins les possibilitats, l'evolució que experimenta la ciutat en quant al seu paper dins els circuits comercials del vi de la Tarraconense. Finalment, s'intentarà reconèixer les àrees exportadores de vi en diferents períodes i la distribució d'aquest producte en les diferents àrees funcionals de la ciutat. Tanmateix, aquests aspectes són analitzats a partir del material mostrejat que representa només una petita part de la població d'àmfores vinàries del nord-est peninsular recuperades a les excavacions arqueològiques de la ciutat.

La diversitat de produccions amforals vinàries de la Tarraconense que han arribat a Lattes, així com la representativitat de cadascuna en el consum de vi d'aquesta ciutat, pot ser estimada mitjançant la comparació de les composicions elementals dels 34 individus analitzats. Segons la similitud composicional d'aquests es definiran les Unitats de Referència Composicional de Pasta (URCP). Per tal d'establir la seva provinença, serà necessària la comparació d'aquestes dades amb les dades composicionals corresponents als grups de referència dels centres productors, utilitzades com a patrons de les diverses produccions. La provinença de les àmfores de Lattes correspondrà al centre de producció o a la zona d'incertitud on es localitza el GR amb el que s'associa.

L'anàlisi per FRX dels 34 individus ha estat realitzat seguint la rutina analítica descrita al Capítol 4.1. S'han obtingut el valor en % de les concentracions elementals majors i menors (expressats en òxids) i traça (en ppm) següents: Fe₂O₃ (com a Fe total),

Al_2O_3 , MnO , P_2O_5 , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba , Rb , Mo , Th , Nb , Pb , Zr , Y , Sr , Sn , Ce , Co , Ga , V , Zn , W , Cu , Ni i Cr . Aquestes dades han estat tractades estadísticament seguint les consideracions d'Aitchison i Buxeda sobre dades composicionals (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a). Tanmateix, en el tractament estadístic no s'han tingut en compte el Co , W , Mo , Sn , el Th , P_2O_5 , Pb i Cu per les raons que comentàvem al Capítol 4.1.3.

Per als 34 individus analitzats, la matriu de variació composicional de la Taula 8.35 mostra un valor de la v_t de 1.4210, que ha de ser considerat força elevat i lligat al poligenisme dels individus ceràmics (Buxeda i Kilikoglou, 2003). Tanmateix, aquest valor és normal en el cas de materials importats de diferents proveniències. Per tal d'evitar els problemes que comporten les dades composicionals (Capítol 5), els valors dels 21 elements químics considerats per als 100 individus amforals analitzats han estat transformats en logaritmes de raons (Aitchison, 1986, 1992; Buxeda, 1999a). Sobre la Taula 8.35 destaca la variabilitat introduïda per les concentracions relatives de CaO ($\tau_{\text{CaO}} = 7.993$), MgO ($\tau_{\text{MgO}} = 6.127$), Sr ($\tau_{\text{Sr}} = 5.850$), Na_2O ($\tau_{\text{Na}_2\text{O}} = 4.447$) i Ni ($\tau_{\text{Ni}} = 3.800$) si bé tots els elements hi contribueixen en gran mesura (Figura 8.97).

Per tal de conèixer la distribució dels individus amforals i determinar les possibles agrupacions segons la semblança composicional, així com els individus que resten aïllats per ser químicament diferents, s'ha portat a terme una anàlisi de

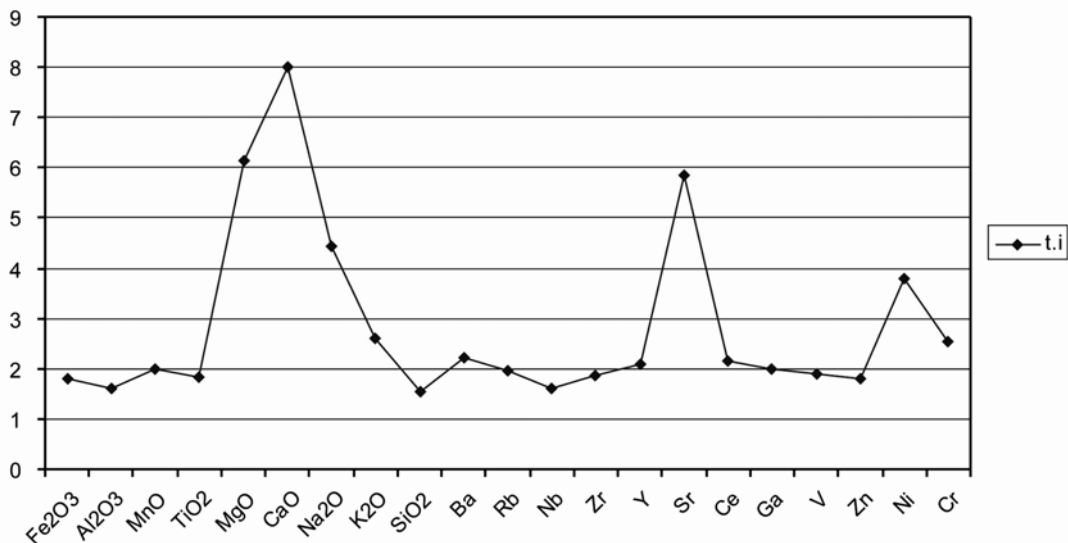


Figura 8.97. Gràfic representant la variabilitat dels 21 elements químics considerats per als 34 individus procedents de la ciutat de Lattes a partir dels valors de τ_i de la Taula 8.35

components principals (ACP). Aquesta ha estat realitzat sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , P_2O_5 , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Mo, Th, Nb, Pb, Zr, Y, Sr, Sn, Ce, Co, Ga, V, Zn, W, Cu, Ni i Cr, transformada en logaritmes de raons, utilitzant el SiO_2 com a divisor. L'anàlisi s'ha realitzat a partir de la combinació lineal de la matriu de variància-covariància, sense rotació dels eixos, amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999). El gràfic bivariant de la Figura 8.98 mostra els dos components principals que, tot i que només expliquen, conjuntament, el 65% de la variabilitat, són indicatives de com es distribueixen els diferents individus segons les seves composicions.

Sobre aquest primer gràfic s'observa la gran heterogeneïtat composicional que caracteritza els individus procedents de Lattes. A més, s'observa com els elements que marquen aquesta distribució, per l'alta variabilitat que representen, són el CaO , MgO ,

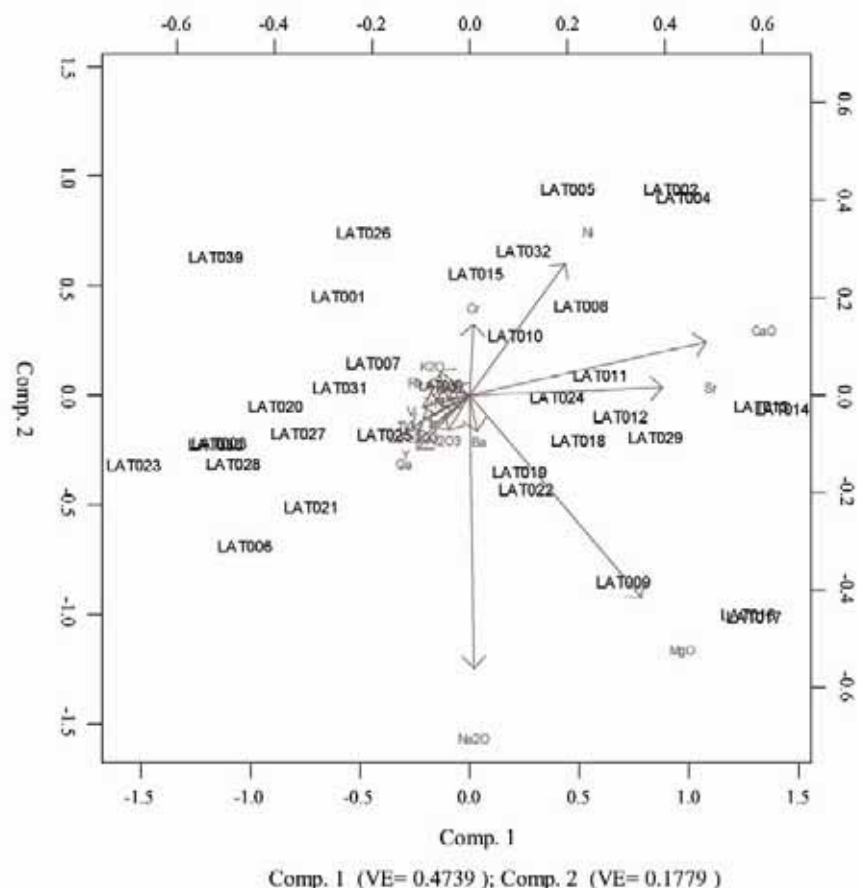


Figura 8.98. Gràfic bivariant de la primera i la segona component principal obtingudes de l'ACP, dels 34 individus de Lattes, a partir de la combinació lineal de les concentracions transformades en logaritmes de raons Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni et Cr, utilitzant el SiO_2 com a divisor

Na₂O, Sr, Ni i Cr. Els individus de pasta poc calcària es concentren a l'esquerra del gràfic, mentre que la resta d'individus es poden considerar calcaris. Les àmfors poc calcàries presenten concentracions relatives baixes de MgO, Na₂O i Sr. En canvi, les àmfors calcàries es discriminen per presentar, algunes, concentracions relatives elevades en MgO, Na₂O i Sr i d'altres. A més, alguns dels individus calcaris es diferencien de la resta per mostrar les concentracions relatives d'alguns elements força diferents a la resta d'individus. Aquest seria el cas dels individus LAT016 i LAT017, amb alts valors en Na₂O, o d'aquells que presenten concentracions relatives elevades en Sr (LAT016, 017, 013, 014), en Ni i Cr (LAT032, 005, 002 i 004) i en Zr (LAT006, 021) o baixes en Zr i altes en MnO (LAT032).

Si repetim el tractament estadístic sense tenir en compte tres dels elements que presenten més variabilitat, com el Na₂O, K₂O i el Rb, degut segurament a processos d'alteració secundaris, la vt resultant és més baixa (vt=1.1855), tot i que continua sent elevada i característica d'una població poligènica, com s'espera en el cas d'un centre receptor i consumidor (Taula 8.36). Els individus es diferencien majoritàriament pels valors en MgO, CaO, Sr, Ni i Cr.

L'anàlisi de conglomerats d'aquesta subcomposició, realitzat amb el programa S-Plus 2000 (MathSoft, 1999), permet observar de forma més clara la distribució dels 34 individus amforals procedents de Lattes (Figura 8.99). L'anàlisi s'ha realitzat sobre la mateixa composició transformada en logaritmes de raons utilitzant el SiO₂ com a divisor, emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centroide.

Aquest gràfic posa en relleu diverses agrupacions que responen a tendències diferents, algunes de les quals presenten, a més, una gran variabilitat interna. Per aquest motiu, les àmfors que formen els diferents grups dins cada tendència no tenen perquè provenir del mateix centre ceràmic.

L'individu LAT039, una àmfora Dressel 1 ceterior, es separa de la resta d'individus a una gran distància ultramètrica (Figura 8.99). La pasta ceràmica d'aquest individu és poc calcària, i presenta igualment valors baixos en MgO i Sr, però elevats en Rb. A més, és l'individu amb el valor relatiu més elevat en Cr de totes les àmfors procedents de Lattes. Donades aquestes característiques composicionals, no estem segurs que la zona de producció d'aquest individu es localitzi a l'àrea catalana, ja que no s'ha documentat fins el moment cap producció amb uns valors relatius en Cr similars. Aquest individu podria formar part, no obstant, d'algunes de les produccions d'àmfors greco-itàliques localitzades al sud de França, com les produccions del centre ceràmic de

Saint Michel a Agde (Gómez, 2007). Tanmateix, no es tracta més que de una hipòtesi i per tal d'identificar la provenença d'aquesta àmfora greco-itàlica seria necessària, d'una banda, la caracterització arqueomètrica de les àmfores provinents del mateix centre productor i, d'altra banda, l'ampliació de la caracterització arqueomètrica amb altres tècniques d'estudi, com la petrografia, que ens permetria aproximar-nos a una possible àrea de producció.

Les àmfores LAT013 i LAT014 es separen de la resta d'individus per presentar uns valors elevats de CaO, MgO, K₂O, MnO i, sobretot, Sr. Aquests dos individus són molt similars entre ells i formen la URCP LAT-1. Els valors de la mitjana aritmètica i de la desviació estàndard d'aquesta URCP es representen a la Taula 8.37, a partir dels valors normalitzats.

Els individus de pasta calcària LAT016 i LAT017 s'uneixen a molt poca distància ultramètrica i han estat considerats com la URCP LAT-2. Tots dos han estat recuperats en la mateixa unitat estratigràfica (UE 26156), a l'edifici d'emmagatzematge de dolia del port de Lattes i es caracteritzen per presentar una pasta calcària amb concentracions relatives altes en MgO, Na₂O i Sr.

Un altre grup d'àmfores calcàries (LAT019, 022, 018, 009, 012, 011 i 029) presenta concentracions relatives altes en MgO, K₂O, Ba i Rb, tot i que altres elements contribueixen a crear una certa variabilitat interna. Els individus LAT019 i LAT022 presenten una composició química força similar i formarien conjuntament la URCP LAT-3 mentre que els individus LAT009 i LAT012 han estat classificats a la URCP LAT-4. En canvi, els individus LAT011 i LAT029 apareixen més distanciat, segurament degut, en part, a que presenten uns valors en CaO més elevats. Tant aquests individus com l'àmfora LAT018 formarien per si mateixos URCP diferents.

Els individus LAT032, 005, 002 i 004 són de pasta calcària i tendeixen a presentar uns valors alts en Ni i Cr, si bé l'individu LAT032 presenta valors de Zr baixos, però elevats en Sr. Les àmfores Oberaden 74 o *Gauloise 1* (LAT002 i LAT004) formarien la URCP LAT-5 mentre que els individus LAT005 i LAT032 formarien cadascú una URCP diferent.

Un sisè conjunt d'individus es caracteritzen per estar fabricats amb pastes poc calcàries (LAT006, 021, 038, 020, 003 i 028) amb valors relatius Sr baixos en però alts en Al₂O₃, Ti i Mn. Tanmateix, mentre que els individus LAT006 i LAT021 presenten valors molt elevats en Zr, la resta d'individus es caracteritzen per mostrar altes

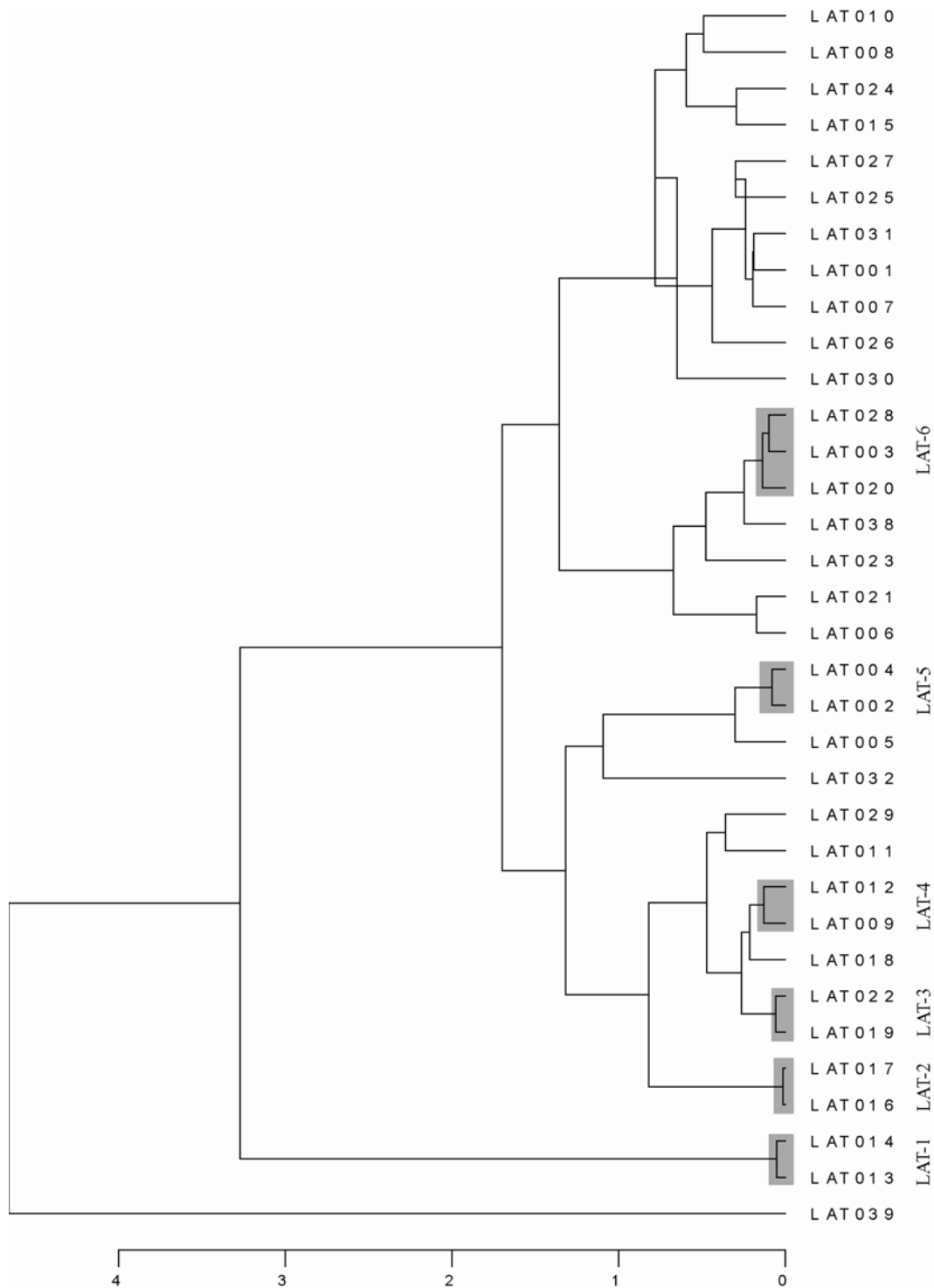


Figura 8.99. Dendrograma resultant de l'anàlisi d'agrupament dels 34 individus procedents de la ciutat portuària de Lattes (Hérault), emprant la distància euclidiana al quadrat i el mètode aglomeratiu del centre, sobre la subcomposició Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , SiO_2 , Ba, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Ni i Cr i utilitzant el SiO_2 com a divisor.

concentracions relatives en Ce i Y. Les àmfors LAT003, 020 i 028 han estat classificades dins la URCP LAT-6 mentre que la resta d'individus corresponen cadascú a una URCP diferent.

Finalment, una darrera tendència ve formada per les àmfors calcàries que s'uneixen a la dreta del dendrograma formant un grup força heterogeni. Es caracteritza, de manera general, per uns valors relatius elevats en K_2O , Y i V, tot i que baixos en MgO , Na_2O i Sr. Cadascuna d'aquestes àmfors (LAT001, 007, 008, 010, 015, 024, 025, 026, 027, 030 i 031) correspon de manera individual a una URCP.

En el cas de les àmfors procedents de Lattes es veu com, a més de la variabilitat típica que trobem majoritàriament als centres productors caracteritzats anteriorment, relacionada amb les composicions relatives en CaO , Na_2O , Sr i MgO , altres elements contribueixen de manera notable a la variabilitat total. Les diferències en la proporció de carbonats pot estar relacionada amb la matèria primera utilitzada. Així, en algunes produccions, les àmfors van ser fabricades amb pastes calcàries, mentre que altres produccions es caracteritzen per presentar pastes poc calcàries. Els percentatges de MgO en els diferents individus estaria igualment relacionat amb l'ús de matèries primeres diferents. La variabilitat que ofereixen altres concentracions elementals (Ti, Nb, Zr, Y i V) vindria a confirmar l'existència, a Lattes, d'àmfors produïdes en àrees geològiques diferents.

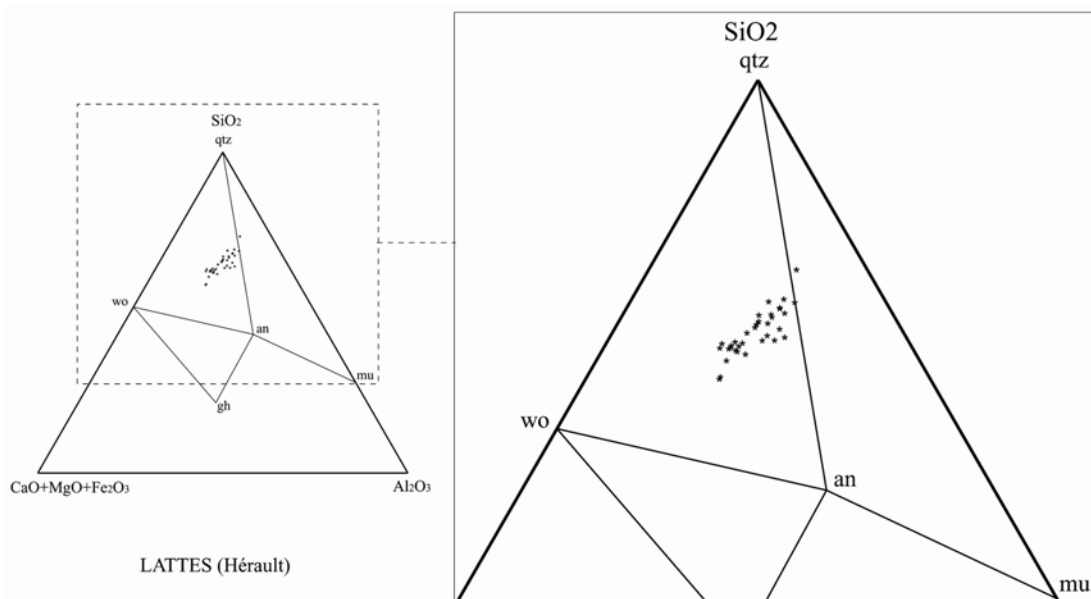


Figura 8.100. Diagrama del triangle ceràmic $[CaO+MgO+Fe_2O_3]-Al_2O_3-SiO_2$ amb l'emplaçament dels 34 individus analitzats. an = anortita ($CaAl_2Si_2O_8$); mu = mul·lita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$); gh = gehlenita ($Ca_2Al_2SiO_7$); wo = wol·lastonita ($CaSiO_3$); qtz: quars (SiO_2); mu = mullita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)

Les diferències químiques presents entre els individus, en relació amb alguns elements com el CaO, Na₂O, K₂O, Rb, MnO i Ni, poden ser també degudes, en part, a processos secundaris d'alteració de la composició inicial. Mentre que la variabilitat que presenten el calci pot estar relacionada amb la cristal·lització de la calcita secundària, les concentracions relatives de Na₂O, K₂O, Rb es veurien alterades, en alguns individus, dins el procés de cristal·lització de l'analcima durant el període de deposició. Finalment, en quant al MnO, força elevat als individus LAT032, 006, 021, 038, 020, 003, 028, 030 i 026, i al Ni, que presenta valors relatius alts als individus LAT032, 005, 002 o 004, estudis arqueomètrics anteriors realitzats sobre altres materials arqueològics procedents de Lattes, han confirmat l'existència de cristal·litzacions de fases secundàries durant l'enterrament de les ceràmiques (Martínez i Buxeda, 2006). A aquesta cristal·lització ha contribuït enormement les característiques topogràfiques del jaciment, situat en una plana inundable. El procés d'alteració s'origina amb una primera fase en què la descomposició de la matèria orgànica comporta unes condicions reductores en les que el Mn²⁺ és soluble amb les aigües d'escorrentia. En una segona fase, després de la descomposició de la matèria orgànica, les condicions es tornarien més bàsiques i oxidants i el manganès precipitaria com a Mn⁴⁺, que és insoluble (Freeth, 1967). Aquest estat d'oxidació, però, és aprofitat per alguns microorganismes (normalment bacteries), que precipiten com a fases biogèniques. Aquestes fases mostren una gran capacitat d'absorció o incorporació de metalls, com el Ni (Tebo i He, 1999 ; Tebo *et al.*, 2004).

El caràcter calcari diferencial de les 34 àmfores de Lattes, així com en relació als valors en MgO, es pot observar en situar els individus en el diagrama ternari del triangle

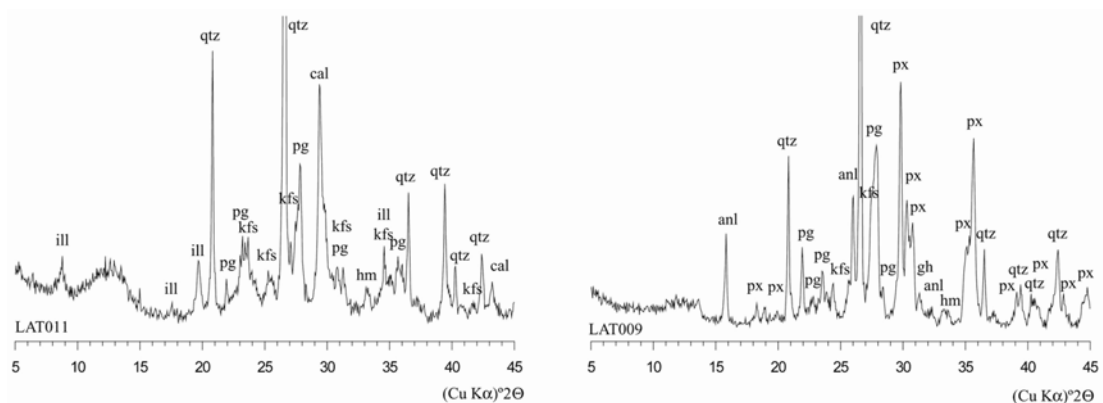


Figura 8.101. Difractogrames representant els individus calcaris de baixa TCE (LAT011) i d'alta temperatura (LAT009) de Lattes. anl: analcima; cal: calcita; gh: gehlenita; hm: hematites; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; px: piroxè; qtz: quars

ceràmic (CaO+MgO+Fe₂O₃)-Al₂O₃-SiO₂ (Figura 8.100). En aquest triangle, la majoria d'individus resten emplaçats en el triangle d'equilibri termodinàmic wol-lastonita-gehlenita-anortita. Tanmateix, els individus es distribueixen majoritàriament seguint dos eixos, un que representa les àmfores calcàries amb alts continguts en MgO de les poc calcàries i MgO baixos, emplaçades més a la vora del triangle. Els individus que es troben en aquest límit del triangle amb el triangle d'equilibri termodinàmic quars-anortita-mullita o a l'interior d'aquest, presenten els valors més baixos en CaO (Heimann, 1989).

L'anàlisi dels difractogrames dels diversos individus permet aproximar-nos a la TCE. Els dos individus calcaris de la URCP LAT-1 (LAT013 i 014) han estat cuits a bona temperatura (900-950°C), ja que s'observen, en els seus difractogrames, algunes fases de cocció, com l'hematites, la gehlenita i els piroxens, juntament amb les fases primàries (quars, il·lites, feldspat potàssic i plagiòclasi).

Els dos individus de la fàbrica F-LAT-2 (LAT016 i 017) han estat cuits a més elevada temperatura (superior a 1000°C) i a més presenten la cristal·lització de l'analcima com a fase secundària. A més, en tots dos casos, com probablement a la resta d'individus calcaris cuits a alta temperatura, la calcita present sembla ser deguda, en part, a la cristal·lització com a fase secundària.

La TCE estimada per a l'individu LAT011 es situa entre 900-950°C, ja que es documenten fases de cocció juntament amb filosilicats (Figura 8.101, esquerra). A temperatura més elevada, els individus de la URCP LAT-4 (LAT009, 012), els filosilicats han desaparegut i les fases de cocció apareixen de forma més intensa.

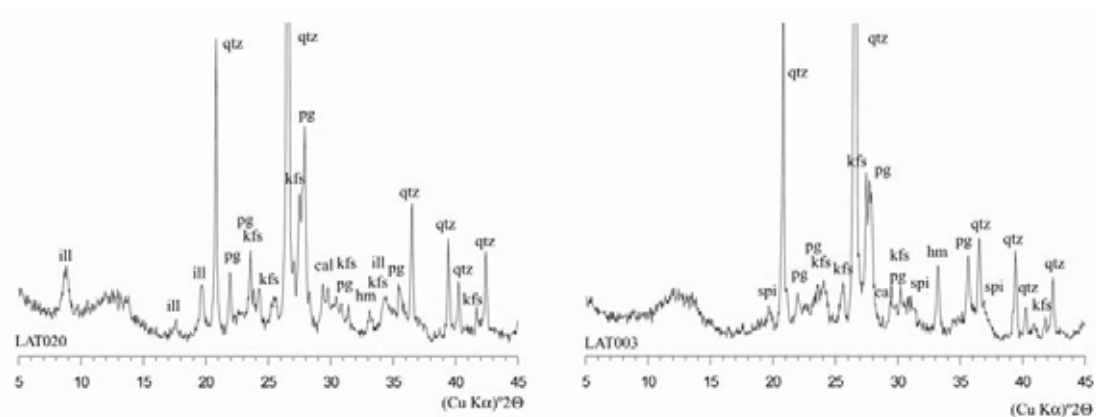


Figura 8.102. Difractogrames dels individus poc calcaris de la URCP LAT-6 representatius d'una cocció a baixa TCE (LAT020) i d'una cocció a alta TCE (LAT003). cal: calcita; hm: hematites; ill: il·lita moscovita; kfs: feldspat potàssic; pg: plagiòclasi; qtz: quars; spi: espinel·la

Finalment, una sèrie d'individus semblen cuits a una TCE superior a 1000°C, ja que les fases de cocció apareixen fortament desenvolupades i es documenta l'analcima com a fase secundària (Figura 8.101, dreta).

L'individu LAT020 de la URCP LAT-6 presenta fases primàries que apareixen juntament amb pics incipients de minerals de cocció, com l'hematites o la gehlenita (Figura 8.102, esquerra). A més alta temperatura, 900-950°C, es conserven els minerals primaris però ja es presencia la cristal·lització de l'espinel·la (Figura 8.102, dreta).

L'anàlisi química i mineralògica dels 34 individus procedents de Lattes ens ha permès identificar una gran diversitat de produccions amforals que han de relacionar-se amb diferents centres de producció. L'atribució d'una provinença per a aquests individus només serà possible en comparar les àmfores de Lattes amb els grups de referència identificats per als diferents centres productors caracteritzats (Capítol 9). Tanmateix, les 6 URCP identificades permeten entreveure certes tendències composicionals

8.5. Les propietats mecàniques de les àmfores

Els processos tecnològics portats a terme en la fabricació dels diferents contenidors, com la selecció de matèries primeres (tipus d'argila i desgreixador), el processat i modelat de la pasta i les condicions de la cocció (atmosfera i temperatura), condicionen el comportament mecànic de les àmfores. L'anàlisi de les propietats mecàniques, com la resistència i la tenacitat a la fractura, d'aquests envasos ens permet atribuir, de forma general, unes possibles característiques utilitàries als diferents envasos.

Per als tests de resistència mecànica a la fractura s'han testat tant àmfores procedents dels centres productors com receptors.

En el cas de les àmfores de Ca l'Arnau, els individus que més resistència presenten a la fractura són les àmfores mitjanament calcàries cuites a bona temperatura (Figura 8.103, esquerra). En canvi, les àmfores de pasta més calcària cuites a molt alta temperatura ofereixen menys resistència a l'inici de la fractura (Figura 8.103, dreta). En quant a les àmfores de Can Pau Ferrer, poc o mitjanament calcàries, les que presenten uns valors més alts de resistència mecànica a la fractura són els contenidors de pasta ben cuita, com s'observa a la Figura 8.104, en relació amb els cuits a baixa temperatura (Figura 8.104, dreta). Tanmateix, els materials menys resistents presenten una tenacitat al desenvolupament de la fractura major, produint-se una relació inversa entre les dues propietats mecàniques (Taula 8.39).

En quant als tests de tenacitat, s'observa que l'àmfora mitjanament calcària i cuita a alta temperatura de l'esquerra, presenta més resistència major a l'inici de la fractura que l'individu de la dreta (Figura 8.105, dreta). Tanmateix, quan la fractura s'inicia, el material es trenca immediatament fracturant-se completament de manera catastròfica. En canvi, la fractura s'inicia més ràpidament en el material mitjanament calcari i cuit a baixa temperatura de la dreta però, quan la fractura es produeix, el material no es trenca immediatament, sinó que disposa de mecanismes que atenuen el cop, com demostra la part final de la corba. Aquest material és més tenaç ja que resisteix el desenvolupament de la fractura fins que la tensió és tan elevada que provoca la fractura total, que mai serà de forma catastròfica (Figura 8.105, dreta).

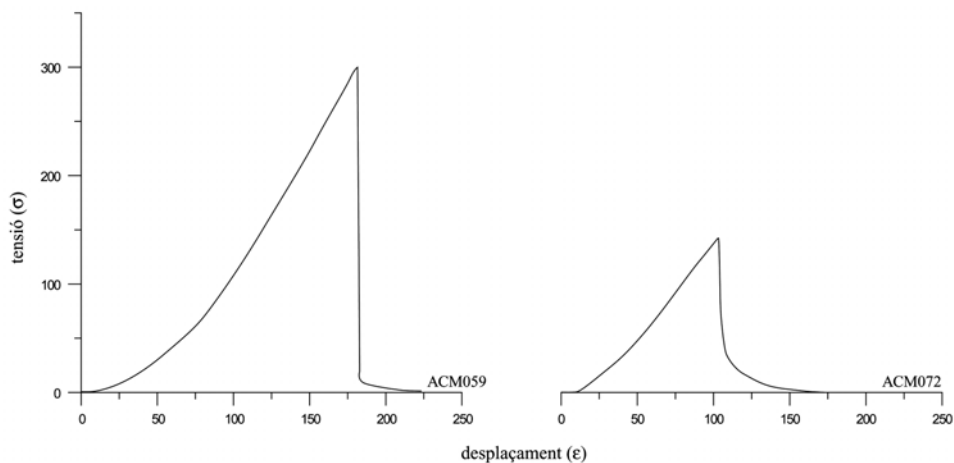


Figura 8.103. Gràfic tensió-deformació que representa la corba d'una àmfora amb elevada resistència mecànica (esquerra) i d'una baixa resistència mecànica a la fractura transversal (dreta) de les àmfores de Ca l'Arnau

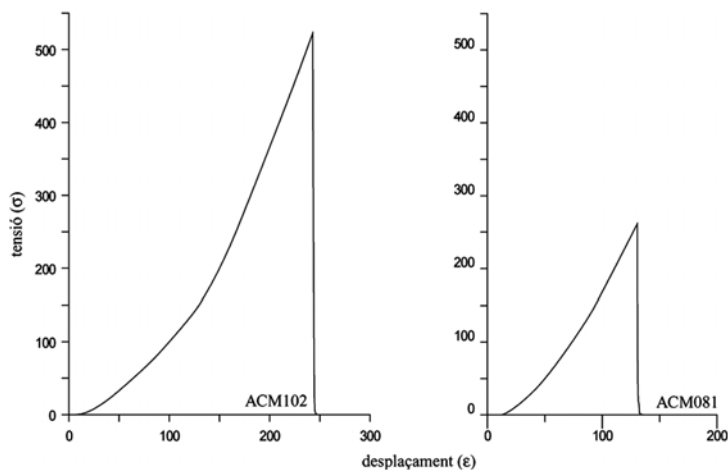


Figura 8.104. Gràfic tensió-deformació que representa la corba d'una àmfora amb elevada resistència mecànica (esquerra) i d'una baixa resistència mecànica a la fractura transversal (dreta) de les àmfores de Can Pau Ferrer

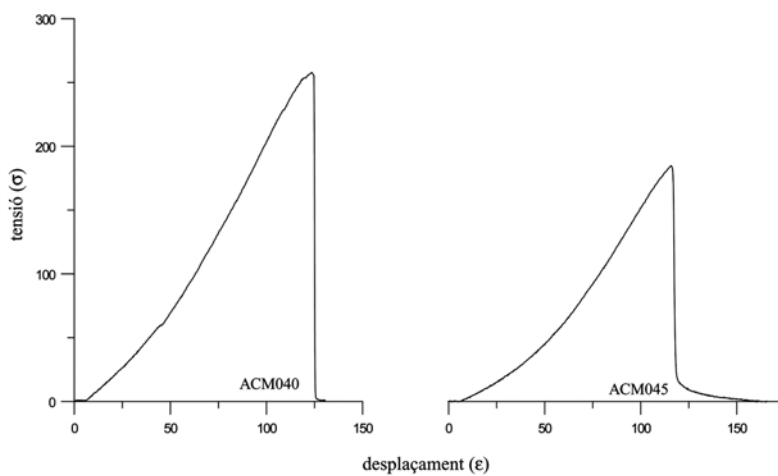


Figura 8.105. Gràfic tensió-deformació que representa la corba d'una àmfora amb poca tenacitat (esquerra) i amb una alta tenacitat a la fractura (dreta) de les àmfores de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer

Les àmfors del carrer Princesa de Barcelona, que presenten uns valors en CaO entre 5 i 8 %, acostumen a ser força resistents, mostrant uns valors al voltant de 20 MPa les àmfors cuites a TCE superiors a 1000°C, i de 12 MPa les àmfors cuites a més baixa temperatura (Figura 8.106, esquerra). Els valors de tenacitat dels materials ceràmics fabricats al carrer Princesa són poc o mitjanament tenaços, ja que els valors es situen entre 0.8 i 1.5 MPa m^{1/2} (Taula 8.39).

Les àmfors de Santa Caterina presenten valors més baixos de resistència mecànica a la fractura que les produccions veïnes del carrer Princesa. Alguns individus mostren uns valors entorn 20-25 MPa, però la majoria d'individus es troben per sota de 10 MPa (Taula 8.39). Aquests que presenten menys resistència es caracteritzen tots per una pasta de tonalitat clara, calcària, cuita a alta temperatura però amb presència de fases secundàries, com l'analcima. La cristal·lització d'aquesta zeolita es produeix sobre la fase vítria de ceràmiques calcàries i representa per ella mateixa, un procés d'alteració (Buxeda, 1999a, Buxeda *et al.*, 2002). Totes aquestes transformacions composicionals i mineralògiques poden alterar les propietats mecàniques inicials dels individus i, els valors de resistència i tenacitat que ara obtenim poden estar falsejats per totes aquestes transformacions. Tanmateix, sorprèn que aquestes àmfors tan poc resistents de Santa Caterina presenten, en canvi, el valor més alt de tenacitat de tots els individus analitzats, com demostra la corba del gràfic Figura 8.106 (dreta), que indica una fractura estable o semi-estable.

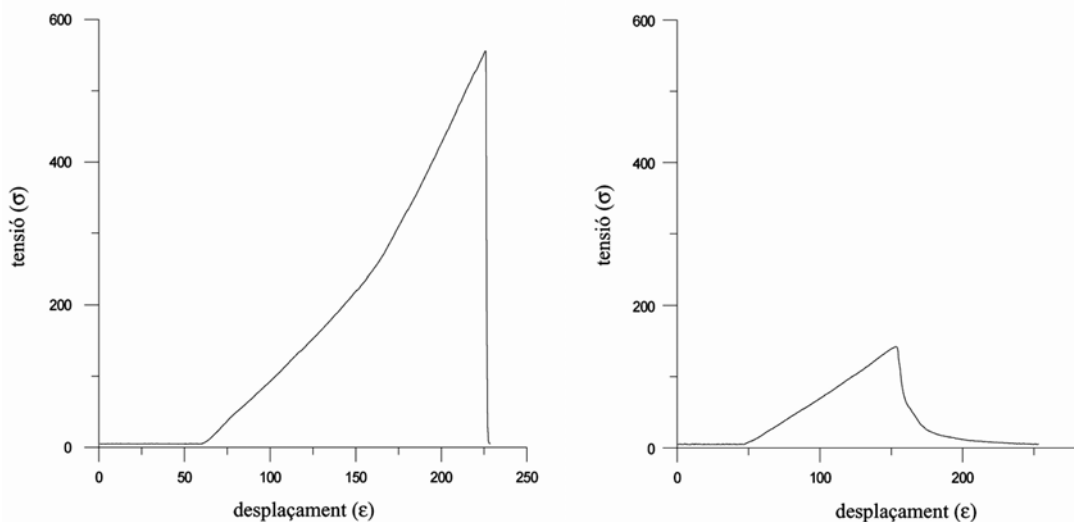


Figura 8.106. Gràfic tensió-deformació que representa un material molt resistent a la fractura (esquerra) i un material poc resistent però molt tenaç al desenvolupament de la fractura (dreta) de les àmfors de Barcelona

Les àmfores del taller del barri Antic (Sant Boi de Llobregat) també presenten uns valors alts de resistència mecànica a la fractura similars a les produccions del carrer Princesa de Barcelona (Figura 8.107, esquerra). Tots els individus presenten uns valors de resistència entre 27 i 10 MPa m^{1/2}. En canvi, els valors de tenacitat són mitjans o baixos, i es situen entorn 1 i 1.6 MPa m^{1/2}. A més, s'observa com la corba del gràfic de la Figura 8.107 (dreta) cau de forma vertical, indicant que la fractura es produeix de manera inestable o immediata (Taula 8.39).

Les àmfores Tarraconense 3 i Pascual 1 fabricades al Vilarenc mostren uns valors de resistència mecànica a l'inici de la fractura entorn de 20-10 MPa. Totes són calcàries i cuites a una TCE entorn 800-950°C. La propietat de tenacitat al desenvolupament de la fractura no és gaire present als materials del Vilarenc, ja que es situen entre 0.7 i 1.3 MPa m^{1/2}. La pasta d'aquests contenidors és força fina en comparació a la resta d'àmfores analitzades procedents d'altres àrees productores. Aquesta pasta, calcària, està cuita a bona temperatura i és altament resistent a la fractura. Però quan aquesta es produeix, el material es trenca de forma instantània, ja que la matriu no disposa de mecanismes per dissipar l'energia de fractura. Tanmateix, aquests contenidors són aptes per al transport a llargues distàncies i a més són ideals per a l'emmagatzematge de productes líquids ja que la microestructura cel·lular que es desenvolupa contribuint a la impermeabilitat de les parets (Taula 8.39).

L'anàlisi de les propietats mecàniques realitzades sobre les àmfores procedents dels centres receptors i consumidors permet constatar l'arribada de contenidors més

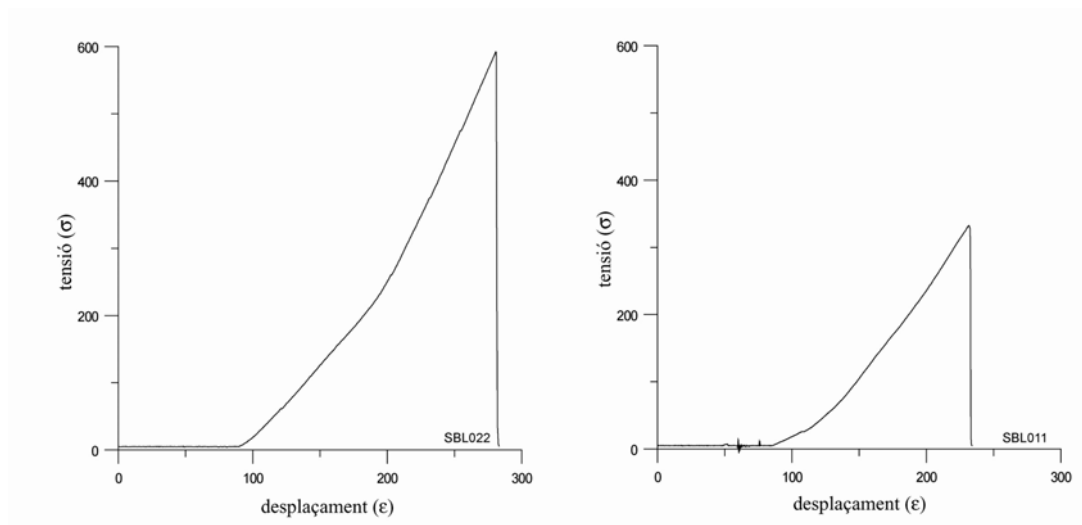


Figura 8.107. Gràfic tensió-deformació que representa un material molt resistent a la fractura (esquerra) i un material poc tenaç al desenvolupament de la fractura (dreta) de les àmfores del Barri Antic

resistents que d'altres i/o més tenaços que d'altres. Com vèiem en els casos anteriors, les àmfors més resistents acostumen a ser calcàries i cuites a bona temperatura. Les ceràmiques poc calcàries que presenten una matriu força vitrificada, mostren una valors mitjans de resistència. En canvi, les àmfors menys resistents són les cuites a baixa temperatura.

La valoració final del comportament mecànic de les àmfors Dressel 1 citerior, Tarraconense i Pascual 1 ens porta a establir uns alts valors de resistència mecànica, que varien entre 2 i 30 MPa. Això significa que les parets d'aquestes àmfors poden resistir tensions d'entre 20 i 300 Kg/cm². Els valors més elevats, entre 15 i 30 MPa, corresponen majoritàriament a individus que presenten una pasta de color rosat, marró o ataronjat. La tecnologia de fabricació d'aquests individus correspon bàsicament a pastes mitjanament calcàries o calcàries, cuites a bona temperatura. Tanmateix, alguns individus poc calcaris presenten també valors alts de resistència mecànica. El tipus de fractura en aquests individus és inestable o quasi semi-estable. Finalment, les àmfors de tonalitat clara presenten una pasta molt poc resistent, amb uns valors que oscil·len entre 2 i 7 MPa. Tanmateix, el tipus de fractura és semi-estable. Es tracta en tots els casos d'individus calcaris cuits a elevada temperatura, que poden haver patit processos secundaris d'alteració i contaminació, com veurem més endavant. En quant als tests de tenacitat a la fractura, es produeix l'efecte contrari. Normalment les àmfors de pasta més fina, com les del Vilarenc, són més tenaces a l'energia intrínseca de la fractura però un cop aquesta s'ha iniciat, el material es trenca de forma inestable o catastròfica, com un vidre, mostrant molt poca resistència a la propagació de la fractura.

En el cas de les àmfors de pasta més grollera, els valors de la tenacitat a la fractura es troben al voltant de 0.3 i 2 MPa m^{1/2}, si bé dos individus superen els 4 MPa m^{1/2}. Ja que existeixen molts factors que condicionen el comportament mecànic de les ceràmiques, i més en el cas de ceràmiques arqueològiques que han estat utilitzades i enterrades durant centenars d'anys, és molt difícil associar el grau de tenacitat a unes característiques tecnològiques concretes. Tanmateix, s'observa una tendència que, tot i massa general, apunta a que les àmfors que presenten més tenacitat intrínseca són els materials poc o mitjanament calcaris (fins a un 8% CaO) de color vermell a marró o ataronjat, cuites a temperatures entre 900 i 1050°C. Tanmateix, la resistència a la propagació de l'energia de fractura és pràcticament inexistent. En canvi, un grup d'àmfors més calcàries (per sobre de 8% CaO) cuites a més elevada temperatura (superior a 1000-1050°C), de tonalitat clara, presenten uns valors baixos de tenacitat

intrínseca a la fractura, entre 0.3 i 0.7 MPa m^{1/2}, tot i que tenen més tenacitat al desenvolupament de la fractura, ja que aquesta es produeix de forma semi-estable. Aquestes àmfores han mostrat un comportament mecànic similar en els tests de resistència mecànica i, coneixem, per l'anàlisi mineralògica, l'existència de processos secundaris d'alteració i contaminació postdeposicional en la majoria d'individus de pasta clara (Martínez *et al.*, 2005, 2006, 2007, en premsa; Vila *et al.*, en premsa).

Com veïem en l'anàlisi dels diferents individus amforals mitjançant el Microscopi Electrònic de Rastreig (MER), les àmfores poc calcàries (inferior a 5% CaO), com alguns exemplars d'àmfores Dressel 1 citerior de Ca l'Arnau i Can Pau Ferrer, cuites a baixa temperatura, mostren un estat de vitrificació inicial de la matriu ceràmica a partir dels 750-800°C, i en aquest estat les partícules no plàstiques i la matriu no apareixen força fusionades. La fase líquida augmenta de forma estable i paral·lela a l'augment de la temperatura, fins crear una estructura vitrificada contínua, caracteritzada per la presència de grans porositats en la matriu ceràmica, que perdurarà de forma estable durant un rang de 150°C. Amb temperatures superiors a 1050-1100°C, es produeix el col·lapse de les partícules de la matriu creant-se una textura de porositats fines (Jones 1986).

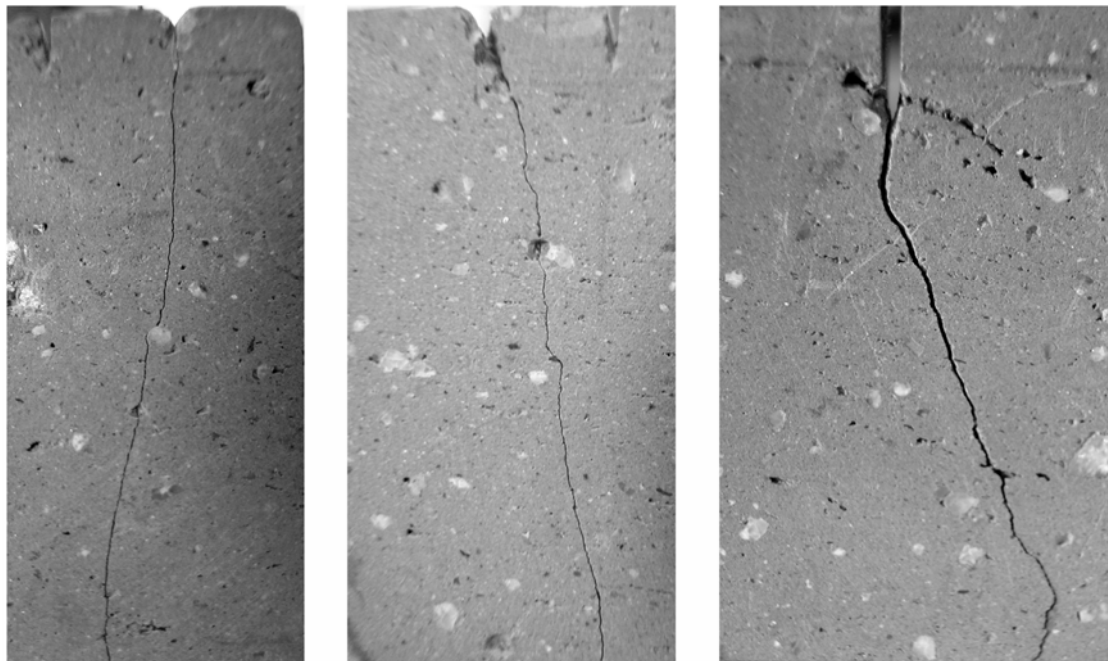


Figura 8.108. Microfotografies del recorregut de la fractura en dues àmfores calcàries (esquerra i central) i una àmfora poc calcària (dreta) de pasta grollera.

Les fàbriques calcàries (superior a 5% CaO) cuites a baixa temperatura, presenten una matriu amb una estructura laminar dels minerals argilosos, poc fusionada, sense interconnexió amb les partícules no plàstiques. Això es deu al baix grau de vitrificació i a l'expansió que pateixen els grans de quars a partir dels 600°C i que comporta tensions entre les partícules i la matriu ceràmica. El baix estat de vitrificació i la poca fusió existent entre matriu i inclusions fa que la fractura es produeixi de forma estable. Tot i que es tractarà de ceràmiques poc resistents, tendiran a trencar-se de manera estable, ja que la dissipació de l'energia de fractura és elevada perquè tant la porositat com les inclusions frenen la propagació de la fractura. Així, un cop iniciada, les inclusions, majoritàriament de quars, i la porositat, interactuen produint una xarxa extensiva de microfractures, originant la dissipació de l'energia mitjançant mecanismes de desviament i bifurcació (Figura 8.108). A temperatures superiors als 800-850°C, els mecanismes que porten a l'estat de vitrificació característic d'argiles calcàries està en relació amb la descomposició de la calcita al voltant dels 750-800°C i amb la formació de fases cristal·lines d'alts punts de fusió com aluminosilicats de calci (anorthita i gehlenita) i silicats de calci i magnesi (wol·lastonita i diòpsid) a temperatura elevada. En assolir els 850°C, les argiles calcàries produeixen una vitrificació contínua i extensiva a tota la matriu i una microestructura estable durant un rang de 200°C en atmosfera oxidant. El grau de vitrificació assolit contribueix a una major resistència a la fractura, ja que el trencament de les unions atòmiques s'inicia amb una tensió més alta. Com que l'energia acumulada és alta, la dissipació d'energia durant la propagació de la fractura és ineficient per aturar la fractura, que es produirà de forma inestable. A temperatures superiors als 1050°C es produeix una vitrificació molt intensa o total, en la que la matriu i les partícules apareixen totalment adherides i la matriu es trenca com si es tractés d'un vidre. Tanmateix, altres factors com la mida i la distribució dels components calcaris de l'argila esdevenen uns factors crítics en l'estabilitat de la vitrificació extensiva de l'estructura ceràmica. D'aquesta manera, per tal d'obtenir una vitrificació extensiva estable en les pastes calcàries, que implica un material més dur i perdurable, són necessaris uns processos de cocció d'alta temperatura. Si s'utilitzen ceràmiques calcàries els riscos disminueixen ja que les argiles calcàries presenten l'avantatge de romandre estables en un estat de vitrificació extensiva, durant un rang de temperatura de 200°C, entre 850-1050°C (Maniatis i Tite 1981; Kilikoglou *et al.*, 1995; Kilikoglou *et al.*, 1998; Tite *et al.*, 2001).

