



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Facultat de Geografia
i Història

ESTUDI ARQUEOMÈTRIC D'UN CONJUNT DE MATERIAL CERÀMIC
PROVINENT DE POTRIES, VALÈNCIA.

GRAU D'ARQUEOLOGIA

DEPARTAMENT D'HISTÒRIA I ARQUEOLOGIA

TREBALL FINAL DE GRAU

Roger Noguera i Vilà

NIUB: 20399702

Curs 2023-2024

Treball Final de Grau dirigit pel

Dr. Jaume BUXEDA I GARRIGÓS

Universitat de Barcelona

27/07/2024

Resum:

Aquest treball recopila la feina realitzada durant els cursos 2022-2023 i 2023-2024 que s'ha enfocat en l'estudi d'un seguit de peces provinents del jaciment de Potries, València, al territori de la Safor. Aquests treballs s'inicien dintre el context de la beca de col·laboració que ofereix la unitat de Cultura Material i Arqueometria UB (ARQUB) durant l'any 2022-2023 i continuen en qualitat de TFG durant el curs 2023-2024.

El següent escrit, per tant, mostra una recerca que s'ha iniciat amb la contextualització, tant geogràfica com històrica del municipi de Potries i el seu centre productor, seguit d'unes metodologies d'anàlisi arqueomètrica i unes posteriors descripcions dels resultats aplicades als materials extrets d'una intervenció arqueològica de la qual no ha quedat registre documental. Per últim, s'ha conclòs amb una discussió i conclusió arran dels materials i el compliment dels objectius. És així com aquest treball s'ha dut a terme seguint tots els punts necessaris per a un projecte d'investigació, ja que s'ha realitzat en un context d'un grup d'investigació real, el Grup de Recerca sobre l'Arqueologia de la Complexitat i els processos d'Evolució social (GRACPE).

Les peces treballades són de tipologies variades (ceràmiques comunes, vidrades, de cuina, etc.) i s'han ajuntat amb la base de dades de l'ARQUB, la unitat d'arqueometria del GRACPE, per a ampliar el coneixement sobre la producció de ceràmiques relacionades amb la producció del sucre al territori de la Safor.

Paraules clau: Arqueometria, Potries, Fluorescència de raig X, difracció de raig X, Formes de sucre.

Abstract:

This work compiles the tasks carried out during the 2022-2023 and 2023-2024 academic years, focusing on studying a series of pieces from the Potries site in Valencia, located in the Safor region. These tasks began within the context of the collaboration grant offered by the Material Culture and Archaeometry Unit at UB (ARQUB) during the 2022-2023 academic year and continued as a final degree project (TFG) during the 2023-2024 academic year.

The following text, therefore, presents research that started with the geographical and historical contextualization of the municipality of Potries and its production center, followed by archaeometric analysis methodologies and subsequent descriptions of the results applied

to materials extracted from an archaeological intervention for which no documentary record remains. Finally, it concludes with a discussion and conclusions based on the materials and the achievement of the objectives. This work has been carried out following all the necessary steps for a research project, as it was conducted within the context of an actual research group, the Research Group on the Archaeology of Complexity and Social Evolution Processes (GRACPE).

The pieces studied are of various types (common ceramics, glazed, kitchenware, etc.) and have been added to the ARQUB database to expand knowledge about ceramics production related to sugar production in the Safor region.

Keywords: Archaeometry, Potries, X-ray fluorescence, X-ray diffraction, sugar forms.

Índex:

1. Agraïments:	6
2. Introducció:	7
3. Objectius i motivacions:	8
4. Context històric:	10
4.1. El sucre:	10
4.2. El municipi de Potries:	11
5. Estat de la qüestió:	12
5.1. Fonts documentals:	13
5.2. Les fonts arqueològiques:	13
5.3. Antecedents arqueològics de Potries:	13
6. Metodologia:	14
6.1. Curs 2022-2023:	14
6.2. Curs 2023-2024:	16
7. Mètodes analítics	17
8. Mètodes estadístics	18
9. Resultats:	20
9.1. Resultats de la fluorescència de raigs X (FRX):	20
9.1.1. Comparació amb la base de dades d'ARQUB:	25
9.2. Resultats de la Difracció de Raigs X:	42
10. Discussió:	46
11. Conclusions:	48
12. Bibliografia:	49

1. Agraïments:

Primer de tot, és necessari agrair al tutor d'aquest treball, el Dr. Jaume Buxeda i Garrigós, qui ha dedicat una quantitat considerable de temps en aquest treball. Ja no només com a responsable d'aconsellar respecte als enfocaments teòrics i bibliogràfics que han guiat el treball, sinó també com a mestre, tan dintre l'assignatura d'Arqueometria i Mètodes Quantitatius durant el curs 2022-2023, que va despertar la curiositat i l'interès per aquesta branca dintre de l'arqueologia, com també en forma de mestre particular durant el desenvolupament d'aquest treball a l'hora d'explicar i transmetre els coneixements necessaris per a realitzar un estudi pròpiament científic, com per exemple, com funcionen les diverses aplicacions de programari que s'han utilitzat, però també coneixements en física, estadística i química.

També donar les gràcies a tot l'equip de tota la unitat Cultura Material i Arqueometria (ARQUB), del Grup de Recerca sobre l'Arqueologia de la Complexitat i els Processos d'Evolució social (GRACPE) per la seva predisposició durant les primeres etapes del treball consistents en la documentació de les peces. En especial, a la Júlia Coso Álvarez pel seu ajut, guia i paciència durant el procés de preparació de mostres i el procés de documentació del material ceràmic, i a la Sònia Pujals Blanch, qui també va ser un gran ajut respecte a l'aprenentatge dels processos que tenen lloc als laboratoris del CCiTUB (Centres Científics i Tecnològics de la UB) per a la preparació de mostres i a la Irene Gómez Serra, per ajudar-me a desenvolupar el treball, proporcionant-me els resultats del seu TFM amb els quals ha estat possible fer una comparació i ampliar la representativitat de les conclusions.

Una altra figura que ha fet aquest treball molt més accessible ha estat la de Rubèn Martínez, qui va estar sempre disposat a donar un cop de mà durant els treballs que es varen realitzar al CCiTUB i sempre va resoldre els dubtes que poguessin sorgir sense cap problema i amb una gran paciència.

A la Tània Bacardit Garcia, companya del grau d'Arqueologia amb qui es varen fer conjuntament els treballs corresponents a la beca de l'assignatura d'Arqueometria i Mètodes Quantitatius durant el curs 2022-2023.

Per acabar, a Andrea Fernández Álvarez, Marina Martínez Cortés i a Júlia R. Hernández, pels seus ànims i suport durant l'últim tram del projecte.

2. Introducció:

Al municipi de Potries, ja des de l'edat mitjana, tindrà un important pes econòmic la producció de sucre. La producció d'aquest, ja s'havia introduït a la península amb l'expansió de l'Islam per la península Ibèrica. Tot i això, no seria fins a finals de l'edat medieval i l'inici de l'època moderna que l'explotació d'aquesta planta augmentaria, seguint la davallada en la producció a orient al segle XIV i la revolució alimentària del segle XV, quan es va començar a utilitzar el sucre com a aliment (Ouerfelli, M. 2008). Potries doncs tindrà un gran desenvolupament d'aquest tipus d'indústria, com també la va tenir tota la zona de la Safor, a València. Aquesta importància ha quedat reflectida en parts de la toponímia local, com per exemple, al "Molí Canyar". Acompanyant aquesta indústria trobem el camp de la producció ceràmica al municipi, i en l'epicentre d'aquesta producció, el taller de Potries. Les restes arqueològiques excavades d'aquest jaciment són mínimes. No es conserva cap registre documental o fotogràfic de l'excavació, tot i que sí que s'ha conservat una mica d'informació transportada a través de les fonts orals. També s'han conservat una gran quantitat de material ceràmic, del que ja es va realitzar un treball arqueomètric durant el mateix temps que es realitzava aquest TFG. Això ha servit per combinar les dades quantitatives extretes gràcies a un seguit de tècniques de fluorescència de raigs X, difracció de raigs X i el càlcul de la pèrdua al foc amb aquelles ja introduïdes a la base de dades de l'ARQUB, per a comparar grups, determinar grups nous o ampliar els que ja existeixen, i determinar les temperatures de cocció estimada per tal de conèixer millor les formes productives ceràmiques a Potries.

Els resultats d'aquests treballs han aportat una ampliació dels grups de referència, tant els que ja s'havien registrat i documentat, com la creació d'uns nous grups, amb les seves característiques composicionals. Això ha estat possible gràcies a la generació de gràfics de variabilitat composicional, dendrogrames, biplot i triangles composicionals amb els resultats quantitatius de la fluorescència de raigs X. També han permès conèixer a quina temperatura equivalent s'haurien cuit les peces definint un seguit de fàbriques dins de cada grup ceràmic i analitzant la intensitat dels pics dels espectrogrames produïts gràcies a la difracció de raigs X.

La caracterització i posterior ampliació de la representativitat dels grups ceràmics ha permès concloure el treball amb la proposta d'un nou fil d'investigació.

3. Objectius i motivacions:

El present treball té l'objectiu principal de la caracterització arqueomètrica del conjunt de material ceràmic procedent del jaciment de Potries, València, com també la incorporació de peces ja treballades seguint les metodologies descrites en aquest TFG per ampliar les dades obtingudes. Aquesta caracterització permetrà ampliar el grup de referència del taller de Potries i del territori de la Safor que ja s'havia començat a crear als treballs de Gómez, 2024, entre el 2023 i el primer terç del 2024.

L'objectiu secundari del treball consisteix a formar a l'estudiant en els mètodes i processos que tenen lloc en treballs de recerca. Per al desenvolupament del TFG, i gràcies a la beca de col·laboració oferida per la unitat de Cultura Material i Arqueometria UB (ARQUB), del Grup de Recerca sobre l'Arqueologia de la Complexitat i els processos d'Evolució social (GRACPE), s'ha incorporat a l'alumne als espais de treball i recerca de la unitat mencionada perquè dugués a terme totes aquelles tasques de documentació, mostreig i interpretació necessàries en un projecte de recerca. Aquesta formació ha consistit en treballs pràctics en gestió del material arqueològic ceràmic un cop s'ha desenterrat, en l'ús de tècniques físiques per a l'obtenció de dades quantitatives, com també els processos de mostreig previ que requereixen dites tècniques i en l'ús de programari per a la gestió i representació de dades, d'edició d'imatge i de modelatge 3D.

Les tècniques físiques, amb els preparatius necessaris previs, i els assajos en les quals l'alumne ha rebut formació tant teòrica com practica han estat:

- Fluorescència de raigs X (FRX).
- Difracció de raigs X (DRX).
- Pèrdua al foc (PAF).

Els programes de software amb el qual l'alumne s'ha format, i posteriorment ha utilitzat han estat:

- R i R Commander: Per a la generació de gràfiques que plasmin de forma visual els resultats obtinguts dels treballs de fluorescència de raigs X (FRX).
- X'Pert HighScore Plus per a la avaluació i determinació de fases minerals sobre els resultats de difracció de raigs X.

- Graph 8: Per a la generació dels difractogrames que plasmin de forma visual els resultats obtinguts dels treballs de difracció de raigs X (DRX).
- InkScape: Edicions de figures gràfiques per a la millor comprensió d'aquestes.
- EinScan-HX: Creació de models 3D de les peces ceràmiques per a una documentació exhaustiva, compensant la destrucció de material que comporta el procés arqueomètric.

Les motivacions darrere la redacció d'aquest treball responen a l'interès de l'estudiant en l'estudi material arqueològic a través de l'arqueometria. És per això que l'objectiu de formació mencionat es planteja com un aprenentatge de cara al futur dintre del món acadèmic. Realitzar aquesta formació en la disciplina permetrà avançar l'assimilació dels continguts apresos i treballats, com també dotar d'un coneixement pràctic i amb un nivell bàsic d'experiència en l'anàlisi de dades quantitatives de cara a l'estudi del Màster en Estudis Avançats en Arqueologia. Alhora, també, considerant els resultats, es buscarà plantejar una hipòtesi que pugui permetre a l'estudiant, o a qualsevol investigador interessat, continuar amb la recerca d'aquest tema en anys venidors.

4. Context històric:

Entre els anys 1171 i 1227 València serà incorporada al regne Almohade, fins que Jaume I, en el context de les croades per dominar la península Ibèrica, aconseguirà el control d'aquesta. L'any 1237 es redactarà el partiment de la circumscripció de València, pels quals Paterna i Manises passaran a ser propietat de l'aragonès Artal de Luna. Això va comportar un moviment poblacional aragonesa cap a aquestes dues ciutats, produint així un intercanvi de coneixements i tècniques en l'àmbit ceràmic, com d'altres, entre les dues comunitats (Sánchez, 1997).

Al voltant del segle XV, València començarà a obtenir importància respecte a altres ciutats europees que comencen a viure períodes de decreixement. Els registres ens parlen un augment demogràfic que gairebé duplicaria els fogatges de 8.000 fins a 15.000, podent arribar a parlar de fins a 75.000 habitants, partint de la base que cada foc podria comprendre 5 persones aproximadament. Dos segles després, aquesta etapa de creixement s'aturaria, com podem testimoniar als registres d'entrada de materials com coure i estany. Els quintars de coure que entren a València a mitjan segle XVII són 934, comparats amb registres d'altres èpoques que indiquen fins a 30.000 quintars. En el cas de l'estany es passa de 7.000 quintars a únicament 271. Es vincula aquesta davallada de materials importats amb la inestabilitat econòmica que es va produir al Mediterrani en aquest marc cronològic per culpa dels conflictes bèl·lics (Blanes, 2003).

Durant el segle XIII, la importància de València com a centre productor de ceràmica era tan gran que Jaume I eximeix als ceramistes de Manises i Paterna del pagament de taxes per ajudar els artesans a continuar amb els negocis, però alhora també ajudant a impulsar el comerç mediterrani i atlàntic. Amb el pas del temps s'acaba formant un triangle comercial entre Sevilla, Portugal i Guinea on els principals productes seran draps, esclaus, seda, llana i ceràmica (Blanes, 2003).

4.1. El sucre:

L'inici de la producció del sucre avui dia no es pot datar concretament, però la forquilla que donen els investigadors especialitzats en història de l'Àsia parlen d'una forquilla cronològica entre els segles IV aC i I dC. No serà fins al segle VII dC que el sucre arribarà al territori persa, a la zona que avui dia es coneix com a Khuzestan, una zona muntanyosa, boscosa i ben irrigada, que ajudaria al desenvolupament del cultiu de la canya de sucre. Els Perses

cultivaran el recurs per a ells mateixos, i no serà fins al segle VII dC, quan els àrabs conqueriran el territori, que el sucre s'expandirà per la Mediterrània. Els àrabs, establint el Califat de Bagdad, varen incorporar aquesta producció dintre la seva economia (Ouerfelli, M. 2008).

Al segle X, seguint la conquesta àrab del món Mediterrani, trobem els primers documents que mencionen el sucre al territori d'al-Àndalus. El primer, escrit per l'agrònom Ibn-al Awwam, en descriu el procés de cultiu i el segon, que es troba al Calendari de Còrdova, simplement en menciona l'existència. La producció de canya de sucre es troba concentrada a la zona costanera del sud d'Espanya, tot i que tenim constància de la seva producció durant aquesta època a Sevilla i Còrdoba (Ouerfelli, M. 2008).

La producció continuarà concentrant-se en aquests territoris fins que no es produeixi la conquesta d'Aragó. Al segle XIV, la producció de sucre a Orient baixa, i per tant occident deixa de rebre el sucre, per la qual cosa Jaume II demana a Sicília, una de les zones que més explotava aquest recurs al Mediterrani, una gran quantitat de llavors i un mestre sucrer. Aquestes llavors es portaran a València i allà començarà l'explotació d'aquest recurs al territori on es contextualitza aquest treball (Ouerfelli, M. 2008).

4.2. El municipi de Potries:

El poble de Potries es localitza a la ribera oriental del riu Serpis, que s'origina a Alcosser i desemboca a Gandia. El municipi es localitza a les coordenades UTM: 743219 43111109, a una alçada de 64,8 m ASL, limitant amb La Font d'En Carròs a l'oest, amb Beniflà al nord, amb Ador i Palma de Gandia a l'est i amb Vilallonga al sud. Entre el riu i el municipi s'hi troba la carretera CV-680, que connecta el municipi de Vilallonga amb Gandia.

Pel que fa a la formació geològica del territori, el municipi disposa d'una terrassa fluvial formada al plistocè superior al nord-oest, ocupada actualment per camps de cultiu. El mateix municipi se situa sobre una capa de còdols de dejecció i ventalls al·luvials formats a l'holocè al sector nord-est, en una part de serralada amb dolomites i pedres calcàries oolítiques format a mitjans de l'era mesozoica, durant el període oxfordià al seu sector sud-est, i una altra zona de serralada formada durant finals del mesozoic, durant el període cenomanià al sector oest, format per roques calcàries, margues i gresos.

Pel que respecta a la història del municipi d'on s'extreuen els ítems estudiats en el present estudi, sabem que existeix poblament des de l'edat del bronze, com es dedueix a partir de

restes d'habitatges, útils de pedra o ceràmiques prehistòriques a la muntanya de "los Penyascos"(Potries Turisme). També coneixem una necròpolis. Els ibers, però, deixaran d'habitar la muntanya un cop comenci el procés de romanització, dispersant-se en assentaments als plans per a la producció agrícola. Al municipi es troba una vil·la romana paradigmàtica, la "Vil·la de la Campina-Catorzena". Aquest poblament romà serà dispers i no serà fins a l'arribada de l'Islam que es començarà a agrupar el poblament en el nucli urbà que coneixem avui dia. La població musulmana, i posteriorment morisca, romandria al municipi ocupant-lo exclusivament, fins al 1609 amb l'expulsió dels moriscos. Així, Potries quedaria pràcticament despoblada fins un segle després que començaria a tornar a créixer demogràficament (Potries Turisme).

La principal producció del municipi era el conreu de canya de sucre, introduïda pels musulmans a la península durant l'expansió de l'Islam. Al segle XV, amb la revolució alimentària que va suposar la introducció del sucre a la cuina, la producció va augmentar encara més. De fet, la producció d'aquesta planta ha quedat marcada amb el topònim "Molí canyar", el qual és avui dia un restaurant que utilitza l'estructura de l'antiga masia a la qual estava vinculada el molí (Potries Turisme).

5. Estat de la qüestió:

En l'àmbit d'investigació de la ceràmica moderna valenciana, han estat les ceràmiques majòliques el principal objecte d'estudi, sobretot des de la història de l'art, que tot i tenir una bibliografia extensa, aquesta se centra principalment en l'anàlisi artística, deixant de banda o raspant lleument la superfície d'altres aspectes com la comercialització, l'ús, la distribució i les tècniques productives més enllà de les capes superficials de la ceràmica. Pel que respecta a les ceràmiques comunes i les ceràmiques (o formes) de sucre, que són les que es treballen en aquest estudi, trobem que protagonitzen encara menys treballs.

Els treballs arqueològics, per altra banda, són característics per la seva mancança, a excepció de Paterna i Manises, els centres productors més documentats de València. Altres centres els coneixem per mencions documentals o per les fonts orals, com ja siguin els centres de Sogorb, Benaguasil, Callosa d'Ensarrià, etc. (Pinto, 2021), però a escala arqueològica encara tenim un coneixement escàs.

El que si s'ha estudiat, més que la producció de ceràmiques, ha estat la indústria i la arquitectura del sucre, sobretot al territori de la Safor, i es que els primers estudis ja varen

començar durant els anys 70 del segle XX. Aixó ha portat a descobrir dos tipus d'estructures diferents. Per una banda trobem el Trapig, del llatí *trapetum*, espai on, mitjançant una mola moguda per un animal, es trepitjava la caña de sucre (Gisbert, 2000b). Per altra banda, trobem el Enginy, compost per dos edificis diafans de planta rectangular. En aquests espais s'acabava de processar el material resultant del trapig (Gisbert, 2000a).

Aquests elements es poden trobar als jaciments d'El Real (Gandia), que data de finals del primer terç del segle XV, Enginy d'Oлива, que inicia la seva producció a mitjans del segle XVI i Miramar i Almoines, que daten del segle XV (Gisbert, 1999).

5.1. Fonts documentals:

Una de les fonts més útils per a conèixer els aspectes socials, comercials i productius de les ceràmiques són les ordenances gremials, ja que aquestes regulen i administren la producció de les ceràmiques. Els punts bàsics que totes les ordenances gremials esmenten són un control i límit de preus, un estàndard respecte als materials utilitzats per a la producció i sistemes per a garantir la màxima qualitat tècnica dels artesans. Altres ordenances també busquen mesures per a protegir als clients d'estafes o beneficiar al comerç local i reduir els productes exògens (Mesquida i Villarroel, 2008, p.385).

5.2. Les fonts arqueològiques:

Els espais on es fabriquen les ceràmiques acostumen a tenir diferents zones dedicades a una part del procés. Un primer espai obert en la cadena productiva són les basses de decantació, basses rectangulars per a barrejar argila amb altres elements i també on es decantava per a obtenir una millor qualitat en la pasta. Després l'argila es passaria a un segon espai interior on es donaria forma a la peça i on acostumem a trobar els torns. Posteriorment, es passaria la peça a un espai d'emmagatzematge on s'assecaria i posteriorment es duria als forns. Els forns poden estar compartits entre diferents obradors i no tenien una forma única. Per una banda, els forns de doble cambra, el qual és el tipus de forn que apareix al jaciment d'on provenen les peces d'aquest estudi, disposa d'una cambra inferior, semiexcavada en el terreny i una cambra superior per a les peces, tancada amb una cúpula semiesfèrica. Per altra banda, hi ha forns de barra, normalment d'estructura circular i amb una única cambra, com és el cas del Testar del Molí, Paterna. (Llibrer, 2014).

5.3. Antecedents arqueològics de Potries:

Les peces a analitzar provenen del jaciment de Potries, València. L'única intervenció efectuada es duu a terme l'any 2000 al carrer Sant Salvador, i d'aquesta provenen tots els materials. La memòria d'intervenció no s'ha pogut recuperar, però sí que se sap que els forns tenen una planta regular i s'excavaven en nivells argilosos, amb les estructures de combustió formades per dues cambres superposades. La ceràmica trobada data del XVI-XVIII (Pinto, 2021).

En l'àmbit històric, Potries compta amb una població musulmana entre els segles XV i XVI, essent un petit nucli amb menys de 100 cases. A l'est del nucli de població original hi ha un barranc utilitzat com a abocadors de ceràmiques i la Canterereria, un espai artesà extramurs que va créixer com a ravalet (Vázquez, 2010).

Els fragments ceràmics treballats ja havien estat inventariats amb anterioritat durant la tesi doctoral de la Dra. Mireia Pinto Monte, tot i que l'anàlisi d'aquestes peces es deixa de banda a causa de la impossibilitat d'analitzar la totalitat de les mostres amb les quals treballa per culpa de la pandèmia de la Covid-19. Les peces amb les quals treballa sumen un total de 40, essent 22 ceràmiques vidriades comunes i 18 sense vidriat (Pinto, 2021).

Durant aquest mateix curs acadèmic, 2023-2024, s'ha dut a terme un estudi dintre el context d'un treball de final del màster d'Estudis Avançats en Arqueologia per Irene Gómez Serra, estudiant un altre grup ceràmic, compost per 30 individus, provinent també de Potries. Dintre aquest TFM, no només s'analitzen aquests trenta individus, principalment formes de sucre, sinó que també es comparen amb la base de dades de l'ARQUB, en específic amb materials provinents de Barcelona, Gandia, Oliva i Paterna. Aquestes peces afegides formen part del projecte europeu SPotEU (Sugar Por manufacture in western Europe in the medieval and post-medieval period), dirigit per R. Montesana i J. Buxeda. El resultat de les seves anàlisis conclouen en el fet que el taller de ceràmica de Potries hauria fabricat un seguit de peces que van viatjar cap als municipis de Gandia i Oliva per a la producció del sucre. Gràcies als seus treballs, s'ha pogut establir un grup de referència per a l'estudi de la producció de sucre al territori de la Safor (Gómez Serra, 2024).

Aquest TFM ha estat incorporat a la base de dades de l'ARQUB i les dades extretes per la investigadora seran utilitzades en aquest TFG per a comparar tant les ceràmiques treballades

en aquest escrit, com les treballades en el TFM respectiu i ampliar el coneixement sobre la producció alfarera al territori de la Safor.

6. Metodologia:

6.1. Curs 2022-2023:

El present treball s'inicia durant el curs 2022-2023 dintre del context de la beca de col·laboració que ofereix la unitat de Cultura Material i Arqueometria UB (ARQUB), del Grup de Recerca sobre l'Arqueologia de la Complexitat i els processos d'Evolució social (GRACPE). Tot i que la beca s'ofereix a un alumne, els treballs realitzats durant aquest període de beca s'han realitzat entre dos alumnes, la qual cosa ha permès duplicar la quantitat d'individus treballats, arribant a la quantitat de 31 peces documentades.

L'objectiu de la beca resideix en formar a joves estudiants del grau d'Arqueologia en el camp de l'anàlisi arqueomètrica i el tractament estadístic, seguint totes aquelles passes que es duen a terme de forma regular en els projectes d'investigació actual, mentre es treballa i col·labora amb un projecte real, per dotar a la persona becada amb una experiència real i pràctica, ampliant així els coneixements impartits a l'assignatura d'Arqueometria i Mètodes Quantitatius.

Aquestes feines varen consistir a dur a terme processos de registre i documentació d'un grup ceràmic i posteriorment la molturació d'aquestes per a les seves posteriors anàlisis. El grup ceràmic tenia un total de 40 individus, tots els quals procedien d'un mateix jaciment, Potries. Aquesta quarantena d'individus ja havia estat registrada anteriorment dintre la tesi doctoral de Dra. Mireia Pino Monte, com s'ha mencionat en paràgrafs superiors. En el context d'aquests treballs en relació amb la beca, es va realitzar una selecció de 31 peces que requeriren un nou inventariat. S'ha respectat la nomenclatura atribuïda a la tesi doctoral prèvia. La sigla de les peces, per tant, es forma a partir de l'abreviatura del cas d'estudi, "POT" (Potries) juntament amb un codi de 3 dígits. Les peces triades que continuarien el procés dels treballs han estat les següents:

POT002, POT003, POT004, POT006, POT007, POT008, POT009, POT011, POT013, POT014, POT015, POT016, POT017, POT018, POT019, POT020, POT021, POT023, POT024, POT026, POT027, POT028, POT029, POT030, POT031, POT032, POT033, POT035, POT036, POT037 i POT038.

La tria s'ha realitzat amb la intenció de reunir una diversitat de tipologies, tècniques i matrius suficientment representatives.

L'inventari, resultat d'aquesta primera fase de treballs, inclou les categories: Sigla, classe, forma, descripció, anàlisi (si s'ha utilitzat posteriorment per a les anàlisis arqueomètriques) i registres fotogràfics. Aquest inventari es pot consultar a l'Annex 1.

Un cop classificades les peces s'ha continuat amb el dibuix de les peces en fulls d'A4 i la seva posterior digitalització amb el programa de dibuix informàtic GIMP. Aquests documents es poden consultar a l'Annex 2. Un cop finalitzats els treballs de dibuix, s'han creat models 3D dels materials ceràmics a través d'un escàner 3D, model EinScan-SP V2 de l'empresa Shining 3D, utilitzant alhora el software EinScan-HX per a realitzar les correccions dels models. Aquest procediment ha estat utilitzat per ajudar a minimitzar l'impacte destructiu dels procediments duts a terme en els paràgrafs següents. Tot i que l'estudi arqueomètric suposa una destrucció parcial de la peça, gràcies al registre tridimensional podem construir un model de la peça tal i com ha estat recuperada del jaciment. Alhora, això també ha servit per expandir la base de models 3D del projecte ARQUB, fent disponible la recreació de la peça per a qualsevol estudiant, investigador o persona interessada en la visualització d'aquest contingut a la pàgina de SketchFab de l'ARQUB (visitable al link: <https://sketchfab.com/arqub>). Per motius relacionats amb la capacitat de càrrega de la pàgina web on es poden consultar els modelatges, no s'han pogut exposar diverses peces, tot i que es planteja, de cara en un futur pròxim, acabar d'afegir la resta de material que no s'ha pogut penjar fins al moment de l'entrega d'aquest treball.

Un cop documentades les peces es va procedir a retallar amb mitjans mecànics un petit fragment de la matriu per a poder fer una observació preliminar amb un microscopi binocular. Aquest procés es va realitzar per a distingir possibles grups ceràmics i per conèixer les característiques de la pasta, el tipus de matriu, les inclusions i les porositats, de cara a les anàlisis que és duri en a terme durant el curs següent.

Els treballs de molturació es van dur a terme al Laboratori d'Arqueologia i Arqueometria de la facultat de Geografia i Història de la Universitat de Barcelona.

6.2. Curs 2023-2024:

Durant el transcurs del curs 2023-2024 s'han realitzat un seguit de treballs arqueomètrics:

Els treballs arqueomètrics han constatat de dues tècniques que s'han aplicat a la selecció de 14 individus del total de 31 peces molturades, tenint en compte el tipus de ceràmica i les característiques observades en una anàlisi preliminar per a ampliar la representativitat dels grups:

I.- Caracterització química dels individus ceràmics, amb l'objectiu d'establir grups ceràmics significatius i establir la seva provenença, és a dir on s'han produït. La identificació dels grups ceràmics s'ha fet mitjançant l'anàlisi per fluorescència de raigs X (FRX), que permet quantificar els elements químics que formen part de cada grup químic. Les dades han estat tractades estadísticament tenint en compte la teoria de dades composicionals.

II.- Anàlisi per Difracció de Raigs X (DRX), per:

1. determinar la composició mineralògica del material i identificar les fases cristal·lines.
2. establir temperatures de cocció equivalent (TCE) a partir de les fases minerals identificades per tal de veure si en un mateix grup químic el procés tècnic és homogeni o heterogeni.
3. veure si hi ha canvis o continuïtats en el procés tècnic i de manufactura en relació als possibles diferents grups identificats.
4. identificar alteracions o contaminacions relacionades amb els processos post-deposicionals.

7. Mètodes analítics

Per a la caracterització arqueomètrica s'han pres mostres d'entre 10 i 15 g dels individus a analitzar. Després de retirar-ne les seves capes superficials de forma mecànica, per així evitar possibles contaminacions, les mostres han estat polvoritzades i homogeneïtzades mitjançant un molí de boles amb cel·la de carbur de tungstè Spex Mixer model 8000D. La composició química dels individus s'ha determinat a través de fluorescència de raigs X (FRX) a partir de la pols preparada en el pas anterior i deixada assecar en una estufa a 105 °C durant 12 h. Per la identificació dels elements majors i menors s'han preparat dues perles replicades de 30 mm de diàmetre, formades per la barreja entre 0.3 g de pols de l'individu a analitzar i 5.7 g de tetraborat de liti ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) que actua com a fonent (dilució 1/20), a més de 5 mg de iodur de liti (LiI) com agent antiadherent. Aleshores, aquesta barreja ha estat dipositada en un gresol

format per un 95% de Pt i un 5% d'Au que el fondrà en un forn automàtic d'inducció d'alta freqüència PANalytical PerI'X-3 a una temperatura màxima de 1125 °C. Els resultats d'aquest procés s'expressen en concentracions d'òxids en fracció de massa w %. D'altra banda, per la determinació dels elements traça, s'han preparat pastilles de 6 g de pols preparades amb anterioritat, assecades i amb una mida de gra inferior a 80 μm . Aquesta mostra ha estat barrejada amb 2 ml d'una solució de reïna sintètica n-butil metacrilat (Elvacite®2044), en acetona al 20 % en massa. Aquesta barreja, homogeneïtzada a mà a través d'un morter d'àgata fins que torni a l'estat de sequedat, es dipositada sobre una base d'àcid bòric (H_3BO_3) en un recipient d'alumini de 40 mm de diàmetre. Posteriorment, aquesta preparació s'ha col·locat dins una premsa Herzog que ha exercit una pressió de 200 kN durant 60 s. Els resultats d'aquest procés s'expressen com concentracions elementals en w mg/kg. La quantificació de les mostres s'ha fet amb un espectròmetre Axios^{mAX}-Advanced PANalytical, amb una font d'excitació de Rh, calibrat amb un total de 56 patrons (Estàndards Geològics Internacionals). D'altra banda, les interferències han estat considerades i els efectes matrius han estat corregits amb el software PANalytical Pro-Trace pels elements traça. D'aquesta manera, s'ha determinat la concentració de Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , TiO_2 , V, Cr, MnO, Fe_2O_3 (com Fe total), Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Ba, Ce, W, Pb i Th. També s'ha realitzat la pèrdua al foc (PAF) a través de la calcinació de 0.3 g de mostres en un forn a 950 °C durant 3 h. Aquestes calcinacions s'han portat a terme amb la pols seca dins una mufla Heraeus model M-110, fent servir una rampa d'escalfament de 3.4 °C min^{-1} i un refredament lliure. Els resultats d'aquest procés s'expressen en fracció de massa w %. La suma de les concentracions dels elements majors, menors, traces i de la pèrdua al foc han de trobar-se en un rang de 98 %—102 %.

La composició mineralògica dels individus objecte d'estudi s'ha realitzat a través de difracció de raigs X (DRX), utilitzant aproximadament 1 g de mostra en pols (preparada amb anterioritat) que s'ha dipositat en un porta-mostres de 27 mm i 2.5 mm d'altura (PW 1811/27) pressionant-la amb un vidre esmerilat. Les anàlisis s'han fet amb un difractòmetre de geometria Bragg-Brentano PANalytical X'Pert PRO MPD Alpha-1 (radi de 240 mm), treballant amb la radiació $K\alpha$ del Cu, amb filtre de Ni ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) amb un monocromador primari focalitzant de Ge (111) i una potència de treball de 45 kV i 40 mA. Igualment, el difractòmetre compta amb una finestra de divergència variable per a aconseguir una longitud irradiada sobre la mostra en la direcció axial a 12 mm, així com un detector X'Celerator amb una longitud activa de 2.122°. Les mesures s'han fet de (4 a 70)°2 θ amb una mida de pas de

0.017°2 θ i un temps de comptatge de 50 s per pas, amb un moviment circular de la mostra a 1 Hz. Les fases cristal·lines trobades en cada mostra, han estat identificades i avaluades amb el paquet de programes PANalytical X'Pert HighScore Plus, on s'inclou el banc de dades del Powder Diffraction FileTM (PDF®) de l'International Centre for Diffraction Data (ICDD).

8. Mètodes estadístics

Per al tractament estadístic de les dades, no s'han pres en consideració la pèrdua al foc, ni el W i el Co, ja que aquests elements es troben en la composició del material del que està formada la cel·la del molí utilitzat en la trituració i homogeneïtzació de les mostres i poden haver patit una contaminació durant aquest procés (Buxeda, 1999). Igualment, tampoc no s'han pres en consideració ni el Mo, ni el Sn, ja que presenten concentracions sovint per sota del límit de regressió, obtenint-se resultats que no es poden considerar quantitatius (Buxeda, 1999). En aquest cas, també hem descartat el Pb i el Sn perquè la majoria dels individus estudiats presenten concentracions molt elevades d'aquests elements. Com s'ha observat en estudis previs (Buxeda i Garrigos, 2001; Buxeda i Garrigos i Kilikoglou, 2003; Iñáñez i Buxeda i Garrigós, 2007; García Iñáñez et al., 2007, 2005; Peix Visiedo, 2022, p. 209), els individus amb cobertes vidrades presenten grans concentracions d'aquests elements a les matrius ceràmiques. Aquestes concentracions tan altes són a causa de la contaminació produïda per la filtració dels vidrats a les matrius ceràmiques durant la cocció. A més a més, les concentracions de Pb interfereixen en el senyal d'altres elements que no poden ser corregides de forma adequada i, per tant, no es poden prendre en consideració els valors de Y, Ga, Th, Rb i Ce. Així doncs, aquests elements tampoc no han estat considerats. Finalment, tampoc no s'han pres en consideració els resultats del P₂O₅ i el Cu per la facilitat amb que aquests elements poden contaminar-se per la presència de matèria orgànica o objectes d'aquests metalls en el context deposicional.

Tot i que els resultats de les concentracions elementals dels individus de Potries analitzats per FRX (Taula.1) semblen correspondre a l'espai real $d+1$ -dimensional $\mathbb{R}^{d+1}$, corresponen a un cas especial de l'espai projectiu d -dimensional $\mathbb{RP}^d$ en el qual els punts projectius han estat projectats en el símplex $\mathbb{S}^d$. Així, els punts es representen per coordenades homogènies que tenen una suma constant k ($k \in \mathbb{R}^+$),

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

(en aquest cas, $k = 100$). D'aquí que, pel tractament estadístic, les concentracions determinades s'hagin emprat després de la seva transformació alr (logaritmes de raons additius), d'acord amb

$$x \in S^d \rightarrow y = \ln\left(\frac{x_d}{x_{d+1}}\right) \in R^d$$

on S^d és el símplex d -dimensional i $x_d = [x_1, \dots, x_d]$. Igualment s'ha emprat la transformació clr (logaritmes de raons centrades), d'acord amb

$$x \in S^d \rightarrow z = \ln\left(\frac{x}{g(x)}\right) \in H \subset R^{d+1}$$

on S^d és el símplex d -dimensional, $g(\mathbf{x})$ la mitjana geomètrica de tots els $d+1$ -components de $\mathbf{x}$ retenguts per a l'anàlisi i $H \subset \mathbb{R}^{d+1}$ un hiperplà del subespai vectorial de $\mathbb{R}^{d+1}$ (Aitchison, 1986; Buxeda, 1999; Egozcue i Pawlowsky-Glahn, 2011; Martín-Fernández et al., 2015; Buxeda, 2018).

El tractament estadístic de les dades químiques s'ha fet emprant R (R Core Team, 2021). La primera anàlisi que s'ha dut a terme és el càlcul de la matriu de variació composicional que determina completament l'estructura de covariàncies de les dades composicionals i proporciona la variació total (vt) del conjunt analitzat (Aitchison 1986; Buxeda i Kilikoglou, 2003).

9. Resultats:

9.1. Resultats de la fluorescència de raigs X (FRX):

Els resultats obtinguts gràcies al tractament de fluorescència de raigs X han estat treballats amb un tractament estadístic multivariant, que ha permès l'anàlisi de diferents dades químiques amb l'objectiu de comprovar una possible variabilitat entre els catorze individus i establir així, agrupacions composicionals (Buxeda, 2001). Els resultats s'han representat en una taula on s'han agrupat els 14 individus estudiats en files i la concentració de cada element químic que s'han mesurat en columnes (Taula 1).

De forma inicial s'ha mesurat la variabilitat dels 14 elements analitzats (Figura 1). La variació total ($vt = 1.04$) ens indica una variabilitat relativament baixa, d'acord amb la poca variació tipològica que presenta el grup de mostra, el qual agrupa principalment individus de

tipologies comunes i comunes vidriades, però que permet pensar en un conjunt poligènic amb diversos grups composicionals. Els elements responsables de la variabilitat són l'òxid de calci (CaO) i l'estranci (Sr) ($vt/\tau_j < 0.3$), els quals acostumen a anar associats, per això que les seves variabilitats siguin les més elevades. Seguint al duo de calci i estranci hi apareix el sodi (Na₂O) ($0.3 < vt/\tau_j < 0.5$). Amb tot això podem extreure que la variabilitat dels materials ceràmics estudiats tenen una entropia de la informació de 2.84 Sh (H₂) i que representa el 68.05% del màxim possible.

Gràcies al fet que l'element que marca la variabilitat de les ceràmiques és el calci (CaO) podem determinar que ens trobem davant un conjunt de peces calcàries, tot i que trobem una peça aïllada molt poc calcària, POT002 amb un 1.2 % d'aquest element. Aquesta peça ha estat documentada com a una olleta de tipologia comuna vidrada, tot i que la seva composició podria indicar que aquesta peça és en veritat una ceràmica de cuina, ja que aquestes típicament estan fetes amb pastes poc calcàries (Gómez Serra, 2024). Pel que respecta a la resta de peces, trobem tres grups diferenciats respecte a percentatge de calci (CaO). El primer grup conté aquest material entre un 4.38 % i un 4.54 %, percentatges que corresponen a POT008 i POT037. El segon grup agrupa una composició entre el 7.94 % i el 10.75 %, mentre que la tercera agrupació es registra un percentatge entre el 14.78 % i 19.78 %.

Aquests resultats es poden representar amb la realització d'un dendrograma, que ajudarà a determinar les semblances i/o diferències en la composició química de les mostres. Per fer això, transformarem les dades en logaritmes de raons centrats (clr), que resultaran en una gràfica semblant a un arbre invertit on s'indica el grau de semblança entre les peces, a partir de l'alçada on es fan les fusions entre les diferents peces i grups, i amb la que podrem acabar de determinar una sèrie de grups químics preliminars abans d'ajuntar els resultats del conjunt amb la base de dades de l'ARQUB (Figura 2). L'eix Y indica el grau de similitud, un valor elevat indica una gran diferència, mentre que un de més baix, indica una major semblança en l'àmbit de composició química, mentre que a l'eix X s'hi representen les ceràmiques.

De forma preliminar, es pot determinar que existeixen 3 grups dintre el mostreig que s'ha realitzat. Alhora s'ha remarcat amb un punt negre sota les sigles per a ressaltar els individus associats a la forma de trespeus.

El segon grup (GP2), format per 4 peces és ocupat principalment per trespeus, en aquest cas, dos (POT018 i POT19), un bací (POT009) i un morter (POT014). Totes són comunes, a excepció de POT014 que és vidrada.

En últim lloc, apareix una peça completament aïllada de la resta, en blau, que forma el GP4. Aquesta peça (POT002) és una olleta de tipologia comuna vidriada.

Tot i aquests resultats, s'ha procedit a l'estudi conjunt dintre la base de dades de l'ARQUB per a eixamplar el nostre coneixement sobre aquests grups. Aquesta base de dades afegeix 30 nous individus també procedents del jaciment de Potries estudiades durant el mateix transcurs que els materials treballats en aquest escrit (Gómez Serra, 2024).

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Ba	Ce	W	Pb	Th	PAF
POT002	0.21	1.00	15.89	72.01	0.06	2.32	1.20	0.89	126	122	0.06	6.12	30	47	21	27	-3	144	64	40	396	24	1	6	358	130	283	1977	18	0.16
POT004	0.42	1.12	15.16	63.94	0.09	2.59	8.37	0.82	89	82	0.04	5.28	26	33	17	46	17	137	275	29	305	22	0	4	354	90	225	69	18	2.80
POT007	0.30	1.06	13.42	66.00	0.07	2.44	7.94	0.81	86	79	0.05	4.61	30	32	17	38	12	132	135	30	321	22	0	4	374	91	244	441	18	2.67
POT008	0.38	1.18	16.42	65.08	0.09	2.89	4.38	0.84	100	89	0.04	5.73	25	38	20	46	22	152	119	32	316	24	0	5	414	100	176	177	19	2.49
POT009	0.76	1.50	15.13	49.67	0.09	1.46	19.45	0.78	103	89	0.05	5.27	25	39	23	53	14	121	223	30	257	22	0	2	290	94	123	52	19	6.10
POT014	0.67	1.40	14.35	52.64	0.09	1.92	16.87	0.74	92	80	0.03	4.62	13	34	19	69	-2	136	262	30	242	21	1	3	354	94	81	1465	16	6.71
POT018	0.26	1.25	12.09	50.55	0.07	2.14	18.52	0.61	73	57	0.03	4.66	29	28	16	59	4	110	230	25	231	19	1	3	336	70	100	703	15	9.27
POT019	0.30	1.10	12.68	55.56	0.08	2.22	14.78	0.66	78	59	0.03	4.46	14	28	15	47	1	123	210	27	258	20	0	3	293	88	72	1050	15	7.36
POT020	0.26	1.08	13.64	65.02	0.11	2.41	7.96	0.80	90	76	0.04	4.70	21	33	19	43	-17	130	120	33	343	22	1	3	337	104	157	2543	14	4.03
POT029	0.32	1.25	15.70	59.75	0.11	2.52	9.84	0.79	106	86	0.04	5.60	54	38	19	58	-1	144	141	32	282	22	1	3	348	91	172	1461	16	3.50
POT030	0.30	1.25	15.59	59.71	0.09	2.53	9.95	0.79	113	86	0.04	5.65	45	40	20	56	-13	148	144	34	294	22	1	5	349	101	205	2450	15	3.51
POT032	0.32	1.26	15.69	59.79	0.11	2.54	9.81	0.78	109	84	0.04	5.56	22	40	19	55	9	147	147	32	298	22	1	6	378	95	163	786	18	3.94
POT037	0.29	1.08	14.28	69.10	0.07	2.21	4.54	0.81	96	88	0.04	5.05	21	37	24	41	-9	131	119	35	325	22	1	3	307	106	109	2251	15	2.41
POT038	0.26	1.17	15.30	58.13	0.07	2.46	10.75	0.78	105	73	0.03	5.38	21	36	17	55	18	134	143	28	269	22	0	4	344	82	172	32	17	6.02

Taula 1: Taula on se'ns mostra els resultats de l'anàlisi de la Fluorescència de raigs X (FRX). Els elements majors i menors s'expressen com a concentracions d'òxids en percentatges de fracció de massa (w %) i els elements traça s'expressen com a elements en w mg/k.

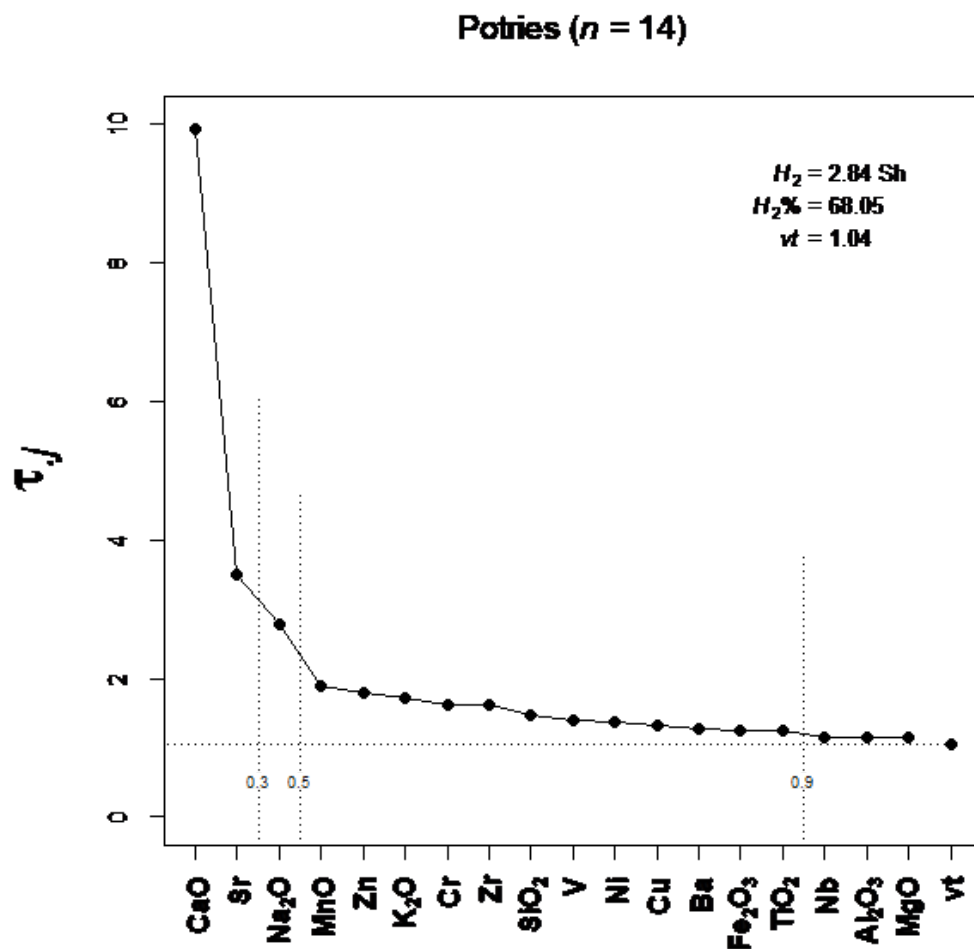


Figura 1: Grafica d'uniformitat composicional de tots els individus mesurats segons la entropia. Valor (H_2 i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$) dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

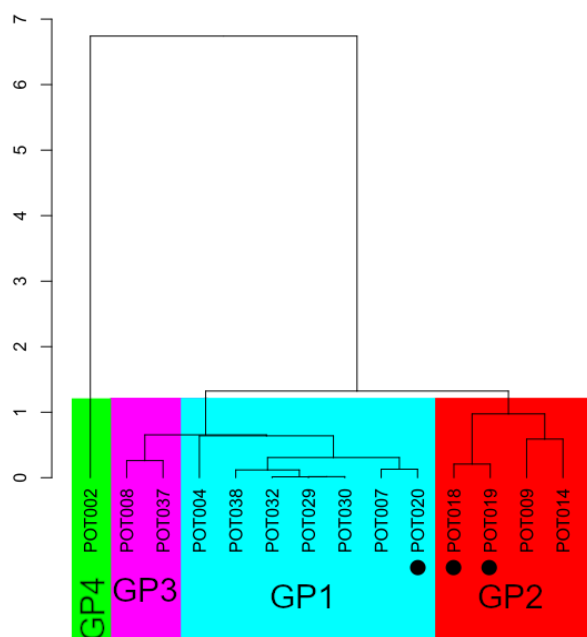


Figura 2: Dendrograma resultant de l'anàlisi dels 14 individus sobre la sub-composició: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Th, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, amb transformació clr utilitzant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroid (R Core Team, 2021).

9.1.1. Comparació amb la base de dades d'ARQUB:

En aquest apartat s'exposen els resultats que s'han obtingut com a resultat de la introducció de les dades composicionals a la base de dades de l'ARQUB. En específic s'han dut a terme les mateixes anàlisis (dendrograms i gràfics d'uniformitat) introduint els següents individus ceràmics: POT001, POT005, POT022, POT025, POT039, POT040, POT041, POT042, POT043, POT044, POT045, POT046, POT047, POT048, POT049, POT050, POT051, POT052, POT053, POT054, POT056, POT057, POT058, POT059, POT060, POT061, POT062, POT063 i POT064.

En aquest grup treballat prèviament per Irene Gómez, els elements que determinen la variabilitat segueixen essent el calci (CaO) i l'estranci (Sr), però el magnesi (MgO) substituirà al sodi (Na_2O). Aquest grup de peces tindrà una variació total de 0.71, la qual tot i ser un nivell alt, correspon amb la variació de tipologies que s'estudien, incloent-hi formes de sucre, ceràmica de cuina, ceràmica comuna i ceràmica vidriada. La variabilitat del grup presenta una entropia de la informació de 3.07 Sh (H_2), que representa el 67,82 % del màxim possible. Aquest valor és baix, ressaltant que l'origen de la variabilitat va associada al calci, a l'estranci i al magnesi (Gómez Serra, 2024).

Els dendrogrames d'aquestes peces varen demostrar la presència de 2 grups i 2 peces individuals (Figura 3).

El primer grup, CGPOT01, agrupa 18 peces: POT005, POT022, POT039, POT040, POT041, POT042, POT043, POT044, POT051, POT052, POT053, POT054, POT056, POT057, POT058, POT059, POT060 i POT064. En aquesta agrupació destaca que la presència de ceràmiques classificades com a formes de sucre, però també on apareixen mostres de ceràmica comuna (POT005, POT022 i POT040) i una ceràmica de cuina (POT039).

El segon grup, CGPOT02, està format per a 10 individus: POT025, POT045, POT046, POT047, POT048, POT049, POT050, POT061, POT062 i POT063, 9 de les quals són formes de sucre i només una peça és ceràmica comuna (POT025).

Pel que respecta als individus aïllats, POT001 és una peça de ceràmica de cuina que es distingeix de la resta a causa del baix contingut de calci que posseeix (1.04 %), mentre que POT055 correspon a una forma de sucre que destaca per un alt nivell en coure (Cu), mostrant un 20 mg/kg. Això pot haver tingut lloc per culpa d'un possible contacte amb un element metàl·lic durant el procés postdeposicional, contaminant l'artefacte i alterant l'anàlisi d'agrupament. Tot i repetir el dendrograma sense aquest element, POT055 ha continuat apareixent com a una peça aïllada, a causa de la seva quantitat de calci (CaO) i magnesi (MgO). És una mostra amb nivells alts en calci, però no prou baixos per semblar-se als de CGPOT01 ni tampoc el suficientment alts per a ser del grup CGPOT02, mentre que pel que fa a magnesi, té uns nivells més elevats (2,30 %) que la resta d'individus (Taula 2).

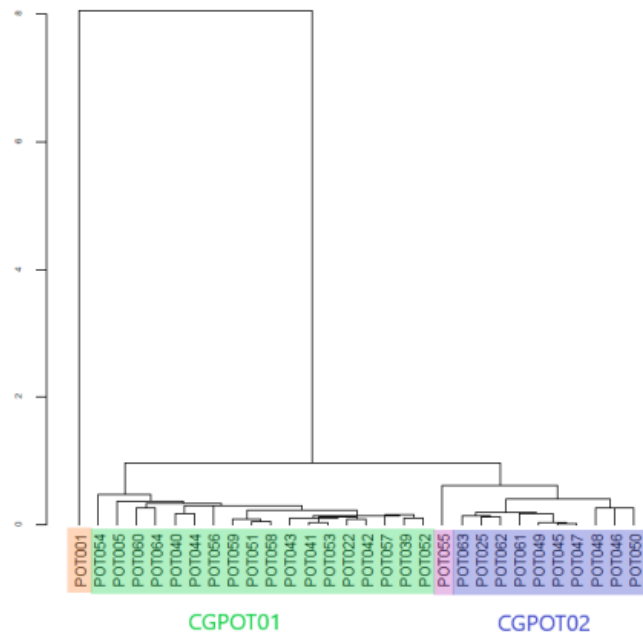


Figura 3: Dendrograma resultant de l'anàlisi dels 30 individus sobre la sub-composició: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Th, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, amb transformació clr utilitzant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroid (R Core Team, 2021) (extret de Gómez Serra, 2024, Figura 17).

El grup CGPOT01 disposa d'una quantitat menor de calci (CaO) que CGPOT02. Aquest primer grup compta amb una mitjana de CaO del 9.82 %, mentre que CGPOT02 disposa d'un 18.94 %.

Un cop introduïts els resultats d'aquest treball a la base de dades s'ha procedit a realitzar un seguit de nous gràfics de variabilitat i dendrograms.

L'element principal que determina la variabilitat (Figura 4) continuen estant el calci (CaO) ($vt/\tau_j < 0.3$) i l'estronci (Sr), tot i que el sodi (Na_2O) i el zinc (Zn) també agafen rellevància ($0.3 < vt/\tau_j < 0.5$).

La variabilitat total ha baixat de l'1.04 fins al 0.79. Amb tot això podem extreure que la variabilitat dels 44 individus presenta una uniformitat que té una entropia de la informació de 2.94 Sh (H_2) i que representa el 71,87 % del màxim possible. Aquest valor és molt baix i ressalta, encara més, que l'origen de la variabilitat va associat de manera directa al calci, però també a l'estronci, al sodi i al zinc.

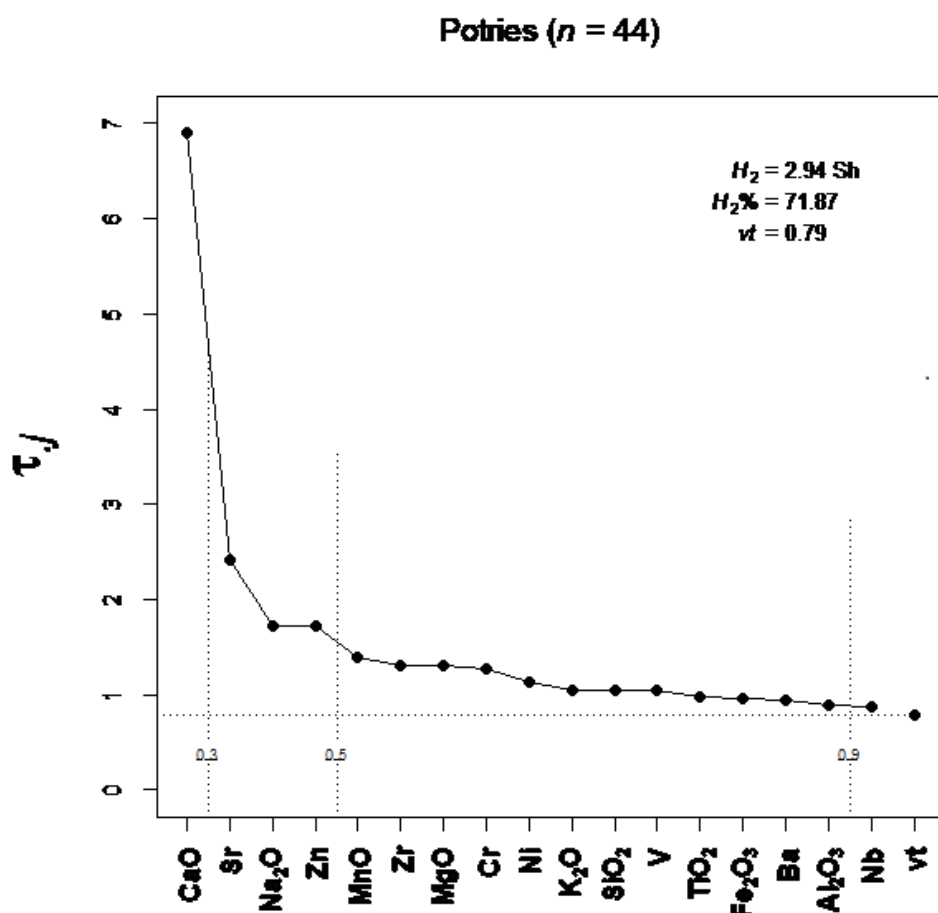


Figura 4: Gràfica d'uniformitat composicional de tots els individus a la base de dades d'ARQUB del jaciment de Potries, mesurats segons la entropia de la informació (H_2) i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$ dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

Aquesta anàlisi conté 44 individus, és a dir, la totalitat de les peces a la base de dades i les peces estudiades en aquest escrit. Dues peces, POT001 i POT002 contenen una quantitat ínfima de calci (CaO), que pot ser el motiu pel qual en les gràfiques de variabilitat aquest component es mostri tan predominant a l'hora de determinar la variabilitat. És per això que s'ha realitzat un tercer gràfic de variabilitat excloent aquests dos individus per tal d'apreciar millor la variabilitat dels individus calcaris (Figura 5).

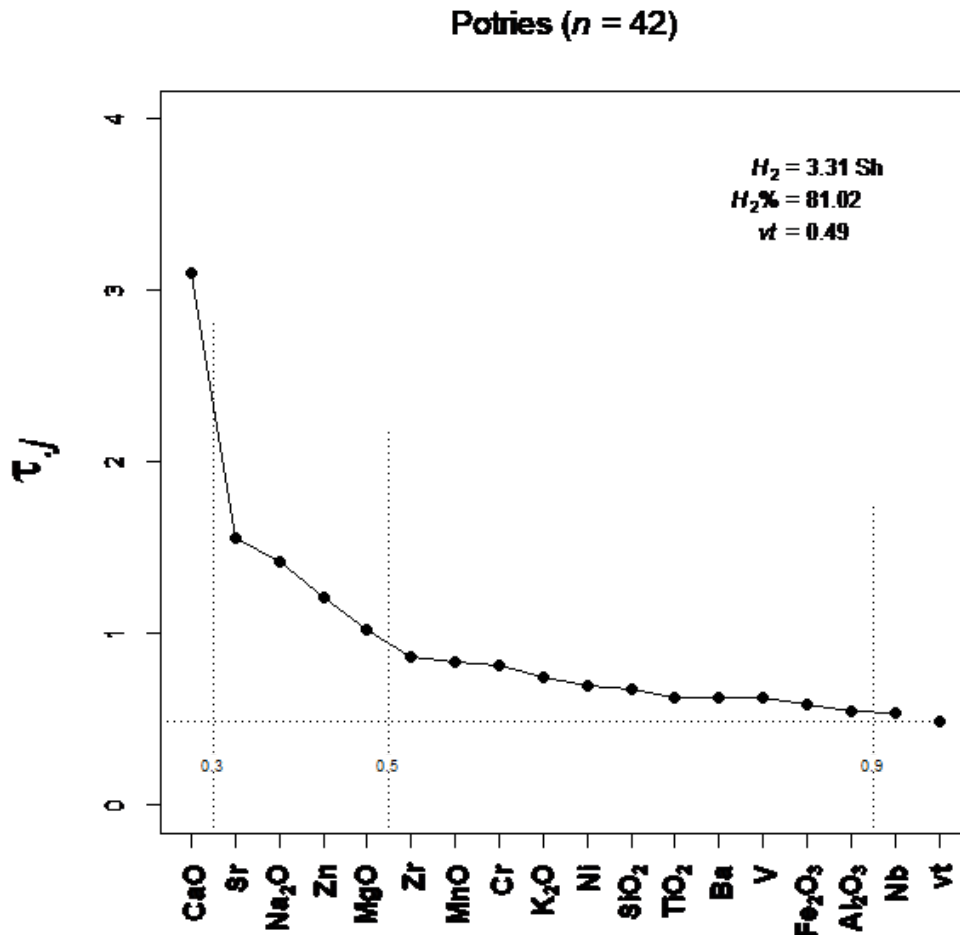


Figura 5: Gràfica d'uniformitat composicional de 42 individus mesurats segons la entropia de la informació (H_2 i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$) dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades. vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

En aquest nou estudi podem veure com el calci (CaO) ha perdut una rellevància important, tot i continuar sent el principal motiu pel qual es configura la variabilitat de les peces ($vt/\tau_j < 0.3$). Per altra banda, apareix un altre element que se suma a l'estronci (Sr), al sodi (Na₂O), al zinc (Zn), que és el magnesi (MgO) que serà important també a l'hora de determinar la variabilitat ($0.3 < vt/\tau_j < 0.5$). La variabilitat total arriba al 0.49, l'índex de Shannon fins als 3.31 Sh, el 81.02 % del màxim possible. Això concorda ja que les ceràmiques que s'han deixat de banda per aquest gràfic (POT001 i POT002) tenien uns valors de calci que es podrien considerar pràcticament com a outliers, alterant la variabilitat que existeix entre la resta de peces.

El següent pas ha estat el de repetir el dendrograma incorporant material de la base de dades de l'ARQUB (Figura 6). Aquest ha resultat en 4 grups (CGPOT01, CGPOT02, CGPOT03, CGPOT04) i un individu no classificat (POT055). També s'ha creat una versió eliminant les peces POT001 i POT002 per a poder observar amb més detall perquè per a encabir les dues mostres, ja que les dues peces poc calcàries dominaven l'anàlisi. Aquest nou gràfic (Figura 7) presenta una escala de detall més reduïda.

Els noms dels grups provisionals: GP1, GP2, GP3 i GP4 han passat a ser CGPOT01, CGPOT02, CGPOT03 i CGPOT04 respectivament, afegint els individus de la base de dades de l'ARQUB.

CGPOT01, en blau cel, continua essent el grup més ampli amb un total de 25 peces, entre les quals es troben: POT004, POT005, POT007, POT020, POT022, POT029, POT030, POT032, POT038, POT039, POT040, POT041, POT042, POT043, POT044, POT051, POT052, POT053, POT054, POT056, POT057, POT058, POT059, POT060 i POT064. Aquest grup es forma majoritàriament per formes de sucre amb 13 individus, seguit per 7 peces comunes (POT004, POT005, POT007, POT020, POT022, POT038 i POT040), 3 vidrades (POT029, POT030 i POT032), 1 de cuina (POT039) i 1 porró (POT060).

El grup CGPOT02, en vermell, agrupa 14 individus, entre els quals es troben: POT009, POT014, POT018, POT019, POT025, POT045, POT046, POT047, POT048, POT049, POT050, POT061, POT062 i POT063. D'aquestes també hi trobem una majoria amb 9 formes de sucre, mentre que la resta són comunes (POT009, POT018, POT019 i POT025) i una comuna vidrada (POT048).

En aquest dendrograma apareixen els individus POT009 i POT0014 dintre el grup, però no POT055, marcada amb el color gris. En principi aquestes mostres (POT009 i POT014) haurien de quedar fora, ja que han patit un doble procés d'alteració. En un primer moment la fase vítria és alterada i es perd el potassi (K_2O), i en segon moment, sobre la fase vítria alterada, cristal·litza la analcima (Anl), fixant sodi (Na_2O) al·lòcton. Per això tenen menys potassi i més sodi que la resta del grup i queden fora d'aquest a causa dels processos secundaris mencionats. Eliminant aquests dos elements del dendrograma es pot veure que la situació es corregeix, ja que POT009 i POT014 es mouen cap a l'interior del grup (Figura 8). POT055, per l'altra banda, en aquest mateix dendrograma, continua apareixent dintre el grup, tot i que en aquesta peça no presenta cap valor alterat (a excepció del coure (Cu)), per la qual cosa és normal que continuï apareixent dintre d'aquest. És per això que se l'ha continuat

considerant com a una peça aïllada. En aquest mateix dendrograma s'han tornat a eliminar les peces POT001 i POT002

El grup CGPOT03, en fúcsia, continua sense cap canvi respecte a la seva fase prèvia GP3, incloent-hi les peces POT008 i POT037. No afegeix cap ceràmica de la base de dades, per la qual cosa es pot considerar un nou grup descobert en aquest estudi.

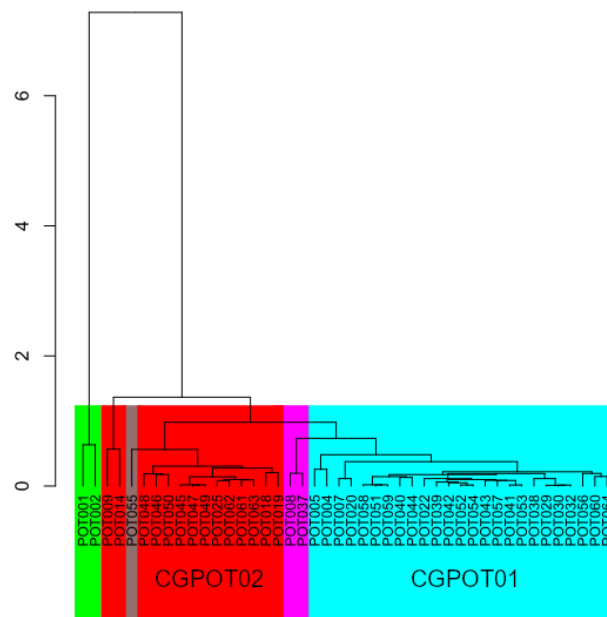


Figura 6: Dendrograma resultant de l'anàlisi dels 44 individus sobre la sub-composició: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba, Rb, Th, Nb, Zr, Y, Sr, Ce, Ga, V, Zn, Cu, Ni i Cr, amb transformació clr utilitzant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroid (R Core Team, 2021).

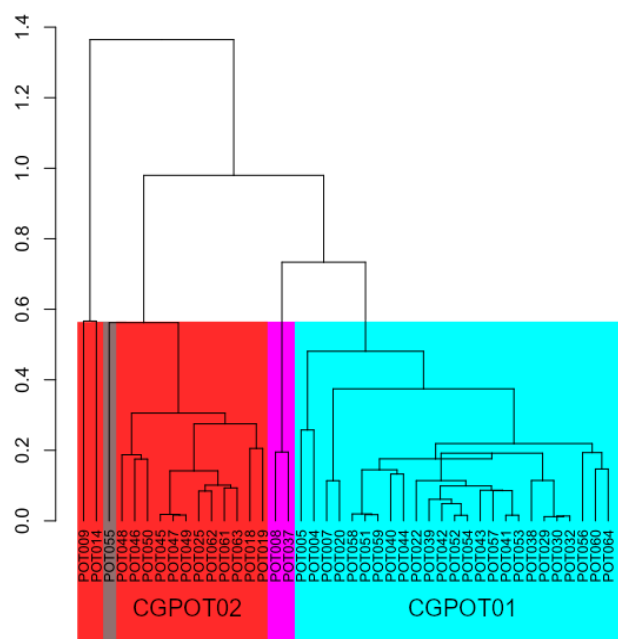


Figura 7: Dendrograma resultant de l'anàlisi dels 42 individus sobre la sub-composició: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Ba , Rb , Th , Nb , Zr , Y , Sr , Ce , Ga , V , Zn , Cu , Ni i Cr , amb transformació clr utilitzant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide (R Core Team, 2021).

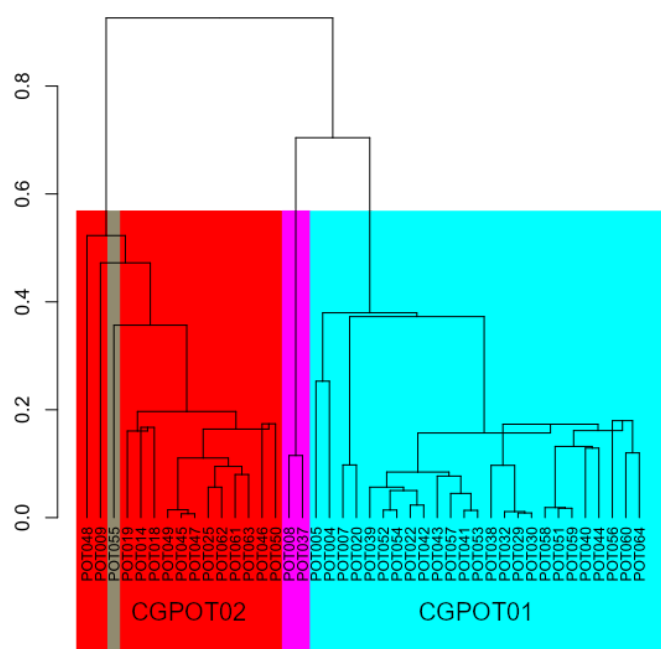


Figura 8: Dendrograma resultant de l'anàlisi dels 42 individus sobre la sub-composició: Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MnO , TiO_2 , MgO , CaO , SiO_2 , Ba , Rb , Th , Nb , Zr , Y , Sr , Ce , Ga , V , Zn , Cu , Ni i Cr , amb transformació clr utilitzant la distància euclidiana al quadrat i l'algoritme aglomeratiu del centroide (R Core Team, 2021).

Pel que respecta a CGPOT04, en verd, que inclou les peces POT001 i POT002, que en els seus respectius gràfics havien aparegut com a individus aïllats, ara apareixen formant el seu propi grup. Una peça és comuna de cuina (POT001) i l'altre és una peça comuna vidrada (POT002).

	CGPOT01		CGPOT02		CGPOT03		CGPOT04		
	$(n = 25) (vt = 0.19)$		$(n = 14) (vt = 0.32)$		$(n = 2) (vt = 0.10)$		$(n = 2) (vt = 0.32)$		POT055
	m	s	m	s	m	s	m	s	
Na ₂ O	0.31	0.05	0.36	0.17*	0.34	0.07	0.21	0.00	0.21
MgO	1.22	0.09	1.57	0.41	1.16	0.08	1.06	0.09	2.3
Al ₂ O ₃	15.69	0.97	14.36	0.79	15.78	1.61	16.39	0.67	16.64
SiO ₂	63.83	2.22	56.61	2.11	68.96	2.7	71.47	0.95	56.37
K ₂ O	2.63	0.10	2.36	0.33*	2.62	0.50	2.38	0.07	2.6
CaO	9.77	1.71	18.92	1.49	4.58	0.10	1.13	0.11	14.87
TiO ₂	0.83	0.02	0.72	0.05	0.85	0.02	0.88	0.01	0.85
V	98	11	90	7	100	4	118	11	112
Cr	95	11	77	9	91	1	118	5	97
MnO	0.04	0.01	0.04	0.01	0.04	0.00	0.06	0.00	0.05
Fe ₂ O ₃	5.56	0.38	4.96	0.23	5.54	0.51	6.30	0.24	5.98
Ni	36	3	31	4	38	1	44	4	41
Zn	67	12	80	14	44	4	42	21	79
Sr	157	36	229	27	122	1	62	4	250
Zr	303	22	249	25	330	5	379	25	272
Nb	23	1	22	1	24	1	23	1	23
Ba	394	29	391	47	371	79	354	6	401

Taula 2. Mitjana ($\bar{X}$) i desviació estàndard (s) dels grups definits i de POT055 (amb dades normalitzades). vt: variació total. Elements majors i menors expressats en w%. Elements traces expressats en w mg/kg.

Per finalitzar, s'ha procedit a realitzar una taula agrupant les dades composicionals per grup (Taula.2). Aquesta ens permet veure amb més claredat en els grups calcaris que es comentaven al tercer paràgraf de l'apartat 7.1. Ara, amb les ceràmiques procedents de la base de dades de l'ARQUB podem veure clarament com la mitjana de calci està ben delimitat, podent dividir les peces entre poc calcàries (1.13 % a CGPOT04), poc calcàries a límit calcàries (4.58 % a CGPOT03), i calcàries (9.77% a CGPOT01 i 14.87% a POT055 i 18.92% a CGPOT02). Això es pot representar de manera més gràfica amb un diagrama ternari (Figura 9).

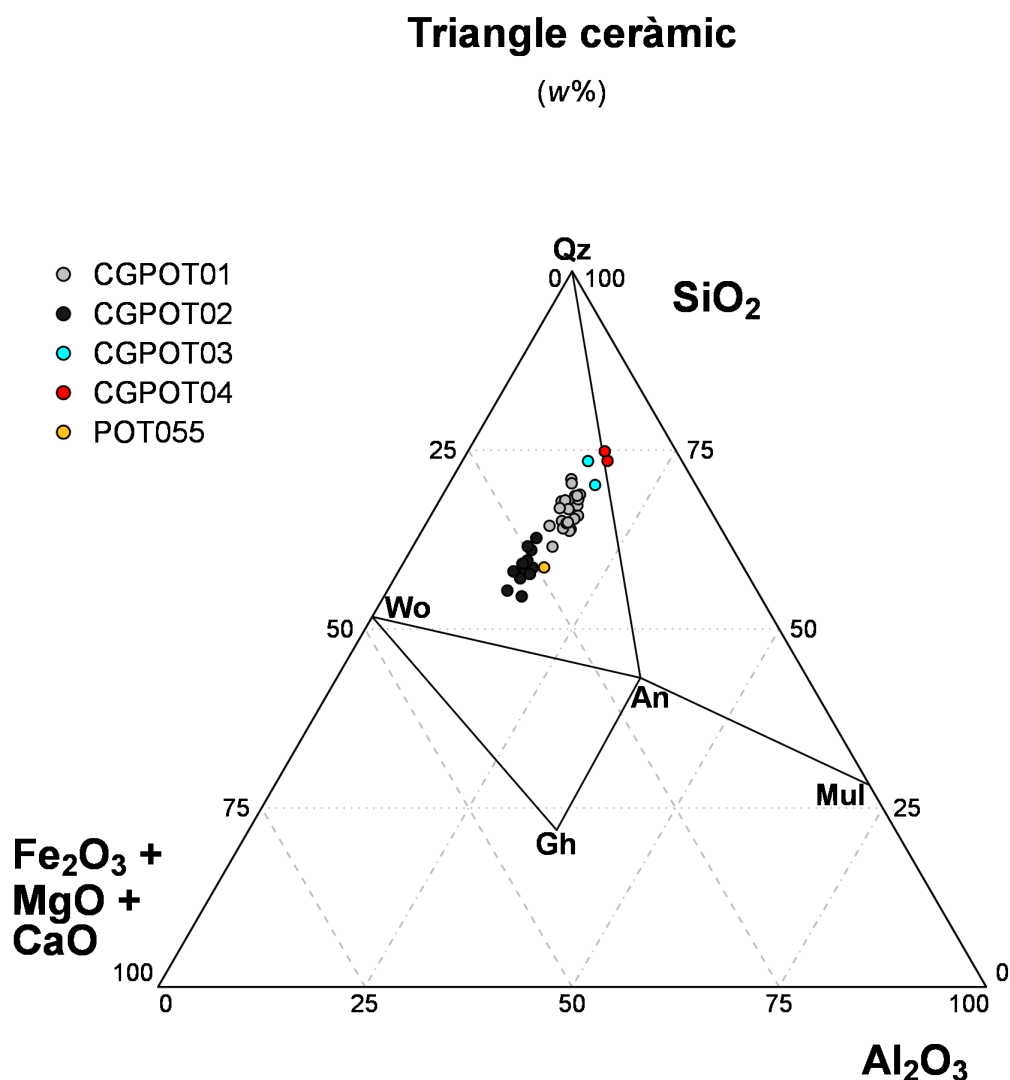


Figura 9: Diagrama ternari del sistema (CaO + MgO + Fe₂O₃)-SiO₂-Al₂O₃ amb 44 individus dividits segons grups. An: anortita; Gh: gehlenita; Mul: mul·lita ; Qz: quars; Wo: wol·lastonita. (R Core Team, 2021).

En aquest triangle veiem com el grup CGPOT01, POT055 i pràcticament CGPOT01 entren dintre el triangle d'equilibri termodinàmic quars (Qz)-wol·lastonita (Wo)-anortita (An) del triangle ceràmic, el qual és característic de les produccions calcàries (Heimann, 1989). Per altra banda, les peces de CGPOT04 se situen fora d'aquest, degut a la poca presència de calci (CaO), situant-la en el triangle d'equilibri termodinàmic de quars (Qz)- anortita (An)- mul·lita (Mu), típic de les ceràmiques poc calcàries. El grup CGPOT03 se situa al límit d'aquests dos triangles.

Quan es treu el magnesi (MgO) i el ferro (Fe₂O₃) (Figura 10) i s'incorporen les dades en un sistema CaO-Al₂O₃-SiO₂, veiem com aquesta composició es diferencia encara més, fent que els punts que representen les mostres, queden més dispersos, arrossegant al grup CGPOT03 i bona part del grup CGPOT01 a quedar fora del triangle termodinàmic quars (Qz)-wol·lastonita (Wo)-anortita (An).

Sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$

(w%)

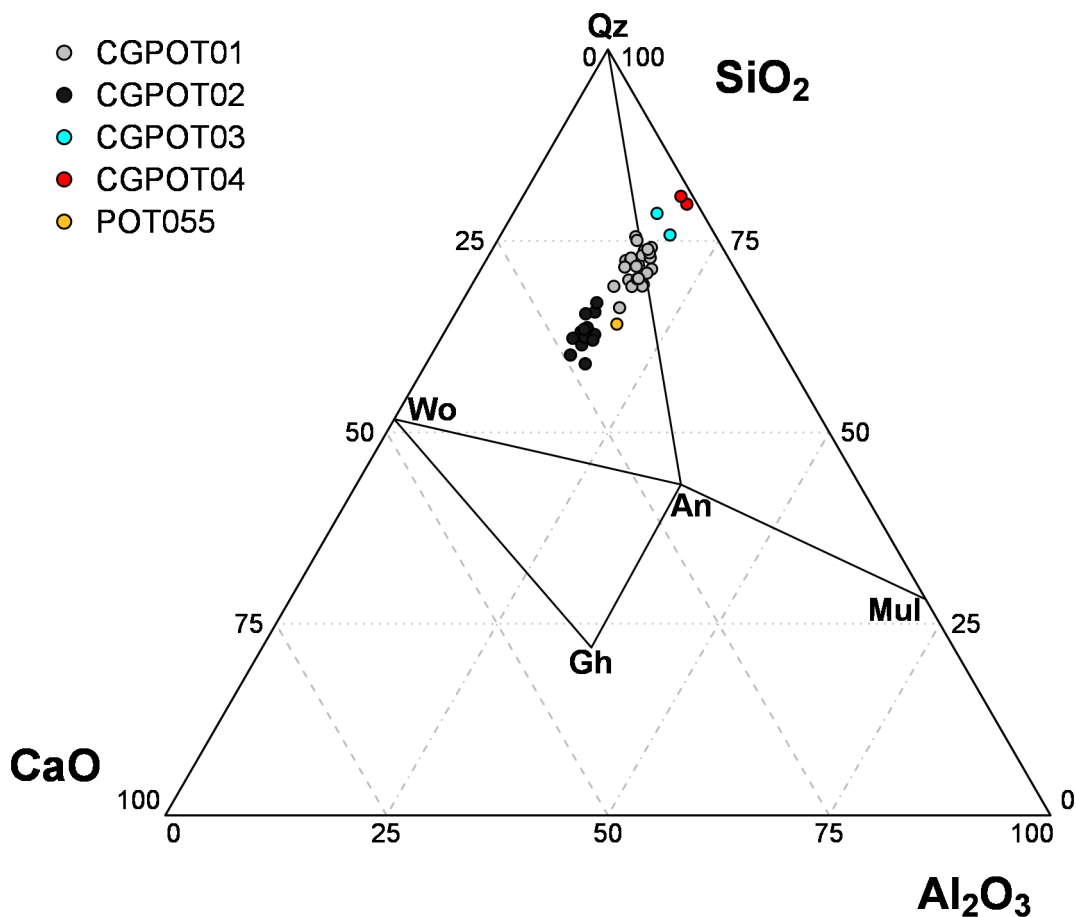


Figura 10: Diagrama ternari del sistema $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ amb 44 individus dividits segons grups. An: anortita ; Gh: gehlenita ; Mul: mul·lita; Qz: quars (SiO_2); Wo: wol·lastonita. (R Core Team, 2021).

Per últim, s'ha tornat a fer un triangle composicional dintre un sistema CaO-MgO-SiO_2 , on destaca la poca presència del magnesi (MgO), ja que tots els punts se situen pròxims a la línia del 0 % d'aquest component. Per altra banda, CGPOT04, està composta pràcticament per quars (Qz) (Figura 11).

Sistema CaO-MgO-SiO₂

(w%)

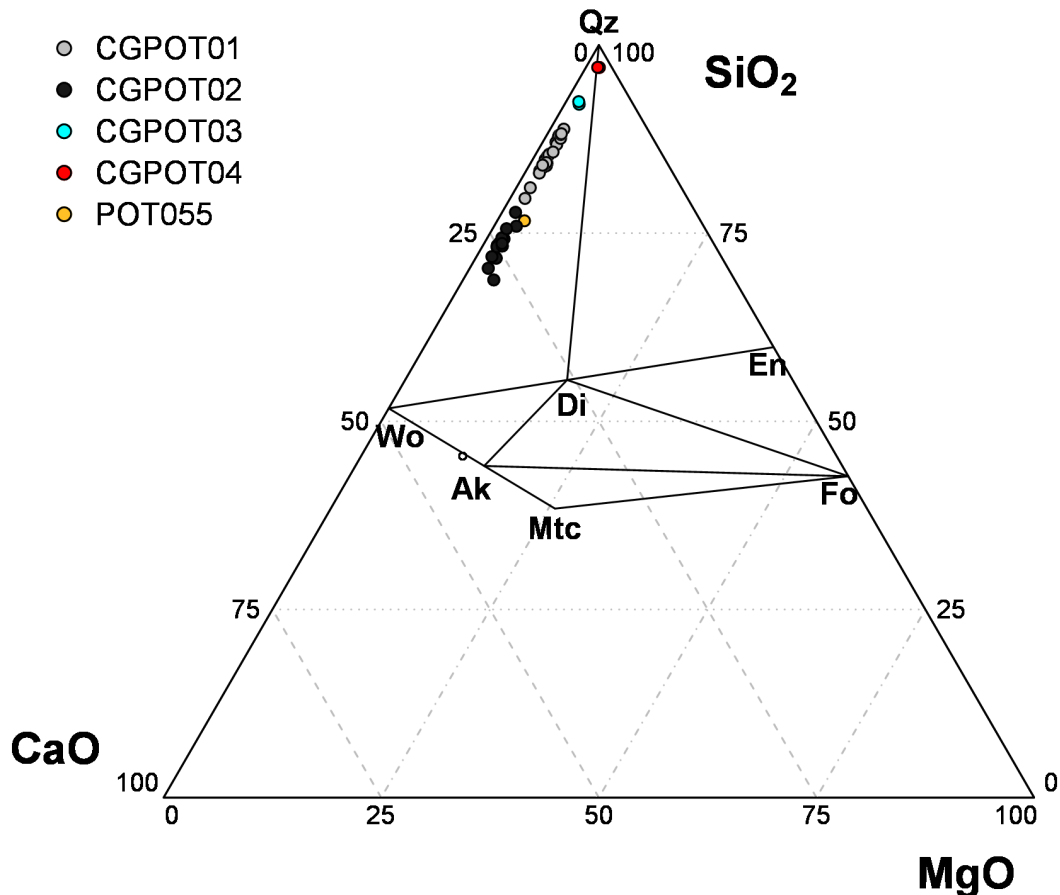


Figura 11: Diagrama ternari del sistema CaO-MgO-SiO₂ amb 44 individus dividits segons grups. Ak: åkermanita ; Di: diòpsid; En: enstatita; Fo: forsterita; Mtc: monticel·lita; Qz: quars; Wo: wol·lastonita. (R Core Team, 2021).

S'ha tornat a realitzar diversos gràfics de variabilitat, aquest cop, per cada gràfic s'ha utilitzat un dels grups definits diferent, per veure quina és la variabilitat dintre de cada grup, i quins elements són els més definidors, ja que en aquest cas les peces disposen d'uns nivells de calci (CaO) similars, en estar les ceràmiques condicionades per aquest element de forma prèvia.

En el primer gràfic (Figura 12), on s'estudia la variabilitat de CGPOT01, podem veure com l'estranci (Sr), el zinc (Zn) i calci (CaO) configuren principalment la variabilitat de la ceràmica ($vt/\tau_j < 0.3$). El fet que l'element de calci estigui tan elevat es veu clarament tant als diagrames ternaris (Figura 9, Figura 10 i Figura 11), on apareixen els punts de forma dispersa

al llarg de la línia de percentatge de calci, com també a la Taula de dades per grup (Taula 2), on la desviació estàndard d'aquest element arriba al 1.7 %, essent la desviació de calci més elevada. El sodi (Na_2O) i el manganès (MnO) també representen bona part de la composició ($0.3 < vt/\tau_j < 0.5$). La variabilitat total (vt) es troba en els 0.19, mentre que tenim un índex de Shannon (H_2) de 3.41 Sh, és a dir un grup molt homogeni i amb una alta uniformitat ($H_2\%$ del 83.32 %).

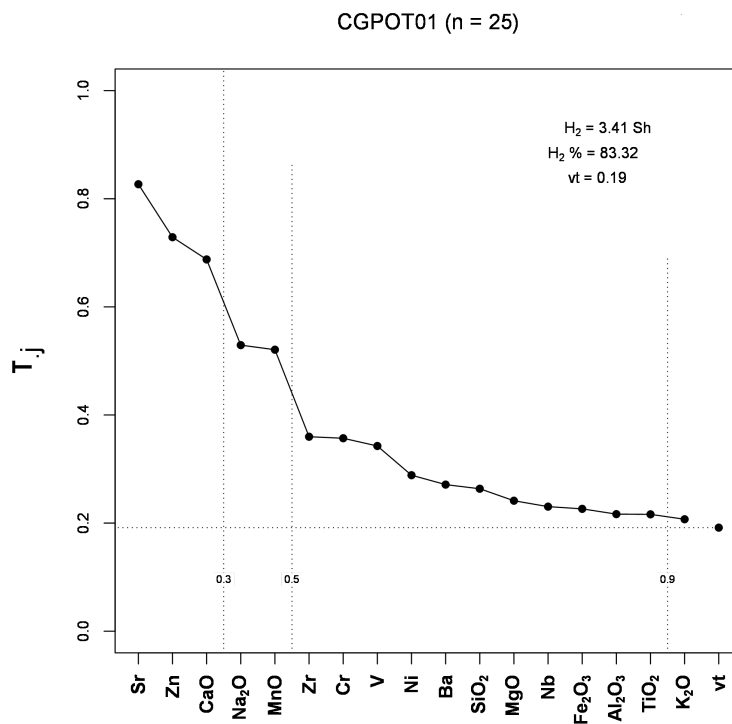


Figura 12: Gràfica d'uniformitat composicional de 25 individus mesurats segons la entropia de la informació (H_2 i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$) dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades. vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

Pel que respecta a CGPOT02 (Figura 13), els elements de sodi (Na_2O) i magnesi (MgO) són els que més influeixen en la variabilitat ($vt/\tau_j < 0.3$), seguits de zinc (Zn), potassi (K_2O) i magnesi (MgO) ($0.3 < vt/\tau_j < 0.5$). Tot i això, aquests resultats poden haver estat alterats per culpa de les alteracions de sodi i potassi produïdes als individus POT009 i POT014. La variabilitat total (vt) és de 0.32, mostrant aquesta heterogeneïtat ($H_2 = 3.12 \text{ Sh}$, $H_2\% = 76.33 \%$).

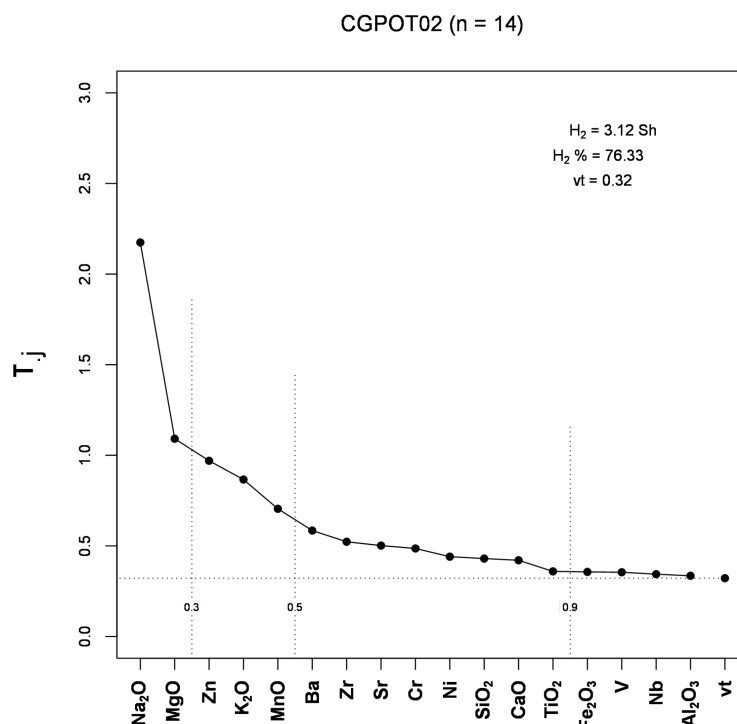


Figura 13: Gràfica d'uniformitat composicional de 14 individus mesurats segons la entropia de la informació (H_2 i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$) dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades. vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

Al grup CGPOT03 (Figura 14) hi haurà la presència de bari (Ba) com a principal determinant de variabilitat, tot i que també l'acompanyaran el sodi (Na_2O) i el potassi (K_2O) ($vt/\tau_j < 0.3$). Altres elements importants són el silici (SiO_2), el calci (CaO) i el zirconi (Zr) ($0.3 < vt/\tau_j < 0.5$). Aquí trobem una variabilitat total de 0.1, essent així el grup amb menys variabilitat. L'entropia de la informació de Shannon mostra que l'índex de Shannon (H_2) es troba als 3.11 Sh i que la uniformitat ($H_2\%$) està representant al 76.18 % del màxim possible.

Finalment, el grup CGPOT04 (Figura 15), només disposa d'un element que causi una variabilitat significativa, que és el zinc (Zn). La variabilitat total (vt) representa el 0.32, i ens trobem davant el grup més homogeni ($H_2 = 1.22 \text{ Sh}$, $H_2\% = 29.96$). Aquest paper del Zn, però és més aparent que real, ja que ve donat per uns valors en aquest element (56 mg/kg per POT001 i 27 mg/kg per POT002) que són aparentment molt diferents (la concentració a POT001 és el doble que a POT002), però que indiquen uns concentracions relativament baixes en ambdós individus.

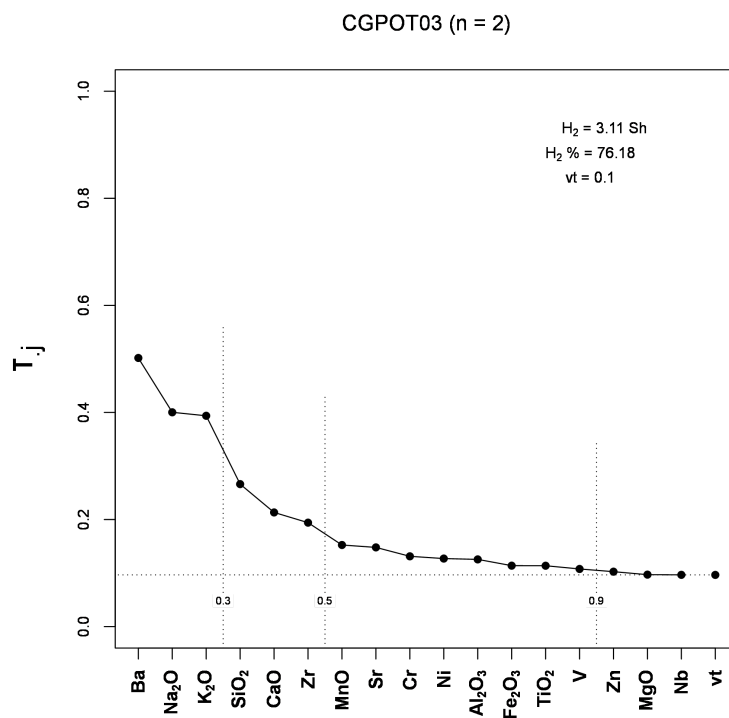


Figura 14: Gràfica d'uniformitat composicional de 2 individus mesurats segons la entropia de la informació (H_2) i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$ dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades. vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

CGPOT04 (n = 2)

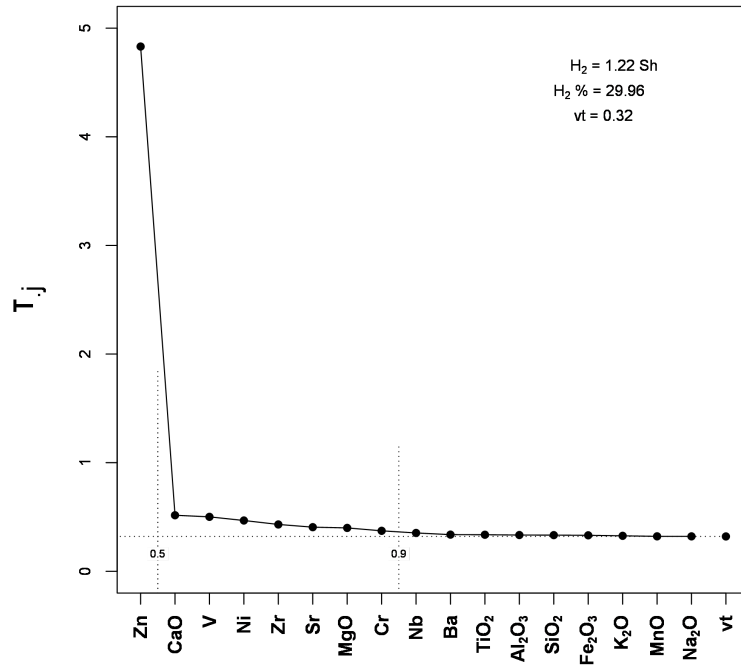


Figura 15: Gràfica d'uniformitat composicional de 2 individus mesurats segons la entropia de la informació (H_2 i el seu valor relatiu a partir del màxim assolible, $H_2\%$) dels elements considerats per al tractament estadístic de les dades. vt = variació total. τ_j = traça de la matriu de variància - covariància seguint la transformació alr, utilitzant l'element j com a divisor. Les línies de punts verticals expressen diferents valors de vt/τ_j . (R Core Team, 2021).

9.2. Resultats de la Difracció de Raigs X:

El segon estudi que s'ha realitzat és el de difracció de raigs X (DRX), a partir del qual s'han obtingut un seguit de resultats que han estat treballats a través del programa X'Pert HighScore Plus, fent-se posteriorment els gràfics amb el programa Graph8. En aquests difractogrames es poden observar pics, representant la intensitat dels minerals en cada mostra. Aquesta anàlisi s'ha realitzat per estimar les temperatures de cocció equivalents (TCE) a partir de la identificació de diferents minerals presents a partir de les escales mineralògiques que existeixen durant el procés de cocció, en el que les fases primàries es descomponen i apareixen fases de cocció.

Per a poder observar amb més claredat això, s'ha creat una taula (Taula 3) on s'agrupen els individus a partir de la seva caracterització mineralògica semblant, dins de cada grup definit per FRX. Cada grup ha estat dividit en una sèrie de fàbriques, caracteritzades per les fases minerals d'aquesta, representades seguint els símbols minerals publicats per Warr (2021). També s'ha afegit a la taula quins individus formen la fàbrica i a quina temperatura equivalent han estat cuites. Addicionalment, s'ha indicat quines fàbriques són equivalents a les fàbriques determinades a Gómez Serra (2024).

El primer grup, CGPOT01 compta amb 7 individus, repartits en 3 fàbriques.

- La F1 (POT038) es caracteritza per disposar d'il·lita-moscovita (Ilt), però també presenten pics de calcita (Cal), hematites (Hem), quars (Qz), plagiòclasi (Pl), feldespat alcalí (Kfs) i gehlenita (Gh) que situen la TCE entre els 800 i els 850 °C ja que apareix gehlenita, com a fase de cocció, però encara no es detecta el piroxè, que també serà una fase de cocció (Figura 1). Aquesta fàbrica equival a la F1 dels treballs de Gómez Serra (2024).
- La F2 conté les peces: POT020, POT029, POT030 i POT032, les quals equivalen a la F4 de Gómez Serra (2024). Aquestes peces mostren la desaparició del pic 10 Å de la il·lita-moscovita, el qual desapareix a mesura que augmenta la temperatura de cocció, que es pot determinar entre els 950 i els 1000 °C (Figura 1). Conte les mateixes fases minerals que la F1, però també inclou piroxè (Px).
- La F3 correspon als individus: POT004 i POT007. Aquí, els pics d'il·lita han desaparegut completament, apuntant a una TCE entre els 1000 i els 1050 °C pel manteniment de la gehlenita (Figura 1). És equivalent amb F5.

El segon grup, CGPOT02, incorpora 4 individus que es reparteixen entre 2 fàbriques. La primera (F1), formada per POT018 i POT019 contenen Cal, Ilt (No 10 Å), Kfs, Pl, Oz, Gh, Px (Figura 17). Com que el pic de 10 Å de la il·lita desapareix, es pot estimar una TCE entre els 950 i els 1000 °C. A la fàbrica F2, en canvi, torna a desaparèixer per complet la il·lita (Figura 17), per la qual cosa assumim, amb el manteniment de la gehlenita, que la temperatura s'ha d'estimar d'entre 1000 i 1050 °C. Ambdues fàbriques tenen en comú les següents fases: Cal, Kfs, Pl, Qz, Gh i Px. Amb tot, s'ha de destacar que els dos individus d'aquesta fàbrica presenten, com a fase secundària, analcima (Anl), una zeolita sòdica implicada en el doble procés d'alteració discutit anteriorment i que ha provocat una pèrdua de potassi (K₂O) i una fixació de sodi al·lòcton (Na₂O). Cap de les dues disposa d'una fàbrica equivalent.

El tercer grup, CGPOT03, només inclou dues ceràmiques. La fàbrica F1 (POT037) conté pics de calcita, hematites, il·lita, feldespat alcalí, plagiòclasi, quars i gehlenita (Figura 17). La intensitat dels pics d'il·lita-moscovita junt amb la presència de gehlenita, una clara fase de cocció, ens indiquen una temperatura entre els 800/850 i els 950 °C. Això és degut al fet que el pic de gehlenita de la F1 presenta un desenvolupament major que el pic de gehlenita de la F2. La segona fàbrica (F2, POT008) comparteix gran part de les fases minerals (Cal, Hem, Kfs, Pl, Qz i Gh), però la il·lita no presenta els pics de 10 Å, per la qual cosa, al mantenir la gehlenita, li estimem una TCE d'entre els 950 i els 1000 °C. Aquesta fàbrica també conté piroxè, tot i que la seva identificació no és segura (Figura 17). Cap de les dues fàbriques presenta una equivalència als treballs de Gómez Serra, I., 2024.

L'últim grup, CGPOT04, presenta una única fàbrica, F1, que consta d'un sol individu, POT001. Els pics d'intensitat que presenta corresponen a hematites, plagiòclasi, quars, feldespat-alcalí i espinel·la (Spl), molt possiblement una fase de cocció. La seva TCE, sense la presència d'il·lita-moscovita, s'ha estimat com a superior als 950/1000 °C (Figura 16).

Amb aquests resultats, podem veure que majoritàriament les ceràmiques han estat cuites entre els 950-1000 °C. La resta de les ceràmiques mostren TCE no gaire diferents, amb algunes fàbriques cuites entre 850-950 °C o entre 1000-1050 °C. Això ens porta a pensar que la cocció arribava al punt màxim de temperatura als 1050 °C, tot i que la calor es distribuïa per la resta del forn de forma irregular.

No hi ha cap relació entre la dimensió de les peces i la seva temperatura de cocció. Per exemple, POT037 és la peça que registra una temperatura de cocció estimada més baixa,

entre els 800/850-950 °C, però és una base d'una peça ceràmica amb un gruix considerable. Per altra banda, trobem POT014, que forma part de F2 (CGPOT02), cuïta a les temperatures més altes, entre els 1000-1050 °C, i essent alhora una de les peces més massisses, ja que conforma la base d'un morter. Alhora, en aquesta mateixa fàbrica, trobem POT009, una base de bací amb un perfil més fi que la resta de peces considerades. Això ens parla del fet que el procés de cocció de les peces era prou llarg per a coure les peces de forma uniforme, independentment del gruix d'aquesta.

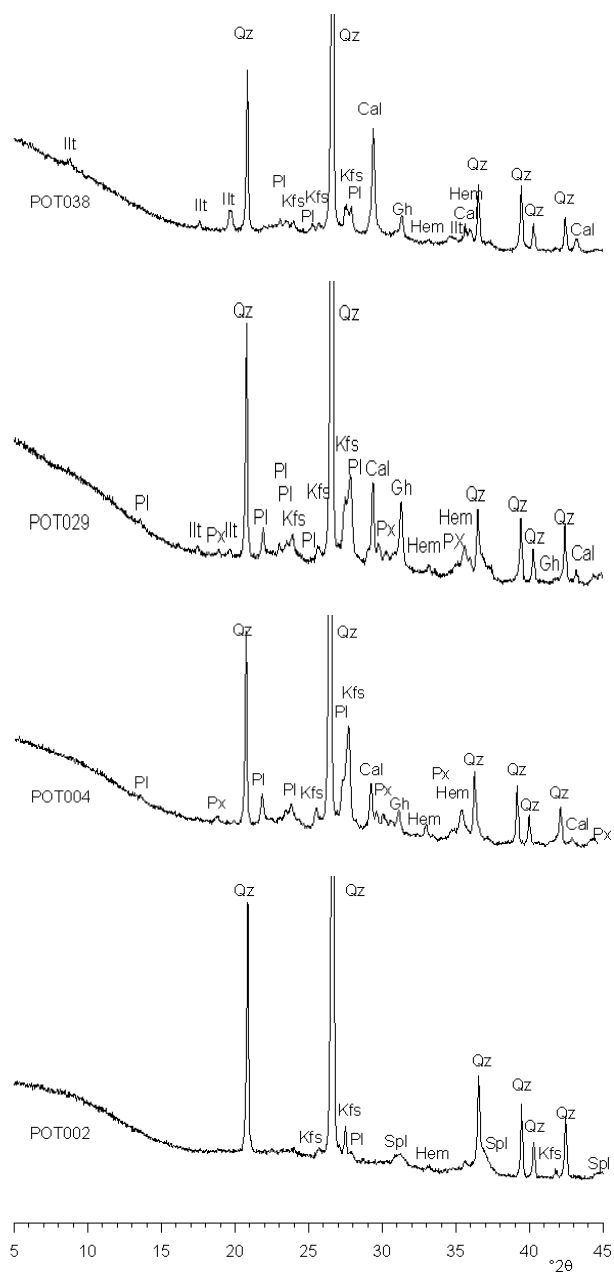


Figura 16: Difractogrames. En ordre descendent:
 -Grup CGPOT01: POT038 (F1), POT029 (F2), POT004 (F3).
 -Grup CGPOT04: POT002 (F1).
 Cal: calcita; Gh: gehlenita; Hem: hematites; Ilt: Il·lita-moscovita; Kfs: feldespats alcalins; Pl: plagioclàsics; Px: piroxens; Qz: quars; Spl: espinel·la.

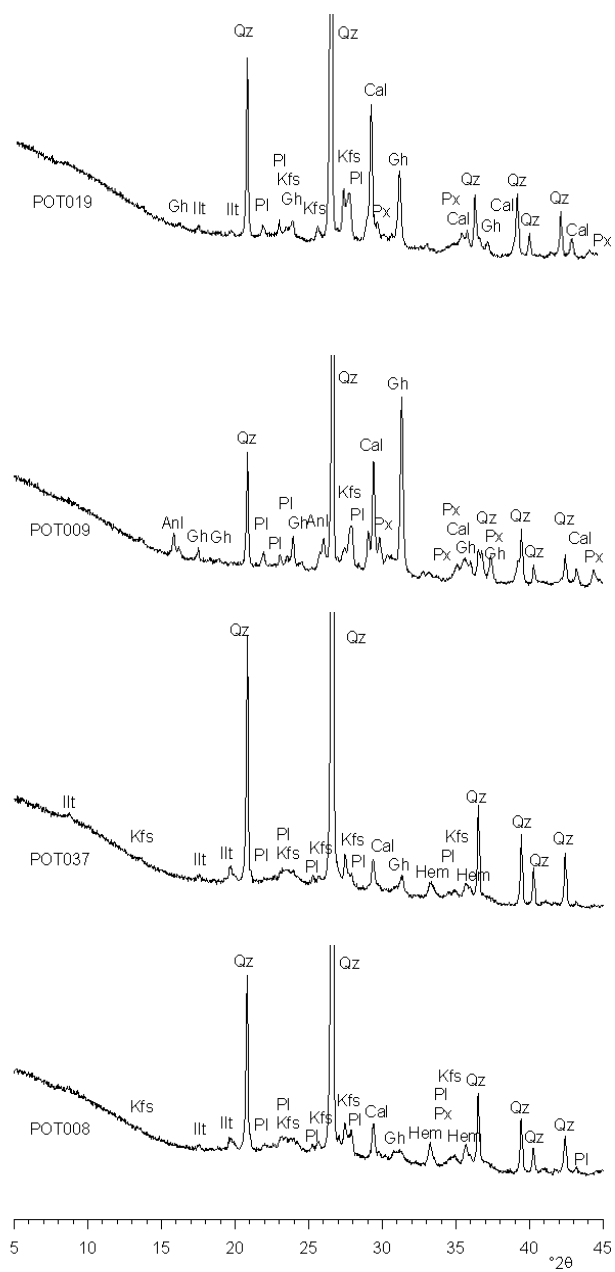


Figura 17: Difractogrames. En ordre descendent:
 -Grup CGPOT02: POT019 (F1), POT009 (F2).
 -Grup CGPOT03: POT037 (F1), POT008 (F2).
 Cal: calcita; Gh: gehlenita; Hem: hematites; Ilt: Il·lita-moscovita; Kfs: feldespats alcalins; Pl: plagioclàsics; Px: piroxens; Qz: quars; Spl: espinel·la.

Fàbriques de DRX	Fases minerals	Individus	TCE °C
CGPOT01 (<i>n</i> = 7)			
F1 (<i>n</i> = 1) [F1-F2]	Cal, Hem, Ilt, Kfs, Pl, Qz, Gh	POT038	800-850
F2 (<i>n</i> = 4) [F4]	Cal, Hem, Ilt(No 10 Å), Kfs, Pl, Qz, Gh, Px	POT020, 029, 030, 032	950-1000
F3 (<i>n</i> = 2) [F5]	Cal, Hem, Kfs, Pl, Qz, Gh, Px	POT 004, 007	1000-1050
CGPOT02 (<i>n</i> = 4)			
F1 (<i>n</i> = 1) [no]	Cal, Ilt(No 10 Å), Kfs, Pl, Qz, Gh, Px	POT, 018, 019	950-1000
F2 (<i>n</i> = 2) [no]	Cal, Kfs, Pl, Qz, Gh, Px, Anl	POT009, 014	1000-1050
CGPOT03 (<i>n</i> = 2)			
F1 (<i>n</i> = 1) [no]	Cal, Hem, Ilt, Kfs, Pl, Qz, Gh	POT037	800/850-950
F2 (<i>n</i> = 1) [no]	Cal, Hem, Ilt (No 10 Å), Kfs, Pl, Qz, Gh, Px(?)	POT008	950-1000
CGPOT04 (<i>n</i> = 1)			
F1 (<i>n</i> = 1) [no]	Hem, Kfs, Pl, Qz, Spl	POT002	> 950/1000

Taula.3: Taula de les fàbriques determinades mitjançant difracció de raigs X (DRX). TCE: Temperatura de cocció equivalent. Cal: calcita; Hem: hematites; Ilt: il·lita; Kfs: feldespats alcalins; Pl: plagiòcalsi; Px: piroxè; Qz: quars; Anl: Analcima; Spl: espinel·la.

10. Discussió:

Gràcies a les analítiques de fluorescència de raigs X (FRX) i difracció de raigs X (DRX), hem pogut caracteritzar les ceràmiques provinents de l'excavació del taller de Potries. Aquesta caracterització, juntament amb la inclusió de les dades composicionals provinents de la base de dades de l'ARQUB ha servit per identificar 4 grups productius, a més d'una ceràmica no classificada.

CGPOT01 compta amb el major nombre de ceràmiques (un total de 25 individus), dels quals trobem una gran quantitat de ceràmiques de sucre (13 peces), comunes (7 peces), vidrades (3 peces), cuina (1 peça) i un porró (1 peça). Aquest grup destaca per la seva quantitat de calci, amb una mitjana de 9.77 % i una desviació estàndard d'1.71 %, la desviació més gran d'aquest element en els quatre grups. La majoria d'aquestes peces a nivell binocular presenten un color ataronjat en la seva matriu, a excepció de la peça POT004, pertanyent a la F3, que presenta un color fosc, si bé presenta inclusions similars a POT007, l'altre peça de CGPOT01 pertanyent a la F3 (fig.18).

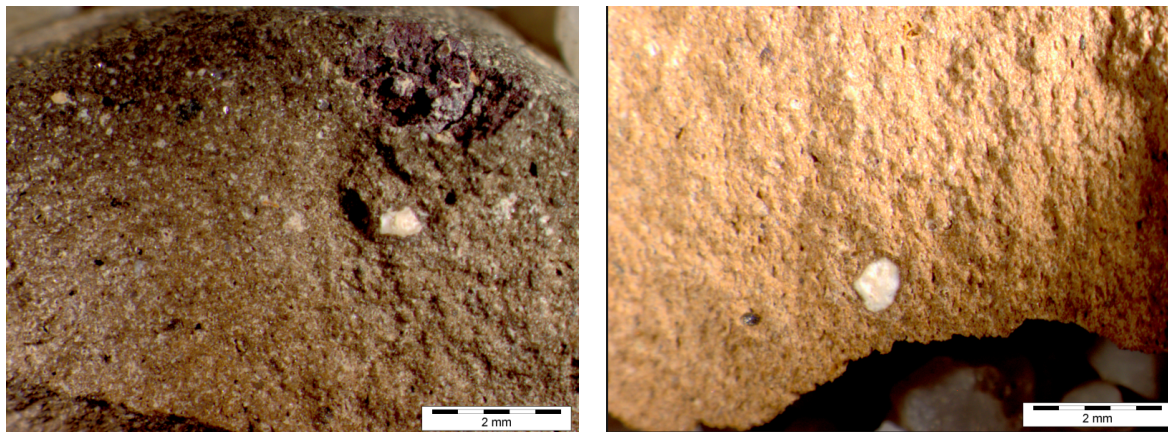


fig.18: A la esquerra, POT004, a la dreta, POT007.

CGPOT02, per altra banda, està formada per 14 individus, dels quals en destaca la presència de 9 formes de sucre, 4 peces de ceràmica comuna i una de vidriada. Aquestes són les ceràmiques més calcàries, amb una mitjana de composició del 18.91 % i una desviació estàndard de l'1.49 %. En aquest aspecte, la ceràmica amb més calci de tot el conjunt és POT009, amb un 19.45 %, és a dir, gairebé la seva composició total és una cinquena part de CaO. Pel que respecta aquestes peces, presenten una coloració beix/groguenca (fig.19).

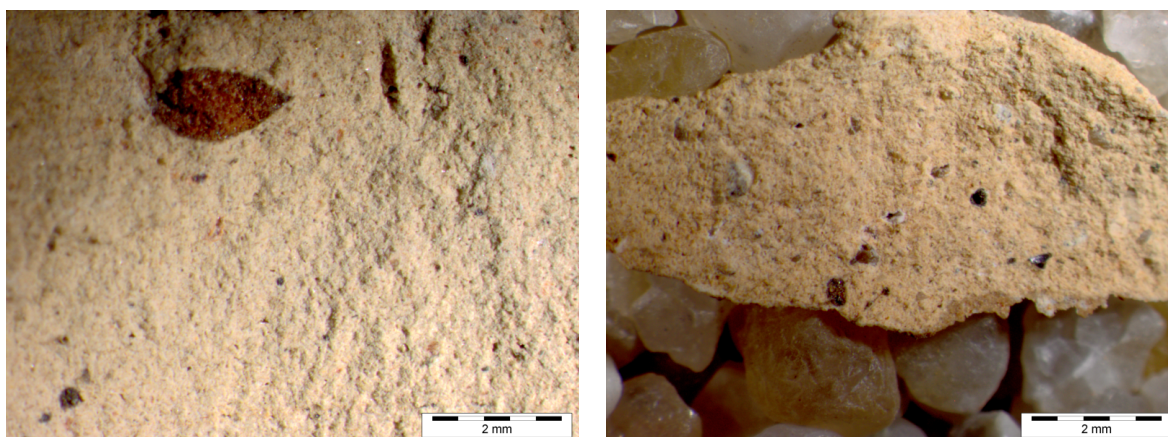


fig.19: A la esquerra, POT014, a la dreta, POT018.

El grup CGPOT03, per altra banda, disposa de dues ceràmiques comunes vidrades de tipologia indefinida. Aquest grup té una mitjana de calci del 4.58 %, nivells els quals no s'havien enregistrat en els treballs anteriors, per la qual cosa estem parlant d'un nou grup sorgit dintre el context d'aquest estudi. Un altre fenomen que es pot destacar és la quantitat de SiO_2 que contenen les peces, ja que aquest material augmenta en els grups amb poc calci (CaO) i disminueix arran de què el calci és més present. Els nivells de SiO_2 són de 68.96 %, amb una desviació estàndard del 2.70 %, mentre que als altres grups no és tan elevat (A CGPOT01 hi trobem 63.83 % amb desviació estàndard de 2.22 % i a CGPOT02 hi trobem un 56.61 % amb una desviació estàndard de 2.11 %), excepte al grup següent, CGPOT04. Pel que fa al color, trobem peces molt més ataronjades que la resta (fig.20). Els nivells de calci i la presència d'hematites són els causants d'aquesta coloració. En ceràmiques poc calcàrees, la presència d'hematites fa que la matriu presenti una coloració vermellosa (Tite *et al*, 1982).



fig.20: POT037.

CGPOT04 també agrupa 2 peces, una ceràmica comuna i una de vidriada i destaquen per ser els materials amb menys concentració de calci, trobant-se aquest en un 1.13 % i un 0.11 % de desviació estàndard. Alhora, aquestes peces contenen la proporció més gran de SiO_2 , amb un 71.47 % de mitjana i una desviació estàndard de 0.95 %. Aquesta baixa concentració de calci pot ser deguda a que la finalitat de les peces fos la de ceràmica de cuina, específicament del tipus que entra en contacte amb la flama, ja que si aquesta tingués quantitats de calci similars a la resta de grups, la calor del foc faria trencar la peça. Pel que respecta a la coloració, la peça POT002 presenta una tonalitat fosca, molt similar a la peça POT004 de CGPOT01. L'alt nivell d'hematites i la temperatura de cocció pot ser el causant d'aquesta tonalitat (Tite *et al*, 1982) (fig.21).

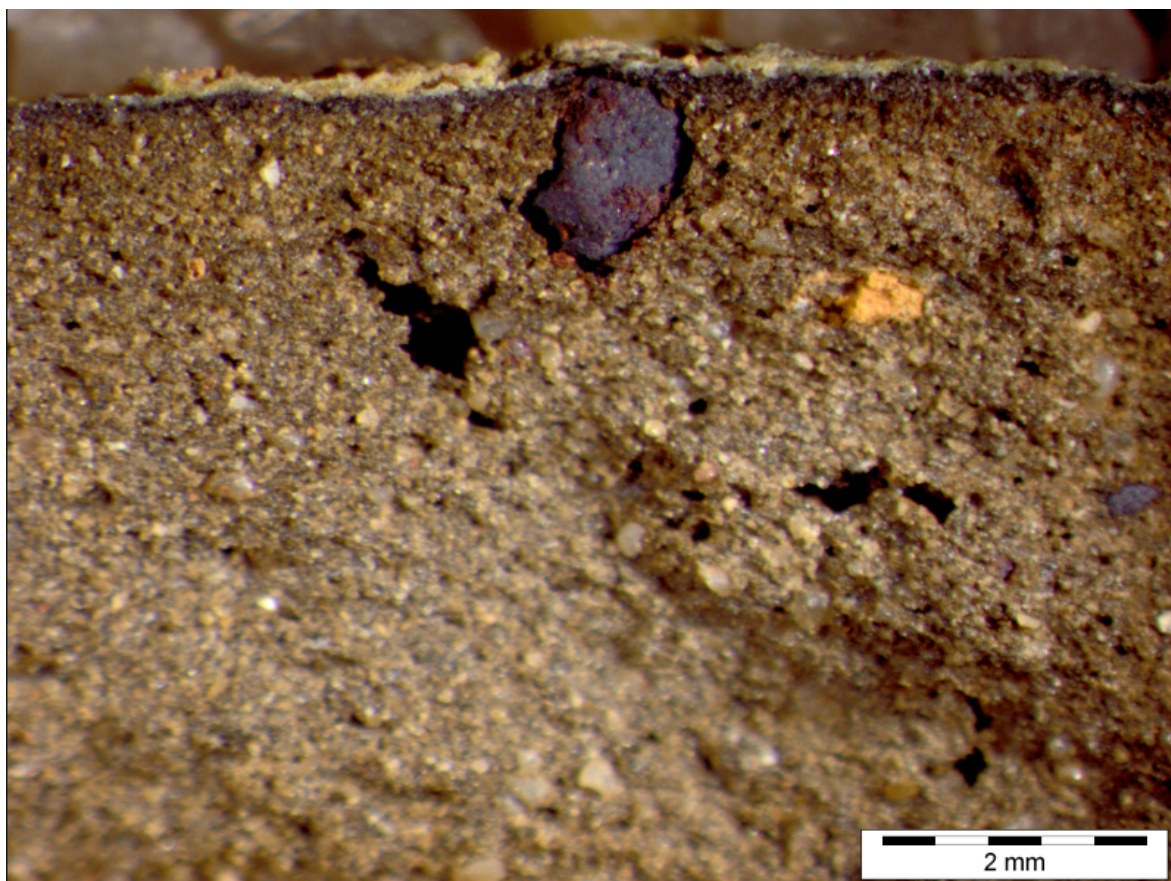


fig.21: POT002

Finalment, trobem l'individu no classificat POT055, una forma de sucre provinent de la base de dades de l'ARQUB amb uns nivells de calci que se situa entre la mitjana de CGPOT01 i CGPOT02 ($\text{CaO} = 14.87\%$), però sense arribar-se a ajuntar amb cap grup. Un dels factors que tampoc ajuda a aparellar aquesta peça és la seva alta concentració de magnesi ($\text{MgO} = 2.30\%$), doblant gairebé els nivells de mitjana que té CGPOT01 (1.22% de mitjana i 0.09% de desviació estàndard).

Un altre factor que s'ha pogut observar és la similitud de les pastes entre les diferents classes de ceràmica. Tots els grups estan representats per les gammes tipològiques de les quals disposa l'estudi. És a dir, cada grup inclou formes de vidre, ceràmiques comunes, ceràmiques vidriades, etc. Sí que és cert que alguns grups no inclouen totes les tipologies, per exemple CGPOT03 i CGPOT04, però això va condicionat per la mida reduïda dels grups. Ara mateix no sembla que existeixi un ús d'un tipus determinat de pasta per a les formes de sucre, un altre tipus de pasta per les comunes, etc. És així com podem concloure que el taller produeix diverses tipologies de ceràmiques sense tenir en compte les pastes, a excepció d'aquelles de cuina, que sí requereixen una pasta menys calcària. La diversitat de grups composicionals no

respon doncs a la necessitat de produir diferents ceràmiques en funció de la seva finalitat. A partir d'aquest raonament neix una pregunta nova, la qual posa en dubte la necessitat de disposar de diverses pastes si la finalitat de producte no té rellevància, poden obtenir només un tipus de pasta per a fer les produccions, o dos, per a fer també les peces que hagin de contactar amb el foc. Una hipòtesi seria la del fet que el jaciment excavat no és un taller amb individualitat pròpia, sinó un forn comunitari on diversos tallers cuinen les peces de forma conjunta. Al no disposar de documentació arqueològica rellevant, plantes, memòria d'excavació, etc., és impossible determinar una causa per a aquest fenomen, tot i que aquesta línia d'investigació podria alimentar un projecte d'investigació en el futur.

11. Conclusions:

El primer objectiu, i el principal, d'aquest treball era el de caracteritzar arqueomètricament un grup ceràmic provinent del jaciment de Potries, València, per a la seva posterior incorporació a la base de dades de l'ARQUB i la seva anàlisi conjunta, amb la intenció d'ampliar el grup de referència conegut del taller de Potries, per tal d'estudiar les formes de producció i els desplaçaments que realitzen les ceràmiques. Aquest objectiu s'ha complert. No només s'ha ampliat els grups químics que ja coneixíem (CGPOT01 i CGPOT02) gràcies a Gómez Serra (2024), sinó que també s'han definit grups que prèviament no existien (CGPOT03) i s'ha ajuntat material que havia quedat aïllat (CGPOT04), ampliant així el coneixement sobre ceràmiques en el territori de la Safor. Aquest objectiu també ha dut a la proclamació de noves teories i un possible fil d'investigació per a continuar investigant de cara a projectes futurs. La quantitat de diferents grups, que en aquest escrit es demostra que no té rellevància a nivell de finalitat, a excepció del grup CGPOT04 amb ceràmiques poc calcàries per al seu ús de cuina, ha de respondre a alguna necessitat. En aquest treball s'ha hipotetitzat sobre la possibilitat de múltiples tallers, cadascun amb la seva elaboració d'argila pròpia, compartint uns forns. Tot i això, aquesta és una hipòtesi preliminar de la qual en podria dependre una investigació que inclogués una altra intervenció arqueològica a Potries, de la qual extreure més dades sobre la planta dels forns, amb tal de delimitar espais productius, com una investigació documental als arxius del municipi i investigacions arqueomètriques per a continuar ampliant els grups químics i, per tant, ampliar el coneixement de la producció ceràmica al territori valencià de la Safor.

El segon l'objectiu, de caràcter didàctic, que constava de l'aprenentatge de tècniques arqueomètriques (fluorescència de raigs X, difracció de raigs X, assaig de la pèrdua al foc), programari per a l'estudi de dades quantitatives (R i R studio, X'Pert HighScore Plus, Graph 8), edició d'imatge vectorial (InkScape) i modelatge 3D (EinScan-HX), com també tot aquell aprenentatge respecte al procés d'investigació i recerca que es du a terme en qualsevol projecte científic, ha estat complet. D'això n'és mostra l'ús emprat de tots aquests coneixements en aquest TFG.

12. Bibliografia:

Aitchison, J.(1986). *The Statistical Analysis of Compositional Data*, Chapman and Hall, London.

Blanes, R. (2003). *El puerto de Valencia: encrucijada de rutas, productor y mercaderes (1625-1650)*. Biblioteca Valenciana, Generalitat Valenciana, Conselleria de Cultura i Educació. València. p.198

Buxeda i Garrigós, J. (2001). L'estadística i la seva aplicació en els estudis de provenença dels materials arqueològics. En Gràcia, F., Gurt, J., Carreras, C., i Munilla, G., editors, *Arqueomediterrània. Jornades d'Arqueologia i Tecnologies de la Informació i la Comunicació: Recerca, Docència i Difusió*. Universitat de Barcelona i Universitat Oberta de Catalunya.

Buxeda i Garrigós, J. (2001). L'estadística i la seva aplicació en els estudis de provenença dels materials arqueològics, en: *Jornades d'Arqueologia i Tecnologies de la informació i la comunicació*. Ed: Universitat de Barcelona, Universitat Oberts de Catalunya. Barcelona. pp. 71-92.

Buxeda i Garrigós, J. (1999). Alteration and Contamination of Archaeological Ceramics: The Perturbation Problem, *Journal of Archaeological Sciences*, 26, 295-313. <https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0390>

Buxeda i Garrigós, J. (2018). *Compositional Data Analysis*, a S. L. López Varela (ed), *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, pp 1–5, John Wiley & Sons, Oxford

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

Egozcue, J. J., Pawlowsky-Glahn, V. (2011). Basic concepts and procedures, a V. Pawlowsky-Glahn, A. Buccianti (eds.), *Compositional Data Analysis. Theory and Applications*, pp 12–28, Wiley, Chichester.

Gisbert, J. A. (1999). L'empremta d'un trapig del segle XV al Real de Gandia: Arqueologia del sucre al cor de La Safor, en: Afers: Sucre i creixement econòmic a la baixa Edat Mitjana XIV. Ed: Ferran Garcia Oliver. Catarroja. pp. 33-60

Gisbert, J. A. (2000a). L'enginy d'Oliva, en: L'enginy d'Oliva, Segles XVI-XVII. Ed: Ajuntament de Gandia, Ajuntament d'Oliva. Gandia.

Gisbert, J. A. (2000b). El Real, en: El trapig de Gandia, Segle XV. Ed: Ajuntament de Gandia, Ajuntament de Gandia. Gandia.

García Iñáñez, J., Buxeda i Garrigós, J., Madrid i Fernández, M., Gurt i Esparraguera, J., i Cerdà i Mellado, J. (2007). Archaeometric characterization of middle age and renaissance tin lead glazed pottery from barcelona. En Waksman, S., editor, Archaeometric and Archaeological Approaches to Ceramics. Papers presented at EMAC'05, 8th Meeting on Ancient Ceramics. BAR International Series.

Gómez Serra, I. (2024). Producció de ceràmica de sucre en La Safor: Caracterització arqueomètrica de 30 individus pertanyents de Potries (Comunitat Valenciana), segle XVI-XVII dc. TFM. UB.

Heimann, R. (1989). Assessing the technology of ancient pottery. The use of ceramic phase diagrams. Archeomaterials, 3:123–148.

Iñáñez, J. G. i Buxeda i Garrigós, J. (2007). Pisa arcaica i ceràmica vidriada del segle xiii a barcelona. un estudi arqueomètric. QUARHIS Quaderns d'Arqueologia i Història de la Ciutat de Barcelona, 3:160–179.

Llibrer, A. (2014). Relaciones protoindustriales en la producción cerámica. manises y paterna en la segunda mitad del siglo xv. Medievalismo, (24):213–239.

Luis, D. (1994). Las galeras mercantiles venecianas y el puerto de valencia: 1391-1534. Anuario de estudios medievales, 24(1):179–200. p196

Martín-Fernández, J. A., Buxeda i Garrigós, J., Pawlowsky-Glahn, V. (2015). Logratio Analysis in Archaeometry: Principles and Methods, a J. A. Barceló, I. Bogdanovic (eds), Mathematics and Archaeology, pp 178–189, CRC Press, Boca Ratón.

Mesquida, M. i Villarroel, J. J. (2008). Las marcas de las tinajas de paterna. En Comercio, redistribución y fondeadores: la navegación a vela en el Mediterráneo. V Jornadas de Arqueología Subacuática: actas, p. 382–396. Servei de Publicacions.

Mesquida, M. i Villarroel, J. J. (2008). Las marcas de las tinajas de paterna. En Comercio, redistribución y fondeadores: la navegación a vela en el Mediterráneo:[V Jornadas de Arqueología Subacuática: actas], p. 382–396. Servei de Publicacions.

Ouerfelli, M. (2008). Le sucre. Production, commercialisation et usages dans la Méditerranée médiévale, Leyde, Brill (The Medieval Mediterranean, 71), 2008, 809 p.

Peix Visiedo, J. (2022). La circulació ceràmica a Barcelona al voltant dels segles XIII i XVIII a partir del seu estudi arqueomètric. Tesis doctoral, Universitat de Barcelona.

Pino, M. (2021). Repensar la ceràmica valenciana d'època medieval i moderna des de l'arqueologia i l'arqueometria: Sistematització tipològica, producció i difusió. [Tesis doctoral, UB] Tesis doctorals en xarxa: <http://hdl.handle.net/10803/671891>

Potries Turismo. Yacimientos arqueológicos. Pagina web. Disponible a: <https://turisme.potries.org/es/monumentos/#yacimientos-arqueologicos>

Sánchez Pacheco, T. (1997). Cerámica española. Summa Artis. Historia General del Arte, volum XLII. Espasa Calpe. Madrid. Pag 140

Sánchez, J. M. (1998). La cerámica exportada a américa en el siglo xvi a través de la documentación del archivo general de indias (ii). ajuares domésticos y cerámica cultural y laboral. Laboratorio de Arte II, (11):121–133.

Tite, M., Maniatis, Y., N.D., M., Bimson, M., Hughes, M. J., i Leppard, S. C. (1982). Technological Studies of Ancient Ceramics from the Near East, Aegean and Southeast Europe. En Wertime, T. i F., W. S., editors, The evolution of the first fire-using industries, p. 61–71. Smithsonian Institution Press, Washington.

Warr L.N. (2021). IMA–CNMNC approved mineral symbols. Mineralogical Magazine 85, 291–320.