

Gradu Amaierako Lana
Geologia Gradua

**Sedimentologia eta Petrologiaren eragina
hidrogeologian: Jaizkibelgo adibidea**

Tertziario itsastarra, Jaizkibel



Egilea:

Irati Nogales Arraiza

Zuzendaria:

Arantza Aranburu Artano

Zuzendarikidea:

Iñaki Antigüedad Auzmendi



AURKIBIDEA

| | |
|--|---------------|
| 1. Sarrera | 4. orrialdea |
| 2. Kokapen geologikoa | 5. orrialdea |
| - Deskribapen stratigrafikoa | 6. orrialdea |
| - Baldintza tektosedimentarioak | 7. orrialdea |
| - Hidrogeologia | 9. orrialdea |
| 3. Gradu Amaierako Lanaren helburuak | 12. orrialdea |
| 4. Ikerketa metodologia | 13. orrialdea |
| a. Mapak egiteko metodologia | 13. orrialdea |
| b. Hidrogeologia eta petrologia aztertze metodologia | 14. orrialdea |
| c. Konkrezioen azterketa egiteko metodologia | 15. orrialdea |
| 5. Garapena | 16. orrialdea |
| 5.1. Mapa topografikoen eraikuntza LIDAR datuak ArcGis bidez | 16. orrialdea |
| 5.2. Martitxene-Susurkoko stratigrafia-petrologia | 19. orrialdea |
| 5.2.1. Turbiditen orokortasunak | 19. orrialdea |
| 5.2.2. Zeharrebakia eta zutabe stratigrafikoa | 21. orrialdea |
| o Interpretazio sedimentologikoa | 28. orrialdea |
| 5.2.3. Zundaketa | 31. orrialdea |
| o Interpretazio sedimentologikoa | 32. orrialdea |
| 5.2.4. Ingurune sedimentarioen azterketa petrografikoa | 33. orrialdea |
| 5.2.5. Karbonatozko konkrezioen azterketa petrografikoa | 37. orrialdea |
| 5.3. Hidrogeologia | 42. orrialdea |
| 5.4. Eroankortasun Elektroaren eta Tenperaturaren soslaiak | 42. orrialdea |
| 5.4.1. Uraren hidrokimika eta petrologiaren arteko erlazioa | 44. orrialdea |
| 5.4.2. Trampalak | 45. orrialdea |
| 6. Eztabaida | 47. orrialdea |
| 7. Ondorioak | 50. orrialdea |
| 8. Bibliografia | 55. orrialdea |
| 9. Eranskinak | 57. orrialdea |



LABURPENA

Jaizkibel, Tertiario garaiko arrokez osaturiko formazio menditsua, Kostako Mendikateen parte da eta Frantziaren mugatik gertu dago, Gipuzkoan hain zuzen ere. Egindako azterketa geologikoa Martixene-Susurko arroan zentratu da, Eozeko garaiko segida turbiditikoan. Lan honetan arroken ezaugarriak ikertu dira ze akuifero mota den jakiteko, baita uraren ezaugarri hidrokimikoen arrazoia ondorioztatzeko ere. Era berean, trampal izenarekin ezagunak diren gune hidroturbosoak kartografiatu dira eta beraien sorreraren hipotesia planteatu da. Honetaz gain, geruza hareatsuenetan azaleratzen diren paramoudra deituriko konkrezioei buruzko informazio petrologikoa gehitzen da. Akuiferoak osatzen dituzten arroka gorputzak zementazio urriko hareharri metrikoak dira eta honen baitan agertzen dira konkrezioak. Deskribapen makroskopiko eta azterketa petrologikoaren bitartez ikusi ahal izan da noduluak ez direla silizezko konkrezioak, paramoudren kasuan beharko lukeen gisara, karbonatodunak direla baizik.

Hitz-gakoak: Turbidita, akuifero, trampal, paramoudra, Jaizkibel, Eozeno.

ABSTRACT

The Jaizkibel mountain formation, formed by Tertiary rocks, belongs to the Coast Range, and is close to the French border, in Gipuzkoa. The study has been focused on Maritxene-Susurko basin, in the turbidity sequence of the Eocene period. In this paper, they have been analysed the properties of the rocks in order to know which aquifer type is, as well as to deduce the reason for the hydrochemical properties of water. In addition, they have been cartographed hydroturbose areas known as Trampal, and they have been posed a hypothesis of their creation. Besides, they have been added information about concretions known as paramoudras which emerge in the sandiest levels. The rock bodies that generate aquifers are metric sandstones made of little cementation, and it is here where concretions appear. By macroscopic description and petrologic study we have seen that nodules are not siliceous concretions, as it is concreted in the paramoudras definition, but they are carbonated concretions.

Key-words: Turbidite, aquifer, trampal, paramoudra, Jaizkibel, Eocene.

1. Sarrera

Gradu amaierako laneko helburu nagusia tituluarekin lortutako gaitasun orokorrak aplikatzea da, baita datuen bilaketa, kudeaketa, antolaketa eta interpretazioa egitea ere. Honen ondorioz, ikerketa geologikoko lan orokorra egitea hautatu da, graduiko ikasketan zehar, arlo ezberdinetan ikasitako edukiak aplikatzeko eta erlazionatzeko.

Kasu honetan landutako arlo geologikoak hidrogeologia, petrologia, sedimentologia, estratigrafia, kartografia eta paleontologia izan dira eta hauek aplikatzeko Jaizkibel mendilerroa aukeratu da.

Jaizkibelgo monoklinala Gipuzkoako ipar ekialdean dago kokatua, Iparraldeko mugatik gertu (1. Irudia). Gehiago zehaztuz, Oiartzualdea eta Bidasoa Behera eskualdeen artean dago. NE-SW orientazioa duen Formazio menditsu hau Tertiario garaiko arrokek osatzen duten kostako mendikateen parte da eta honek 2.424 hektareako azalera du; lortzen duen altuera maximoa 547 m-koa da.



1. Irudia: Jaizkibel mendilerroaren kokapena. Mugak kolore urdinez adierazita agertzen dira. Iturria: google.maps.es

Dirudienez, jatorrizko izena Oleartzu zen eta Jaizkibel mendiaren atzealdea zen, *haitz gibel* hitz elkarketatik eratorria. Interes naturaleko gunea da, Natura 2000 sarean nabarmendua, bai geologiaren ikuspuntutik (EAE-ko Geologikoki Interes Gunea, LIG 136, LIG 115, LIG 99, LIG 77, LIG 50) baita hidrologikotik ere.

Gradu amaierako lan batean Jaizkibel bere osotasunean hartzea ezinezkoa da, alde batetik, mendilerroak hartzen duen hedaduragatik eta bestetik lan hau egiteko dagoen denboragatik. Denbora muga honi gehitu egin behar zaizkio landako lan batean klimak suposatzen dituen oztopoak (euria esate baterako), lekuraino bertaratzeko egin beharreko garraioa eta azalaramendura iristeko ibilbidea, besteak beste.

Guzti honen ondorioz, lana Jaizkibel barneko arrotxo batean zentratu da, 58 hektarea dituen Martitxene-Susurko arroan hain zuzen ere (2. Irudia).



2. Irudia: Jaizkibel mendilerroaren barne dagoen Martitxene-Susurko arroa. Arro hau izan azterketa gunea. Iturria: google.maps.es

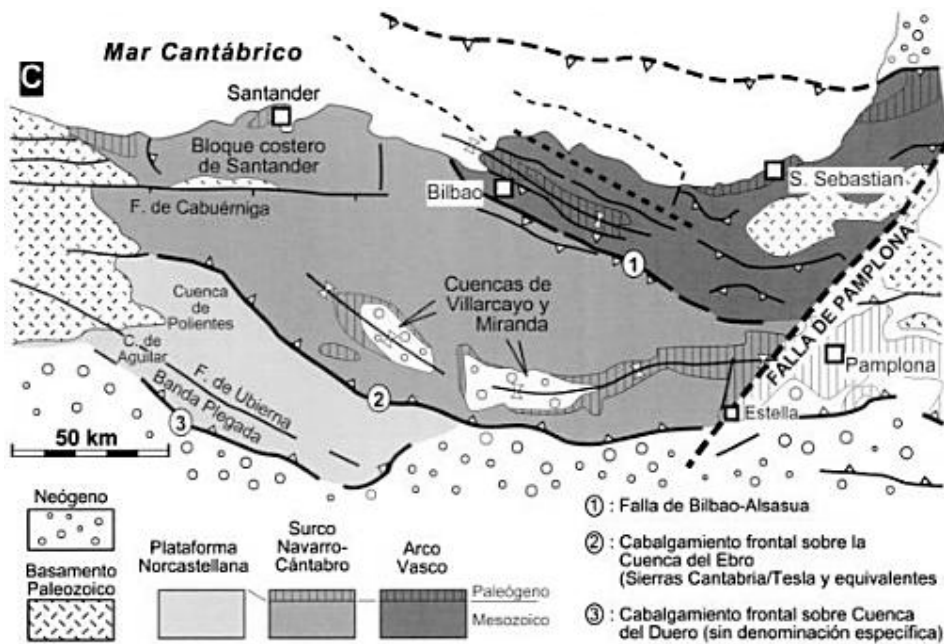
Bertan egindako azterketan arrokek bertako urarekin duen erlazioa ikertu/ulertu nahi izan da, bai arrokek bertako akuifero mota nola baldintzatzen duten, bai lur gaineko urek sortzen dituzten hezeguneen kokapenaren zergaitia ere. Honetaz gain, arro honetan bertan nibel siliziklastikoen barnean azaleratzen diren konkrezio dezimetrikoak deskribatu eta beraien zergaitia zein izango litzakeen ondorioztatu nahi izan da.

2. Kokapen geologikoa

Aztertutako gunea Pirinioen mendebalderanzko bukaeran dago kokatua, Eusko Kantauriar Arroaren (EKA) barnean, Ipar-ekialdean konkretuki. Arro hau, Jurasiko – Kretazeo garaiko distentsiozko fase tektosedentarioan garatzen da batik bat, Bizkaiko Golkoaren irekierarekin erlazionatzen den Rift fase batean (Vera *et al.*, 2004).

EKAko ezaugarri nagusia Mesozoikoko segidaren potentzia da, batez ere Kretazeokoa (metaketa 12.000 eta 17.000 m artean estimatzen da) jasandako subsidentzia bortitzagatik (EVE, Jaizkibel 40-IV, 1988). EKAK ekarpen itsastarrak jaso zituen goi – Eozenorarte (agian Miozenorarte), Orogenia Alpetarra hasi zen garaia esate baterako.

Arro hau hiru zati tektosedentarioetan banatuta aurkitzen da (Vera, *et al.* 2004): Euskal Arkua, Ipar gaztela Plataforma, Nafar-kantauriar hildoa (3. Irudia). Jaizkibelen azaleratzen diren materialak San Sebastian unitate tektonikoaren parte dira, Maastrichtiar eta behe – Eozeno adin artekoak (EVE, Jaizkibel 40-IV, 1988), Euskal Arkuaren iparraldean kokatzen dira. Material guzti hauek jatorri itsastarra dute.



3. Irudia: Eusko Kantauriar Arroko banaketa hiru zonetan: Euskal Arkua, Ipar gaztela Plataforma eta Nafar-kantauriar hildoa (Vera *et al.*, 2004).

Kostaldeko mendietako litologia nagusiak, irtenguneak gauzatzen dituen tamaina metrikoa duten geruza hareatsuak, eta gune deprimituenak garatzen direneko lutita eta hareharri txandakapena dira. Hauek Jaizkibel mendiaren iparraldeko isurialdean azaleratzen dira eta Eozeno garaikoak dira. Orogenia Alpetarrak eragindako konpresioaldi baten ostean, segidak N40°-60°E orientazioa erakusten du (EVE, Jaizkibel 40-IV, 1988).

Jaizkibelgo inguruan edo, adibidez, honen baliokideak diren Igeldoko unitate detritikoan egindako azterketa geologiko zehatzak urriak dira. Honen ondorioz, azterketa stratigrafiko orokorra batez ere EVEk Eusko Autonomi Erkidegoan (EAEn) egindako 1:25.000 mapetako txostenetan eta Pujalte *et al.*, 2000-ak *Revista de la Sociedad Geológica de España*n publikatutako artikuluan oinarrituta dago.

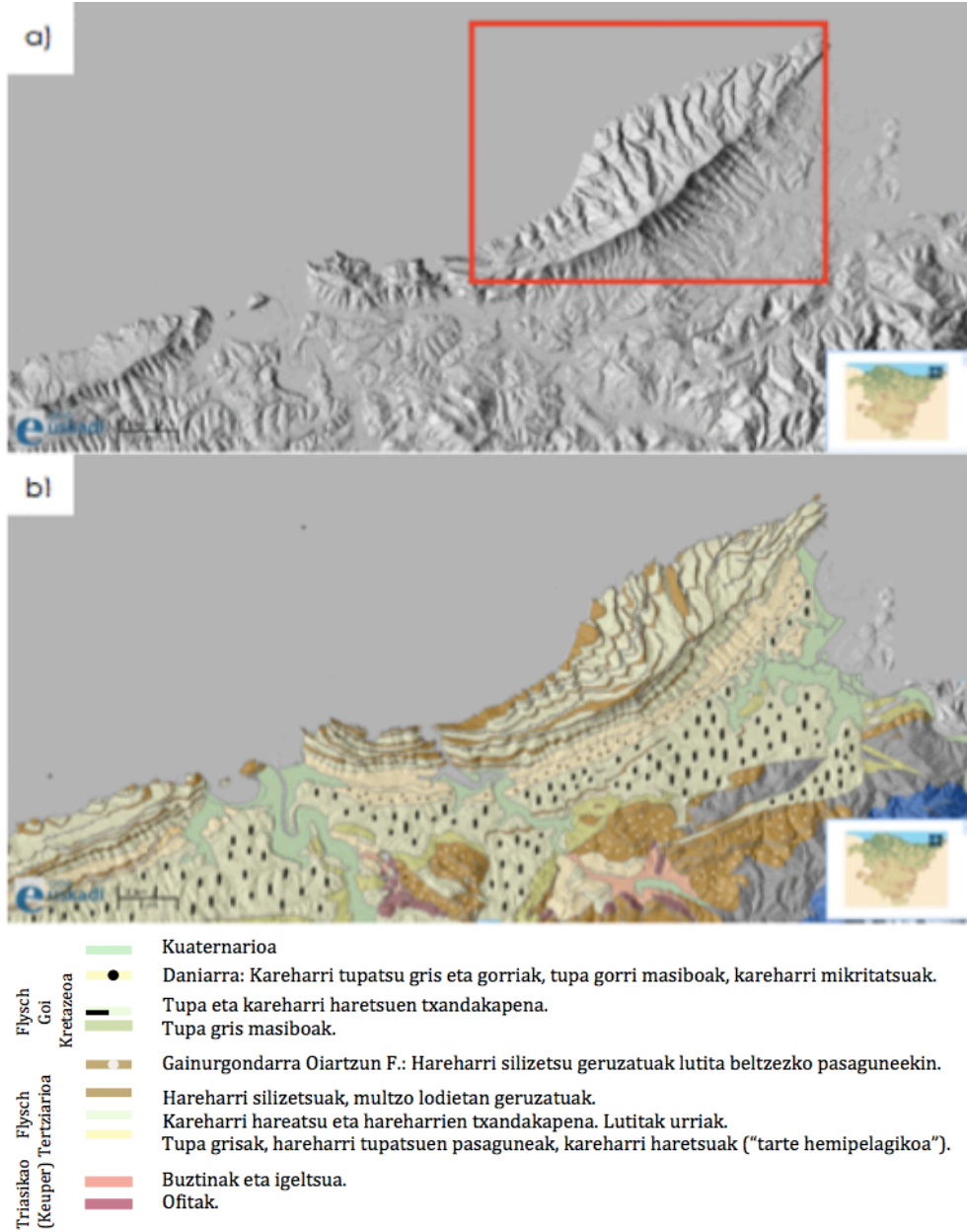
- Deskribapen stratigrafikoa:

Tertziarioko materialak dira hedadura zabalena dutenak eta potentzia handiko segida osatzen dute, non bi litologia nagusi desberdintzen diren: (1) gradazio positiboko karbonatozko zementua duten hareharri estratifikatuak, banku metrikoak osatzen dituztenak (2) lutita eta aurretik aipatutako hareharrien arteko txandakapena. Sedimentu hauek turbiditikoak dira, transgresioko baldintza itsastarretan metatuak. Ikusgarria ez den basamentuko tektonika bat du eta, bloke horien muga ondorioz, segida sedimentarioan potentzia aldaketak daude.

Segidan duen erregistro sedimentarioa txikia izan arren, jarraia da (4. Irudia). Goi Kretazeoko Flysch-eko materialak turbiditikoak dira eta itsas transgresioko baldintzetan izan ziren metatuak. Sedimentazioa arro zabal batean eman zen, non



sedimentuen sarrera bideak batez ere plataforma piriniar, hegoaldeko plataforma eta ezponda ziren.



4. Irudia: a) Jaizkibel-en LIDAR irudia, non lerrokadura menditsu hau karratu gorri baten bitartez adierazita dagoen. b) Bertako geologia gainjarrita agertzen den irudia. (Geoeuskadi bisoretik eraldatutako irudiak).

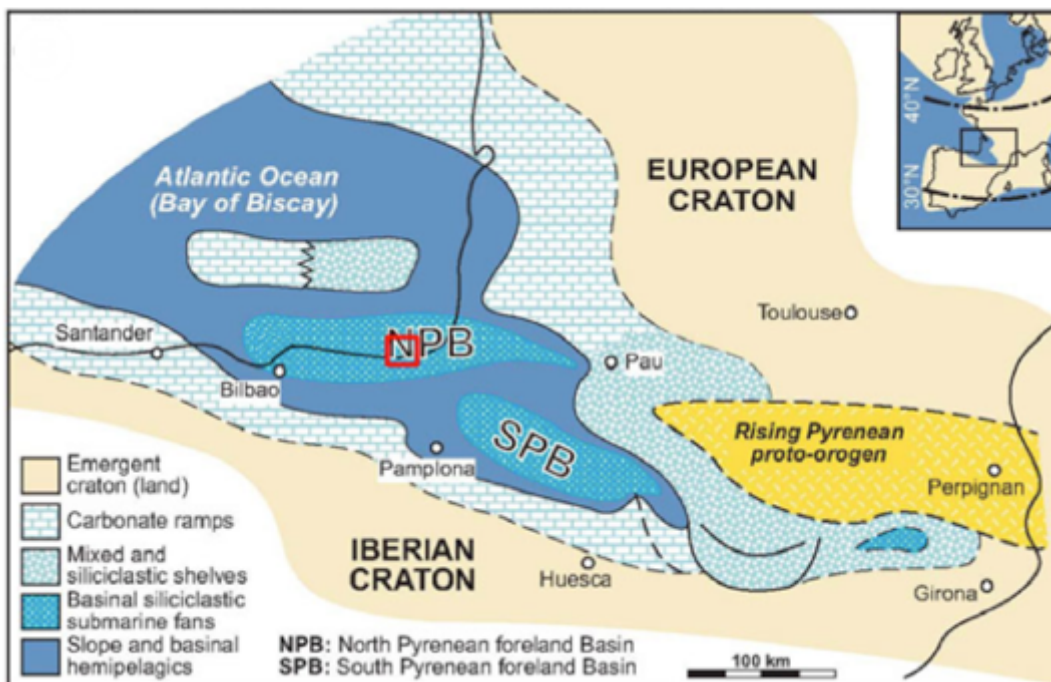
- Baldintza tektosedimentarioak:

Goi-Kretazeo – Behe-Paleogeno garaiko Pirinioen mendebaldeko eremuko paleogeografia modu honetan sinplifikatu eta uler daiteke: mendebalderantz ireki zen E-W norabidean luzatuta zegoen sakonera handiko ibarbidea (5. Irudia). Ibar honen iparraldean eta hegoaldean guno zabal eta erlatiboki lauak zeuden, *foreland basins*en urruneko ertzekin bat etortzen zirenak. Ia Goi-Kretazeo osoan

zehar, hegoaldeko inguruak arrapala geometria mantendu zuen. Behe-Paleogenoan (Paleozenoan eta erdi-Eozenoan), berriz, gune hauek karbonatozko plataformengatik ordezkatuak izan ziren. Paleozenoan, karbonatozko plataforma hauek iparraldeko inguru ere dominatu zuten, nahiz eta Eozenoan sedimentazio siliziklastikoaren kopurua asko handitu zen. Arrora, sedimentu hemipelagikoez gain, pikor larriko karbonatoak eta sedimentu siliziklastikoak iristen ziren. Hauek karbonatozko plataformetako sedimentuen birsedimentazioa errepresentatzen dute. Azken hauen jatorria batez ere ekialdeko Pirinioa zen, behe-Paleogenoan gune batzuk airepean zeudenez, aireperatzea jasandako guneen higadura aktiboa zen. Metakin siliziklastiko batzuk sistema flubio-deltaikoetan gordetzen ziren, ondoren *piggy-back* motako arro batean bilakatu zirenak. Gainontzeko sedimentuak sakonera handiko arroetara esportatu ziren, sistema turbiditiko siliziklastikoetan pilatuz (Pujalte *et al.*, 2000).

Kretazeo bukaeratik Goi-Eozenora arte, Iberiar Plaka Europar Plakarekiko 150 km desplazatu zen iparralderantz. Honek Bizkaiko Golkoaren subdukzio partziala eragin zuen Iberiaren azpian, baita Pirinioen emertsioa ere. Baldintza aldaketak efektu sedimentario eta paleogeografikoak ekarri zituen:

1. Daniar bukaeran, aktibitate tektoniko bat hasi zen arro barnean. Honek Daniarreko plataformen suntsiketa partziala eragin zuen. Garai honetan zehar, ondoren Thanetiarrean bete ziren itsaspeko arrolak sortu ziren. Sedimentazioa ia jarraia izan zen, emandako higadurazko fenomenoak itsas mailaren jeitsiera erlatibo batekin egongo ziren erlazionatuak.
2. Ypresiarrean sedimentazioaren homogenizazioa eman zen *flysch* erako segidak eta sistema turbiditikoak sortuz. Azken hauek "Tertziarioko Flysch"-a osatzen dute eta itsaspeko kono handiak osatzen zituzten, transgresio baldintzetan metatutakoak (EVE, Jaizkibel 40-IV, 1988).



5. Irudia: Europa eta Pirinioen marko paleogeografikoa, gaur egun Jaizkibel den gunea karratu gorri baten bitartez dago adierazita (Payros & Martinez, 2013-tik eraldatua).

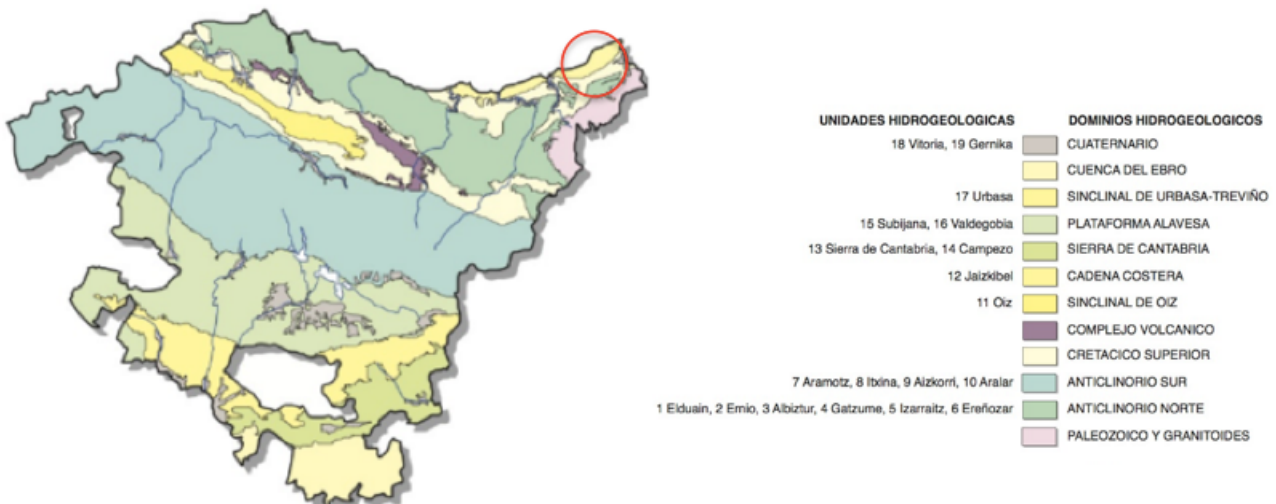


Segida honek Eozenoko arro turbiditikoak hamarka kilometrokoak zirela iradokitzen du (EVE, Jaizkibel 40-IV, 1988).

- Hidrogeologia:

Gipuzkoako lehenengo ikerketa hidrogeologikoa 1971. urtean egin zen *Instituto Geológico y Minero de España*ren eskutik. Ikerketa honen ustez, lurrazpiko uren baliabide hidrikoak garrantzitsuak ez zirenez, ez ziren ikerketa berriak egin 1987. urtean Gipuzkoako Diputazioaren, Eraikuntza Publikoen Ministeritza eta Eraikuntza Publikoen Zerbitzu Geologikoak egin arte. Ikerketa honetan eskualdea Unitate Hidrogeologiko ezberdinetan banatu zuten eta bertan Kostako Mendikateetako Eremua bereizi zen (Zabaleta *et al.*, 2014).

Arroan metaturiko Eozenoko turbiditak, Orogenia Alpetarraren eraginez, airepeko balditzetara pasa ziren, metatzetik higatzera. Jaizkibel Unitatea Kostako Mendikateetako Eremu Hidrogeologikoaren barne dago (6. Irudia). Unitate hidrogeologikoa zonalde mugatu bat da, akuifero batez edo gehiagoz osatuta dagoena, hauek euren artean isolatuta edo harremanetan egon daitezke. Eremu Hidrogeologikoa, ordea, Unitate Hidrogeologikoen batuketara da. Eremu Hidrogeologiko honek Gipuzkoako iparraldeko muturra hartzen du eta Tertiarioko materialez osatuta dago. Urola eta Bidasoako ibai-ahoen artean zabaltzen da 40 bat km-ko luzearekin eta bataz besteko 2 km-ko zabalerarekin. Iparraldeko muga Kantabriar itsasoak markatzen du, hegoaldekoa, ordea, Kretazeoko azaleramenduek. Unitatearen hedadura osoa 80 km² baino pixka bat txikiagoa dela kontsideratu daiteke (EVE, 1999).



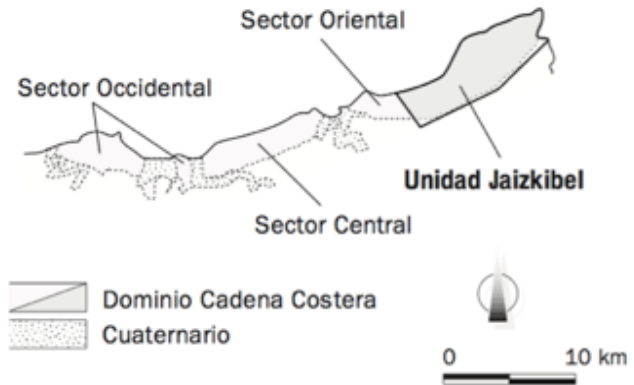
6. Irudia: Euskal Autonomi Erkidegoko Unitate eta Eremu Hidrogeologikoen mapa (EVE, 1999). Bertan borobil gorri batez Jaizkibelgo aldea adierazita agertzen da.

Eremu Hidrogeologiko honek kota ezberdinak hartzen ditu: itsas mailatik, Jaizkibelgo mendiaren 546 metrotara, nahiz eta uren banalerroa 200 eta 400 metrotan aurkitu. Eremuaren ekialdeko muturra, Oiartzun eta Bidasoa ibai-ahoen

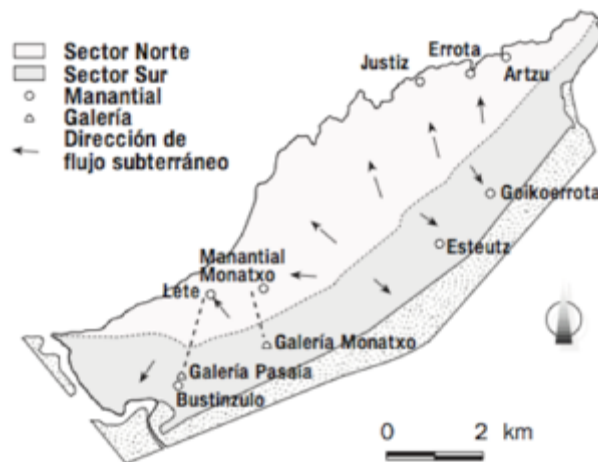
kokatuta dagoena, Jaizkibelgo Unitate Hidrogeologikoa osatzen dute (7. irudia) (EVE, 1999).

Jaizkibelgo Unitateko topografiari dagokionez, iparraldeko isurialdeak erliebe erlatiboki leunagoa erakusten du, %20-25 batzbesteko malda du eta lurzuaren garapena nabarmena da (8. irudia). Itsasora dagoen distantzia txikiagatik erreka sarea ez dago ondo garatuta, ibilguak zuzenean itsasoratzen dira eta substratuak permeabilitate handiagoa erakusten du. Permeabilitate honek, gune askotan, denboraldi bateko ibilguen funtzionamendua eragiten du.

Hegoaldeko isurialdeak, aldiz, malda handiagoak erakusten ditu, hauek %40-50 ingurukoak dira eta lurzuaren garapen ona du (8. irudia). Isurialde honetako drainatzea iparraldetik hegoaldera kokatuta dauden erreka txikiz osatutako sare trinko baten bitartez ematen da (EVE, 1999).



7. irudia: Kostako Mendikatea Eremuaren Unitateen eta Sektoreen eskema (EVE, 1999).



8. irudia: Jaizkibelgo unitate hidrogeologikoen azpiunitateen eskema, bertan putzu garrantzitsuenak agertzen direlarik (EVE, 1999).

Jaizkibel Unitate Hidrogeologikoak 26 km²-ko hedadura du. Bertako urteko batz besteko prezipitazioa 1700 mm-koa da, 730 mm-ko ebapotranspirazioarekin, beraz, 25 Hm³-ko isurketa urtean zehar eta hortik lurrazpiko batz besteko baliabide 13,8 Hm³-koa dela estimatzen da (Zabaleta *et al.*, 2014).



Unitate hau multigeruza sistema bat da, hau da, akuifero bezala jokatzeko duten formazio hareatsuak, akuifardo moduan jokatzeko duten jatorri lufitikoagoak duten formazioekin txandakatzen dira. Honen emaitza, akuifardoen bitartez elkarren artean gehiago edo gutxiago banatuta dauden akuiferoak dira. Formazio permeablea osatzen duten hareharriek permeabilitate bikoitza erakusten dute: primarioa, poroen arteko porositatea, eta sekundarioa, pitzaduraz eta disoluzioz eratua. Honela, putzuetako uren erregistro bertikalek (diagrafiak) uren arteko desberdintasunak adierazten dituzte. Uren aldea putzu bakoitzaren barnean ere ematen da hauek ponpatuak direnean (Zabaleta *et al.*, 2014).

Unitate honen oinarriko parametro hidrogeologikoak hauek dira: transmisibitatea (T) 20-60 m²/e (aldakorra lekuan lekuko), eta metatzeko koefizientea (S) 0.004 eta 0.009 artean, akuifero konfinatuen edo semi-konfinatuen adierazle den balioa da eta multigeruza sistemarekin bat dator (Zabaleta *et al.*, 2014).

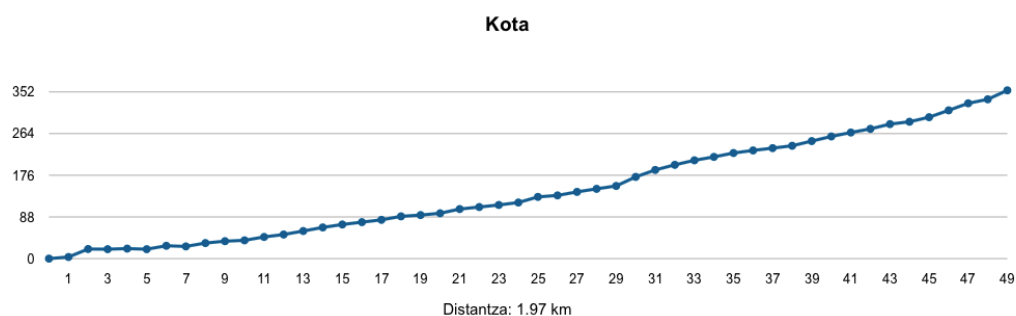
Jaizkibelgo Unitatearen iparraldeko isurialdeko erreketako eroankortasun elektrikoa (EE) baxua da erreka buruan eta korrontearen norabidean handitzen doa ur ekarpen berriak gehitzen doazen heinean. Normalean ur ekarpen hauek mineralizazio gehiagoko urak izaten dira. Agorraldi garaietan, erreka buruko emaria oso txikia izaten da (<1 l/s) (edo nulua), orokorrean EE balioak 130 µS/cm izaten dituzte, mineralizazio baxuaren indikatzaile direnak. Errekan beheara, aldiz, modu progresiboan handitu egiten da EEa, beheko gunetan 200-250 µS/cm balioak lortuz. Gune hauetako emaria 12 l/s izatera iritsi daiteke. Ur hauek kaltzio-bikarbonatoko fazieak dira, bertako litologi karbonataodunarekin bat etortzen direnak. Dena den, erreketako uren EE balioak putzuetako urenak (430 µS/cm) baino nahiko baxuagoak dira. Honek fluxuen desberdintzapen bat erakusten du, sakonera txikiko urak dira inguruko erreketan isurtzen dutenak. Erreken beheko aldean dagoen mineralizazio handitzea, sakonera handiagoko fluxuen deskargaren ondorioz izan daitekeela pentsa daiteke (Zabaleta *et al.*, 2014).

Kontuan izan behar da prezipitazioen errekarga mantxo eta modu difusioan ematen dela, maila piezometrikoan aldaketa nabarmenik eman gabe (sistema multigeruzarekin bat datorren ezaugarria da hau) eta ponpaketa indibidualek ez dute ia eraginik inguruko putzuetako maila piezometrikoetan (Zabaleta *et al.*, 2014).

Behaketa hidrogeologikoa iparraldeko azpiunitatean aurkitzen den Martitxene – Susurko arroan burutu da hain zuzen ere (9. Irudia, ikusi 2. 3. 4. 5. Eranskinak). Arro honen azalera 58 ha-koa da eta bertatik igarotzen den Martitxerreka erreka luzeera 2 km-koa. Arroaren profil topografikoa kontuan hartuta, bere malda %10 da (10. Irudia).



9. Irudia: Aztertutako arroa Jaizkibel mendian duen kokalekua. Arro horretako ibaia Martitxene - Susurko da. Iturria: google.maps.es



10. Irudia: Arroaren profil topografikoa.

3. Gradu Amaierako Lanaren Helburuak

Lan honen helburu nagusia Jaizkibel Unitateak dituen litologia ezberdinak eta hauek uraren kimismoan zein akuiferoen portaeran duten eragina aztertzea izan da. Litologia eta petrologiaren baitan akuifero eta akuikludo potentzialak zeintzuk diren determinatzea eta akuifero horien errekarga nola eman daitekeen ondorioztatzea. Horretaz gain, uraren hidrokimika justifikatzea ere. Horretarako, bertan azaleratzen diren arroka detritiko siliziklastikoen azterketa estratigrafikoa, sedimentologikoa eta petrologikoa egitea beharrezkoa izan da.

Hau burutzeko, **landa – lanaren bitartez**, aztertutako gunearen zeharrebaki bat eta 27 metroko zutabe estratigrafikoa landu dira, sedimentazio ingurunea eta sedimentazio baldintzak hobeto ulertzeko. Honetaz gain, urak dituen ezaugarriak lortzeko, honen eroankortasun elektrikoa (EE) eta tenperatura neurtu dira errekararen puntu ezberdinetan zehar. Ondoren, **laborategian**, landan lagindutako arroken xafla-meheen azterketa petrografikoa egin da. Gainera, 1999. urtean Eusko Jaurlaritzak eta EVEk egindako zundaketaren eta altxatutako zutabearen artean korrelazioa gauzatu da hidrogeologia eta estratigrafia-petrologia uztartzeko. Aipatutako zundaketaz gain, beste bost zundaketa (JE-5, JE-6, JE-7, JE-8, J7-9 eta



JE-10) egin zituzten Hondarribiko Jaizkibelgo lursail munizipaletan. Zundaketak Jaizkibel Uniate Hidrogeologikoaren iparmendebaldeko alderdian egin ziren, Hondarribia eta Irun udalerrriak hornitzeko, eskuragarri ziren ur baliabideak handitzeko asmoz.

Bestalde, Jaizkibelgo iparraldeko isurialdean hedadura txikiko gune **hidroturbosoak** agertzen dira. Bertan kontzentratzen dira Gipuzkoako gune hidroturboso gehienak (Heras, 2014). Azterketa arroan 15 hezegune agertzen dira. Hezegune horiek bertan lekutzearen arrazoia zein den jakitea lortu beharreko beste helburuetako bat da. Hauek zein litologietan agertzen diren jakiteko arroan gune hidroturbosoen kokapen-kartografia egin da.

Jaizkibelen azaleratzen diren hareharriak ezagunak dira ere beraien higadura formengatik. Hauek oso ikusgarriak dira eta kostaldeko eskualdean aurkitzen dira, batik bat (EAEko Geologiako Interes Guneak, LIG115, LIG136, www.irekia.euskadi.net). Hareharri hauetako batzuen baitan konkrezio batzuk agertzen dira. Azkenengo urteetan hauen inguruan hainbat nota publikatu dira Aranzadiren eskutik, *paramoudra* deiturarekin (Galan, *et al.*, 2009) besteen artean). Forma ezberdinak har ditzazkete: esferikoak, zilindrikoak, anforak, suge itxurakoak... Diametro txikiko (5-7 mm) lokarri bat izaten dute, bioturbazio itxura duena eta honen inguruan konkrezioa. Garapena erditik ematen da, 2-3 metrotako hedadura izan ditzakete bertikalean eta 6-8 metro subhorizontalean; nahiz eta, zentimetro tamainakoak ohikoenak izan (Galan, *et al.*, 2009). Esfera formako kasuan, hauen diametroak 10-20 cm eta 1 m artekoak izaten dira, batazbestez 55 cm inguru (Galan, *et al.*, 2008). Autore hauen arabera, *paramoudra* *Bathichnus paramoudrae* bezalako gordelekuen inguruan eratutako silizeko konkrezioak dira. Lan honen beste helburua, maila siliziklastiko hareatsuenetan agertzen diren **konkrezioen deskribapena eta jatorria** zein izan daitekeen aztertzea izan da.

4. Ikerketa metodologia

a. Mapak egiteko metodologia:

Martixene-Susurko arroko erliebea ondo definitzeko eta gaur egungo mapak egiteko erabiltzen den teknologia gertutik ezagutzeko lau mapa egin dira: Hezeguneen kokapena, Lurrazalaren Eredu Digitala eta Ibai Sarea, Fluxu Norabide Mapa eta Malda Mapa. Mapa horiek egiteko ArcGIS (ESRI ArcMap 10.2.1, ArcInfo license) programa erabili da.

Programa honek indar handia hartu du azken urteotan. ArcGIS Geografia-Informazioko Sistemei (GIS) buruzko software produktuen multzo baten izena da. Honen baitan hainbat GIS aplikazio daude, baina geologiaren arloan bat da benetan erabilgarria dena, ArcMap. Tresna honen bitartez datu geoespazialak ikusi, editatu, sortu eta analizatu daitezke.

Arroa mugatzea beharrezkoa da, ondoren, bestelako datuak (malda, fluxu norabideak, besteak beste) lortu ahal izateko. Horretarako, sarean dauden LIDAR

datuak jeitsi dira, baita airetiko argazkiak ere (LIDAR: ftp://ftp.geo.euskadi.net/lidar, kartografia: ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia). Datu hauek kuadranteka lortu daitezke soilik, beraz, hauek batzea, hau da, mosaiko bat egitea, beharrezkoa da lan egiteko.

b. Hidrogeologia eta petrologia aztertze metodologia:

Landako lana bi arlo ezberdin nagusietan bana daiteke: stratigrafia-petrologia eta hidrogeologia. Urak bertako arroekin duen erlazioa aztertu nahi da lan honetan. Horretarako, akuiferoa osatzen duten arroak aztertu beharko lirateke, baina hori ezinezkoa denez, akuiferoko segidaren parekoak liratekeen eta itsaslabarrean azaleratzen diren arroak aztertu dira. Hau horrela dela ziurtatzeko, korrelazio bat egin da putzu bateko zundaketa baten (JE-7) eta ikertutako itsaslabarraren artean.

Arroken azterketa egiteko, lehendabizi itsaslabarraren zeharrebaki bat egin da. Ondoren, zeharrebaki horretan oinarritutako zutabe stratigrafiko bat. Azterketa petrografikoa egiteko 8 lagin hartu dira behatutako azaloramenduan arroek erakusten dituzten ezaugarri ezberdinak ikusi ahal izateko. Horietatik 7 hareharriak dira eta bat tupa. Azken honetan, X izpien difrakzioa ere egin da osaera mineralogikoa eta beraz, karbonato edukia zein den jakiteko.

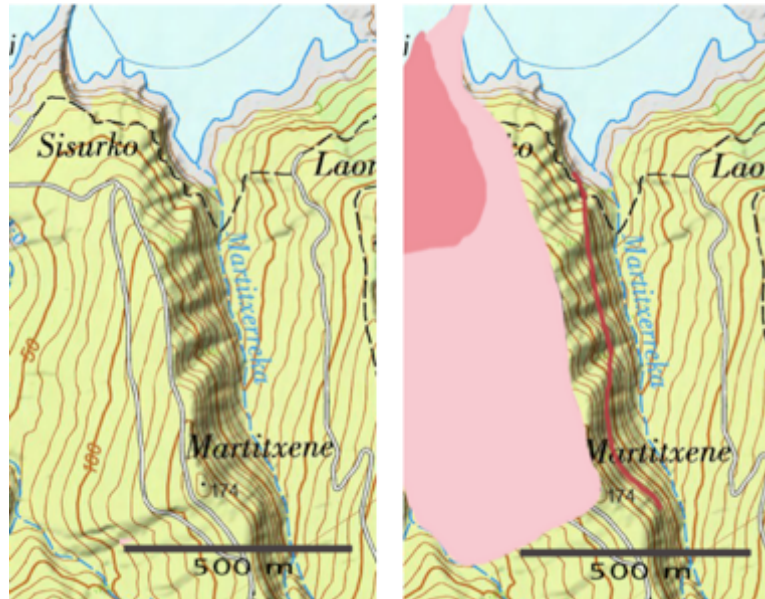
Hidrogeologiako arloan, errekari buruzko informazioa biltzeko, ibilguan zehar tenperatura eta eroankortasun elektrikoa neurtu dira. Modu honetan errekak izan ditzazkeen ur sarrera ezberdinak azter daitezke. Errekaren ibilguan lau gune ezberdinetan neurtu da: iturburutik gertu, erdikaldean, itsasoratzeko lekutik gertu eta azkenik, urtean zehar jarraia ez den ibilgu nagusira batzen den isurkian. Datu hauek biltzeko Hach HQ14d motako konduktibimetroa erabili da, 25°C-tan kalibratuta dagoena.

Ibilguaren inguruak sasiez (*Rubus* spp.) eta oteaz (*Ulex* spp.) beterik daude, arantzak dituzten landareak dira, eta bertaraino iristea oso zaila da (11. irudia) (Aizpuru *et al.*, 2010). Hori izan da datuak lau puntuetan soilik hartzearen arrazoia.



11. Irudia: Ibilguaren inguruan agertzen diren landareak. Hauek dira bertara iristea oztopatzen dutenak. a) Sasia (*Rubus* spp.) landarea, b) Otea (*Ulex* spp.) landarea (Aizpuru *et al.*, 2010).

Honetaz gain, aurretik esan bezala, estratigrafia-petrologia eta hidrogeologia bateratzeko, altxatutako zutabearen eta EVEk eta Eusko Jaurlaritzak 1999an egindako zundaketa (JE-7) baten arteko korrelazioa egin da. Korrelazio lana errazteko, kartografia xume bat egin da arroka-geruza nabarmenak mapan markatuz (12. Irudia) eta horretaz gain, zutabearen agertzen den eta mendiko landaredian zehar ikusgarria den gida geruza bat aukeratu da. Beraz, korrelazioa burutzeko, gida geruzaren ezaugarriak, putzuaren kota eta segidaren norabide eta okerdura erabili dira.



12. Irudia: Ezkerreko irudian lanean zehar aztertutako arroa ikusten da sestrakurbekin. Eskuineko irudian hiru geruza ezberdin nabarmendu dira: arrosa iluna, arrosa argia eta gorria. Aipatutako lehenengo biak zundaketaren gaineratik geratzen dira eta gorri kolorekoak zutabea eta zundaketa erlazionatzen ditu. (Irudiak iberpix bisoretik eraldatuak).

c. Karbonatozko konkrezioak aztertzeke metodologia:

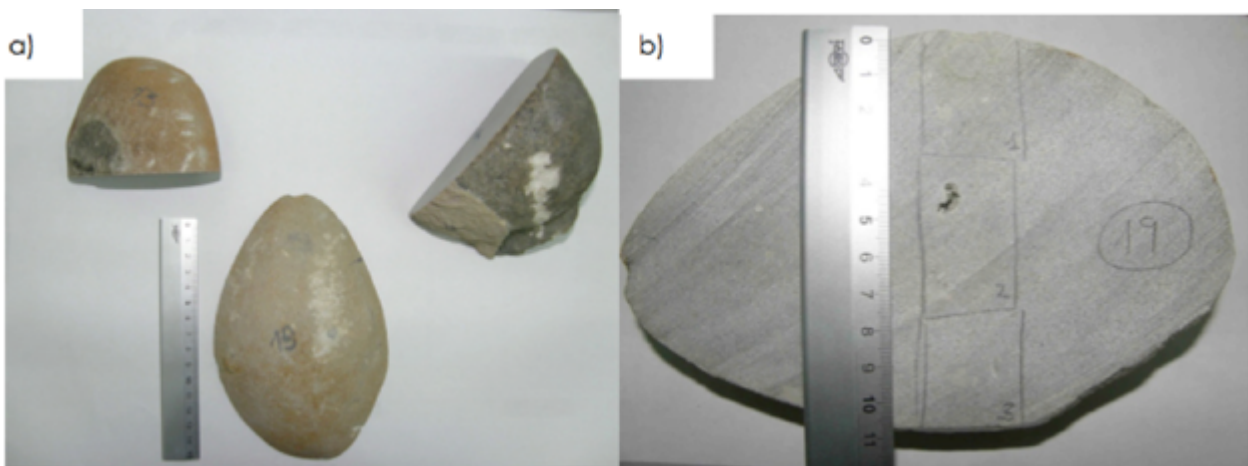
Karbonatozko konkrezioak, Tertiarioko segida siliziklastikoarekin lotuta daudenak, Gipuzkoako itsasertz osoan azaleratzen dira, Jaizkibelgo itsaslabarretik Getariako xaguraino, Uria menditik eta Igeldotik igarota. Baina hauek oso ugariak eta modu espektakularrean azaleratzen diren gunea Irupuntxa da (Jaizkibel) (X. 592.380,60, Y 4.802,917,06, Maila 16) (13. irudia).

Mitxel Molia frantsesak eskuratutako hiru noduluen azterketa, deskripzio makroskopiko batean oinarritu da Leica ZOOM 2000 lupa binokularraren bitartez. Honetaz gain, 9 xafra meheen azterketa petrografikoa ere egin da, horietako bi arroka kaxarenak eta besteak noduluarenak Olympus BX50 mikroskopio petrografikoarekin.



13. Irudia: Lagindutako gunearen kokapena Jaizkibelgo mendilerroan karratu gorri baten bitartez. Gunea Irupuntxa izenez ezagutzen da. Iturria: Geoeuskadi bisorea.

Xailetako bat tutu zentralaren edo bioturbazioaren parte hartuz egin da, iragatea, gradazioa edo higadura badagoen ikusteko (14. irudia).



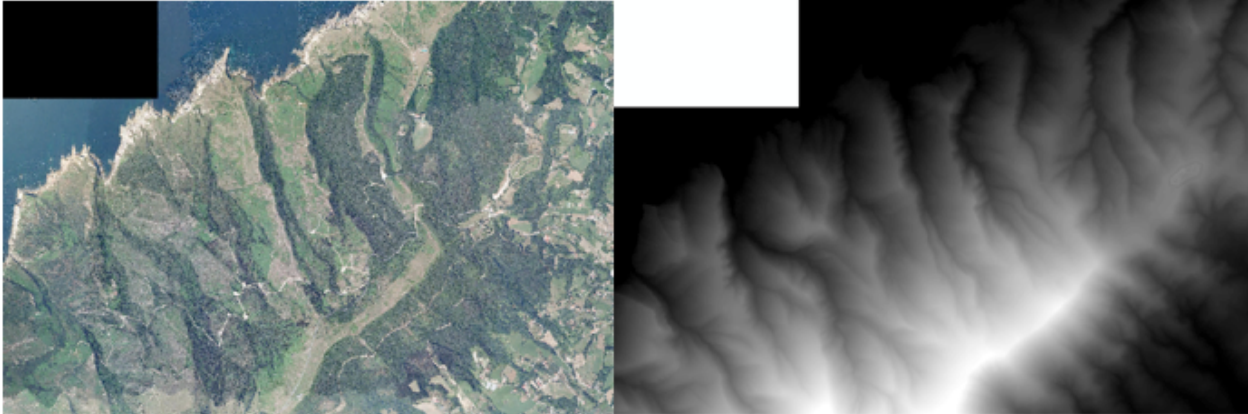
14. irudia: Karbonatozko noduloen laginak. a) Aztertutako hiru laginak. b) Erditik ebakitako noduluaren zeharkako azterketa egiteko xaflen kokapena.

5. Garapena

5.1. Mapa topografikoen eraikuntza LIDAR datuak ArcGis bidez tratatuta:

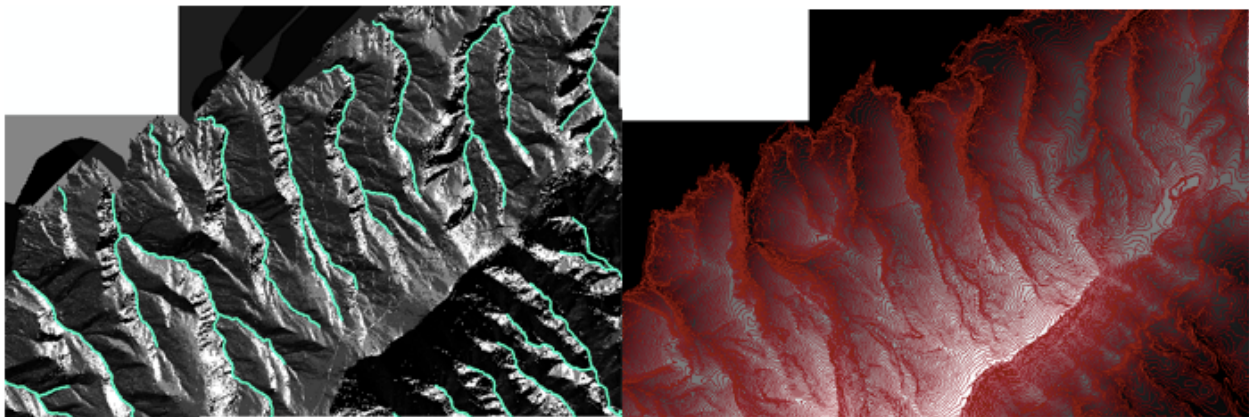
Metodologian aipatu bezala, LIDAR datuak eta airetiko argazkiak saretik jeitsi dira (Lidarra: [ftp.geo.euskadi.net/lidar](ftp://ftp.geo.euskadi.net/lidar); kartografia: [ftp.geo.euskadi.net/cartografia](ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia)). Datuak kuadranteka lortu daitezkeenez, hau batzea (mosaiko bat egitea) beharrezkoa da lan egiteko. Horretarako, *mosaic*

tresna erabili da bi kasuetan (15. Irudia).



15. Irudia: Saretik jetsitako LIDAR datuekin eta airefiko argazkiekin osatutako mosaikoak.

Ondoren, LIDAR datuekin egindako mosaikoaren gainean fluxu norabidea sortu da. Hori lortzeko, *flow direction* tresna erabili da. Modu honetan, urak egin beharreko ibilbidearen nondik norakoak ondorioztatzen da (16. irudia). Honetaz gain, Euskal Autonomi Erkidegoko (EAE) ibaien kokapena jeitsi da saretik (<ftp.geo.euskadi.net/cartografia>), arroko ibaiaren kokapena zein den ikusi ahal izateko (16. irudia). Aukeratutako errekaen arroa hobeto definitzeko, EAEko sestra kurben mapa gainjarri da.



16. Irudia: Ezkerreko irudian, LIDAR datuen gainean *flow direction* erabiliz eraikitako fluxu norabide mapa. Honen gainean EAEko ibaiak kokatu dira. Eskuineko irudian, arroa irudikatzeko ibaien kokapenez gain erabilitako EAEko sestra kurben mapa.

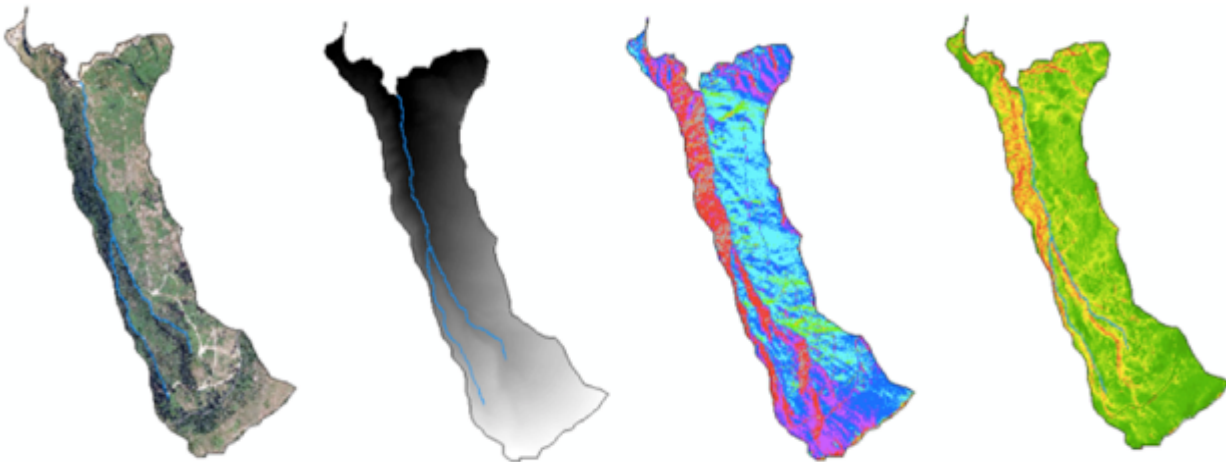
Arroa mugatzeko, *shapefile* (kapa) berri bat sortu da. Hau espazioan kokatzeko Europako UTM koordinatu sistema erabili da, ETRS1989 UTM Zone 30N hain zuzen ere. Behin hau sortuta, arroa eskuz marraztu da, sestra kurben eta fluxu norabideen laguntzaz.

Behin arroa definituta dagoela, mapa moztu ahal izateko *extract by mask* erremienta erabili da, modu honetan arroaren lurrazalaren eredu digitala sortuz.

Soilik aztertutako erreka agertzeko, ibaien kapatik beharrezko erreka moztu egin da *clip* erabiliz.

Modu honetan arroa mugatuta dago eta prest dago mapak bere gainean egiteko. Hiru mapa definitu dira: Lurrazalaren Eredu Digitala eta Ibai Sarea, Fluxu norabidearen mapa eta Malda Mapa.

- Lurrazalaren Eredu Digitala eta Ibai sarea: Arroa mugatzen duen kapa, horren LIDAR datuak eta arroko erreka kapa aukeratu dira (17. Irudia).
- Fluxu norabidearen Mapa: Nahiz eta arroko fluxu norabidea kalkulatu izan, ezin izan da hau erabili kota baloreetan akatsak zituelako. Hau konpontzeko, arroa bete dugu *fill* erremintaren bitartez, modu honetan agertzen ziren hutsuneak betez. Ondoren, kapa berri honen gainean sortu da fluxu norabide mapa. Hau, aurretik erabilitako *flow direction*en bitartez lortu da (17. Irudia).
- Malda Mapa: Arroko LIDAR datuak erabiliz, *slope* erremintaren bitartez sortu da kapa berri bat non arroko malda desberdintasunak agertzen diren (17. Irudia).



17. Irudia: Prozesu osoa egin ondoren lortutako mapa ezberdinak, ezkerretik eskuinera: Martitxene-Susurkoko airetiko argazkia, Lurrazalaren Eredu Digitala eta Ibai Sarea, erreka-arroaren Fluxu Norabide Mapa eta Malda Mapa.

Airetiko argazkiekin egindako mosaikoaren gainean, aukeratutako arroa soilik agertzeko, mapa moztu da *extract by mask* erreminta erabiliz. Modu honetan, arroaren airetiko argazkia lortzen dugu (15. Irudia). Ondoren mapa honetan bertan neurtutako tenperaturak eta eroankortasun elektrikoak kokatzeko.

Mapak bukatutzat emateko, hauetan legenda, iparra eta eskala grafikoa zein numerikoa ezarri dira.



5.2. Martixene-Susurkoko estratigrafia-petrologia:

Martixene-Susurko arroko azterketa estratigrafiko-sedimentologikoa, datu hidrologoekin bateratzeko egin da. Horretarako, itsaslabarreko azaleramendua aztertu da (bisuz eta mikroskopia petrografikoan), bertan azaleratzen baitira hoberen arroak, begetaziotik libre, eta baita EVEk eta Eusko Jaurlaritzak 1999. urtean egindako putzuen zundaketen txostenetan bildutako zundaketa baten (JE-7) datuak ere.

5.2.1. Turbiditen orokortasunak:

Jaizkibel Formazioa edo Flysch Hareatsua maila turbiditiko ugariak izateagatik ezaugarritzen da (EVE, Jaizkibel 1988). Segidan gorantz eginez, turbidita hauek gero eta ugariagoak eta potentzia handiagoak dira, horietako batzuk 3 metrotara hel daitezke. Sedimentazio hau Orogenia Alpetar garaikoa da, orduko mugimendu konpresiboen ondorioz garatzen ari ziren erliebe berrien higaduraz material siliziklastikozko kantitate handiak sortu ziren. Sortutako sedimentu horietako batzuk flysch arrora garraiatzen ziren uhertasun korrante moduan (Pujalte *et al.*, 2000).

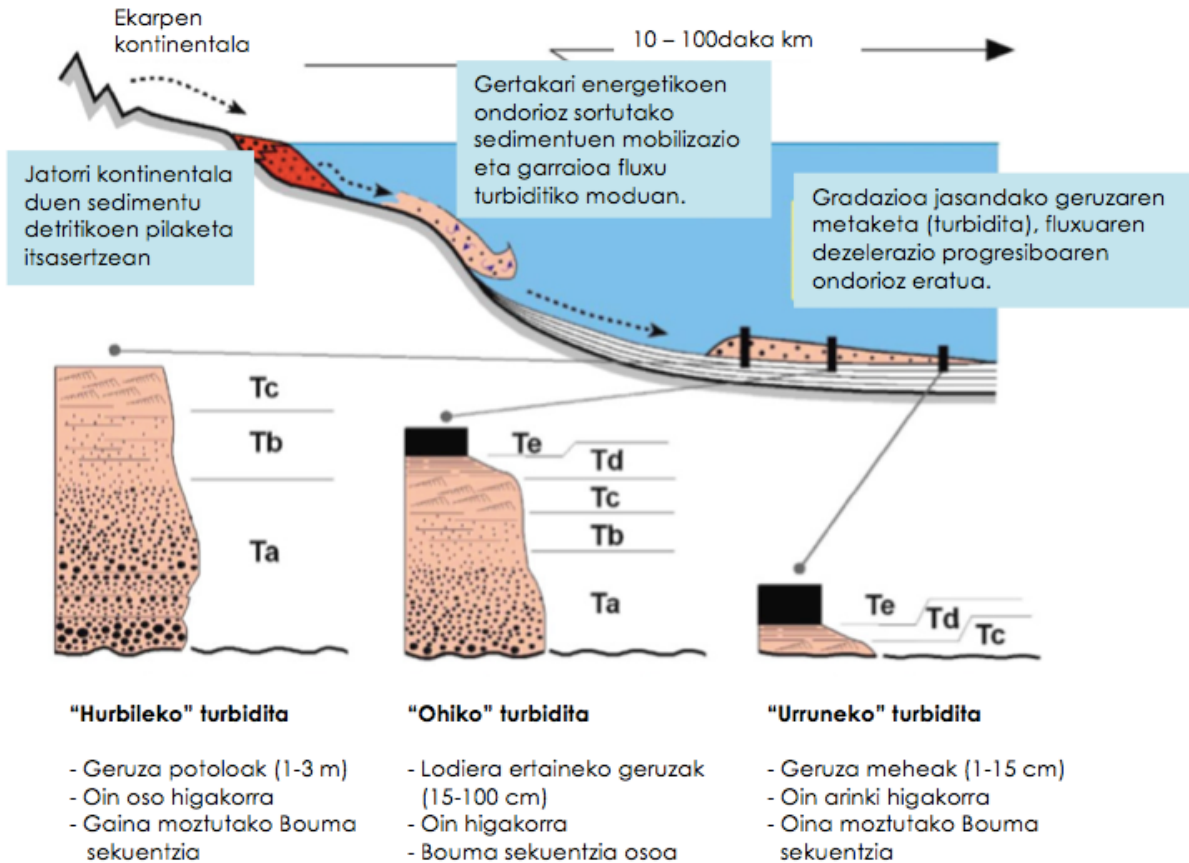
Turbiditak uhertasun korranteen bidez garatzen dira, uhertasun honek jariakinaren konposatuak gorantz bultzatzen ditu, horrela partikulak esekiduran jartzen dira eta modu honetan distantzia luzeak egiteko gai dira (Reading, 1996).

Maldan beheranzko bidean, fluxua hobeto organizatzen da, pikor tamaina txikiko sedimentuak goiko aldean kokatzen dira eta larienak behean (Posamentier & Walker, 2006). Beraz, lehenengo metatzen diren sedimentuek pikor tamaina handiagoa dute (legarra edo hareharri lodia) eta gero eta finagoak (harearri erdi-fina, lohia eta, azkenik, buztinga) metatzen dira. Ondorioz, sedimentuek bertikalean gradazio positiboa erakusten dute eta era berean, bereizgarria den *Bouma sekuentzia* jarraitzen dute (Baceta *et al.*, 2012).

Boumaren sekuentzia osoa (18. Irudian "ohiko turbidita" moduan izendatua) ezaugarri ezberdinak dituzten 5 tarte osatuta egoten da (Baceta *et al.*, 2012). Geruza turbiditikoaren zeharkako profil batean ezaugarri ezberdinak dituzten tartek ikus daitezke, ondorengo hauek dira oinetik gainara ordenatuak:

- **Ta:** Itxura masiboa erakusten duen gradatutako tarte hareatsua. Energia galdu ahala azkar metatutako harkoskoak eta hareak dira. Honetaz gain, higatutako basazko klastoak ager daitezke.
- **Tb:** Xafladura paraleloa duen tarte hareatsua. Xafladura paralelo hori uhertasun korranteak eragindako trakzio superkritikoaren emaitza da. Hau likidotuz gero, platerak era daitezke.
- **Tc:** Xafladura gurutzatua erakusten duen hare finen tarte. Xafladura trakzio subkritikoz eratutako rippleak dira. Hauek likidotzen badira, konboluta xafladura eratzen dute.
- **Td:** Xafladura paraleloa erakusten duen tarte lohitsuak. Tarte hau esekiduran dagoen lohia pausatzean eratzen da.

- Te:** Xafladura fina duen edo masiboa den tarte lutitiko. Tarte hau, behetik gora, bi zatitan bana daiteke: $E(t)$ eta $E(h)$. $E(t)$ esekiduran zegoen buztina metatzean eratzen da, $E(h)$, aldiz, ur sakoneko baldintza lasaieran metatutako basa autoktonoa da.



18. Irudia: Prozesu osoa egin ondoren lortutako mapa ezberdinak, ezkerretik eskuinera: arroaren airetiko argazkia, lurrazalaren eredu digitala eta ibai sarea, fluxu norabidearen mapa eta maldak mapa (Baceta *et al.*, 2012tik eraldatua) .

Turbiditek lodiera aldakorak erakusten dituzte (3 m eta 1 cm artekoak) eta hedapen zabala izaten dute (batzuetan ehundaka metro edo kilometro). Orokorrean, potentzia handiagoa dute sedimentu iturritik gertuago metatzen badira. Honen ondorioz, potentzia handiko geruzak (1-3 m) "hurbileko" zonen adierazgarri kontsideratzen dira eta geruza finenak (1-2 cm), aldiz, "urrunekoak". Azken hauetan *Bouma sekuentzia* ez da osotasunean agertzen, oinako fазieak ez baitira agertzen. Hurbilekoetan, ordea, gainako fазieak dira ez daudenak. Hala ere, turbiditak anitzak diren azaleramenduetan geruzen potentzia, pikor tamaina eta *Bouma sekuentzia* modu aldakorrean ager daiteke (Baceta *et al.*, 2012).

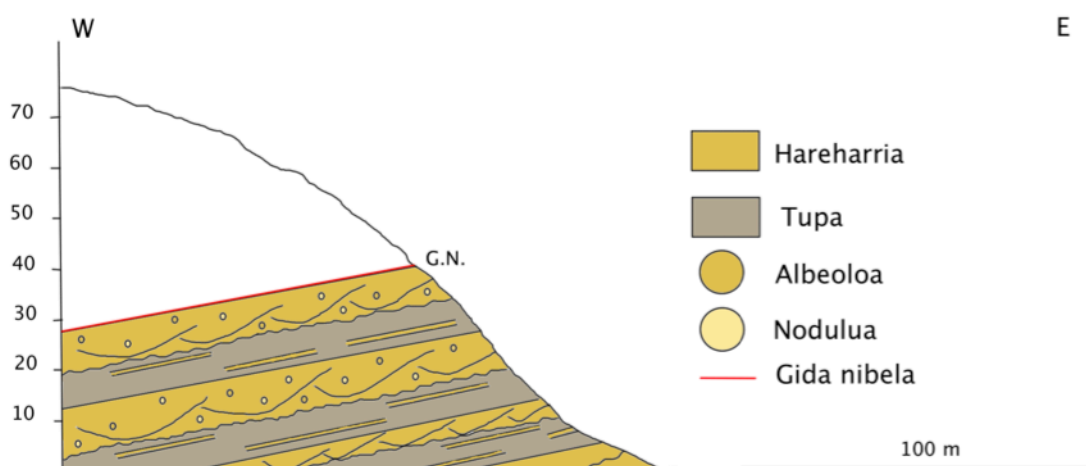
5.2.2. Zeharrebakia eta zutabe estratigrafikoa:

Aztertutako azaleramenduko geruzek erakusten duten norabidea N020E da eta okerdura 10-20°W artean dago (19. Irudia). Horretan oinarrituz, zeharrebakia egin da (20. Irudia), erreka zidorra doan bailaratik, gune topografiko baxuenetik, mendebalderuntz, itsas labarreko azaleramenduak jarraituz.

Hemen azaleratzen dena, turbidita segida osoaren erdiko tramoan kokatuko litzateke, gorantz segidan hareharriak nagusitzen direlarik (EVEko maparen arabera).



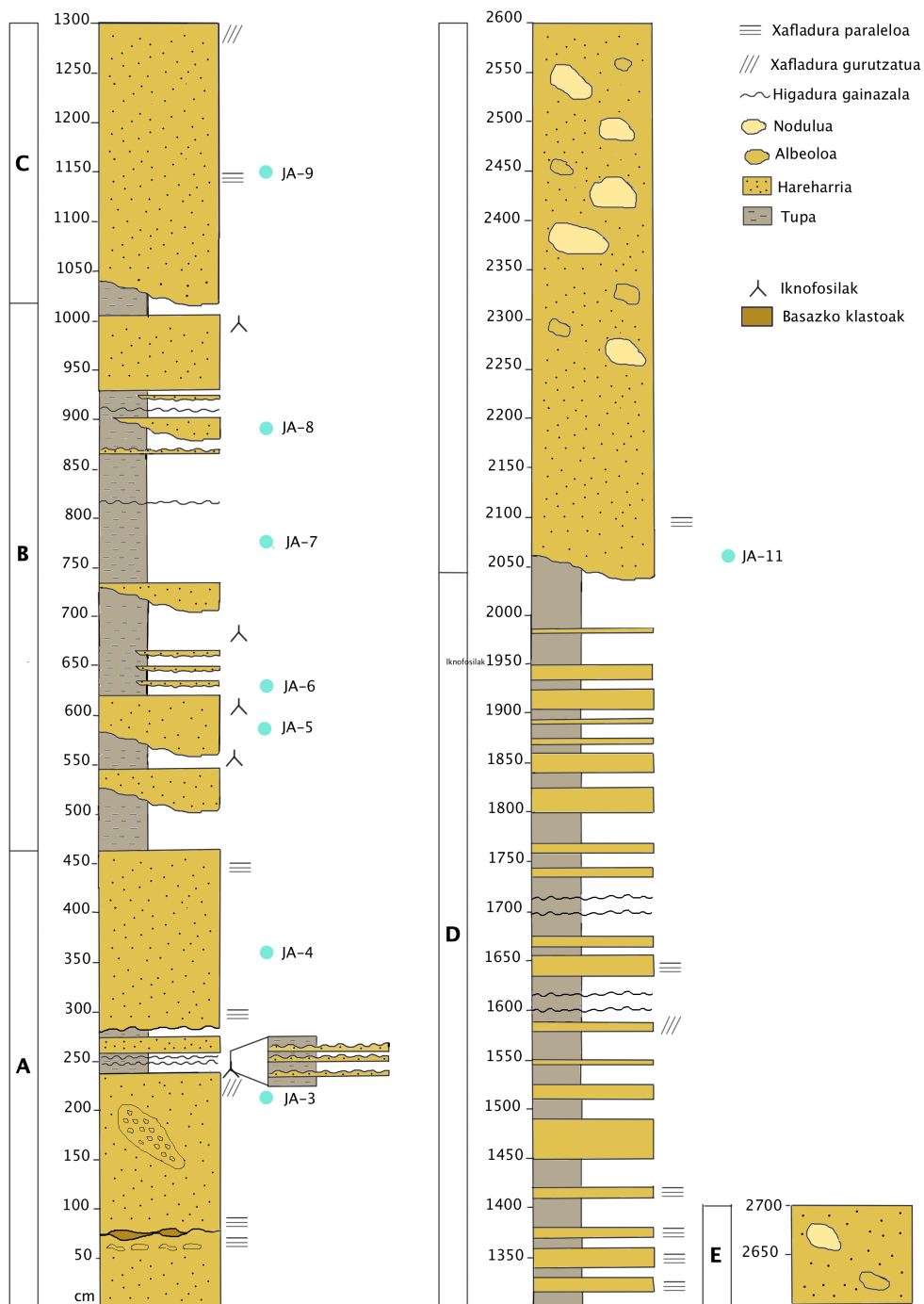
19. Irudia: Zeharrebakia eta zutabe estratigrafikoa egiteko erabilitako azaleramendua. Itsaslabarreko mendebaldeko azaleramendua da hau.



20. Irudia: Aztertutako azaleramenduaren zeharrebakia. Erabilitako okerdura 10°koa izan da. Bertan ondoren JE-7 zundaketarekin korrelazioa egiteko erabilii den gida nibela gorritz adierazita agertzen da.



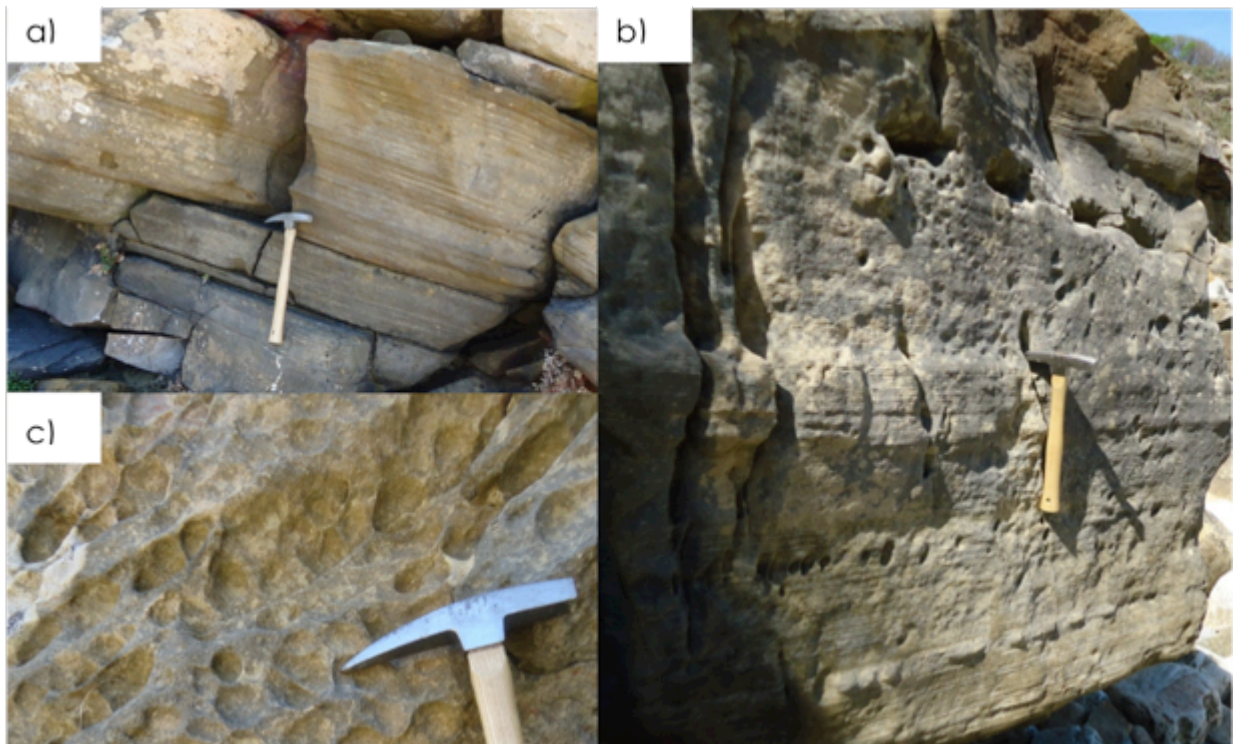
Altxatutako zutabe stratigrafikoak turbidita maila ezberdinak ditu eta 27 m-ko potentzia osatzen du (21. irudia). Zutabea, siliziklastiko kopuruaren arabera, bost tarte nagusietan banatu da. Segida stratigrafikoa jarraituz, oinaldetik gorantz:



21. irudia: Altxatutako zutabe stratigrafikoa. Honek 27 metroko luzeera du errealitatean eta turbidita ezberdinez osatuta dago. JA: petrologia azterketa egiteko laginak eta kokalekua. D tarteko neurketak eta behaketak ezin izan dira zehatzak izan fазie hauek geratzen diren altueragatik, horregatik trama adierazi gabe utzi da zutabe stratigrafikoa.

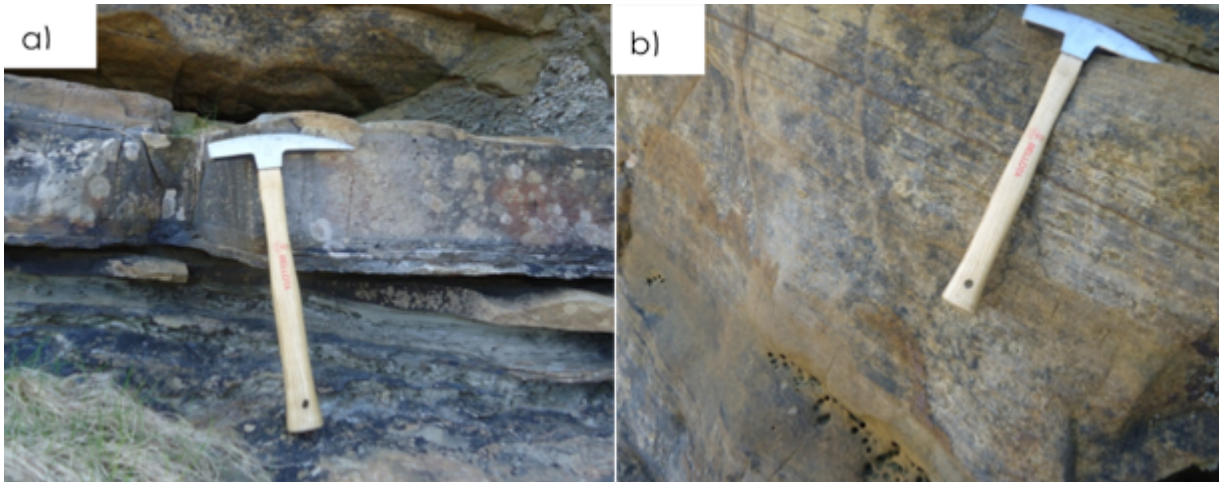
A: 4,5 metroko sekuentzia da, bertan **hareharriak dira nagusi**. Tarte honetako segida honakoa da:

- Hareharrizko geruza tabularra, 75 cm-ko potentzia duena. Geruzak xafladura paraleloa erakusten du eta maila berean zentimetro tamainako albeoak erakusten ditu (22a. Irudia).
- Honi jarraituz, 1,6 m-ko potentzia duen eta oin irregularra erakusten duen hareharrizko geruza tabularra dago. Oin irregularraren artean, basazko klastoak agertzen dira. Geruzaren oinean xafladura paraleloa ikusi daiteke, ondoren masiboa eta gainan xafladura gurutzatua. Albeoak agertzek dira eta hauek 2-5 cm-ko tamaina dute batazbeste (22bc. Irudia). Geruzaren gainan iknofosilak agertzen dira. Arroka honen azterketa petrografikoan ikus daitekenez, pikorrez eutsia da hauek nagusiki kuartzo kristalbakarrekoak izanik eta karbonatodun intraklastoen inguruan kaltzitak kuartzoa ordezkatzeko du (ikus JA-3 eranskina).
- Gainean, 18 cm-ko potentzia duen hareharri eta tupen arteko txandakapena agertzen da, azken hauek nagusiak izanik. Tupak kolore gris-berdea erakusten dute. Hareharrizko geruzek rippleak erakusten dituzte, gontzek 4 cm-ko tamaina hartzen dute hara
- nek 2 cm-koa (23a. Irudia).
- Ondoren, hareharrizko geruza taulakara, 19 cm-ko potentzia duena. Geruzaren oinean, 4 cm osatuz, xafladura paraleloa erakusten du, ondoren hareharria masiboa da eta gainean berriz paraleloa. Xaflatuta agertzen den hareharrian zementazio galera atzeman daiteke, pikorrak askatzen baitira. Hareharrizko geruzaren gainean gris-berde koloreko tupa agertzen da 6 cm-ko potentziarekin.



22. irudia: A ataleko arrokek. a) A tarteaz azaltzen den xafladura paraleloa erakusten duen hareharrizko geruza taulakara. b) 1,60 m-ko hareharrizko geruza taulakara. Bertan xafladura paraleloa ikus daiteke, baita albeolo zentimetrokoak ere. c) b irudiko albeoak detaile handiagoan.

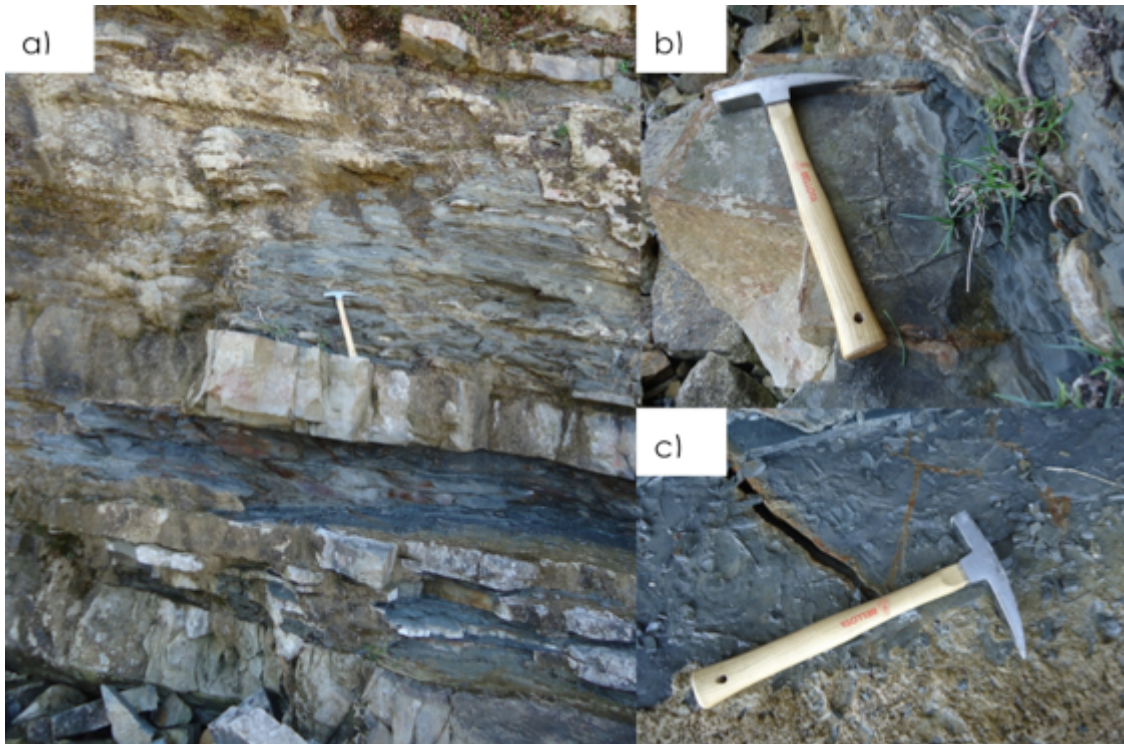
- Azkenik, oin irregularra duen 1,92 m-ko mika askodun hareharri geruza taulakara. Xafladura paraleloa erakusteaz gain, zulo zentimetrokoak ditu (23b. Irudia). Petrologikoki hareharri hau ia ez dago zementatuta, tarteka kuartzozko zementazio puntuala agertzen da soilik eta horren ondorioz askatzen dira pikorrak (ikusi JA-4 Eranskina).



23. irudia: A ataleko arroakak. a) Potentzia handiko hareharrien artean agertzen den tupa hareharri txandakapena. Bertan ikus daiteke tupak kolore berdexka duela siliziklastozko pasadaren batekin ondoren 20 bat cm-ko hareharria agertzen da. b) Xafladura paraleloa erakusten duen 1,92 m-ko hareharrizko geruza taulakara. Geruzaren baitan, maila berean, zentimetrokoak diren zuloak agertzen dira.

B: Tupa nagusi den tartea da hau, hareharrizko geruzak agertzen direna arren, hauek beste tartetean baino meheagoak dira (24a. Irudia). Tarte honen deskribapen zehatza honako hau da:

- 38 cm-ko potentzia duen tupazko geruza. Honen gainean, ubide forma duen hareharrizko geruza masiboa agertzen da, 44 cm-ko potentzia duena.
- Segidan, 12 cm-ko tupa gris – berdea gorputza dago. Gainan iknofosilak ikus daitezke (24c. Irudia).
- Geruza honen gainean, ubidezko forma duen 63 cm-ko potentzia duen hareharri masiboa dago. Petrologiari dagokionez, sublitharenita da, bioklastoak agertzen dira, foraminifero bentonikoak hain zuzen ere. Arroka honek kaltzita du, birkristaltze/ordezkatze prozesuen ondorioz garatua eta kaltzita hori tramako kuartzoa ordezkatzen azaltzen da. Arroka geruza honen gainean iknofosilak agertzen dira (24b. Irudia).
- Ondoren, 40 cm-ko potentzia duen hareharri eta tupa txandakapena. Hareharriak 10 bat cm-ko geruzak osatzen dituzte eta ubide forma erakusten dute. Azterketa petrografikoaren bitartez ikusi da arroak kaltzita duela birkristaltze/ordezkatze prozesuen ondorioz garatutakoa.
- Gero, tupa geruzatu gris berdeak dira nagusi, hala ere, hareharrizko pasadaren bat agertzen da. Pakete honek 38 cm-ko potentzia erakusten du. Iknofosilak agertzen dira tupa geruzaren gainean.



24. irudia: B tarteko arrokak. a) Lutita eta hareharrien arteko txandakapena. b) Karbonatozko zementazioa duen hareharriaren gainan lorratz markak. c) Lutiten gainan agertzen diren iknofosilak.

- Ostean, 36 cm-ko potentzia duen hareharrizko geruza. Hau lateralki mehetu egiten da gero berriz loditzeko, beraz, elkarren artean lotutako ubideak dirudite.
- Jarraian, hareharri eta tupa txandakapena, paketeak 1,82 m-ko potentzia du. Txandakapenaren oinean tupak agertzen dira, 80 cm-ko potentziarekin. Tupa honen azterketa petrografikoan *mudstone* dala determinatu da (ikusi JA-7 Eranskina) eta X lzipien Difrakzioaren analisi semikuantitatiboaren bitartez kaltzita %17 dela ondorioztatu da. Honen gainean 2 cm-ko potentzia duen hareharrizko geruza bat agertzen da, rippleak dira. Gero, berriz tupa agertzen da 50 cm-ko segida bat osatuz, baita rippleak osatzen dituen 4 cm-ko hareharrizko geruza ere. Ondoren 15 cm-ko tupa geruza, bertan milimetro tamainako hareatsuagoak diren pasada batzuk ikus daitezke. Honen gainean 15 cm-ko hareharrizko geruza dago, ez da guztiz taulakara mehetu eta potoldu egiten baita, morfologia uhinkorra erakusten du, lausoa, ubide forma izan daiteke (25. irudia). Tupa eta hareharrizko txandakapena jarraituz, 7 cm-ko tupa geruzaren ondoren 2 cm-ko hareharrizko geruza agertzen da, ripple egiturarekin. Ostean, 13 cm-ko tupa eta segidan 5 cm-ko ubide forma duen hareharrizko geruza. Geruza honen azterketa petrologikoan ikus daiteke kaltzitazko esparita duela arroka osoan zehar eta tarteka bioklastoak agertzen direla (ikusi JA-8 Eranskina). Paketea bukatzeko 3 cm-ko tupa dago. Txandakapenean gradazio negatiboa ikus daiteke; izan ere, hareharrizko geruzak gero eta ugariagoak dira tupazko paketeen artean.

- Hareharrizko geruza tabularra, 85 cm-ko potentziaduna da aurreko arrokei jarraitzen diena. Hareharri hori masiboa da. Geruzaren beheko aldean iknofosilak ikus daitezke.
- Bukatzeko, 33 cm-ko potentzia duen tupazko geruza.

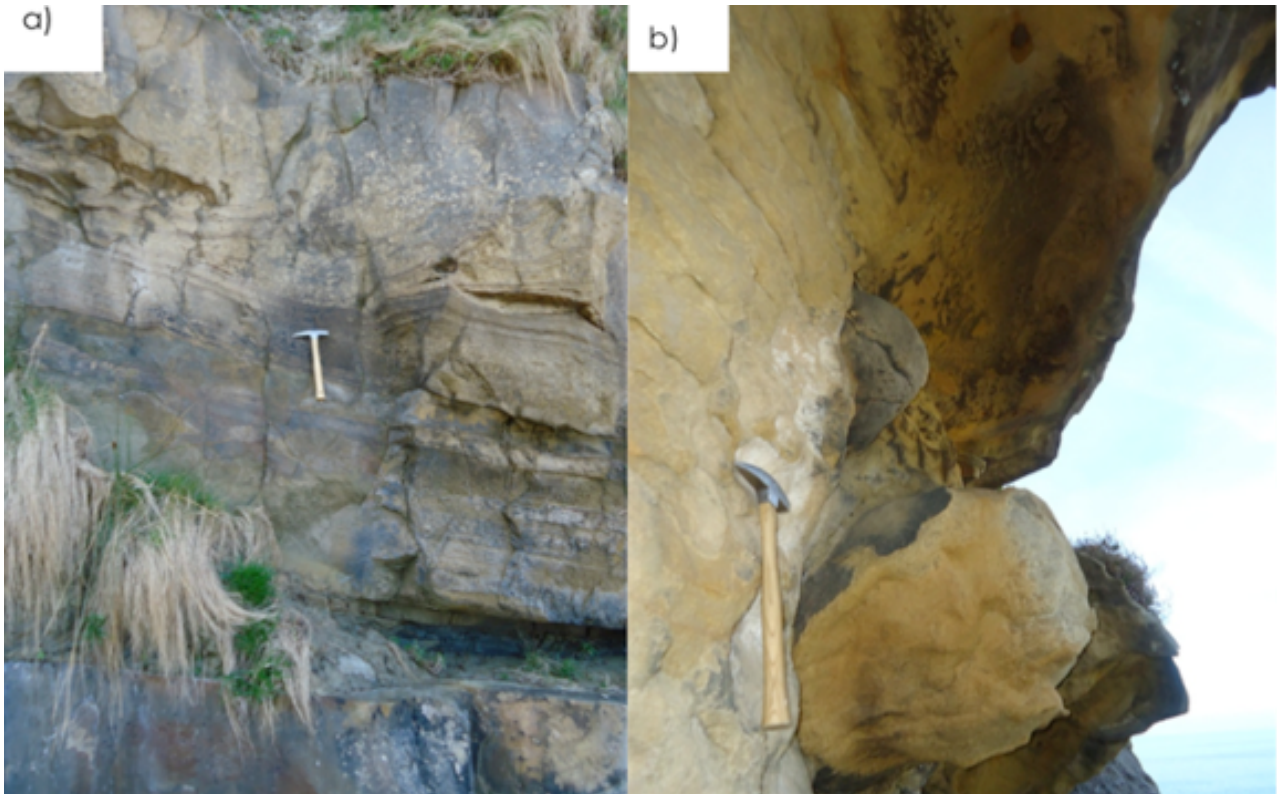


25. irudia: Ubide lateralean mehetu eta loditzen diren hareharri geruzak. Hauek ubide formak erakusten dituzte tupen artean.

C: 2, 48 m-ko **hareharrizko geruza**, geruza bakar honek tarte bat osatzen du. Oina leuna duen ubide forma erakusten du. Ubidean bertan xafladura paraleloa eta masiboaren arteko txandakapen bat ikusten da oinean. Honetaz gain, geruzaren goiko aldean konboluta xafladura ikus daiteke (26a. Irudia). Petrologiari dagokionez, subarkosa moduan sailkatu daiteke eta arrokaaren ehundura pikorrez eutsia da, ez du zementazio nabarmenik (ikusi JA-9 Eranskina).

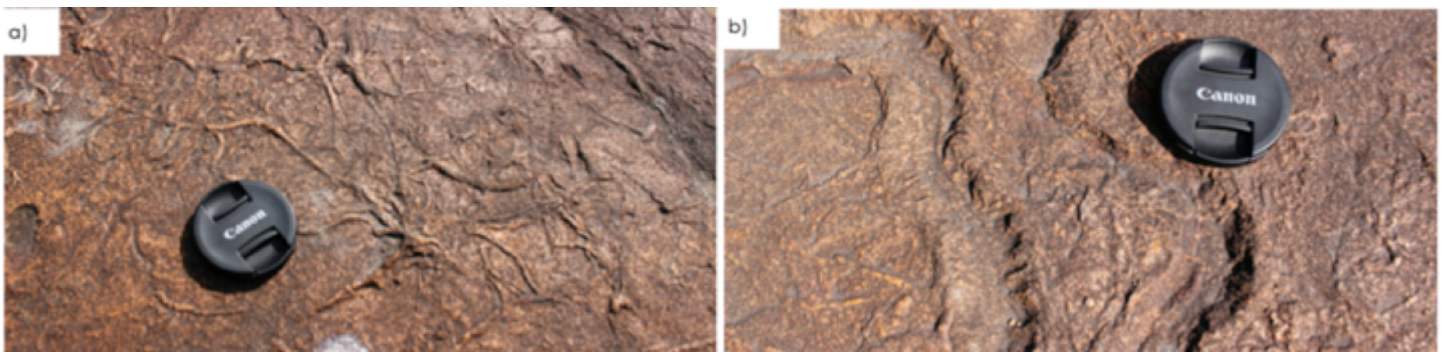
D: Tupa eta hareharrien arteko txandakapen homoginoa. Hauek 7,5 m-ko potentzia osatzen dute. Hareharriak nagusiak dira. Hauek geruza tabularrak osatzen dituzte eta oinean lorratz markak daude. Hauetako geruza batzuk xafladura paraleloa erakusten dute eta besteek ez.

E: Geruza bakar batez osatutako tarte da, nahiko solte agertzen den **hareharriez** osatua. 6,7 m-ko potentzia du eta ubide forma erakusten du. Hareharria modu masiboan agertzen da osotasunean, agian deszementazio prozesuek hareagotua,, beheko partean xafladura paraleloa erakusten duelarik. Geruzaren baitan zuloak eta noduluak ditu. Azken hauek 0,5 m-koak dira nagusi, nahiz eta txikiak 10 cm-koak diren (26b. Irudia). Petrologiari dagokionez, kaltzita duen kuartzoarenita da; kaltzitazko esparita birkristaltze/ordezkapen prozesuen ondorioz garatutakoa da eta tarteka bioklastoak agertzen dira (ikusi JA-11 Eranskina). Azterketa petrologikorako hartutako lagina tupetik gertu zegoen.



26. irudia: a) C tarteko 2, 48 m-ko hareharri geruza, ubide forma duena. Bertan konboluta xafladura ikus daiteke. b) E tarteko 6,70 m-ko hareharritzko ubide formako geruza. Bertan zuloak eta noduluak agertzen dira, azken hauek 0,5 m-ko tamainara iristen direlarik.

Segida osoan zehar agertzen diren iknofosilak *Scolicia*, *Granularia* eta desberdinu ezin izan den *Helminthoidea* edo *Cosmoraphe* dira (X. Murelagaren hitzetan) (27. irudia).



27. irudia: Traza fosilak aztertutako segida estratigrafikoan. Hauek geruzen gainan eta oinean agertzen dira. a) *Helminthoidea* edo *Cosmoraphe*. b) *Scolicia*. Aurreko bi irudietan agertzen diren tutu sinpleak, marka berezirik egiten ez dutenak, *Granularia* dira (X. Murelagaren hitzetan).

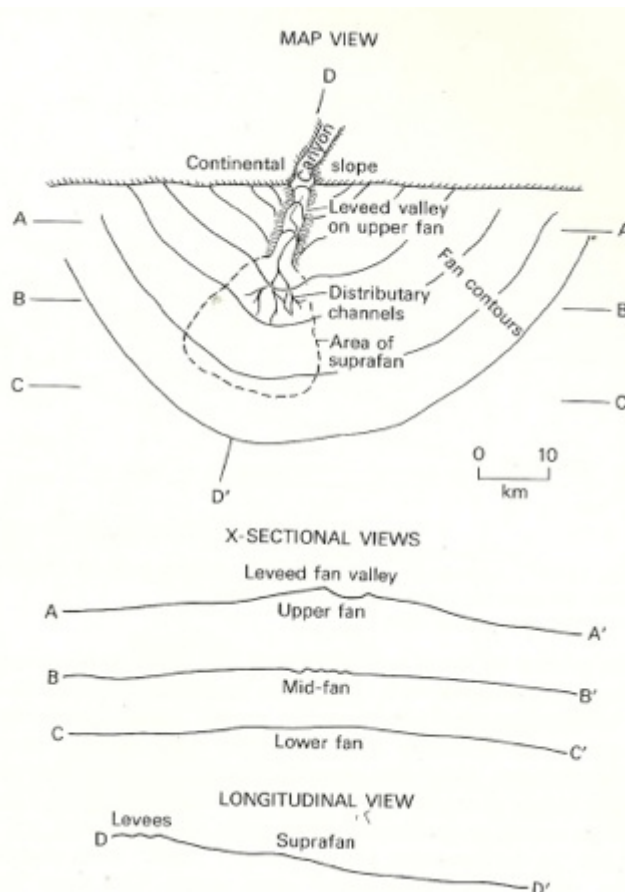
• Interpretazio Sedimentologikoa:

Kontuan izan behar da, Gradu Amaierako Lan honen helburua ez dela inguru sedimentarioaren azterketa zehatza egitea, bertako arroek higrogeologiarekin izan dezaketen erlazioa finkatzea baino. Beraz, interpretazio xume honekin sedimentazio baldintzak ulertzea lortu nahi da, ondoren litologia ezberdinek diagenesian ze jokabide izan dezaketeen hobeto aurikusteko.

Abaniko turbidifikoak ondorengo atalak ditu zeharkako profil batean: (1) ubideak, (2) lobuluak, (3) lobuluetako kanal arteko guneak. Ubide eta kanala sinonimoak diren arren, lan honetan *kanal* terminoak lobuluetako kanal banatzaileei egiten die erreferentzia.

Ubideak sedimentuen garraiorako lehenengo hodiak dira, plataformatik, maldan zehar eta arroko hondooan zehar garatzen direnak. Higadurazkoak izaten dira normalean, hortaz, substratua erasotzen dute. Hauen betekinak ondo gradatuak izaten dira, eta sedimentazioa ematen da ubidea abandonatua izan denean. Lobuluei dagokionez, normalean, ahur morfologia duten metakinak izaten dira. Jeneralean, turbiditak izaten ditu, estratifikazio lentikularra eta eskala txikiko higadura azala (Posamentier & Walker, 2006).

Profil erradial batean ondorengo inguruneak bereiz daitezke: (1) goi-abanikoko ingurunea, (2) erdi-abanikoko ingurunea eta (3) behe-abanikoa (28. Irudia). Goi-abanikoan, ubideetako hareak izaten dira, garatu gabeko turbidita potoloak (Ta-e). Erdi-abanikoan eta behe-abanikoan kanaletako hareak ez dira hain potoloak eta garatutako turbiditak izaten dira T(abcde) edo T(bcde). Leveetan eta kanal artean lohizko turbidita meheak izaten dira T(cde) edo T(de) (18. Irudia) (Reading *et al.*, 1978).



28. irudia: Turbidita abaniko baten fisiografia, Ipar Amerikako itsas sakoneko abanikoetan oinarritutako ezaugarriak agertzen dira bertan (Reading *et al.*, 1978).

A: Ubideen betekinak dira nagusi tramo honetan, izan ere, geruzek oin irregularra erakusten dute, higaduraren adierazle. Honetaz gain, horietako geruzetako batek, higadurazko prozesuan zehar bereganatutako basa klastoak ditu oinean. Geruzek



potentzia metrikoa erakusten dute eta *Bouma* sekuentziako “hurbileko” turbiditaren ezaugarriak erakusten dituzte, Tab edo Tabc moduko fазieak erakutsiz. Ez dute ubide morfologia baina hau eskala kontua izan daiteke, tamaina handiko ubidea izanez gero, aztertutako azaloramenduan ez litzateke ikusiko. Ondorioz, **goi-abanikoko** ingurunean aurkituko ginateke.

B: Zutabearen zati honetan hareharrizko geruzak ez dute aurreko tramokoek bezainbesteko potentzia eta gainera, bertan buztinak dira nagusi. Hareharrizko geruza horiek eskala txikiagoko ahur morfologia erakusten dute. Kasu honetan “**ohiko**” eta “**urruneko**” turbiditen artean egongo lirateke. Beraz, **erdi-behe-abanikoko ingurunea** izango litzateke, lobuluak nagusi diren horretan.

C: Ubide bakar batek osatzen du zutabearen tarte hau. Hareharrizko geruza honek **ubide morfologia** eta oin higakorra erakusteaz gain, “hurbileko” turbiditen ezaugarri diren *Bouma* sekuentziako Tabc tarteak erakusten ditu. Beraz, **goi-abanikoko** ingurunea izango litzateke.

D: Tarte honetan B tartearen bezala, buztin proportzioa handiagoa da. *Bouma* sekuentziari dagokionez, ohiko eta urruneko turbiditen artean egongo lirateke. B tartearen ezaugarriekin duen parekotasunagatik **erdi-behe abanikoko ingurune**ko fазieak dira.

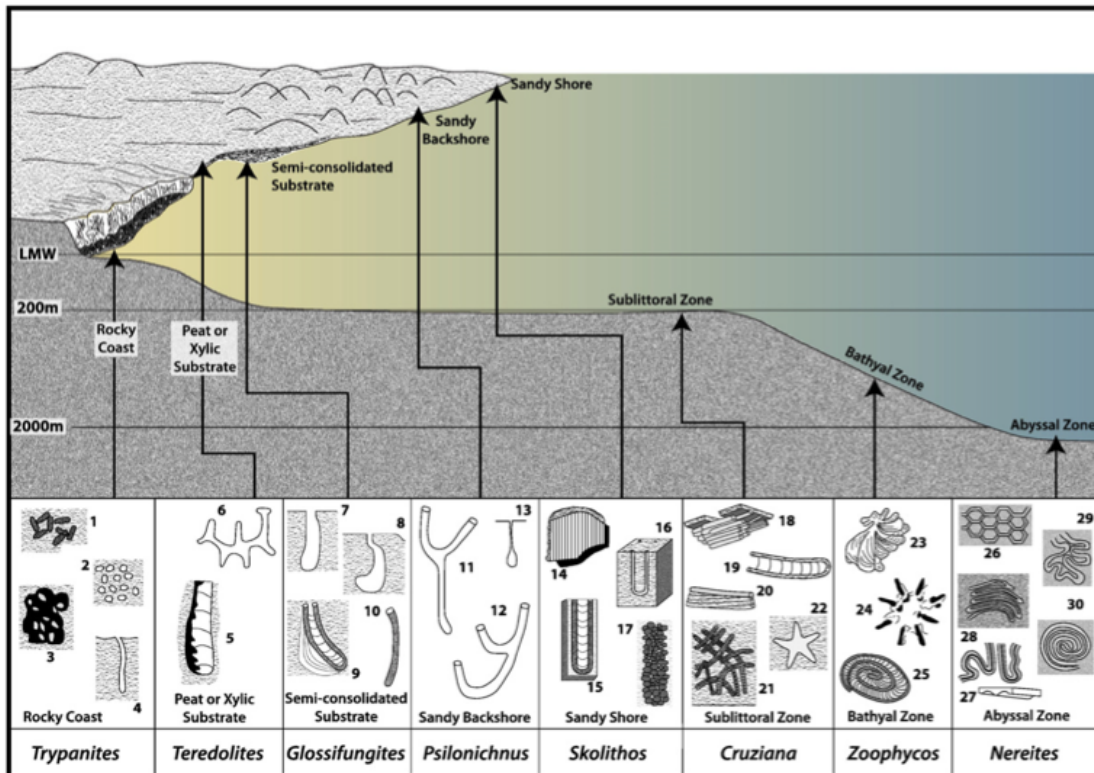
E: **Goi-abanikoko ingurunean** aurkituko ginateke, izan ere, geruza honek **ubide forma** erakusteaz gain, oin higakorra erakusten du. Gainera, potentzia handiko geruza da eta *Bouma* sekuentziako Tab tarteak agertzen dira bete baitan, beraz hurbileko fазieak dira.

Aztertutako ubideetako turbiditek goi-abanikoko ubideak izan arren, ez dituzte Ta-e ezaugarriak erakusten. Ezaugarri horiek ez erakustea turbidita horiek goi-abanikoaren hasieran aurkitzen ez zirelako izan daiteke, indar gutxiago zuten ingurune batean baizik, baina ubidean oraindik. Honetaz gain, segidan ez da pikor gradaziorik ikusten, hori arroka amaren arabera ere izan daiteke, ama-arrokan ez badaude pikor tamaina ezberdinak, ondoren ezin dira turbiditetan egon.

Interpretazio honen ondorioz, ikusi daiteke iknofosilak lobuluetan agertzen direla. Hauek *Cruziana* (*Granularia*) eta *Nereites* (*Helminthoidea*, *Cosmoraphe*, *Scolicia*) iknofazieen parte dira (27. irudia). **Cruziana iknofazia** energia baxuko inguruan eta solte dagoen eta hautespen gutxi duen hare – lohi substratuetan agertzen dira estuarioen gunen submarealetan, badietan, lagoonetan eta marea ordokietan, baita olatuen eraginpearen kanpo geratzen den plataforma kontinentaletan eta ezpondetan ager daitezke (Dabrio & Hernando, 2003). **Nereites iknofazia**, aldiz, gunen batipelagikoko eta abisaleko ur lasaiak, ilunak eta gutxi oxigenatuak, tarteka hondoko edo uhertasun korronteak ager daitezke oxigeno kopurua gehituz (Dabrio & Hernando, 2003).

Iknofosilak inguruaren kokalekua eta baldintzen adierazle izaten dira. Inguru honetan agertzen direnek 200-2000 metro arteko sakoneran kokatzen dute EKAre sakonera Eozenoan (28. irudia). Sakonera hori gehiago zehaztu ahal da foraminifero plantoniko/bentiko (p/b) erlazioa aztertuz. Sakonera kalkulua bi

irizpidetan oinarritzen da: (1) gaur egungo itsasoaren arabera erlazio horien aldaketak; eta (2) Eozeno garairako mundu mailan egin diren erlazioaren emaitzak. Datu hauetatik formula matematiko batzuk ateratzen dira itsasoaren sakonera (metrotan) eta p/b balioa zuzenki erlazionatzen dituztenak (ikus Payros *et al.*, 2006). Modu horretan zehaztu dute Eozeno garaian EKA 1500 metrotako sakoneran aurkitzen zela.



29. irudia: Fazieak, inguruneak eta iknofosil mota bakoitza energiarekin, sakonerarekin eta substratuarekin erlazionatzen dituen diagrama (Murray *et al.*, 2011).

Zutabearen interpretaziotik eta azterketa petrografikotik ondorio batzuk atera dira:

- Karbonato gabeko hareharriak ubideetan direla nagusi.
- Karbonatoa duten hareharriak lobuluetako fazieak dira.

Lobuluetako hareharrien kaltzita, hareharrian bertan leudekeen karbonatozko buztinen birkristaltzeaz sortutakoa izateaz gain, txandakatuta dauden tupengatik trinkaduran zehar askatutako karbonatoa izan daiteke. Trinkadurako prozesuan, tupetako jariakinak askatu eta kaltzita mineral autigenikoaren sorrerako prozesua elikatuko lukete. Trinkotze prozesua aurrera doan heinean tupek prosositatea galtzen dute, baina hareharriek oraindik hutsuneak dituztenez eta jariakinak presio txikiagoetara migratzeko joera dutenez, hareharrietara joaten dira.



Ubideetan hau ez da gertatzen ubidearen betekina den hareharri geruzaren potentzia oso handia baita eta gertuen duen tupaetik askatutako jariakina ez da nahikoa arrokan ordezkapen prozesua garatzeko.

5.2.3. Zundaketa

Martitxene-Susurko arroan agertzen den zundaketa JE-6 den arren, bertan zulatutako sedimentuak, altxatutako zutabekoekin alderatuz, segidan azpirago aurkitzen dira (errekaxtoko bailararen ekialderantz) eta itsas-labarrean ez da erraz iristen hauetara. Horren ondorioz, JE-7 izan da aztertutako zundaketa (30. Irudia, ikusi 1. Mapa Eranskina). Nahiz eta zulaketa hau aztertutako arrotik at geratu, zulaketak zeharkatzen duen segida aztertutako segida estratigrafikoaren baliokidea da.

EVEko informean adierazten den deskribapenean (EVE, 1999), zundaketan pikor tamaina fin-ertaineko hareharriak agertzen dira banku zentimetro-metrikotan. Ez dute karbonatozko zementurik eta xafladura paraleloa erakusten dute. Tarteka kolore berdexka duten argilita zentimetro-dezimetrokoen pasadak agertzen dira (EVE, 1999).

Zundaketako deskribapen litologikoa ondorengoa da (EVE, 1999) (29. irudia):

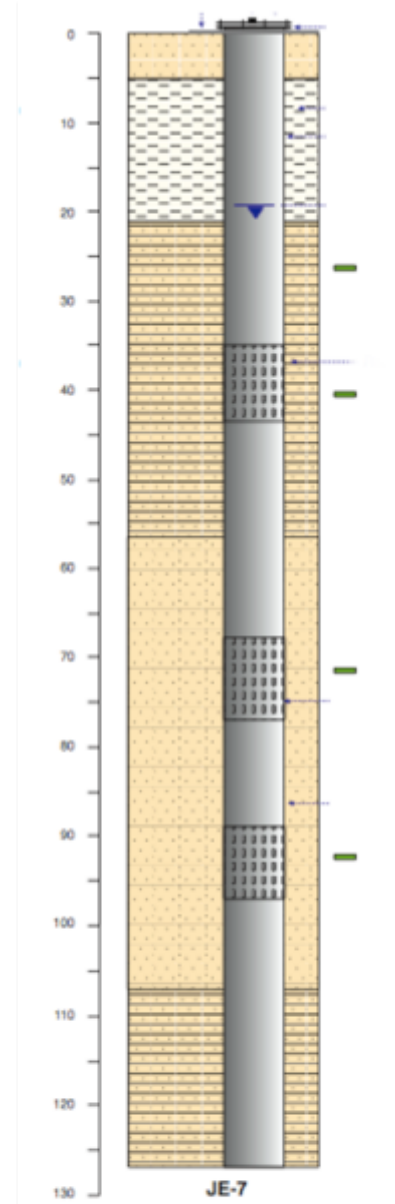
0-5 m: Erabat solte dauden pikor fineko hareharriak. Tarteka argilita milimetriko-zentimetrokoak agertzen dira.

5-7 m: Argilitak nagusi diren arren, oso ohikoak dira pikor tamaina txikiko hareharriak, erabat solte aurkitzen direnak.

7-21 m: Pikor fin-oso fin tamainako hareharri horixkak, normalean erabat solte. Kolore berdexka duten argiliten tartekak ohikoak dira 7-11 metroen artean.

21-24 m: Gutxi trinkotutako hareharri karbonatatodunak. Hauek erakusten duten pikor tamaina finetik oso finera doa. Tarteka, kolore gris-beltza duten lutita karbonatatodunak agertzen dira.

24-45 m: Pikor tamaina aldakorra duten hareharri horixka solteak: 24tik 31 metrotara fin-oso finak, 43tik 45 metrotara, aldiz, pikor tamaina larria. Noizean behin kolore berdexka duten argilitak agertzen dira, batez ere 37 m arte. 41 metrotik aurrera pikor tamaina ertaineko hareharriak agertzen dira, hauek erakusten duten trinkotasuna handiagoa da.



| Jaizkibel Formazioa | Deskribapena |
|---------------------|-------------------------|
| (6) | Lutitak eta hareharriak |
| | Hareharriak eta tupak |
| | Hareharriak eta lutitak |
| (7) | Hareharriak |
| | Hareak |

30. irudia: JE-7 zundaketa. Bertan agertutako litologiaren eskema sinplifikatua agertzen da. (EVE, 1999)-tik eraldatua.



45-53 m: Kolore grisa edo zurixka erakusten duten pikor tamaina txikiko erlatiboki trinkotutako hareharri karbonatodunak. Hauetaz gain, ohikoak dira zementu karbonatua ez duten hareharri trinkotuak eta lutita kalkareo gris ilun-beltzen agerpen sakabanatuak.

53-57 m: Trinkotuta dauden pikor fineko hareharri kalkareo grisen eta zementu gabeko eta nahiko solte agertzen diren pikor fin-ertainen hareharri horixken arteko txandakapena. Tarteka, lutita kalkareo gris ilun-beltzak agertzen dira.

57-107 m: Normalean solte agertzen diren pikor tamaina ertain-larria duten hareharriak. Ohikoa da hareharri kalkareo grisak agertzea 55tik 67ra, 75tik 77ra eta 87tik 91 metrotara, gainerako tarteeetan ez dira agertzen edo oso urriak dira. Nohizbehinka trinkotutako hareharri gorrixkak agertzen dira, karbonatozko zementu gabeak. Batzutan, kolore berdexka duten argilitak agertzen dira. Honetaz gain, lutita kalkareoak agertzen dira noizean behin, batez ere hareharri kalkareo grisetako nibeletan.

107-127 m: Pikor tamaina txikiko hareharri kalkareo gris ilun trinkotuak dira nagusi, tarteka hareharri gorrixkak agertzen dira. Noizbehinka kolore berdexka duten argilitak eta lutita kalkareo gris ilunen agerpena.

- Interpretazio Sedimentologikoa:

Zundaketako litologia datuetatik interpretazio sedimentologikoa eta ingurune sedimentarioa zein den egitea zaila da. Horren ondorioz, zundaketan zehar ematen diren deskribapenak, aztertuko azaleramenduan dauden arrokekin duten parekotasunari helduz egin da interpretazioa. Zutabearen interpretaziotik eta azterketa petrografikoaren bitartez ikusi ahal izan da ubideetako betekinak kaltzita gabe agertzen direla, izan ere, nahiz eta trinkadura prozesuan tupetatik jariakinak askatu, ubideko betekinen potentzia handiegia da arrokan birkristaltze/ordezkatze prozesuak emateko. Beraz, interpretazioa egiteko kontuan izan diren datuak ondorengoak izan dira:

- Karbonato gabeko hareharriek ubide betekinekin bat egiten dute.
- Lobuluetan karbonatoa duten hareharriak buztinekin txandakatuta garatuko lirateke.

0-5 m: Erabat solte dauden pikor fineko hareharriak nagusi direnez, ubidea izango litzateke, goi-abanikoko ingurunea hain zuzen ere.

5-7 m: Buztintsuak diren fazieak nagusi direla esaten duenez, lobuluan aurkituko ginbateke, erdi-abaniko ingurunean lobuluetako kanalen artean edo behe-abanikoan.

7-21 m: Erabat solte agertzen diren hareharriak dira ugarienak tarte honetan. Kasu honetan solte egoteak birkristaltze/ordezkapen prozesuen falta adierazten duenez, ubidea izango litzateke, goi-abanikoko ingurunea.



21-24 m: Tarte honetan gutxi trinkotutako hareharri karbonatodunak eta batzuetan lutita karbonatodunak agertzen dira. Beraz, erdi-abanikoko inguruneke lobuluak izango lirateke.

24-45 m: Orokorrean, pikor tamaina aldakorra duten hareharri solteak agertzen direnez, goi-abanikoko ingurunea izango litzateke, ubideen betekinak hain zuzen ere.

45-53 m: Pikor tamaina txikiko hareharri karbonatodunak nagusi dira tarte honetan. Ondorioz, lobuluan egongo ginateke, erdi-abanikoko ingurunean, izan ere, geruza hauek karbonatodunak izateko inguruko tupetatik askatutako jariakinak behar baitira.

53-57 m: Trinkotuta dauden pikor fineko hareharri kalkareo grisen nahiko solte agertzen diren pikor fin-ertainen hareharri horixken arteko txandakapena nagusitzen da tarte honetan. Honek adierazten du tarte honetan hareharri kalkareoetako guneak lobuluak direla eta solte agertzen diren hareharriak ubideak. Turbiditeko hareharriak kanaletan eta progradatzaileak diren lobuluetan agertzen dira, hauen alderanzko migrazioak gradualak edo abulsioaren bitartez katastrofikoak izan daitezke, modu honetan sistema-banatzailea abandonatu egiten da eta beste berri bat sortu (Reading *et al.*, 1978). Prozesu honen bitartez, segida bertikal berean lobuluak eta kanalak aurki ditzazkegu, kasu honen antzera.

57-107 m: Tramo honetan, ohikoenak solte agertzen diren hareharriak dira. Hortaz, ubidearen betekinak izango lirateke. Tarte batzuetan hareharri kalkareoak agertzen dira eta batez ere hauekin batera lutita kalkareoak, beraz, lobuluak izango lirateke.

107-127 m: Trinkotutako hareharri kalkareoak nagusi direnez, lobuluetan aurkituko ginateke.

3.1.1. Ingurune sedimentario ezberdinetako laginen azterketa petrografikoa

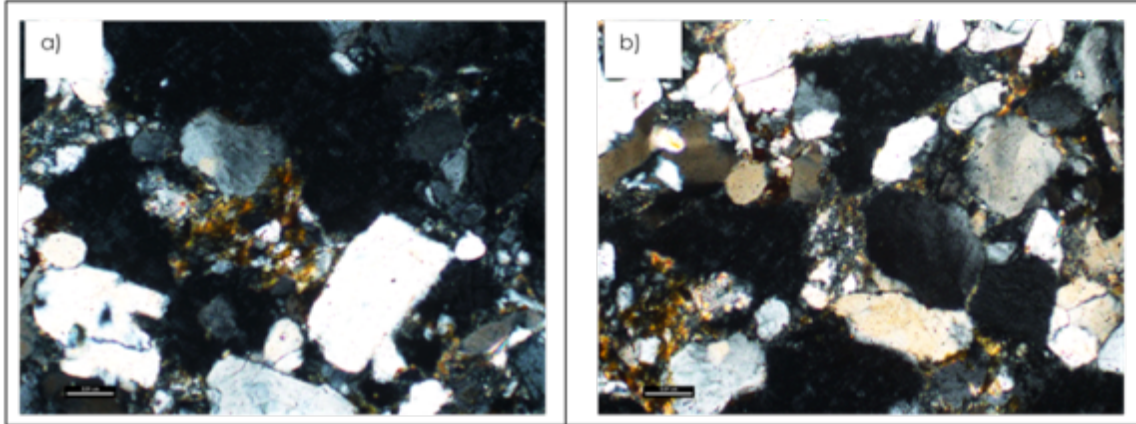
Atal honetan, ingurune sedimentario bakoitzari dagokion fazieari buruzko azterketa petrografikoa egin da. Horrela, gune bakoitzaren ezaugarriak zeintzuk diren jakin ahal izateko. Mikrosopiopean tupek ez dutenez informazio gehiegirik eman, azterketa petrologikoa hareharri ezberdinetan oinarritu da batik bat.

- **Ubidea:** Subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973), Protokuartzia (Selley, 1977) (ikusi JA-9 Eranskina).

Pikor tamaina ertaina duen hareharri da. Pikorrek, orokorrean, 0.8-0.05 mm arteko tamaina erakusten dute, nahiz eta batzuk 1.5 mm izatera iritsi hauek salbuespena dira, ohikoena 0.4 mm izatea baita.

Ondorioz, hautespena poorly sorted da eta erakusten duten esferikotasuna *subrounded* motakoa. Orokorrean, trama pikorrez eutsia da, nahiz eta tarteka

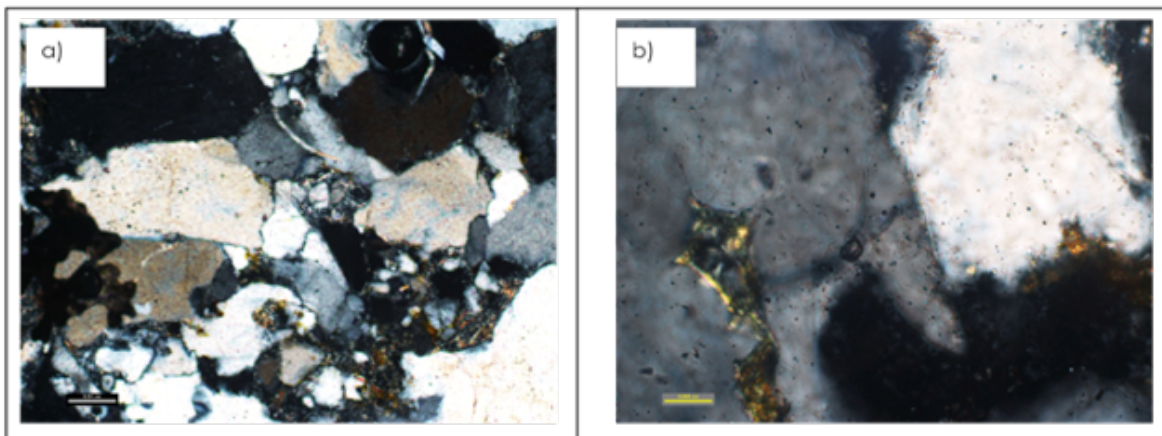
buztin mineralak agertu (31a. Irudia). Trama kuartzoz eta feldepatu potasikoz dago osatuta batik bat. Hala ere, moskovita, glaukonita eta opaloa ere agertzen dira (31b. Irudia).



31. Irudia: A) Trama pikorrez autsia den arren, tarteka buztin mineralak agertzen dira. b) %1 baino gutxiagoko ugaritasuna duen opaloa.

Kuartzoak tramaren %75 osatzen du, horietako %80 monokristalinoak dira, ondorioz, gelditzen den %20 polikristalinoak. Monokristalino horietatik gehienek heredatutako uhin-itzaltzea erakusten dute eta polikristalinoetatik bi baino gehiagoz osatuta egotea da ohikoena. Feldepatu potasikoa da hurrengo mineralik ugariena eta tramaren %25 da. Moskovita, glaukonita eta opaloa oso urriak dira, ez dira tramaren %1 izatera iristen. Osaera honetatik habiatuz, emari siliziklastiko hauen ama-arroka nagusia, gradu baxuko arroka metamorfikoa izan daiteke.

Jasandako trinkaduraren arrastoak ikus daitezke kontaktu puntual, luzeetarako eta hirukoitzen bitartez (32a. Irudia). Hauek buztin proportzioa txikiagoa den lekuetan nabariagoa dira. Zementazioa, matriz buztintsua agertzen ez den lekuetan agertzen da. Kuartzozko zementazioa da, matrize gutxiko arroketan (<%5, Dutton and Diggs, 1990) ohikoa dena. Sintaxialki agertzen da, *circungranular* motakoa, baina ez da pikorraren inguru osoan garatzen (32b. Irudia).



32. irudia: Jasandako trinkaduraren arrastoak dira xafan zehar agertzen diren kontaktu hirukoitzak. b) Kuartzozko zementazio sintaxiala, pikorraren alderdi batean bi punta sortu dituen.

- **Lobuluko kanala:** Kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973). Ortokuartzita (Selley, 1977) (ikusi JA-8 Eranskina).

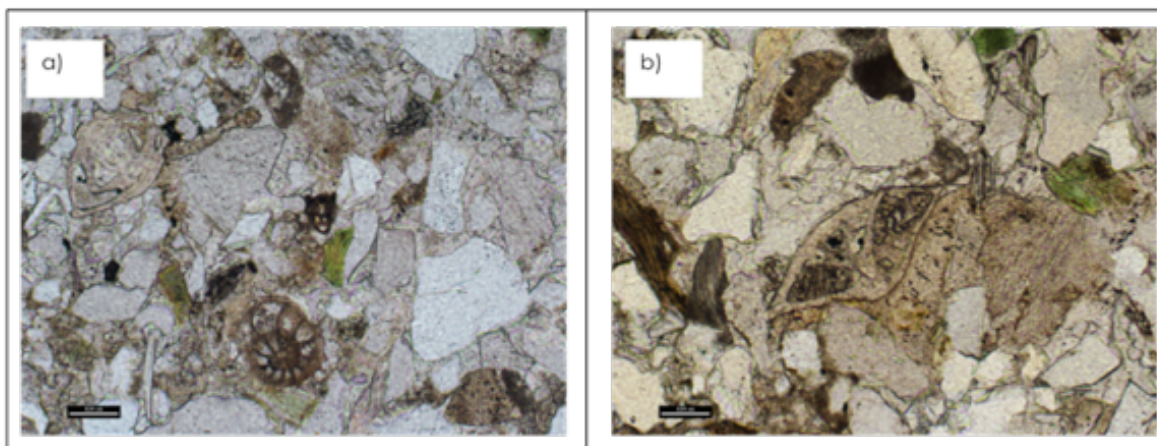
Hareharri honetako pikorrak 0.5 eta 0.05 mm arteko tamainak dituzte, ohikoenak 0.2 mm ingurukoak dira. Morfologiari dagokionez, *subrounded* esferikotasuna dute eta hautespena *moderately sorted*.

Trama kuartzoz, glaukonitaz, kloritaz, moskovitaz eta opakoz osatuta dago. Honetaz gain, bioklastoak eta intraklastoak ere agertzen dira.

Kuartzoak tramaren %92 osatzen du, horietako %90 monokristalinoak dira eta gehienek heredatutako uhin-itzaltzea erakusten dute. Geratzen den %10 polikristalinoak dira eta ugariak hiru baino gehiagoz osatutakoak dira. Osaera honetatik ondoriozta daitekeen arroka-ama nagusia gradu baxuko metamorfikoa izan daiteke.

Glaukonitako pikorren ertzak oso borobilduak azaltzen dira, *rounded* esferikotasuna erakusten dute eta tramaren %3 dira. Klorita urria da eta soilik tramaren %1 osatzen du. Hare urriagoak dira moskovitak, feldespato potasikoak eta opakook, izan ere, ez baitira tramaren %1 osatzera iristen.

Aipatutako mineralez gain, bioklastoak ere agertzen dira %2ko ugaritasunarekin (33. irudia). Klasto horiek foraminifero bentonikoak (*evolute coil*, nummuliteak, biseriatuak besteak beste), planktonikoak (globorotalidoak nagusi) eta alga gorriak dira besteak beste. Emari bioklastikoa, hein handi batetan, sakonera txikiko plataformatik garraiatutakoa da. Intraklastoak, aldiz, tramaren %3 dira, birkristaltzea jasan duten buztin karbonatodun zatiak dira (34b. irudia).

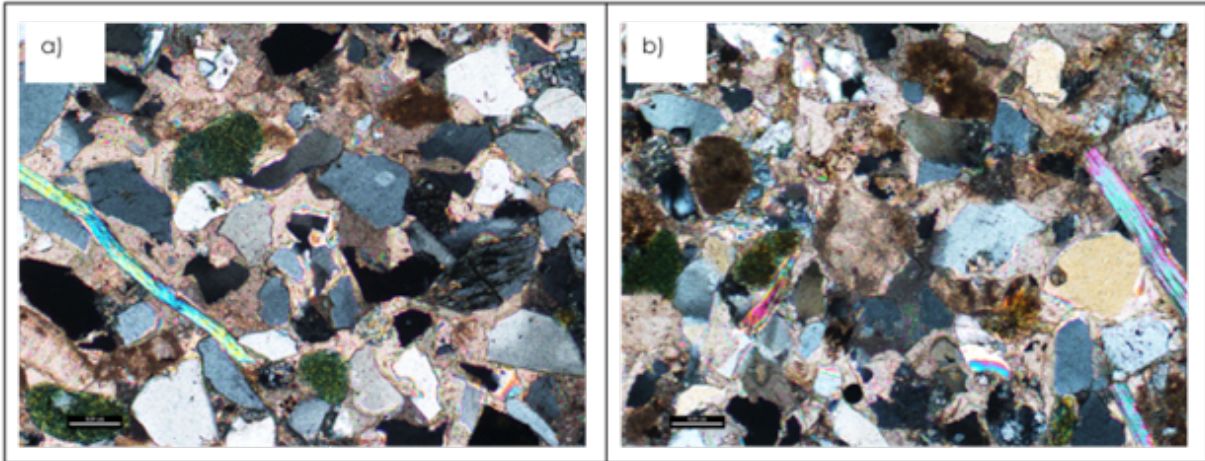


33. irudia: Xafan zehar agertzen diren bioklasto ezberdinak. a) Foraminifero bentonikoak: miliolidoak eta evolute coil. b) Foraminifero bentonikoa.

Beraz, pikor tamaina ertaina duen ortokuartzita (Selley, 1977) edo kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973) bat da.

Pikorrak elkarren artean ikutzen daudenean, trinkaduraren arrastoak ikus daitezke kontaktu puntualen, luzeetarakoen eta hirukoitzen bitartez. Bestalde,

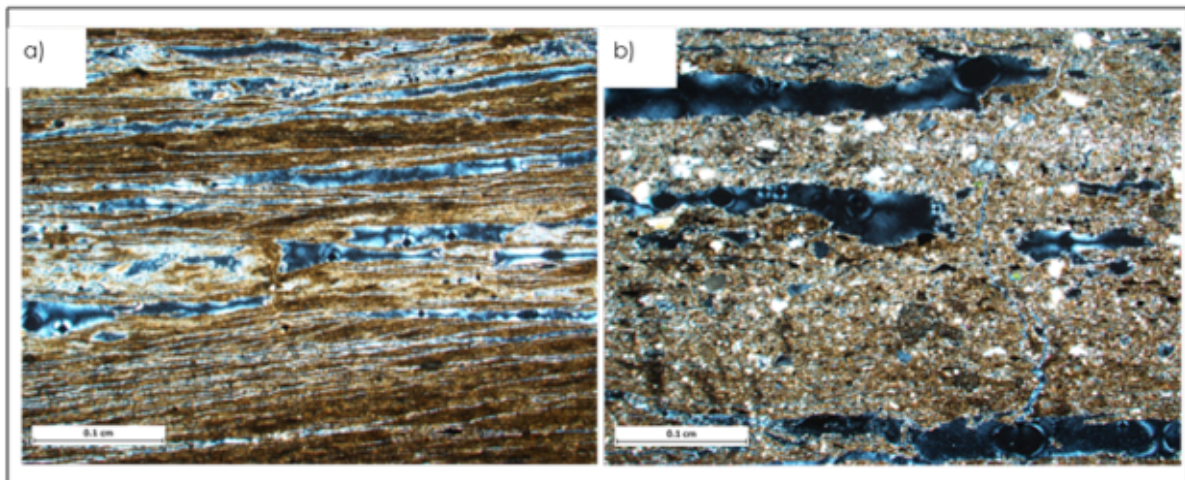
kaltzitazko kristalak agertzen dira kuartzozko pikorrak ordezkatzuz (34. Irudia). Kaltzitazko kristal hauek xenomorfoak dira eta modu poikilotopikoan agertzen dira. Ondorioz, arroak hasiera batean pikorrez eutsitako trama edukiko zuen arren, orain, ordezkapenaren ondorioz, tarteka pikorrak ez dira elkarren artean ikutzen.



34. irudia: a) Kaltzitazko kristal xenomorfoak modu poikilotopikoan xaflan zehar. b) Birkristaltze prozesua jasan duen karbonatozko intraklastoa.

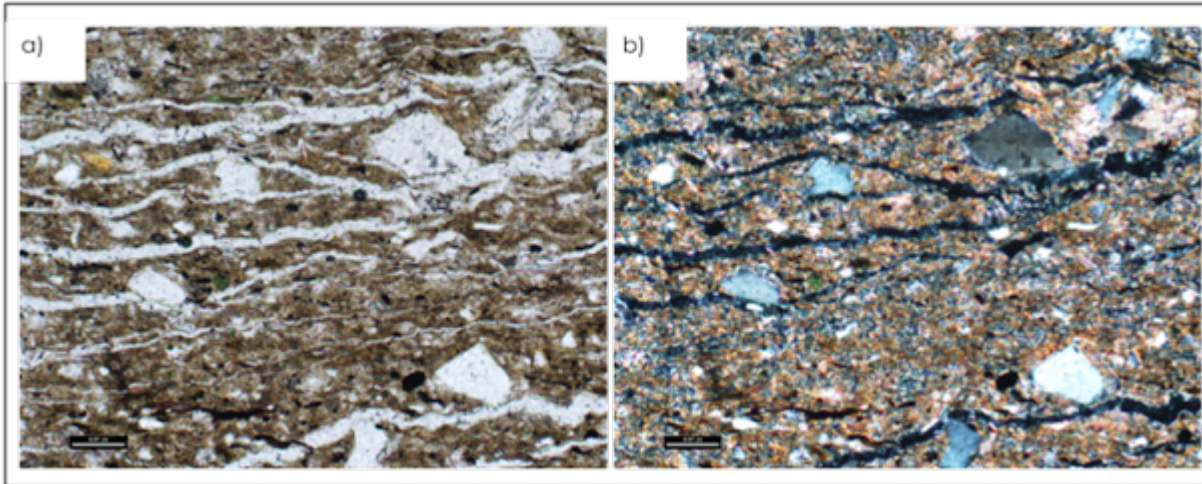
- Lobulu arteko tupa: Mudstone (Dunham, 1962), Wackestone (Wright, 1992) (ikusi JA-7 Eranskina).

Arroka, karbonato eta buztinez osatutako matrizez eutsia da, hain zuzen ere. Honen baitan mineralogia ezberdineko pikor gutxi batzuk aurki daitezke; gradazio positibo bat erakusten dute, pikor tamaina handiagotik txikiagora ordenatuta baitaude (35. Irudia). Karbonatozko matrizea nagusi denez, *mudstone* (Dunham, 1962) edo *wackestone* (Wright, 1992) baten aurrean aurkitzen gara.



35. irudia: Gradazio positiboa. a) Xaflaren goiko partean pikor tamaina txikiagoa dute mineralak. b) Xaflaren beheko aldean mineralak pikor tamaina handiagoa da.

Tramako pikorrak 0.2 -<0.01 mm artean aurkitzen dira, 0.08 mm-koak nagusi izanik. Mineralogiari dagokionez, kuartzoak, opakoak, feldespato potasikoak, glaukonitak, moskovitak, kloritak eta biotitak agertzen dira (36. Irudia). Hautespenari dagokionez, *poorly sorted* da eta esferikotasuna *angeluar* motatakoa.



36. irudia: Trama osatzen duten mineralak. a) Matricez eutsitako trama, batez ere kuartzoz osatuta, PPL. b) Matricez eutsitako trama, batez ere kuartzoz osatuta, XPL.

Kuartzoak, tramaren %90 osatzen dute, horietatik %90 monokristalinoak dira eta uhin itzaltzea erakusten dute, geratzen den beste %10 polikristalinoak dira. Opakoak dira hurrengo ugarienak tramaren %5 osatzen dute, feldespatoak %3 eta glaukonitak %2. Honetaz gain, kloritak, biotitak eta moskovitak ere agertzen dira, baina hauek ez dira %1 izatera iristen.

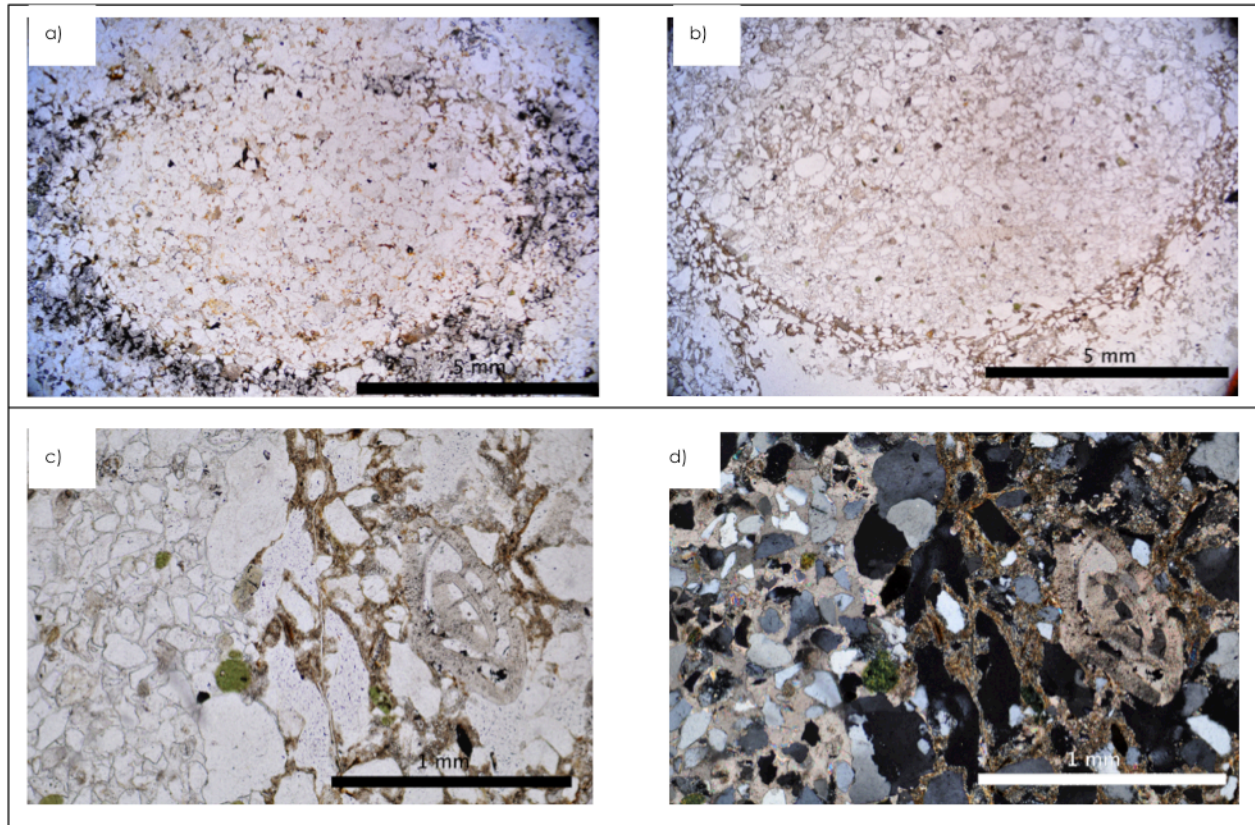
Tupak duen karbonato kantitateari buruzko ideia bat egiteko, arroka totalaren X Izpian Difrakzioa egin zaie (XID) eta kaltzita laginaren %17 dela determinatu da. Estimazio semikuantitatibo bat dela kontuan hartu behar da, beraz, balioa orientagarria besterik ez da.

5.2.4. Karbonatodun konkrezioen azterketa petrografikoa

Konkrezioak geruza hareatsuenetan agertzen dira, ubide betekinetan hain zuzen ere. Noduluaren eta arroka kaxaren (ubideko betekinaren) azterketa petrografikoa egin da, bien arteko ezberdintasunak zeintzuk diren nabarmentzeko. Emandako prozesu diagenetikoak ere desberdindu dira, jasandako historia diagenetikoa determinatzeko.

Nodulu hauek forma elipsoidalak erakusten dituzte 17x11 cm-ko dimentsiokoak. Aztertutako guztiek bioturbazio aztarnak dituzte. Makroskopikoki, bioturbazio tutua berde koloreko buztin proportzio handiagoa izateagatik desberdintzen da. Honek 2x1 cm hedadurako forma obalatua erakusten du, batz besteko 2 mm-ko lodierarekin. Tutuaren barneko aldeak eta kanpoko aldeak ezaugarri berdinak erakusten dituzte *visuz*: kolore marroi argia du eta trama batez

ere kuartzo angelutsuez osatuta dago. Tutuko trama berdina izan arren, buztin proportzioa handiagoa da. Mikroskopikoki aztertutakoak, tutuak 1,2 cm-ko tamaina du eta morfologia zirkularra erakusten du (37ab. Irudia). Pikor tamaina txikiagoak ikus daitezke bioturbazioaren inguruan (37cd. Irudia)



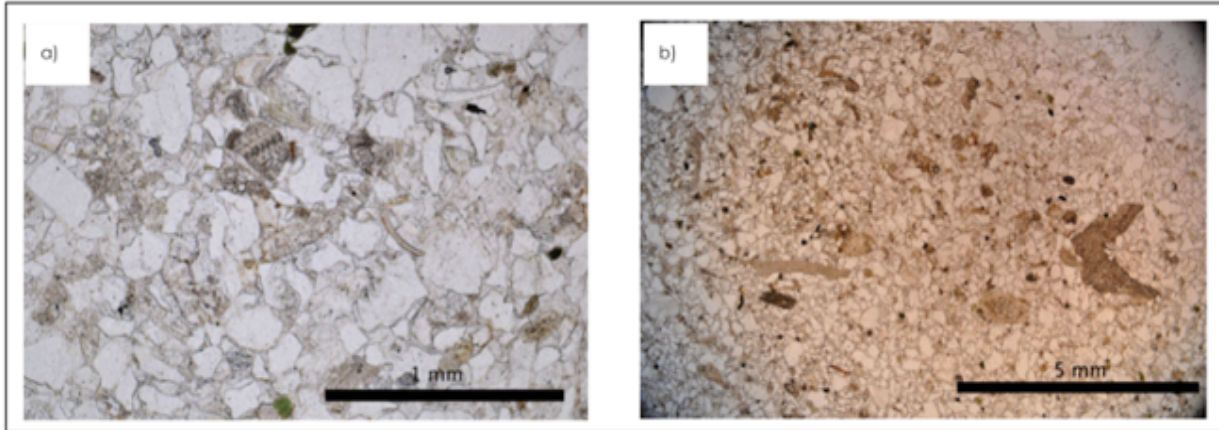
37. irudia: Bioturbazioaren irudiak, honen perimetroa buztin kantitate handiago baten bitartez nabaritzen da. a) Bioturbazioaren itxura arroka kaxan. b) Bioturbazioaren itxura noduluaren barnean. c) Pikor tamaina txikiagoa bioturbaziotik gertu, PPL. d) Pikor tamaina txikiagoa bioturbaziotik gertu, XPL.

Bai bioturbaziaren baitan zein kanpokaldean, tramaren osiera antzerakoa da. Orokorrean, kuartzoz, feldespatu potasikoz, glaukonitaz eta moskovitaz dago osatuta. Desberdintasun bakarra filosilikatoen kantitatea da, hauek ugariak dira bioturbazio inguruan, matrice funtzioa egiten dute eta tutuaren perimetroa markatzen dute.

Noduloen Petrologia:

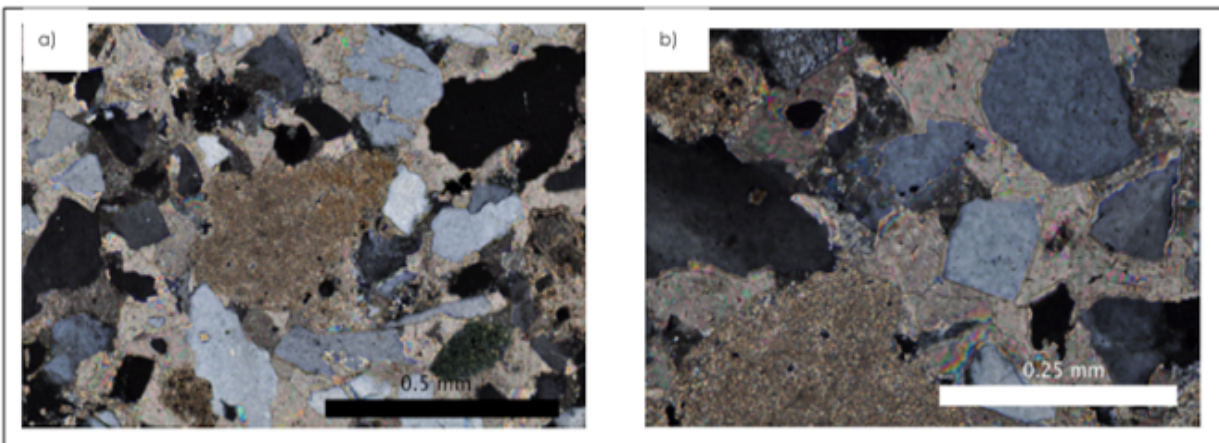
Noduluak pikor ertaineko hareharriak dira, protokuartzita motakoak (Selle, 1977), kaltitazko ordezkapenez eratutako zementazio (zentu zabalean) diferentzialarekin. Azterketa petrografikoan erakusten dituzten ezaugarriak lobuluetako kanaletako petrologiarekiko oso antzekoa da (ikus 35. orrialdea), beraz, ezberdintasunak bakarrik komentatuko dira (gehiago sakontzeko JA-2 Eranskina).

Pikor tamaina 0.7 – 0.1 mm artean aurkitzen da, batz besteko pikor tamaina (ugariena) 0.4 mm izanik. Morfologiari dagokionez, esferikotasun baxua erakusten dute, nahiko angelutsoak dira eta hautespena *poorly sorted* da. Tramaren mineralogia kuartzoz (%88, monokristalinoak %65, polikristalinoak %35), glaukonitaz (%4), feldespato potasikoz (%4) eta moskovitaz (%1) dago osatuta. Honetaz gain, karbonatozko intraklastoak (%<1) eta bioklastoak (%3) ere agertzen dira. Fosilei dagokionez, foraminifero planktonikoez gain, briozooak, oskolak, ekinodermatuen plakak eta arantzak agertzen dira (38. Irudia).



38. irudia: Nodulu barnean agertzen den fosilen edukia.

Intraklasto batzuen foraminifero bentonikoak ikus daitezke. Matrizeari dagokiolarik, intraklastoen deformazioetik eratorritako pseudomatriz pixka bat agertzen da. Baina xaflan jatorri karbonatodun matriz sedimentario posiblearen esparitazioa gailentzen da (39. Irudia).



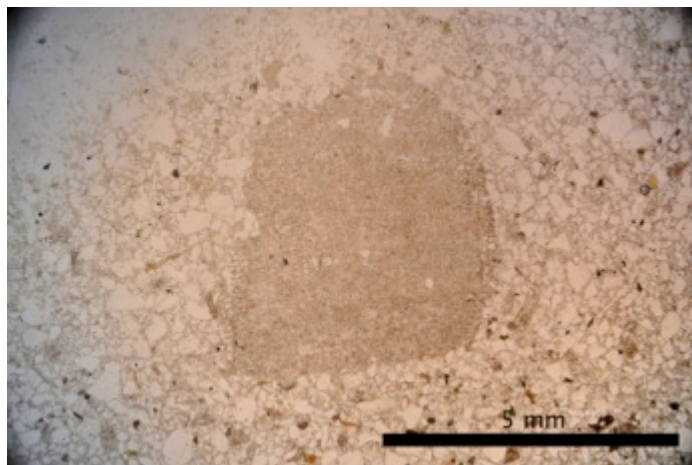
39. Irudia: Birkristaldutako pseudomatriz intraklastoen deformazioen bitartez eratutakoak. a) Birkristaldutako intraklastoa kaltzita poikilotopikoz inguratuta. b) Pikorren hutsuneak betetzen dituen kaltzitazko kristal xenomorfoak.

Hainbat prozesu diagenetiko bereiz daitezke konkrezioen barnean:

- (i) Bioturbazioak xafla mehean forma zirkularra hartzen du eta 1.2 mm-ko tamaina erakusten du. Laginean, ordea, morfologia obalatuak erakusten du 2x1 cm-ko tamainarekin. Makroskopikoki eta

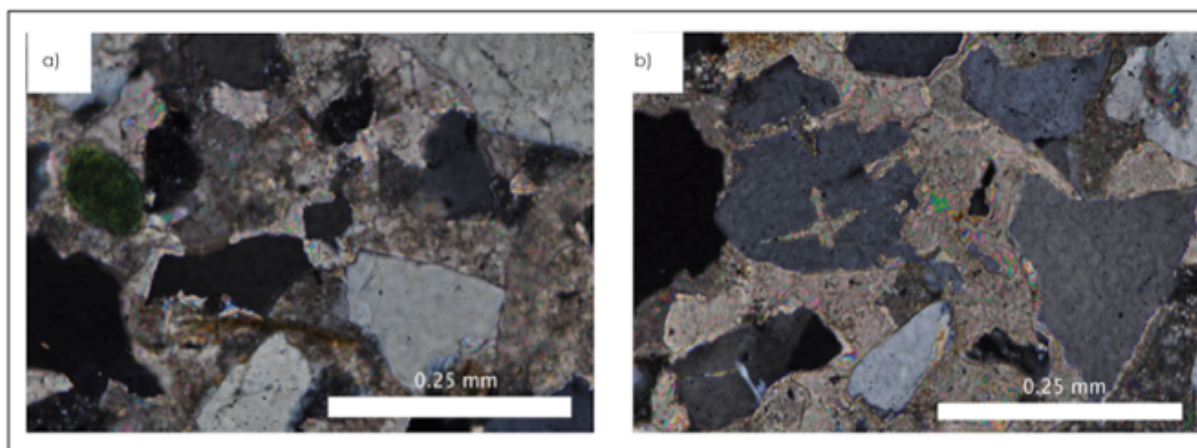
mikroskopikoki, tutuaren trama noduluaren berdina da, baina bertan filosilikatoz osatutako matrizearen ugaritasuna handiagoa da, hauek perimetroa markatzen dute.

- (ii) Birkristaltzea, lohi karbonatatuaren matrizearena eta ekinodermatu plakarena idiomorfo ekidimensional motatakoa da (40. irudia).



40. irudia: Ekinodermatu plaka baten birkristaltzea. Birkristaltze hau ekidimensional idiomorfo motatakoa da.

- (iii) Ordezkapena nukleoan hasten da eta zabaltzen doa, kasu batzuetan inguruko pikorrak barne hartu arte (kristal poikilotopikoak) (41. irudia).



41. irudia: Kaltzitaren bidezko kuartzoaren ordezkapena noduluaren barnean. a) Ordezkapen fronteak ikus daitezke. b) Ordezkapena pikorren kanpoaldean ematez gain, barnealdean ere ematen da.

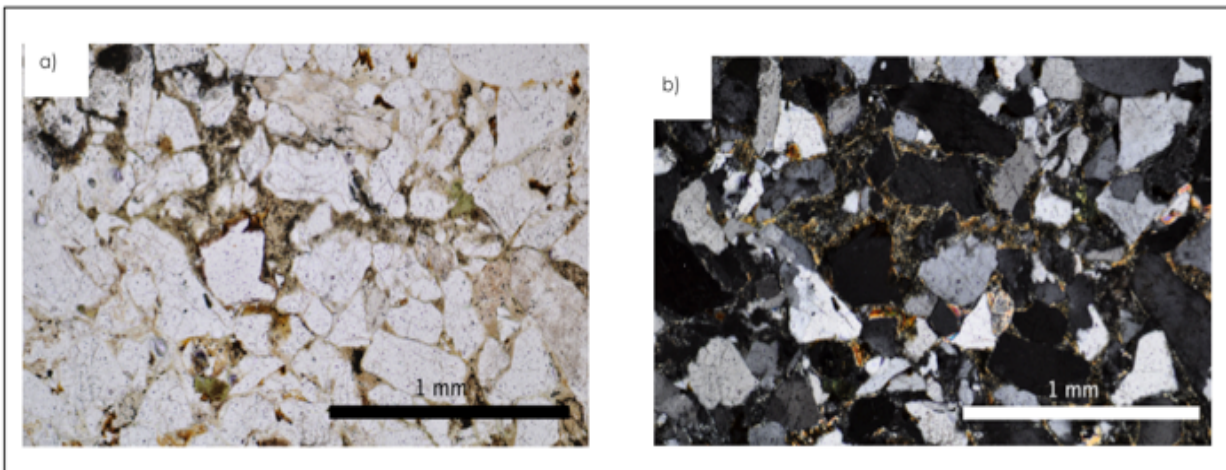
Arroka kaxaren petrologia:

Noduluak ubideetako betekinetan agertzen direnez, azterketa petrografiko hau ubideenaren oso antzekoa da (ikus 33. orrialdea, gehiago sakontzeko arroka

kaxaren fitxa petrografikoa ikusi (JA-1 Eranskina)). Beraz, ubidearekiko erakusten dituen ezberdintasunak aipatuko dira soilik.

Pikor tamaina ertaina duen arren, ubidearena baino txikiagoa da; 0.6-0.1 mm artean aurkitzen da, batzuetan besteko pikor tamaina 0.3 mm izanik. Arroka trama kuartzoz (%90), feldespato potasikoz (%5), glaukonitaz (%2-3), moskovitaz (<%1), biotitaz (<%1) eta intraklastoz (%2-3) dago osatuta. Ehundurari dagokionez, pikorrez eutsia da, hala ere, bitorbatutako zonak salbuespena dira, bertan buztin proportzioa handitzen baita (42. Irudia). Beraz, arroka hau protokuartzita bat da Selly (1977)-ren arabera, edo subarkosa, Pettijohn, Potter & Siever (1973)-ren arabera.

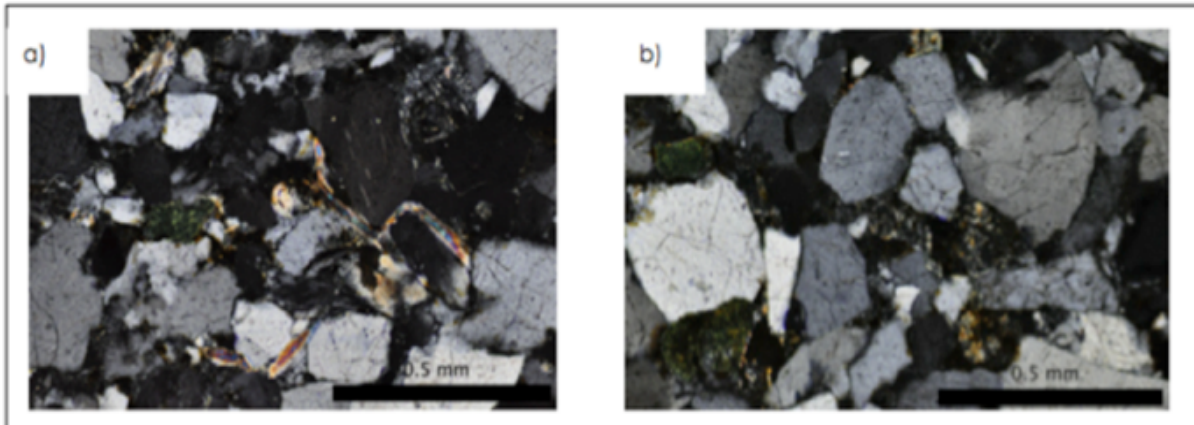
Kasu honetan ere, zementua silizekoa da, baina pikorren inguruan sintaxialki hauspeatzeaz gain, pikor artean prezipitatzen da mikrokuartzo (< 0.1 mm) edo chert moduan (42. Irudia).



42. irudia: Bioturbazioa jasandako gunea, bertan buztinezko proportzioa handiagoa da. a) PPL. b) XPL.

Hainbat prozesu diagenetiko desberdintzen dira arroka kaxaren barnean:

- (i) Trinkadura: Pseudomatrizaren eraketa.
- (ii) Presio-disoluzioa: Prozesu honen seinaleak modu zabalean agertzen dira kontaktu hirukoitz eta suturatuen bitartez.
- (iii) Zementazioa: Kuartzo sintaxiala kuartzoko pikorren inguruan hauspeatzen da pikor osoa guztiz estali gabe. Mikrokuartzo ekidimentsionala chert moduan agertzen da, pikorren arteko hutsuneren bat betez (43. Irudia).



43. irudia: Mikrokuartzo ekidimentsionala. a) Mikrokuartzo ekidimentsionala chert moduan agertzen da, gainera, moskovita erabat tolestuta dagoela ikus daiteke, inguruko pikorrei erabat egokituta. b) Pikorren arteko hutsunea betez agertzen da mikrokuartzoa, bere barnean foraminifero bentoniko bat agertzen delarik.

4. Hidrogeologia

Jaizkibelgo hidrogeologiak sustratuko litologia ezberdinekin duen erlazioa ikertzeko, Martitxene-Susurko arroko itsaslabarraren azaleratzen diren arroken azterketa petrografikoa egin da. Honetaz gain, tupa X izpien difrakzioaren bitartez aztertu da, karbonato kantitatea determinatzeko. Bertako uren ezaugarriak jakiteko, alde batetik errekari buruzko informazioa bildu da, ibilguan zehar tenperatura eta eroankortasun elektrikoa neurtuz. Modu honetan, ibaiak izan ditzazkeen ur sarrera ezberdinak azter daitezke. Honetaz gain, lurperko urei buruzko informazioa izateko, JE-7 zundaketako datu hidrokimikoak ere erabili dira.

4.1.1. Eroankortasun Elektrikoaren eta Tenperaturaren soslaiak errekan zehar:

Urak garraiatzen duen solutu kopuruaren adierazlea da eroankortasun elektrikoa, horrexegatik izaten da ohikoa bera neurtzea landan. Martitxene-Susurko arroan, iturburutik erreka-ahorainoko soslaia (lau puntu; 44. irudia) egin da, bertan eroankortasunarena eta tenperatura neurtuz, aparatu bera erabilia (Hach HQ14d; eroankortasunaren balioa 25°C-tara dago erreferentziatuta). Neurketa 2014ko apirilaren 18an burutu zen. Kontuan hartu behar da aurreko 10 egunetan ez zuela euririk egin. Bi puntutan emaria ere neurtu da (botila betetzen zenbat denbora igarotzen zen neurtu da). Beste bitan ezinezkoa izan da neurtzea, ura kantitate nahikoriknez zegoelako "neurtzeko".



44. irudia: Martitxene - Susurko errekan zehar behatutako puntuak. Bertan eroankortasun elektrikoa eta temperatura neurtu dira.

1. Puntua: Errekaren iturburutik gertu hartutako datuak.

- Temperatura: 12,4°C
- Eroankortasun elektrikoa: 152 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Emaria: 8 l/s

2. Puntua: Errekaren ibilguaren erdiko aldean neurtutako datuak.

- Temperatura: 12,6°C
- Eroankortasun elektrikoa: 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Emaria: 18 l/s

3. Puntua: Erreka itsasoratzen den gunetik gertu hartutako datuak.

- Temperatura: 12,7°C
- Eroankortasun elektrikoa: 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$

4. Puntua: Erreka ibilgu nagusira batzen den fluxu ez jarraian hartutako datuak.

- Temperatura: 14,9°C
- Eroankortasun elektrikoa: 184 $\mu\text{S}/\text{cm}$

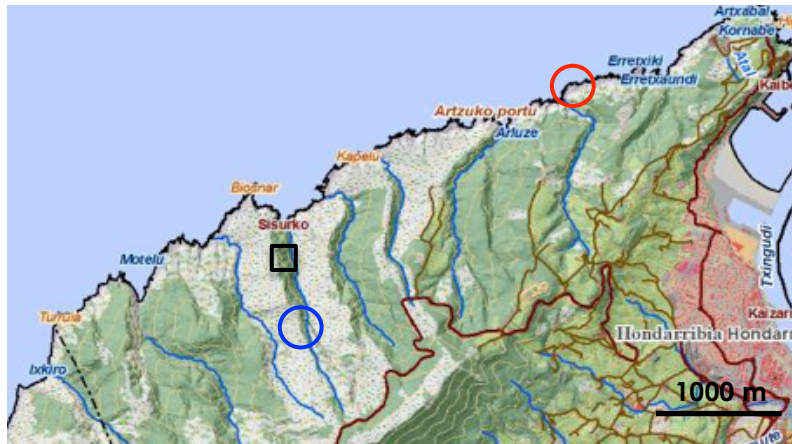
Eroankortasun elektrikoa (EE) eta, zer esanik ez, temperatura (T) aldakorrak dira denboran zehar, errekan diren urak ibilbide desberdinetako uren nahasketa desberdinak izaten direlako, are gehiago euri garaietan. Honen ondorioz, lan honetan neurtutako datuak ez datoz bat Zabaleta *et al.*, 2014-ekoekin, baina joera mantentzen dela ikus daiteke iturburutik itsasoratze bidean, eroankortasuna handitu egiten baita bi kasuetan. Neurtutako datuetan errekaren buruan 152 $\mu\text{S}/\text{cm}$ -ko EE balioa lortzen den bitartean, autore horien lanean neurtutako puntutik gertu 112 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lortzen dute. Itsasotik gertu 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ neurtu zen bitartean, beraiek 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Datu hauek ezberdinak izan arren, bi kasuetan EE handitzen da beherako bidean. Eroankortasun elektrikoaren desberdintasun hori aurretik egindako prezipitazio kopuruaren arabera izango litzateke ziurrenik.

Hartutako 4. datuak Eroankortasun elektrikoa handiagoa du, ura "geldituta" zegoelako bertan eta orduan, eburazioaren bitartez uretan geratzen den mineral kantitatea handiagoa da.

Zenbat eta eroankortasun elektrikoaren balioa handiagoa izan, orduan eta ur horrek disolbatuta duen solutu kopurua handiagoa da. Beraz, prezipitazio handiko garaietan, mineralizazio baxuko uren sarrera oso handia denez, eroankortasun elektriko balioak txikitu egiten dira. Hortaz, neurketak prezipitaziorik gabeko garai tarte batean egiteak argibide gehiago ematen du lurpeko urek ibilguan duten parte-hartzeaz. Modu honetan eroankortasun elektrikoan neurtutako aldaketak, ur nagusi horri batzen zaizkion beste uren ondorioz eta itsasoratze bidean igarotako arroka ezberdinetan edukitako elkarrekintzengatik gertatzen dira.

4.1.2. Uraren hidrokimika eta petrologiaren arteko erlazioa:

Jaizkibelgo uren analisi kimikoak lurrazpiko urenak dira. Alde batetik, JE-7ko zundaketako hidrokimika (1988/06/03, EVE, 1999) eta bestetik Artzu urbegiarena (2014/03/17, Ura Ur Agentzia, www.telur.es) (45. Irudia).



45. Irudia: Datu hidrokimikoen kokapen geografikoa. Borobil gorriak Artzu urbegiaren kokalekua adierazten du eta urdinak JE-7 zundaketaren kokagunea. Azterketa petrografikoan ikeritako laginen laginketa eremua karratu beltz batez adierazita dago. (Goeuskadiko bisoretik eraldatutako irudia).

Analisiak garai ezberdinekoak izan arren, bietan ikus daiteke elementu nagusiak kaltzioa (Ca^{++} : 40.8-62.83 mg/l) eta bikarbonatoa (HCO_3^- : 134.0-187.60 mg/l) direla (1. Taula). Gelditzen diren gainerako ioiak 10 mg/l baino txikiagoko kontzentrazioa dute, kloroa (Cl^- : 20.8-23.96 mg/l) eta sodioa (Na^+ : 8.9-12.24 mg/l) izan ezik. Azken hauek balio altuagoak izatearen zergatia itsasoaren gertutasuna izan daiteke. Sulfatoaren balioak arroketan agertzen diren sulfuroen oxidazioz (pirita esaterako, ikusi JA-6 Eranskina) eman daiteke. Ondorioz, eroankortasun elektrikoaren balioa igotzen duena, batez ere, disolbatutako HCO_3^- eta Ca^{++} dira. Ur guztiak kaltzio-karbonatodunak izanda ere solutu kopurua diferentea da.

1. Taula: Lurrazpiko uren datu hidrokimikoak, soilik elementu nagusiak agertzen dira. JE-7 Zundaketako datuak (1988/06/03, EVE, 1999). Jaizkibelgo Artzu urbegitik lortutako datuak (2014/03/17, Ura Ur Agentzia, www.telur.es).

| Elementu nagusiak | 1998/06/03 (mg/l) | 2014/03/17 (mg/l) |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| Sodioa | 8.9 | 12.24 |
| Potasioa | 1.9 | 1.61 |
| Kaltzioa | 40.8 | 62.83 |
| Magnesioa | 1.9 | 2.78 |
| Kloruroa | 20.8 | 23.96 |
| Sulfatoa | 6.2 | 8.59 |
| Karbonatoa | <5 | 0.00 |
| Bikarbonatoa | 134.0 | 187.60 |
| Nitratoa | 2.8 | 6.16 |



Uren analisi kimiko hauetatik ateratako informazioa arroketan dagoen mineralogiarekin alderatzeko, azterketa petrologikoa da biderik z. Horretarako, Martitxene-Susurko arroketan berizturiko sistema sedimentario ezberdinetako (ubide betekinen hareharriak, lobuluetako kanal banatzaileen hareharriak eta kanal arteko tupak) laginen osaera mineralogikoarekin erkatu dira datuak.

Orokorrean, arroketan agertzen diren mineralak kuartzoa (SiO_2), feldespatu potasikoa (guztiz potasikoa dela kontsideratuz, KAlSi_3O_8), glaukonita $(\text{K,Na})(\text{Fe}^{3+},\text{Al,Mg})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, moskovita $(\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2)$, klorita $((\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6)$ eta kaltzita (CaCO_3) dira. Kaltzita pikorren artean agertzen da modu poikilotopikoan kuartzozko pikorrak ordezkatzuz.

Mineralen formula kimikoari erreparatuz, hareharrietan agertzen den kaltzita (CaCO_3) bat dator uretako datuekin (Ca^{++} eta HCO_3^- balio altuekin) eta hareharrietako osaera kontutan izanik, disolbatuz Ca^{++} eta HCO_3^- eman dezakeen osagai bakarra; izan ere, feldespatoa agertzen den arren, feldespatu hori potasikoa da eta ez kaltzikoa. Diagenesia garatutako kaltzitzen disolbatzeak justifikatuko luke uren faziea hidrokimikoa kaltzio-bikarbonatoduna izatea.

4.1.3. Trampalak:

Jaizkibelen aparteko interesa erakusten duten hainbat hezegune agertzen dira, trampal izenekoak. Azkenengo urteetan, Jaizkibel Unitate Hidrogeologikoa ustiatzen hasten badira gune hauetako hidrologia aldatuko delakoan edo, hainbat ingurumen azterketa egin dira, baita hauen memoria bat ere (Heras & Infante, 2009; Zendoia *et al.*, 2003).

Martínez Cortizas eta besteen (2009) ustez, trampal hauek jatorri minerala duten habitat hidro-turbosoak dira eta gune hauetako uren jatorria isurketakoa eta lurrazpikoa dira. EAE-n garatzen direnak, malda handiko lursailetan, mendi-hegaletan edo haranen hondoan egoten dira, kasu honetan, lurrazpitik irteten diren uren zirkulazioari esker eratuta (Heras & Infante, 2014). Hezegune hauek oso azalera txikikoak dira, erabat puntualak, beraz, nahiz eta ondoko ur-jarioak jaso, lurpekoak, tartean, kopuru eskaseko ur-jarioak dira.

Ingurune hauek *habitat* bat osatzen dute, 7140 Habitata, eta Espainiako zohikatzezi azidoetatik zabalena dena hain zuzen ere (Martínez Cortizas *et al.*, 2009). EAE-n agertzen diren 9 habitateko bat da, gune gehien erakusten dituen. Gune hauek tamaina txikikoak izaten dira eta hauetan landaretza bereizgarria hazten da, esfagnoak eta beste goroldio hidrofilo gehiago. Landaredi hau turbaren sortzaile potentziala den arren, EAE-n honen akumulazioa urria edo arbuigarria da, ur mugimenduak oxigenazio baldintzak sorrarazten dituelako. Hala ere, *humus* kantitate altuko biltegi lohitsuak eratzen dituzte. Ondorioz, 7140 Habitata "eremu paraturboso" edo "trampal" moduan kontsideratzen da (Heras & Infante, 2014).

Heras eta Infanteren (2014) ustez, hezeguneak sortzen dituzten urek jatorri ezberdina izan dezakete, beraz, bibliografian ez dago adostasun bat uren jatorrian.



Hasteko, ur horien jatorria atmosferikoa izan daiteke (euria, behe-lainoa) edo lurrazpiko eta lurgaineko urak. Azkenengo kasu hau da EAEko ingurune hidroturboso gehienen jatorria, ura gainazalera ateratzen da eta trampal-ak eratzen ditu bost arrazoi hauengatik (Heras & Infante, 2014):

- **Ukipen estratigrafikoak:** litologia permeable eta impermeable arteko txandakapena. Kasu hau da ohikoena.
- **Kolubioiak:** maldetako metaketa detritikoak, ur kantitate handiak biltzen dituzte.
- **Zartadura tektonikoak** (failak, diaklasak): normalean arroka permeableak impermeableekin kontaktuan jarritz.
- **Lurgaineko isurketa:** askotan malda horretan leudekeen metakin kolubialengatik lagunduta.
- **Malda irristatzeak:** Lur mugimenduek hainbat gune lohitsuren sorreran parte hartzen dute.

Heras eta Infanteren (2014) ustez, trampalak karbonatodun hareharri, kareharri hareatsu eta lutiten txandakapenean garatzen dira. Gure landako azterketaren bitartez antzeman diren arrokkak hareharriak, karbonatodun hareharriak eta tupak izan dira.

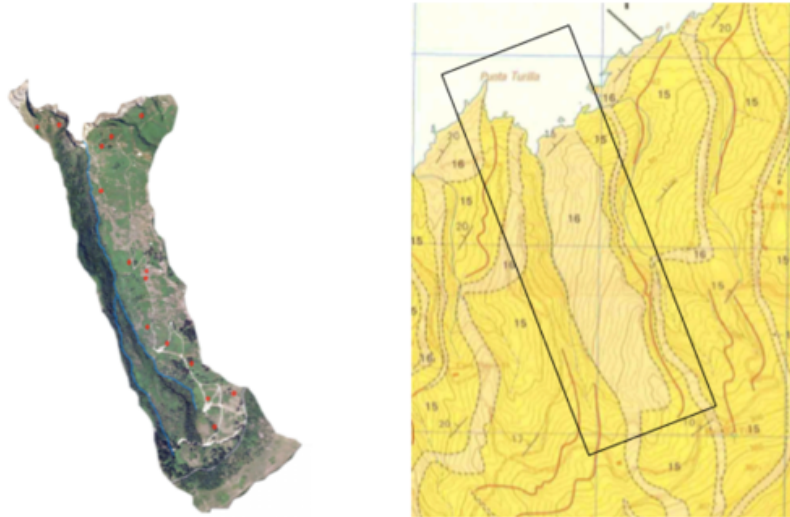
Autore hauen ustez, hezeguneak higadura jasan duten azaloramendu hidriko txikiei esker eratzen dira. Aireperatuta geratzen diren "akuifero txiki konfinatutzat" interpretatzen dituzte, permeableak diren hareharri karetsuez eta kareharri hareatsuez osatuta daudenak (Heras & Infante, 2014). Hala ere, trampalen sorrera horrela gertatzen dela ziurtatzeko, kontestu hidrogeologikoa aztertu beharko litzateke.

Ingurune hidrozoikaztu hauek, landarediagatik ezberdindu daitezke eta hori izan da guneak kartografiatzeko erabilitako erreminta (46. irudia) (ikus 2. Eranskina).



46. irudia: Ingurune hidrozoikaztuak kartografiatzeko erabilitako erreminta landaredia da. Batez ere ondorengo bi landare motak erabili dira: a) *Schoenus*, b) *Sphagnum*.

Behin Martitxene-Susurko arroan hezeguneak markatuta, horietako askok erliebe positiboa ematen duten hareharri pakete potenteekin bat egiten dutela ikusi da (EVEko 1:25.000 eskala ez da nahikoa hau adierazteko). Jaizkibelen, hezegune hauek garatzeko inpermeablea den geruzaren bat edo zoru potentea duen erliebearen gune leun bat behar da ur hori geldituta geratzeko (47. irudia).



47. irudia: Arroan markatutako hezeguneen eta 1:25000 eskalako EVE-ko maparen arteko konparaketa. Eskala faktorea.

5. Eztabaida

Hasteko, akuifero jokaera duten arroka-gopurtz potentzialak zeintzuk diren determinatu da. Arroka-gopurtz bat akuifero jokaera izateko permeabilitatea eta porositatea izatea beharrezkoa da, berdin dio porositate hori primarioa edo sekundarioa den. **Akuitardo**en kasuan, porositatea handia-ertaina den bitartean, iragazkortasuna ertaina da eta **akuiklodoetan** porositatea handia-ertaina den bitartean, permeabilitatea oso txikia da. Arroken azterketaren bitartez, zein litologiak jokatu dezakeen akuifero bezala eta zein akuitardo/akuiklodo bezala determinatu da.

Litologi ezberdinen porositatea nolakoa den jakiteko, azterketa petrografikoan oinarritu da. Azterketa honetan porositate eraginkorra erakusten duten arroak *ubideen betekinak* direla ikusi da, izan ere, hauek zementatu gabe agertzen baitira. Beraz, hauek izango liriateke akuifero moduan jokatzen dutenak. Bitartean, lobuluetako kanal betekinen hareharriek kaltzitazko esparita-kristalak dituzte pikorren arteko hutsuneetan, hauen porositatea “erabat” murriztuz. Hauek bigarren mailako akuifero potentzialak izango liriateke, akuifero izateko gaitasuna kaltzita disolbatzen doan heinean handituz. Azkenik, lobuluetako kanalen arteko inguruneko *tupak* daude. Hauek buztinak direnez, inpermeabletzat kontsideratzen dira (denbora-eskala kontuan hartu gabe), nahiz eta porositate handia eduki, hutsune hauek ez baitaude elkarren artean konektatuak.



Modu honetan, geruza permeablego eta inpermeablegoen txandakapena ematen da. Zabaleta *et al.*, 2014 esaten duten bezala, **sistema multigeruza** baten aurrean egongo ginateke. Segidan zehar ubideko betekinak (zementu gabeko hareharriak, akuiferoak) lobuluetako fazieen (karbonatozko esparita duten hareharrien eta tupen, akuitardo/akuikludoen) artean “banatuta” geratzen dira. Banaketa horren bitartez, zundaketa berean ponpatzean ezaugarri ezberdinetako urak lortzen dira (Zabaleta *et al.*, 2014), akuifero/arroka tarte bakoitzeko urek ezaugarri ezberdinak dituztelako.

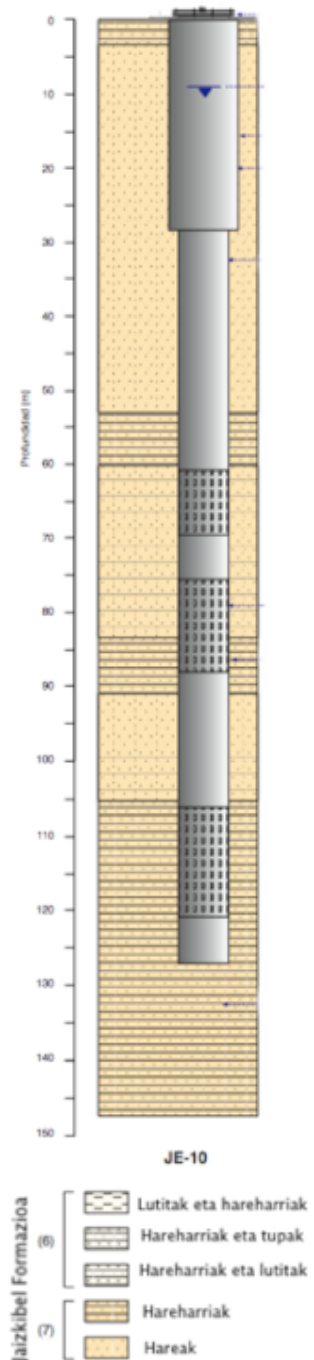
Ponpaketa egiterako orduan, inguruko putzuen maila freatikoa ez da ia jeisten (Zabaleta *et al.*, 2014). Ur maila ez jeisteko ur ekarpenak iritsi behar dira. Ekarpene horiek bi jatorri ezberdin eduki ditzazkete:

- (i) Akuifero ezberdinak banatzen dituzten arroka-gorputzek akuitardoak izatea eta ez akuikludoak. Hau da, permeabilitatea ez izatea oso txikia eta ur garrioa ahalbidetzea.
- (ii) Aztertutako azaleramenduan ubideko betekinak elkarren artean banatuta egon arren, beste dimentsio batean ubide horiek elkarren artean konektatuta egotea.

Lehenengo kasuan, buztinek duten jokabideagatik, ponpatzeko garaian ur maila jetsiko zela interpretatzen da, ponpaketa abiadura azkarragoa dela urak akuitardo zeharkatzeko behar duen abiadura baino.

Bigarren kasuan, aldiz, errekarga hori modu azkarrean emango litzateke, zementatu gabeko hareharriek duten jatorrizko porositateagatik. Hala ere, hau determinatu ahal izateko azterketa sakonago eta zabalago bat egin beharko litzateke.

Hidrokimikari dagokionez, Jaizkibelgo ura kaltzio-bikarbonatoduna da (EVE, 1999) (1. Taula). Kaltzio-bikarbonato proportzio hori disolbatutako kaltzita kantitatearen arabera dela egiaztatuz, zundaketa gehiago egin beharko lirateke, (1) ubide betekinak nagusi diren segida batean eta (2) lobuluetako fazieak nagusi diren beste batean. Egindako hipotesia egia balitz, ubide betekinak nagusi liratekeen zundaketako urek kaltzio-bikarbonato proportzio txikiagoa erakutsiko lukete lobuluetakoekin baino, izan ere, ubide betekinek ez baitute kaltzitazko zementurik (soilik karbonatozko intraklastoren bat), lobuluetako hareharrietan kaltzitazko zementua ugaria den bitartean. Horren adibide izan daiteke Martitxene-Susurko arroaren mendebaldean agertzen den JE-10 zundaketa (JE-7 zundaketarekin batera egindako beste bat) (EVE, 1999) (ikusi



48. irudia: JE-10 zundaketa. Bertan agertutako litologien eskema sinplifikatua agertzen da. (EVE, 1999)-tik eraldatua.



1. Eranskina). Zundaketa horretan agertzen diren litologia nagusiak hareharriak eta hareak dira, zementatu gabeak (EVE,1999), beraz, ubideetako betekinak izango lirateke (48. Irudia).

JE-10 putzuko zundaketaren hidrokimika aztertuz, ikusi daiteke nabarmenki jaisten direla kaltzioaren eta bikarbonatoaren kopuruak (2. Taula, EVE 1999). Honek indarra emango lioke kaltzita zementuaren disolbaketaren hipotesiari, zundaketan kaltzitazko zementua ez baita ugaria.

2. Taula: JE-7 eta JE-10 putzuetako hidrokimikaren arteko konparaketa. Datuak 1998/06/04 eta 1998/06/93 egunekoak dira (EVE, 1999).

| Elementu nagusiak | JE-7 (mg/l) | JE-10 (mg/l) |
|-------------------|-------------|--------------|
| Sodioa | 8.9 | 7.5 |
| Potasioa | 1.9 | 2.7 |
| Kaltzinoa | 40.8 | 18.4 |
| Magnesioa | 1.9 | 2.9 |
| Kloruroa | 20.8 | 17.4 |
| Sulfatoa | 6.2 | 2.7 |
| Karbonatoa | <5 | <5 |
| Bikarbonatoa | 134.0 | 67.0 |
| Nitratoa | 2.8 | 1.6 |

Lurrazpiko urak alde batera utziz, lurgaineko urak dira EAEko ingurune hidroturboso gehien jatorria (Heras & Infante, 2004). Trampalak arrazoi ezberdinengatik era daitezkeen arren, Martitxene-Susurko arroan gune espezifiko horietan kokatzeko arrazoen hipotesiak hauek dira:

- (i) Hareharri eta tupa txandakapenean, tuparen bereizgarri den inpermeabilitasunagatik, ura bertan pilatzea lokazti horiek sortuz.
- (ii) Hareharri geruza finagoen eta tupen arteko txandakapenean, hareharri geruzek higaduraren aurrean tupak baino erresistentzia handiagoa erakusten dutenez, erliebe positiboa eratuko litzateke. Ura tupa eta konpetentzia altuagoko hareharri geruzaren artean metatuko litzateke gainezka egin arte. Gainezka egitean, hezegunearen hedadura handitu egingo litzateke hareharri geruzaren gainean ere kokatuz (49. Irudia).
- (iii) Erliebearen gune leun batean, zoru potenteduna, nahiz eta bertan litologia kontraste argirik ez egon.



49. Irudia: Hezegunea hareharri geruza baten gainean kokatuta, urak gainezka egitean eratutakoa.

6. Ondorioak

Eozenoan, E-W norabidean luzatutako sakonera handiko ibarbide bat zen Pirineoen mendebaldeko eremua, karbonatozko plataformez inguratutakoa hain zuzen ere. Garai honetan, Pirinioa aireperatzen ari zen, honen higaduraz eratutako sedimentu siliziklastiko batzuk sistema flubio-deltaikoetan gordetzen ziren bitartean, gainontzekoak 1500 metrotako sakonerako (Payros *et al.*, 2006) arroetara esportatu ziren, sistema turbiditiko siliziklastikoetan pilatuz (Pujalte *et al.*, 2000).

Sistema turbiditiko horietan metaturiko arroka dira gaur Jaizkibel osatzen dutenak, geruza turbiditikoaren norabidea N020°E da eta okerdura 10-20°W artean izanik. Sistema, orokorrean, zerez dago osatua: (1) oin higakorra, potentzia metrikoa eta **ubide forma** duten karbonatorik gabeko hareharriez, (2) zentimetrokoak diren eta kaltzitazko ordezkaketa duten hareharriez eta (3) kolore gris-berdeko tupaz.

Abaniko turbiditikoetako turbiditek ingurune sedimentario bakoitzean erakusten dituzten ezaugarrietan oinarrituz, litologia ezberdinen arteko erlazioak (Fazie-asoziazio eta sekuentzia sedimentarioak) finkatu eta interpretatu dira: (1) goi-abanikoko inguruneko ubideko betekinak dira, (2) erdi-abanikoko inguruneko lobuluetako kanal banatzaileak dira eta (3) lobuluetako kanal banatzaileen arteko gunek dira.

Ubideetako betekinetan, potentzia metrikoa eta ubide forma duten kaltzita gabeko hareharrietan, konpetenteagoak diren nodulu batzuk agertzen dira (edo noduloak egondako zuloak). Azken urteetan, Aranzadiren eskutik hainbat nota argitaratu dira eta denetan silizezko konkrezio bezala definitu dituzte (Galan *et al.*, 2009 besteak beste). Hauen azterketa makroskopiko eta petrologikoaren bitartez ikusi da nodulu horiek (Galan *et al.*, 2009 lanean paramoudra bezala definitutakoak) ez direla silizezkoak, karbonatodunak baizik.



Nahiz eta mineralogiaren aldetik kuartzoa izan mineral nagusia, eta horren ondorioz silizeko kontzentrazioa altua izan, silizea partikula detritikoetan aurkitzen da soilik. Kasu honetan, nodulua, bioturbazio inguruan garatutako karbonato kaltzikozko kristalengatik eratzen da, kaltzitazko kristal horiek agian sedimentuan/bioturbazioaren ondorioz matrize kalkareoaren presentzia handiagoa egoteagatik eratu dira.

Beraz, izatekotan pseudoparamoudrak (*paramoudra like*) izango lirateke eta ez paramoudra s.s.. Breton, 2006-ek gomendatzen du "**proparamoudra**" terminoa erabiltzea jatorri karbonatua duten konkrezioentzako. Gaztelaniaz, ordea, pro-aurrezkiaren esanahietako bat *aurrean*, *zerbaiten aurrean* (*ante*, *delante de*) da eta horrek, gizarte elebidun honetan, kaltzifikazioa silizifikazioaren aurreko fasea dela ulertu daiteke, gaizki-ulertu bat sortuz. Horren ondorioz, pseudoparamoudra edo *paramoudra like* terminologia erabiltzea egokiagoa dela iruditzen zait.

Konkrezio hauen azterketa petrografikoan ikusi da arroka (ubide-betekina) eta nodulua, hare mota berdinez osatuta daudela (kuartzoa, feldespatoa, glaukonita eta moskovita batez ere), arrokako silizeko zementu urria eta konkrezioetan karbonatoaren presentzia handiagoa izanik desberdintasun bakarrak. Arrokan pikorrek trinkadura arrastoak erakusten dituzten bitartean (kontaktu suturatuak eta hirukoitzak), noduluan kaltzitazko kristal poikilotopiko handiak agertzen dira jatorrizko matrize sedimentarioaren eta (besteren artean, kuartzozko pikorren) ordezkapen prozesuen emaitza direnak. Arrokkak pikorrez eutsitako ehundura du, noduluak, aldiz, matrizez/karbonatoz eutsia.

Konkrezioen matrize proportzio handiagoa bioturbazioarekin eta sedimentu nahasketarekin erlazionatuta egon daiteke. Bioturbazioaren eraginez sedimentuari gehitutako matriza, karbonatazioaren aitzindari izan daiteke.

Arroka kaxaren eta noduluen historia diagenetikoa konparatuz hurrengo sekuentzia ondorioztatu daiteke:

- (0) Sedimentazioa: arro turbiditiko batean eman zen, transgresio garaian. Noduluak ubide mikrokonglomeratiko eta pikor tamaina erdi-larria duten betekin hareatsuetan aurkitzen dira soilik. Hareharrien ekarpen bioklastikoa arroa inguratzen zuten sakonera txikiko plataformetan du jatorria. Arroko sedimentazio autoktonoa sekuentzia osoan zehar aurkitzen da, deskribatutako litologia ezberdinetan. Bioturbazioak sedimentuen nahasketa eragin dezake, tupatsua den matriza kanalaren betekin diren hareharrien nibel barnean sartuz.
- (1) Karbonato hauspeatzea: karbonatozko jatorri duen matriza ugaria den lekuetan birkristatzea ematen da, modu honetan sedimentua litifikatuz. Esparitazko kristalak goiz eratu ziren diagenesian zehar, ez baitira trinkadura fisikoaren edo fabrikaren aldaketarik ikusten (arroka hostalariak, aldiz, aldaketa horiek erakusten ditu). Matrizen birkristaltzeak ordezkapen prozesuak abiaraziko lituzke, karbonatoaren gehitzea tupen trinkaduraren ondorioz gauzatu zitekeelarik.



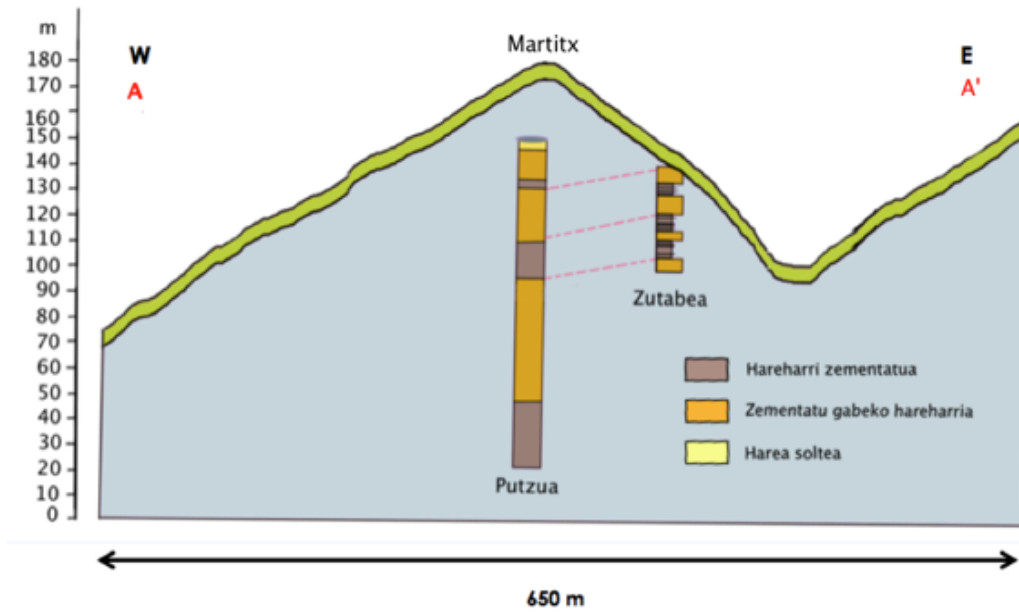
- (2) Trinkadura eta Presio-Disoluzioa: sedimentuek trinkadura handia jasan zuten, bai karga sedimentarioak zein tektonikak berak eraginda. Prozesu honetan, kontaktu hirukoitzen eta saturatuen (presio-disoluzio erlazio) bitartez espazioa murriztea lortzen da. Tramako partikulen mineral osuera nagusia kuartzoa izanik, silizea disolbatuko da partzialki.
- (3) Silizifikazioa: prozesu hau trinkadurak porositate osoa itxi ez duen hareharrietan ematen da. Oso urria da eta izaera isokimikoa izan dezake. Silizezko zementua, presioaren bitartez tramaren pikor detritikoen disoluziotik eratorria izan daiteke.

Sekuentzia hori berbera da ere beste sekuentzia edo fazie-elkarketetako hareharriek jasandakoa. Lobuluetakoa hareharriek kaltzitazko prezipitatuak erakusten dute. Hauek tupen artean txandakatuta agertzen dira, eta trinkaduraren ondorioz, karbonatozko buztin hauetan aurkitzen ziren jariakinak askatu egingo ziren, inguruko hareharri finak guztiz karbonatatuz. Hori ez da ubideetako betekinetan gertatzen, izan ere, hauen potentziak metrikoak baitira eta askatzen den jariakin kantitatea ez zen, agian, nahikoa izango geruza osoa zementatzeko. Kasu batzuetan, ubidearen betekina tuparen gainean agertzen bada, hareharri geruzaren oinean kaltzitazko esparita ager daiteke (ikus JA-11 Eranskina).

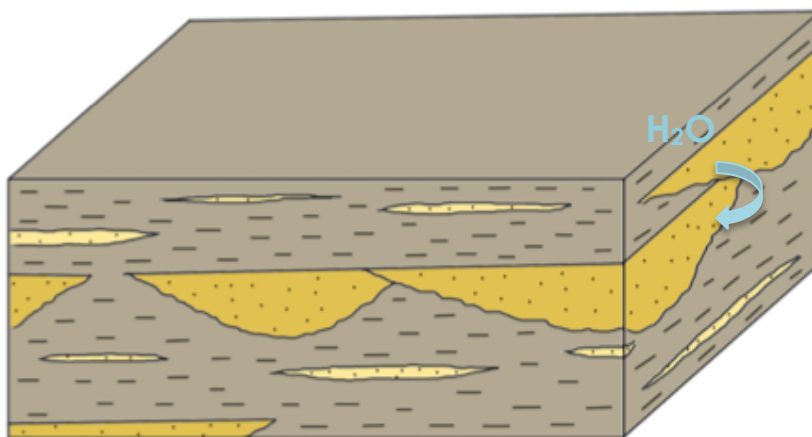
Ondorioz, hareharrien arteko desberdintasun nabariena, orokorrean, kaltzitaren presentzia da. Kaltzitak arroka zuen jatorrizko porositatea murrizten du eta porositate eraginkorra beharrezkoa da arroka gorputz bat akuifero izateko, baita permeablea izatea ere. Aztertutako laginak itsaslabarrekoak direnez eta akuifero moduan jokatzeko dutenak aztertutako berdinak direla konprobatzeko, korrelazio bat egin da ikertutako putzuaren (JE-7) eta aztertutako azaleramenduaren artean. Modu honetan ikus daiteke aztertutako laginak akuifero moduan jokatzeko dutenen berdinak direla (50. Irudia).

Egindako azterketa petrografikoaren ondorioz, determinatu da Eozenoko abaniko turbiditikoetako ubideetako betekinak izango lirategela akuiferorik hoberenak, hau da, karbonato gutxi edo gabeko hareharriak. Beste litologiak (kaltzitaz zementatutako hareharriak eta tupak) akuitardo moduan jokatuko lukete. Guztien txandakapenaren bitartez, sistema multigeruza eratzen da, bertikal berean akuifero ezberdinak elkarren artean banatuta geratuz (Zabaleta *et al.*, 2014).

Putzu batean ponpatzean, inguruko putzuen maila freatikoa ez da ia jeisten (Zabaleta *et al.*, 2014). Beraz, nonbaitetik ur ekarpenak iritsi behar dira. Hipotesirik zuzenena, ur-ekarpen horiek ubideen elkarren arteko konexioz gauzatzen dela interpretatzea da. Aztertutako bertikal berean ubideak elkarren artean banatuta egon arren, hirugarren dimentsio batean konektatuta egotea, adibidez gainetik igarotako ubideak azpikoaren zati bat higitu zuelako (52. Irudia). Modu honetan, ponpatzerako momentuan ur ekarpenak azkarrak izango lirategela maila freatikoa ia konstante mantenduz. Hala ere, hipotesi hau egiaztatzea ahal izateko azterketa zehatzagoak egitea beharrezkoa da.



50. irudia: Azterutako azaleramenduaren zutabearen eta 1991. urtean EVEk eta Eusko Jaurlaritzak egindako zundaketaren arteko korrelazioa.



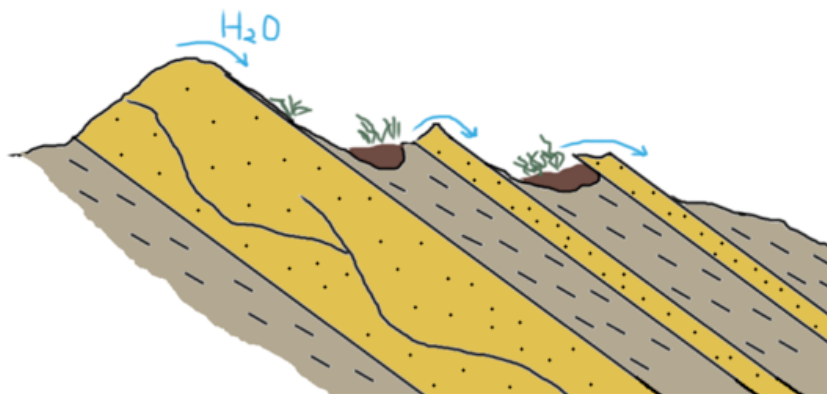
51. irudia: Bertikal berean ubideak elkarren artean banatuta agertzen diren arren, beste dimentsio batean konektatuta egotearen hipotesiaren eskema.

Hidrokimikari dagokionez, Jaizkibelgo ura kaltzio-bikarbonatoduna da (EVE, 1999), kaltzio eta bikarbonatoa direlako elementu nagusienak. Kloroak eta sodioak beste elementuek baino kontzentrazio altuagoak erakusten dituzte itsasoaren gertutasunagatik. Ondorioz, batez ere eroankortasun elektrikoaren balioa handitzen duena, disolbatutako HCO_3^- eta Ca^{++} dira eta hori tupa eta kaltzita disolbatuz lor daiteke. Hori benetan horrela dela ziurtatzeko azterketa zehatzagoa egin beharko litzateke, eztabaidan komentatu den moduan, zundaketa gehiago eginez.

Eroankortasun elektrikoaren balioa mineralizazioarekin batera handitzen denez, Martitxerrek zehar iturburutik erreka-ahoraino CaCO_3 -n irabazten doa. Erreka, tupatsuak diren fazioren gainean doa bide osoan zehar, beraz, ura pixkanaka bertako mineraletan aberasten joan daiteke, Eroankortasun elektrikoaren balioa handituz.

Lurgaineko urekin jarraituz, Jaizkibelgo trampalak (52. Irudia) hiru arrazoi ezberdinengatik eratu daitezke mendilerro honetan:

- 1) Tuparen gainean. Karbonatozko buztin hauek duten inpermeabilitasunagatik, ura denbora luzez geratzen da geldituta lokazti horiek sortuz.
- 2) Hareharri geruza erlatiboki finen eta tupen arteko txandakapenean, hareharriek erliebe positiboa eratzen dute. Modu honetan, ura tupa eta hareharri geruzaren artean gordetzen da gainezka egiten duen arte. Hareharri geruza gainditzean, hezegunearen hedadura handitzen da hareharri geruzan ere kokatuz.
- 3) Zorua potentea den erliebearen gune leun batean (ez du zertan litologia kontraste argia egon behar).



52. irudia: Trampalen jatorria esplikatzeko duen eskema sinplifikatua.

Bukatzeko, lan honen helburua, arlo ezberdinak jorratzea eta horietan trebatzea izan da. Lan honen bitartez stratigrafia, sedimentologia, petrologia, kartografia, paleontologia eta hidrogeologia landu dira, batzuetan besteetan baino gehiago sakonduz. Hala ere, ikus daiteke geologiako arlo ezberdinetan ateratako datuak elkarren artean lotuta daudela, kasu honetan uraren jokabideari azalpena emanez. Baina hau desertuko harezko tontor bateko pikor bat besterik ez da, Jaizkibeli buruz egindako geologiako ikerketak urriak direnez, etorkizunerako bideak guztiz zabalik daude, imajina ditzazkegun esparru geologiko guztietan.



Bibliografía

- Aizpuru, I. et al., 2010: *Euskal Herriko Zuhaitz eta Zuhaitzen Gida*. Eusko Jaurlaritzak. Gasteiz.
- Baceta, J.I., Orue-Etxebarria, X., Apellaniz, E., Martín Rubio, M., & Bernaola, G., 2012: *El flysch del litoral Deba – Zumaia. Una “ventana” a los secretos de nuestro pasado geológico*. Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua. Leioa.
- Breton, G., 2006: Paramoudras... Et autres concrétions autor d'un terrier. *Bulletin Inf. Géol. Bass. Paris*. Vol. 43, N°3, 18-43.
- Dabrio, C.J. eta Hernando, S., 2003: *Estratigrafía*. La Facultad de Ciencias Geológicas Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 133 – 135.
- Dutton, S. P. & T.N. Diggs, (1990): History of quartz cementation in Lower Cretaceous Travis Peak Formation, east Texas: *J. Sediment. Petrol.*, 60, Fig.5, p. 195.
- Ente Vasco de la Energía-EVE, 1988: *Euskal Herriko Mapa Geologikoa, Irun 41 – III*. Eskala 1:25.000. Gallarta.
- Ente Vasco de la Energía-EVE, 1988: *Euskal Herriko Mapa Geologikoa, Jaizkibel 40 – IV*. Eskala 1:25.000. Madrid.
- Ente Vasco de la Energía-EVE, 1999: *Euskal Herriko Mapa Hidrogeologikoa*. Eskala 1:100.000. 209-2018 + Eranskinak.
- Galán, C.; Molia, M.; Nieto, M. (2009): *Paramoudras en arenisca de la Formación Jaizkibel*. Sociedad de Ciencias Aranzadi. Dpto. Espeleología.
- Galán, C.; Molia, M.; Nieto, M.; Rivas, J. (2008): *Nuevos datos sobre paramoudras y concreciones relacionadas en Jaizkibel e Igeldo (Pseudokarst en arenisca del Flysch Eoceno, Gipuzkoa)*. Sociedad de Ciencias Aranzadi. 8-15.
- Heras, F. T. & Infante, M., 2014: *Evaluación y propuesta de seguimiento del impacto del proyecto de abastecimiento de agua Jaizkibel – Elordi en los habitats hidroturbosos de Jaizkibel*. Bazzania s.c., Investigación y Gestión en Biodiversidad. Gasteiz.
- Martínez Cortizas, A., Pontevedra Pombal, X., Nóvoa Muñoz, J. C., Rodríguez Fernández, R., López-Sáez, J.A., Rodríguez Racedo, J., Costa Casais, M., Ferro Vázquez, C. & Ferrín Prieto, C., 2009: 7140 Mires de transición (Tremedales). En: *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 34.
- Murray, K.G., MacEachern, J. A. eta Dashtgard S. E. (2011). Process ichnology and the elucidation of physico-chemical stress. *Sedimentary Geology*, 237, 115-134.
- Payros A. & Martínez-Braceras N., 2014: Orbital forcing in turbidite accumulation during the Eocene greenhouse interval. *Sedimentology*. doi: 10.1111/sed.12113.
- Payros, A., Orue-Etxebarria, X., eta Pujalte, V., 2006: Covarying sedimentary and biotic fluctuations in Lower-Middle Eocene Pyrenean deep-sea deposits: Palaeoenvironmental implications. *Elsevier B.V.*, 234: 258-276.
- Posamentier, H. W. & Walker R. G. (editores), 2006: *Facies Models Revisited*. Society for Sedimentary Geology (SEPM). Tulsa, Oklahoma, U.S.A.



- Pujalte, V., Robles, S., Orue-Etxebarria, X., Baceta, J.I., Payros, A. & Larruzea, I.F. (2000). Uppermost Cretaceous-Middle Eocene strata of the Basque-Cantabrian Region and western Pyrenees: a sequence stratigraphic perspective. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 13, 191-211.
- Reading, H.G. (editor), 1996: *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Department of Earth Sciences, University of Oxford. Blackwell Science. Oxford.
- Reading, H.G. (editor), 1978: *Sedimentary Environments and Facies*. Department of Geology and Mineralogy, University of Oxford. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Vera, J.A. (editor), 2004: *Geología de España*. Instituto Tecnológico Geominero. Madrid. 238-240.
- Zabaleta, A. *et al.*, 2014: Mejora en el conocimiento hidrogeológico de la Masa de Agua Subterránea Jaizkibel. *Munibe Monographs. Nature Series*, 2: 47-57.
- Zendoia, I., Gartzia, M., Aldezabal, A., eta Aizpuru, I., 2003: Gipuzkoako kostaldeko esfagnadien kartografia, karakterizazioa eta kontserbazio-egoera. *Munibe (Ciencias Naturales-Natur Zientziak)*, 54: 5-20.
- www.irekia.euskadi.net/assets/attachments/3561/lugares_interes_gipuzkoa.pdf?1381312154
- Ura Ur Agentziaren datu hidrokimikoak: www.telur.es
- <ftp://ftp.geo.euskadi.net/lidar>
- <ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia>



Martixene – Susurko: Hezeguneen kokapena



Legenda

- Martixene - Susurko Ibaia
- Hezeguneak

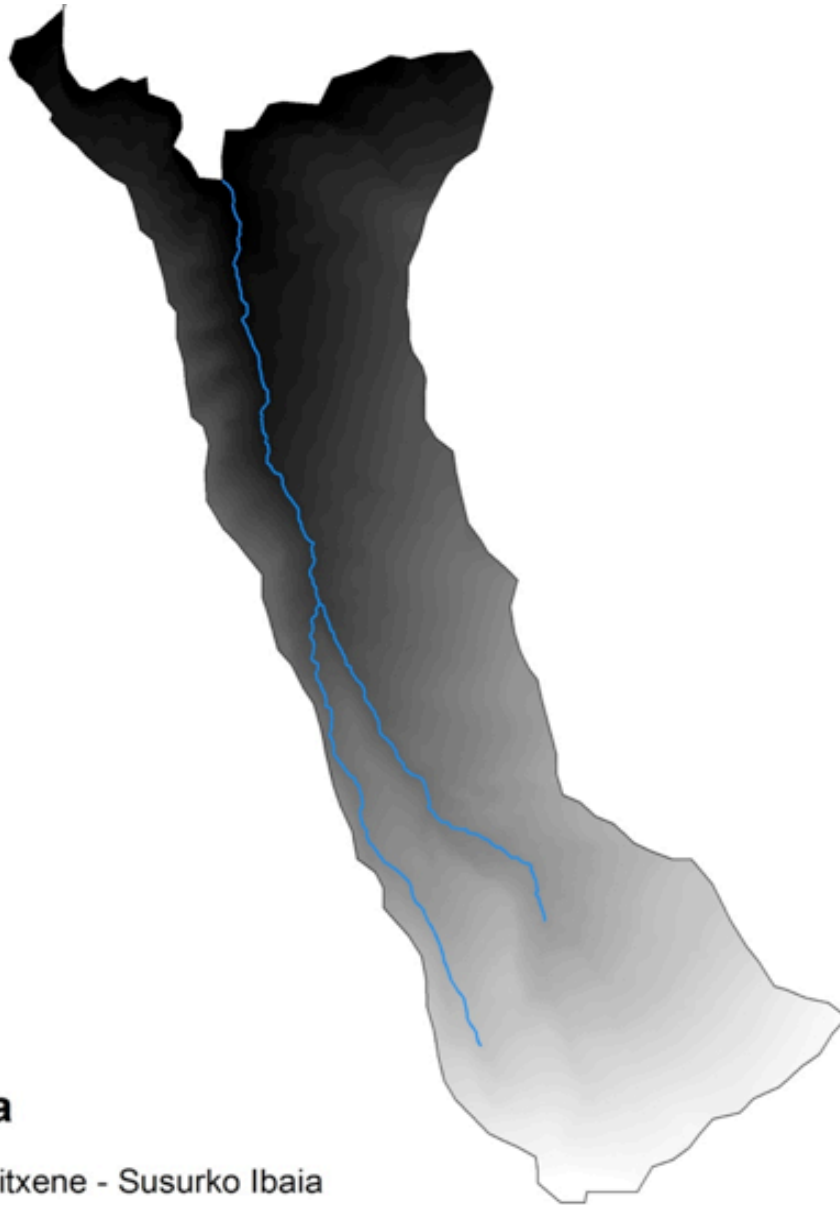


1:12.500

0 0,25 0,5 1 Kilometers



Martixene – Susurko: Lurrazalaren Eredu Digitala eta Ibai Sarea



Legenda

— Martixene - Susurko Ibaia

Kotak (m)



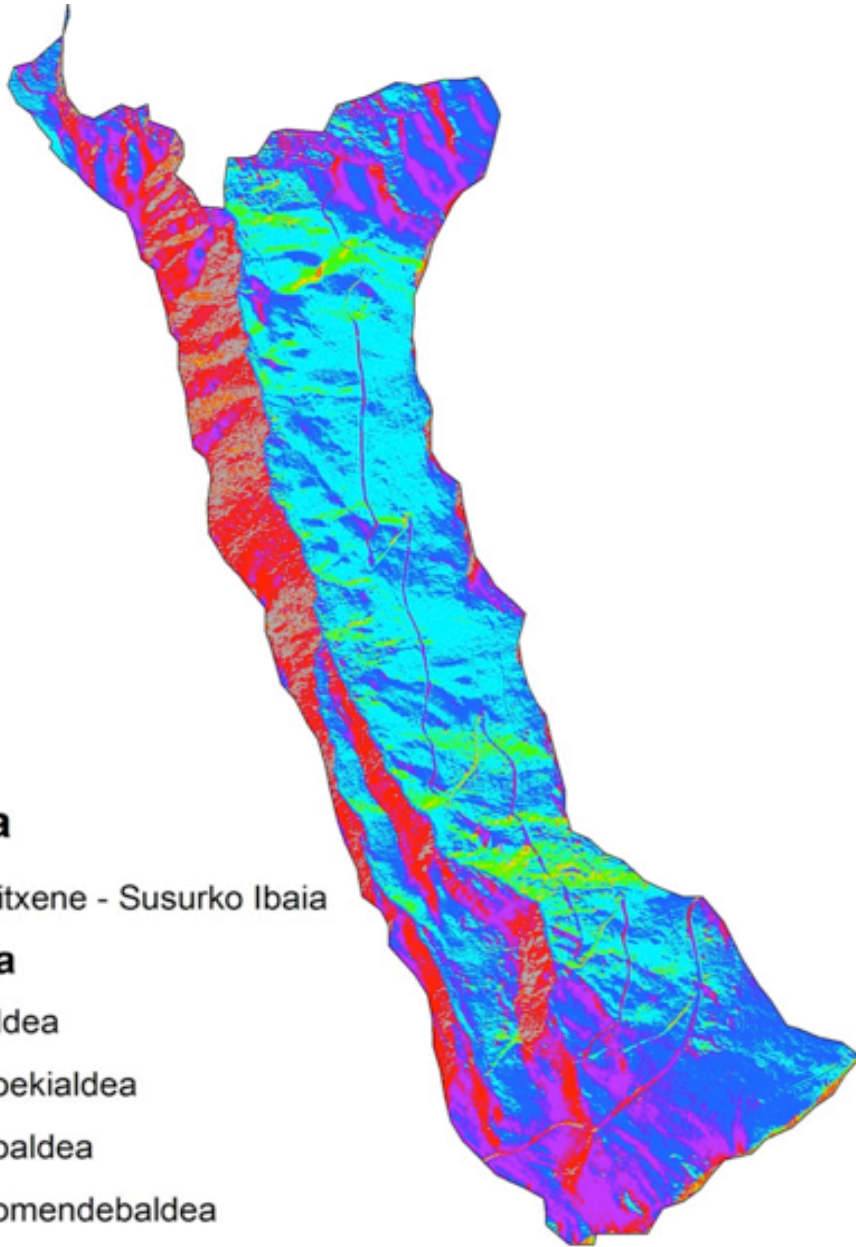
1:12.500



3. Eranskina: Lurrazalaren Eredu Digitala eta Ibai Sarearen mapa. Martixene-Susurko arroak hartzen dituen kota ezberdinak kolore ezberdinez adierazita. Honetaz aain. ibai sarea ere adierazten da.



Martixene – Susurko: Fluxu Norabide Mapa



Legenda

— Martixene - Susurko Ibaia

Norabidea

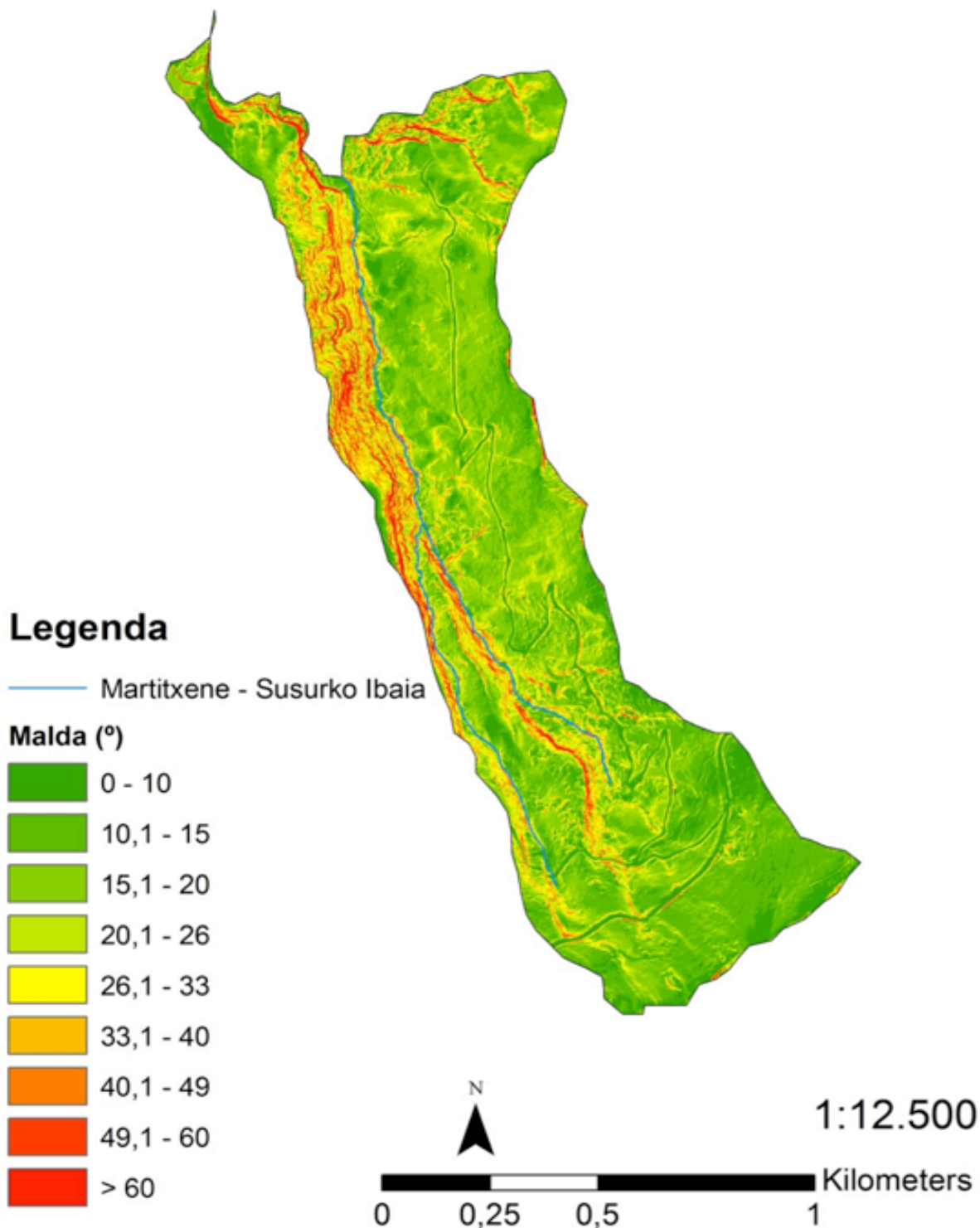
-  Eki
-  Hegoekialdea
-  Hegoaldea
-  Hegomendebaldea
-  Mendebaldea
-  Iparmendebaldea
-  Iparraldea
-  Iparekialdea



1:12.500

0 0,25 0,5 1 Kilometers

Martixene – Susurko: Malda Mapa

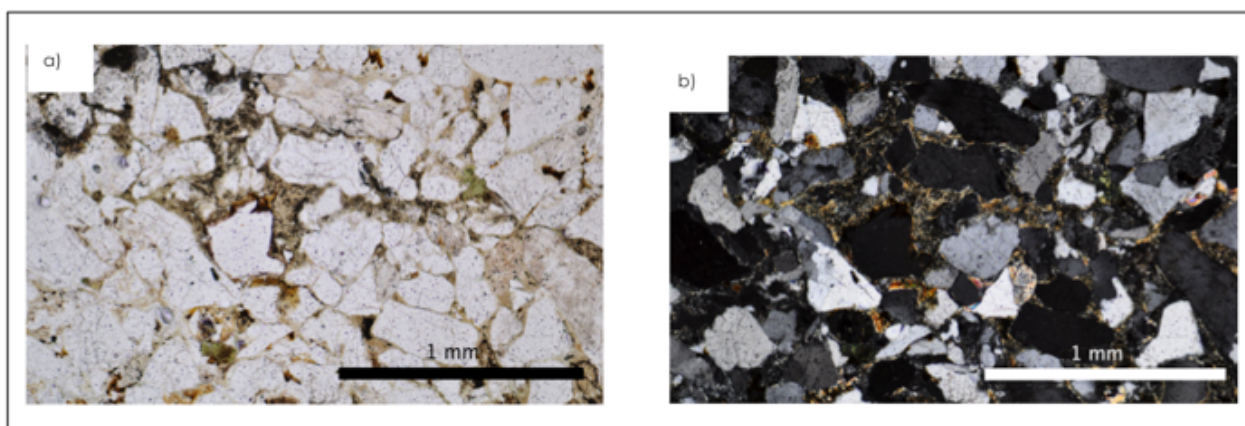


5. Eranskina: Martixene-Susurko Arroaren Malda Mapa. Bertan arroaren puntu bakoitzean agertzen den maldaren gradua kolore ezberdinez agertzen da.

AZTERKETA PETROGRAFIKOA

JA-1: Protokuartzita (Selley, 1977) edo Subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973).

Azterketa petrografikoan ikus daiteke pikor tamaina 0.6 – 0.1 mm artean agertzen dela, batzaz besteko pikor tamaina 0.3 mm-koa izanik. Beraz, pikor tamaina ertaina duen hareharri siliziklastiko baten aurrean aurkitzen gara. Arrokaaren ehundura pikorrez eutsia da, ia ez dago matrize detritikorik, bitorbatutako zonak salbuespena dira, bertan buzfin proportzioa handitzen baita (JA-1.1. Irudia).



JA-1.1. irudia: Bioturbazioa jasandako gunea, bertan buzfinezko proportzioa handiagoa da. a) PPL. b) XPL.

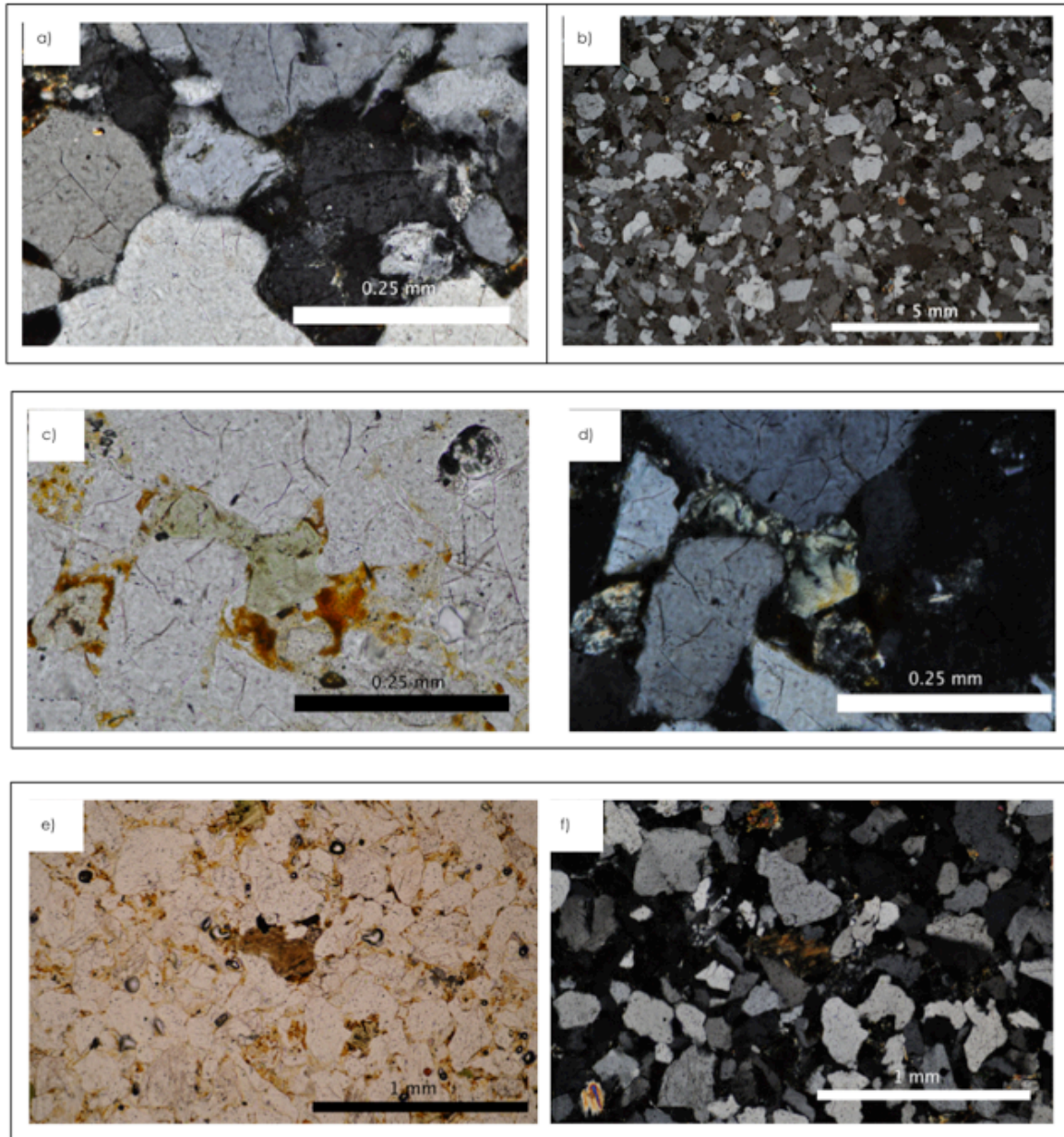
Arrokaaren trama kuartzo, feldespatu potasiko, glaukonita, moskovita, biotita eta intraklastoekin dago osatuta. Ugariena kuartzoa da eta tramaren %90 osatzen du. Kuartzo honen %80 monokristalinoa da eta gehienek heredadutako uhin itzaltzea erakusten dute. Zona batzuetan ikus daiteke nola kaltzita kuartzoa ordezkatzeko azaltzen den. Glaukonitak 0.3 – 0.1 mm arteko tamainak hartzen ditu eta tramaren %2-3 osatzen du. Diagenesiaren ondoren, trinkatuta agertzen da eta kaltzitak glaukonita ordezkatzeko arrakaltetatik. Moskovita oraindik eta urriagoa da eta bere tamaina 1.2-0.1 mm artean dago. Honetaz gain, buzfinezko intraklastoak ere agertzen dira. Hauek, trinkaduraren ondorioz, pseudomatrizia osatzen agertzen dira. Beraz, arroka hau protokuartzita bat da Selley (1977)-ren arabera, edo subarkosa, Pettijohn, Potter & Siever (1973)-ren arabera.

Presio-disoluzioz emandako trinkadura arrastoak ikus daitezke kuartzozko pikorren artean, kontaktu suturatuen eta hirukoitzen bitartez. Zementua silizezkoa da, matrize gutxiko arroketan (<%5, Dutton and Diggs, 1990) ohikoa izaten da eta pikorren inguruan hauspeatzen da sintaxialaren kasuan eta pikor artean mikrokuartzoa (< 0.1 mm) edo chert denean.

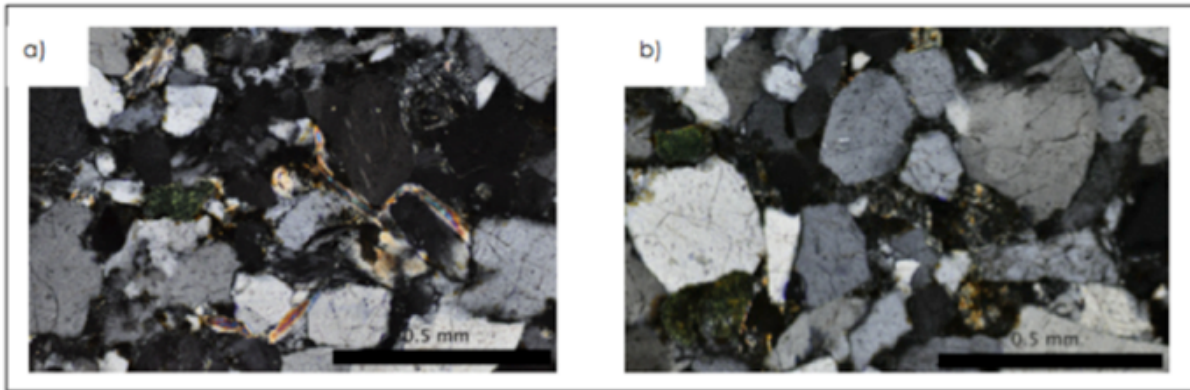
Hainbat prozesu diagenetiko desberdintzen dira arroka kaxaren barnean:

- (i) Trinkadura: Pseudomatriziaren eraketa (JA-1.2. Irudia).
- (ii) Presio-disoluzioa: Prozesu honen seinaleak modu zabalean agertzen dira kontaktuhirukoitz eta suturatuen bitartez (JA-1.2. Irudia).

- (iii) Zementazioa: Kuartzo sintaxiala kuartzozko pikorren inguruan hauspeatzen da pikor oso guztiz estali gabe. Mikrokuartzo ekidimentsionala chert moduan agertzen da, pikorren arteko hutsuneren bat betez (JA-1.3. Irudia).



JA-1.2. irudia: Trinkadura. a) Kontaktu hirukoitza kuartzo monokristalen pikorren artean. b) Kontaktu puntual, hirukoitz eta suturatua. c) Kuartzozko pikorren artean deformatutako klorita, PPL. d) Kuartzozko pikorren artean deformatutako klorita, XPL. e) Intraklastoen bitartez, kuartzozko pikorren artean, garatutako pseudomatriz, PPL. f) Intraklastoen bitartez, kuartzozko pikorren artean, garatutako pseudomatriz, XPL.



JA-1.3. irudia: Mikrokuartzo ekidimentsionala. a) Mikrokuartzo ekidimentsionala chert moduan agertzen da, gainera, moskovita erabat tolestuta dagoela ikus daiteke, inguruko pikorrei erabat egokituta. b) Pikorren arteko hutsunea betez agertzen da mikrokuartzoa, bere barnean foraminifero bentoniko bat agertzen delarik.

JA-2: Protokuartzita (Selley, 1977) edo Subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973).

Noduluak pikor ertaineko hareharriak dira, protokuartzita motakoak (Selley, 1977), kaltzitazko ordezkapenez eratutako zementazio (zentu zabalean) diferentzialarekin. Pikor tamaina 0.7 – 0.1 mm artean aurkitzen da, batzuetan besteko pikor tamaina (ugariena) 0.4 mm izanik. Morfologiari dagokionez, esferikotasun baxua erakusten dute, nahiko angelutsoak dira eta hautespena *poorly sorted* da. Tramaren mineralogia kuartzoz, moskovitaz, glaukonitaz eta feldespatu potasikoz dago osatuta. Honetaz gain, karbonatozko intraklastoak eta bioklastoak ere agertzen dira.

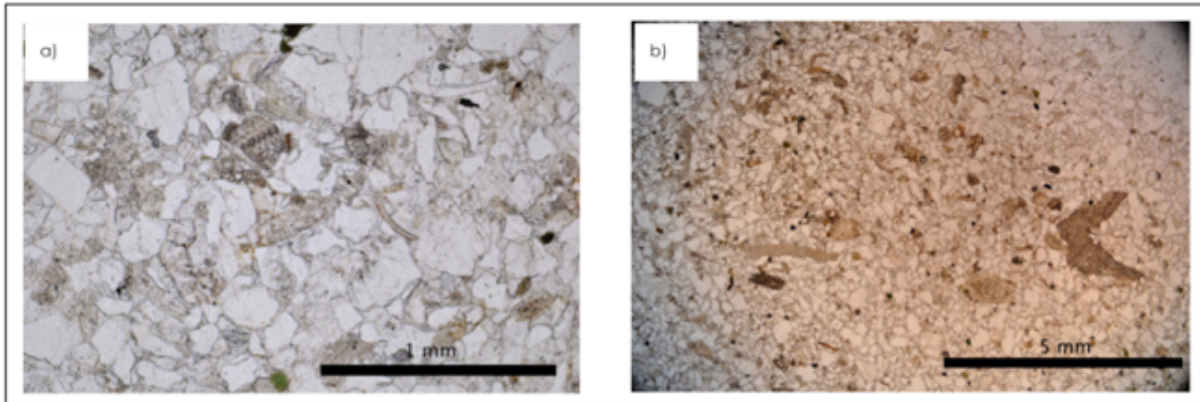
Kuartzoa tramaren %88 da, hauetatik %65 monokristalinoak dira eta %35 polikristalinoak. Hauek erakusten duten pikor tamaina 0.7 – 0.1 mm artean aurkitzen da eta hauetatik handienak monokristalino izateko joera dute. Formaren ikuspuntutik heterogeneotasun handia dago; izan ere, batzuk oso angelutsuak diren bitartean beste batzuen perimetroa nahiko ondo borobilduta dago.

Glaukonita porportzio txikiagoan agertzen da, feldespatu potasikoak bezala, tramaren %4a osatzen baitu. Moskovita oso urria da eta tramaren %1 osatzen du. Hauen luzeetarako tamaina 1.5 – 0.05 mm artean dago, 0.5 mmko tamaina dutenak ugariak izanik. Mineral hau beste pikorrei egokituta agertzen da.

Fosilei dagokionez (tramaren %3), albeolinidoak, briezooak, foraminifero aglutinakorrek, foraminifero monoseriatuak eta biseriatuak, ekinodermatuen plakak eta arantzak, miliolidoak, orbitolinak eta oskolak agertzen dira (JA-2.1. irudia).

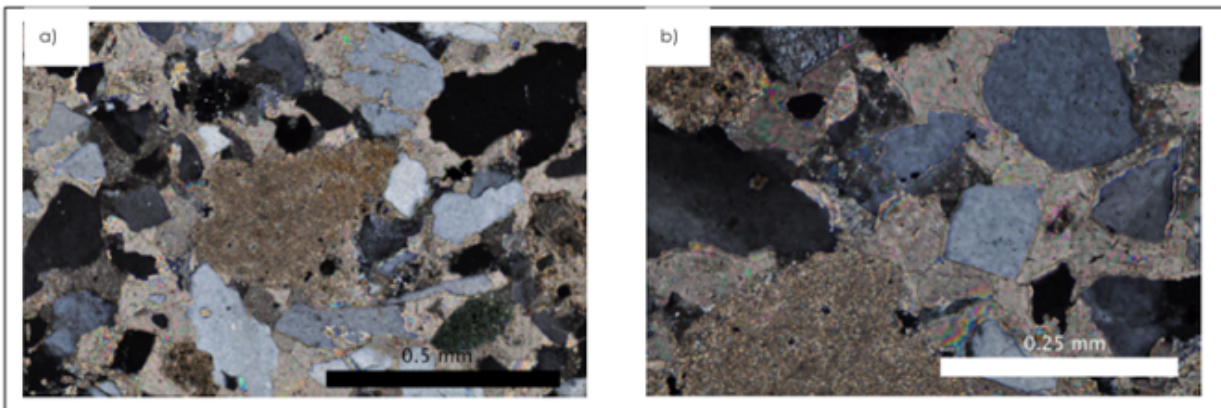
Intraklastoak oso urriak dira eta ez dira tramaren %1 izatera iristen. Klasto hauek tupa zatiak dira (JA-2.2. irudia). Hauetako batzuen barnean foraminifero bentonikoak ikus daitezke. Matrizeari dagokiolarik, intraklastoen deformaziotik eratorritako pseudomatriz pixka bat agertzen da. Baina xaflan jatorri

karbonatodun matrize sedimentario posiblearen esparitazioa gailentzen da (38a. irudia).



JA-2.1. irudia: Nodulu barnean agertzen den fosilen edukia.

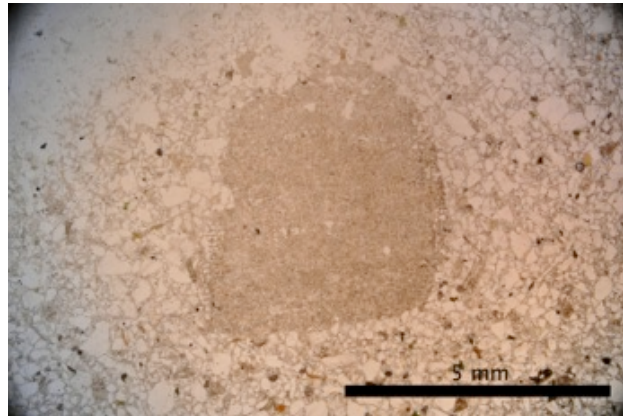
Kaltzita, kristal xenomorfoekin, nodulutik hedatzen da modu zabalean. Pikorren arteko gunea kristal poikilotopikoez beteta aurkitzen da (kristalak 0.3 cm baino txikiagoak dira) (JA-2.2. irudia). Xafla mehean zehar kuartzozko pikorrak ordezkatzeko agertzen dira.



JA-2.2. irudia: Birkristaldutako pseudomatriza intraklastoen deformazioen bitartez eratutakoak. a) Birkristaldutako intraklastoa kaltzita poikilotopikoz inguratuta. b) Pikorren hutsuneak betetzen dituen kaltzitazko kristal xenomorfoak.

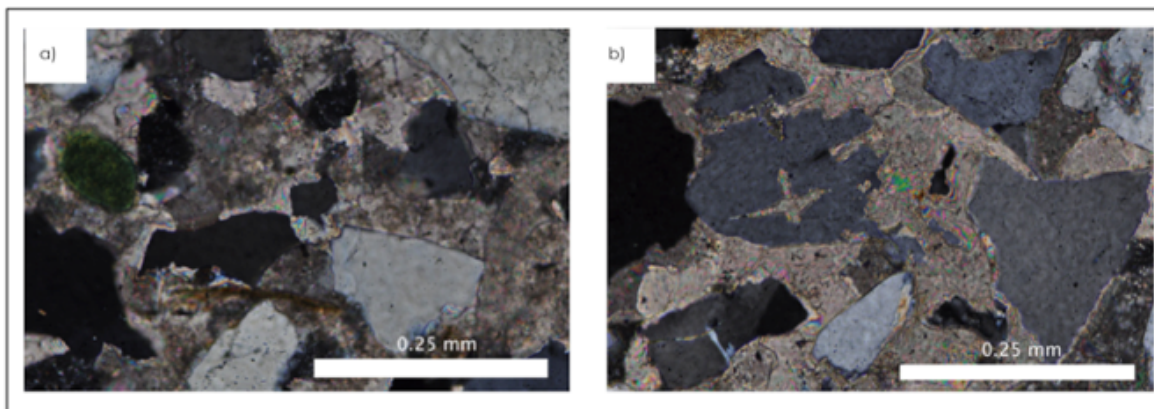
Hainbat prozesu diagenetiko bereiz daitezke konkrezioen barnean:

- (i) Bioturbazioak xafla mehean forma zirkularra hartzen du eta 1.2 mm-ko tamaina erakusten du. Laginean, ordea, morfologia obalatua erakusten du 2x1 cm-ko tamainarekin. Makroskopikoki eta mikroskopikoki, tutuaren trama noduluaren berdina da, baina bertan filosilikatoz osatutako matrizearen ugaritasuna handiagoa da, hauek perimetroa markatzen dute.
- (ii) Birkristaltzea, lohi karbonatatuaren matrizearena eta ekinodermatu plakarena idiomorfo ekidimensional motatakoa da (JA-2.3. irudia).



JA-2.3. irudia: Ekinodermatu plaka baten birkristaltzea. Birkristaltze hau ekidimensional idiomorfo motatakoa da.

- (iii) Ordezkapena nukleoan hasten da eta zabaltzen doa, kasu batzuetan inguruko pikorrak barne hartu arte (kristal poikilotopikoak) (JA-2.4. irudia).



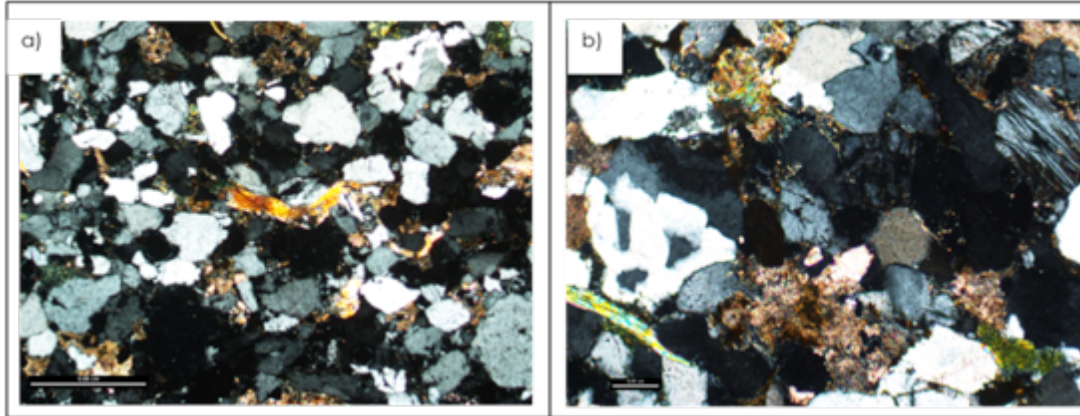
40. irudia: Kaltzitaren bidezko kuartzoaren ordezkapena noduluaren barnean. a) Ordezkapen fronteak ikus daitezke. b) Ordezkapena pikorren kanpoaldea ematez gain, barnealdean ere ematen da.

JA – 3: Kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973). Ortokuartzita (Selley, 1977).

Pikor tamaina ertaina erakusten duen kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973) edo ortokuartzita (Selley, 1977) da hareharri hau.

Pikor tamaina 0.5 – 0.05 mm artean aurkitzen da, nahiz eta 1.3 mm-ko espezioa den pikor bat agertu, pikor tamaina ohikoena 0.3 mm da. Morfologiari dagokionez, pikorrak *subangeluar* esferikotasuna erakusten dute eta hautespena *poorly sorted* motatakoa da. Tramaren mineralogia kuartzoz, feldespatu potasikoz, glaukonitaz, moskovitaz, turmalinaz eta kloritaz dago osatuta (JA-3.1a. irudia). Honetaz gain, intraklastoak ere agertzen dira.

Kuartzoak tramaren %92 osatzen du, hauetatik %80 monokristalinoak izanik, %20 polikristalinoak dira (JA-3.1b. Irudia). Monokristalinoek uhin-itxaltze heredatua erakusten dute. Tamainaren ikuspuntutik heterogeneotasun handia dago, hauek baitira pikor tamaina handienak eta txikiak erakusten dituztenak.



JA-3.1. irudia: a) Xaflaren irudi orokorra, trama kuartzoz, feldespatu potasikoz, glaukonitaz, moskovitaz, kloritaz, turmalinaz eta intraklastoez osatuta dago. b) Hiruz baino gehiagoz osatutako kuartzo polikristalinoak ikus daitezke, baita biz osatutakoa ere.

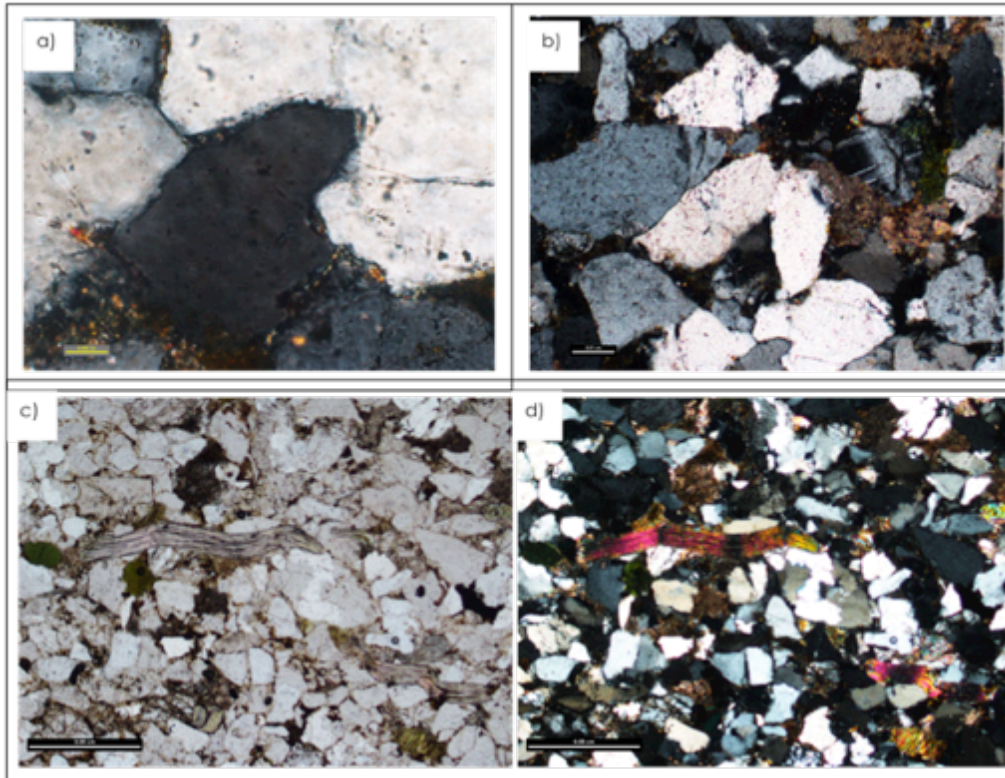
Feldespatu potasikoa proportzio txikiagoan azaltzen da, tramaren %3 osatzen du glaukonitak ez bezala, berak %2 osatzen baitu. Azken hauek, batazbeste, 0.25 mm-ko tamaina erakusten dute. Orokorrean, kuartzoko pikorrekin alderatuz, ertzak borobilduagoak erakusten dituzte, *rounded* esferikotasuna erakutsiz.

Moskovita urria da eta tramaren %1 osatzen du. Hauek erakusten duten luzeetarako tamaina maximoa 1.5 mm-koa da, beraien lodiera 0.1 mm izanik. Arrunta den bezala, mineral hauek inguruko pikorrei egokituta azaltzen dira. Klorita oraindik eta urriagoa da, ez da tramaren %1a osatzera iristen eta bataz beste 0.5 mm-ko tamaina dute. Turmalinaren kasuan ere ez da tramaren %1 izatera iristen, oso urriak dira.

Intraklastoak %3 izatera iristen dira, klasto hauek karbonatodun buztinen zatiak izango lirateke. Hauek, kasu batzuetan, pseudomatriz bezala jokatzen dute eta birkristalduta daude.

Arrokaren ehundura pikorrez eutsia da eta trinkadura arrastoak ikus daitezke kontaktu suturatu eta hirukoitzen bitartez (JA-3.2. Irudia).

Xafla osoan zehar, baina ez modu orokorrean, kaltzitazko kristalak ikus daitezke. Kaltzita hori bi modu ezberdinetan agertzen da, bata karbonatozko intraklastoen birkristaltzeaz eratutakoak eta besteak ordezkapen prozesuan zehar garatutakoak dira. Lehenengo kasuan, Kaltzitazko kristal horiek xenomorfoak dira eta erakusten duten tamaina 0.1 mm baino txikiagoak dira. Bigarren kasuan, ordea, poikilotopiko itxura erakusten dute. Batzuetan, kristal poikilotopikoak intraklastotik garatzen direla ikus daiteke.



JA-3.2. irudia: Trinkaduraren efektuak. a) Kuartzozko pikorren arteko puntu hirukoitzak. b) Kuartzozko pikorren arteko kontaktu planar eta puntualak. c) Trinkadura efektuak moskovitan, bertan tolesak ager daitezke, PPL. d) Trinkadura efektuak moskovitan, bertan tolesak ager daitezke, XPL.

Hainbat prozesu diagenetiko desberdintzen dira kuartzoarenitaren barnean:

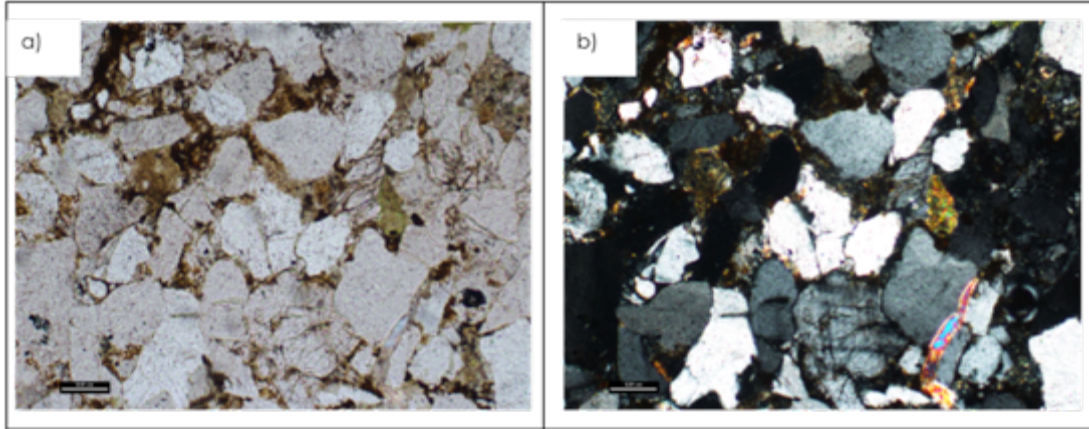
- (i) Trinkadura: Prozesu honen aztarnak modu zabalean agertzen dira xafla osoan zehar kontaktu hirukoitz eta suturatuen bitartez. Honetaz gain, pseudomatrizaren garapena ere ikus daiteke intraklastoetan.
- (ii) Kaltzitzen ordezkapena: Ordezkapena ez da xafla modu orokorrean ikusten, han hemenka baizik. Kristal poikilotopoikoak intraklastotik garatzen direla ikus daiteke.

JA – 4: Subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973), Protokuartzita (Selley, 1977).

Pikor tamaina ertaina erakusten duen subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973) edo protokuartzita (Selley 1977) izenarekin ere ezagutzen den hareharria da hau.

Pikorrak 0.8-0.05 mm-ko tamaina artean aurkitzen dira, 0.3 mm tamaina ohikoena izanik. Tramaren hautespena *moderately sorted* motatakoa da eta pikorren esferikotasuna *subrounded* kontsideratu daiteke. Arrokaren ehundura, orokorrean pikorrez eutsia da, nahiz eta tarteka buztin mineralak agertu (JA-4.1.

Irudia). Trama kuartzoz, feldespato potasikoz, glaukonitaz, moskovitaz, biotitaz eta kloritaz osatuta dago.

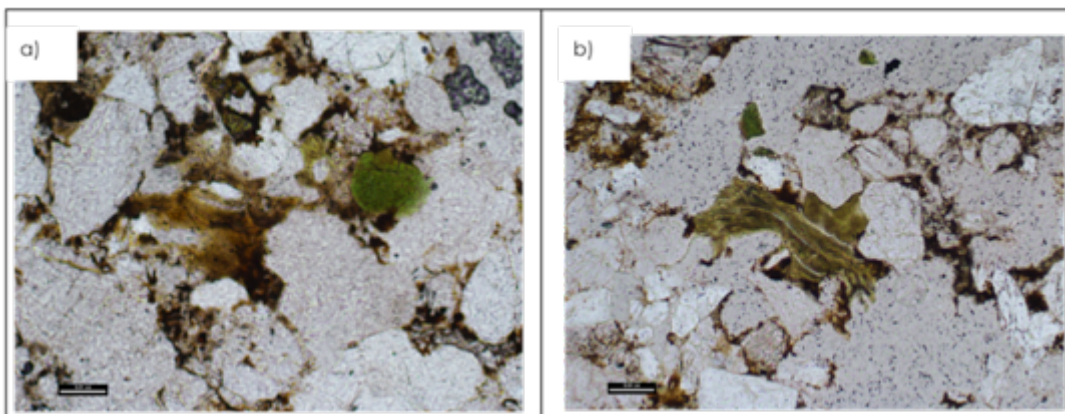


JA-4.1. irudia: Arrokaren ehundura pikorrez eutsia da, tarteka buztin mineralak agertzen dira. a) PPL. b) XPL.

Kuartzoa tramaren %70 da, hauetako %60 monokristalinoa denez, %40 polikristalinoa da. Kuartzoko pikorren arteko tamainan desberdintasun handia dago, izan ere, txikiak 0.05 tamainakoak diren bitartean, handienak 0.8 mm-koak dira.

Feldespato potasikoaren kasuan, tramaren %22 osatzen du. Pikorrak osorik mantentzen diren arren, arrakalak erakusten dituzte jasandako prozesu diagenetikoaren ondorio direnak. Proporzio txikiago batean, tramaren %5 osatuz, glaukonita agertzen da. Batzutan inguruko pikorrei egokituta agertzen den arren, normalean *well rounded* hautespena erakusten du eta batzuetan besteko tamainan 0.2 mm-koa da.

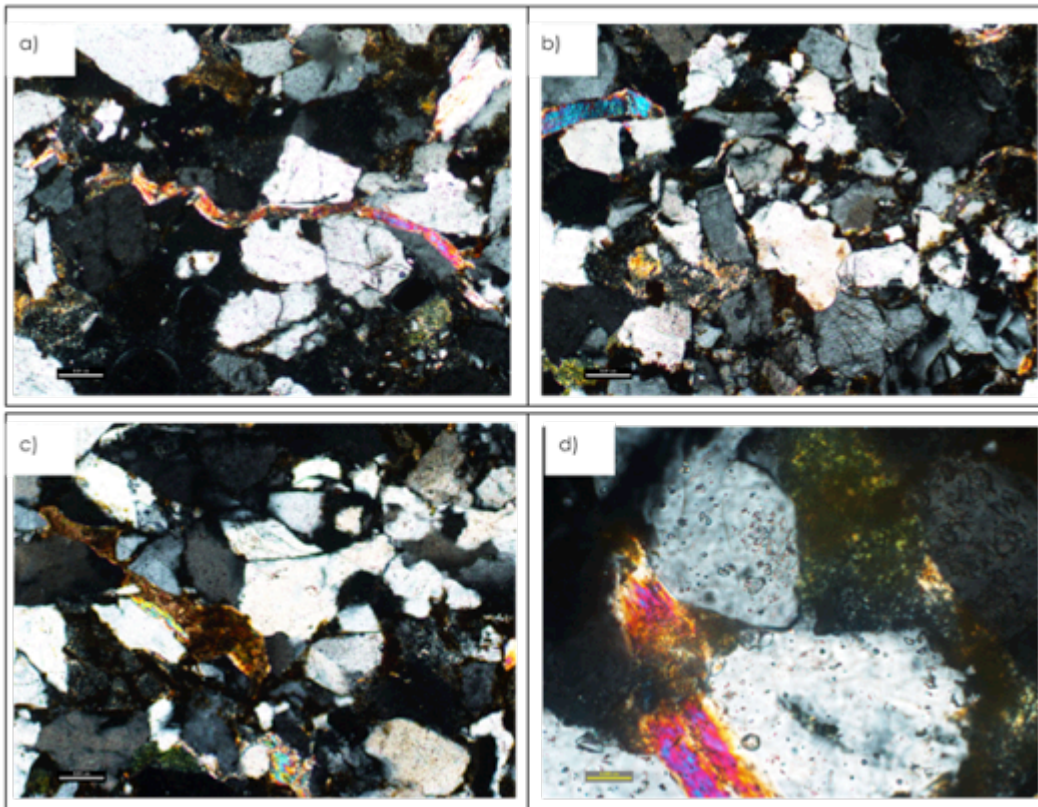
Filosilikatoei dagokionez, moskovita %3 da eta beti hutsuneei egokituta agertzen da. Klorita eta biotita mineralak oso urriak dira eta ez dira iristen tramaren %1 osatzera (JA-4.2. Irudia).



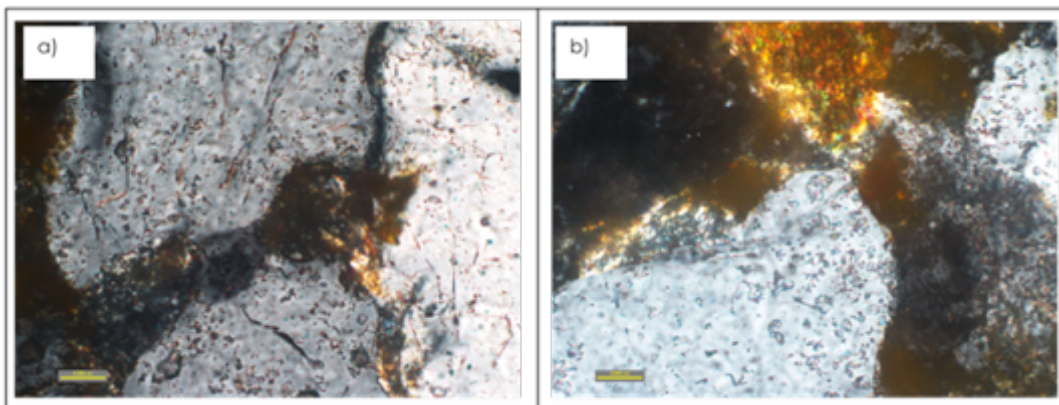
JA-4.2. irudia: Filosilikatoen agerpena xaflan. a) Biotita deformatua beste mineralen artean. b) Klorita beste mineralen artean geratutako hutsuneari egokituta.

Pikorren arteko erlazioa aztertuz, luzetarako kontaktuak, suturatuak eta puntu hirukoitzak ikus daitezke. Erlazio guzti hauek jasandako trinkaduraren adierazle dira. Honetaz gain, moskovita kasu batzuetan chevron toles txikiak osatzen agertzen da eta hau ere trinkadura prozesuan eratzen da (JA-4.3. Irudia).

Honetaz gain, kuartzozko zementazioa ikusi daiteke han hemenka. Zementazio hori buztin mineralak agertzen ez diren lekuan agertzen da, *circunplanular* eta *sintaxial* moduan, baina ez pikor osoa inguratzen, zati batzuetan soilik baizik (JA-4.4. Irudia).



JA-4.3. irudia: Trinkaduraren arrastoak. a) Moskovita guztiz tolestuta jasandako trinkaduraren ondorioz. b) Kontaktu puntualak, planarrak eta moskovita tolestuta. c) Biotita filosilikatua hutsuneetara erabat egokituta eta kuartzozko pikorren artean kontaktu hirukoitzak. d) Moskovita guztiz tolestuta.



JA-4.4. irudia: Kuartzozko zementazioa. a) Bi pikorren artean garatutako zementua. b) Kuartzozko pikor batean, sintaxialki, emandako kuartzozko zementazioa.



Prozesu diagenetikoak desberdintzen dira subarkosaren barnean:

- (i) Trinkadura eta kuartzoko zementazioa: arroka jasandako trinkaduraren ondorioz, kuartzoko pikorren arteko presio disoluzioaren bitartez, kuartzoko zementazioa garatzen da pikorren inguruan, baina ez hauek guztiz inguratuz.

JA-5: Sublitharenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973), Protokuartzita (Selley, 1977).

Harea fina duen protokuartzita (Selley, 1977) edo subalitharenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973) da.

Pikor tamaina 0.5-0.05 mm artean dago, hala ere, 0.5 mm-ko tamainako horiek espezioa dira; izan ere, ohikoak diren pikor tamainak 0.15 mm-tan baitaude. Hautespenari dagokionez, *well sorted* dela kontsideratu daiteke eta pikorren esferikotasuna *subrounded*.

Trama kuartzoz, glaukonitaz, moskovitaz, kloritaz eta opakoz osatuta dago. Honetaz gain, bioklastoak eta intraklastoak ere agertzen dira.

Kuartzoak tramaren %85 osatzen dute, horietatik %70 monokristalinoak dira eta heredadutako uhin-itzaltzea erakusten dute. Geratzen den %30 polikristalinoak dira eta orokorrean bi baino gehiago egoten dira osatuta.

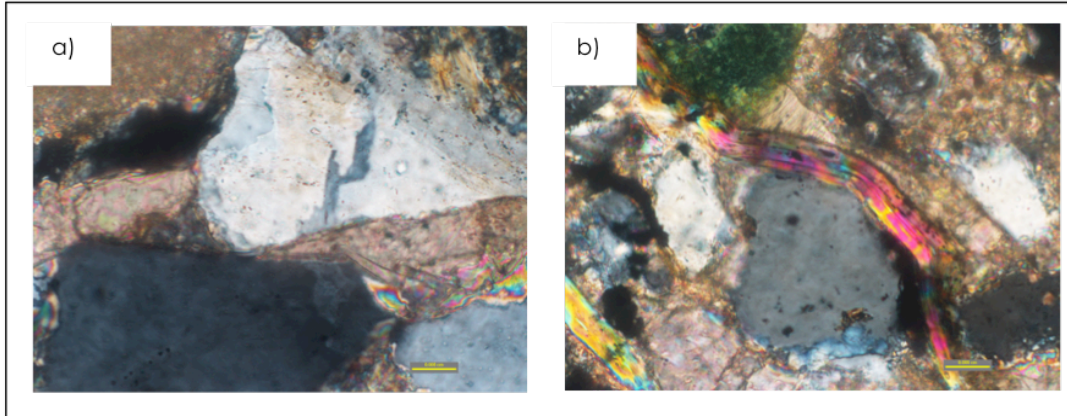
Glaukonita tramaren %3 da, moskovita %2 eta are urriagoak dira klorita eta opakoz ez baitira tramaren %1 izatera heltzen.

Bioklastoei dagokionez, foraminifero bentonikoak agertzen dira, *evolute coil* eta biseriatuak besteak beste. Hauek tramaren %3 osatzen dute. Intraklastoak, aldiz, ugariagoak dira, tramaren %7 osatzen dute. Klasto hauek karbonatozkoak dira eta beraien baitan foraminifero planktonikoak agertzen dira, batez ere globorotalidoak. Horietako intraklasto batzuk birkristalduta agertzen dira eta bertatik garatzen dira kaltzitazko kristal poikilotopikoak. Azken hauek ordezkapen fronteak dituzte (batez ere kuartzoei erasotzen dietenq).

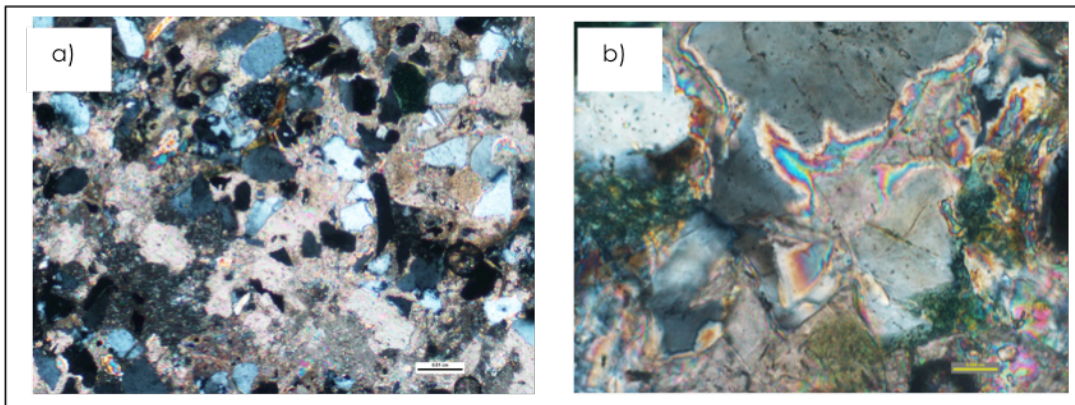
Trinkaduren arrastoei dagokionez, ez dira xaflan osoan zehar garatzen, tarteka kontaktu puntualen bat edo deformazioaren ondorioz tolestutako moskovitaren bat ikus daiteke (JA-5.1. Irudia).

Honetaz gain, kaltzitazko esparita xafla osoan zehar garatuta ikus daiteke, hau intraklastoen birkristaltzez eratutakoa da, beraz, arroka honen ehundura matrizez eutsia izango litzateke. Intraklasto horietatik kaltzitaren ordezkapena

ematen da garatzen da (kaltzitazko kristal poikilotopikoak), batez ere kuartzozko pikorrei erasotzen diena.



JA-5.1. Irudia: Trinkaduraren arrastoak. a) Kontaktu puntuala bi kuartzozko aleen artean. b) Moskovita ondoko pikorrei guziz egokituta eta tolestuta.



JA-5.2. Irudia: Kaltzitazko kristalak xaflan zehar. a) Kaltzitazko kristal poikilotopikoak tramako aleen artean. b) Kaltzitarene ordezkapen frontean kuartzoari eragiten.

Arroka honen barnean desberdintzen diren prozesu diagenetikoak ondorengoak dira:

- (i) Trinkadura: Trinkaduraren efektuak ikus daitezke kontaktu puntual eta moskovitaren deformazioaren bitartez.
- (ii) Karbonatozko ordezkapena: Era homogeenan garatutako prozesua da, batez ere kuartzoei erasotzen diena. Ordezkapen hau karbonatozko intraklastoetatik garatutakoa da eta ordezkapen fronte horiek oso garbi ikus daitezke.

JA – 6: Kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973). Ortokuartzita (Selley, 1977).

Pikor tamaina ertaina erakusten duen kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973) edo ortokuartzita (Selley, 1977).

Hareharri honek erakusten duen pikor tamaina 0.05 – 0.7 mm artean aurkitzen da, pikor ertainen tamaina 0.3 izanik. Morfologiari dagokionez, esferikotasuna *subrounded* da eta hautespena *well sorted*.

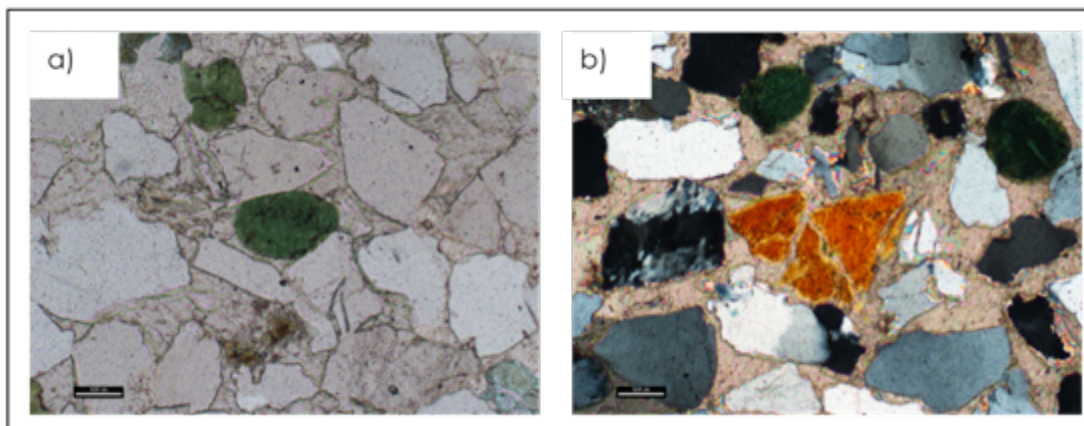
Trama kuartzoz, glaukonitaz, feldespatu potasikoz, moskovitaz, kloritaz, piritaz eta turmalinaz dago osatuta.

Kuartzoa tramaren %95 da eta hauek dira agertzen diren pikor handienak. Horietako %75 monokristalinoak dira, ondorioz, %25 polikristalinoak. Kuartzoko pikorrek erakusten duten batzuek tamaina 0.4 mm da.

Hurrengo mineral ugariena glaukonita da eta tramaren %3 osatzen du, hauen esferikotasuna *well rounded* da eta kasu batzuetan kuartzoko pikorren barnean sartzen dira jasandako trinkaduraren ondorioz (JA-6.1a. Irudia).

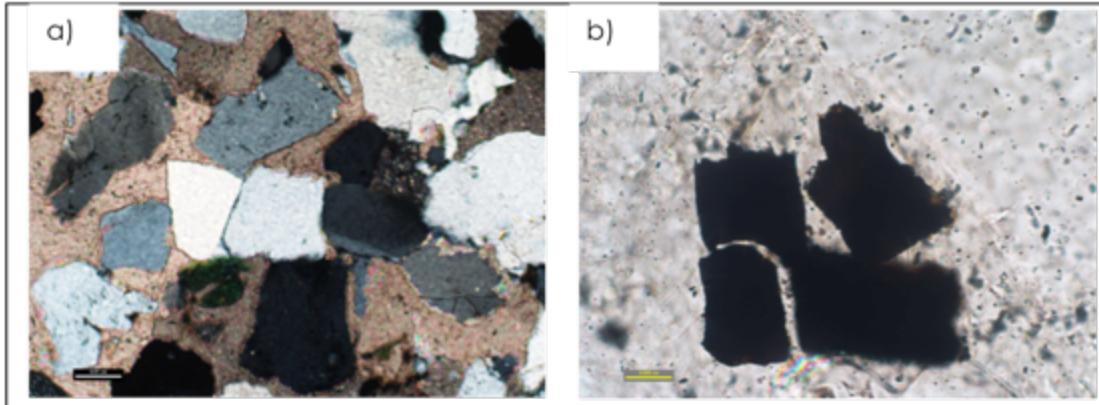
Feldespatu potasikoaren kasuan, %2ko ugaritasuna erakusten du eta horietako pikor batzuk 0.7 mm-ko tamaina erakutsi arren, ohikoenak 0.4 mm-ko tamaina dute.

Klorita, turmalina, pirita eta moskovita oso urriak dira, ez dira iristen tramaren %1a osatzera iristen (JA-6.1b. Irudia.). Turmalina pikorretan karbonatoaren ordezkapen prozesuan arrakalak sortu dira (JA-6.1b. Irudia).



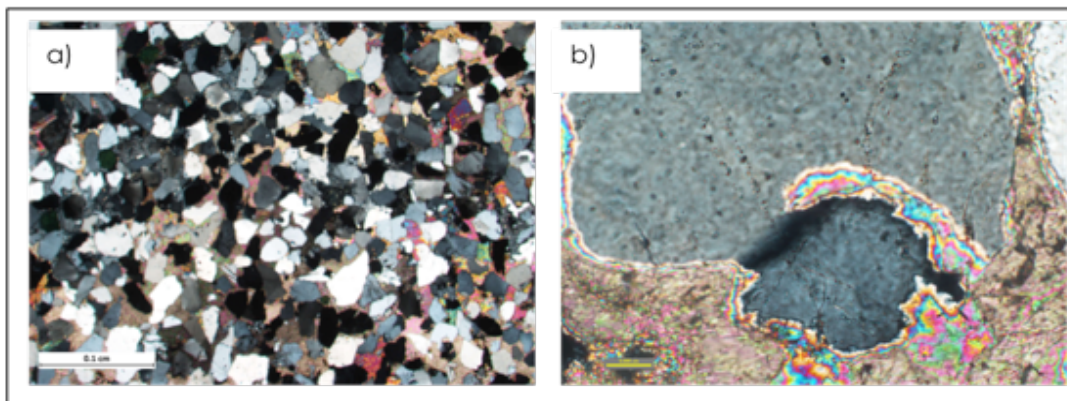
JA-6.1. Irudia: a) *Well rounded* esferikotasuna duen glaukonita. b) Turmalina. Turmalina pikorretan karbonatoaren ordezkapen prozesuan arrakalak sortu dira.

Xaflan zehar, kontaktu puntualak eta planarrak ikusten dira (JA-6.2a. Irudia). Prozesu honen eraginez, eta presio-disoluzioaren bitartez ziurrenik, kuartzoko zementazioa garatu zen, diagenesi isokimikoaren bitartez. Zementazioa *circungranular sintaxial* moduan agertzen da kuartzoko alearen inguruan, baina ez inguru osoan zehar.



JA-6.2. Irudia: a) Kontaktu planarra kuartzoko pikorren artean. b) Pirita.

Kaltzitazko kristalak ere agertzen dira, kuartzoa eta turmalina ordezkatuz, modu homogeneoan, era poikilotopikoan xafla osoan zehar (JA-6.3a. Irudia). Ordezkapen frontea puntu ezberdinetan ikus daiteke (JA-6.3b. Irudia). Kristalak xenomorfoak dira eta 3 mm-ko tamaina baino handiagoa erakusten dute normalean.



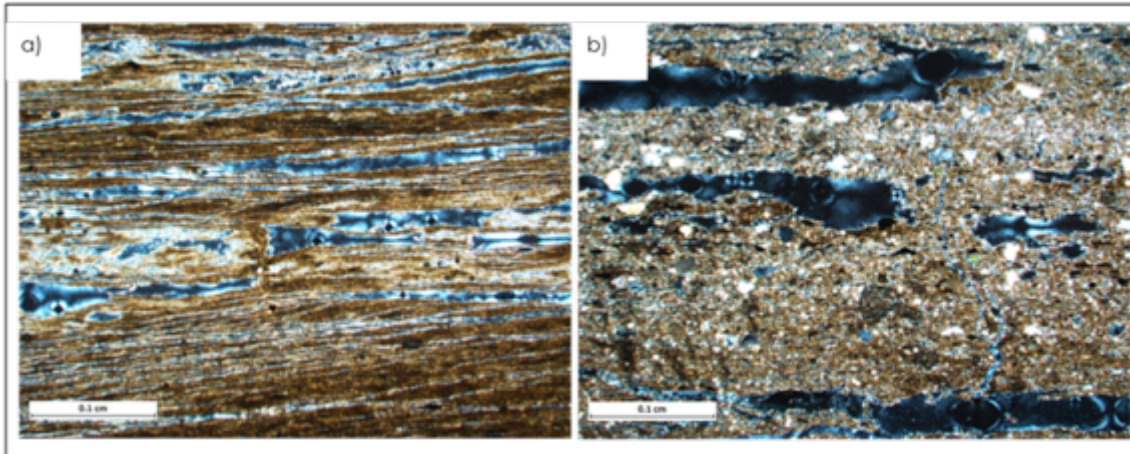
JA-6.3. Irudia: a) Kaltzitazko kristal poikilotopikoak pikorren artean. b) Kaltzitaren ordezkapen fronteak kuartzoko pikorretan.

Hainbat prozesu diagenetiko desberdintzen dira kuartzoaren itaren barnean:

- (i) Trinkadura: Xafla osoan zehar trinkaduraren arrastoak ikus daitezke kontaktu puntual eta planarren bitartez.
- (ii) Silizifikazioa: Trinkaduraren ondorioz garatutako presio disoluzioen bitartez seguruenik, kuartzoko zementazioa eman zen pikorren inguruan sintaxialki.
- (iii) Karbonatozko ordezkapena: Prozesu hau xafla osoan zehar dago garatuta era homogeneoan, kaltzita modu poikilotopikoan kuartzoko pikorrak barne hartzen ditu.

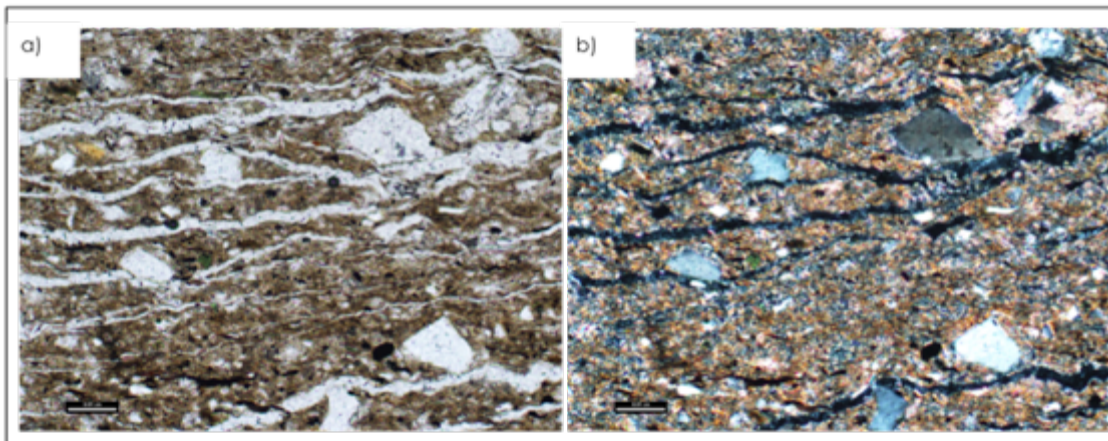
JA – 7: Mudstone (Dunham, 1962), Wackestone (Wright, 1992).

Xafla honetan matriz karbonatatu da nagusi, beraz, arroka matrizez eutsia da. Honen baitan mineralogia ezberdineko hainbat pikor aurki daitezke, hauek gradazio positibo bat erakusten dute, pikor tamaina handiagotik txikiagora ordenatuta baitaude (JA-7.1. Irudia). Ondorioz, mudstone (Dunham, 1962) edo wackestone (Wright, 1992) baten aurrean aurkitzen gara.



JA-7.1. irudia: Gradazio positiboa. a) Xaflaren goiko partean pikor tamaina txikiagoa dute mineralak. b) Xaflaren beheko aldean mineralak pikor tamaina handiagoa da.

Tramako pikorrak 0.2 -<0.01 mm artean aurkitzen dira, 0.08 mm-koak nagusi izanik. Mineralogiari dagokionez, kuartzoak, opakoak, feldespatu potasikoak, glaukonitak, moskovitak, kloritak eta biotitak agertzen dira (JA-7.2.Irudia). Hautespenari dagokionez *poorly sorted* da eta esferikotasuna *angeluar* motatakoa.



JA-7.2. irudia: Trama osatzen duten mineralak. a) Matrizez eutsitako trama, batez ere kuartzoz osatuta, PPL. b) Matrizez eutsitako trama, batez ere kuartzoz osatuta, XPL.

Kuartzoak tramaren %90 osatzen dute, horietatik %90 monokristalinoak dira eta uhin-itzaltzea erakusten dute, geratzen den beste %10 polikristalinoak dira. Opakoak dira hurrengo ugarietak tramaren %5 osatzen dute, feldespatuak %3 eta glaukonitak %2. Honetaz gain, kloritak, biotitak eta moskovitak ere agertzen dira, baina hauek ez dira %1 izatera iristen.

JA – 8: Kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973). Ortokuartzita (Selley, 1977).

Pikor tamaina ertaina duen ortokuartzita (Selley, 1977) edo kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973).

Hareharri honetako pikorrak 0.5 eta 0.05 mm arteko tamainak dituzte, ohikoenak 0.2 mm inguruan daudelarik. Morfologiari dagokionez, *subrounded* esferikotasuna erakutsiko lukete eta hautespena *moderately sorted* da.

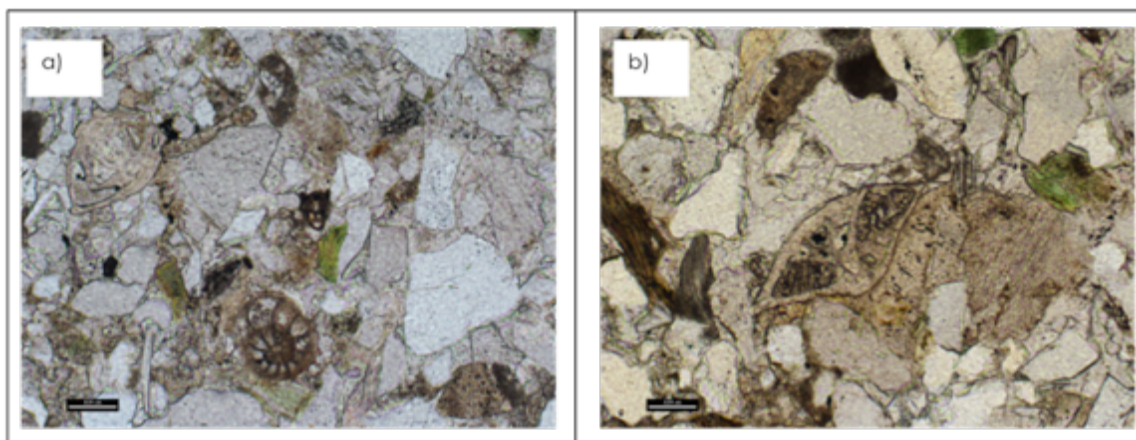
Trama kuartzoz, glaukonitaz, kloritaz, moskovitaz eta opakoz osatuta dago. Honetaz gain, bioklastoak eta intraklastoak ere agertzen dira.

Kuartzoa tramaren %92a osatzen du, horietako %90 monokristalinoak dira eta gehienek heredatutako uhin-itzaltzea erakusten dute. Geratzen den %10 polikristalinoak dira, ugariak hiru baino gehiagoz osatutakoak dira.

Glaukonitako pikorren ertzak oso borobilduak azaltzen dira, *rounded* esferikotasuna erakusten dute. Hauek tramaren %3 dira eta kasu batzuetan kuartzozko pikorren artean egokituta agertzen dira.

Klorita urria da eta soilik tramaren %1 osatzen du. Hare urriagoak dira moskovitak, feldespatu potasikoak eta opakoak, izan ere, ez baitira tramaren %1 osatzera irsiten. Moskovitek erakusten duten luzeetarako tamaina 0.6 mm da, zabalera 0.1 mm. Nahiz eta mineral hau pikorretara egokituta agertzea ohikoa den, kasu honetan tolestuta agertzen da chevron motatako tolesak eratuz eta hau soilik trinkaduraren ondorioz era daiteke. Feldespatu potasikoak, aldiz, duten batzaz besteko tamaina 0.25 mm da.

Aipatutako mineralez gain, bioklastoak ere agertzen dira %2ko ugaritasunarekin. Klasto horiek foraminifero bentonikoak, planktonikoak eta alga gorriak dira besteak beste (JA-8.1. Irudia). Foraminifero bentonikoen kasuan, *evolute coil* motatakoak, nummuliteak, biseriatuak... agertzen dira. Planktonikoen kasuan, aldiz, globorotalidoak dira nagusi.

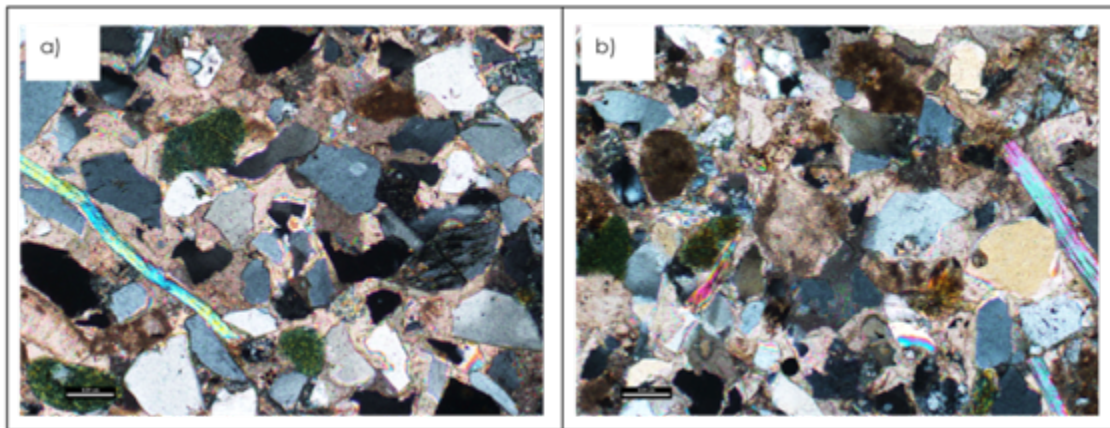


JA-8.1. irudia: Xafan zehar agertzen diren bioklasto ezberdinak. a) Foraminifero bentonikoak: miliolidoak eta evolute coil. b) Foraminifero bentonikoa.

Intraklastoak tramaren %3 dira. Klasto hauek buztin karbonatodun zatiak dira ondoren birkristaltze prozesuak jasan dituztenak (JA-8.2a. Irudia).

Xafla osoan zehar, trinkaduraren ondorioz eraturako aztarnak ikus daitezke kontaktu puntualen, luzeetarakoen eta hirukoitzen bitartez.

Kaltzitazko kristalak agertzen dira, xenomorfoak, modu poikilotopikoan xafla osoan zehar (JA-8.2a. Irudia). Kaltzita hori kuartzoa ordezkatzan agertzen da, ordezkapen fronteak ikus daitezke pikorren barnerantz, kasu batzuetan pikorrak banatzen dutelarik.



JA-8.2. irudia: a) Kaltzitazko kristal xenomorfoak modu poikilotopikoan xaflan zehar. b) Birkristaltze prozesua jasan duen karbonatozko intraklastoa.

Hasiera batean pikorrez eutsitako trama edukiko zuen arren, orain, ordezkapenaren ondorioz, tarteka pikorrak ez dira elkarren artean ikutzen.

Hainbat prozesu diagenetiko desberdintzen dira kuartzoaren itaren barnean:

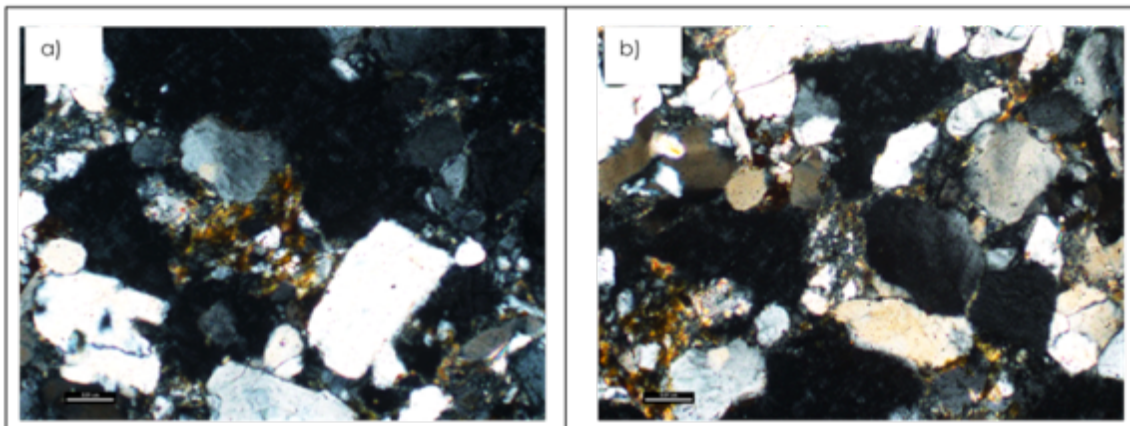
- (i) Trinkadura: Trinkaduraren efektuak ikus daitezke kontaktu puntual, planar eta hirukoitzen bitartez.
- (ii) Karbonatozko ordezkapena: Era homogeneoan garaturako prozesua da eta batez ere kuartzoa erasotzen die. Ordezkapen fronteak oso garbi ikus daitezke. Ordezkapenaren iturria karbonatozko buztinezko intraklastoak izan daitezke, trinkaduraren ondorioz askatutako jariakinen bitartez.

JA – 9: Subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973), Protokuartzia (Selley, 1977).

Pikor tamaina ertaina duen subarkosa (Pettijohn, Potter & Siever, 1973) edo protokuartzia (Selley, 1977) da hareharri hau.

Pikorrek 0.8 – 0.05 mm arteko tamaina erakusten dute, nahiz eta batzuk 1.5 mm izatera iritsi hauek salbuespena dira, ohikoena 0.4 mm izatea da. Ondorioz,

hautespena *poorly sorted* da eta erakusten duten esferikotasuna *subrounded*. Orokorrean, trama pikorrez eutsia da, nahiz eta tarteka buztin mineralak agertu (JA-9.1. Irudia).



JA-9.1. Irudia: A) Trama pikorrez eutsia den arren, tarteka buztin mineralak agertzen dira. b) %1 baino gutxiagoko ugaritasuna duen opaloa.

Trama kuartzoz eta feldespatu potasikoz dago osatuta batik batik. Hala ere, moskovita, glaukonita eta opaloa ere agertzen dira.

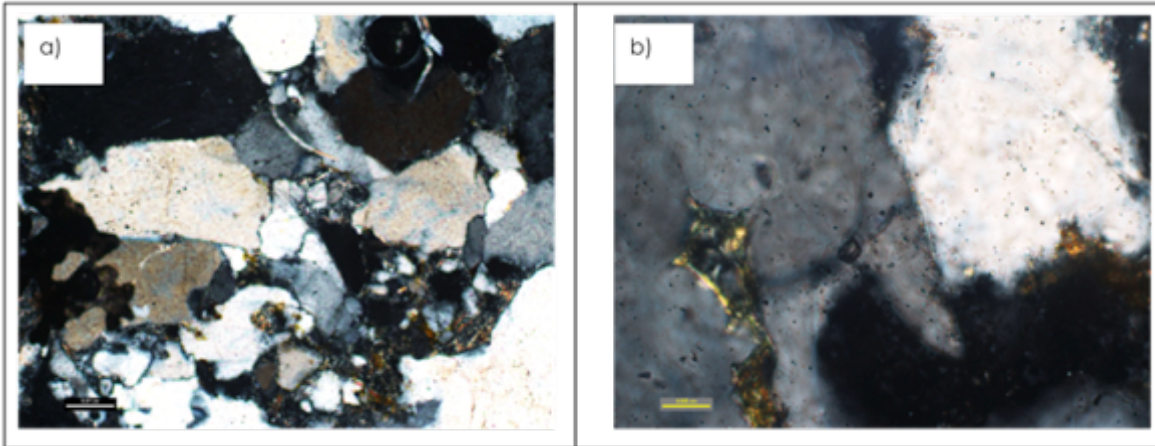
Kuartzoak tramaren %75 osatzen du, horietako %80 monokristalinoak dira, ondorioz, gelditzen den %20 polikristalinoak. Monokristalino horietatik gehienek uhin-itxaltze heredatua erakusten dute eta polikristalinoetatik bi baino gehiagoz osatuta egotea da ohikoena.

Feldespatu potasikoa da hurrengo mineralik ugariena eta tramaren %25 da. Mineral honetakoak dira xaflan zehar agertzen diren pikorrik handienak eta 1.5 mm izatera iritsi daitezke.

Moskovita, glaukonita eta opaloa oso urriak dira, ez dira tramaren %1 izatera iristen. Filosilikatoak 0.3 mm-ko luzeera erakusten dute gehienek, nahiz eta batzuek 0.5 mm-ko luzeerak erakutsi. Hauek pikorren artean trinkatuta agertzen dira. Glaukoniten kasuan, hartzen duten batzuek tamaina 0.2 mm da eta *rounded* esferikotasuna erakusten dute.

Jasandako trinkaduraren arrastoak ikus daitezke kontaktu puntual, luzeetarako eta hirukoitzen bitartez (JA-9.2a. Irudia). Hauek buztin proportzioa txikiagoa den lekuetan nabariagoa da.

Zementazioari dagokionez, buztina agertzen ez den lekuetan agertzen da. Kuartzoko zementazioa da, sintaxialki agertzen da, *circungranular* motakoa, baina ez da pikorren inguru osoan garatzen (JA-9.2.b. Irudia).



JA-9.2. irudia: Jasandako trinkaduraren arrastoak dira xaflan zehar agertzen diren kontaktu hirukoitzak. b) Kuartzozko zementazio sintaxiala, pikorraren alderdi batean bi punta sortu dituen.

Subarkosan desberdinu daitezkeen prozesu diagenetikoak hauek dira:

- (i) Trinkotzea eta kuartzozko zementazioa: Trinkotze prozesua eta kuartzozko zementazioa buztin mineralak agertzen ez diren leketan ikus daitezke trinkadura kontaktu puntual, planar eta hirukoitzen bitartez, eta zementazioa pikorrarekiko sintaxialki. Buztina agertzen den guneetan, honek xurgatuko zuen trinkadura. Trinkadurari esker ematen da arrokararen osotasuna, zementazioak ez baitu "pegamentu" funtzioa egiten han hemenka garatzen baita.

JA – 11: Kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973). Ortokuartzita (Selley, 1977).

Harea ertaina tamainako ortokuartzita (Selley, 1977) edo kuartzoarenita (Pettijohn, Potter & Siever, 1973).

Pikor tamaina 0.9 – 0.05 mm artean dago, batzuetan besteakoa 0.3 mm-an egonik. Trama pikorrez eutsia kontsideratzen da, hautespena *poorly sorted* eta pikorrek *subrounded* esferikotasuna erakusten dute.

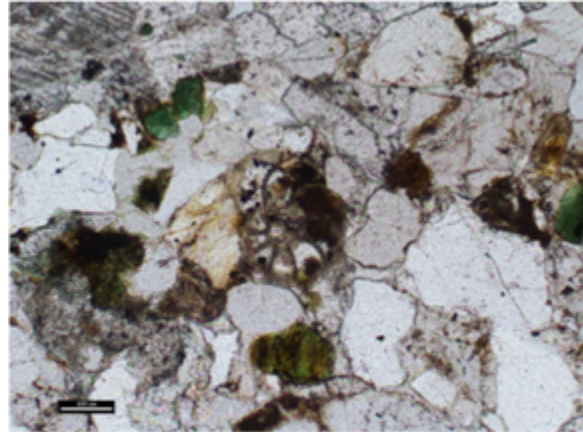
Trama kuartzoz, glaukonitaz, feldespatu potasikoz, kloritaz, moskovitaz, turmalinaz eta opakoz osatuta dago. Honetaz gain, bioklastoak eta intraklastoak ere agertzen dira.

Kuartzoa tramaren %93 osatzen du, monokristalinoak %70 dira eta gehienek uhin-itxaltzea erakusten dute, heredadutakoa. Gainerakoak polikristalinoak dira, ugariak 3 baino gehiagoz osatuta daude.

Glaukonita da hurrengo mineral ugariena, tramaren %5 osatzen du. Kuartzozko pikor batzuk glaukonita deformatzen dute, kuartzoa gogorragoa izanik, glaukonita moldatu egiten da kuartzoaren morfologiara.

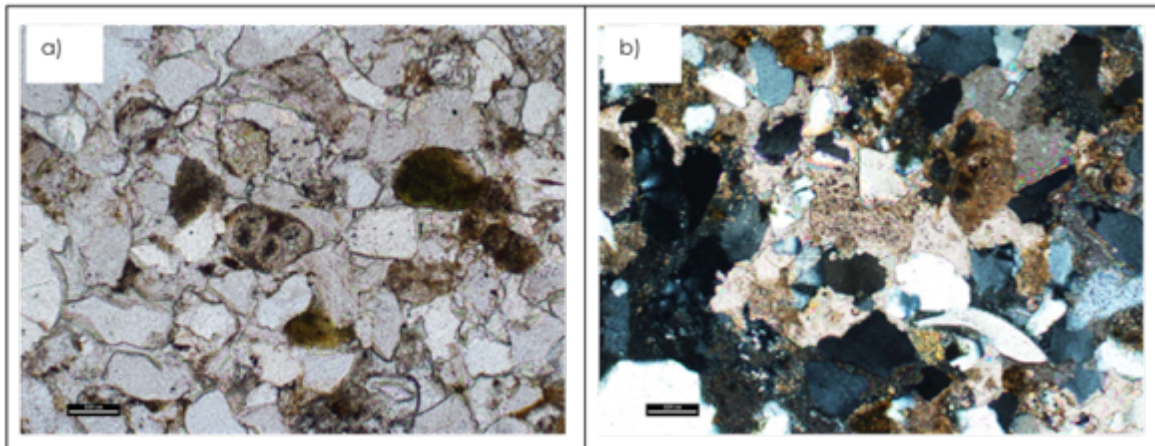
Feldespatu potasikoek, kloritek, moskovitek, turmalinek eta opakoek tramaren %1 osatzera ez dira iristen. Feldespatu potasikozkoa da xafla osoan zehar agertzen den pikor handiena, 0.9 mm-ko tamaina du. Moskovitaren kasuan, tamaina txikikoak dira, hartzen duten batz besteko tamaina 0.15 mm da.

Mineralez gain, xaflan zehar bioklastoak ikus daitezke %2ko ugaritasunarekin. Fosil horiek briozoak, *evolute coil* motatako foraminifero bentonikoak, baita planktonikoak ere (JA-11.1. Irudia).



JA-11.1. irudia: Bioklastoa, foraminifero bentonikoa, *evolute coil* motatakoa.

Intraklastoen kasuan, ez dira tramaren %1 izatera iristen. Hauek karbonatoa duten buztinak dira, ondoren birkristaltze prozesua jasan dutenak. Horietako batzuk foraminifero planktonikoak erakusten dituzte (JA-11.2. Irudia).

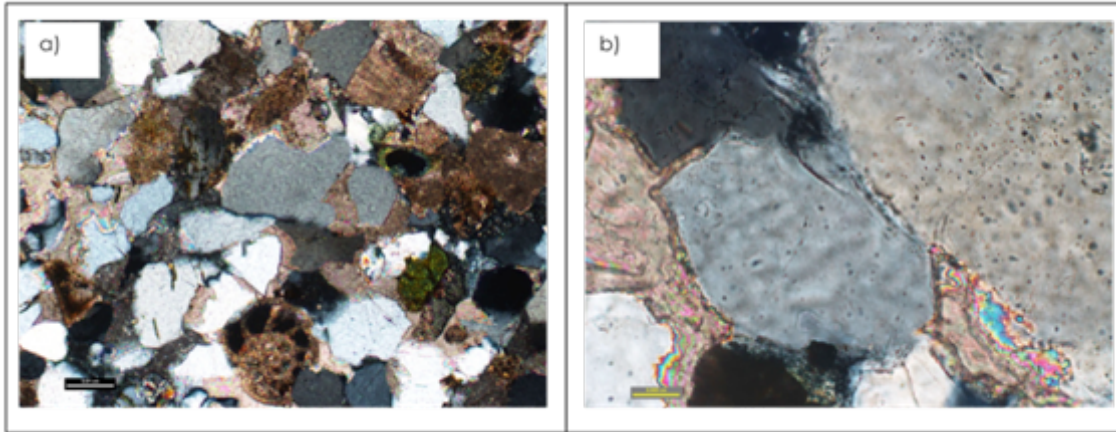


JA-11.2. irudia: a) Intraklastoen itxura, batek foraminifero planktonikoak ditu bere barnean. b) Birkristaltzea jasan duten karbonatozko intraklastoa, bertatik ordezkapena garatzen da.

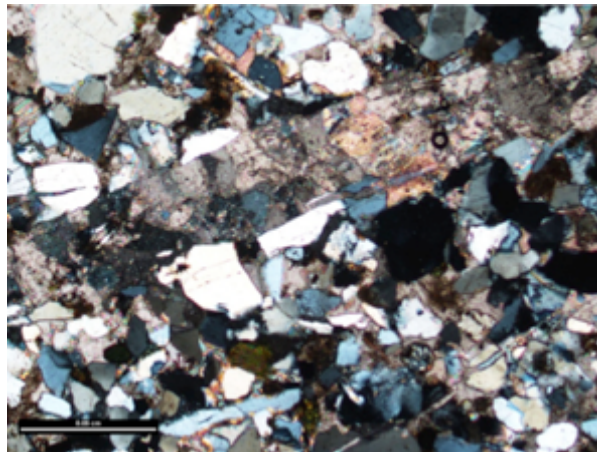
Arrokaren ehundura, jatorrian, pikorrez eutsia da, nahiz eta intraklasto horiek ugariak izan eta batzuetan pseudomatriz bezala jokatu. Pikorrez eutsia den guneeetan trinkaduraren aztarnak ikus daitezke, kontaktu puntualak, luzeetarakoak eta hirukoitzak (JA-11.3b. Irudia). Hala ere, ordezkapen prozesua oso garatuta dagoenez, kaltzitaren ondorioz gunee batzuetan pikorrak ez daude kontaktuan.

Xafla mehean zehar, jatorri karbonatatua zuen matrize sedimentarioaren esparitazioa nagusitzen da. Honetaz gain, kaltzitazko kristal xenomorfoak agertzen

dira era poikilotopikoan xafla osoan zehar era orokorrean (JA-11.3a. Irudia). Intraklasto horien birkristaltzean garatutako jariakinak izango ziren ziurrenik kaltzita xenomorfoen jatorria.



JA-11.3. Irudia: a) Trinkaduragatik eratutako kontaktu hirukoitzaz gain, kaltzitak kuarzoa nola ordezkatzten den ikus daiteke. b) Trinkaduraren ondorioz eratutako kontaktu puntualak eta planarrak.



JA-11.4. Irudia: Kaltzitaz betetako arrakala. Kristal hauek subidiomorfoak dira.

Honetaz gain, kaltzitaz betetako arrakala bat ikusten da xaflan. Kaltzitazko kristal hauek subidiomorfoak dira eta 0.3 mm-ko tamaina erakusten dute (JA-11.4. Irudia).

Arroka honek jasandako prozesu diagenetikoa honako hau da:

- (i) Trinkotzea: Trinkaduraren aztarnak ikus daitezke kontaktu puntual, luzeetarako eta hirukoitzen bitartez.
- (ii) Karbonatoaren ordezkapena: Prozesu hau xafla osoan zehar garatzen da eta batez ere kuartzozko pikorreirei eragiten die.
- (iii) Destrinkotzea: Arroka goranzko bidean, presio aldaketaren ondorioz, arrakalak garatu eta bertan kaltzita hauspeatuko zen.



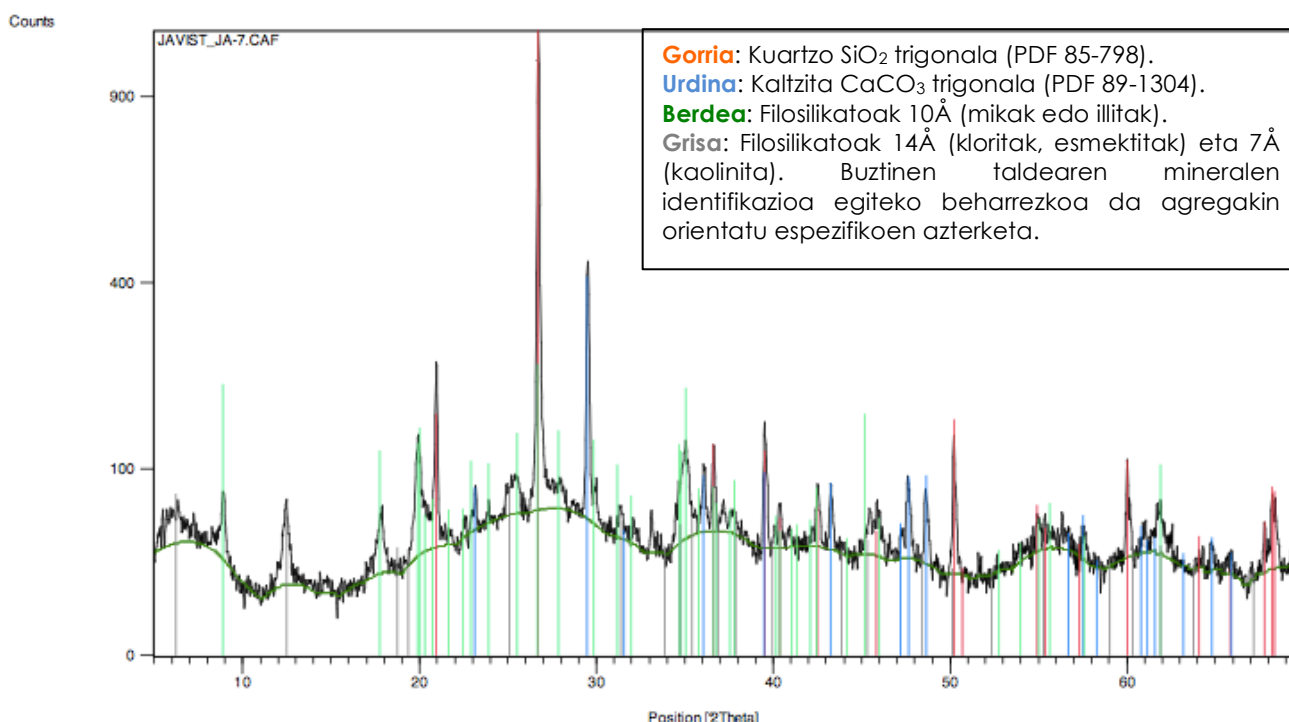
X IZPIEN DIFRAKZIOA

JA-7 tuparen X Izpien Difrakzioa (IXD)

Tuparen lagina eskuz ehotu eta homogizatu da agatazko mortairu batean ondoren X Izpien Difrakzioaren (XID) bidez analisia egiteko. Hautsen IXDa PANalytical Xpert PRO difraktometroan egin da, kuprezko ($\lambda_{Cu_{K\alpha_2}} = 1,5418\text{\AA}$, $\lambda_{Cu_{K\alpha_1}} = 1,54060\text{\AA}$ eta $\lambda_{Cu_{K\alpha_3}} = 1,54439\text{\AA}$) tutua, dibergentzia programagarria duen zirikitua, ganiometro bertikala (Bragg-Brentano geometria duena), laginen aldatzaile automatikoa, grafitozko monokromadore sekundarioa eta PixCel detektorea du. Neurketa baldintzak 40KV eta 40 mA, 5 eta $70^\circ 2\theta$ arteko ekorketa izan dira.

Lortutako difraktogramaren tratamendu informatikoarentzat eta fase ezberdinen identifikaziorako PANalytical X'pert HighScore softwarea erabili da, ICDDko PDF2 basu datuaren konbinaketarekin.

Ondorengo irudiak neurtutako difraktograma esperimentalak eta mineralen identifikazioa modu grafikoan jasotzen du (JA-7.3. Irudia):



JA-7.3. Irudia: Tuparen XIDa. Bertan difraktograma esperimentalak eta mineralen identifikazioa modu grafikoan ikus daiteke.

Tontorren zuzendutako azalera edo bigarren zutabeen adierazitako difrakzioen maximoan oinarrituz, mineral hauen estimazio semikuantitatiboa egin da Schultzen "gaitasun islatzailea" metodoa erabiliz (3. Taula).



3. Taula: XIDren bitartez egindako mineralen estimazioa.

| Minerala | Neurtu beharreko tontorra | Islatzaile gaitasuna |
|--|---------------------------|----------------------|
| Kuartzoa | 3.34 Å | 1.5 (*) |
| Kaltzita | 3.03 Å | 1 |
| Filosilikatoak (buztinaren mineralak) | 4.45 Å | 0.1 (**) |

(*) Illitaren 10 Ån dagoen tontorraren azalera kenduta.

(**) Filosilikatoen islatze ez basalak ez ditu kloritak sartzen.

Emaitza hauekin:

- Kuartzoa: 25%
- Kaltzita: 17%
- Filosilikatuak: 58%

Estimazio semikuantitatibo hauek orientagarriak dira soilik, izan ere, hainbat muga baititu:

- Identifikatutako faseak beti 100% batzen dute. Beraz, beste mineral batzuen kopuru txikiak badaude, ez dira kontuan hartzen kalkuluan, eta egon daitekeen material amorfoarekin berdina gertatzen da. Ondorioz, emaitza hauek identifikatutako mineralen proportzio erlatiboaren estimazioaren emaitzak dira.
- Estimazioa mineral bakoitzaren tontor bakar batean edo difrakzio maximo batean oinarritzen da, baina hauek difrakzioen beste maximoen interferentzia izan dezakete.