

**Departament de Prehistòria, Història Antiga i Arqueologia  
Facultat de Geografia i Història  
UNIVERSITAT DE BARCELONA**

**LA CARACTERITZACIÓ ARQUEOMÈTRICA  
de la ceràmica de Terra Sigillata Hispanica Avançada de la  
ciutat romana de Clunia i la seva contrastació amb la Terra  
Sigillata Hispanica d'un centre productor contemporani, el  
taller d'Abella**

**TESIS DOCTORAL** presentada per  
Jaume Buxeda i Garrigós  
per a optar al títol de Doctor en  
Geografia i Història (Secció de  
Prehistòria, Història Antiga i  
Arqueologia)  
Setembre de 1994

**Codirigida per:**  
**Dr. Pere de Palol i Salellas**  
**Professor Emèrit d'Arqueologia**

**Dr. Josep M. Gurt i Esparraguera**  
**Catedràtic d'Arqueologia Cristiana i**  
**Antiguitat Taràana**

**Programa de Doctorat 912 (bienni 89-91): Economia i societat en el Món Antic**  
**Programa de Doctorat 014 (bienni 91-93): Estudi del territori a la Prehistòria i Món Antic**

Les fixacions de coure han estat descrites en algunes ocasions (Gillies i Urch, 1983; Walter i Besnus, 1989), essent posades algun cop en relació a la proximitat a zones mineres riques en aquest metall (de Paepé, 1979) o a la proximitat a objectes metàl·lics de coure durant l'enterrament (Picon, 1985b). En el nostre cas, l'observació dels valors dels  $\ln(\text{Cu}/\text{SiO}_2)$  deixa veure una gran diversitat (Figura 10) que, junt amb el fet que trobem partícules que contenen Cu i Zn a través de la MER-EDX-ER, interpretem com una possible àmplia variació natural del coure relacionada amb l'existència dels afloraments de coure que hem esmentat. En el cas de l'I<sub>c</sub> 14, especialment, ens inclinem però a pensar que el seu contingut en Cu pot haver estat afectat per una fixació de coure, procedent d'algun objecte o del propi medi de deposició. El fet d'ésser l'únic I<sub>c</sub> procedent de La Rectoria limita les possibilitats de l'explicació.

Finalment, l'I<sub>c</sub> 11, l'únic de cocció reductora-reductora, presenta, a més d'una fixació d'estronci que ja ha estat discutida anteriorment, a la maghemita com a òxid de ferro. Aquesta fase, que ha estat descrita com a un òxid resultant dels processos de decoració en condicions reductores (veure per exemple Noll *et al.*, 1975), no ha estat però apuntat com a l'òxid produït durant la cocció sota condicions reductores de ceràmiques calcàries (Maniatis *et al.*, 1983a), sinó que l'òxid que es produeix en tals coccions és la magnetita. Malgrat això, s'observa com l'òxid de ferro que cristal·litza és la magnetita, generalment sempre amb una cristal·linitat pobre i cristalls no massa desenvolupats. Així, podem doncs plantejar-nos la possibilitat que la presència de la maghemita es derivi d'una oxidació de la magnetita que, possiblement, cristal·litzaria durant la cocció però amb una estructura cristal·lina poc estable. Si bé no hem trobat cap referència a tals processos d'oxidació de la magnetita en la literatura arqueomètrica, sí que s'han descrit processos d'alteracions d'òxids de ferro (Kostikas *et al.*,

1976; Danon *et al.*, 1976; Courtois *et al.*, 1977; Enríquez *et al.*, 1979; Myer i Betancourt, 1981; Maniatis *et al.*, 1983b), generalment com a hidratacions, paral·leles a la hidratació de les argiles (Grim i Bradley, 1948; Courtois, 1973; Kingery, 1974; Hedges i McLellan, 1976; Noll, 1977; Nungaesser i Maggetti, 1981; Núñez *et al.*, 1991). Totes aquestes alteracions es produeixen en ceràmiques cuites a baixa temperatura i cal pensar que l'I<sub>C</sub> 11 té una temperatura de cocció equivalent estimada de menys de 850°C, és a dir una temperatura baixa.

Val a dir que aquestes rehidratacions que hem comentat es produeixen en ceràmiques cuites a baixa temperatura, en les quals l'estructura cristal·lina de les argiles es manté bàsicament estable. Aquesta rehidratació comportarà, a més, l'increment de la capacitat d'intervanvi de cations (Hedges i McLellan, 1976). A més, cal pensar que en general les ceràmiques cuites a baixa temperatura poden fixar ions per sobre de la concentració d'aquests ions en el sòl (Readhead *et al.*, 1988).

Com hem vist, tret de la problemàtica que pot plantejar la presència de la maghemita en l'I<sub>C</sub> 11, el valor anormalment baix en plom de l'I<sub>C</sub> 19, el valor anormalment alt del fòsfor en l'I<sub>C</sub> 14 i els valors del coure, especialment l'anormalment alt de l'I<sub>C</sub> 14, tots els altres components que es veuen afectats per processos d'alteració i contaminació detectats aquí, sempre en processos posteriors al PT<sub>2</sub>, és a dir després de la constitució de la seva fàbrica, pertanyen al grup dels alcalins o al dels alcalinoterris. La constatació de l'existència de valors anormals en aquests grups ha conduït a diversos autors a no considerar els resultats en aquests components o a conferir-los un valor relatiu (per exemple Sayre *et al.*, 1971; Bieber *et al.*, 1976; Olin *et al.*, 1978; Jones, 1986). Malgrat tot, nosaltres hem pogut comprovar

que els valors d'aquests components no són aleatoris, sinó que responen a processos concrets que informen sobre els processos històrics patits per l'LECR i que, com a tals, han d'ésser presos en consideració per garantir una bona interpretació de les dades.

Els paràmetres que regeixen, en general, les alteracions i, sobretot, les contaminacions comencen a ésser relativament coneguts (veure per exemple Waddell i Fountain, 1984; Freestone *et al.*, 1985) i estan relacionats amb les característiques de la fàbrica, els revestiments (veure per exemple Asaro *et al.*, 1975), el medi (de deposició, d'ús, etc.) i les característiques d'aquest. Malgrat tot, no manquen estudis experimentals on els resultats indiquen la no ocurrència d'alteracions i/o contaminacions (Franklin i Hancock, 1981; Blackman, 1981; Barra Bagnasco *et al.*, 1981; Franklin i Vitali, 1985). Les raons poden ésser diverses, però en alguns casos cal buscar-les en els elements examinats (Barra Bagnasco *et al.*, 1981) o en que les condicions experimentals eren tant extremes que propiciaren dipòsits de superfície (Franklin i Vitali, 1985) que impediren el pas a les vies de difusió dins de la matriu (Waddell i Fountain, 1984; Freestone *et al.*, 1985). Per a nosaltres és evident que en un correcte plantejament teòric en el treball arqueomètric els processos d'alteracions i de contaminacions han d'ésser recollits no com a possibles, sinó com a segurs. En tot cas, la no existència de tals processos constituirà un cas singular dins del treball arqueomètric, però no pot acceptar-se el plantejament d'un treball dissenyat amb un manca de potència tal que no pugui recollir la possible existència de processos històrics que hagin modificat les característiques originals dels materials.

Com a conclusió, podem afirmar que sobre una pasta inicial estimada el segon procés tecnològic ha conduït a una situació on podem estimar almenys la definició de quatre



fàbriques<sup>87)</sup> respecte de les quals es poden explicar tots els  $I_C$  d'aquesta mostra monogenètica. La bona contrastació de la composició química amb les fàbriques definides es deu a la conjunció de diversos processos d'alteracions i de contaminacions que es produeixen, com a tendència, sobre la o les fàbriques que presenten les condicions òptimes per al desenvolupament de tals processos. L'existència de processos històrics diferenciats per a  $I_C$  particulars, que ofereixen així una relació composició-procés històric diferent a les tendències marcades per l'existència de fàbriques amb característiques diferents ha conduït a l'existència d'*outliers*. La interpretació de totes les dades, procedents d'una multiplicitat de tècniques, permet la correcta comprensió de les dades, el correcte reconeixement de l'estructura existent en les dades composicionals i haurà de permetre el correcte plantejament de les conclusions arqueològiques.

Una darrera qüestió que hem deixat de banda fins a aquest moment és l'efecte que poden tenir els problemes d'alteracions i de contaminacions a nivell de treball estadístic i de la teoria estadística en el treball arqueomètric. Aquest aspecte només ha estat tractat per Picon (Picon, 1986) qui proposa, encara que sense cap relació amb el marc teòric que nosaltres hem adoptat, la correcció de les alteracions no usant els elements contaminats i treballant amb raons d' $Al_2O_3$ .

En el marc del treball estadístic, cada procés d'alteració o de contaminació pot ésser

---

<sup>87)</sup> - Aquesta única pasta i les subsegüents quatre fàbriques les proposem com a simplificació, però cal no perdre de vista que el nombre d' $I_C$  inclosos en la mostra és relativament petit i que un nombre major d' $I_C$  podria confirmar la possible existència de dues pastes més, una més rica en matèries no plàstiques com sembla apuntar l'agrupació GD i una menys rica en calci com sembla apuntar l' $I_C$  21. A més, la consideració de les condicions reductores-reductores de la cocció de l' $I_C$  11 com a suficients per a la definició d'una nova fàbrica, com hauria d'ésser en sentit estricte, obligaria a parlar de cinc fàbriques.

considerat com una pertorbació, és a dir com l'efecte d'un vector pertorbador que opera sobre el vector composicional (Aitchinson, 1986, pp. 42 i ss. i pp. 123 i ss.). En el seu estat inicial, un vector composicional  $x$  de  $D$ -parts, que es pot anomenar així  $x_0$ , té una funció de distribució normal logística aditiva  $L^d(\mu, \Sigma)$  quan el vector composicional de logaritmes de raons  $y = \log(x_D/x_D)$  té una funció de distribució normal  $N^d(\mu, \Sigma)$ . Quan una alteració o contaminació opera sobre aquest vector composicional, el vector pertorbador  $u$  es veu implicat en l'operació

$$x_1 = u \circ x_0 = C(x_1 u_1, \dots, x_D u_D)$$

anomenada pertorbació, on  $C$  és l'operador restrictiu, que confina, també, el vector composicional resultant al simplex  $d$ -dimensional degut a la restricció de suma la unitat<sup>(88)</sup>. Donat que el vector pertorbador  $u$  es distribueix independentment d' $x$ , el vector composicional pertorbat  $x_1$  es distribuirà segons les assumpcions sobre la distribució d' $u$ . En una seqüència de composicions pertorbades generada per successius vectors pertorbadors independents  $u_n$  ( $n=1,2,\dots$ ), la composició final serà el vector generat per la seqüència d'operacions

$$x_n = u_n \circ x_{n-1} \quad (n=1,2,\dots)$$

i la funció de distribució de la composició pertorbada final dependrà de les diferents assumpcions sobre la distribució dels diferents vectors pertorbadors.

Les implicacions que, en els casos en que s'hagués pogut assumir una funció normal

---

<sup>88</sup>.- De la mateixa manera com plantejem aquest marc teòric per als problemes d'alteracions i de contaminacions, es pot plantejar igualment en el cas que el treball a realitzar sigui el d'estimar la composició de  $Z$ , a partir de dues pastes,  $P_A$  i  $P_B$ , procedents d'aquesta  $Z$ , i diferenciades pel procés tecnològic 1 ( $FT_1$ ), com és per exemple els treballs sobre l'efecte dels desgreixadors utilitzats pels ceramistes (veure per exemple Bishop i Neff, 1989; Neff *et al.*, 1988b; Neff *et al.*, 1989b).

per als vectors composicionals de logaritmes de raons, tenen aquestes modificacions per operacions de pertorbacions de la funció de distribució són molt importants, tant per a la consecució de la definició de les característiques químiques d'un grup de referència com per al treball d'associació de patrons i, en general, qualsevol aspecte del treball estadístic que impliqui la utilització de metodologies fonamentades sobre assumpcions distribuicionals i probabilístiques. Ja hem expressat anteriorment, en anar exposant el nostre marc teòric, que nosaltres només acceptem, en un sentit estricte, la utilització d'assumpcions distribuicionals i probabilístiques en els treballs realitzats en el  $N_1$ , és a dir treballant sobre tallers i sobre grups de referència, on assumim que les transgressions a una utilització correcta de les dades i de les tècniques són resultat d'una manca de potència i no d'una transgressió teòrica. Així doncs, treballant sobre el taller d'Abella, hauriem d'ésser capaços ara de donar les característiques químiques del grup de referència. Evidentment, aquestes característiques no són l'existència de cinc grups diferents de composicions, ja que les composicions resultants són el terme final d'una successió d'operacions de pertorbacions sobre la composició inicial que, assumim, presentava una funció de distribució normal d-dimensional en el seus vectors composicionals de logaritmes de raons. Aquest problema ja l'havíem expressat d'una manera més intuïtiva en la nostra Tesis de Llicenciatura (Buxeda, 1990).

Podem imaginar que els valors dels components d'un vector pertorbador  $u$  prenen diversos valors segons quin sigui el seu efecte en l'operació del vector composicional  $x$ . Així, tindrem que:

- $0 \leq u_i < 1$ , si l'operació suposa una pèrdua en el component  $x_i$ .
- $u_i = 1$ , si l'operació no afecta el component  $x_i$ .

-  $1 < u_i < \infty$ , si l'operació suposa un increment en el component  $x_i$ .

Evidentment, com que aquesta operació està subjecta a l'operador restrictiu  $C$ , que imposa la restricció de suma la unitat, els valors finals deis components del vector composicional pertorbat es veuran normalitzats a 1. Donat que una operació de pertorbació és una transformació un a un entre  $S^d$  i  $S^{d(99)}$ , la transformació inversa és la pertorbació  $u^{-1}$  o, on

$$u^{-1} = (1/u_1, \dots, 1/u_d).$$

Així, per tal de retrobar els valors originaris caldria conèixer els valors de les components del vector pertorbador i realitzar la transformació inversa.

Així, en el cas d'Abella, ens podem imaginar que la matriu de dades composicionals  $X$ , que obtenim inicialment amb les determinacions analítiques, és una matriu  $50 \times 24^{(90)}$ . Per cada procés d'alteració o de contaminació que aconseguíssim individualitzar hauriem d'ésser capaços d'estimar, ja que no els coneixem, els  $50 \times 24$  valors dels components de la matriu  $U$  implicada en l'operació de pertorbació. Com sigui que, com hem vist, a Abella podem assumir l'existència de més d'un procés d'alteració o de contaminació, independents entre ells, és a dir que podem assumir l'existència d' $n$  operacions de pertorbació, ens trobem que el nombre de valors de components de vectors pertorbadors que hem d'estimar per tal de retrobar la composició inicial és de

---

<sup>89</sup>.- L'efecte del vector pertorbador  $u \in R^d$ , és el mateix que l'efecte del vector pertorbador  $C(u) \in S^d$ , on  $C$  és l'operador restrictiu que imposa la restricció de suma la unitat.

<sup>90</sup>.- Ja hem explicat anteriorment que no consideràvem ni el  $M_0$ , ni el  $C_0$ , ni el  $W$ , ni la PAF, restant així una subcomposició de 24 parts de la subcomposició, determinada per l'elecció dels elements determinats, de 28 parts que teniem inicialment. De la mateixa manera, els  $I_C$  són únicament 50, ja que n'hi ha 3 per als quals ens manquen els valors dels elements determinats per pastilla.

$n(50 \times 24)$ .

on  $n$  es refereix aquí a les  $n$  operacions de pertorbació.

En una expressió més general, els components involucrats en les  $n$  pertorbacions que han suposat operacions independents sobre la matriu composicional  $X$ , són:

$n \times N \times D$ .

Això, però, podria no suposar un problema tan gran com pot semblar. Si podem assumir que en cada operació de pertorbació els components afectats amb canvis de valors, abans de la normalització a 1 imposada per l'operador restrictiu, són o un o pocs, caldrà acceptar que la major part dels  $D$  components en els  $N$  vectors fila de la matriu tindran un valor d'1. És a dir, si podem suposar una operació de pertorbació que incrementi el contingut de sodi, i que aquesta operació és independent de qualsevol altra, tindrem llavors que la matriu  $U$  serà una matriu d'uns amb un vector columna, corresponent al sodi, amb valors superiors a 1. D'aquesta manera, l'estudi de les alteracions i de les contaminacions es podrà reduir a estudiar la funció de distribució unidimensional d'aquest component del vector pertorbador. Aquesta única variable considerada haurà d'ésser estudiada com a covariant de les variables de fàbrica, medi i temps<sup>(91)</sup> que es defineixin, que s'assumeixin o que es revelin com a significatives. Aquestes variables definides seran les variables independents de la funció d'assignació de valors a la variable dependent sota estudi:

$$u_i = f(F, m, t),$$

on  $u_i$  és el component del vector de pertorbació que, no presentant valors d'1 en l'operació de pertorbació estudiada, es considera com a variable dependent de les variables significatives

---

<sup>91</sup>. - Entenent que fàbrica inclou totes les característiques definibles sobre la composició de la ceràmica i que medi és el medi en el qual es produeix la pertorbació, sigui el medi de deposició o d'ús en el qual s'ha produït la pertorbació.

de F (fàbrica), m (medi) i t (temps). En general, si els components actius<sup>92)</sup> de la pertorbació són un o més d'un, caldrà únicament considerar l'existència de k (k=1,2,...) variables dependents que seran funció de f(F,m,t). D'aquesta manera, l'estudi de les contaminacions es limita a la construcció de les n funcions que permetin estimar els valors de les k components actives de cada una d' les n matrius de pertorbació involucrades en les n pertorbacions operades sobre la matriu de dades composicionals.

En el nostre cas això no ha estat possible, degut a que no ha estat possible aïllar les n pertorbacions que han operat a la matriu de dades composicionals inicial<sup>93)</sup>. Igualment, ens hem vist incapaços de reconèixer les variables significatives que permetrien el construir les funcions a partir de les quals estimar els valors dels components actius en les pertorbacions identificades<sup>94)</sup>. Finalment, i en un sentit estricte, tampoc no podem assegurar que haguem estat capaços d'identificar tots els problemes d'alteracions i de pertorbacions que

---

<sup>92)</sup>.- Entenem aquí per actius aquells components que prenen, o poden prendre, valors diferents d'1 en una determinada operació de pertorbació. Així definit, l'1 és el valor neutre de la pertorbació.

<sup>93)</sup>.- No hem estat capaços, per exemple, de definir si la pertorbació que implica la fixació de sodi és independent de la que implica la pèrdua de potassi.

<sup>94)</sup>.- Acceptant, per exemple, que la fixació de bari és, com hem suposat, independent de la fixació de calci i de la fixació d'estronci que es produeix en els mateixos  $I_c$ , hem estat capaços únicament d'identificar algunes variables de F -de fàbrica- com a variables significatives per a la construcció de la funció que permetria estimar els valors del component actiu bari en la matriu pertorbadora d'aquesta operació concreta. Aquestes variables són, precisament, les que constitueixen la  $F_2$  en  $F_2$ , donat que és aquí on observem la fixació. Però som incapaços d'identificar la resta de variables significatives que ens permetrien estimar, per als vectors pertorbadors que operen alguns dels vectors composicionals corresponents a  $I_c$  que no presenten la fixació de bari, un valor d'1. Sí que voldríem destacar, que en el present cas, on assumim una única pasta, no ens cal identificar cap variable referent a la composició química per a construir la funció. Malgrat tot, sí que caldria donar aquesta variable com a significativa per a comparacions amb d'altres treballs sobre contaminacions ja que, per exemple, podem assumir que el fet que les ceràmiques que estudiem siguin ceràmiques calcàries és una dada molt significativa.

han afectat la mostra estudiada.

Resulta evident, que les aproximacions cegues a l'estudi arqueomètric de les ceràmiques arqueològiques té severes limitacions que poden arribar a invalidar qualsevol treball. Però resulta igualment evident que, encara en els treballs més acurats, els problemes poden ésser insalvables. En un treball d'associació de patrons, assumint correcte el grup de referència establert, els problemes d'alteracions i de contaminacions poden no haver estat degudament identificats i poden, a més, ésser completament diferents als que hagin pogut ésser identificats en ceràmiques procedents d'aquest GR, és a dir de la  $F_i$  o de la  $P_i$  que s'estima estimant, degut a que les variables de medi han canviat de jaciment a jaciment, o fins dintre de cada jaciment.

En resum, a Abella no podem plantejar-nos, ara per ara, la definició de les característiques del GR perquè els problemes lligats a les perturbacions així ens ho impedeixen. L'únic camí per començar a treballar, i que possiblement serà l'únic camí vàlid en el futur, pot ésser l'assumir l'existència d' $m$  parts que en totes les  $n$  matrius de perturbació implicades en les  $n$  operacions de perturbació han presentat sempre unes components neutres. Així, podrem identificar una subcomposició que no haurà estat afectada per les  $n$  perturbacions i podrem treballar a partir de la transformació

$$x_s \in S^{m-1} \rightarrow y_s = \log(x_{s-1}/x_m) \in R^{m-1},$$

on  $S$  subscripta indica que es tracta d'una subcomposició, on  $y_s$  té una funció de distribució  $N^{m-1}(\mu_s, \Sigma_s)$ . Conseqüentment, passariem a definir el GR únicament sobre la subcomposició  $S$  corresponent a les  $m$  parts que s'han assumit neutres en les  $n$  operacions de perturbacions, conservant per a aquesta subcomposició la propietat de poder assumir una funció de

distribució normal, evidentment en aquells casos en que aquesta classe de distribucions paramètriques pugui ésser assumida.

Abans de finalitzar aquest apartat, voldriem reprendre un tema que havíem exposat anteriorment i que ara ens servirà per il·lustrar un altre aspecte dels problemes distribucionals existents. Quan defensàvem la conveniència de treballar amb la transformació de logaritmes de raons i no amb la transformació de logaritmes de raons centrats, parlàvem de la influència que tenia la subcomposició determinada analíticament en la segona transformació. Preniem els valors de l'estronci i de l'alumini en els  $I_c$  11 i 31. Com hem vist, l'estronci és un element que està afectat per una forta fixació que comporta l'alteració de la seva funció de distribució marginal que no segueix ja una normal univariant (Figura 10). En calcular els valors absoluts de les diferències dels valors dels logaritmes de raons centrats respectius obtenim unes diferències molt acusades, passant de 0.1203031 a 0.531126 per l' $Al_2O_3$  i de 1.340438 a 0.9296285 per l'Sr, amb la composició completa, és a dir la subcomposició de les 24 parts amb que treballem, per al primer valor i amb la subcomposició  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  i Sr per al segon. L'explicació d'aquestes diferències cal buscar-la no només en la simple diferència de subcomposicions considerades, sinó en els problemes distribucionals que aquesta transformació implica. Com hem vist en parlar de les pertorbacions, hi ha dos tipus de components de vectors pertorbadors segons la funció que tenen en una operació de pertorbació, actius i neutres. En el cas que un component del vector composicional sigui multiplicat, durant l'operació de transformació, per un component neutre i que pertanyi a una de les  $m$  parts neutres en aquesta operació, el vector composicional pertorbat resultant tindrà en aquesta component igualment una funció de distribució normal. En el cas contrari, com és ara el de l'Sr, la funció de distribució dependrà de la que s'assumeixi per al vector



**perturbador. La multiplicació de tots els components entre ells durant el càlcul de la mitjana geomètrica necessària per a la transformació per logaritmes de raons centrats implicarà una operació amb uns valors que no segueixen la funció de distribució inicial. D'altra banda, en el cas de la transformació per logaritmes de raons, l'elecció com a divisor d'una component afectada en una pertorbació per una component activa, implicarà una nova operació en la subcomposició de d-parts, on la funció de distribució dependrà de la funció de distribució de la component emprada com a divisor. En aquest cas, ja no es podrà parlar d'una distribució normal (m-1)-dimensional per a les m parts no afectades per l'operació de pertorbació que havíem suposat anteriorment. Així, per exemple, podem entendre perquè els dendrograms que obteníem emprant com a divisors l' $Al_2O_3$  (Figura 18) i el  $SiO_2$  (Figura 14) eren similars, donat que ambdós podem assumir que pertanyen a classes que no s'han vist, almenys severament, afectades per les pertorbacions i, en canvi, l'obtingut amb l'ús de l'Sr com a divisor no era comparable (Figura 19), ja que tots els logaritmes de raons havien estat afectats pels problemes distribucionals que l'afecten. En canvi, pot observar-se la bona contrastació existent entre aquest dendrograma i els resultats obtinguts en el gràfic de doble entrada categories de fases cristal·lines de DRX- $\ln(Sr/SiO_2)$  (Figura 46).**

Una darrera consideració respecte als tres  $I_C$  que presenten anàlisis incompletes per no haver poder fet la preparació de pastilla ens porta a veure com:

- l' $I_C 2$  presenta un difractograma similar als de la categoria GA,  $F_2$ , i una PAF similar a les d'aquest grup. El seu valor de CaO se situa en un rang normal en els  $I_C$  d'aquesta categoria que pertanyen a l'agrupació GA, per la qual cosa cal pensar que evidencia també una fixació de calci. Color groguenc.

- l'I<sub>c</sub> 37 presenta un difractograma similar als de la categoria D/A, F<sub>1</sub>. El seu valor de PAF és igualment similar, malgrat tot, el fet que potser s'hi pugui identificar una cristallització de leucita permet pensar que se situa en el rang alt de temperatura de cocció, en la transició a la categoria L, F<sub>4</sub>. Color groguenc.

- l'I<sub>c</sub> 40 presenta una cristallització de leucita clara, per la qual cosa cal situar-la en la categoria L, F<sub>4</sub>. Malgrat tot, la forta presència dels pics del quarz permeten pensar en un terme intermedi amb la categoria D/A, F<sub>1</sub>, com en el cas de l'I<sub>c</sub> 43. Color verd.

### 5.5. Conclusions arqueològiques.

L'estudi dels I<sub>c</sub> en relació amb els seus contextos estratigràfics deposicionals no pot ésser fet més que de manera parcial, ja que no coneixem la unitat estratigràfica de la que procedeixen tots els I<sub>c</sub>. Per contextos estratigràfics observem:

- l'UE-1 del Forn 1 correspon a un nivell d'abocaments creat durant les excavacions de Serra i Vilaró, per tant és impossible saber si la cambra de foc d'aquest forn fou realment el context deposicional d'aquests I<sub>c</sub>, fins a les excavacions de Serra i Vilaró. Tots els I<sub>c</sub> que hi trobem corresponen a motlles de TS Hispanica i es distribueixen per fàbriques segons: F<sub>1</sub> els I<sub>c</sub> 24 i 25 (ambdós de l'agrupació GC), F<sub>3</sub> l'I<sub>c</sub> 22 (agrupació GB) i *outliers* els I<sub>c</sub> 21 (amb certes similituds amb la F<sub>2</sub>, però amb un valor en els ln(CaO/SiO<sub>2</sub>) especialment baix) i 19 (amb certes similituds amb la F<sub>4</sub>, però sense cristallització d'analcima i amb dos pics molt intensos corresponents a una fase no reconeguda, i amb un valor en els ln(K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>) anormalment alt i en els ln(Pb/SiO<sub>2</sub>) anormalment baix). Arqueològicament, aquest context

no ofereix cap tipus d'interpretació.

- l'UE-1 del F<sub>2</sub>m 2 planteja un problema diferent. L'informe d'excavació ja diu que en aquest forn es localitzen zones no excavades per Serra i Vilaró que ofereixen peces sobrecuïtes. Els I<sub>c</sub> que trobem corresponen tots ells a fragments de TS Hispanica i es distribueixen per fàbriques segons: F<sub>2</sub> l'I<sub>c</sub> 42 (corresponent a l'agrupació GB i sense presentar el característic pic no identificat en DRX dels I<sub>c</sub> de la categoria G que pertanyen a l'agrupació GA), F<sub>3</sub> els I<sub>c</sub> 18 i 41 (pertanyents tots dos a l'agrupació GB), F<sub>4</sub> els I<sub>c</sub> 13 (pertanyent a l'agrupació GE i que ofereix una deformació causada per una sobrecuïció extrema que ha permès un fort desenvolupament de la fase líquida, produint el col·lapse de la peça pel seu propi pes) i 43 (corresponent a l'agrupació GB, amb una fase de quars molt desenvolupada respecte els altres I<sub>c</sub> de la F<sub>4</sub>), l'I<sub>c</sub> 38 de l'agrupació GD (agrupació que presenta unes difraccions similars a les de la F<sub>2</sub>, però amb la presència clara de feldspats alcalins) i l'I<sub>c</sub> d'anàlisi incomplets 40 (amb un difractograma similar a l'I<sub>c</sub> 43). Malgrat la possibilitat existent de recuperar un material associat al seu context post-deposicional, podent interpretar així la formació dels diversos contextos i la possible relació del medi amb els processos històrics que reflecteixen les composicions dels I<sub>c</sub>, els materials apareguts en la zona excavada per Serra i Vilaró i els apareguts en la zona intacta es van ajuntar en un únic estrat, sense respectar la diferenciació d'estrats existents. Així doncs ens trobem una altra cop amb la impossibilitat d'interpretar arqueològicament una altre context estratigràfic.

- l'UE-1 del Q2 presenta uns I<sub>c</sub> que corresponen tots ells a fragments de TS Hispanica i es distribueixen per fàbriques segons: F<sub>1</sub> els I<sub>c</sub> 3, 5, 6, 8, 17, 30 i 39 (corresponents tots ells a l'agrupació GA, amb l'única particularitat que l'I<sub>c</sub> 30 presenta un valor anormalment baix

en els  $\ln(K_2O/SiO_2)$  i possiblement en el  $\ln(Rb/SiO_2)$ ),  $F_3$  l' $I_C$  31 (pertanyent a l'agrupació GB) i l' $I_C$  amb anàlisis incompletes 37 (amb una similitud a l' $I_C$  43). L'UE-2 del Q2 presenta igualment uns  $I_C$  que corresponen tots ells a fragments de TS Hispanica i que es distribueixen per fàbriques segons:  $F_1$  l' $I_C$  11 (pertanyent a l'agrupació GA),  $F_2$  els  $I_C$  1, 2, 4, 7, 9, 10, 12, 16, 34, 35 i 36 (pertanyents tots ells a l'agrupació GA), l' $I_C$  outlier 33 (amb una similitud remarcable amb la  $F_1$ ) i l' $I_C$  amb anàlisis incompletes 2 (amb una composició similar a la  $F_2$ ). Arqueològicament, podem assenyalar la presència dominant d' $I_C$  pertanyents a la  $F_2$ , a diferència de la notícia recollida per l'informe d'excavació sobre la condició de sobrecuïtes per les ceràmiques procedents de la zona no excavada per Serra i Vilaró del Forn 2.

Com podem veure, les dades són totalment insuficients per a poder suposar l'existència d'àrees diferenciades en quant al seu ús respecte els materials ceràmics que restaren en el taller, però sembla poder-se apuntar una dicotomia entre el context Q2, amb materials, preferentment, de la  $F_2$  i la possibilitat que en les cambres de foc dels forns es trobessin materials sobrecuïts. La migradesa de les dades no permet fer cap observació ulterior.

Pel que fa a l'únic  $I_C$  de La Rectoria, l' $I_C$  14, sembla poder-se contrastar el fet que, presentant una composició similar a la de la  $F_2$ , o a la categoria KF-G, presenti una fixació important de fòsfor amb la seva deposició en un context d'hàbitat, on la presència de matèria orgànica es pot assumir com més important que no respecte del taller.

Una altra conclusió a extreure prové de l'estudi dels tipus ceràmics en relació a les

fàbriques a les que s'associen. Així, observem:

- els motlles semblen presentar unes temperatures de cocció generalment baixes com sembla desprendre's del fet que els  $I_c$  24 i 25 corresponguin a la  $F_1$  i que l' $I_c$  21 presenti una composició similar a la dels  $I_c$  de la  $F_2$ , però amb un pobre desenvolupament de fases de cocció (encara que cal no oblidar la influència que pot tenir el valor anormalment baix dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ ), cal tenir en compte la intensitat que presenten els pics de fil·losilicats). L'existència dels  $I_c$  22 (corresponent a la  $F_3$ ) i 19 (similar a la  $F_4$ , amb els problemes ja destacats) poden ésser interpretats bé com a sobrecoccions durant la cocció del motlle, bé com a resultat de la deposició en la cambra de foc d'un forn actiu. La possibilitat que aquestes situacions s'hagin produït pot suposar-se a partir de la notícia de l'informe d'excavació que cita l'aparició només de ceràmiques sobrecoctes en la part no excavada del Forn 2. Aquesta hipòtesis interpretativa ve recolzada pel fet que en els motlles d'argila emprats en la preparació de la ceràmica tradicional

*"La arcilla empleada para la confección de estos moldes bizcochados tiene que ser porosa, y no debe cocerse a demasiada temperatura para que no disminuya la porosidad "* (Leach, 1981, pp. 161 i 162)<sup>95</sup>.

En l'estudi realitzat sobre els motlles de TS de Rheinzabern (Heimann, 1982b) s'identifica una diferència tecnològica entre els motlles i la TS. Els primers presenten una raó de quars/argila mica més elevada, una microporositat relativa major i una porositat tancada relativa inferior, que els hi confereixen una capacitat d'absorció d'aigua relativa major. La necessitat d'aquesta major capacitat d'absorció d'aigua resulta clara pel procés de fabricació de les

---

<sup>95</sup>.- Leach utilitza el terme *bizcochado* per a aquelles ceràmiques que han estat cuites sense esmalt.

ceràmiques a motlle, i entre elles la TS. El material del motlle ha de permetre que la pasta de la peça que s'està fabricant perdi l'aigua d'absorció, donant pas a la contracció que permetrà treure la peça del motlle. Al taller de Rheinzabern aquesta major capacitat d'absorció d'aigua s'aconsegueix amb la preparació d'una pasta diferent pels motlles (diferenciant el PT<sub>1</sub>) i utilitzant una temperatura de cocció menor (diferenciant igualment el PT<sub>2</sub>). A Abella, estimem l'existència d'una única pasta que s'ha utilitzat indistintament per a la preparació de motlles i de TS. La diferenciació es produeix en el PT<sub>2</sub> on, segons la nostra interpretació, el rang de temperatures que es busca de manera intencionada és el de baixes temperatures de cocció, és a dir produint L<sub>2</sub> amb les característiques de la F<sub>1</sub>. Nosaltres no hem realitzat mesures sobre la porositat de les peces, però és conegut que, malgrat que la microestructura cel·lular que presenten les ceràmiques calcàries en l'estadi de sinterització de vitrificació continuada (que correspon a les nostres fàbriques F<sub>2</sub> i F<sub>3</sub>) és aparentment més porosa que la microestructura no afectada per la descomposició de la calcita primària (que correspon a la nostra F<sub>1</sub>), la major porositat es dona en l'estadi de sinterització de no vitrificació, o de vitrificació inicial, degut als espais existents entre les laminetes de les argiles (Maniatis, 1976).

- les canonades d'extracció de fums de forn, de les que no en coneixem la unitat estratigràfica en la qual aparegueren, pertanyen totes a la F<sub>2</sub>, amb un rang de temperatures de sobrecocció suau, o a la F<sub>4</sub>, amb un rang de temperatures de sobrecocció severa. La interpretació d'aquestes dades s'ha de posar en relació possiblement amb l'ús, encara que no es pugui descartar una sobrecocció durant el període post-deposició. I en la cambra de foc del forn. Aquesta suposició hauria d'ésser confirmada per un estudi de les característiques de les canonades en el seu perfil ja que cal esperar diferències significatives entre l'interior,

exposat a la màxima temperatura, i l'exterior, amb una temperatura que cal suposar menor donada la mala conductibilitat de la calor que presenta la ceràmica.

- la TS Hispanica es troba representada en totes les fàbriques estimades. Aquestes fàbriques hem vist que corresponien a diversos rangs de temperatura de cocció: temperatures baixes ( $F_1$ ), temperatures estàndards ( $F_2$ ), sobrecoccions suaus ( $F_3$ ) i sobrecoccion. severes ( $F_4$ ). Anomenem la  $F_2$  amb el terme de temperatures estàndards perquè el rang de temperatures de cocció equivalent estimades és d'al voltant de  $950^{\circ}\text{C}$ . Aquest és el rang que sovint s'ha estimat per a la cocció de la TS, en els casos en que les pastes utilitzades fossin calcàries (veure per exemple Picon, 1973; Maggetti, 1981; Jornet, 1982; Montagu, 1989), ja que les transformacions desenvolupades per la pasta confereixen a la fàbrica les condicions òptimes (Tite i Maniatis, 1975b). No ens ha de sorprendre de trobar un rang de temperatures tan extrem en el treball sobre un taller. Efectivament, cal esperar que els materials recuperats mostrin falles de cocció per baixa temperatura i per sobrecocció, o sobrecocció per medi deposicional en la cambra de foc, a més del material cuit en el rang òptim de la producció. Com es veurà posteriorment en els capítols 7, estudi dels vernissos, i 8, caracterització macroscòpica, les ceràmiques de TS Hispanica d'Abella que pertanyen a la  $F_2$  presenten les condicions òptimes de cocció i ofereixen les característiques estàndards d'aquest tipus ceràmic: colors ataronjats i vernissos ataronjats-vermells.

- els  $I_c$  11 i 33 presenten la particularitat de tenir la decoració estampada i no en motlle. El primer, a més, presenta, amb una matriu negra i un vernís negre, una cocció reductora-reductora que es contraposa a la cocció oxidant-oxidant que ofereixen les TS, i que els dona les característiques estàndards als  $I_c$  de la  $F_2$ . L' $I_c$  33 ofereix una matriu negra i un vernís

marró-negre. En aquest  $I_c$  no s'observaven òxids de ferro que puguin fer pensar en una atmosfera reductora, però en el cas que la seva cristallinitat fos molt baixa podrien no ésser detectats en DRX. Com es veurà en el capítol 8, sobre caracterització macroscòpica, el color de les ceràmiques a temperatura més baixa no es correspon amb la d'aquest  $I_c$ . Així, podem plantejar la possibilitat que la cocció d'ambdós  $I_c$  sigui estat reductora-reductora, si bé a temperatures diferents.

- els  $I_c$  18 i 41 presenten un coloració de vernís que no es correspon a la resta d' $I_c$  de la  $F_1$ , degut al to marró-fosc que no pot associar-se sense problemes als presentats pels  $I_c$  de la  $F_1$ , com es veurà en el capítol 8.

D'aquestes darreres consideracions sobre les ceràmiques de TS Hispanica d'Abella podem concloure

- la caracterització arqueològica acceptada actualment per a la TS Hispanica d'Abella comporta un error greu en acceptar com a característiques seves les característiques pròpies de les ceràmiques de la  $F_1$  i que responen a una sobrecocció suau. Aquest taller té com a producció estàndard els productes de la  $F_2$ , que no difereixen, a grans trets, en les seves característiques de les produccions de TS d'altres tallers.

- existeix una producció, ja anunciada per Serra i Vilaró i ignorada pels altres autors que han revisat el taller, amb matrius negres i vernissos negres que responen a una cocció reductora-reductora. Aquesta producció s'identifica en la mostra que hem treballat amb els  $I_c$  11 i 33, però inclou peces que responen a d'altres tipologies de la TS Hispanica (Burés, 1992).



- els Lc 18 i 41, que no presenten una tipologia de TS Hispanica, ni la utilització d'una coccio oxidant-oxidant, ni un vernis que, essent formes obertes com són, es trobi en tota la superfície interna i externa de les peces, podent ésser considerades com a ceràmiques que no pertanyen al tipus de la TS. La seva coccio pot haver estat una coccio reductora-oxidant, amb una fase de coccio reductora pot severa.

- el taller d'Abella emprava, com a conseqüència dels punts anteriors, les coccions oxidants-oxidants, reductores-oxidants<sup>(96)</sup> i reductores-reductores. Els forns emprats són del tipus d'irradiació i de flama lliure (Picon, 1973)

- cal ampliar el repertori tipològic d'Abella per incloure la Drag. 18/31 (Lc 14).

Aquestes conclusions, ens condueixen a plantejar-nos d'una banda la necessitat que creiem existeix de realitzar un estudi arqueològic definitiu, definint uns criteris vàlids i coherents sobre a què hem d'anomenar TS a Abella i sobre quin és el repertori tipològic del taller. D'altra banda, vistos els nombrosos errors que plantejava la caracterització arqueològica tradicional, ens obliga a pensar fins a quin punt la importància real del taller i la comercialització dels seus productes són mal coneguts i valorats degut a que s'ha parlat de la base que una TS que no presentava les característiques de la F<sub>1</sub>, que com hem vist correspon a un rang de temperatures de sobrecoccio suau, no podia procedir d'Abella. I en aquest cas, ens plantejem igualment fins a quin punt l'error històric a que això ens conduiria pot haver deformat la realitat.

---

<sup>96</sup>.- Aquestes dades vénen confirmades per l'estudi de la ceràmica comuna fina profundida en el taller (Buxeda *et al.*, 1994).

## **6. LA TSHA DE CLUNIA.**

### **6.1. Introducció.**

La ciutat romana de Clunia ha estat un jaciment les restes del qual han estat conegudes des de sempre, degut a que sobre el seu emplaçament antic no s'assentà cap altra nova població, encara que la correcta identificació de les restes amb la ciutat de Clunia no es va establir fins el S. XIX. Visitada i citada per erudits i investigadors des del S. XVI, no fou excavada sistemàticament fins que Calvo inicià els treballs els anys 1915 i 1916 que serien continuats per Taracena en els anys 1931 a 1934. Les excavacions foren llavors interrompudes fins que l'any 1958 i sota la direcció de Palol es reprengueren essent prosseguides fins a l'actualitat (Palol, 1982; Palol *et al.*, 1991a).

En l'aspecte ceramològic, a Clunia s'ha identificat una producció continuada de ceràmica de tradició indígena, situable cronològicament entre els segles I i IV. Els seus tallers, localitzats i excavats per Palol (Palol, 1959), han estat els únics en abastar la ciutat de ceràmiques pintades durant el seu període d'activitat. En el cas de la TS Hispanica, la ciutat sembla haver estat abastada principalment pels centres productors de la vall de l'Ebre, a la Rioja, però s'havia plantejat la possibilitat, segons les restes arqueològiques, de la possible existència d'una producció local, a partir principalment del S. III. Aquestes hipòtesis, semblen verificar-se en el que podrien ésser petits tallers localitzats en edificis alt-imperials reutilitzats, en els que es troben alhora falles de cocció i fragments de motlles. Malgrat això, fins a l'actualitat no s'ha localitzat encara cap abocador ni cap forn que permeti confirmar el possible funcionament de Clunia com a centre productor de TS Hispanica (Palol

*et al.*, 1991b).

## **6.2. Localització del jaciment.**

La ciutat de Clunia es troba situada a l'Alto de Castro, en el terme municipal de Peñalba de Castro (Burgos), sobre una petita calma als peus de la qual es troba la població actual de Peñalba de Castro. Aquesta calma es veu resseguida pels seus costats est i sud per l'Arandilla, afluent del Duero.

Geològicament (IGME, 1986), se situa en la conca del Duero, que pertany al Miocè, si bé se situa a menys de 8 quilòmetres al sud-oest de les darreres elevacions de la Sierra de Cameros, on neix l'Arandilla, i que està composta bàsicament per afloraments més antics del Juràssic i del Cretaci sobre les quals es recolza el Terciari de la conca del Duero (Figura 48). Aquesta conca forma part del bloc de la Meseta, constituït per un sòcol de roques ígnies i un Paleozoic plegat per l'orogènesi herciniana. Durant el Mesozoic, aquest bloc va ésser arrasat profundament formant-se una superfície suaument inclinada vers l'est. En el decurs de l'orogènia alpina les zones perifèriques de la Meseta es convertiren en cadenes muntanyoses, alhora que el bloc de la Meseta es va enfonsar, determinant la cubeta del Duero.

En la regió de Clunia, s'aprecia com el plegament alpi, que afecta al Juràssic, al Cretaci i al Paleogen, formant la Serra de Cameros, no afecta l'Oligocè, ni el Miocè, que cobreixen els terrenys anteriors discordantment, essent pràcticament horitzontals. Aquestes formacions del Cretaci superior tenen el seu origen en els dipòsits marins formats durant un

període de transgressió.

A la fi del Cretaci, les aigües marines es retiren de nou i s'instal·la un règim continental d'aigües dolces que continuarà fins a la fi del Miocè, període dins del qual s'inscriuen les formacions geològiques sobre les que es troba Clunia. Així, l'Alto està constituït per la formació del Pontjà anomenada *Calcàreas de los páramos*. Aquesta formació, que es troba a la superfície de les calmes, l'altitud de les quals se situa entre 900 i 1000 m sobre el nivell del mar, consisteix en un banc de calcàries amb un espessor variable entre 1 i 30 m. Aquestes calcàries són blanques o grises molt clares i en general presentant formacions de coves<sup>(97)</sup> i amb freqüents geodes de calcita. En la seva superfície, les calmes presenten argiles vermelles de descalcificació. Aquesta fàcies es troba situada sobre dues altres fàcies de transició del Vindobonià al Pontjà, constituïda una per margues, argiles i calcàries, i per margues i argiles l'altra. Per la seva banda, la llera de l'Arandilla, com la de la resta d'afluents i la del propi Duero, presenta una formació de quaternari al·luvial i diluvià.

### 6.3. El marc arqueològic.

La ciutat de Clunia, ofereix una gran quantitat de ceràmica de TS. El nostre treball es limita a la ceràmica de TS Hispanica i més concretament a la TSHA. Aquest fet i el que la TSHA guardi relació amb els productes alt-imperials, la TSH, més que no pas amb els productes tardans (Tuset, 1991), la TSHT, ens ha portat a centrar la discussió del marc

---

<sup>97</sup>. - Formacions com aquestes es troben en l'Alto de Castro. Un exemple clar n'és la del santuari priàpic existent a Clunia (Palol i Vilella, 1986).

arqueològic sobre les ceràmiques alt-imperials.

### 6.3.1. Primeres dades sobre la TS Hispanica de Clunia.

Com es pot comprovar en la bibliografia sobre la TS Hispanica, el coneixement d'aquest tipus ceràmic a la ciutat de Clunia ha estat sempre inoït precari. Fins a l'inici de l'actual projecte de recerca sobre la TS, els treballs que s'han realitzat per part de l'equip excavador han restat sempre inèdits. Així mateix, les referències publicades han estat sempre escadusseres (veure per exemple: Palol, 1959; Conimbriga, 1975; Palol, 1978a; Palol, 1978b; Palol, 1982).

En la primera sistematització que va fer Mezquiriz sobre la TS Hispanica es recullen les peces existents en el Museo Arqueológico Nacional de Madrid, de les quals ja adverteix aquesta autora que no aporten cap dada cronològica segura per no conèixer-se els contextos estratigràfics d'excavació. Les úniques precisions que en destaca són l'abundor de la Drag. 37 i de la Drag. 15/17, així com la presència d'alguna peça del S. IV (Mezquiriz, 1961, pp. 23 i 24; pp. 337 i 338, i Lámina 228).

Com ja hem citat abans, Mezquiriz publicà posteriorment dos vasos procedents del Museo de Burgos, datats per comparacions estilístiques i d'una utilitat quasi nul·la (Mezquiriz, 1964).

Mayet (Mayet, 1984) estudià els materials dipositats al Museo Provincial de Soria, procedents de les excavacions que va fer Taracena els anys 1932 i 1933 al nord de l'ermita

de l'Alto de Castro. Així, presenta un seguit de materials de Clunia com a procedents dels tallers de l'àrea de Tricio, que són (donem amb xifres romanes la làmina i el número de peça en xifres aràbigues): LXVIII 152 (Drag. 35), LXXX 270 (Hisp. 2), LXXXIV 315 (Hisp. 20). Igualment dona una sèrie de punxons procedents de peces de Clunia, també produïdes a Tricio: CXLVI 612 (sobre Drag. 37), CLIX 1033 (sobre Drag. 37), CLXXXII 1900 (sobre Drag. 37). Dona també els grafit: CCXXV 69 -FCM- (sobre Hisp. 20).

Publica, a més d'aquest material que hem indicat, el segell 39 (làmina CCVIII, nº 39), sobre Drag. 15/17, OF.AN.F.V.S, del que no en localitza la procedència. El transcriu com ANNIVU FUSCUS. Les lletres AN formen un nexa. Igualment, publica el segell 223 (làmina CCVIII, nº 39), sobre Drag. 15/17, CAN.TR, al que assigna com a provinença el taller de *Tritium Magallum*. El transcriu com G. ANNIVS TRITIENSIS.

Però el que és sens dubte més interessant per a nosaltres és que aquesta autora creu poder reconèixer un taller alt-imperial, que no s'hauria localitzat encara en el moment de fer el seu estudi, en un lot de vasos llisos hemiesfèrics (Làmina XXI, nº 1 a 6), amb l'excepció d'un vas carenat amb panxa carenada (nº 7), procedents també dels fons de les excavacions de Taracena al nord de l'ermita dipositats en el Museo Provincial de Soria. Per Mayet, aquests vasos presenten com a particularitat

*"Outre leur profil, dérivé peut-être de la forme Ritterling 8, leurs caractéristiques principales résident dans une pâte rouge clair, parfois orangé, et un vernis orange, clair ou vif, toujours léger et moyennement brillant."* (Mayet, 1984, p. 34).

Suposa que el seu origen pot estar situat en la pròpia Clunia, suposició que referma més endavant (Mayet, 1984, p. 66).

En seguir el seu estudi i plantejar-se el treball sobre Tricio dona la peça LXXIX, n° 266, procedent de Clunia, dels fons de Tarazona del Museo Provincial de Soria, com una possible tapadora produïda en l'abans suposat taller de Clunia. A aquesta tapadora li associa una alta de procedència desconeguda, però que també es troba dipositada en el Museo Provincial de Soria, la LXXIX n° 268. Les seves característiques són:

*"...de tuilles différentes, ils présentent cependant un profil très proche avec un bord vertical surmonté d'une moulure en fort relief, plus ou moins dans le prolongement de la panse oblique."* (Mayet, 1984, p. 78).

Aquest possible taller, que el situa genèricament en època alt-imperial, segurament, suposem, caldria situar-lo en els S. I o II, ja que Mayet parla, en la p. 96 i en la p. 263, de l'hiatus del S. III.

A més, en la p. 99, es pregunta aquesta autora si els motlles descoberts per Palol són efectivament baix-imperials o si no poden ésser alt-imperials, podent així existir alguna relació entre aquests motlles i els vasos de Ritt. 8 d'abans.

Sorprenentment, en la p. 101 diu que l'única forma identificable per al suposat taller alt-imperial de Clunia és el bol hemiesfèric que ha comentat anteriorment, que sols es troba a Clunia i a Pedrosa de la Vega, sense que quedi gaire clar ara què succeeix amb les tapadores d'abans.

Igualment de manera sorprenent, Mayet torna a defensar més endavant la possibilitat de l'existència d'un taller alt-imperial a la vall del Duero, però basant-se ara en la difusió

dels materials dels tallers de la vall de l'Ebre a partir dels mapes de repartició de les marques d'aquests tallers:

*"La moindre densité de sigillée hispanique de Tritium Magallum dans les régions correspondant à peu près à la Meseta ou bien aux deux Castilles pourrait provenir de l'existence d'ateliers locaux, tels que ceux de Clunia et Termantia, décelés par les analyses, et peut-être aussi de Bronchales (ce qui reste à prouver dans ce cas)."*

(Mayet, 1984, p. 232, nota 33).

Reflexió aquesta per part de l'autora que ens resulta sorprenent si tenim en compte que els materials de Clunia es troben encara inèdits.

Però és encara més sorprenent que finalment doni fe d'existència d'aquest taller, que inicialment sol: havia suposat, assegurant:

*"Les villes de Termantia et de Clunia ont fabriqué de la sigillée dès le Haut-Empire. Seules les fouilles, à poursuivre dans le premier cas, à publier dans le second cas, permettraient d'en apprécier l'importance."* (Mayet, 1984, p. 237).

Evidentment, aquesta afirmació és d'una gratuïtat frapant. Però, segurament no és menys gratuïta la darrera afirmació en la qual diu que

*"Pour les ateliers du bassin du Duero, il existe aussi une certaine permanence de cet artisanat puisque l'on décèle déjà, sous le Haut-Empire, des productions, certes très secondaires."* (Mayet, 1984, p. 289).

D'aquesta manera, justifica no només que la importància de l'abans possible, ara segur, taller de Clunia és secundària (i ara cal suposar que no hem d'esperar a la publicació de les dades per a avaluar-ne la importància), sinó que justifica igualment una sèrie d'implicacions per al taller tardà, implicacions que no recollim aquí per tractar-se de la TSHT.



Ara per ara ens limitarem simplement a dir que, dels bols hemiesfèrics que serveixen per a justificar el taller alt-imperial de Clunia únicament els números 1, 5 i, especialment, 8 presenten una tipologia que es pugui considerar, d'alguna manera, particular. Malgrat tot, la seva particularitat deriva d'ésser formes característiques de la TSHA (Tuset, 1991; Tuset i Buxeda, 1993).

### 6.3.2. El projecte d'estudi de la TS Hispanica de Clunia.

L'estudi de la TS Hispanica de Clunia es va iniciar amb l'elaboració d'un catàleg de segells de ceramistes per part de Palol i Tarrats. Aquest treball inicial va ésser continuat per Roca, qui inicià la classificació i inventari exhaustiu de la TS de tota la ciutat. Roca va prendre la decisió de denominar els conjunts de materials amb les sigles TS, indicant la presència d'aquest tipus ceràmic. Aquest conjunts de materials es referien posteriorment als seus contextos d'excavació.

El 1985 Tuset va assumir finalment l'estudi de la TS alt-imperial des de la fundació de la ciutat fins a l'aparició de la TSHT, que es va constituir com un projecte a realitzar conjuntament per Palol i Tuset. La finalització del treball iniciat per Roca li permeté constatar l'existència de 757 TS, o conjunts ceràmics continents de TS, que abastaven totes les campanyes de Palol des de l'any 1958 al 1984. En una segona fase del seu treball, se centrà en l'estudi concret de la TS procedent d'aquells conjunts ceràmics que, procedents de nivells arqueològics pertanyents a seqüències estratigràfiques clares, oferien les dades cronològiques més fiables.

Paral·lelament a l'estudi arqueològic, l'ERAUB en va assumir l'estudi arqueomètric<sup>(98)</sup> en un projecte en col·laboració amb gent aliena al nostre Departament. Com ja hem indicat en el capítol 3, aquesta primera experiència interdisciplinària no va acabar satisfactòriament. Les desavinences en el si de l'equip portaren a l'endarreriment dels treballs, abordant-se només una part de la caracterització arqueomètrica de la TSHT (Palol *et al.*, 1991b; Palol *et al.*, 1991c)<sup>(99)</sup>. Un resultat sorprenent i absolutament inesperat d'aquest projecte de recerca va ésser el descobriment d'una altra publicació sobre la TSHT de Clunia per part de dos dels participants en aquest projecte (Vendrell i Pradell, 1992). Aquests dos investigadors, que publicaren l'article sense coneixement de l'Investigador Principal i sense fer constar el finançament de la CICYT, agrairen l'ajut de Tuset i de Gurt en la realització del treball i fins citaren a Tuset en el text per donar crèdit a les seves afirmacions<sup>(100)</sup>. Ni Tuset ni Gurt estaven, evidentment, assabentats d'aquest treball. A més, el contingut científic del mateix és absolutament nefast. A tall d'exemple, només cal observar com es fan tardans tots els materials sobre els quals s'inicià el treball, quan en realitat la meitat d'ells són alt-imperials.

Malgrat aquests problemes inicials, es prosseguí el treball completant-se finalment

---

<sup>98</sup> - Per a la realització d'aquest treball es va dedicar una part important del projecte de recerca "*Caracterización física, química y mineralógica de cerámica sigillata hispanica*" (PB85-0086), finançat per la CICYT.

<sup>99</sup> - Desgraciadament, aquest treball, que no es va plantejar amb els criteris metodològics que actualment contemplem, no ha estat reelaborat en les parts que així ho necessita. Els seus resultats, doncs, no poden ésser emprats aquí més que com a elements qualitius per a recolzar alguna de les afirmacions que farem en el capítol proper.

<sup>100</sup> - També dins d'aquest projecte es treballaren els motlles d'Andújar, sense que els resultats hagin arribat a publicar-se. Malgrat tot, aquests investigadors publicaren els resultats inicials de les mostres sense coneixement de l'Investigador Principal, ni de la directora de les excavacions, la Dra. Roca (Vendrell *et al.*, 1991).

**l'estudi arqueològic de la TS alt-imperial de Clunia (Tuset, 1991), mentre que paral·lelament els treballs arqueomètrics anaren prosseguint. Pel que fa a la TS Hispanica, el projecte de treball inicialment contemplat preveia la realització de tres blocs: l'estudi arqueològic de la TS Hispanica anterior a la TSHT, l'estudi arqueomètric a partir del mostratge realitzat en funció del treball arqueològic i la contrastació dels resultats.**

**La Tesis Doctoral de Tuset va permetre reconèixer l'existència a Clunia d'uns contextos corresponents a la segona meitat del S. II i el S. III on s'identificava clarament la TS Hispanica d'aquest moment. La seva identificació va portar a desglossar el treball arqueomètric en dues parts, centrant-se la primera en aquesta producció que s'anomenà genèricament Terra Sigillata Hispanica Avançada (TSHA), així com en certes peces de característiques similars tant a la TSH com a la TSHA i que es denominà TSH/TSHA, deixant els materials de TSH per a una segona part. A més, aquesta Tesis es va plantejar com un treball sobre els contextos d'excavació que permetien una major fiabilitat estratigràfica de manera que un cop acabat el treball arqueològic i arqueomètric dels mateixos es pogués realitzar un treball definitiu sobre els materials sense context.**

**Els resultats de la Tesis Doctoral de Tuset indicaven que la TSH/TSHA implicava una reducció del repertori formal en relació a la TSH, amb una tendència a reduir l'alçada dels peus. A més, les formes Drag. 15/17 i Drag. 27 tendien a exvasar-se, suavitzant les carenes i, en el cas de la Drag. 15/17, suavitzant el baquetó intern i reduint el diàmetre del fons.**

**La TSHA semblava representar la fi de la Drag. 37, ja que aquí s'identificava una variant avançada, amb una forma caracteritzada per presentar una vora lleugerament exvasada**

i presentar en la major part dels casos baquetó a l'exterior de la vora, així com un perfil que pot ésser esfèric o carenat. Aquesta Drag. 37 av. es documentava bé en els contextes de segona meitat del S. II, però de manera més esporàdica en els de S. III. Això portava a considerar la possibilitat que en el S. III la seva presència fos residual, implicant la seva desaparició anterior i, per tant, la desaparició en aquest moment de la decoració a motlle. Igualment presentava una desaparició dels plats, segura en els contextes de S. III. Finalment, els vasos semblaven dominar totalment la producció, especialment en el S. III. Tan sols alguna gerra o forma tancada i alguna forma que semblaven preconitzar formes de TSHT (la Pedrosa 12 i la Pedrosa 8c (Palol i Cortés, 1974)) semblaven coexistir amb la Ritt. 8.

En el camp de les decoracions, l'única decoració documentada era la decoració a motlle en la Drag. 37 av. i, en contextes de S. III, una decoració de rodeta en els vasos. A més es presentava com a característic l'existència d'estries a l'exterior de la paret:

*"De todas formas, en la mayoría de los casos, parecen dispuestas de manera intencionada, concentrándose en determinadas zonas de la pieza. A nuestro entender, si fueran debidas únicamente a la presencia de inclusiones en la pasta y/o a un acabado poco cuidado, el estriado aparecería de forma indiscriminada en cualquier parte o en toda la pieza. Creemos que se trata más de una costumbre, controlada e intencionada, que de un descuido casi constante. Nada impide pensar que tras esta situación existan ciertas características de la pasta que permitan el resultado final."*  
(Tuset, 1991, p. 381).

A l'igual que les estries, també sembla una constant de la TSHA les superfícies prismàtiques

Un altre dels resultats importants d'aquesta Tesi Doctoral, i que tractarem més

àmpliament en el capítol 8, és que l'estudi de la caracterització macroscòpica de les diverses produccions permet diferenciar-les perfectament de la TSH:

*"...debemos destacar la separación clara que existe en la caracterización macroscópica de estas nuevas producciones respecto de las clásicas. Igualmente, debemos hacer hincapié en el hecho de que las piezas de TSHA ofrecen una mayor diversidad macroscópica, que parece responder a un cambio en la tecnología de producción."* (Tuset, 1991, p. 373).

#### **6.4. Caracterització arqueomètrica.**

En aquest apartat passarem a exposar els resultats analítics que ens permeten obtenir les conclusions a les que arribem. En general, la teoria que centra el nostre treball arqueomètric i la metodologia emprada, estadística i analítica, la considerem ja descrita en l'apartat 5.4. sobre la caracterització arqueomètrica d'Abella.

##### **6.4.1. Mostratge.**

El mostratge es va realitzar paral·lelament a l'elaboració del treball arqueològic sobre la TS alt-imperial de Clunia. El problema plantejat a Clunia partia de la hipòtesis que la circulació ceràmica de la ciutat en època alt-imperial estava dominada per la comercialització dels productes procedents dels tallers de la Rioja. Malgrat això i donada la presència d'elements que feien possible l'existència de tallers de TSHT en època baix-imperial, no es descartava la possibilitat de l'existència d'una producció local anterior a la de TSHT. El treball arqueomètric s'assumia doncs com un estudi d'una mostra poligenètica, treballant-se

a un nivell de conjunció ( $N_c$ ) i definint-se Unitats de Referència Composicional de Pasta (URCP).

Així, sobre un treball arqueològic realitzat a partir de la quantificació per Nombre Màxim d'Individus (NMxI), que representava una situació d' $I_c \geq I_{CR}$ <sup>(101)</sup>, amb una mostra possiblement poligenètica a  $N_c$  s'optà per incloure en el mostratge, de manera sistemàtica, tots aquells  $I_c$  considerats en el treball arqueològic que oferissin el mínim de 10 gr que constitueix el pes a partir del qual treballem. Aquest mostratge sistemàtic l'hem de considerar aleatori, ja que l'única restricció imposada és la pròpia restricció de la conservació del material i la formació dels estrats, que afecta sempre a una mostra de material arqueològic<sup>(102)</sup>.

El nombre d' $I_c$  inclosos en la mostra fou de 106 (CLA001 a CLA106, que denominarem a partir d'ara sense la referència de sèrie analítica -CLA-) (veure Annex 3). La seva classificació segons producció i context estratigràfic és la següent:

---

<sup>101</sup>. - A més de presentar-se aquesta situació d' $I_c \geq I_{CR}$  en el treball arqueomètric, que considerem ideal especialment en el cas del treball sobre NMxI, ja que el treball sobre fragments pot portar a situacions on s'extremi els problemes de sobreestimació d' $I_{CR}$ , el mètode del NMxI suposa arqueològicament l'única via que ens sembla vàlida per abordar l'estudi sobre els processos de formació dels estrats, permetent la seva adequada comprensió i valoració (Tuset, 1991, pp. 11 i ss. i pp. 356 i ss.).

<sup>102</sup>. - Cal dir, però, que en algun cas molt determinat hi hagué una segona restricció imposada per la impossibilitat de prendre 10 gr en peces que això els suposava la pèrdua de la seva decoració o de parts importants del seu perfil, la importància arqueològica de les quals, com a document, no permetia el seu estudi arqueomètric.

TSHT/TSMA	TS-474	TS-422	TS-431	TS-421	TS-231	Talarnes	Torre	TS-736
Drac 37-40								
Drac 15/17	07 a 101							
Drac 27	102							
Drac 36	90							
Drac 40	103							
Bas 4	100	10 15 16						
Bas 7b								
Bas 8								
Bas 9	08 07							
Bas 12								
Podria 6b								
Podria 12								
Van 100a	101 100							
Corro 100a								
Forn 100a								
<b>TSMA</b>	<b>TS-474</b>	<b>TS-422</b>	<b>TS-431</b>	<b>TS-421</b>	<b>TS-231</b>	<b>Talarnes</b>	<b>Torre</b>	<b>TS-736</b>
Drac 37-40	07 a 70	11			47	85		
Drac 15/17	72 71							
Drac 27	70 75							
Drac 36								
Drac 40	70							
Bas 4	70 a 84	13 17 a 21	17 40		09 a 11	43 44	4	41
Bas 7b	08 a 09	22 a 25	10 36		14	08-01 07	1	
Bas 8								
Bas 9								
Bas 12								
Podria 6b					40	41		
Podria 12		12						
Van 100a	08 09	20 a 37	17		31 a 36	42 43 44 45 46	2	
Corro 100a		31 36	30					
Forn 100a		33 34						

A partir de la Tesis Doctoral de Tuset (Tuset, 1991; Tuset i Buxeda, 1993), els contextos d'excavació eren els següents:

- TS-474: correspon a diversos nivells apareguts durant l'excavació de l'ampliació 7 i de l'ampliació 8, ambdues practicades al sud-est de les petites termes del fòrum. Durant l'excavació, es va registrar un primer estrat (Nivell 1) amb materials tardans (TSHT i monedes de mitjans del S. IV). A partir del Nivell 2, darrera fase de colgament d'un abocador, es va observar que en aquest nivell i els que se l'avantposaven es produïa una barreja de fragments pertanyents a diversos individus d'ambdues ampliacions. Per aquest motiu, durant l'excavació, s'unificà el material aparegut, formant el TS-474. Únicament una peça d'aquest conjunt barreja fragments d'un altre TS, precisament el TS-471, Nivell 1 d'aquestes ampliacions. De totes maneres, la consideració de tots els nivells, a partir del Nivell 2, com un únic conjunt va poder significar l'alteració de l'estratigrafia anterior al S. IV. Les monedes aparegudes en els nivells que procedeixen del TS-474 són dues: un as de

Viteli (Gurt, 1985, nº 343) i un sesterci de Faustina I (Gurt, 1985, nº 510). Aquesta darrera es data a partir del 141. Aquest conjunt trenca clarament amb la tradició ceràmica alt-imperial. Donada aquesta ruptura, es considera la moneda de Faustina I entre els fòssils més antics d'aquests nivells.

- TS-622: Aquest conjunt procedeix del Nivell 3 de l'habitació 24 de les termes de Los Arcos II, que constitueix el primer moment d'utilització de l'habitació com a abocador. En aquest nivell, hi va aparèixer durant l'excavació un sesterci, inèdit fins el present, de Còmode, datat l'any 187. Atenent a les tipologies, es comporta de manera totalment diferent al TS-474. La moneda suava esmentada que conté aquest nivell, donat el petit marc cronològic que consent la moneda de Faustina I associada al TS-474, ha de considerar-se un terme *post quem*. El fet que algunes peces del reblliment de l'Hab. 4 de les termes de Los Arcos II (TS-631) comparteixin fragments amb peces del TS-622, permet suposar un origen comú per a ambdós, i per tant unes cronologies comunes.

- TS-631: Aquest conjunt procedeix del reblliment d'una habitació amb hipocaust de l'edifici termal de Los Arcos II, de la qual ja se n'havia desmuntat prèviament l'hipocaust per a ésser reutilitzada com a àmbit d'habitació. La cronologia, com ha quedat exposat en discutir el TS-622, té com a terme *post quem* l'any 187.

- TS-621: Es tracta del conjunt procedent del Nivell 2 de l'Hab. 24 de les termes de Los Arcos II. Aquest nivell, se superposa al Nivell 3, essent, doncs, posterior. Hi van aparèixer dues monedes, inèdites fins el moment actual: un as de Claudi I i un antoninià de Gal·liè. Aquesta darrera de ceca de Síscia, datable a partir del 260, que pot considerar-se com a



**moneda de circulació, datant el nivell.**

- **TS-233:** Procedeix de la taverna 6 del fòrum. Hi van aparèixer durant l'excavació dues monedes, una de Còmode (Gurt, 1985, nº 546) i una altra de Gal·liè (Gurt, 1985, nº 637), aquesta darrera de ceca de Milà i datable a l'any 262. Ceramològicament, és similar al TS-621. Pot considerar-se de cronologia similar a aquest conjunt, fet que queda reforçat per la presència de la moneda de Gal·liè.

- **Tavernes:** Inclou una sèrie de contextos procedents d'altres tavernes del fòrum però que no tenen la mateixa qualitat estratigràfica, són: TS-155, TS-214, TS-216, TS-232, TS-234, TS-235, TS-270, TS-272 i TS-275. En conjunt, les tavernes del fòrum presentaven les característiques de tenir les monedes més modernes en les encunyacions de Pòstum i Gal·liè. A més, no presentaven ceràmica de TSHT.

- **Teatre:** Amb 53 conjunts ceràmics documentats, que deuen representar en la major part dels casos els nivells d'amortització, únicament hi apareix ceràmica de TSH (pel que fa referència a la TS Hispanica), no apareixent ceràmiques de cronologia més moderna, si s'exceptuen quatre individus. Aquests individus, procedents dels TS-224, TS-266, TS-305 i TS-306, deuen representar intrusions en els nivells del teatre i indiquen la nul·la freqüentació del mateix. Això, a més, es veu confirmat pel fet que la circulació monetària al teatre es veu tancada amb encunyacions de Nerva. Els contextos estratigràfics del teatre tenen, igualment, poca qualitat estratigràfica.

- **TS-736:** Es un reblliment de saqueig modern en l'Hab. 23 de les termes de Los Arcos II.

S'ha considerat degut a que alguna de les seves peces completaven individus procedents de nivells estratigràfics fiables.

#### 6.4.2. Resultats analítics.

##### 6.4.2.1. Presentació i discussió dels resultats.

En la Taula 13 es donen els valors determinats en FRX, amb la rutina exposada en l'apartat 5.4.2.1., per a les concentracions elementals dels 106  $I_C$ , expressades en tant per cent (%) en els elements majors i menors (expressats en òxids) i en parts per milió (ppm) en els elements traces. El valor de la PAF ve igualment expressat en tant per cent. El sumatori és el resultat de la suma dels valors dels elements majors, menors i de la PAF. Aquest valor s'ha d'aproximar al 100% de composició total de l' $I_C$ , si bé com hem comentat en l'apartat 5.4.2.1. s'accepten certes desviacions. En el present cas, les desviacions observades no suposen un problema per acceptar els resultats obtinguts.

Respecte de les concentracions obtingudes, cal tenir en compte el valor semi-quantitatiu de les següents determinacions, ja que depassen els límits de regressió donats en la Taula 2:

- Mo: per tots els  $I_C$ , ja que el valor és sempre menor de 3 ppm.
- Pb: pels  $I_C$  46 (1465), 47 (1241) i 55 (1114), ja que els valors són majors de 928 ppm.
- W: pels  $I_C$  2 (545), 32 (497), 50 (497) i 54 (554), ja que els valors són majors de 490 ppm.

La composició mineralògica dels 106  $I_C$  fou determinada per DRX, amb la rutina exposada a l'apartat 5.4.2.1.. Els difractogrames obtinguts, en el seu interval entre 5 i  $45^\circ 2\theta$ , es troben en l'Annex 4.

En la Taula 14 es pot veure la matriu de variació composicional, de la que s'han exclòs pels mateixos motius esposats en l'apartat 5.4.2.1. el Mo, el Co i el W. Si la comparem amb la Taula 6, corresponent a la mostra d'Abella, mostra monogenètica de la que estimem una única pasta però amb una composició operada per diverses matrius perturbadores, la primera dada que cal remarcar és el valor de la variació total. Mentre que a Abella aquesta prenia el valor d'1.2045161, en el present cas la variació total (vt) que presenta l'estructura de covariància és de 3.818744. Aquest increment de variabilitat era suposable en el marc d'una mostra poligenètica, hipòtesis amb la que hem iniciat el treball. Unes dades que interpretem en el mateix sentit són els valors de  $\tau_{Al_2O_3}=4.8115$  i de  $\tau_{SiO_2}=4.849549$ , per als quals la vt suposa només el 79.37% i el 78.74% respectivament, enfront a l'aproximadament 95% en la mostra d'Abella. Aquests valors reflecteixen l'existència de fortes diferències de variacions relatives respecte a aquests dos elements per part dels  $I_C$ . L'existència d'elements amb valors  $\tau$  més baixos, per als quals la vt representa un percentatge més elevat, té per nosaltres una interpretació que en aquests moments se'ns escapa. Aquests valors són:  $\tau_{Ba}$  (4.109691, 92.92%),  $\tau_{K_2O}$  (4.330595, 88.18%),  $\tau_{Fe_2O_3}$  (4.441888, 86.56%),  $\tau_{Rb}$  (4.460966, 85.6%),  $\tau_{Ni}$  (4.574664, 83.48%),  $\tau_{Zn}$  (4.607627, 82.88%). La mateixa matriu de variació composicional ens permet observar l'existència de certs valors  $\tau$ , molt elevats, per als quals la vt representa menys del 50% del seu valor, i són:  $\tau_{Na_2O}$  (7.877393, 48.48%),  $\tau_{Sr}$  (8.399244, 45.65%),  $\tau_{Cu}$  (8.665983, 44.07%),  $\tau_{MnO}$  (10.409969, 36.68%),  $\tau_{MgO}$  (17.081684, 22.36%),  $\tau_{Pb}$  (21.238621, 17.98%) i  $\tau_{CaO}$

(22.614692, 16.89%).

L'estudi dels valors  $\tau_{ij}$  permet veure que el valor més baix de la taula és  $\tau_{Ga_{Al_2O_3}} = 0.001327$ , mentre que el segon més baix és  $\tau_{SiO_2_{TiO_2}} = 0.002888$ . A més, es destaca com els valors  $\tau_{TiO_2_{Al_2O_3}}$  i  $\tau_{SiO_2_{Al_2O_3}}$  presenten valors similars en vector columna  $\tau_{Al_2O_3}$ , a l'igual com representen valors similars  $\tau_{Al_2O_3_{SiO_2}}$  i  $\tau_{Ga_{SiO_2}}$ , en el vector columna  $\tau_{SiO_2}$ . En ambdós vectors columnes la resta de valors presenten uns resultats similars. Un altre aspecte a remarcar és que els valors més alts es donen precisament entre els components que presentaven valors  $\tau_{ij}$  més alts en ésser usats com a divisors. Aquests valors són:  $\tau_{Pb_{MgO}}$  (1.72061) i  $\tau_{Pb_{SiO_2}}$  (1.974214). Malgrat tot, el valor de  $\tau_{CaO_{MgO}}$  (0.25765) no només no correspon a un valor elevat en la present matriu de variació composicional, sinó que a més es el més baix en els vectors columnes  $\tau_{MgO}$  i  $\tau_{CaO}$ , indicant una certa associació entre ambdós components.

Si examinem els valors del vector columna  $\tau_{SiO_2}$ , que ens interessa especialment ja que treballarem amb la transformació a logaritmes de raons emprant com a divisor el component  $x_{SiO_2}$ , podem observar com els valors més alts es donen amb les variacions relatives amb els components que mostraven un valor més elevat en ésser emprats com a divisors: CaO, MgO, Pb, MnO, Sr, Na<sub>2</sub>C i Cu. Aquests valors representen el 86.55% de la variabilitat inclosa en la matriu de covariàncies de logaritmes de raons, emprant el SiO<sub>2</sub> com a divisor. Malgrat tot, una simple observació permet veure com la variació relativa amb el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pren un valor igualment anormalment elevat respecte de la resta de components, amb un valor similar al que s'obté amb les variacions relatives amb el Cu. Si incloem aquest valor, obtenim que el 91.06% de la variabilitat es deu a les variacions relatives del SiO<sub>2</sub> amb

les components esmentades. D'altra banda, els valors més baixos que s'obtenen corresponen a la variació relativa amb el  $\text{TiO}_2$ , l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  i el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . De fet, els únics valors de tota la matriu de variació composicional inferiors a 0.01 són els que presenten les variacions relatives de les cinc components  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  i Ga entre ells, excepció feta del valor  $\tau_{\text{Ga}/\text{Fe}_2\text{O}_3}$  (0.010269). Tots els components que havíem observat abans que donaven valors més baixos en els valors  $\tau_i$ , com són el Ba,  $\text{K}_2\text{O}$ , Ni, Zn i Rb, exceptuant com hem vist el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , presenten de fet uns valors  $\tau_{ii}$  més elevats. Així, considerem, com ja ho havíem fet a Abellà, que l' $\text{Al}_2\text{O}_3$  i el  $\text{SiO}_2$  són elements que es poden considerar estables i, encara que impliquin la incorporació de variabilitat que no correspon únicament a la variació de l'estructura de covariància, el seu ús està recomanat també en el cas d'aquesta mostra poligenètica.

L'AA realitzada, amb el programa Clustan (Wishart, 1978), utilitzant la distància euclidiana al quadrat i el mètode d'aglomeració del centroides sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO,  $\text{TiO}_2$ , MgO, CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , Ba, Rb, Zr, Sr, Ce i V, transformada a logaritmes de raons emprant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor. Aquesta subcomposició, presenta en la matriu de covariàncies de logaritmes de raons una traça de 3.082759, que és el 65.57% del valor de la matriu completa. El dendrograma obtingut (Figura 49), amb un coeficient de correlació cofenètica de 0.98, presenta l'existència de sis agrupacions que denominem E1, E2, E3, E4, D1 i D2, a més d'una sèrie d' $I_c$  que considerem *outliers* (d'esquerra a dreta del dendrograma: 51, 55, 5, 65, 35, 36, 81, 15, 10, 87, 44, 57, 99, 66, 24 i 89). Malgrat tot, s'observa clarament l'existència d'una gran divisió entre l'agrupació D2 i els  $I_c$  24 i 89, a la dreta del dendrograma, que es fusionen amb la resta d' $I_c$  a la màxima distància ultramètrica, més de tres cops superior a l'anterior distància de fusió. Igualment, si exceptuem

l'agrupació D2 i els  $I_c$  24 i 89, s'observa una gran divisió entre l'agrupació D1 i l' $I_c$  66 amb la resta d' $I_c$ , fusionant-se a més de dues vegades la distància ultramètrica a que es produeix la fusió entre els  $I_c$  de l'esquerra del dendrograma i l'agrupació E4 i els  $I_c$  44 i 57. L' $I_c$  99, que es fusiona abans de l'agrupació D2 i l' $I_c$  56, constitueix clarament un *outlier* que no afecta a la consideració que hem realitzat. La resta d'agrupacions i d' $I_c$  tenen distàncies de fusió molt menors, demostrant una molt menor variació entre grups. Pel que fa a la variació intra-grups, és de destacar la gran variabilitat que presenta l'agrupació D2.

La contrastació del dendrograma amb l'ACP realitzada, amb el programa BMDP (Dixon, 1983), sobre la mateixa subcomposició utilitzada en l'anterior AA, utilitzant la matriu de covariàncies de logaritmes de raons, emprant el  $SiO_2$  com a divisor i sense rotació, ofereix uns resultats consistents. A la Taula 15 es poden veure els coeficients de les quatre primeres components principals, que expliquen el 97.51% de la variància. Els valors dels coeficients per a la primera component principal (C1), que explica el 87.17% de la variància, presenten l'atracció vers +C1 dels  $\ln(CaO/SiO_2)$  i dels  $\ln(MgO/SiO_2)$ , a més de, en menor mesura, els  $\ln(MnO/SiO_2)$  i dels  $\ln(Sr/SiO_2)$  i de manera marginal per aquesta component dels  $\ln(K_2O/SiO_2)$ , dels  $\ln(Ba/SiO_2)$  i dels  $\ln(Rb/SiO_2)$ . Aquesta component pot interpretar-se clarament com una component que podem interpretar de fase de carbonats. Els coeficients de la segona component principal (C2), que explica el 4.57% de la variància, permeten observar una certa oposició entre els  $\ln(MgO/SiO_2)$  i, en menor mesura, els  $\ln(K_2O/SiO_2)$ , atrets per +C2, d'una banda i els  $\ln(CaO/SiO_2)$ , atrets per -C2, de l'altra. La tercera component principal (C3), que explica el 3.31% de la variància, presenta una oposició entre els  $\ln(MnO/SiO_2)$ , atrets per +C3, d'una banda, i els  $\ln(Sr/SiO_2)$ , atrets per -C3, de l'altra. Finalment, la quarta component principal (C4), que explica el 2.46% de la variància,

presenta una oposició entre els  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$ , els  $\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)$  i els  $\ln(\text{Rb}/\text{SiO}_2)$ , atrets per +C4, i els  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , atrets per -C4. Aquestes tres darreres components principals són de més difícil interpretació i, més que representar fases de composició com la primera component principal, representen direccions en les quals s'expressen diferències menors entre els  $I_C$ . La representació dels  $I_C$  en els eixos definits pels eixos per la C1 i la C2, que expliquen el 91.74% de la variància, permeten veure clarament (Figura, 50) la gran oposició existent entre les agrupacions D1 i D2, amb les agrupacions E1, E2, E3 i E4. El comportament dels  $I_C$  definits com a *ouliers* segueix, a grans trets, el de les agrupacions amb les quals es fusionen en l'AA. Així, es revela com les agrupacions D1 i D2 se situen, especialment la segona, sobre l'eix -C1, indicant una major pobresa en la fase que hem interpretat com a fase de carbonats. La segona component principal, és la responsable de la divisió existent entre les agrupacions D1 i D2. Així, l'atracció vers -C2 dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , ens permet interpretar la posició que ocupa D1 com de major riquesa en aquests valor que la de l'agrupació D2 que, col·locada al voltant del vector que es troba en angle de  $180^\circ$  respecte del vector direccional des de l'origen a la situació dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , es demostra com la més pobra en aquesta fase. Per la seva banda, s'observa igualment una separació clara entre les agrupacions E1 i E3, que es presenten formant un núvol amb lleugera tendència a la diferenciació en ésser una mica més rica en la fase de carbonats l'agrupació E3, i les agrupacions E2 i E4, que són reconeixibles com a agrupacions diferenciades. Aquestes dues darreres agrupacions es veuen atretes per +C2, indicant així una major riquesa en els  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$  i en els  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)$ . La situació dels  $I_C$  definits en l'AA com a *ouliers* queda confirmada per a la major part d'ells, degut a la seva disposició en l'espai dels dos eixos, sense presentar-se dins de cap agrupació.

La repetició de la mateixa ACP, però realitzant ara una rotació varimax, porta a una situació lleugerament diferent, però que en part confirma els resultats anteriors. A la Taula 15 es poden observar els coeficients per a les quatre primeres components principals, que expliquen el 97.55% de la variància. Els coeficients de la primera component principal (C1), que explica el 66.99% de la variància, mostren una atracció vers +C1 dels  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ , dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , dels  $\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)$ , dels  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$  i, en menor mesura, dels  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)$  i dels  $\ln(\text{Ba}/\text{SiO}_2)$ . Aquesta component es pot identificar clarament amb la fase que interpretàvem de carbonats en l'ACP anterior. La segona component principal (C2), que explica el 15.9% de la variància, presenta una atracció vers +C2 dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , i, en menor mesura, dels  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ , dels  $\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)$  i dels  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$ . La tercera component principal (C3), que explica el 10.64% de la variància, presenta uns coeficients que mostren una atracció vers +C3 dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , dels  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$  i dels  $\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)$ . Finalment, la quarta component principal (C4), que explica el 4.02% de la variància, mostra una oposició entre els  $\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)$ , atrets per +C4, i els  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$ , atrets per -C4. Aquestes tres components principals, a l'igual com en l'ACP anterior, les interpretem com a direccions de variació menors en les quals s'expressen les diferències menors entre els  $I_c$ . La representació dels  $I_c$  en els eixos corresponents a les C1 i C2, que expliquen el 82.99% de la variància, permeten observar clarament (Figura 51) l'oposició existent entre les agrupacions que presenten una fase rica en carbonats, les agrupacions E1, E2, E3 i E4, i les agrupacions que presenten una fase més pobre, agrupacions D1 i D2. Malgrat tot, l'anterior divisió clara entre les agrupacions D1 i D2 ha quedat ara esvaïda, i sols es reconeix una major atracció de D1 vers +C2. Aquest major atracció la interpretem, com en l'ACP anterior, com a fruit de la major riquesa en fase de carbonats, respecte a l'agrupació D2, que té l'agrupació D1. Per la seva banda, les agrupacions riques en carbonats formen ara un



núvol difícil d'interpretar en el qual sols s'observa clarament una certa atracció de l'agrupació E2 vers +C1, mentre que l'agrupació E3 presenta aquesta mateixa atracció vers +C2. Donats els coeficients dels  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$  i dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$  respecte a les dues components principals, es pot concloure que l'agrupació E3 és una mica més rica en la fase de carbonats pel que fa als valors dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , mentre que l'agrupació E2 ho és en els  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ . Aquesta interpretació estaria d'acord amb el que s'ha vist en l'ACP anterior. Si prenem ara la representació dels  $I_c$  en els eixos que defineixen les C1 i C3, que expliquen el 77.63% de la variància, podrem observar (Figura 52) com en la C3 es diferencien clarament les agrupacions E1 i E3, d'una banda, de les agrupacions E2 i E4 de l'altra. Les dues primeres agrupacions es troben atretes per +C3, indicant una major riquesa en els  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$  i en els  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$ . En el cas del núvol que formen les agrupacions E3 i E1, l'agrupació E1 té tendència a ocupar posicions més properes a l'origen, estant doncs menys atreta per la fase de carbonats que l'E3. Per la seva banda, l'agrupació E4 es diferencia lleugerament de l'agrupació E2 per presentar encara una menor atracció vers +C3, expressant així una menor riquesa en la fase de carbonats que l'agrupació E2. Finalment, les agrupacions D1 i D2 formen un núvol amb l'única diferència de l'atracció de D1 vers +C3 i la de D2, conseqüentment, vers -C3. Aquestes atraccions les interpretem, com en el cas anterior, per una major riquesa de fase de carbonats en l'agrupació D1.

Els resultats de l'AA i de l'ACP, com en el cas de l'estudi de la mostra d'Abella, són contrastables i consistents. Igualment, com en el cas d'Abella, l'ACP amb rotació sembla implicar una pèrdua de reconeixement de l'estructura. Així, la representació gràfica de les C1 i C2 de l'ACP sense rotació ha proporcionat tota la informació, i més al permetre separar bé les agrupacions D1 i D2, extreta de les representacions gràfiques de les C1 i C2 i de les

C1 i C3 de l'ACP amb rotació. Únicament la representació gràfica de les C1 i C3 de l'ACP amb rotació ha permès separar millor les agrupacions E1 i E3 de les agrupacions E2 i E4, introduint els  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$  com a element discriminant.

En resum, ens trobem amb sis agrupacions que semblen respondre a quatre agrupacions riques en carbonats, expressats especialment pels valors dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$  i dels  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ , i que s'oposen a dues agrupacions pobres en aquesta fase. A partir de l'ACP sense rotació, es diferenciaven bé les agrupacions D1 i D2, pobres en els  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$  i en els  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , per l'atracció que l'agrupació D2 té vers els valors dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ , indicant una major riquesa en aquests valors que no pas l'agrupació D1. En el cas de les agrupacions més riques en carbonats, és clara la separació entre les agrupacions E1 i E3 d'una banda i les agrupacions E2 i E4 de l'altra. Les dues segones presentaven a l'ACP sense rotació una atracció vers +C2 deguda a una major riquesa en els  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$  i en els  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)$ , que les agrupacions E1 i E3. A més, aquestes darreres presentaven en l'ACP amb rotació una atracció vers +C3 que deixava veure una major riquesa en els  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$  i en els  $\ln(\text{Sr}/\text{SiO}_2)$ . D'altra banda, si bé les diferències entre l'agrupació E2 i E4 eren lleugeres però clares, degudes a una major riquesa, sempre, de l'agrupació E4 vers totes les atraccions, el que possiblement s'hagi d'interpretar com una major riquesa en  $\text{SiO}_2$  i per tant un valor més baix en els logaritmes de raons. Finalment, la diferència existent entre les agrupacions E1 i E3 es veu, en l'ACP, esvaïda i sols es pot interpretar una certa tendència a una major riquesa en la fase de carbonats per part de l'agrupació E3.

Finalment, i a nivell il·lustratiu, hem realitzat una Anàlisi Discriminant, amb el programa BMDP (Dixon, 1983), utilitzant la subcomposició de l'AA i dels ACP anteriors.

emprant el  $\text{SiO}_2$  com a divisor. Les variables que s'han revelat amb més poder discriminat són:  $\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)$ ,  $\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)$ ,  $\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)$ ,  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)$ ,  $\ln(\text{Kb}/\text{SiO}_2)$ ,  $\ln(\text{Zr}/\text{SiO}_2)$  i  $\ln(\text{V}/\text{SiO}_2)$ . En la Taula 16 es donen els coeficients de les funcions de classificació, així com els valors corresponents a una distribució F amb 7,93 graus de llibertat per a les sis agrupacions dos a dos. Abans de continuar, cal remarcar ara els valors baixos que presenten, respecte a la distribució F, les agrupacions E1 i E3 entre elles i les agrupacions E2 i E4 entre elles igualment. Aquests valors, venen a confirmar la similitud que ja s'havia exposat anteriorment. A la Taula 17 es donen les distàncies de Mahalanobis als centroides de les sis agrupacions. Varies són les conclusions a les que s'arriben amb aquestes distàncies, totes elles confirmant el que ja s'havia dit anteriorment:

- les distàncies dels  $L_c$  del grup E1 al grup E3 són molt baixes. Fins i tot l' $L_c$  16 presenta una distància menor al centroide del grup E3 (1.4) que al centroide dels seu propi grup E1 (2.4). Igualment, les distàncies dels  $L_c$  del grup E3 al centroide del grup E1 són també baixes. L' $L_c$  28 presenta una distància menor al centroide del grup E1 (1.5) que al centroide del grup E3 (4.5). Aquestes distàncies tant baixes i la possibilitat de classificar els  $L_c$  en els grups intercanviats posa de manifest la similitud existent entre ambdues agrupacions.

- les distàncies existents entre els  $L_c$  del grup E2 al grup E4 i a l'inversa, són també molt baixes, però sense que es produeixi cap distància menor d'un  $L_c$  respecte al centroide de l'altre grup, que respecte del seu propi.

- les distàncies dels  $L_c$  de les agrupacions E1 i E3 respecte dels centroides de les agrupacions E2 i E4, i a la inversa, són molt menors que respecte dels centroides de les agrupacions D1

i D2, i a la inversa. L'única excepció és la distància menor existent entre els  $I_c$  de les agrupacions E1 i D1, respecte dels centroides de l'agrupació a la que no pertanyen.

- les distàncies dels  $I_c$  de les agrupacions D1 i D2, respecte dels centroides de l'agrupació a la que no pertanyen, no ofereixen aquest comportament, mostrant una menor similitud.

- els  $I_c$  definits com a *outliers* presenten les següents classificacions possibles: 5 a E3, 10 a E1, 15 a E1, 24 a D2, 35 a E1, 36 a E1, 44 a E1, 55 a E1, 57 a E1, 65 a E3, 66 a D1 i 81 a E3. L' $I_c$  51 presenta una més difícil classificació possible amb l'agrupació E1. En tots els casos on la classificació és possible a l'agrupació E1, la distància al centroide de l'agrupació E3 és igualment baixa, i a la inversa. Això confirma igualment la similitud existent entre aquestes dues agrupacions. Finalment, els  $I_c$  87, 89 i 99, no presenten cap classificació possible degut a les altes distàncies que guarden amb els centroides de les sis agrupacions.

A la Taula 16, es poden veure els coeficients de les variables canòniques, calculades amb les variables que han demostrat tenir un major poder discriminant. La representació gràfica dels  $I_c$  en els eixos definits per les dues primeres variables canòniques, que expliquen el 92,9% de la dispersió total, mostra la separació existent entre les agrupacions D1 i D2, E1 i E3 i E2 i E4, en núvols de dues agrupacions, respecte dels altres dos núvols. Dins de cada núvol les separacions són menys clares, posant-se de manifest una similitud entre les agrupacions que formen aquests núvols (Figura 53).

El resultat del treball estadístic sobre les dades composicionals provinents de l'anàlisi química ens ha permès el definir sis agrupacions (Taula 18), que reflecteixen una mostra

poligenètica clara. Degut a que ens trobem treballant en un centre receptor, i no sobre T, estant doncs situats en el  $N_2$ , hem mantingut les sis agrupacions que s'han revelat durant el treball estadístic. L'estructura, presenta clarament l'existència de 4 conjunts que hem vist que són discriminats clarament en diversos processos estadístics:

- agrupació E1 i agrupació E3: les composicions de les dues agrupacions són clarament similars. Les seves diferències es deriven bàsicament del contingut major de MgO, CaO i Sr, que són més elevats en l'agrupació E3. La separació entre les dues agrupacions és la menys clara de les separacions que es produeixen entre les agrupacions definides a partir de l'AA, tractament estadístic que era el que mostrava millor la separació entre aquestes dues agrupacions.

- agrupació E2 i agrupació E4: les composicions de les dues agrupacions són similars. L'agrupació E2 és més rica en la fase que hem anomenat de carbonats que l'agrupació E4. Malgrat tot, és igualment més rica en la resta de components, excepte en els components: SiO<sub>2</sub>, Zr, Ce i V. Això permet suposar una major riquesa en una fase que es podria anomenar silicica. Malgrat tot, les dues agrupacions, especialment l'E2, es poden considerar, com les anteriors, calcàries. Malgrat la similitud que guarden amb les agrupacions E1 i E3, el comportament del MgO i, especialment del K<sub>2</sub>O són completament diferents en ambdós conjunts de dues agrupacions que estem definint.

- agrupació D1: Es diferencia clarament de les anteriors, especialment perquè tot i presentar uns nivells de CaO i de SiO<sub>2</sub> similars als de l'agrupació E4, presenta uns valors molt més alts en l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i molt més baixos en el MgO. Les diferències amb els elements traces es

mantenen igualment amb les agrupacions anteriors. Amb el seu nivell de CaO, i especialment dels elements que hem anomenat fase de carbonats, cal pensar que no es pot considerar com una agrupació de composició calcària.

- agrupació D2: Similar a l'anterior, la seva principal diferència resideix en que, a més de tenir un valor molt baix de CaO, té igualment un valor inferior en tots els altres elements, excepte, clarament, en el  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ , Zr, Y i Ce. Això pot interpretar-se, com en el cas de l'agrupació E4, per una major riquesa en una anomenada fase silícica.

A partir d'aquestes dades ens sembla suficientment ben establerta la diferència entre aquests 4 conjunts i, en aquest estadi de la discussió, poc provada la necessitat d'unificar les agrupacions E1 i E3, així com les agrupacions E2 i E4, per la qual cosa, tenint en compte les seves similituds, exposarem les dades d'aquestes agrupacions de manera individual. Igualment, i degut a les mancances d'un treball en el  $N_c$  preferim continuar mantenint els  $I_c$  definits com a *outliers* en la classificació que els hem donat.

L'agrupació E1 presenta una matriu de variació composicional (Taula 19) amb una variació total considerablement elevada, 2.1373731, especialment si la comparem amb la d'Abella (Taula 6), una mostra monogenètica amb les operacions de pertorbacions que ja hem destacat. La variació total a Abella es d'1.2045161. Malgrat tot, es comprova que el valor d'aquesta variació total tan elevat ve proporcionat pels valors del vector columna  $\tau_{pb}$ , així com del vector fila  $\tau_{pb}$ . En una subcomposició on aquest component no hagi estat pres en consideració, la matriu de variació composicional presentarà una suma total de variàncies de 17.027708, no ja de 102.59391, i una variació total de 0.3701675. Resulta evident, doncs,

que l'agrupació E1 presenta una variació total molt baixa excepte la que es deriva del component Pb, de les variacions relatives de la resta de components amb aquest, que suposava el 82.68%. L'estudi dels difractogrames d'aquesta agrupació (Annex 4), que podem considerar coherent i amb una baixa variabilitat, permeten veure certes diferències (Figura 54), malgrat la forta presència del quarz (Q):

- els difractogrames dels  $I_c$  47, 62, 63, 64 i 95, presenten uns pics molt desenvolupats de fil·losilicats (I), a més de feldspats alcalins (KF), gehlenita (G), calcita (C), hematites (H) i uns possibles pics de piroxens (D).

- els difractogrames dels  $I_c$  19, 46 i 48, presenten, respecte a la categoria anterior, uns pics clars però poc intensos, de plagiòclasis (A), així com uns pics menys intensos de fil·losilicats.

- els difractogrames dels  $I_c$  1, 11, 14, 16 i 58, presenten, respecte a la categoria anterior, uns pics de plagiòclasis, feldspats alcalins, hematites i de piroxens més intensos. També presenten uns pics de fil·losilicats menys intensos. L'única diferència la presenta l' $I_c$  58. Aquest  $I_c$  té un pic molt més intens de les plagiòclasis que la resta d' $I_c$  de la categoria i, a més, no presenta la gehlenita, ni els fil·losilicats. Però presenta igualment una altra gran diferència, el pic d'hematites és molt poc intens, alhora que presenta un pic molt intens de magnetita. Aquestes peculiaritats es corresponen amb el fet d'ésser l'únic  $I_c$  de la mostra que presenta una matriu fosca, en la caracterització macroscòpica. El vernís, per la seva part, és marró amb taques fosques.

La interpretació d'aquestes dades es veu restringida pel fet de treballar al  $N_c$ , però, tenint en compta l'homogeneïtat composicional de l'agrupació, proposem com a hipòtesis l'existència de tres categories d' $I_c$  a partir de les fases de DRX, que representen tres rangs de temperatures diferents i successius anant, en el sentit que ho hem exposat, de menor a major i que d'ara endavant anomenarem E1b, E1m i E1a (b-baixa, m-mitjana i a-alta). Les diferències de temperatures es reflectirien bàsicament en el desenvolupament de les plagiòclasis, possiblement anortita, i la descomposició dels fil·losilicats. A partir de l'experiment de recocció d'Abella (Fig. 29) i de la bibliografia existent (veure per exemple Maggetti, 1981; Jornet, 1982; Maniatis *et al.*, 1981) es poden estimar unes temperatures de cocció equivalent en el rang de superior a uns 850°C, per a E1b, fins a un màxim d'aproximadament 1000°C per a E1a. La interpretació de les dades que ofereix l' $I_c$  58 les interpretem com el resultat d'una segona cocció, previsiblement accidental, en un ambient reductor, depassant els 1000-1050°C. Això explicaria la presència d'un pic tant intens de plagiòclasis i la no presència de pics de fil·losilicats, ni de gehlenita. El color de la matriu, la presència de la magnetita i la poca intensitat de l'hematites serien la conseqüència de l'ambient reductor. L'observació del vernís amb la lupa binocular, a 25X i a 50X<sup>103</sup>, permet observar com en realitat el vernís roman vermell, mentre que la multitud de forats que presenta permeten veure el color fosc de la pasta. A l'ull nu aquests forats, de color fosc, impressionen la retina sense que l'ull pugui distingir-los de la resta del vernís que es percep així com de color marró. El que aquest vernís mantingui el color vermell, que previsiblement era l'original, enfront una pasta fosca, amb característiques de sobrecocció, encara que possiblement suau, permet assegurar que al finalitzar la seva fabricació el vernís

---

<sup>103</sup>. - Les condicions d'observació per lupa binocular seran explicades en el Capítol 8 amb més detall.



presentava un estadi de sinterització suficient per no deixar circular l'oxigen, cosa que impedi la seva reducció en la segona cocció.

Les dades que obtenim per l'estudi de les fases mineralògiques per DRX són consistents amb les obtenim per l'estudi per MER de les microestructures i l'estadi de sinterització<sup>(104)</sup>. Els I<sub>c</sub> 64 (E1b) i 14 (E1a) presenten ambdós (Figura 55) una microestructura cel.lular que, com ja hem vist en presentar els resultats d'Abella, és típica de les ceràmiques calcàries. Aquesta microestructura es produeix per la dissociació de la calcita primària, que provoca la dissociació del CO<sub>2</sub> que és alliberat com a gas. L'estadi de sinterització ofereix, però, algunes diferències. En l'I<sub>c</sub> 14 s'aprecia una vitrificació continuada clara, amb força col·lis de connexió, a més de les característiques superfícies suaus i de l'arrodoniment dels angles. Per contra, l'I<sub>c</sub> 64 ofereix només un estadi inicial de la vitrificació continuada, amb un desenvolupament menor de les característiques d'aquest estadi. Aquestes dades permeten estimar les temperatures de cocció dins del rang aproximat de 850-1050°C, en que es produeix la microestructura cel.lular i la vitrificació continuada, però l'I<sub>c</sub> 64 hauria de tendir vers el rang inferior de canvi de l'estadi de vitrificació inicial al de vitrificació continuada.

Les dades obtingudes per MER es mostren consistents amb les que ofereix la DRX.

---

<sup>104</sup> - Aquestes observacions foren fetes després de l'estadz de formació a Atenes i es feren ja amb la metodologia utilitzada en el *Laboratory of Archaeometry*, especialment pel que fa a l'estandarització de les magnificacions d'observació. Malgrat això, vàrem creure interessant el fer un recobriment estereoscòpic de les microestructures observades, per la qual cosa les fotografies que donem corresponen a sèries de dues fotografies amb una distància base del 20% de la superfície del camp de la fotografia, en desplaçament horitzontal (Blaker, 1965; Blaker, 1977). La utilització de la fotografia de recobriment estereoscòpic, encara que ha estat defensada en certs treballs (veure per exemple Schwarz, 1964; Zachrisson, 1985), no està, pel que coneixem, gaire estesa en el camp arqueològic.

Aquesta contrastació de les dades permet, a més, assegurar l'homogeneïtat de l'agrupació, tal i com semblava desprendre's de l'estudi de la seva composició química.

La matriu de variació composicional de l'agrupació E2 (Taula 20) presenta una variació total molt baixa, 0.3146183, que confirma la seva homogeneïtat composicional. Igualment, els valors que ofereix la taula es poden considerar baixos i sols s'aprecien unes majors variabilitats associades a les variacions relatives dels components Pb ( $\tau_{Pb} = 1.672924$ ), Th ( $\tau_{Th} = 1.222972$ ) i Sr ( $\tau_{Sr} = 1.009398$ ) respecte als altres components.

Com en el cas de l'agrupació E1, a través de l'estudi dels seus difractograms (Annex 4) podem establir tres categories segons les fases cristal·lines que s'hi observen, a més del quarz que és sempre la fase principal (Figura 56):

- els  $I_C$  31, 73, 80 i 93 presenten uns pics de fil·losilicats molt intensos. A més, presenten feldspats alcalins, calcita, piroxens, gehlenita i hematites. En el cas de l' $I_C$  31 és possible que hi hagi la presència de plagiòclassis.

- els  $I_C$  3, 71, 77, 88, 92 i 103, respecte als anteriors, presenten uns pics de fil·losilicats i de calcita menys intensos. Igualment, presenten uns pics de plagiòclassis clars, així com uns pics de feldspats alcalins més intensos. S'observen els piroxens, l'hematites, però no s'observa la gehlenita, excepte potser en l' $I_C$  3.

- els  $I_C$  4, 20, 76, 90 i 91, respecte als anteriors, presenten uns pics de fil·losilicats molt poc intensos. Per contra, els pics dels feldspats alcalins, les plagiòclassis i els piroxens són més

intensos. Presenten hematites, però no semblen presentar calcita, excepte l'I<sub>c</sub> 20 que presenta un pic molt intens.

Aquestes dades les interpretem, com en el cas de l'agrupació E1, com unes transformacions patides per diferents temperatures de cocció. Així, considerem les tres categories com rangs diferents de temperatures de cocció que corresponen, en el sentit en que les hem presentat, a un increment de menor a major, i que ara, com en el cas de l'agrupació E1, anomenarem E1b, E1m i E1a. Els canvis de temperatures els suposem com reflectits, bàsicament, en les variacions en els pics dels fil·losilicats, de la gehlenita i dels feldspats. Així, alhora que s'observa una descomposició dels fil·losilicats i una descomposició de la gehlenita, s'observa un desenvolupament dels pics de feldspats alcalins i de les plagiòclassis, que interpretem com anortita. El fet que la gehlenita s'hagi descompost, interpretem que és possiblement una transformació durant la cocció degut al caràcter metaestable d'aquesta fase i no a un procés secundari durant la deposició, ja que trobem gehlenita en el rang E2b i, a més, no trobem les cristallitzacions que es produeixen durant la descomposició en el medi de deposició de la gehlenita (Heimann i Maggetti, 1981; Walter, 1988). Les temperatures de cocció estimades les podem situar en el mateix rang que en el cas de l'agrupació E1. Així, el rang inferior seria superior als 850°C, degut a la cristallització de la gehlenita, mentre que el rang superior seria al voltant dels 1000°C, com es desprèn de la presència de pics de fil·losilicats.

Les microestructures dels I<sub>c</sub> 92 (E2m) i 76 (E2a) (Figura 57) responen a la microestructura cel·lular de les ceràmiques calcàries. L'estadi de sinterització d'ambdós I<sub>c</sub> és de vitrificació continuada, mostrant clarament les típiques superfícies suaus, amb colls de

connexió i angles arrodonits. No s'observen diferències microestructurals ni d'estadi de sinterització significatives. El rang de temperatures de cocció que es pot estimar és el de 850-1050°C.

Com en el cas de l'agrupació E1, les dades comparades de les agrupacions E1 i E3 aporten resultats consistents, que semblen suportar l'homogeneïtat d'aquesta agrupació, definida a partir de la composició química.

La matriu de variació composicional de l'agrupació E3 (Taula 21) presenta una variació total baixa, 0.5400756. Els components que aporten major variabilitat en les seves variacions relatives amb els altres components són el Pb ( $\tau_{\text{Pb}}=3.512585$ ), el Cu ( $\tau_{\text{Cu}}=3.374773$ ) i el Th ( $\tau_{\text{Th}}=2.166039$ ). L'homogeneïtat de l'agrupació ve igualment recolzada pel baix valor de la major part de  $\tau_{ij}$  de la matriu de variació composicional.

L'estudi dels difractogrames dels  $I_c$  de l'agrupació E3 (Annex 4) permet observar certes diferències que permeten establir tres categories, en les quals la fase principal és el quarz (Figura 58):

- els  $I_c$  6, 18, 60, 69, 70, 75 i 79 presenten uns pics intensos de fil·losilicats, de calcita i de gehlenita. A més presenten pics de piroxens, feldspats alcalins i hematites. En el cas dels  $I_c$  6, 70 i 75 s'observen pics poc intensos de piagiòclasis

- els  $I_c$  37, 61, 67, 74, 84, 96, 97, 100, 104 i 106, respecte oels anteriors, presenten uns pics de fil·losilicats i de gehlenita menys intensos, uns pics de piroxens més intensos i una

presència en tots els  $I_C$  de plagiòclasis, amb uns pics més intensos que els que oferien els  $I_C$  de l'agrupació anterior que presentaven aquesta fase. Els  $I_C$  100 i 106, però, presenten uns pics de gehlenita força intensos, respecte als altres  $I_C$  d'aquesta categoria.

- Els  $I_C$  28, 68, 98, 101, 102 i 105, respecte de la categoria anterior, presenten uns pics de plagiòclasis, feldspats alcalins i piroxens més intensos. Presenten igualment la descomposició dels pics de fil·losilicats i de gehlenita. Els  $I_C$  68, 98 i 101 presenten analcima

Les tres categories establertes les interpretem, com en els casos de les agrupacions anteriors, com a diferències en les temperatures de cocció. Cada categoria es pot assimilar a un rang de temperatures que, en el sentit de l'exposició precedent, seran cada cop més altes. D'aquesta manera, les tres categories les denominarem respectivament E3b, E3m i E3a. Les bases per proposar la interpretació que acabem de donar són les variacions que ofereixen els fil·losilicats i la gehlenita, que interpretem que provenen de la seva descomposició durant les transformacions de cocció. Igualment, les plagiòclasis, que possiblement corresponguin a anortita, apareixen com una fase de cocció. L'increment de la intensitat dels seus pics i els dels feldspats alcalins i els dels piroxens s'interpreten com un augment de temperatura. El rang de temperatures de cocció que es pot estimar és similar al de les agrupacions E1 i E2, iniciant-se vers els 850°C i arribant, a diferència de les agrupacions E1 i E2, fins vers els 1050°C, degut a la total transformació dels fil·losilicats en aquestes temperatures. En la part baixa es trobaria la categoria E3b, mentre que la categoria E3a se situaria en la part superior.

L'estudi de les microestructures i de l'estadi de sinterització permet contrastar les dades provinents de la DRX (Figura 59). L'I<sub>c</sub> 18 (E3b) presenta una microestructura cel·lular, típica després de la descomposició de la calcita primària durant la cocció, però està encara molt dominada pel que, podem assumir, són les orientacions preferents de les laminetes d'argila durant el modelat de la ceràmica. L'estadi de sinterització permet observar una vitrificació continuada, si bé no molt estesa, amb la formació de colls de connexió i l'arrodoniment dels angles. Per contra, l'I<sub>c</sub> 102 (E3a) mostra ja una transformació inicial de la microestructura cel·lular deguda a la densificació de la matriu. L'estadi de sinterització permet observar una vitrificació continuada que permet observar l'inici de l'arrodoniment dels porus, amb diàmetres superiors als que presentaven en baixes temperatures, i la pèrdua de la microporositat connectada en favor d'una microporositat més aïllada, reflex igualment de la transformació de la microestructura cel·lular. Les temperatures de cocció estimades es poden situar en el rang de 850-1050°C per a l'I<sub>c</sub> 18, mentre que, l'inici de la transformació de la microestructura cel·lular i l'estadi de sinterització de transició d'una vitrificació continuada a una vitrificació total per a l'I<sub>c</sub> 102 indica un rang vers els 1050°C o una temperatura lleugerament superior. Així, podem associar clarament la microestructura d'aquest darrer I<sub>c</sub> amb una microestructura de sobrecció.

En el cas de l'agrupació E3, la contrastació de les dades de DRX i de MER són un altre cop consistents, recolzant igualment l'homogeneïtat de l'agrupació. Ambdues tècniques permeten una interpretació estimant l'existència d'una sèrie d'I<sub>c</sub> amb característiques de sobreccions, possiblement suaus.

La matriu de variació composicional de l'agrupació E4 (Taula 22) ofereix una variació

total molt petita, 0.1477315. Aquest valor indica l'extrema homogeneïtat que ofereixen aquests  $I_c$ . En aquest estadi del treball, no es pot descartar que aquesta homogeneïtat hagi forçat l'aparició de l'agrupació, com a independent de l'agrupació E4. La major part dels valors  $\tau_{ij}$  són baixos, confirmant l'homogeneïtat de l'agrupació. Malgrat tot, aquells valors que provenen de les variacions relatives dels components MnO ( $\tau_{MnO}=1.040897$ ), Th ( $\tau_{Th}=0.956826$ ), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ( $\tau_{P2O5}=0.859267$ ) i Pb ( $\tau_{Pb}=0.707208$ ) amb els altres components ofereixen uns valors que resulten més elevats.

L'estudi dels difractograms dels  $I_c$  de l'agrupació E4, 78, 82, 85 i 86, permeten veure una gran similitud (Figura 60). Amb una fase extraordinàriament rica de quars, s'observen uns pics intensos de fil·losilicats, així com feldspats alcalins, piroxens, plagiòclasis, gehlenita, calcita i hematites. La presència de gehlenita, plagiòclasis i piroxens, així com la no descomposició dels fil·losilicats ens permet interpretar que el rang de temperatures de cocció es troba entre 850° i 1000°C.

L'observació de la microestructura de l' $I_c$  82 deixa veure clarament (Figura 61), l'existència d'una microestructura cel·lular, encara que molt distorsionada per els materials no plàstics. L'estadi de sinterització que presenta la matriu permet observar una vitrificació continuada, amb l'existència de petits colls de connexió i l'arrodoniment dels angles. La temperatura de cocció que es pot estimar se situa en el rang 850-1050°C.

La contrastació de les dades de DRX i de MER és consistent. El rang de temperatures de cocció estimades que cal acceptar és de 850-1000°C, però el seu marge superior potser pugui ésser reduït fins a 950°C degut a l'manteniment del pic 001 dels fil·losilicats.

interpretats com il.lites-muscovites (Jaggett, 1981).

L'estudi de les quatre agrupacions que se situen a l'esquerra del dendrograma i que presenten una distància ultramètrica de fusió relativament baixa (Figura 49) ofereixen certs punts a tenir en compte:

- el treball sobre les dades procedents de l'anàlisi química ha permès posar de relleu l'existència en aquestes agrupacions d'una fase de carbonats. L'estudi per DRX i l'estudi per MER ha posat en evidència l'existència de les característiques pròpies de les ceràmiques calcàries, en quant a fases de cocció i en quant a microestructures.

- en totes les agrupacions s'ha observat el paper fonamental del quarz com a fase principal. De fet, els difractograms ofereixen problemes d'interpretació degut a la baixa intensitat dels pics de la resta de fases, quedant sovint amb intensitats properes al nivell del soroll de fons. Això ha estat especialment cert en el cas de l'agrupació E4, per a la qual l'estudi de les dades químiques havia posat en relleu l'existència d'una major fase silícica.

- en totes les agrupacions hem suposat com fase de cocció la gehlenita. Malgrat tot, aquesta interpretació no està suportada per cap coneixement de la matèria primera i no es pot descartar taxativament que es tracti d'una fase primària, encara que aquesta és molt rara en la natura. En aquest cas, l'única dada que podria suportar el nivell inferior dels rangs de temperatura que estimem és l'existència d'una microestructura cel·lular i d'un estadi de sinterització que mostra sempre, clarament una vitrificació inicial o, ja, una vitrificació continuada.



- hem interpretat sempre, igualment, les plagiòclassis com a fases de cocció. En els casos com en l'agrupació E4 la trobem en tots els difractogrames dels  $I_c$  que la componen. En sentit estricte, aquí no podríem interpretar la seva presència com a fase de cocció. Únicament la similitud existent amb la resta d'agrupacions, i especialment amb l'E2, ens permet suposar que no es tracta d'una fase primària.

- la interpretació com a diferències de temperatura de cocció que hem proposat es basa en la correlació inversa existent entre el comportament, bàsicament, dels fil·losilicats i de la gehelenita vers el comportament de, bàsicament, els feldspats alcalins i les plagiòclassis. El fet que hagi estat possible fer les valoracions de manera similar en totes les quatre agrupacions ens permet plantejar un altre cop l'existència d'una certa similitud entre elles. Els piroxens tenen un desenvolupament major en l'agrupació E3 que en les altres. Aquesta dada la interpretem com un reflex d'ésser la qui presenta una major riquesa en la fase de carbonats, ja que els pics de piroxens semblen poder-se correspondre amb la sèrie de la solució sòlida diòpsid ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ )-hedenbergita ( $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ ).

- la categoria E3a és l'única que no ofereix cap fase de fil·losilicats en els difractogrames dels seus  $I_c$ .

- Respecte a les ceràmiques d'Abella, s'observa un comportament radicalment diferent pel que fa als feldspats alcalins i l'hematites. En els  $I_c$  corresponents a les agrupacions E1, E2, E3 i E4, que a l'igual que els  $I_c$  d'Abella es poden considerar pertanyents al grup de les ceràmiques calcàries, lluny d'observar-se la descomposició d'aquestes fases en incrementar-se la temperatura, s'observa el manteniment de l'hematites i el desenvolupament dels feldspats

alcalins.

Els  $L_c$  que definim com a *outliers* i que es fusionen amb les agrupacions anteriors presenten els següents difractogrames (Annex 4):

- 5: presenta el quarz com a fase principal, amb gehlenita, feldspats alcalins, fil·losilicats, hematites calcita i, possiblement, piroxens i plagiòclassis.
- 10: presenta el quarz com a fase principal, però el segon pic del quarz és menys intens que el primer pic dels piroxens. Presenta igualment un pic molt intens de plagiòclassis, així com pics menys intensos d'hematites, de leucita i d'analcima.
- 15: presenta el quarz com a fase principal, però el segon pic del quarz és menys intens que el primer pic de la calcita. Té com a pic molt intens la gehlenita i, ja menors, els fil·losilicats, els feldspats alcalins, les plagiòclassis, els piroxens i l'hematites.
- 35: presenta el quarz com a fase principal, i té pics intensos de plagiòclassis i de gehlenita. També, presenta pics d'hematites, de piroxens, de feldspats alcalins i de fil·losilicats.
- 36: presenta el quarz com a fase principal, però el segon pic del quarz és menys intens que el primer pic de la calcita. Presenta igualment uns pic intensos de plagiòclassis i, ja menors, de fil·losilicats, de feldspats alcalins, de piroxens, de gehlenita i d'hematites.
- 44: presenta com a fase principal el quarz i com a segona fase, molt intensa, els fil·losilicats. Presenta igualment feldspats alcalins, hematites i una fase poc intensa de calcita.
- 51: presenta com a fase principal el quarz, amb pics intensos de fil·losilicats i de feldspats alcalins, així com fases poc intenses de piroxens, d'hematites i de calcita.
- 55: presenta com a fase principal el quarz i com a fases segones la calcita i la gehlenita. També presenta fases menys intenses de fil·losilicats, d'hematites, de feldspats alcalins i de

piroxens.

- 57: presenta com a fase principal el quarz. Com a fases menys intenses presenta els fil·losilicats, els feldspats alcalins, l'hematites, la gehlenita i la calcita.

- 65: presenta com a fase principal el quarz, amb una segona fase que és l'hematites, i fases menys intenses de plagiòclasis, feldspats alcalins, piroxens, gehlenita, calcita i fil·losilicats

- 81: presenta com a fase principal el quarz, amb unes segones fases de gehlenita i de fil·losilicats, i amb fases menys intenses d'hematites, de calcita, de feldspats alcalins i de piroxens

- 87: presenta una fase principal de quarz, però amb una fase de plagiòclasis i una fase de piroxens més intenses que el segon pic del quarz. Presenta una fase molt intensa d'analcima i fases menor d'hematites i de calcita.

- 99: presenta una fase principal de quarz, però amb unes fase molt intenses de plagiòclasis i de piroxens, que superen al segon pic del quarz. Presenta igualment fases d'analcima, de leucita i d'hematites.

Vàries son ara les consideracions que podem realitzar.

- els difractogrames dels  $L_c$  5, 35, 51, 55 i 81 no representen cap diferència significativa respecte dels comportaments generals que presenten les agrupacions E1, E2, E3 i E4. Les temperatures de cocció que es poden estimar es troben dins dels rangs anteriorment expressats per a totes les agrupacions anteriors, essent entre 850° i 1000°C.

- els difractogrames dels  $L_c$  15 i 36 ofereixen com a segona fase en intensitat a la calcita, però per davant del segon pic del quarz, pic que en tots els  $L_c$  fins ara estudiats sempre

supera a la segona fase en intensitat. Les seves temperatures de cocció també es poden estimar en el rang entre 850° i 1000°C.

- el difractograma de l'I<sub>c</sub> 65 és diferent a tots els anteriors, presentant com a segona fase en intensitat a l'hematites. Malgrat tot, el rang de la seva temperatura de cocció l'estimem igualment entre 850° i 1000°C.

- el difractograma de l'I<sub>c</sub> 44 és l'únic que no presenta ni gehlenita, ni piroxens, ni plagiòclasis. El seu rang de temperatura de cocció és clarament inferior a tots els altres I<sub>c</sub> estudiats fins el moment present, degut a la forta intensitat dels pics de fil·losilicats. Possiblement la seva temperatura de cocció se situï sota els 800°C, suposant que la calcita és primària, ja que no s'observa cap fase de cocció.

- el difractograma de l'I<sub>c</sub> 55 presenta certes similituds amb l'anterior, però presenta com a diferència l'existència d'una fase poc intensa de gehlenita, així com uns pics més intensos d'hematites i uns pics menys intensos de fil·losilicats. Estimem la seva temperatura de cocció en el rang de 850° a 1000°C, però suposem que es troba en l'extrem inferior, degut a que no s'observa cap altra fase que pugui ésser de cocció.

- els difractogrames dels I<sub>c</sub> 10 i 99 tenen com a similituds la presència de les fases d'analcima i de leucita. A més, en ambdós I<sub>c</sub> el segon pic del quarz és menys intens que la fase segona en intensitat. Aquesta fase és per a l'I<sub>c</sub> 10 la dels piroxens, mentre que per a l'I<sub>c</sub> 99 és la de les plagiòclasis. A més, per a aquest darrer I<sub>c</sub>, la fase dels piroxens és també més intensa que el segon pic del quarz. A partir del fort desenvolupament de les fases de

plagiòclasis i de piroxens, del possible inici de descomposició del quarz i de la presència de leucita, que interpretem com a fase de cocció, podem estimar una temperatura de cocció per sobre dels 1050°C, possiblement com a sobrecoccions.

- el difractograma de l'I<sub>C</sub> 87 és similar al de l'I<sub>C</sub> 99, excepte que no presenta cap fase de leucita. La seva temperatura de cocció l'estimem igualment al voltant dels 1050°C, com a possible sobrecocció.

Per part de les agrupacions que presentaven una pobresa en la fase de carbonats, l'estudi de l'agrupació D1 ofereix una matriu de variació composicional amb una variació total relativament baixa, 0.6821671 (Taula 23). Tot i que els valors  $\tau_i$  són generalment baixos, es troben valors elevats en aquells casos en que es tracta de les variacions relatives del components Pb ( $\tau_{Pb}=4.845263$ ), Cu ( $\tau_{Cu}=4.710161$ ) i Th ( $\tau_{Th}=2.547843$ ).

L'estudi dels difractograms dels I<sub>C</sub> d'aquesta agrupació (Annex 4), permet diferenciar tres categories (Figura 62), presentant tots com a fase principal el quarz, molt més intens, respecte a la resta de fases, que en les agrupacions anteriors:

- l'I<sub>C</sub> 25 presenta pics intensos de fil·losilicats, pics menys intensos d'hematites i, molt menors, de feldspats alcalins i calcita.

- els I<sub>C</sub> 12, 23, 26, 34, 39, 72 i 94, respecte a l'anterior, presenten uns pics menys intensos de fil·losilicats i la presència de la gehlenita.

- els  $I_C$  21 i 33, respecte a l'anterior, presenten la fase de mullita (compost no estequiomètric pel que es pot donar una composició  $\sim Al_6Si_3O_{14}$ ) i possiblement de plagiòclasis.

Aquestes dades les interpretem igualment com a degudes a diferents temperatures de cocció de manera que les tres categories responen a tres rangs que, en l'ordre en que les hem exposades, suposen un augment de la temperatura de cocció. Aquestes categories les denominem D1b, D1m i D1a. Les dades que prenem com a indicatives de canvis de temperatures són la cristallització de la gehlenita i la cristallització de la mullita (veure per exemple Tite *et al.*, 1982a; Heimann, 1989; Pradell, 1993). Els rangs de temperatura que es poden estimar són de menys de 800°C per a la categoria D1b, degut a la no cristallització de la gehlenita, associat als intensos pics de fil·losilicats. En el cas de l'agrupació D1m, el rang cal situar-lo entre els 800-850°C, per la cristallització de la mullita, i el seu límit superior serà el de la cristallització de la mullita, és a dir la temperatura mínima de cocció que es pugui estimar per a la categoria D1a. Per a aquesta categoria, observem com la gehlenita no s'ha descompost encara. Això ens pot situar vers els 1050°C, però, a més, són clars encara els pics de fil·losilicats, rebaixant situant-nos possiblement vers els 950-1000°C. Els treballs en els quals s'ha detectat la cristallització de la mullita situen la temperatura en que cristallitza entre els 1000° i els 1100°C. Així doncs, podem estimar una temperatura de cocció per als  $I_C$  d'aquesta categoria de vers els 1000°C. Aquesta temperatura serà, doncs, el límit superior per a la categoria D1m.

L'estudi de les microestructures ofereix unes dades que permeten contrastar el que hem exposat anteriorment (Figura 63). L' $I_C$  94 (D1m) presenta una microestructura on no s'observa cap microestructura cel·lular, seguint un comportament d'una ceràmica no calcària.

L'estadi de sinterització cal fixar-lo en el d'una vitrificació inicial o una vitrificació continuada, però poc desenvolupada, degut a que si bé es poden apreciar l'existència de les característiques d'aquest estadi, superfícies suaus, colls de connexió i arrodoniments d'angles, la seva presència no és majoritària a la matriu. Per contra, l'I<sub>c</sub> 21 (D1a) ofereix una microestructura on les laminetes d'argiles es troben ja molt distorsionades. L'estadi de sinterització mostra una vitrificació continuada clara. El fet que el desenvolupament de la fase vitria no hagi començat a densificar la matriu, canviant l'actual microestructura i porositat, permet estimar, en ceràmiques no calcàries, que el rang de temperatures de cocció per als I<sub>c</sub> estudiats se situa de 800-850°C fins als 1000°C.

Les dades que obtenim per DRX i per MER permeten una contrastació consistent. Malgrat tot, l'estimació de la temperatura de cocció té ara menys criteris que en les agrupacions precedents.

La matriu de variació composicional de l'agrupació D2 (Taula 24), presenta una variació total que, si exceptuem l'extraordinària contribució del component Pb en el cas de l'agrupació E1, supera a la de la resta d'agrupacions definides: 1.4834439. Les contribucions més importants es deriven de les variacions relatives dels components Cu ( $\tau_{Cu} = 12.091698$ ), Pb ( $\tau_{Pb} = 8.139454$ ) i MnO ( $\tau_{MnO} = 7.224125$ ).

L'estudi dels difractogrames d'aquesta agrupació (Annex 4) permet diferenciar igualment tres categories (Figura 64), malgrat que en totes elles el quarz és la fase principal amb uns pics molt intensos:

- els I<sub>c</sub> 13, 17, 22, 27, 45, 53, 56, 59 i 83 presenten uns pics molt intensos de fil·losilicats i, menors, de calcita, feldspats alcalins i d'hematites.

- els I<sub>c</sub> 30, 32, 40 i 52, respecte dels anteriors, presenten uns pics de fil·losilicats molt menys intensos i presenten igualment pics de corindó i de mullita.

- els I<sub>c</sub> 2, 7, 8, 9, 29, 38, 41, 42, 43, 49, 50 i 54, respecte dels anteriors, presenten una absència de pics de fil·losilicats, així com uns pics de mullita més intensos.

Aquestes dades les interpretem com en les agrupacions anteriors. Les tres categories definides suposen tres rangs de temperatura de cocció diferenciats que, en el sentit que les hem exposat, impliquen un increment de la temperatura. Així, les anomenem D2b, D2m i D2a, respectivament. Aquesta interpretació la basem en el fet que s'assisteix a una progressiva descomposició dels fil·losilicats i que apareixen les crist·litzacions del corindó i de la mullita com a fases d'alta temperatura. Els rangs de temperatura de cocció que podem estimar són molt imprecisos. Per a la categoria D2b, l'única dada certa que poseïm és la no crist·lització del corindó ni de la mullita. La seva temperatura ha d'ésser, doncs, inferior a la temperatura mínima estimada per a la categoria D2m. Per a aquesta, la crist·lització de la mullita i la presència de fil·losilicats permet estimar una temperatura de vers 1000°C. Així, la categoria D2b es troba per sota d'aquesta temperatura. Val a dir, que això és perfectament concordant amb les intensitats observades en els pics de fil·losilicats. Finalment, la categoria D2a ofereix com a única diferència la descomposició dels fil·losilicats. Aquesta dada únicament ens permet estimar un rang de superior als 1000°C. Respecte al corindó, val a dir que aquesta fase pot crist·litzar a una temperatura lleugerament inferior a la de la



multifàscia. En el nostre cas, però, s'hauria de considerar, d'ésser realment certa la presència d'aquesta fase, que existeixen una sèrie de substitucions que han alterat els paràmetres de xarxa i conseqüentment, els angles de difracció i les intensitats relatives, ja que el patró del corindó no s'ajusta correctament als pics que hem interpretat associats a aquesta fase.

L'estudi de les microestructures ens permet tenir unes dades per a contrastar les observacions de DRX (Figura 65). L'I<sub>c</sub> 27 (D2b) presenta una microestructura clarament no cel·lular. L'estadi de sinterització mostra un estadi de no vitrificació o de vitrificació inicial, segons es pot deduir de la presència de les laminetes d'argiles i de l'existència d'alguna superfície suau que pot correspondre's a un inici de vitrificació. L'I<sub>c</sub> 42 (D2a) ofereix clarament una distorsió de la microestructura anterior i, sobretot, un estadi de sinterització de vitrificació continuada molt desenvolupada sense arribar a una vitrificació total ni a mostrar la característica microporositat formada per la retenció de gasos dins de la fase vítria. Les temperatures de cocció que es poden estimar s'han de situar possiblement vers els 800-850°C per a la D2b, mentre que per la D2a, es pot estimar una temperatura de vers els 1000°C.

Com en el cas de l'agrupació D1, la contrastació de les dades de DRX i de MER és possible, aportant dades consistents. Malgrat tot, els resultats són més imprecisos que els que oferien les agrupacions E1, E2, E3 i E4, pertanyents a les ceràmiques calcàries.

**Dues són ara les reflexions que cal tenir en compte:**

- es confirma el caràcter de ceràmiques no calcàries, posat de relleu per la pobresa en la fase

de carbonats que oferien els resultats de l'anàlisi química. Per a l'agrupació D1, aquest caràcter és especialment clar a partir de les observacions de MER.

- la interpretació com a diferències de temperatures de cocció, la proposem a partir de la correlació inversa existent entre les intensitats dels pics de fil·losilicats i la cristallització de la mullita. Totes les fases, malgrat tot, s'aprecien amb dificultat, degut a la forta intensitat dels pics del quarz.

Els  $I_c$  que definim com a *outliers* i que es fusionen amb les agrupacions anteriors presenten els següents difractogrames (Annex 4):

- 24: presenta una fase principal de quarz molt intensa, i pics intensos de fil·losilicats i, molt menors, feldspats alcalins, hematites i calcita.

- 66: presenta una fase principal de quarz i una segona fase de gehlenita, a més, presenta fases intenses de fil·losilicats, calcita, feldspats alcalins i hematites.

- 89: presenta una fase principal de quarz i una segona fase molt intensa de feldspats alcalins. A més, té pics intensos de fil·losilicats i d'altres, menys intensos, d'hematites i de calcita.

Vàries són les consideracions que podem fer ara respecte a les dades anteriors:

- els difractogrames dels tres  $I_c$  presenten les fases que trobàvem en les agrupacions anteriors, excepte la mullita, que no apareix en cap  $I_c$ . Les temperatures de cocció que podem estimar, en els rangs anteriorment donats, s'han de situar en la part baixa, vers els 850°.

- el difractograma de l'I<sub>c</sub> 66 ofereix una riquesa extraordinària en fases càlciques. Malgrat compartir similitud en la seva composició química amb les agrupacions pobres en la fase de carbonats, el valor del component CaO és molt elevat, dada consistent amb les intenses fases càlciques.

- el difractograma de l'I<sub>c</sub> 89 presenta uns pics extraordinàriament intensos de feldspats alcalins. Això, es correspon igualment amb el fet que el seu valor en el component K<sub>2</sub>O és anormalment elevat respecte a l'agrupació D2.

Com a conclusió general, observem com les agrupacions proposades no només ofereixen una homogeneïtat química remarcable, sinó que la seva homogeneïtat es reconeix igualment en les dades de DRX i de MER. En general, s'observa una separació entre ceràmiques calcàries, corresponents a les agrupacions E1, E2, E3 i E4, i ceràmiques no calcàries, D1 i D2. Dins de les calcàries, no s'observen diferències, a través de la DRX i de la MER, que permetin separar les agrupacions en el sentit com s'ha fet. Aquesta separació es pot fer gràcies a la composició química. Malgrat tot, les diferències que s'observen entre els diversos difractograms i les microestructures i estadis de sinterització poden ésser coherentment explicades suposant una variació en els rangs de la temperatura de cocció. L'única diferència apreciable s'estableix per a la categoria E3a que ofereix la descomposició segura dels fil·losilicats, indicant, possiblement, l'assoliment del rang més alt de temperatura de cocció. En el cas de les ceràmiques no calcàries les dades de DRX sí que suporten una separació entre les agrupacions D1 i D2, especialment per a les categories D1m i D1a, mercès a la presència de gehlenita, i per a les categories D2m i D2r, per l'absència de la gehlenita i la presència d'altres fases de cocció com el corindó i la mullita. Les dades de

MER no suporten aquesta distinció, però, a l'igual que per a les dades DRX, la hipòtesis de la variació en els rangs de la temperatura de cocció explica les diferències que s'observen.

L'observació per microscòpia òptica permet aportar les següents dades sobre les ceràmiques calcàries (Figura 66):

- agrupació E1: 64 (E1b); 11 i 14 (E1a). La matriu és vermellosa-marronosa amb nombroses inclusions de quars alotriomorf subangular, ben distribuïdes, laminetes de moscovita disperses en la matriu, quarsos policristal·lins (els majors de 240  $\mu\text{m}$ ) i opacs.

- agrupació E2: 88, 92 i 103 (E2m), 76 i 90 (E2a). La matriu presenta un color vermellós-marronós, amb nombroses inclusions de quars mono i policristal·lí d'extinció ondulant, laminetes de moscovita i alguns cristalls hipidiomorfs de feldspat alcalí. La distribució de les inclusions no és tant regular com en el grup E1 i els tamanys de gra són en general majors. S'observen petits fragments de roca (d'aproximadament 250  $\mu\text{m}$ ) en els que s'observa una certa fàbrica que s'assimila a les roques metamòrfiques, si bé no poden classificar-se amb precisió.

- agrupació E3: 18 (E3b); 84, 96, 100 i 104 (E3m); 68 (E3a). La matriu presenta un color de fons vermellós-marronós en el que s'aprecien zones més blanquinoses. Hi ha nombroses inclusions de quars ben distribuïdes de tamany mitjà. Els grans majors mesuren al voltant de 0.25 mm. S'observen cristalls hipidiomorfs de feldspat alcalí fortament alterats, fines laminetes de fil·losilicats i, en alguns l<sub>c</sub>, s'han pogut observar traces de piroxens i de gehlenita. Existeix una marcada diferència en l'aspecte de la matriu i en la composició

causada per l'efecte de la temperatura de cocció. Així, en la categoria E3b s'observa una gran quantitat de fil·losilicats, mentre que en la categoria E3a la seva presència és molt inferior. Alhora, la matriu presenta una decoloració, presentant zones blanquinoses-grisoses, apareixent petites seccions transversals que s'interpreten com gehlenita i possibles traces de piroxens.

- agrupació E4: 82 i 86. S'aprecien fragments de roca composta per feldspats alcalins, quarz i moscovita amb signes de metamorfisme. Hi ha gran quantitat de quarz monocristal·lí i policristal·lí, laminetes de moscovita i, menys, feldspats alterats. La granulometria i distribució de les inclusions són similars a les que presenta l'agrupació E2.

Així, s'observa com les dades de microscòpia òptica sí que permeten establir una diferenciació clara entre les agrupacions E1 i E3 respecte de les agrupacions E2 i E4. Les dues darreres agrupacions presenten unes inclusions de tamany major, amb una distribució més irregular i amb presència de traces de roques metamòrfiques. Per la seva part, les agrupacions E1 i E3 presenten una granulometria més regular, sense que s'observin traces de roques.

Per a les agrupacions E2 i E4 es pot suggerir un ambient de formació en proximitat d'una zona metamòrfica, degut a la presència de traces d'aquestes roques, identificables per la fàbrica i les característiques texturals que presenten. Havíem partit en el nostre treball de la possibilitat existent que gran part, o la totalitat, del material provingués de la zona dels tallers de la Rioja. Aquesta presumpció es derivava de les dades de validació. Els tallers de la Rioja, anomenats sovint tallers de l'Ebre, se situen en la vall del Najerilla. Aquest riu neix

a la Sierra de la Demanda, ben estudiada des del punt de vista geològic per Colchen (Colchen, 1974), i travessa materials del Càmbric (esquistos, calcoesquistos, arenisques, dolomies, calcàries dolomítiques i aglomerats). Travessa els anomenats esquistos i aglomerats d'Anguiano. Els esquistos estan formats entre un 75 i un 50% d'elements detrítics, quarzita i microquarzita amb extinció ondulant, feldspats alcalins (microclina i ortosa pertítica), plagiòclasis, miques. Com a minerals pesants, la turmalina, el zircó i la titanita. Com a materials secundaris, la ilmenita i la magnetita. Els aglomerats presenten bàsicament quarzita i microquarzita com a fragments de roca, quars mono o policristal·lí d'extinció ondulant, moscovites detrítics i minerals pesats com la turmalina, el zircó i l'apatita. La composició d'aquestes agrupacions, E2 i E4 que presenten traces de roques metamòrfiques, quarzita i microquarzita, així com quars mono i policristal·lí, és compatible amb la litologia dels materials que hem esmentat. És cert que aquest estudi és una aproximació preliminar i que cal tenir en compte les possibles transformacions patides en la paragenèsis primària per efectes de la cocción, malgrat tot no semblen existir incompatibilitats litològiques entre la composició d'aquests  $I_c$  i la zona del Najerilla.

Una altra observació a fer és la diferència que s'observa en la matriu dels  $I_c$  de l'agrupació E3. Les matrius de les categories E3b i E3a presenten una diferència important per les decoloracions que pateix en E3a. Si assumim l'homogeneïtat de l'agrupació i les estimacions de variacions en els rangs de temperatura de cocción ens trobarem davant d'un altre efecte del canvi de la temperatura de cocción. És l'assumpció d'aquestes transformacions degudes a un increment de la temperatura de cocción la que ens permet explicar les diferències observades dins d'una agrupació. A més, cal indicar que la simple observació per microscòpia òptica dels  $I_c$  de la categoria E3b no permet la seva classificació amb els de

### **l'agrupació E3a.**

L'observació per microscòpia òptica permet aportar les següents dades sobre les ceràmiques no calcàries (Figura 67):

- agrupació D1: 29 i 94 (D1m). Matriu ataronjada-vermellosa amb nombroses inclusions de quars alotriomorf de morfologia subangular i subrodona (80-320  $\mu\text{m}$ ), laminetes de moscovita disperses en la matriu, cristalls hipidiomorfs de feldspat alcali alterat (500  $\mu\text{m}$ ), quars policristal·lí, gran quantitat d'opacs i calcita implantada en por. Han estat localitzades algunes seccions de microclina amb la característica macla en graella.

- agrupació D2: 27, 53 i 56 (D2b); 8, 29, 38, 43, 50 i 54 (D2a). Matriu ataronjada-vermellosa, lleugerament més fosca que en l'agrupació D1. Destaca la gran quantitat de cristalls alotriomorfs de quars de granulometria diversa (fins a 640  $\mu\text{m}$ ) i gran quantitat d'opacs. Presència de feldspat alcali hipidiomorf. En general, s'observa una mala distribució de les inclusions amb gran diversitat granulomètrica. Aquest grup sembla ésser una mica més ric en quars i opacs que l'anterior.

La separació entre aquestes dues agrupacions i les quatre precedents és clara. Es tracta de diferències eminentment texturals referides al tamany i distribució de les inclusions, més que a diferències composicionals acusades. Els majors problemes es donen en la diferenciació entre les agrupacions D1 i D2 respecte de les E2 i E4. Malgrat tot, les agrupacions D1 i D2 presenten una granulometria major i amb una distribució irregular, mentre que les agrupacions E2 i E4 presenten algunes inclusions grans però que segueixen

una distribució molt més regular i traces de fragments de roca que no estan present, ni a D1, ni a D2.

La diferenciació entre les agrupacions D1 i D2 és difícil i es basa en diferències texturals relacionades amb el contingut de quars i d'opacs, que és major en l'agrupació D2.

Per a aquestes dues agrupacions no és possible suggerir un origen, degut a la manca de fragments de roques o de minerals de diagnòstic, però l'abundant presència de quars mono i policristal·lí amb extinció ondulant i moscovites detritisques pot indicar un ambient de formació sedimentari, potser amb afloraments metamòrfics propers. En aquest cas, com en l'anterior, sembla important tenir en compte el paper jugat pels rius com a vies de transport de materials.

L'estudi MER-EDX-ER el dividim en dos apartats, separant les ceràmiques calcàries de les ceràmiques no calcàries estudiades, degut a que les observacions donen els mateixos resultats independentment de les agrupacions:

- ceràmiques calcàries: s'han observat els L- 64 (E1b), 76 (E2a) i 68 (E3a). Com en el cas d'Abella, presenten inclusions riques en ferro, en titani i en ferro i titani. També, presenten inclusions riques en fòsfor i terres rares que es poden associar a la monacita. El tamany d'aquestes inclusions és generalment major a les d'Abella amb un tamany superior als 5  $\mu\text{m}$ , arribant fins els 10  $\mu\text{m}$ . Es troben igualment inclusions amb un tamany normalment d'entre 20 a 50  $\mu\text{m}$  que donen un espectre de Si i Zr, que associem amb el zircó ( $\text{ZrSiO}_4$ ) (número atòmic mitjà 24.8).



- ceràmiques no calcàries: s'han observat els I<sub>c</sub> 39 (D1m) i 38 (D2a). Com en el cas anterior, s'observen inclusions de ferro, de titani i de ferro i titani amb tamanys de fins a 100 μm. També hi ha inclusions que assumim que són de zircó, amb uns tamanys també de fins a 50 μm. També hi ha la presència d'inclusions molt freqüents que es poden associar a la monacita amb tamanys de fins a 10 μm, amb pics molt intensos de Ce i Nd que poden arribar a ésser més intensos que el del P. A més, en el cas de l'I<sub>c</sub> 38 hi ha inclusions de moracita de 20 i 30 μm. Unes inclusions particulars, molt infreqüents i amb un tamany de fins 10 μm presenten un pic molt ample aproximadament en la zona de 1.98 keV. Aquesta energia correspon aproximadament a la de l'Ir però l'amplada anormal del pic i la seva posició indiquen la superposició dels pics del P i de l'Y. Aquestes inclusions presenten l'espectre típic de la xenotima (YPO<sub>4</sub>) (número atòmic mitjà 24.2)<sup>105</sup>.

#### 6.4.2.2. Conclusions.

L'estudi de caracterització arqueomètrica ha posat de relleu l'existència d'una estructura que respon a una mostra poligenètica. El fet que treballem a N<sub>c</sub> dificulta la seva interpretació i deixa els resultats que oferirem susceptibles de canvis i de noves interpretacions, especialment en el cas que sigui possible passar al N<sub>p</sub>.

Resulta evident l'existència de dos tipus clars de ceràmiques, unes calcàries i unes no calcàries. Dins de les ceràmiques calcàries hi incloem quatre agrupacions que denominem E1, E2, E3 i E4 i tots els I<sub>c</sub> que, definits com a *outliers*, es fusionen amb aquestes

---

<sup>105</sup>.- Agraïm l'ajut en la interpretació d'aquestes inclusions al Dr. Melgarejo, de la Facultat de Geologia de la Universitat de Barcelona.

agrupacions en l'AA (Figura 49). Dins de les ceràmiques no calcàries hi inclouem dues agrupacions que denominem D1 i D2 i tots els  $I_c$  que, definits com a *outliers*, es fusionen amb aquestes agrupacions en l'AA.

Centrant-nos en les ceràmiques calcàries observem:

- les quatre agrupacions que s'hi formen ofereixen una certa similitud química, però hi ha una diferència clara entre les agrupacions E1 i E3, d'una banda, i les agrupacions E2 i E4, de l'altra. Aquesta diferència és igualment contrastable amb la microscòpia òptica, especialment per les traces de roques metamòrfiques que s'observen en les agrupacions E2 i E4.
- les agrupacions E1 i E3, malgrat mostrar una gran similitud química, ofereixen alguna diferència menor. L'agrupació E3 és més rica en carbonats i aquesta major riquesa és clarament constatable en les transformacions d'alta temperatura, amb les transformacions de la matriu i pel major desenvolupament de les fases  $\alpha$ -zocció.
- les agrupacions E2 i E4, mostren també una gran similitud química, però ofereixen una clara diferenciació mineralògica en la freqüència i tamany de les inclusions.
- dos dels  $I_c$  definits com a *outliers*, el 44 i el 57, ofereixen una composició química que s'allunya de la resta d' $I_c$  que inicialment havíem inclòs en aquest grup de ceràmiques calcàries. La seva composició, en realitat, és no calcària. Aquest fet queda clarament reflectit en les ACP realitzades, especialment en l'ACP amb rotació variada, amb la projecció de les

C1 i C2 (Figura 51). Igualment, la seva composició és clarament diferent a les agrupacions D1 i D2. La composició d'aquests dos  $I_c$  és similar entre si i les diferències que s'observen en els seus difractogrames poden ésser explicades en termes de canvis de temperatura. No podem descartar, doncs, la necessitat de definir una nova agrupació a partir d'aquests dos  $I_c$ .

- els  $I_c$  10, 87 i 99 presenten una composició química diferent a la de les agrupacions anteriors. Malgrat tot, les seves característiques mineralògiques poden associar-se a les de l'agrupació E3, amb una cristallització de la leucita, excepte per a l' $I_c$  87, com a funció de la cocció a una temperatura superior a l'estimada per la categoria E3a. Així doncs, possiblement es puguin classificar com a sobrecoctes.

- els  $I_c$  15 i 36 presenten una composició mineralògica amb unes fases de calcita anormalment altes, respecte als difractogrames de la resta d' $I_c$ . Els valors de les seves PAF són dos dels quatre únics valors que superen el 6%.

- l' $I_c$  65 presenta una composició mineralògica amb certes diferències respecte de la resta d' $I_c$ . Malgrat tot, la seva composició química no en difereix de manera clara.

- els  $I_c$  5, 35, 51, 55 i 81 ofereixen unes composicions similars a les de les agrupacions E1 i E3. La seva situació marginal pot respondre a una multiplicitat de factors que en un treball a  $N_c$  no poden ésser considerats per la mateixa definició d'un  $N_c$ .

Centrant-nos en les ceràmiques no calcàries observem:

- les agrupacions D1 i D2 ofereixen similituds remarcables, però la primera agrupació presenta un contingut més ric en una fase de carbonats càlcics, que durant la cocció han permès la cristallització de la gehlenita. A més, en microscòpia òptica i en MER-EDX-ER s'aprecien diferenciacions texturals.

- l'I<sub>c</sub> 66 presenta una composició química anormalment rica en CaO per a les ceràmiques no càlciques, si bé manté característiques típiques de les composicions d'aquestes agrupacions. Aquest valor anormalment alt en CaO es correspon amb els pics anormalment intensos de les fases de calcita i de gehlenita. Especialment aquesta darrera, permet observar l'existència d'un contingut en carbonats càlcics anormalment elevats abans de la cocció que poden permetre pensar en la possibilitat de definir una nova agrupació.

- l'I<sub>c</sub> 89 presenta una composició mineralògica amb una fase anormalment intensa de feldspats alcalins. La seva composició química presenta igualment uns valors de K<sub>2</sub>O i de Rb anormalment alts i que associem amb aquesta riquesa en feldspats alcalins. Així, aquesta composició permet pensar també en la possibilitat de definir una nova agrupació.

- l'I<sub>c</sub> 24 presenta una composició similar a la de l'agrupació D2. La seva situació com *outlier* d'aquesta agrupació es pot deure a una multiplicitat de factors que no poden ésser considerats en un treball a N<sub>c</sub>.

Una darrera consideració general és que el rang de temperatures de cocció estimades és, en comparació amb la mostra d'Abella, més restringit. En les ceràmiques calcàries es troba situat bàsicament entre vers 850°C i vers 1050°C. Només els I<sub>c</sub> de la categoria E3a

semblen haver depassat aquesta temperatura màxima. En el cas dels I<sub>c</sub> 10, 87 i 99 estímem que igualment la temperatura ha estat superior als 1050°C, arribant potser fins vers els 1100°C. En el cas de les ceràmiques no calcàries, les temperatures cal estimar-les en els rangs inferiors de vers els 800°C o 850°C, a partir principalment de MER, per a les agrupacions D1b i D2b, així com per als I<sub>c</sub> 24, 44 i 89. Els rangs superiors s'estimen vers els 1000°C. Aquesta diferència entre rangs de temperatures de cocció estimades amplis a Abella i restringits a Clunia està d'acord amb que els materials estudiats pertanyen, respectivament, a contexts productors i receptors.

Una remarca a fer en aquest moment és que en cap cas, ni tan sols en les ceràmiques calcàries s'observa una evolució de colors de la matriu com la que es dona a Abella. Els colors es mantenen generalment sempre, tant per la matriu com per al vernís, en les games ataronjades, vermelles i marrons. Únicament l'I<sub>c</sub> 58 (E1a) presenta un color de matriu clarament fosc i un vernís que, macroscòpicament, es percep com a marró-fosc. Aquesta problemàtica ja ha estat anteriorment discutida.

Existeix una sèrie de qüestions pendents que presenten difícil solució en el N<sub>c</sub> en que treballem i que fan referència a la possible existència de processos de contaminacions o d'alteracions en els I<sub>c</sub> de la mostra estudiada:

- hem pogut comprovar com la calcita és una fase present en la major part dels I<sub>c</sub> de la mostra. Si bé en la major part dels casos en que ens trobem fases que interpretem de cocció és impossible saber si l'origen d'aquesta calcita és primària o secundària, amb aportació externa o no, en alguns casos pot sospitar-se la possibilitat d'una aportació externa. Aquests

casos, especialment poc clars a  $N_c$  on no es posseeixen dades comparatives segures, es poden establir per als  $I_c$  15 i 36. Com ja hem assenyalat, la intensitat dels seus pics de calcita és absolutament anormal en la mostra que estudiem. Les seves PAF són també anormalment altes i, a més, en el cas de l' $I_c$  36 les fases mineralògiques permeten estimar temperatures de cocció massa elevades per al comportament que ofereixen aquests  $I_c$ . Igualment, l' $I_c$  105 (E3a) presenta un valor de PAF i una intensitat en els pics de calcita que no es corresponen amb la resta d' $I_c$  de la categoria, essent anormalment alts. En aquests tres casos pot estimar-se com a possible la presència d'aportació externa de calci.

- hem observat en discutir la composició mineralògica de la categoria E3a com es constata la cristallització de l'analcima en tres dels seus  $I_c$ : 68, 98 i 101. Aquests tres  $I_c$  són igualment els qui presenten uns valors més alts en els  $\ln(Na_2O/SiO_2)$ . Resulta evident la incompatibilitat entre pertànyer a una categoria d'E3a, que és per a la que hem estimat el rang de temperatura de cocció més elevat, i la presència d'una fase com és l'analcima. D'aquesta manera, queda ben evident el seu caràcter secundari. Però no és només en aquests tres  $I_c$  on trobem la cristallització de l'analcima. Igualment, la trobem en els  $I_c$  10, 87 i 99, per als quals havíem suposat la temperatura de cocció més elevada de la mostra. Tots aquests  $I_c$  havien estat considerats com a sobreocions, possiblement poc severes. En el gràfic de doble entrada Analcima- $\ln(Na_2O/SiO_2)$  (Figura 68), on l'analcima ha estat semi-quantificat a partir de les comptes per segon del seu pic de 5.59 Å, s'observa clarament l'existència d'una correlació directa entre ambdós valors, a partir de l'ajust que s'intueix a una línia de regressió.

- dels  $I_c$  presos en consideració anteriorment, l' $I_c$  87 presentava la peculiaritat de no mostrar

la cristallització de la leucita. A més, aquest  $I_C$  és el que presentava els valors més alts en la intensitat de l'analcima i en els  $\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)$ . L'observació dels valors dels  $\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)$  permet veure que el valor més baix de tota la mostra correspon a aquest  $I_C$ , essent anormalment baix per a les ceràmiques calcàries. Malgrat no tenir prou elements per a suportar-ho, creiem que cal tenir en compte que aquest valor anormalment baix pugui tractar-se d'una alteració possiblement de la fase vítria que hagi permès la lixiviació del potassi. La major cristallització de l'analcima podria llavors estar en relació amb una major quantitat de sílice lliure.

- un component que presenta unes variacions en els seus valors (entre 4 i 72 ppm en tota la mostra) que poden semblar aleatòries és el Cu. Malgrat tot, no podem descartar l'existència de fixacions post-deposicionals quan, per exemple, en l'agrupació D2 els valors extrems se situen a 4 i 63 ppm.

- els valors del component  $\text{P}_2\text{O}_5$  són en tots els  $I_C$  baixos, però no pot descartar-se l'existència de petites fixacions, com per exemple en el cas de l' $I_C$  99.

- els valors del component Pb presenten una dispersió anormalment gran. Per a aquest component han estat descrites l'existència de fixacions lligades a un medi deposicional proper a una zona marítima (De Paepé, 1979) o propera a un objecte d'aquest metall (Picon, 1985b). Igualment, s'ha suposat un possible mecanisme de fixació a través de la cristallització de zeolites (Picon, 1991). En la present mostra, observem uns valors anormalment alts en els següents  $I_C$ , expressats en ppm entre parèntesi:

. categoria E1b: 47 (1241), 62 (104), 63 (174), 64 (127).

- . categoria E1m: 46 (1465), 48 (198).
- . categoria E1a: 58 (166).
- . categoria E3m: 61 (106).
- . *outliers* calcaris: 51 (722), 55 (1114), 65 (207). La temperatura de cocció estimada s'ha de considerar baixa o mitjana respecte del rang estimat en ceràmiques calcàries.
- . possible agrupació I<sub>c</sub> 44 i 57: 57 (221). La temperatura de cocció cal estimar-la mitjana.
- . categoria D1b: 25 (125).
- . categoria D2b: 45 (172), 53 (116), 56 (134), 59 (117).
- . categoria D2m: 52 (129).

Vàries són les conclusions que podem extreure d'aquestes dades. En primer lloc, observem com tots els I<sub>c</sub> procedeixen de les tavernes del fòrum, excepte l'I<sub>c</sub> 25, que procedeix del TS-622. En segon lloc, observem com tots els I<sub>c</sub> que presenten aquests valors anormalment alts corresponen a temperatures de cocció situables en els rangs de baixes o mitjanes. Únicament l'I<sub>c</sub> 58 presentava una temperatura de cocció alta, si bé ja hem explicat com aquest I<sub>c</sub> presenta una possible cocció posterior a la seva fabricació en ambient reductor. En tercer lloc, comprovem com els valors més elevats corresponen a ceràmiques calcàries. El valor més elevat per a una ceràmica no calcària és tan sols de 172 ppm. Així doncs, interpretem aquestes dades en termes de fixacions. Aquestes fixacions semblen afectar més als I<sub>c</sub> amb baixes temperatures de coccions i, igualment, als que pertanyen a les ceràmiques calcàries. Així, és interessant senyalar que tots els I<sub>c</sub> de la taverna 6 (TS-233) presenten aquestes fixacions, excepte els I<sub>c</sub> 49, 50 i 54 que pertanyen a la categoria D2a. Desconeixem els mecanismes que poden regir aquesta fixació, el paper de les aigües de circulació i del possible objecte metàl·lic, però podem suposar l'existència d'un tercer factor important que



seria la distància a la font contaminant, ja que d'una altra manera seria difícil explicar unes dispersions tant àmplies.

Si reprenem ara l'observació de les matrius de variació composicional veurem com l'agrupació E1 (Taula 19) presentava una valor  $\tau_{Pb}$  completament anormal, que suposava el 82.68% de l'aportació a la variació total. La interpretació dels valors que presenten alguns  $I_C$  en el component Pb com a fixacions, que serien a més els valors més alts de la mostra, és consistent amb aquest valor. Igualment, la possibilitat que petites fixacions de Cu s'hagin produït i es reflectissin en el valor de 53 ppm de l' $I_C$  62, explicaria el valor del  $\tau_{Pb}$  que és alt en relació a la resta de valors de la taula, excepte evidentement el del  $\tau_{Cu}$ . Aïhora, això permet assegurar l'homogeneïtat de l'agrupació. En el cas de l'agrupació E3, el component  $\tau_{Pb}$  comporta també el major valor de la matriu de variació composicional (Taula 21). Aquest valor elevat és fruit de la fixació produïda en l' $I_C$  61 abans discutida. L'altre valor elevat de la matriu correspon al valor  $\tau_{Cu}$  que està igualment afectat en algun dels seus  $I_C$  per les possibles petites fixacions que abans hem apuntat. Igualment, cal pensar que el valor  $\tau_{Na_2O}$  està afectat per les cristallitzacions de l'analcima. Així, aquests fets asseguren l'homogeneïtat de l'agrupació. En el cas de l'agrupació D1 (Taula 23) els valors  $\tau_{Pb}$  i  $\tau_{Cu}$  ofereixen els valors més alts de contribució a la variació total. En aquesta agrupació, ambdós components presenten valors de fixacions que expliquen les majors variacions relatives amb la resta de components. Igual que en les agrupacions anteriorment discutides, la constatació de possibles fixacions permet reforçar l'homogeneïtat del grup. Finalment, el cas de l'agrupació D2 presenta els mateixos problemes per als components Pb i Cu. Igualment, hem vist com en el cas de les fixacions del Pb varis dels  $I_C$  d'aquesta agrupació les mostraven. En el cas del Cu, les petites variacions que hem constatat són extremes en aquesta agrupació.

Això ajuda a explicar el valor que pren el  $\tau_{Ca}$ , el més alt de la matriu. Un darrer valor alt que queda és el del  $\tau_{MnO}$ . La repetició de l'AA que hem realitzat (Figura 49), però sense incloure en la subcomposició aquest component, permet tenir una agrupació amb una distància ultramètrica de fusió similar a les altres agrupacions. Així, cal pensar que la major variabilitat observada es deu a les variacions relatives d'aquest component amb la resta de components, com s'observa en la matriu de variació composicional. L'observació de l'histograma dels  $\ln(MnO/SiO_2)$  d'aquesta agrupació (Figura 69), deixa veure clarament l'existència de certes mostres amb valors anormalment alts, produint-se una asimetria vers la dreta. El primer estudi que va detectar fixacions de Mn (Freeth, 1967) va posar ja de relleu el paper realitzat per les condicions reductores de la matèria orgànica que permet la solubilització del MnO en les aigües de circulació. Béarat, igualment ha destacat la solubilitat del MnO en tots els matèries orgànics una mica àcids (Béarat, 1990). Les fixacions s'han posat en relació al caràcter no calcari de les ceràmiques i en relació amb la porositat aparent deguda a la temperatura de cocció (Dufournier, 1979). Però igualment han estat posades en relació al caràcter calcari i a la temperatura de cocció, actuant les dues característiques com a afavoridores de la porositat on es produïa la fixació, probablement com a pirolusita ( $MnO_2$ ) (Walter, 1988; Walter i Besnus, 1989). Malgrat tot, s'han relacionat també amb l'existència de sobrecoccions (Schmitt, 1989). Altres autors han senyalat igualment aquestes fixacions (Asaro *et al.*, 1975; Schneider i Hoffmann, 1976; Lasfargues i Picon, 1982; Lemoine i Picon, 1982; Picon, 1985b; Jones, 1986; Picon, 1987). En el nostre cas els quatre  $I_C$  que presenten els valors més alts en els  $\ln(MnO/SiO_2)$  pertanyen tots a la categoria D2a. Excepte l' $I_C$  38, tots els altres procedeixen de contexts on són els únics  $I_C$  mostrejats (41 del TS-736; 2 del TS-266; 42 del TS-155). En el cas de l' $I_C$  38, el seu context deposicional és el TS-631, del qual procedeix també l' $I_C$  40 (D2m) i que presenta un valor baix. Per a la

resta d' $I_C$  és possible que no existeixi cap possible problema de fixació, donat que presenten valors crus de 0.01 i 0.02% que, amb les determinacions de MnO sobre perla i amb patronatge en %, no ofereixen cap diferència significativa. Es d'assenyalar com els contextos deposicionals amb més  $I_C$  pertanyents a aquesta agrupació, com són el TS-622, el TS-233 i el TS-621, no presenten cap possible fixació. En la mostra de Clunia estudiada, sembla possible l'existència d'una fixació de MnO associada a les ceràmiques no calcàries i a una temperatura de cocció alta. Igual que en les agrupacions anteriors, la constatació de possibles fixacions permet reforçar l'homogeneïtat del grup.

Abans de finalitzar aquest apartat, voldriem tornar a insistir sobre el problema evident que planteja el treballar en el nivell en que ens estem desenvolupant donat que, efectivament, en el  $N_C$  ni les similituds ni les diferències tenen punts de referència per a avaluar-ne la seva importància i efecte.

## 6.5. Conclusions arqueològiques.

L'estudi dels  $I_C$  en relació amb els seus contextos estratigràfics ens permet realitzar una sèrie d'observacions:

- les possibles fixacions de Ca no aporten cap informació. Degut al treball a  $N_C$  no podem establir amb certesa cap base raonable per a suposar l'aportació externa de calci en cap  $I_C$  de la mostra. Els únics casos en els quals es pot suposar que aquest procés ha tingut lloc ha estat pels  $I_C$  15 i 36 (TS-622) i 105 (TS-474). La manca d'elements comparatius no permet suposar o no suposar una dependència del medi deposicional.

- les cristallitzacions d'analcima, que suposen la fixació de Na, es produeixen en els  $I_C$  68, 87, 99, 98 i 101 (TS-474) i 10 (TS-621). Hem interpretat aquesta cristallització com a dependent de l'estadi de sobrecocció dels  $I_C$  de ceràmiques calcàries. Els únics que podem associar a una categoria definida són els  $I_C$  68, 98 i 101 a la categoria E3a. Els valors dels  $\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$  dels  $I_C$  87, 99 i 101 són similars als de l'agrupació E3. Interpretem que es tracta d'*outliers* d'aquesta agrupació que degut a una major sobrecocció, amb la cristallització de la leucita, han patit unes operacions de pertorbació en el seu vector composicional que ha produït les unes distàncies composicionals majors. Degut a que són els  $I_C$  per als quals estimem la màxima temperatura de cocció, hem d'interpretar que no podem valorar el context deposicional, donat que no tenim  $I_C$  amb les mateixes característiques en tots els contextos deposicionals.

- en l'apartat anterior hem inclòs l' $I_C$  87 en les consideracions de la sobrecocció, quan aquest  $I_C$  no presenta la cristallització de la leucita. Malgrat tot, interpretem que, paral·lelament al que hem observat a Abella, cas que sembla presentar certes similituds amb el present, quan no es produeix la cristallització de la leucita, o les intensitats dels seus pics en DRX semblen indicar que la cristallització és menor, les cristallitzacions d'analcima són majors i el valor del Na fixat és també major, produint-se paral·lelament a una lixiviació del K. Aquestes alteracions i contaminacions produeixen un seguit d'operacions de pertorbació sobre el vector composicional que causa un increment de la distància respecte al centroid de l'agrupació i, en el  $N_1$ , una alteració de la funció de distribució en l'espai  $R^d$ . El fet que es tracti d'un únic  $I_C$  i que s'associï probablement a un problema de sobrecocció no permet deduir cap influència del medi deposicional.

- En el cas de les possibles fixacions de Cu, podem observar que les agrupacions amb valors alts de  $\tau_{Cu}$  en les seves matrius de variació composicional són les agrupacions E1, E3, D1 i D2. Observem en l'agrupació E1 com l' $I_C$  62 (E1b) presenta un valor anormalment alt. En el cas de l'agrupació E3, el responsable de l'alt valor de les variacions relatives del Cu amb els altres elements és, principalment, l' $I_C$  61 (E3m). En l'agrupació D1, els  $I_C$  25 (D1b) i 26 (D1m). En l'agrupació D2, els  $I_C$  7, 8 i 9 (D2a) i 45 (D2b). També, els  $I_C$  definits com a *outliers* 5 (calcària de temperatura de cocció mitjana) i 51 (calcària de temperatura de cocció baixa o mitjana). La procedència dels  $I_C$  és: 5, 7, 8 i 9 del TS-621; 25 i 26 del TS-622; 45 del TS-216; 51 del TS-233; 61 i 62 del TS-235. El fet que les possibles fixacions s'haguessin produït en ceràmiques calcàries i en ceràmiques no calcàries, amb diversos rangs de temperatures, sembla indicar que el factor principal podria haver estat el context deposicional.

- respecte de la possibilitat de l'existència de petites fixacions de fòsfor, hem comentat la presència de petites variacions que no podem considerar com a bases segures per a afirmar la realitat d'aquestes fixacions. Malgrat tot, l' $I_C$  99 sí que presenta un valor anormalment alt. Aquest  $I_C$ , que hem interpretat com a una sobrecocció i que presenta cristallitzacions d'analcima, procedeix del TS-474. Així doncs, sembla no poder-se detectar cap comportament determinant del medi de deposició.

- En el cas del plom la situació es presenta diferent. Hem vist com, a part de l' $I_C$  25 (TS-622), l'únic no procedent de les tavernes que presenta aquesta fixació, la resta d' $I_C$  que la presenten procedeixen de les tavernes: 45 del TS-233 (Taverna 6); 46 del TS-216 (Taverna 5); 47, 48, 51, 52, 53, 55, 56, 57, 58 i 59 del TS-232 (Taverna 7); 61 i 62 del TS-235

(Taverna 4); 63 i 64 del TS-270 (Front a la Taverna 10); 65 del TS-272 (Taverna 12). En aquest cas, sembla existir una clara dependència entre uns àmbits determinats i les fixacions resultants.

- En el cas de les possibles fixacions de MnO, sols s'han detectat, associades a la categoria D2a, en quatre contextos concrets: 42 en el TS-155, 38 en el TS-631, 2 en el TS-265 i 41 en el TS-736. El fet que  $I_c$  d'aquesta categoria es trobin en altres contextos, com són el TS-214, el TS-233, el TS-621 i el TS-622, permet pensar en una possible influència del context deposicional i permet plantejar-se quina informació pot reportar sobre el context deposicional la no fixació de manganés en aquells contextos on no s'hagi produït.

Malgrat aquestes consideracions, cal pensar que la informació sobre el context deposicional que tenim és essencialment incompleta i que no podem menystenir la influència que els materials no ceràmics procedents dels mateixos contextos deposicionals hagin pogut tenir en els processos observats, havent d'ésser considerats com a processos influïts pel medi però a un nivell de microespai.

Si examinem les sis agrupacions definides, podem fer les següents consideracions (els  $I_c$  senyalats amb un asterisc corresponen als classificats com a TSH/TSHA):

- l'agrupació E1 (Figura 70) presenta les següents formes:

- . Drag. 37 av.: 1 (D1a) (TS-224, Teatre); 11 (D1a) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 47 (D1b) (TS-233, Taverna 6).
- . Hisp. 42: 48 (D1m) (TS-233, Taverna 6).

- . Pedrosa 8c: 63 (D1b) (TS-270, Front a Taverna 10).
- . Ritt. 8: 14\* (D1a), 16 (D1a) i 19\* (D1m) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II).
- . Ritt. 8b: 46 (D1m) (TS-232, Taverna7); 62 (D1b) (TS-235, Taverna 4).
- . vasos indeterminats: 58 (D1a) (TS-233, Taverna 6); 64 (D1b) (TS-270, Front a Taverna 10); 95 (D1b) (TS-474, Ampliació 7 i 8).

S'observen 13 I<sub>c</sub> dels quals 2 han estat classificats com a TSH/TSHA. No s'observa cap comportament sistemàtic entre les tipologies observades i els rangs de temperatura de coccio estimats. Dels 13 I<sub>c</sub>, 1 es troba en el TS-224, 4 en el TS-622, 3 en el TS-233, 2 en el TS-270, 1 en el TS-232, 1 en el TS-235 i 1 en el TS-474. A partir de les dades dels contextos estratigràfics, exposades en l'apartat 6.4.1., aquesta agrupació es pot datar a finals del S. II i S. III. L'únic problema que representa aquesta datació és l'I<sub>c</sub> procedent del TS-474. Malgrat tot, degut als problemes que presenta aquest context, considerem a aquest I<sub>c</sub> com a una intrusió.

- l'agrupació E2 (Figura 71) presenta les següents formes:

- . Hisp. 4: 71 (E2m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Drag. 15/17: 73 (E2b) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Drag. 44: 76 (E2a) i 103\* (E2m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Hisp. 42: 77 (E2m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Ritt. 8: 4 (E2a) (TS-306, Teatre); 20 (E2a) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 80 (E2b) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Ritt. 8b: 3 (E2m) (TS-305, Teatre); 88 (E2m), 90 (E2a), 91 (E2a), 92 (E2m) i 93 (E2b) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Vas indeterminat: 31 (E2b) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II).

S'observen 15 I<sub>c</sub> dels quals 1 ha estat classificat com a TSH/TSHA. No s'observa cap comportament sistemàtic entre les tipologies observades i els rangs de temperatura de cocció estimats. Dels 15 I<sub>c</sub>, 11 es troben en el TS-474, 2 en el TS-622, 1 en el TS-305 i 1 en el TS-306. La datació d'aquesta agrupació s'ha de proposar a partir de la seva presència majoritària en el TS-474, podent-se tractar els dos I<sub>c</sub> del TS-622 de materials arrossegats.

- l'agrupació E3 (Figura 72) presenta les següents formes:

- . Drag. 37 av.: 67 (E3m), 68, 69 (E3b) i 70 (E3b) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Drag. 15/17: 100\* (E3m) i 101\* (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Drag. 27: 74 (E3m), 75 (E3b) i 102\* (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Drg. 36: 98\* (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Ritt. 8: 6 (E3b) (TS-621, Hab. 24 Los Arcos II), 18 (E3b) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 37 (E3m) (TS-631, Hab. 4 Los Arcos II); 79 (E3b), 84 (E3m) i 104\* (E3m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Pitt. 8b: 61 (E3m) (TS-235, Taverna 4).
- . Hisp. 6: 96\* (E3m) i 97\* (E3m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).
- . Vasos indeterminats: 28 (TS-622, Ampliació 7 i 8); 60 (E3b) (TS-234, Taverna 5); 105\* i 106\* (E3m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).

S'observen 23 I<sub>c</sub> dels quals 9 han estat classificats com a TSH/TSHA. No s'observa cap comportament sistemàtic entre les tipologies observades i els rangs de temperatura de cocció estimats. Dels 23 I<sub>c</sub>, 17 es troben en el TS-474, 2 en el TS-622, 1 en el TS-621, 1 en el TS-631, 1 en el TS-234 i 1 en el TS-235.

Les consideracions cronològiques són les mateixes que per a l'agrupació E2.



- l'agrupació E4 (Figura 73) presenta les següents formes:

. Ritt 8: 78, 82 i 85 (TS-474, Ampliació 7 i 8).

. Ritt 8b: 86 (TS-474, Ampliació 7 i 8).

Tots els 4 I<sub>C</sub> observats es troben en el TS-474. La seva datació correspon a la donada per a aquest context.

- l'agrupació D1 (Figura 74) presenta les següents formes:

. Drag. 15/17: 72 (D1m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).

. Pedrosa 12: 12 (D1m) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II).

. Ritt. 8: 21 (D1a) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II).

. Ritt. 8b: 23 (D1m) i 25 (D1b) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 39 (D1m) (TS-631, Hab. 4 Los Arcos II).

. Vasos indeterminats: 26 (D1m) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 94 (D1m) (TS-474, Ampliació 7 i 8).

. Formes indeterminades: 33 (D1a) i 34 (D1m) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II).

No s'observa cap comportament sistemàtic entre les tipologies observades i els rangs de temperatura de cocció estimats. Dels 10 I<sub>C</sub>, 2 es troben en el TS-474, 7 en el TS-622 i 1 en el TS-631. Per als dos I<sub>C</sub> procedents del TS-474, valen les consideracions fetes per a l'agrupació E1. La seva cronologia, però, sembla no arribar a època de Gal·liè, ja que es troba en conjunts de datació més antiga.

- l'agrupació D2 (Figura 75) presenta les següents formes:

. Ritt. 8: 1? (D2b) i 17 (D2b) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 40 (D2m) (TS-631,

Hab. 4 Los Arcos II); 41 (D2a) (TS-736, Forat de saqueig claveguera); 43 (TS-214,

Taverna 10); 49 (D2a), 50 (D2a), 52 (D2m) i 53 (D2b) (TS-233, Taverna 6); 83 (D2b) (TS-474, Ampliació 7 i 8).

. Ritt. 8b. 7 (D2a) (TS-621, Hab. 24 Los Arcos II); 22 (D2b) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 38 (D2a) (TS-631, Hab. 4 Los Arcos II); 54 (D2a) (TS-233, Taverna 6).

. Vasos indeterminats: 2 (D2a) (TS-266, Teatre); 8 (D2a) i 9 (D2a) (TS-621, Hab. 24 Los Arcos II); 27 (D2b) 29 (D2a), 30 (D2m) i 32 (D2m) (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 42 (D2a) (TS-155, Taverna 1); 45 (D2b) (TS-216, Taverna 11); 56 (D2b) i 59 (D2b) (TS-233, Taverna 6).

No s'observa cap comportament sistemàtic entre les tipologies observades i els rangs de temperatura de coccio estimats. Dels 25 I<sub>c</sub>, 7 es troben en el TS-622, 6 en el TS-233, 3 en el TS-621, 2 en el TS-631 i 1 en els TS-736, TS-214, TS-474, TS-266, TS-15 i TS-216. Per a l'I<sub>c</sub> DEL TS-474, valen les consideracions fetes al comentar l'agrupació E1. La seva datació, com la de l'agrupació E1, la situem a finals del S. II i S. III.

Aquestes dades, doncs, ens permeten de veure que les diferents agrupacions que hem definit presenten una cronologia de des de mitjans a finals de S. II per a les agrupacions E2, E3 i E4, de finals de S. II a mitjans de S. III per a l'agrupació D1 i de finals de S. II a finals de S. III per a les agrupacions E1 i D2 (Figura 76).

Les cronologies utilitzades per als conjunts emprats i la distribució dels I<sub>c</sub> de les diferents agrupacions en els conjunts es reforcen mútuament, donat que, malgrat que les dades d'excavació no siguin tot el precises que caldria, semblen contrastar-se correctament ambdues realitats. Evidentment, els quatre I<sub>c</sub> de les agrupacions datades en S. III que apareixen en el TS-474 són la contradicció més clara al que proposem.

L'existència d'aquesta separació cronològica entre les agrupacions E1 i E3 permet observar que les variacions composicionals, per bé que dèbils, es contrasten amb un fet arqueològic. Aquesta constatació, entenem que ens obliga a mantenir-les com a dues agrupacions separades. D'altra banda, malgrat les similituds mostrades per les agrupacions E2 i E4, les diferències composicionals observades ens obliguen d'igual manera, entenem, a mantenir la separació. D'aquesta manera, i tenint present que el treball es desenvolupa a  $N_c$ , definim l'existència de sis unitats de referència composicional de pasta (URCP), que designem per E1, E2, E3, E4, D1 i D2. Per a cada una d'aquestes URCP podem estimar una única pasta, que es tracta evidentment d'una  $P_c$ , que podem designar com a  $P_{cE1}$ , etc.. A més, podem estimar dues fàbriques en el cas de les URCP E1 i E2, que corresponen a la part baixa i a la part alta del rang de temperatures de cocció estimat per a cada URCP, donades les diferències mineralògiques i microestructurals que mostren. D'aquesta manera, per exemple per a la URCP E1, per a la que podem estimar una  $P_{cE1}$ , estimem dues fàbriques que són  $F_{cE1b}$  i  $F_{cE1a}$ . En el cas de les URCP E3, D1 i D2 són tres les fàbriques que es poden estimar. Per exemple,  $F_{cE3b}$ ,  $F_{cE3m}$  i  $F_{cE3a}$ . Per a la URCP E4, estimem únicament una  $F_c$  i una  $P_c$ .

Sobre la possible provenença d'aquestes URCP, hem comprovat com la microscòpia òptica permetia identificar una composició mineralògica per a les URCP E2 i E4 que era compatible amb la litologia de la vall del Najerilla. Les similituds composicionals existents entre aquestes dues URCP i les URCP E1 i E3 ens obliguen a plantejar-nos la possibilitat d'una regió de provenença comuna, possiblement situada en la vall del Najerilla. Els arguments que poden recolzar aquesta hipòtesis són dèbils. El primer seria d'ordre arqueomètric i fa referència a una certa tendència a classificar-se conjuntament que s'observa

entre els  $I_C$  d'aquesta agrupació, especialment les agrupacions E1 i E3, amb els  $I_C$  dels tallers de l'àrea de Tricio analitzats per Picon<sup>(106)</sup>. La debilitat d'aquest argument es basa en la cronologia de les dues mostres comparades, ja que els materials del *Laboratoire de Céramologie* de Lió eren alt-imperials, i en la possibilitat que els resultats d'ambdós laboratoris no siguin estrictament comparables. El segon dels arguments és encara molt més dèbil i es basa en la comparació dels  $I_C$  d'aquestes URCP amb els materials dels tallers de l'àrea de Tricio i en detalls com el de que Tricio és l'únic taller per al qual s'ha testimoniat la fabricació de la Hispànica 6.

En el cas de les URCP D1 i D2, la contrastació amb els resultats obtinguts en l'estudi sobre la TSHT de Clunia (Palol *et al.*, 1991b; Palol *et al.*, 1991c) permet veure com els  $I_C$  d'aquestes URCP es barregen amb els  $I_C$  de TSHT de composicions similars, que constitueixen una gran majoria en la mostra. Donat que l'existència d'un centre productor a la ciutat de Clunia sembla possible en època baix-imperial, es pot pensar que vindria representat per la totalitat o part d'aquests  $I_C$ . La composició similar amb els  $I_C$  de la mostra que treballem permet suposar per a les URCP D1 i D2, com a hipòtesis, una regió de provenença en la vall del Duero. Aquesta possible regió de provenença no seria incompatible amb les característiques d'aquestes ceràmiques en microscòpia òptica. Un dels màxims inconvenients que té aquesta argumentació és que les dues mostres no són estrictament comparables ni per cronologia ni per metodologia (veure nota 99). Malgrat tot, aquesta hipòtesis reforça i es veu reforçada per la hipòtesis anterior d'una provenença en la regió de l'Ebre per a les URCP E1, E2, E3 i E4.

---

<sup>106</sup>. - Agraïm al Dr. Picon l'haver posat a la nostra disposició el seu banc de dades del *Laboratoire de Céramologie* de Lió per a la realització d'aquesta prova.

**Respecte a les característiques formals cal fer varies consideracions:**

- entre les formes llises s'assiteix a una continuada desaparició dels plats. I a Drag. 36 i la Hisp. 6 es constaten únicament en la URCP E3 i la Hisp. 4 en la URCP E2. Per la seva part, la Drag. 15/17 es troba en les URCP E2 i E3, amb l'excepció d'un únic  $I_c$  en la D1. Paral·lelament, els vasos passen a ésser les formes predominants, ja des del TS-474, situació que s'aguditza en contextos posteriors. D'aquests vasos, la Ritt. 8, en les seves dues variants a i b, passa a ésser el vas quasi exclusiu. La Drag. 27, documentada en la URCP E3, i la Drag. 44, documentada en la URCP E2, no tornen a documentar-se en les URCP de cronologia més avançada. Per contra, veiem com en les URCP de S. III es documenta l'aparició de formes que anuncien les tipologies de la TSHT. Així, en la URCP E1 documentem la Pedrosa 8c, mentre que a la D1 documentem la Pedrosa 12. Igualment, la presència de gerres i d'altres formes tancades, enfront als vasos, es quasi testimonial. Únicament documentem dues Hisp. 42, una en la URCP E2 i una altra en la URCP E1, i dues gerres indeterminades, en la URCP E3.

- l'única forma decorada a motlle documentada és la Drag. 37 av., present en la URCP E1 i E3.

- els únics  $I_c$  en els que documentem la decoració de rodeta són dos de la URCP D2 (2 i 41), a més d'un  $I_c$  que es pot considerar com a *outlier* a les ceràmiques no calcàries (24).

- en alguns vasos de les URCP de S. III, especialment en la D2, s'observen acanalats a l'exterior de la paret, prop del fons.

- les produccions que anomenem de la vall de l'Ebre i les que nomenem de la vall del Duero es comporten de manera diferenciada. Efectivament, la diversitat tipològica és major en les produccions de l'Ebre, arribant-se a una total absència de formes decorades a motlle i de formes tancades en el Duero. A més, el predomini de vasos en el Duero és molt major que en l'Ebre, destaquen la URCP D2, en la qual els seus 25  $I_c$  corresponen a vasos, que en el cas dels 14 identificables pertanyen a les formes Ritt. 8 i Ritt. 8b.

A nivell tecnològic, cal destacar que les produccions de la vall de l'Ebre corresponen a ceràmiques calcàries, mentre que les de la vall del Duero corresponen a ceràmiques no calcàries. A més, les temperatures de cocció estimades per a les primeres, i especialment per a la categoria E3a, són més elevades que per a les segones.

Respecte del que havíem definit com a TSH/TSHA, s'observa que només apareix en ceràmiques calcàries i associat a les URCP de la vall de l'Ebre: E1, E2 i, especialment, E3. Les seves temperatures de cocció estimades mai no són baixes, sempre se situen en la part alta del rang estimat. El fet que dos  $I_c$ , el 14 i el 16, definits com a TSH/TSHA pertanyin a la URCP E1 planteja una contradicció amb el caràcter de transició entre la TSH i la TSHA que s'havia estimat per a aquests  $I_c$  (Tuset, 1991).

Pel que fa als  $I_c$  definits com a *outliers* (Figura 73) cal fer algunes precisions:

- pels  $I_c$  10 (TS-621, Los Arcos II); 87 i 99\* (TS-474, Ampliació 7 i 8). Plantejem la possibilitat que es tracti d' $I_c$  de la URCP E3 amb sobrecció poc severa, que hagin donat com a resultat una fàbrica que proporcionés les condicions òptimes per a un seguit

d'alteracions i de contaminacions que han permès una sèrie d'operacions de pertorbacions. Les seves formes són, respectivament, una gerra indeterminada, una Ritt. 8b i una Drag. 15/17, que presenta l'únic segell de tota la mostra.

- l'Ic 66 (TS-275, Taverna 13) podria correspondre a una URCP diferenciada de les sis definides. La seva composició seria similar a la de les URCP de la vall del Duero. La seva forma és un vas indeterminat. El context on es troba no aporta cronologia.

- l'Ic 89 (TS-474, Ampliació 7 i 8) podria correspondre a una URCP diferenciada de les sis definides. La seva composició seria similar a la de les URCP de la vall del Duero. La seva forma és una Ritt. 8b. El fet d'aparèixer en el TS-474 planteja un problema ja que sembla que les produccions de la vall del Duero es constaten a finals de S. II o en el S. III. Malgrat tot i com ja hem indicat, existeix un problema amb la fiabilitat estratigràfica d'aquest conjunt.

- els Ic 44 (TS-216, Taverna 11) i 57 (TS-233, Taverna 6) podrien correspondre a una URCP diferenciada de les sis definides. La seva composició és molt diferenciada de les que presenten les URCP de la vall de l'Ebre i de la vall del Duero. Les seves formes són respectivament una Ritt. 8 i un vas indeterminat. La seva cronologia podria situar-se en el S. III.

- pels Ic 5 (TS-621, Hab. 24 Los Arcos II); 15, 35 i 36 (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II); 51 i 55 (TS-233, Taverna 6); 65 (TS-272, Taverna 12); 81 (TS-474, Ampliació 7 i 8). Es poden considerar com a mal classificats de les URCP E1 i E3. Les seves formes són,

respectivament, Pedrosa 8c, Ritt. 8, forma no identificada, tancada indeterminada, Ritt. 8, vas indeterminat, Drag. 37 av. i Ritt. 8.

- l'Ic 24 (TS-622, Hab. 24 Los Arcos II) es pot considerar com a mal classificat a la URCP D2. Cal destacar la decoració de rodeta que presenta a l'exterior de la paret.

Com a conclusió, es pot observar com en un primer moment que correspon aproximadament a la segona meitat del S. II, la circulació ceràmica a Clunia sembla estar totalment dominada per les produccions procedents de l'àrea de la vall de l'Ebre. No serà fins a finals d'aquest S. II quan apareixen les produccions procedents de l'àrea de la vall del Duero. A partir d'aquest moment, i fins el tercer quart del S. III, únicament una tercera part de la TSHA de Clunia estudiada procedeix de l'àrea de la vall de l'Ebre. Cal destacar, però, que els materials de l'Ebre d'aquest segon moment, que estan en circulació, corresponen a una nova URCP, l'E1, absent en el primer moment, mentre que les altres URCP, l'E2, l'E3 i l'E4, semblen haver cessat la seva comercialització a Clunia.

Referent a les produccions de l'àrea de la vall del Duero, cal senyalar que desconexem si existeix o no una producció de TS anterior a finals del S. II. En aquest moment, es documenta la seva aparició en la circulació ceràmica de Clunia, sense que això hagi d'excloure una possible producció anterior.

Finalment, cal destacar que els criteris tipològics i cronològics que es deriven de la discussió dels paràgrafs precedents, amb l'absència de materials del Duero en un primer moment i una major reducció tipològica en aquestes produccions, es poden considerar vàlids.



en sentit estricte, únicament en el cas de Clunia, en l'estat actual de les investigacions i acceptant que es treballa al N<sub>c</sub>. A més, hem de destacar que aquests criteris tipològics i cronològics no permeten diferenciar per ells sols les diverses URCP ni, en sentit estricte, les diverses regions de provenença.

Abans de finalitzar aquestes conclusions, voldriem reprendre breument l'afirmació de Mayet respecte a l'existència d'un taller secundari alt-imperial a Clunia. Havíem destacat en l'apartat 6.3.1. com els vasos hemiesfèrics amb els que basa el taller presenten com a única especificitat l'ésser formalment atribuïbles a la Ritt. 8 de TSHA. Especialment, l'exemplar que presenta els acanalats a l'exterior de la paret, prop dels fons, podria correspondre a una cronologia del S. III. Malgrat tot, són tots ells atribuïbles, pel sols criteris tipològics, a qualsevol URCP de les definides, provinents de la regió de la vall de l'Ebre i de la vall del Duero, no necessàriament Clunia ja que cap conclusió del nostre treball permet afirmar l'existència de cap taller en aquesta ciutat. La contradicció clara entre les suposicions setase fonament de Mayet i la realitat observada posen en evidència el perill del treball arqueològic a cegues i de com resulta d'estèril i de confussionista la seva realització.

## 7. L'ESTUDI DELS VERNISSOS.

L'ús del terme vernís per a denominar el recobriment que mostren les ceràmiques de TS és, com ja han assenyalat diversos autors un terme completament erroni, ja que en la seva composició no hi ha cap component d'olis sinó que la seva base és, en principi, formada per il·lites riques en òxids de ferro (Bimson, 1956). Els problemes de denominació es donen igualment en altres llengües com l'anglès (Bimson, 1956) i en el francès (Picon, 1973). Malgrat tot, ens hem decidit a conservar aquest terme degut a que és el consagrat per l'ús.

Són varis els treballs que s'han realitzat sobre els vernissos de les TS, analitzant les seves composicions, des del punt de vista químic i mineralògic (Brongniart, 1877; Dragendorff, 1895; Neumann, 1932; Willgallis i Heyer, 1976; Jornet, 1980; Jornet, 1982; Tite *et al.*, 1982b), així com sobre els aspectes tecnològics de la seva preparació (Picon, 1973; Montagu, 1989), però voldriem destacar-ne tres:

- En el treball realitzat per Tite i altres (Tite *et al.*, 1982c) sobre un I- de TSG, la microestructura del vernís presentava en MER un aspecte de superfície suau impermeable sense cap estructura argilosa visible, amb un gruix d'aproximadament  $15 \mu\text{m}$  i amb una gran concentració de partícules d'òxid de ferro, típicament de menys de  $0.5 \mu\text{m}$  de diàmetre. La composició química mostrava una raó  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  major que la matriu, uns valors baixos de MgO i CaO, tractant-se d'una argila no calcària, i uns valors de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i de  $\text{K}_2\text{O}$  igualment majors que la matriu. El valor del  $\text{K}_2\text{O}$  (6.88) indica l'ús d'una argila il·lítica. En DRX, el vernís mostrava la presència d'hemitites. L' $\text{I}_{\text{CCER}}$  va ésser recuit en atmosfera reductora i després oxidant, observant-se el canvi primer a un color negre, per haver-se reduït els òxids

de ferro, i el manteniment d'aquest color en el segon experiment. Malgrat tot, en els dos experiments de recocció no es va poder observar cap fase cristal·lina. La conclusió que n'extreuen és que l'estadi de reducció ha de dur a una major fase de fusió, i per tant de vitrificació, que en el cas de l'estadi d'oxidació. Les raons són bàsicament dues. En primer lloc, es produeix una reducció de les temperatures de formació de fase líquida en presència de  $Fe^{2+}$  a diferència del que succeeix en presència de  $Fe^{3+}$ , facilitant la vitrificació. En segon lloc, hi ha una major capacitat del  $Fe^{2+}$  per a reaccionar en la superfície dels grans per formar silicats cristal·lins, facilitant la sinterització, mentre que per contra el  $Fe^{3+}$  és menys soluble en els compostos de silicats. Així, cal pensar que malgrat el seu aspecte, el vernís de la TSG estudiada és permeable a l'oxigen.

El treball de Michel i altres (Michel *et al.*, 1987), experimentant amb vernissos caolinítics, il·lítics, mixtes i clorítics, aporta unes dades molt valuoses. La composició química dels vernissos il·lítics amb els que treballen mostren un alt valor per a la raó  $Al_2O_3/SiO_2$ , uns valors baixos per al MgO i el CaO, corresponents a ceràmiques no calcàries, així com uns valors alts en  $Fe_2O_3$  i  $K_2O$ , presentant aquests una mitjana aritmètica de  $5.3\% \pm 1.21$ . S'observa en aquest treball, en el cas del vernissos il·lítics, com a baixa temperatura la microestructura del vernís presenta una disposició paral·lela quasi perfecta de les partícules argiloses que el componen, netament diferenciades del substrat. La seva superfície és molt rugosa. A  $1000^\circ C$  el vernís presenta un aspecte vitrificat. Calculen, igualment, que el total de fase vítria/amorfa present a  $900-950^\circ C$  és superior al 90%. L'estudi de la reflectivitat mostra que els vernissos ofereixen una reflectivitat baixa entre  $500$  i  $900^\circ C$ , augmentant fortament a partir de  $950^\circ C$ , fins a un màxim vers  $1100^\circ C$ , per baixar un altre cop a temperatures més elevades. Una altra dada interessant respecte a la reflectivitat és el baix

valor que donen unes ceràmiques de la Graufesenque i de Rheinzabern

*"...facilement explicables par l'alteration de leur surface durant l'enfuissement."*

(Michel *et al.*, 1987, p. 70).

La intensitat d'aquesta reflectivitat està d'acord amb el desenvolupament d'una fase vitria/amorfa. Així, la reflectivitat depèn de la composició química, que a la seva vegada depèn de la composició mineralògica de partida, però no de les fases cristal·lines que podessin quedar com a relíctes en el vernís. Una alta reflectivitat precisa d'una fase amorfa/vitria rica en  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{K}_2\text{O}$ .

- Aporta dades igualment interessants el treball de Sciau i altres (Sciau *et al.*, 1992). Els mapes de repartició dels elements químics, realitzats per MER-EDX, en la matriu i el vernís d'un L. de la Graufesenque, mostren un excés important de Fe i de K en el vernís. La distribució del Fe és granular, amb grans de vers  $0.25 \mu\text{m}$ . Aquests enriquiments, es troben confirmats per la semi-quantificació dels valors. La realització de tres anàlisis per DRX en mode de reflexió corresponents al vernís, a la matriu que el suporta després de retirar el vernís mecànicament i a la matriu un cop triturada en pols, planteja el problema de l'absorció dels raigs X per part del vernís. El càlcul d'absorció que obtenen mostra que en la zona de  $22 \pm 35^\circ 2\theta$  amb un espessor de  $20 \mu\text{m}$ , el senyal de la matriu que se superposa és de vers els 10%.

En el nostre cas, hem abordat l'estudi dels vernissos de la TS Hispanica d'Abella i de Clunia per MER-EDX<sup>(107)</sup> sobre secció polida imòregada en resina, amb la instrumentació i rutina de treball descrita en l'apartat 5.4.2.2., emprant la metodologia

---

<sup>107</sup> - Les anàlisis es varen fer al *Laboratory of Archaeometry*, d'Aghia Paraskevi (Grecia).

proposada per Aloupi (Aloupi, 1993)<sup>106</sup>. La microanàlisi dels vernissos es va fer mitjançant l'acumulació en un sol espectre de la microanàlisi de 25 àrees diferents de  $3 \times 1.5 \mu\text{m}$ , havent-se acumulat una lectura de 30 segons de vida per cada àrea amb una raó, aproximada, de 4700 comptes per segon i en mode de rastreig, prenent-se així una lectura total de 750 segons de vida en 25 àrees diferents que assegurin una estadística suficient i la representativitat de la composició global del vernís. Per tal de contrastar la validesa dels resultats obtinguts, s'analitzà prèviament la matriu dels  $I_C$  1, 11, 13 i 31 d'Abella, i 1, 8, 11, 14, 15, 18, 27, 29, 35, 38, 39, 43, 44, 45, 50, 53, 54 i 56 de Clunia, acumulant-se la lectures en mode de rastreig de diverses àrees, del mateix tamany, fins a completar la superfície de la mostra de  $I_C$  en un sol espectre, per millorar l'estadística i la representativitat. Els resultats obtinguts (Taula 25), foren comparats amb els resultats obtinguts per FRX en aquests mateixos  $I_C$  deixen veure com en general es produeixen sobreestimacions sistemàtiques del CaO, del MgO i del  $N_2O$  quan aquests es troben en baixes proporcions. Malgrat tot, els resultats obtinguts permeten jutjar aquestes anàlisis com una bona semi-quantificació de les composicions de les matrius.

Els  $I_C$  per als quals s'han analitzat els vernissos són (en el cas de Clunia els  $I_C$  definits com a TSH/TSHA s'han identificat amb un asterisc):

- Abella: 11 ( $F_1$  -coccio reductora-reductera-); 1 ( $F_2$ ); 31 ( $F_3$ ); 13 ( $F_4$ ).
- E1: 64 (E1b); 1, 11 i 14\* (E1a).
- E2: 88, 92, 103\* (E2m); 76 i 90 (E2a).

---

<sup>106</sup>.- Agraïm profundament la dedicació i l'ajut en la realització d'aquestes anàlisis a l'Eleni Aloupi, qui col·laborà de manera significativa en aquest treball.

- E3: 18 (E3b); 84, 96\*, 100\* i 104\* (E3m).
- E4: 82, 86.
- D1: 39, 94 (D1m).
- D2: 27, 45, 53 i 56 (D2b); 8, 29, 38, 43, 50 i 54 (D2a).
- *outliers*: 15, 35, 99.
- possible URCP formada pels  $I_C$  44 i 57: 44.

Els resultats mostren (Taula 26) que, en el cas de les ceràmiques calcàries (Abella, les URCP de la vall de l'Ebre i els  $I_C$  definits com a *outliers* que incloem en aquesta anàlisi), a diferència de les matrius, la composició és pobre en CaO, essent rica en  $Fe_2O_3$  i molt rica en  $K_2O$ . Igualment, la raó  $Fe_2O_3/SiO_2$  pren un valor major. Aquestes dades són coincidents amb les d'altres autors en el sentit d'apuntar a la utilització d'una argila il·lítica, havent separat la seva fracció més fina (possiblement inferior a  $3 \mu m^{(109)}$ ) enriquida en òxids de ferro. Els valors de  $K_2O$  són molt elevats i suposen l'ús d'una il·lita molt rica en potassi. Un valor similar ( $15\% \pm 2$ ) el reporten Sciau i altres (Sciau *et al.*, 1992) per a un  $I_C$  de la Graufesenque, si bé per a aquest mateix taller s'han reportat valors inferiors al 9% (Willgallis i Heyer, 1976). En el cas de les ceràmiques no calcàries (vall del Duero i possible URCP del  $I_C$  44 i 57), s'observa un enriquiment similar o major de  $Fe_2O_3$  i un valor major per a la raó  $Al_2O_3/SiO_2$  respecte de la matriu, però el valor del  $K_2O$  es pot considerar com a constant, mentre que el valor del  $SiO_2$  es manté més alt que en el cas de les ceràmiques calcàries. L'observació dels histogrames dels  $\ln(K_2O/SiO_2)$  dels  $I_C$  analitzats (Figura 77) posa clarament de manifest l'existència d'aquest comportament diferenciat entre ceràmiques

---

<sup>109</sup> - La preparació d'aquesta argila ha posat una sèrie de problemes degut a la dificultat que suposa separar aquesta fracció fina, especialment per la tendència a la floculació de les micel·les d'argiles (veure per exemple Picon, 1973; Montagu, 1989).

calcàries i ceràmiques no calcàries. Aquesta dada pren una importància vital donat que el potassi, junt amb el sodi, serà un component que jugarà un paper fonamental al formar els fluxos que abaixaran la temperatura de fusió de l'argila, afavorint les transformacions que conduiran a la sinterització i a la vitrificació del vernís. Únicament la granulometria fina de l'argila ajudarà a l'actuació dels fluxos. L'AA realitzada amb el programa BMDP, emprant la distància euclidiana i el mètode aglomeratiu del centroide, sobre la subcomposició  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  i  $\text{SiO}_2$ , utilitzant la transformació a logaritmes de raons emprant el component  $\text{SiO}_2$  com a divisor, permet veure clarament (Figura 78) la clara divisió existent entre els vernissos de les ceràmiques calcàries i els de les ceràmiques no calcàries. Les primeres se situen el grup que hem denominat E, mentre que les segones se situen en el grup D. L'única excepció la representa l'Ic 64, classificat en el grup D. Cal remarcar que els Ic S-0013 i CLA099 es fusionen entre elles, fusionant-se amb la resta d'Ic que integren el grup E en darrer lloc. Aquest fet ve derivat de l'alt valor que presenten en el seu contingut en  $\text{CaO}$ , que és anormalment alt en ambdós casos. El fet que ambdós Ic corresponguin a sobrecoccions, havent patit tots dos Ic la cristallització d'analcima com a fase secundària, obliga a pensar que possiblement aquest resultat es derivi d'algun procés d'alteració del vernís. Cap altra relació entre la temperatura de cocció estimada i la composició química dels vernissos resulta aparent.

L'estudi de la morfologia dels vernissos permet observar:

- l'espessor mitjà de tots els vernissos se situa vers els  $10 \mu\text{m}$ , amb algunes desviacions que tenen els seus extrems en l'Ic 18 (E3b) en l'extrem inferior, amb un gruix de sols  $5 \mu\text{m}$ , i els Ic 38 (D2a) i 44 (possible URCP dels Ic 44 i 57, baixa temperatura), amb un gruix de

15  $\mu\text{m}$ .

- en el cas de les ceràmiques d'Abella (Figura 79), l'I<sub>ECER</sub> 11 (F<sub>1</sub>), amb cocció reductora-reductora, presenta una excepció al gruix del vernís, que és de 25  $\mu\text{m}$ . Però aquesta no és l'única peculiaritat, a més, la seva baixa temperatura de cocció no ha permès la vitrificació del vernís, excepte de la seva part superior, observant-se clarament l'aspecte laminar que ofereixen les partícules d'argila disposades paral·leles a la superfície del vas, amb una clara orientació preferent. L'experiment de recocció a 1080°C ofereix un vernís vitrificat, on l'espessor no s'ha vist disminuït. En el cas de l'I<sub>ECER</sub> 1, F<sub>2</sub>, s'observa un vernís vitrificat que, com en el cas anterior, es troba clarament diferenciat de la matriu, amb la qual presenta diversos colls d'adherència. Finalment, l'I<sub>C</sub> 13, F<sub>4</sub>, presenta una fusió del vernís que s'ha unificat amb la matriu, creant una superfície única de vitrificació total. Aquests resultats confirmen també els de les temperatures de coccions estimades a partir de DRX i de MER, així com les transformacions que s'observen en microscòpia òptica.

- en el cas de les ceràmiques calcàries (Figura 80) s'observa com en els casos, en que les temperatures de cocció han estat en la part baixa del rang, els vernissos es poden presentar encara mostrant una vitrificació continuada, que ha modificat totalment l'estructura de làmines paral·leles de les partícules d'argiles, però que no ha conduït encara a un estadi de sinterització de vitrificació total, com per exemple l'I<sub>C</sub> 64 (E1b). Per contra, en la resta dels I<sub>C</sub> s'observa clarament com el vernís ha arribat a l'estadi de sinterització de vitrificació total, presentant una neta separació de la matriu, amb colls d'adherència, com per exemple l'I<sub>C</sub> 14 (E1a). Les microestructures de la matriu ofereixen la característica transformació de microestructures i d'estadi de sinterització que ja havíem exposat.



- en el cas de les ceràmiques no calcàries (Figura 81), els  $I_C$  que se situen en la part baixa del rang de temperatures presenten igualment un estadi de sinterització de vitrificació continuada, que ha alterat la microestructura de làmines paral·leles de les partícules d'argiles, sense arribar a la vitrificació total, com per exemple l' $I_C$  45 (D2b). En la resta d' $I_C$  el vernís presenta el característic estadi de sinterització de vitrificació total, com per exemple l' $I_C$  42 (D2a). A diferència del que succeeix en les ceràmiques calcàries, la separació entre la matriu i el vernís és molt menys clara, degut a que la pròpia matriu actua, com el vernís, com una argila no calcària, permetent una microestructura més densa i, per tant, una major superfície de contacte.

- els vernissos, degut a la riquesa en argiles, a la granulometria extremadament fina i a la disposició en làmines paral·leles per l'orientació preferent que prenen les argiles del vernís sobre la matriu, presenta un procés de sinterització/vitrificació més ràpid que la matriu i amb una microestructura molt més densa, en la qual la vitrificació continuada es reconeix per l'existència de petits porus i de petites partícules que distorsionen l'aspecte suau de la vitrificació total.

Aquestes dades permeten refusar, per als  $I_C$  de TSHA de Clunia, el qualificatiu de porosos per a aquests vernissos, tota vegada que únicament alguns  $I_C$  de la part baixa dels rangs de temperatures de cocció estimats no presenten una vitrificació total, encara que sempre presenten una vitrificació continuada amb una microestructura molt densa. El fet que els seus colors es presentin en la gamma del vermells, dels marrons i dels ataronjats, però, com es veurà en el capítol 8 sobre la caracterització macroscòpica, amb uns tons que difereixen de les produccions alt-imperials, permet pensar que les coccions no han estat oxidants-oxidants

en forns d'irradiació. En aquest cas, s'hauria de suposar la porositat del vernís per a permetre en la post-coccio la reoxidació dels òxids de ferro reduïts durant la coccio *sensu strictu*. Malgrat aquestes suposicions, l'estudi per MER permet observar com la major part dels I<sub>C</sub>, aquells que no presenten temperatures de coccions estimades baixes en els rangs definits, tenen vernissos amb un estadi de sinterització de vitrificació total. Igualment, cal prendre en consideració l'afirmació de Montagu que

*"...l'expérimentation montre qu'il est possible d'obtenir des vernis rouges grésés, d'une teinte cependant différente de celles données par la cuisson purement oxydant."*

(Montagu, 1989, p. 23).

Aquest efecte s'aconsegueix en un forn de flama lliure, però amb el que aquest autor anomena una coccio semi-oxidant. En aquest tipus de forns, que han de presentar una gran quantitat de forats de sortida de fums en la cúpula de la cambra de coccio, o fins no presentar la pròpia cúpula, s'evita el fumate de les peces, encara que la coccio no és perfectament oxidant. Es pot considerar, doncs, una coccio reductora-oxidant (R-O) poc severa, o el que és el mateix una coccio reductora/oxidant-oxidant (RO-O).

Respecte a la composició mineralògica dels vernissos, hem abordat la seva caracterització en el cas d'Abella, analitzant els vernissos dels I<sub>C</sub> 11 (F<sub>1</sub>) i 1 (F<sub>2</sub>), a més de l'I<sub>C</sub> PA87.16. Aquest darrer no va ésser inclòs per Vicente en la mostra a estudiar, però presenta un vernís marró clar i una pasta igualment marronosa clara que permeten estimar una temperatura de coccio molt baixa, o fins i tot que no ha estat mai cuita<sup>(110)</sup>. La seva

---

<sup>110</sup>.- Degut a que aquest I<sub>C</sub> ha estat descobert recentment revisant els materials de l'excavació, hem iniciat una sèrie de treballs que estan en curs, així doncs, els resultats que aportem ara són únicament parcials. Aquest I<sub>C</sub> serà igualment pres en consideració en el capítol 8 de caracterització macroscòpica on s'apreciaran millor les seves característiques.

recocció a 950°C en atmosfera oxidant, en les condicions descrites en l'apartat 5.4.2., dona com a resultat un vernís similar al de l'I<sub>c</sub> 1 d'Abella. Per a estimar la validesa dels resultats de DRX, hem procedit a un càlcul d'absorció. Aquest càlcul s'ha fet utilitzant el programa Absorb, integrat al programa Diffrac/AT, que computa i dibuixa la fracció  $\Phi$  de la intensitat difractada total contribuïda per una capa de profunditat  $x$ , mitjançant la fórmula

$$\Phi(x) = 1 - \exp\{-\mu * x * (1/\sin(\gamma) + 1/\sin(2\theta - \gamma))\},$$

on  $\gamma$  és l'angle d'incidència del feix, expressat en graus, i  $\mu$  és el coeficient de penetració. El coeficient de penetració és constant per un material donat, determinat per la seva composició química i densitat, i es calcula mitjançant la fórmula

$$\mu = \delta * (\sum fr(i) * \alpha(z(i), wl)),$$

on  $\delta$  és la densitat de massa d'una capa, expressada en g/cm<sup>3</sup>,  $\alpha$  és l'absorció d'una capa infinitament prima, avaluada pel propi programa,  $fr(i)$  la fracció de massa de l'element  $i$ ,  $z(i)$  el número atòmic de l'element  $i$ , i  $wl$  la longitud d'ona del feix incident. En aquest cas, el feix incident ha estat la radiació K del Cu (longitud d'ona = 1.5418 Å). El material escollit per al càlcul ha estat el vernís de l'I<sub>c</sub> 1 d'Abella, a partir de la composició obtinguda en MER-EDX. Els càlculs s'han fet per a unes densitats de 2.5, 3, 3.5 i 4 g/cm<sup>3</sup>. Els resultats (Taula 27) presenten la profunditat, en  $\mu\text{m}$ , a la que penetren el 96% raigs X incidents per als angles de 10, 20, 30, 40 i 50°2 $\theta$ . Els càlculs s'han fet per a un angle d'incidència 2 $\theta$ , l'estàndard, i els angles d'incidència rasant 1, 2 i 5°. Les gràfiques de penetració en funció de l'angle 2 $\theta$  del feix difractat (Figures 82 a 89), prenent com a espessor mitjà dels vernissos amb els que treballem 10  $\mu\text{m}$ , mostren:

- treballant en mode estàndard, a partir d'un angle de 20°2 $\theta$  es té ja superposició del senyal de la matriu, fins i tot per a una densitat de 4 g/cm<sup>3</sup>. L'increment de profunditat de la

penetració dels raigs X descriu, per a cada densitat, una funció lineal que expressa una correlació directa entre angle  $2\theta$  i profunditat de penetració.

Treballant amb incidència rasant amb angles de fins  $2^\circ$  la profunditat màxima de la penetració, fins i tot per a una densitat de  $2.5 \text{ g/cm}^3$ , està per sota de  $7 \mu\text{m}$ . En el cas de treballar amb angles majors d'incidència, per exemple amb  $5^\circ$ , s'ha de poder garantir un espessor de  $16 \mu\text{m}$  per a garantir que no hi haurà senyal de la matriu, amb una densitat de  $2.5 \text{ g/cm}^3$ , o s'ha de garantir una densitat de  $4 \text{ g/cm}^3$ . Les relacions entre la profunditat de la penetració i l'angle  $2\theta$  responen a una funció logarítmica. Augmentant l'angle d'incidència amb una densitat constant, o disminuint la densitat amb un angle d'incidència constant, la profunditat de penetració és major, descrivint sempre una funció logarítmica en funció de l'augment de l'angle  $2\theta$ . Aquesta funció tendeix a una lineal quan augmenta la densitat i quan disminueix l'angle d'incidència.

A partir d'aquest treball s'han decidit una sèrie d'experiències amb un angle d'incidència rasant de  $2^\circ$ . Els primers resultats, amb l'I<sub>c</sub> PA87.16 sense ésser després de la matriu presenten, com en l'I<sub>c</sub> 11 sense ésser després de la matriu i treballant amb angle d'incidència estàndard (Buxeda, 1990), la difracció per als fil·losilicats d'únicament les reflexions basals de les illites, indicant la presència d'illites i la seva orientació preferent paral·lela a la superfície de la matriu. Aquests resultats preliminars són consistents amb l'observació de la morfologia del vernís de l'I<sub>c</sub> 11 per MER, on s'observava una microestructura de làmines d'argiles paral·leles a la superfície de la matriu. Malgrat tot, el fet que els treballs estiguin en curs no permet ara per ara avançar més resultats.

Finalment, l'observació dels vernissos per MER-EDX-ER ha permès identificar en el vernís de l'I<sub>C</sub> 1 d'Abella l'existència de petites partícules de tamany inferior a 1 µm amb un nombre atòmic mitjà més elevat que la massa del vernís que contenen Fe, que interpretem com a hematites, i en alguns casos Fe i Ti.

Així doncs, com a conclusió podem presentar els següents punts:

- els vernissos d'Abella presenten diverses microestructures i diversos estadis de sinterització d'acord amb les diverses fàbriques estimades. La seva composició correspon a una argila il·lítica molt rica en potassi, en la qual a altes temperatures identifiquem únicament, en l'estadi actual dels treballs, partícules de ferro que interpretem com a hematites i que serien les responsables de la coloració vermella dels vernissos. En el cas de l'I<sub>C</sub> 11, de color negre, assumim una cocció reductora-reductora. En el cas de l'I<sub>C</sub> 1, assumim una cocció oxidant-oxidant. A baixes temperatures, on es conserven les partícules d'argiles, s'identifiquen les orientacions preferents de les partícules d'argiles preses al dipositar-se el vernís sobre la matriu.

- els vernissos de les ceràmiques calcàries de la mostra de Clunia, les URCP de la vall de l'Ebre i els I<sub>C</sub> definits com a *ouliers* que incloem en aquesta anàlisi, es corresponen a una argila il·lítica molt rica en potassi. Les seves microestructures i els estadis de sinterització es contrasten amb la possible existència d'un rang ampli de temperatures de cocció. Assumim la seva cocció com reductora-oxidant poc severa (RO-O).

- els vernissos de les ceràmiques no calcàries de la mostra de Clunia, les URCP de la vall

del Duero i la possible URCP dels L<sub>c</sub> 44 i 57, es corresponen a una argila il.lítica no excessivament rica en potassi, però lleugerament més rica en ferro que les anteriors. Com en el cas anterior, les seves microestructures i els estadis de sinterització es contrasten amb la possible existència d'un rang ampli de temperatures de cocció. Assumim, igualment, la seva cocció com reductora-oxidant poc severa (RO-O).