

**Gradu amaierako lana**  
**Geologia**

**Erdi Aroko epidotadun zeramikak egiteko erabilitako buztinen jatorria (Gorlizeko Inmaculada Concepcion Parrokia aztarnategia)**

**Egilea:**  
**Amaia Rodriguez**

**Zuzendariak:**  
**Maria Cruz Zuluaga eta Luis Angel Ortega**

Leioa, 2014ko ekainaren 16a



# Aurkibidea

Sarrera.....	1
Materialak	
1. Zeramika arkeologikoak.....	3
2. Sedimentuak.....	5
Metodoak	
1. Zeramiken analisi petrografikoa.....	7
2. Sedimentuen azterketa.....	8
2.1. X izpien difrakzio bidezko azterketa.....	8
2.2. Mineral astunen banaketa.....	11
Emaitzak	
1. Zeramiken analisi petrografikoa.....	14
2. Sedimentuen azterketa.....	16
2.1. X izpien difrakzio bidezko azterketa.....	16
2.2. Mineral astunen banaketa.....	20
Ondorioak.....	23
Bibliografia.....	25





## Sarrera

Buztin mineraletan ikertzen duen geologiak azken 20 urteetan garapen handia izan du arazo arkeologikoak ulertzeko eta askotan konpontzeko orduan, hala nola, material zeramikoen jatorria eta ezaugarriak (Whitbread eta Mari, 2014; Iordanidis, 2009). Ondorioz, informazio garrantzitsu honek kontextu sozial, politiko eta kulturala interpretatzeko arrazoiak ematen ditu, baita aintzinako gizarteen eboluzioa eta hauen interakzioa eremu edota lurraldeekin. Arkeologiako zeramikak aztertzeke ezinbestekoa da laborategiko teknikak, geologikoak eta teknologikoak konbinatzea. Orokorrean, teknika bakarra ez da nahikoa mineralogia definitzeko, izan ere, meteorizazio prozesuak jasan ditzakete.

Zeramika arkeologikoen karakterizazioari arkeometria deritzo. Arlo zientifiko hau hiru oinarriko eremutan erabiltzen da. Alde batetik, eremu arkeologikoen kokapena geofisikako prospekzioen bitartez; bestetik, datazio absolutua edota kronometrikoa eta azkenik, materialen jatorria eta karakterizazioa (Butzer, 1989).

Ikerketa gehien funtsa zeramiken jatorria aztertzea da (Kibaroglu et al., 2009). Horretarako, analisi mineralogikoko metodoen bidez edota analisi kimikoen bidez, zeramika osatzen duen matrize buztintsuaren mineralak zeintzuk diren jakin daiteke eta inguruko sedimentuen azterketaren emaitzekin konparatuz, bertakoak ala inportatukoak diren determinatu daiteke. Alabaina, ikerketa ez da hor amaitzen, behin jakinda zeramikaren matriza osatzen duten mineralak bere egoste tenperatura ezagutu baitaiteke (Bertolino eta Fabra, 2003; Papachristodoulou et al., 2010).

Analisi mineralogikoen artean mikroskopia petrografikoa, X izpien difrakzioa eta mikroskopia elektronikoa daude. Lehendabiziko metodoaren bidez, zeramiken eta inguruko sedimentuen mineralogia eta ehundura azertu daitezke (Capel et al., 1995). Bigarren metodoaren bitartez, mikroskopia petrografikoan ikusi ezin izan diren elementu kristalinoak detektatu daitezke, hau da, mineralak (Bertet, 1973). Hirugarren metodoak, bestalde, elementuak auntu handi batekin ikustea ahalbidetzen du, auntuak 100.000x-koak izan daitezkeelarik. Honi esker, zenbait mikroegitura ikertu daitezke (Ibañez, 1998; Belfiore et al., 2010).

Analisi kimikoko tekniken artean, X izpien fluoreszentzia, ICP (indukzio bidez akoplatutako plasma) masa espektometroa, TIMS (ionizazio termikoko masa espektometroa) eta neutroien aktibazio bidezko analisisia daude. Lehendabiziko metodoaren bitartez, elementu kimikoak determinatzen dira, bai elementu nagusiak baita elementu aztarnak ere (Kibaroglu et al., 2009; Papachristodoulou et al., 2006). X izpien difrakzioak ez ditu elementuak detektatzen, mineralak baizik. Laginen forma eta tamaina oso aldakorrek izan daitezke. ICP masa espektometroaren bidez, taula periodikoko ia elementu gehienak determinatu eta kuantifikatu daitezke zortzi magnitude ordeneko errango lineal batean. Detekzio muga batzuk ditu ppb-ppt gutxi batzuetako elementu gehienetarako, elementu aztarnen analisisetarako oso egokia izanik (Li et al., 2005; Li et al., 2006). TIMS-a elementu nagusi eta aztarnen (lur arraroak barne) analisirako, anioien eta katioien determinaziorako eta kontzentrazioen eta erlazio isotopikoen analisirako egokia da (Li et al., 2005; Li et al., 2006). Neutroien aktibazio bidezko analisisiak elementu kimikoak determinatzea ahalbidetzen du, elementu nagusiak, elementu aztarnak eta lur arraroak identifikatuz (Hein et al., 2004; Selden Jr et al., 2014). Hala, hauen emaitzak X izpien difrakzioaren bidez lortutakoekin parekatu daitezke eta informazio gehigarria eman dezakete. Zeramiken osaera kimikoa jakiteko aipatutako edozein metodoren bidez egin daiteke.

Aztarnategi arkeologiko bat aurkitu zen Inmaculada Concepcion Elizaren iparraldean (Gorliz, Bizkaia) 2007.en urtean. Aztarnategi hau Bizkaian dokumentatutako lehendabiziko goi Erdi Aroko (VIII-IX mendeak) kokalekua da. Kontuan hartuta bertan aurkitu den zeramika kopurua, goi Erdi Aroko zeramiken bilduma onena da. Horretaz gain, kanpainen egitura lantzeko labe zahar bat, 100 ehorzketa eta hezurtegi bat aurkitu dira.

Gorlizko muinoaren iparraldeko zonan etengabeko okupazioa dokumentatu da VII.en mendetik XVIII.en mendera arte. Lehendabiziko hiru edo lau mendeetan hábitat-aren frogak daude soilik, etxeen egurrezko egituren eta zeramiken arrastoak utziz. X.en mende inguruan inguruko zonako atal bat abandonatu egiten da eta ehorzketak egiten hasten dira. Hilerrri bezala erabilitako eremu hau XVIII.en mendera arte luzatu da, gaur eguneko Inmaculada Concepcion Parrokia ezarri den arte. Eliza hau 2007.en urtean berriua izan zen eta obrei esker, hain zuzen ere, aurkitu dira zeramika hauek, izan ere, obra horiek

azpiko lurra mugitu zuten zeramikak eta beste arrastoak azalean utziz (Campos et al., 2009).

Aurkitutako zeramikak Gorliz muinoko iparraldea okupatu duten indibiduoek aztarnategi inguruko sedimentuetatik abiatuz sortutakoak diren ala kanpotik ekarriak diren jakin nahi da. Zeramika hauen ezaugarri nagusia epidota dutela da, ez baita zeramiketan aurkitzen den mineral ohikoa. Hala, zeramika hauen jatorria aztertzeorako orduan, inguruko sedimentuen konposizioa ikertuko da epidota dagoen ala ez jakiteko. Honela jakin daiteke zeramika horiek bertakoak ala inportatutakoak diren.

## **Materialak**

### **1. Zeramika arkeologikoak**

Campos et al., (2009) arabera, VII.en mendetik X.en mendera arteko goi mediabaleko kokalekuaren arrastoak aurkitu dira. Hala, tarte horretan hiru okupazio fase bereiztu dira:

FASE I (VII.en mendea)

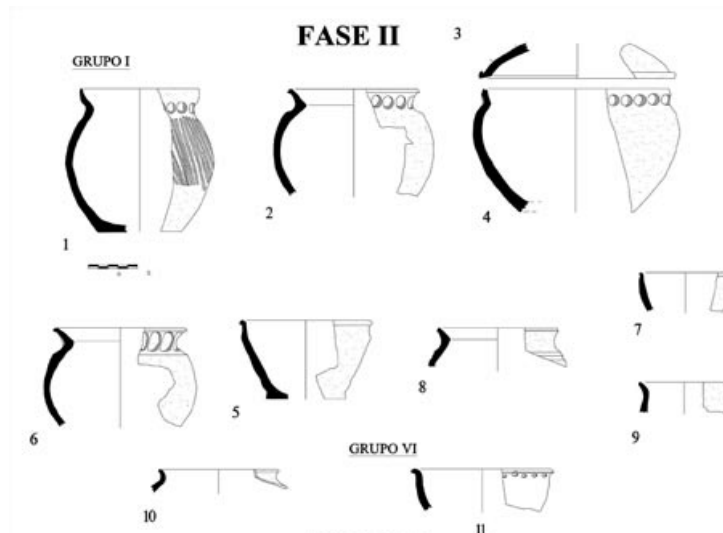
Okupazio hau VII.en mendekoa da eta ez da aurkitu garai honetan zeramiken fragmenturik edo aztarnarik.

FASE II (VII-VIII mendeak)

VII.etik VIII.en mende bitartean zabaltzen da. Fase honetan zeramiken kopuru handia berreskuratu da. Zeramika gehienak I taldekoak dira (1. Irudia). Hauen matriza kuartzo, mika eta txamotaz osatuta dago. Denak lapikoak dira. Forma itxiak nagusitzen dira: hondo lauekoak, galbo globularrekoak, edalontzi-antzeko ertzeekin eta ezpain trianguluarrekoak (2, 6 eta 8 motatakoak), ezpain borolbidunekoak (9 eta 10) eta ezpain puntadunekoak (1).

Zeramika hauek apaindura orraztua erakusten dute edo/eta digitazioak dituzte ertzeetan. Forma irekiak ere aurkitu dira eta kizarak dira (4, 5 eta 7 motatakoak). Honelako batzuk digitazioekin ertzeetan apaingarri gisa. Pieza batzuek, 3 motakoak adibidez, arteka bat erakusten dute ezpainean gainean jar zitekeen estalki bati lotzeko. Dokumentatutako

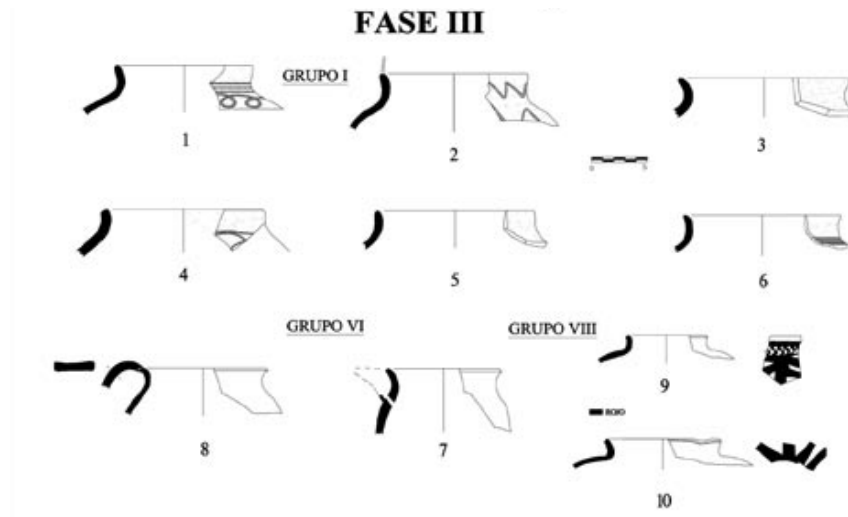
beste talde zeramiko bat VI-a da. Soilik fragmentu bakarra aurkitu da. Kikara erdiesferiko bat da, edalontzi-antzeko ertzekin eta ezpain borobilduna eta apaingarri digital apur bat erakusten du ertzean.



1. Irudia. VII.etik VIII.en mende bitarteko zeramikak. I taldeko pieza denak lapikoak dira. Forma itxiak nagusitzen dira. VI taldeko pieza bakarra aurkitu da. Hau kikara erdiesferiko bat da. Campos et al., (2009)-tik hartua.

#### FASE III (modernoena, VIII-IX mendeak)

VIII-IX mendeak bitartean zabaltzen da eta fase modernoena da. Fase honetako zeramikei dagokioenez, aurreko fasearekiko aldaketak agertzen dira. I taldeko zeramikak nabarmentzen diren arren, VI taldekoak areagotzen dira eta talde berri bat agertzen da, VIII taldea (2. Irudia). I taldean forma itxiko lapikoak nabarmentzen dira (1, 2, 3, 4, 5 eta 6 motatakoak), apaingarri uhinkara eta ildokara erakusten dutenak. VI taldeko zeramikek ere forma itxia dute eta aurtzolak (7 motatakoa) eta pitxerrak (8 motatakoa) bereizten dira. VIII Talde berriko zeramika hauek gorri granatean margotutako apaingarri geometrikoak ezaugarritzen ditu. Hauen artean forma itxiko pitxerrak daude (9 eta 10 motatakoak).



2. Irudia. VIII-IX mende bitarteko zeramikak dira. I taldean forma itxiko lapikoak nabarmentzen dira. VI taldeko zeramiketan pitxerrak bereizten dira. VIII Talde berriko zeramiken artean forma itxiko pitxerrak daude. Campos et al., (2009)-tik hartua.

## 2. Sedimentuak

Lan honen helburua da zeramika hauek egiteko inguruko buztinak erabili bazituzten ala ez aztertzea. Horretarako, aztarnategiaren ibai-ertzetatik sedimentu desberdinak hartu dira.

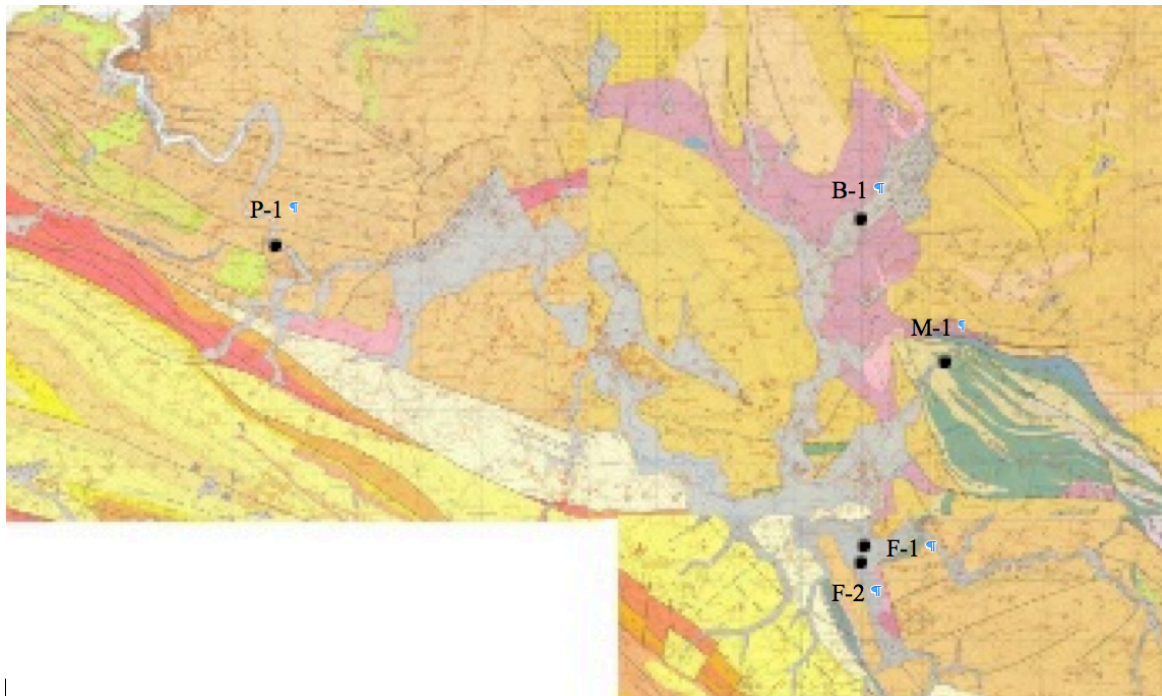
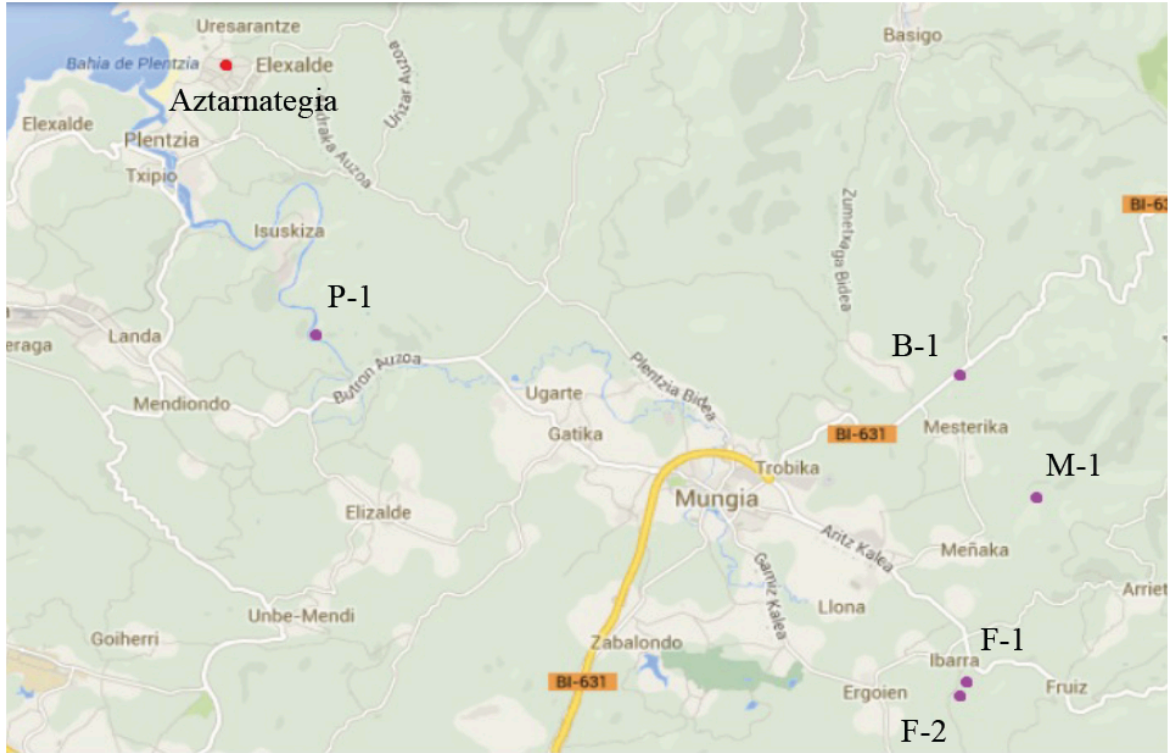
Sedimentu hauek hartzeko kokapenak epidota eduki zitekeen arabera aukeratu dira inguruko mapa geologikoetan oinarrituz. Honela, bost lagin buztintsu jaso dira guztira (3. Irudia).



3. Irudia. Jaso diren bost laginak: P1, B1, F1, M1 eta F2.

Lagin hauen kokapen geografikoa eta geologikoa 4. Irudian adierazita daude. Iku daitekeenez, bi lagin Mungia herriaren inguruan hartu dira, B1 eta M1 deritzaienak. M1 lagina Meñakabarrena auzotik igarotzen den Meñakabarrena errekan hartua da eta erreka hau hareatsua eta konglomeratikoa da, buztina oso urria delarik. Ibaiak Goi Kretazikoko koladak moztan ditu nagusiki, baina baita arroka mikrobikordunak eta dikeak

ere. Eredu honetan aipatutako koladex gain, hareharriak, lutitak, tupak eta bretxak ere ageri dira, hauen artean arroka bolkanikoak aurki daitezkeelarik tartekaturik (EVE, MUNGIA 38-III).



4. Irudia. Laginak hartu diren kokapen geografikoa (goian) eta kokapen geologikoa (behean).

B1 lagina, aldiz, Bermeo kaletik igarotzen den Emerando errekan jaso da, Emerando auzotik gertu. Ibai hau algaz beterik dago, buztina oso ugaria delarik. Bestalde, Trias Keuper-eko ofitekin dago kontaktuan. Ofiten artean, buztin nabarrak eta igeltsuak aurkitu daitezke (EVE, MUNGIA 38-III). Epidota ager daiteke ofitetan piroxenoen alterazio produktu bezala.

Beste bi lagin Fruiz herriaren inguruan hartutakoak dira, F1 eta F2 deritzenak. F1-eri dagokionez, Orroa errekan hartutako lagina da. Erreka hau hareatsua da eta Goi Kretazikoko materialekin dago kontaktuan. Material hauen artean tupa eta kareharri tupatsuak aurki daitezke, hareharri eta kalkareniten arteko txandakapenekin batera. Kolada bolkanikoak ere moztu ditu eta goragoko ibilguan Trias Keuper-eko materialak ere zeharkatu ditu (EVE, LEZAMA 62-I).

F2 lagina, bestalde, Orroa ibaiaren adarrean hartutako lagina da. Errekasto honetan harea tamainako pikorrak nagusitzen dira eta Trias Keuper-arekin dago kontaktuan. Trias Keuper-a ofitez, buztinez eta ebaporitez osatuta dago (EVE, LEZAMA 62-I). Hala, ofitetan epidota ager daiteke, piroxenoen alterazio gisa.

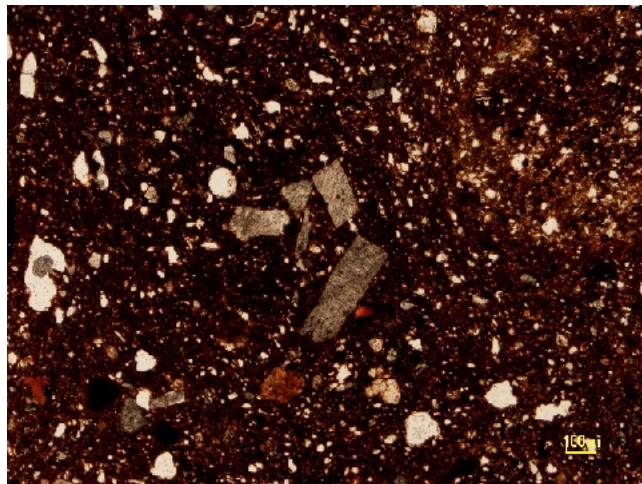
Azkenik, P1 lagina Gornizko Badian itsasoratzen den Butroi errekan jaso da, Butroi Auzoan, urtegitik 300 bat metrotara. Lagina erreka bazterrean hartu da, non lurzorua den nagusi eta landaredia ondo garatua dagoen. Ibaiak Behe Kretazikoko hareharri eta lutitak moztu ditu. Bolkanita-mailak ere bereiz daitezke. Deba Formazioko materialak dira. Bestalde, P1 lagina jaso den eremuaren aurretik ibaiak Trias Keuper-eko materialak zeharkatu ditu (EVE, GETXO 37-IV).

## **Metodoak**

### **1. Zeramiken analisi petrografikoa**

Gornizeko aztarnategian aurkitutako zeramiketatik ateratako xafla meheak aztertu dira mikroskopio optiko bidez. Lau bat lagin aztertu dira argi polarizatodun mikroskopio petrografikoan Olympus BH2 motatakoa Olympus DP-10 kamara digitalarekin hornituta (5. Irudia), hauen ehundura eta mineralogia ezagutzeko. Metodo honen muga mineralen pikor tamaina determinatzea da. Mikroskopio petrografikoaren bidez, zeramiken

mineralogiaz gain, zeramika arkeologikoak sortzeko erabilitako teknikak determinatu daitezke, hau da, eskuz, tornoz edota buztinen dekantazioz eginak dauden. 5. Irudian zeramikek mikroskopio petrografikoan erakusten duten itxura ikus daiteke. Kolore iluneko matriza azaltzen dute orokorrean. Zeramikak burdinetan aberatsak izan ohi dira eta zeramikak egostean, burdin horiek zeramiken matrizari kolore ilun hori ematen diote. Hala, zeramikek erausten duten matrize ilunak mineralak identifikatzeko orduan zailtasunak ematen ditu.



5. Irudia. Mikroskopio petrografikoa (ezkerrean) eta zeramikek mikroskopio petrografikoan erakusten duten itxura.

## 2. Sedimentuen azterketa

Hartu diren bost buztinen mineralogia ezagutzeko bi azterketa mota burutu dira. Alde batetik, X izpien difrakzioaren bidez lagin osoen mineralogia eta buztin mineralogia ezagutu da eta bestetik, mineral astunak analizatzeko metodoen bidez epidota duten ikusi da.

### 2.1. X izpien difrakzio bidezko azterketa

Laginak ibaien alboetan hartu direnez lehena lehorketara eraman dira. Honetarako Memmert lehortzeko labean sartu dira eta bi egunez eduki dira 80° C-tara. Lehortzetik laginak trinko geratu direnean burdinezko motrailu baten bidez disgregatu dira eta disgregatu ondoren laginaren zati errepresentatibo bat hartzeko asmoz kuarateatu egin dira. Lagin zati bat X izpien difrakzio bidez lagin osoaren mineralogia lortzeko erabiliko da eta horretarako lagina agatzako motrailu batetan ehotu da (6. Irudia). B1 laginaren



kasuan, materia organikoan aberatsa da. Materia organiko hori urez betetako prezipitatu ontzian suspentsioan utziz ezabatzeko ahaleginak egin dira, baina materia organiko kantitate handi bat ontziaren hondooan jarraitzen du sedimentuari itsatsita. Beraz, ez da lagin honen X izpien difrakzioa egin. Azken batean, materia organiko honek difraktogramen oinean eragina izango luke eta mineralak identifikatzeko orduan arazoak emango lituzke.



6. Irudia. Laginak disgregatzeko burdinezko motrailua (ezkerrean), kuartheadorea (erdialdean) eta agatazko motrailua (eskuinean).

Laginaren beste zati bat buztin mineralen frakzioa ateratzeko erabili da. Frakzio hau  $<2\mu\text{m}$ -ko da eta hurrengo prozeduraren bidez lortzen da:

Prezipitatu ontzia erdirarte urez bete da eta disgregatutako eta kuartheadutako lagina bertara isuri da. Ontziaren goiko partean geratu den materia organikoa kendu eta frakzio fina saio-hodi batera pasatu da. Saio-hodiko laginak suspentsioan jarri dira ur desmineralizatuan eta hidroxido amonioarekin ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) apur bat basifikatuan ( $\text{pH}\approx 8$ ) 1.45 ml-tan. Laginak ultrasoinutik pasatzen dira dispersezioa eman dadin. Partikulen tamainaren banaketa egin aurretik, suspentsioan dagoena kontzentratu behar da zentrifugatzailearen bidez. Orokorrean  $2\text{-}20\mu\text{m}$ -ko partikulak dira. Horretarako, saio-hodiko goiko 0.48 ml atera dira lagin bakoitzetik 5min erreposoan eduki ostean. Ondoren, suspentsioa 10 minutuz zentrifugatu da 3000 rpm-ko abiaduran. Laginak zentrifugatzailetik ateratzean berriro disperseziatu egiten dira ur desionizatuan ultrasoinuaren bidez eta berriro zentrifugatzailean sartzen dira abiadura eta denbora mantenduz. Hiru aldiz zentrifugatu dira laginak kontzentrazioa eman dadin.

Hurrengo pausoa zentrifugazio berrien bidez buztin-mineralen tamainako frakzioa ateratzea da, hots,  $<2\mu\text{m}$ -ko partikulak, Stokes-en legea jarraituz (Arostegui et al., 1991). Horretarako, zentrifugazio metodoa erabiltzen da, egokiena baita, izan ere, saio-hodietan egiten den grabitazio bidezko dekantazio normala denbora luzeegikoa da. Hala, 100 segunduz zentrifugatu dira 1000 rpm-ko abiaduran, 4 cm-ko sakonerako frakzioa ateratzeko. Prozesuaren etekina suspentsioan geratzen dena da, partikula guztiak  $<2\mu\text{m}$ -ko tamainakoak baitira. Hala, suspentsioko 4cm horiek beste hodi batean uzten dira. Hodiaren hondoa geratzen diren partikula guztiak ez dira  $>2\mu\text{m}$ -koak, izan ere, suspentsioko  $<2\mu\text{m}$ -ko partikula ugari ditu. Hortaz, soilik  $<2\mu\text{m}$ -ko partikulak lortu nahi direnez berriro zentrifugatzen da, hondoko sedimentua ultrasoinuaren bidez dispersatu ondoren. Zentrifugatu ostean, suspentsioan geratu dena lehen saio suspentsioari gehitzen zaio. Horrela, bi aldiz zentrifugatu dira laginak buztin-mineralen tamainako frakzioa ateratzeko, bi alditan denbora eta abiadura mantenduz.

Ondoren, suspentsioa zentrifugazio bidez kontzentratu da berriro ere. Horretarako, laginak 10 minutuz 3000 rpm-ko abiaduran zentrifugatu dira. Honek agregatu orientatuak prestatzea ahalbidetu du.

Buztin-mineralak orientatzeko garaian beirazko portaobjektu metodoa erabili da. Lagin bakoitzetik 4 ml ezarri dira portaobjektuaren gainean suspentsioan tanta-kontagailu baten bidez. Ondoren, aire librean utzi dira lehortzen.

Lagin osoaren eta  $<2\mu\text{m}$ -ko frakzioaren X izpien difrakzioa egin da. Neurketak Philips X'Pert, MPD difraktometroaren bidez egin dira, Ni-filtrozko  $\text{Cu-K}\alpha$  erradiazioarekin, sedimentuen konposizio mineralogikoa aztertzeko. Lagin osoaren kasuan, mineralak identifikatzeaz gain analisi semikuantitatiboak egin dira RIR balore empirikoaren bidez. Lagin bakoitzeko bi prestaketa egin dira, bata airepean lehortua eta bestea glikol etilenotan saturatua, eta neurtuak izan dira mineral hanpagarriak badagoen ala ez jakiteko, filosilikatoak beraien artean bereizteko helburuarekin (Brindley eta Brown, 1980). Ateratako difraktogramak Xpert High Score programarekin aztertu dira eta mineralen identifikazioa beraien tartekatzean oinarrituta gauzatu da (1. Taula).

1. Taula. *Mineralen tartekatzeak.*

	Lagin osoa						Buztin-mineralak		
Mineralak	Muskovita	Klorita	Kuartzo	Plagioklasa	Feldespato-K	Epidota	Illita	Klorita	Bermikulita
Tartekatzeak (d)	4.54Å	7.1Å	3.34Å	3.33Å	3.24Å	2.9Å	10.1Å	7.1Å	14.4Å
Angelua (2θ)	19.54°	12.5°	26.64°	26.75°	27.52°	30.8°	8.5°	12.5°	7°

**2.2. Mineral astunen banaketa**

Hauspeakin ontzia erdirarte pH≈8 duen desionizatuko urez bete denean eta lagina bertara isuri denean, irabiatu ondoren ontziaren goiko partean geratu den frakzio fina saio-hodi batera pasatu da eta frakzio lodia, aldiz, garbitzen jarraitu da. B1 laginaren kasuan, materia organikoan aberatsa zenez, ultrasoinutik pasatu da zenbait aldiz materia organiko hori kentzeko asmoz. Ostean, lehortzeko labean sartu ditugu lagin guztiak 80° C-tan lehortzen utziz.

Lehortzen utzitako laginak bahetu dira Restch ISO 9001 bahe-tresna bibrakor batekin (7. Irudia). Bi bahe erabili dira: 0.8 mm-ko sare-begia duena eta 0.5 mm-ko sare-begia duena. Bahetzeko 15 minutuz egon da lagin bakoitza 30 anplitudean bibratzen. >0.8 mm tamainako partikulak ez zaizkigunez interesatzen, kendu egin dira. Beraz, >0.5 mm eta <0.5 mm tamainakoak gorde dira. B1 laginaren kasuan, oraindik materia organikoa zuenez, bahetu aurretik ur oxigenatuan disolbatu da. Alabaina, materia organiko guztia ezin izan da ezabatu eta beraz bahetu egin da honek agian ezabatzen lagunduko zuela pentsatuz. Bahetu ostean, <0.5 mm tamainako partikulen artean materia organikoak jarraitzen duela ikusi da eta hortaz, ultrasoinuaren bidez garbitu da eta lehortzen utzi da.

Behin laginak bahetuta, <0.5 mm eta >0.5 mm tamainako partikulak bromoformotan nahastu dira dentsitatearen arabera bereizteko. Bromoformoa mineralak banatzeko gehien erabiltzen den substantzia da, bere dentsitate altuagatik, 2.89 g/cm<sup>3</sup>. Mineralak beraien dentsitatearen arabera bereizteko, likido banatzailearen dentsitatea mineral arinen eta mineral dentsuen bitartekoa izan behar da. Epidota, 3.37-3.5 g/cm<sup>3</sup>-ko

dentsitatearekin, mineral dentsua da eta epidotazko pikorrak hondoratu egingo dira, beste pikor batzuekin batera, gainontzeko pikorrak flotatzen geratuko direlarik. Hala, >0.5 mm tamainako partikulen artean, dentsuak eta arinak bereizten dira. <0.5 mm tamainako partikulen artean ere gauza bera gertatzen da.

Laginak beraien dentsitatearen arabera bereizteko dekantazio zutabe bat eraikiko da. Dekantazio zutabea eraikitzeke erabilitako materiala dekantazio inbutua, beirazko inbutu bat, iragazpaperak eta matrazea dira (7. Irudia). Bromoformoa dekantazio inbutura isuri ostean, lagina gehitzen zaio eta pare bat minututan dentsitatearen araberako banaketa eginga egongo da, dentsitate handieneko pikorrak behera eroriz eta pikor arinak goian geratuz. Inbutua ireki eta dentsuenak iragazpaperean harrapatuta geratzen dira. Inbutua itxi, iragazpapera aldatu, inbutua berriro ireki eta arinenak geratuko dira harrapatuta. Lagin bakoitza lau frakzioetan banatu ostean, dekantazio inbutua eta iragazpaperean harrapatuta geratutako frakzioak azetonarekin garbitzen dira, hurrengo lagina bromoformotan nahastu aurretik. Bost laginekin prozesu bera egin da.



7. Irudia. Bahe-tresna bibratzailea (eskuinean) eta dekantazio zutabea: goiko partean dekantazio inbutua, ondoren inbutua, barruan iragazpapera eta behean matrazea (ezkerrean).

Lagin bakoitza lau frakziotan banatuta, hots, >0.5 mm-ko tamainako pikorren artean dentsuak eta arinak eta <0.5 mm-ko pikorren artean dentsuak eta arinak, lupa binokularra eraman dira laginen itxura aztertzeko (8. Irudia).

B1 kasuan, lagina garbitu beharra zegoen. Hala, urari 60 ml amoniakoa gehitu zaio materia organikoa suspentsioan geratzeko. Hori eginda, B1 lagina lupaz begiratzeko prest zegoen. Gainontzeko laginekin ez dugu arazorik izan. Laginen itxuran eta kolorean oinarrituta, lagin bakoitzean multzo desberdinak banatu nahi dira. Horretarako, lagina petri kutxa batean ezartzen da lupa binokularrean aztertzeko. Pintzel bati lotutako hiltzearen bitartez itxura eta kolore desberdineko pikorrak banatzen dira zenbait multzo desberdin eginez. Hala, ohikoak dira distira metalikoaren bidez bereizitako mineralak, kolore gorrixka erakusten duten mineral oxidatuak (burdinean aberatsak direnak), hezurak, mika gutxi batzuk ere agertu daitezke nahiz eta mineral astunak ez izan, kuartzoko pikorrak eta kasu honetan mineral berdeak ere aurki daitezke (8. Irudia). Lagin bakoitzaren pikorrak ondo banatzen saiatu behar da, batez ere mineral berdeak egonez gero. Behin pikorrak multzotan banatuta, pintzelaren bidez multzo bakoitzeko pikorrak saio-hodi desberdinetan sartzen dira.



8. Irudia. Lupa binokularra (ezkerrean) eta laginetan aurki daitezkeen pikor desberdinak (eskuinean).

Zenbait laginetan kolore berdedun mineralak aurkitu dira. Epidota kolore berdedun minerala denez, laginetan bereizitako mineral berdeak ehotuko dira X izpien difrakzioa egiteko eta zein mineral diren jakiteko.

# **Emaitzak**

## **1. Zeramiken analisi petrografikoa**

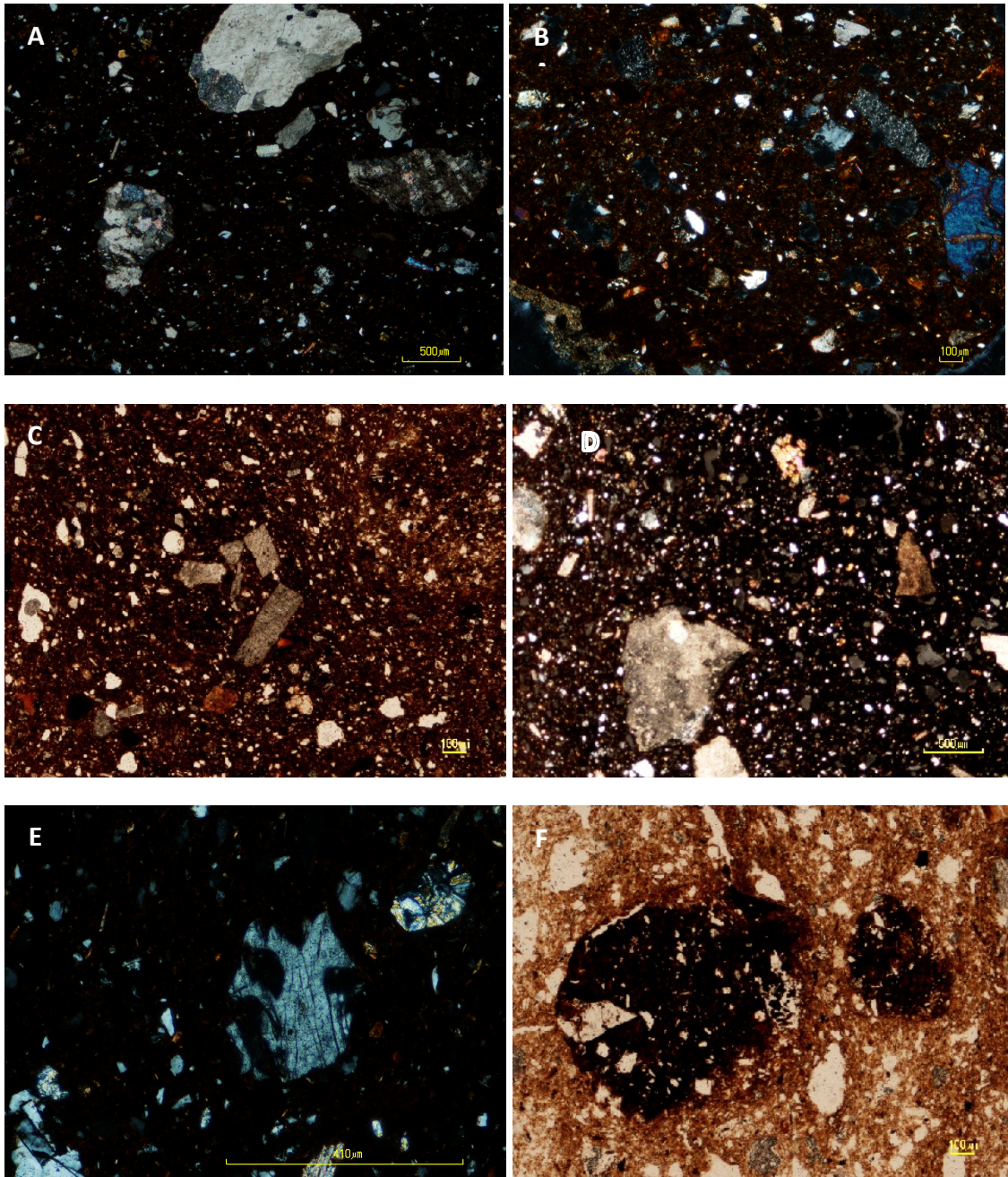
Polarizazioko mikroskopio optikoaren bidez, zeramika arkeologikoetatik ateratutako 46 xafla meheen azterketa mikroskopikoa egin da. Honen bitartez, zeramiken ezaugarri petrografikoak ezagutu ahal izan dira, hala nola, zeramiken pasta (arrokak eta mineralak) eta ehundurak.

46 xafla mehe horietatik, 9-k epidota dutela ikusi da. 9 xafla mehe hauek antzerako ezaugarriak erakusten dituzte. Hala, kaltzita eta karbonatodun arroken eta arroka igneoen zatiak aurki daitezke epidoten, klinozoisiten, kuartzoen eta feldespatoen inklusioak dituen matrize buztintsu-haretasu batean.

Kaltziten eta arroka zatien tamaina aldakorra da. Hauen pikor tamaina  $\leq 0.75 - 2.3$  mm bitartean aldatzen da. Kaltzitek esferizitate baxuko forma subangeluarra erakusten dute eta karbonatodun arroken eta arroka igneoen zatiek, aldiz, borobiltasun eta esferizitate gradu altuagoa erakusten dute (9A irudia). Arroka igneoen zatiei dagokienez, arroka bolkanikoen eta arroka plutonikoen zatiak aurki daitezke. Hauekin batera, piroxenoen fragmentu monomineralikoak (9B Irudia) eta epidotarenak ere aurkitu dira (9C Irudia). Epidota hauek habito tabularra dute, pleokroismo altua dute, birrenfrigentzia gris horixka eta beraien batz besteko tamaina 0.3 mm-koa da.

Matrizea hareatsua da eta kuartzoen, feldespatoen eta epidoten inklusioak ageri dira. Epidotei dagokienez, tamaina txikikoak (20-50  $\mu\text{m}$ ) eta tamaina handiagokoak (100-150  $\mu\text{m}$ ) bereiz daitezke eta birrenfrigentzia altukoak dira (urdina, arrosa...) (9D Irudia). Kuartzoa monokristalinoa da gehienbat baina polikristalinoa ere bada, hiru kristal baino gehiagoz osatua alegia. Kuartzozko pikorren ertzak biribilduak dira, garraioa jasan dutela adieraziz. Bestalde, kolore marroixkako eta forma biribilduko oxidoak ere aurkitu dira inklusio gisa (9E Irudia). Polarizatailearekin isotropoak direla ikusi da. Oxido hauek homogeneousazioa ez dela eman adierazten dute.





9. Irudia. Epidotadun zeramiken xafila meheen azterketa petrografikoa. (A): Karbonatodun arroken zatiak. XPL. (B): Piroxeno fragmentuak (kolore urdinez). XPL. (C): Habito tabularreko eta birrenfrigentzia baxuko (gris-horixka) „3 mm inguruko tamainako epidotak. XPL. (D): Birrenfrigentzia altuko (arrosa) 20-50µm inguruko tamainako epidota. XPL. (E): Erdian piroxenoaren inklusioak eta bere eskuinean klinzoisitaren inklusio bat. XPL. (F): Kolore marroixkako eta forma biribilduko oxidoak. PPL.

## 2. Sedimentuen azterketa

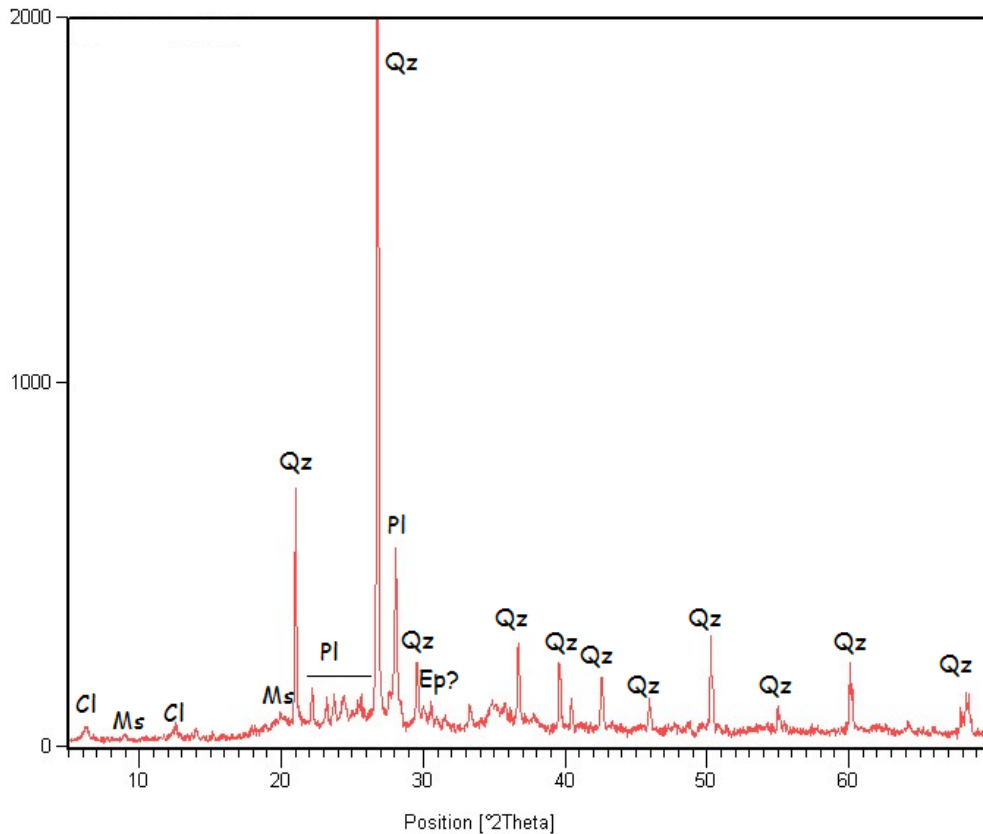
### 2.1. X izpien difrakzio bidezko azterketa

Lagin osoen mineralogiari dagokionez, lagin guztiek antzerako mineralogia erakusten dute (2. Taula). M1 laginean izan ezik, mineralik ugariena kuartzoa da eta %50 kantitatek gora agertzen da. Ondoren bigarren mineral ugariak feldespatoak dira non feldespato potasikoa lagin guztietan ikusi den eta plagioklasa bakarrik F1 eta M1 laginetan. Feldespato potasikoen kasuan, antzerako kantitatetan agertzen da lagin guztietan eta mikrokлина da, P1 laginean ezik, sanidina ere agertzen baita. Bi filosilikato mota desberdinu dira; klorita eta muskovita. Klorita kantitate txikitan agertzen da, M1 laginean izan ezik. Muskovita F1 laginean gainontzekoetan baino urriagoa da. Epidota bakarrik F1 laginean identifikatu da. F1 laginean piku bat identifikatu barik geratu da eta ikusi da epidotaren %100eko intentsitateari dagokiola 10. Irudian adierazita dagoen moduan. Beraz, posible da epidota izatea. Noski, behin buztin frakzioen eta mineral astunen emaitzak lortuta pentsatu da epidotari zegokiola piku hori. Horrek ez du esan nahi gainontzeko laginetan epidotarik ez dagoela, izan ere, epidota kantitate txikitan agertzen da eta X izpien difrakzioak ez ditu detektatzen lagin osoaren <%5 kantitatean agertzen diren mineralak. Muskovitaren pikuak intentsitate txikikoak izan arren, oso adierazgarriak dira 4,54 eta 9,99 Å-ekin. Gainontzeko laginek ere antzerako difraktogramak ematen dituzte, kontuan izanda antzerako mineralogia dutela.

2. Taula. X izpien difrakzioaren bidez lortutako lagin osoen konposizio mineralogikoa.

	Muskovita	Klorita	Kuartzo	Plagioklasa	Feldespato-K	Epidota
F1	%3	%2	%73	%11	%12	Agertua
F2	%11	%1	%76	-	%12	-
M1	%14	%35	%25	%7	%19	-
P1	%15	%5	%62	-	%19	-





10. Irudia. F1 lagin osoaren difraktograma. Cl: klorita; Ms: muskovita; Qz: kuartzo; Pl: plagioklasa; Ep: epidota.

Buztin-mineralei dagokienez, bost laginen artean antzekotasunak aurki daitezke. Hala, F2 eta P1 laginek antzerako difraktogramak ematen dituzte eta baita B1 eta F1 laginek ere lagintzean agregatu gabe eta etilen glikolarekin hanpatu ondoren. Bi difraktograma hauek konparatuz buztin-mineral hanpagarriak eta ez hanpagarriak bereizten dira. M1 laginaren kasuan oso zaila izan da buztin-mineralak bereiztea, difraktograma ez baitzen batere argia. Buztin-mineralen difraktogrametan mineralen portzentai erlatiboa ezin izan da kalkulatu RIR parametrorik ez delako ezagutzen eta identifikatzeko programako mineralen fitxak agregatu orientatueterako ez daudelako prestatuta.

Buztin-mineralen frakzioari dagokionez, bi mineral-elkarte bereizi dira. Hala, F2 eta P1 laginek antzerako buztin-mineralak ematen dituzte eta B1 eta F1 laginek beste bat (3. Taula). F2 eta P1 laginetan klorita, illita eta bermikulita daude (11. Irudia) eta B1 eta F1 laginetan, aldiz, illita eta klorita (12. Irudia). Lagin guztietan illita da buztin mineral ugariena, nahiz eta F2 eta P1 laginetan illitaren eta kloritaren arteko kopurua oso antzekoa izan (001) gailurren intentsitateak kontuan hartuta. Kasu honetan, balore

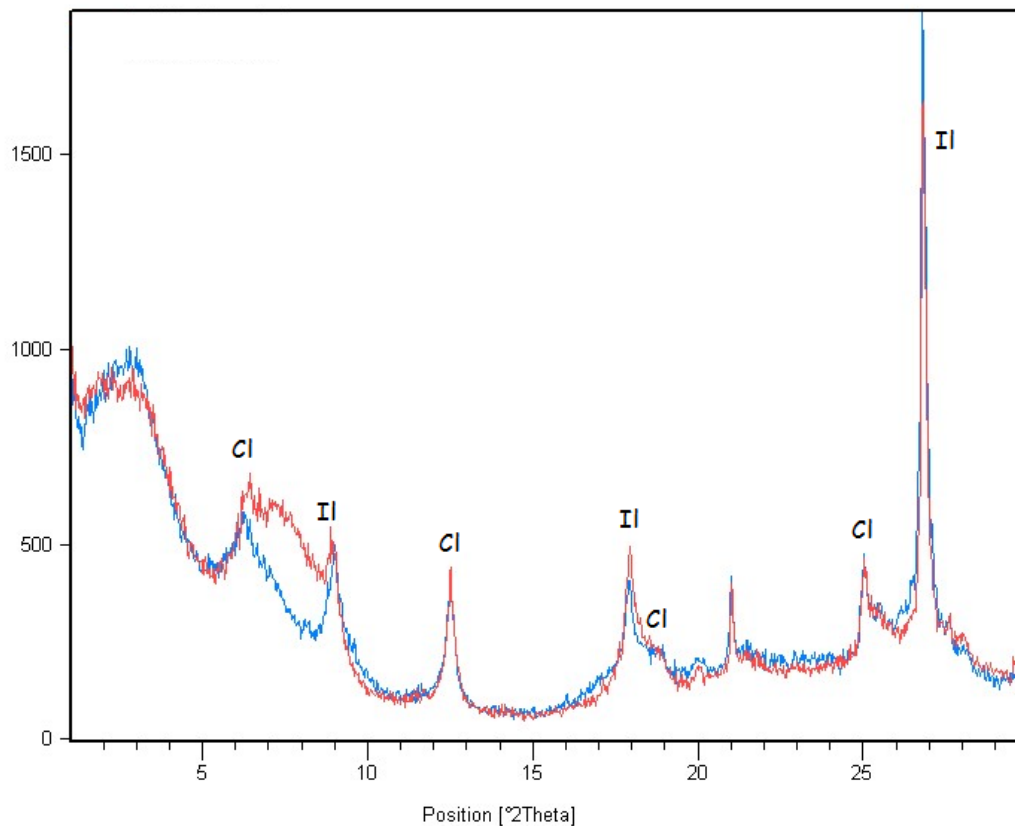
semikuantitatiboak ezin direnez atera gailurren intentsitateak kontuan hartuz buztin-mineralen kopuruak konparatu dira (3. Taula).

3. Taula. *Buztin-mineralen kopuruak lagin bakoitzean.*

	Klorita	Illita	Bermikulita	Epidota
F2	****	*****	**	
P1	****	*****	**	
B1	***	*****		*
F1	***	*****		*

\*\*\*\*\*= ugaritasun erlatiboa- asterisko kopurua mineral ugaritasunaren erlazioaren arabera da. \*\*\*\*\*: oso ugaria; \*\*\*\*\*: ugaria; \*\*\*: nahikoa; \*\*:urria; \*: oso urria.

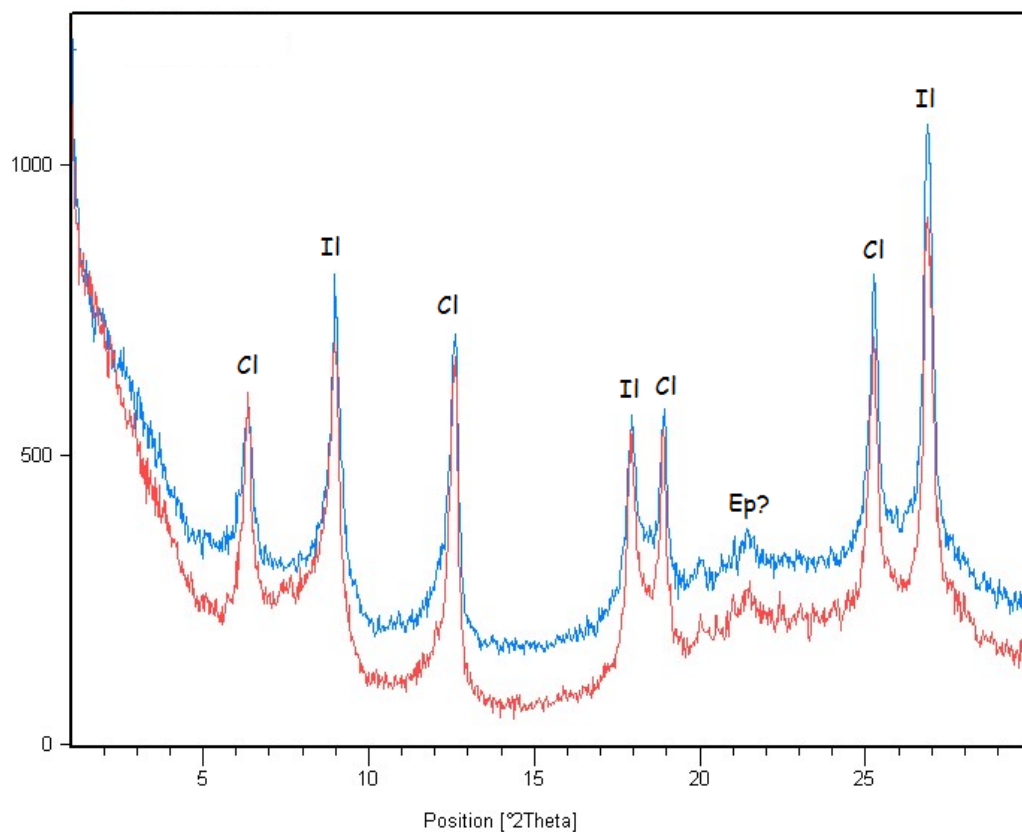
F2 eta P1 laginen kasuan, bermikulita etilen glikoletan saturatutako laginaren bidez identifikatu ahal izan da, honen bidez (001) gailurra 14.4 Å-etatik 17.7 Å-tara desplazatuz (11. Irudia).



11. Irudia. F2 eta P1 laginen difraktograma. Cl: klorita; Il: illita.

Klorita identifikatzerakoan, bi lagin hauetan gailurra bermikulitarekin gainjarrita agertzen da. Klorita 7.10 Å-etan berezi da baina gailur hori kloritarena edota kaolinitarena izan daiteke. 3.55 Å-etan ere gauza bera gertatzen da, kloritaren edota kaolinitaren gailurra izan daiteke. Alabaina, 14.2 eta 4.72 Å-etako gailurren bidez jakin da klorita dela eta ez kaolinita.

B1 eta F1 laginen kasuan, ez dago mineral hanpagarririk (12. Irudia). Klorita eta illita erraz berezi dira. 22.28° 2θ -ren kasua epidotari dagokion pikua izan daiteke 3.97 Å-ekin. Kasu hau ez da epidotaren %100eko intentsitatea baina hau 30.8° 2θ-tan agertzen da eta buztin-mineralen kasuan 29° 2θ-ra arte neurtzen da paketatzea behin eta berriz errepikatzen baita. Hala, ez da epidotaren intentsitate handieneko pikua baina epidotarena izan daiteke.



12. Irudia. B1 eta F1 laginen difraktograma. Cl: klorita; Il: illita; Ep: epidota.

## 2.2. Mineral astunen banaketa

Lagin bakoitza 15 minutuz bahegailu batean bibratzen eduki ostean, <0.5 mm eta >0.5 mm tamainako pikorrak gorde dira, >0.8 mm tamainakoak ezabatu direlarik, izan ere, mikroskopio petrografikoan ikusi da zeramiketan agertzen diren epidotak 0.8 mm baino txikiagoko pikorrak direla. Hala, P1 eta M1 laginetan pikorrak gehienbat <0.5 mm tamainako partikulak nagusitzen dira eta F2 laginean, aldiz, >0.8 mm tamainako pikorrak nagusitzen dira.

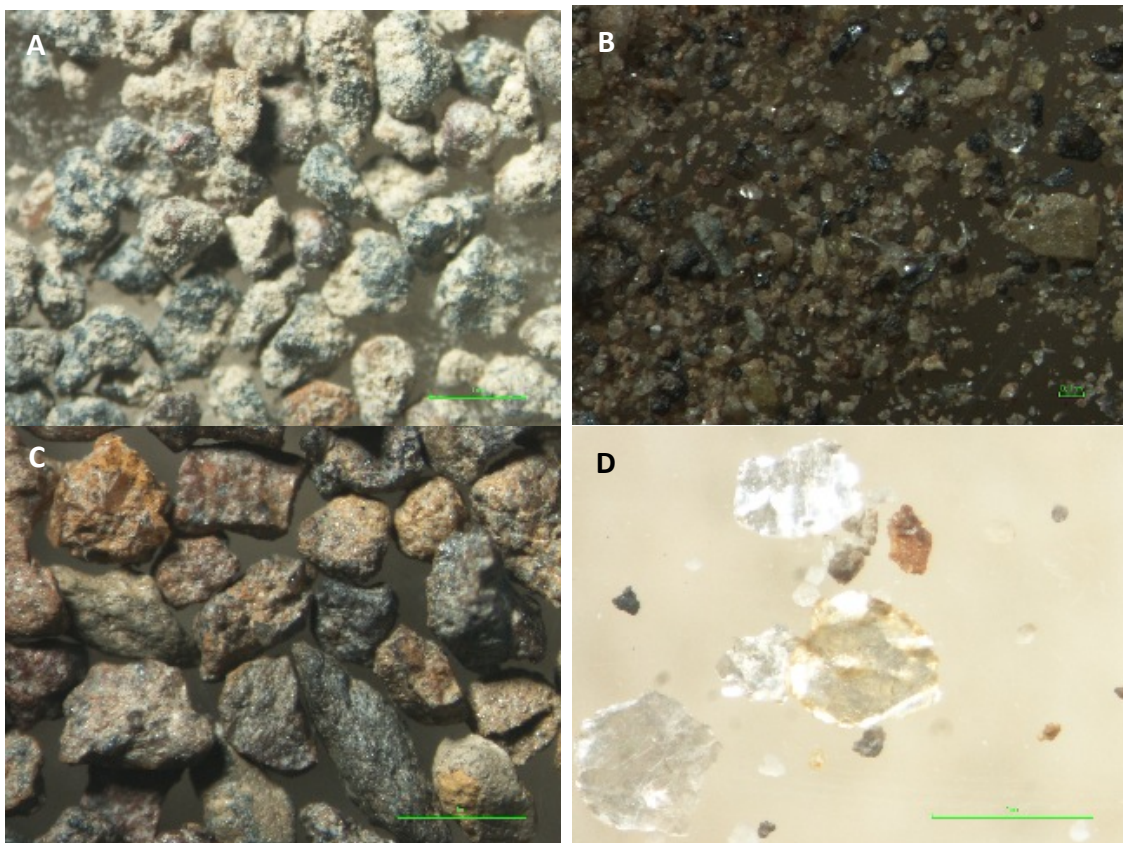
<0.5 mm eta >0.5 mm tamainako partikulak banantzera eraman dira mineral arin eta dentsuetan bereizteko bromoformo bidez. Hala, lagin bakoitzeko lau frakzio eskuratu dira; <0.5 mm tamainako pikorren artean pikor arinak eta dentsuak eta >0.5 mm tamainako partikulen artean pikor arinak eta dentsuak. Lagin guztietan pisutsuenak urrienak direla ikusi da eta P1 laginaren kasuan, >0.5 mm pikor tamainako mineral astunik ez dago.

Banandu diren lau frakzio hauek lupa binokularrera eraman dira beraien itxura aztertzeko. Hala, lagin bakoitzean mineral desberdinak banatu dira, pikorren formari eta koloreari erreparatuz. Lagin guztietan >0.5 mm eta <0.5 mm pikor tamainako frakzioek antzerako itxura erakusten dutenez lupan, soilik >0.5 mm pikor tamainako laginen banaketa egin da, pikorrak hobeto ikusten baitira eta beraz, banaketa egitea errazagoa da. Bestalde, lehen aipatu bezala, epidota pisutsuen artean aurkitu daitekeenez soilik frakzio pisutsuen banaketa egin da. P1 laginaren kasuan ez dagoenez >0.5 mm tamainako elementu pisutsurik, <0.5 mm tamainako frakzio pisutsua erabili da.

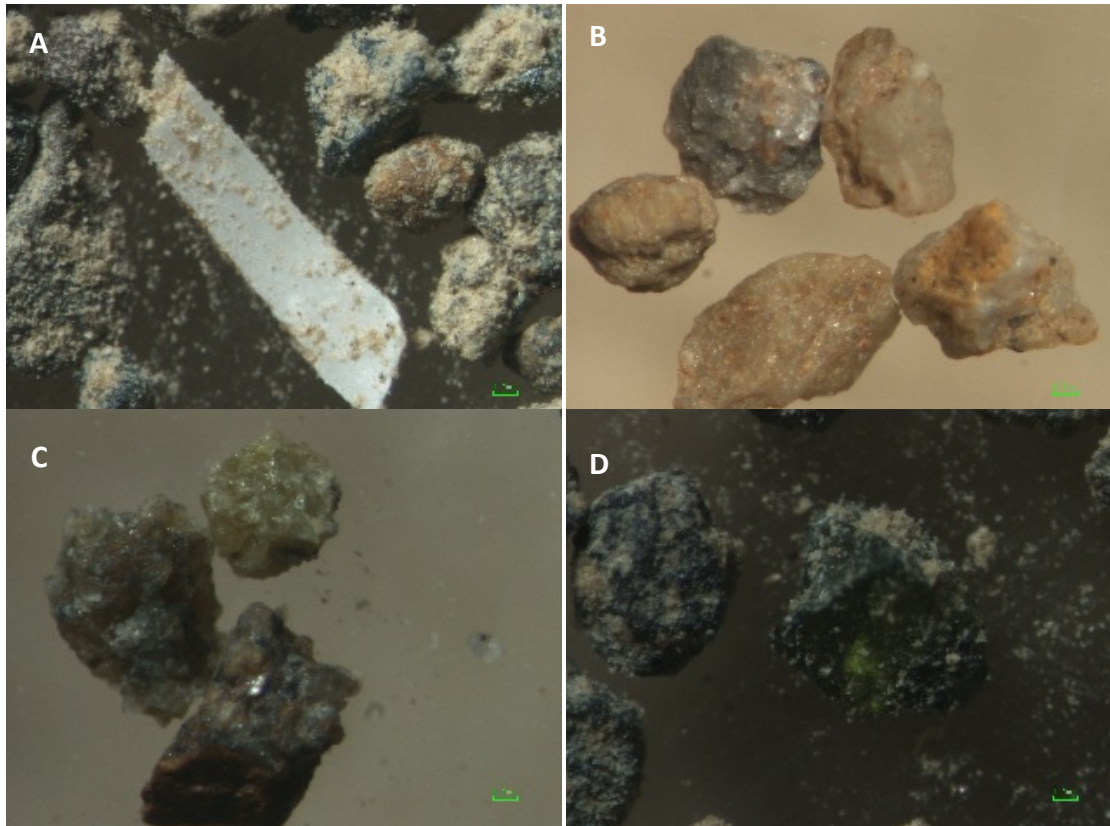
Mineral astunak lupa binokularrean azertu dira eta emaitzak 13. Irudian bildu dira. Hala, F1 eta F2 laginak oso antzekoak direla ikusi da, antzeko pikorrak erakusten dutelarik. Alabaina, F2 lagineko pikorrak hauts zuri moduko batez estalita daude (13A irudia). P1 laginari dagokionez, pikorrak oso txikiak direnez (orokorrean <0.1 mm-koak) ezinezkoa izan da mineralak bereiztea. Alabaina, pikorren artean kuartzoa eta mikak daudela esan daiteke eta mineral berderen bat ere egon daiteke (13B irudia). Orokorrean, antzeko bereizketa egin da lagin guztietan. Hala, arroka zati oxidatuak eta beste zenbait elementu metaliko nagusitzen dira denetan. Arroka zati oxidatuak beraien kolore gorri-horixkagatik bereizten dira eta metalikoak, aldiz, beraien distiragatik (13C irudia).

Horretaz gain, zenbait laginetan (M1 eta B1 kasu) muskovita gutxi batzuk bereizten dira, orokorrean 0.5 mm ingurukoak (13D irudia), eta kuartzozko pikorrak ere aurki daitezke bai aske bai arroka zatietan.

F1 eta F2-ren kasuan hezurak ugariak dira eta hauen tamaina 1 mm ingurukoa da (14A irudia). Bestalde, F-1 eta B1 laginei dagokienez, mineral zuriak bereiz daitezke (14B irudia). Mineral zuri horiek 0,5mm inguruko tamaina dute eta kuartzoak izan daitezke. Mineral berdeak hainbat laginetan agertzen dira. Esan daiteke mineral berdeen artean bi mineral ezberdin agertzen direla beraien distirari erreparatuz. Hain distiratsua ez den mineral berdean kristalak ongi bereizten dira (14C irudia). Mineral berde hau F1, F2 eta B1 laginetan aurkitzen da. Distiratsuagoa den mineral berdea, aldiz, beirarekin nahas daiteke kristalak ez baitira ongi bereizten. Hala ere, ertzak ez daude zartatuta eta beraz, mineral bat da (14D irudia). Mineral berde hau B1, F1, F2 eta M1 laginetan aurkitzen da.



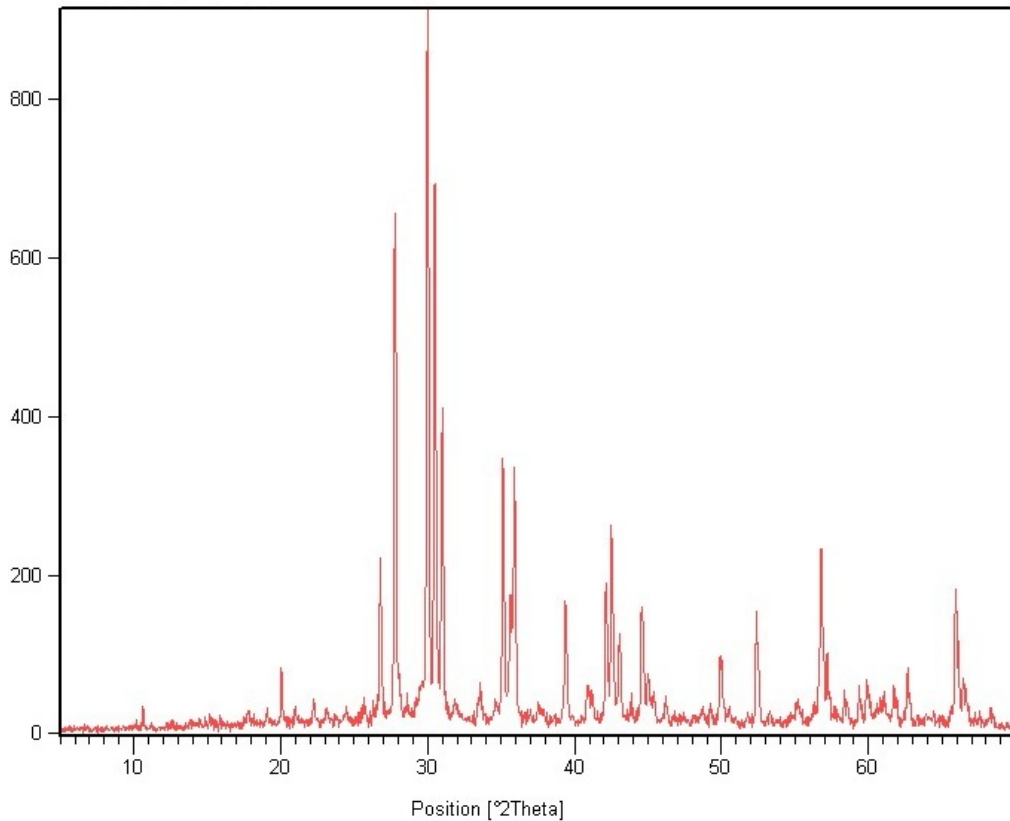
13. Irudia. Mineral astunen azterketa lupa binokularren bidez. (A): F2 lagina. Arroka zati oxidatuak eta elementu metalikoak nagusitzen dira gehienbat. Lagin osoa hauts zuri moduko batez estalita ageri da. 0.375 mm-ko eskala. (B): P1 lagina. Pikorrak oso txikiak dira, baina kuartzozko pikor ugari eta mineral berderen bat aurki daitezke. 37.5 $\mu$ m-ko eskala. (C): Arroka zati oxidatuak eta elementu metalikoak. 0.372 mm-ko eskala. (D): Muskovitak. Ez dira ugariak. 0.36 mm-ko eskala.



14. Irudia. Mineral astunen azterketa lupa binokularraren bidez. (A): Hezurra. Ugariak dira laginetan. 33,3 $\mu$ m-ko eskala. (B): Mineral zuriak. Kuartzoa izan daiteke. 33,3 $\mu$ m-ko eskala. (C): Mineral berdea. Kristalak bereizten dira. 33,3 $\mu$ m-ko eskala. (D): Beste mineral berde bat, aurrekoa baino distiratsuagoa da. 33,3 $\mu$ m-ko eskala.

Mineral berdeak ehotu egin dira X izpien difrakzioa egiteko epidotak diren jakiteko. Hala, M1, F1 eta B1 laginetako mineral berdeak aztertu dira. F2 laginetako mineral berdeak ez dira aztertu, F2 laginak azken batean F1 laginaren pikor berberak baitu. P1 laginetako pikorrak, bestalde, hain txikiak dira ezin izan direla multzotan banatu. B1 eta F1 laginen kasuan epidotak direla ikusi da, M1 laginean, ordea, difraktograma ez da batere argia eta ezin izan da jakin epidota dagoela. 15. Irudian ikus daitekeen moduan, F1 laginean epidotaz gain diopsido dago. Epidota erraz bereizten da 30.8° 2 $\theta$ -tan 2.9 Å-eko tartekatzearekin. F2 laginean ere epidota eta diopsido aurkituko lirateke eta 15. irudian adierazten den antzeko difraktograma emango lukete.





15. Irudia. F1 laginaren mineral berdeen difraktograma. Epidota eta diopsido bereiztu dira.

## Ondorioak

X izpien difrakzioaren bidez ikusi da epidotaren ebidentzia dagoela mineral astunetan, eta buztin mineralen frakzioan eta lagin osoan ere egon daitekeela pentsa daiteke. Hala, epidota bost laginetatik hiru laginetan ageri da; B1, F1 eta F2 laginetan alegia. Kokapen geologikora jo ez gero, epidotak Trias Keuper-arekin mozten duten ibaietan aurkitzen direla ikus daiteke. Trias Keuper-a basaltoek, ofitek eta igeltsuek osatzen dute. Epidota ofitetan aurkitzen da, piroxenoen alterazio produktu gisa. B1 laginaren kasuan, argi ikusten da lagina hartu den Emerando ibaia Trias Keuper-arekin kontaktuan dagoela, Trias Keuper-eko materialek hedapen handia hartzen dutelarik ibai honen inguruan. F1 laginaren kasuan, Orroa ibaia tupa eta kareharri tupatsuekin dago zuzenki kontaktuan baina aurretik Trias Keuper-a mozten du ibaiak. F2 laginari dagokionez, lagin hau hartu den ibaia ere Trias Keuper-eko materialekin dago kontaktuan. Gainera, F2 lagina hartu den ibaia Orroa ibaiaren adar bat da eta F1 laginaren bidez ikusi da ibai horrek Trias Keuper-eko materialak garraiatzen dituela. M1 laginak epidota izan dezake lagin hau jaso

den Meñakabarrena ibaiak koladak eta dikeak moztzen dituelako. Lagin honen mineral astunen difraktograma ez zen batere argia eta beraz, ezin izan dira epidotak bereizi. Alabaina, lupa binokularrean mineral berde distiratsuak aurkitu dira, piroxenoak izan daitezkeenak. Hala, posible da piroxenoen gain epidotak izatea. P1 lagina, bestalde, Butroi ibaian jaso da eta ibai horrek Trias Keuper-eko materialak ere moztzen ditu, P1 lagina hartu den eremura iritsi baino lehen. Lupa binokularrean ezin izan dira mineralak bereizi, pikorren tamaina oso txikia baitzen. Hala ere, mineral berderen bat ikus zitekeen.

Trias Keuper-eko material hauek diapirikoak dira. Horrela, B1, F1, F2 eta P1 laginak ibaiak garraiatutako diapiroko materialak dira eta ondorioz, horietako gehienetan epidota aurkitu da, P1 laginean epidotaren agerpena oraindik zalantzarria izanik.

Mikroskopia petrografikoan ikusi da zeramiketako kuartzoak borobilduak direla garraiatuak izan direla erakutsiz eta lupa binokularrean ere sedimentuak garraiatuak izan direla ikus daiteke laginetako kuartzoak ere borobilduak baitira.

Epidotaren agerpenak adierazten du Gorlizko aztarnategian aurkitutako zeramika arkeologikoak bertakoak direla, ez direla inportatutakoak. Oraingoan, zenbait analisi mineralogiko egin dira hau aztertzeko, hala nola, mikroskopia petrografikoa, X izpien difrakzioa eta lupa binokularra. Metodo hauen bitartez zenbait laginetan epidota dagoela baieztatu ahal izan da. Alabaina, beste zenbait laginetan oraindik zalantzarria da epidota egotea. Horregatik, hurrengo urratsa beste zenbait metodo erabiltzea izango litzateke bai lagin horietan epidotaren agerpenari buruzko zalantzak argitzeko bai eta zeramiken eta sedimentuen arteko parekotasunak eta desberdintasunak aztertzeko, jatorria gehiago zehaztu ahal izateko. Hala, hurrengo urratsean, alde batetik, zeramikak eta sedimentuak mikroskopia elektroniko bidez aztertuko lirateke hauen mikroegiturak aztertzeko eta P1 laginaren kasuan pikorrak hobeto ikusteko eta mineralak bereizteko eta bestetik, zeramiken eta sedimentuen analisi kimikoak egingo lirateke hauen elementu kimikoak eta elementu aztarnak aztertzeko. Helburua, azken batean, zeramika arkeologikoen jatorria gehiago zehaztea litzateke eta bide batez, zeramika hauek zein teknikaren bidez eginak dauden jakitea.



## Bibliografía

- ✦ Arostegui J., Zuluaga M.C., Velasco F., Ortega-Huertas M., Nieto F., 1991. Diagenesis of the Central Basque-Cantabrian Basin (Iberian Peninsula) based on illite-smectite distribution. *Clay Minerals* 26, 535-548.
- ✦ Barrachina Ibáñez A.M., 1998. Estudio analítico de un conjunto de pastas cerámicas del yacimiento del Pic dels Corbs (Sagunto, Valencia). *Quad. Preh. Arq. Cast.* 19.
- ✦ Belfiore C.M., Bella M., Triscari M., Viccaro M., 2010. Production technology and provenance study of archaeological ceramics from relevant sites in the Alcantara River Valley (North-eastern Sicily, Italy). *Materials characterization* 61, 440-451.
- ✦ Bertet, G.A., 1975. Análisis por difracción de rayos X de cerámicas Ibéricas Valencianas. Servicio de investigación prehistórica. Diputación provincial de Valencia. Serie de trabajos varios. Num. 45.
- ✦ Bertolino S.R., Fabra M., 2003. Provenance and ceramic technology of pot sherds from ancient Andean cultures at the Ambato valley, Argentina. *Applied Clay Science* 24, 21-24.
- ✦ Brindley, G.W., Brown, G., 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society Monograph* vol. 5, Mineralogical Society, London.
- ✦ Butzer, K.W., 1989. *Arqueología una ecología del hombre*. Pag. 153.
- ✦ Capel J., Calvo-Flores R.D., Párraga J., Guardiola J.L, 1995. Identificación de técnicas de manufactura y funcionalidad de vasijas cerámicas en estudios de lámina delgada. *Complutum* 6, 311-318.
- ✦ Ente Vasco de la Energía. Euskal Autonomia Erkidegoko mapa geologikoa eskalan 1:25.000. MUNGIA 38-III, LEZAMA 62-I, GETXO 37-IV.

- ⤴ Hein A., Kilikoglou V., 2004. Red clays from Central and Eastern Crete: geochemical and mineralogical properties in view of provenance studies on ancient ceramics. *Applied Clay Science* 24, 245-255.
- ⤴ Hein A., Kilikoglou V., Day P.M., Ontiveros Cau M.A., 2004. Red clays from Central and Eastern Crete: geochemical and mineralogical properties in view of provenance studies on ancient ceramics. *Applied Clay Science* 24, 245-255.
- ⤴ Iordanidis A., Garcia-Guinea J., Karamitrou-Mentessedi G., 2009. Analytical study of ancient pottery from the archaeological site of Aiani, northern Greece. *Materials characterization* 60, 292-302.
- ⤴ Kibaroglu M., Satir M., Kastl G., 2009. Petrographic and geochemical analysis on the provenance of the Middle Bronze and Late Bronze/Early Iron Age ceramics from Didi Gora and Udabno I, Eastern Georgia. *Journal of Archaeological Science* 36, 2463-2474.
- ⤴ Li B.P., Zhao J.X., Greig A., Collerson K.D., Zhuo Z.X., Feng Y.X., 2005. Potential of Sr isotopic analysis in ceramic provenance studies: Characterisation of Chinese stonewares. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 240, 726-732.
- ⤴ Li, B.P., Zhao J.X., Greig A., Collerson K.D., Feng Y.X., Sun X.M., Guo M.S., Zhuo Z.X., 2006. Characterisation of Chinese Tang sancai from Gongxian and Yaozhou kilns using ICP-MS trace element and TIMS Sr-Nd isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science* 33, 56-62.
- ⤴ Papachristodoulou C., Gravani K., Oikonomou A., Ioannides K., 2010. On the provenance and manufacture of red-slipped fine ware from ancient Cassope (NW Greece): evidence by X-ray analytical methods. *Journal of Archaeological Science* 37, 2146-2154.
- ⤴ Papachristodoulou C., Oikonomou A., Ioannides K., Gravani K., 2006. A study of ancient pottery by means of X-ray fluorescence spectroscopy, multivariate statistics and mineralogical analysis. *Analytica Chimica Acta* 573-574, 347-353.

- ♣ Selden Jr.R.Z., Perttula T.K., Carlson D.L., 2014. INAA and the provenance of shell-tempered sherds in the ancestral Caddo region. *Journal of Archaeological Science* 47, 113-120.
  
- ♣ Whitbread I., Mari A., 2014. Provenance and proximity: a technological analysis of Late and Final Neolithic ceramics from Euripides Cave, Salamis, Greece. *Journal of Archaeological Science* 41, 79-88.