

Glaukonitaren sorrera Euskokantauriar arroko Kretazeoko karbonatozko plataformetan

Glaconite occurrence in Cretaceous carbonate platforms of the Basque-Cantabrian basin

Jone Arbulu¹, Arantza Aranburu^{1,2}, Arantxa Bodego^{1,2}



Laburpena

Euskokantauriar arroko (EKA) Aptiar-Albiar adineko (Behe Kretazeoa) glaukonitan aberastutako arroken berrikuspena burutu da. Bi adibide adierazgarri hautatu dira azterketa petrologikoa eta mineralogikoa gauzatzeko: arroaren mendebaldeko nagusiki glaukonitaz osatutako goi Aptiarreko geruza bat eta arroaren ekialdean azaleratzen den behe Aptiarreko glaukonitan aberastutako tartea. EKako glaukonita agerpenak material detritiko fina duten kareharrietan agertzen dira, sakonera txikiko karbonatozko plataforma edo arrapaletan metatutakoak. Ingurune hauek energia eta sedimentazio tasa erlatiboki baxuko inguruneak ziren. Aztertutako glaukoniten garapena diagenesi goiztiarrean (eogenesia) eman zela ondorioztatu da eta glaukonitizazio prozesuan zehar garaikide izan zitezkeen EKako gertakari ezberdinekin alderatu da (adb. Gertakari Anoxiko Ozeanikoak, bolkanismoa, hidrotermalismoa), glaukonitizazioa gertatzeko gertakari hauek baldintzatzaile izan ote daitezkeen ikusteko. Lehen emaitzen arabera, gertakari horiek bakarka harturik ez dute korrelazio zuzenik erakusten glaukonitaren agerpenarekin.

Gako hitzak: Glaukonita, Eogenesia, Behe Kretazeoa, Euskokantauriar arroa.

Resumen

Se ha realizado la revisión de las capas y unidades enriquecidas en glauconitas del Aptien-se-Albiense (Cretácico Inferior) de la Cuenca Vasco-Cantábrica (CVC). Se han seleccionado

¹ Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Geologia Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea. Sarriena auzoa z/g, 48940 Leioa, Bizkaia.

Jone Arbulu, jone.arbulu@ehu.eus, <https://orcid.org/0009-0008-9856-3106>

Arantza Aranburu, <https://orcid.org/0000-0002-0493-085X>

Arantxa Bodego, <https://orcid.org/0000-0003-1825-4239>

² Aranzadi Zientzia Elkartea. Zorroagaina 11, 20014 Donostia.

<https://doi.org/10.21630/mcn.2025.73.06>



dos ejemplos representativos para su estudio petrológico y mineralógico: una capa del Aptiense superior compuesta principalmente de glauconita situada al oeste de la cuenca y un tramo enriquecido en glauconita del Aptiense inferior que aflora al este de la cuenca. Las unidades glauconíticas de la CVC se encuentran desarrolladas en calizas con abundante material detrítico fino, depositadas en plataformas y rampas carbonatadas someras. Estos ambientes sedimentarios eran de baja energía y presentaban una tasa de sedimentación relativamente baja. Los resultados sugieren que el desarrollo de las glauconitas tuvo lugar durante la diagénesis temprana (eogénesis). Además, se ha evaluado la posible relación entre los procesos de glauconitización y distintos eventos contemporáneos en la CVC (Eventos Anóxicos Oceánicos, vulcanismo e hidrotermalismo) que podrían haber influido en los procesos de glauconitización. Los primeros resultados no evidencian ninguna correlación entre la formación de la glauconita y los mencionados eventos de manera individual.

Palabras clave: Glauconita, Eogénesis, Cretácico Inferior, Cuenca Vasco-Cantábrica.

Abstract

A review of glauconite-enriched beds and units from the Aptian-Albian (Lower Cretaceous) of the Basque-Cantabrian Basin (BCB) has been carried out. Two representative examples were selected for petrographic and mineralogical analysis: a glauconite-rich layer from the upper Aptian located in the west of the basin, and a section of the lower Aptian enriched in glauconite cropping out in the east. Glauconites in the BCB occur in limestones with fine detrital material, which were deposited in shallow carbonate platforms and ramps. These sedimentary environments were characterised by low energy and relatively low sedimentation rates. The results suggest that the development of glauconites occurred during early diagenesis (eogenesis). Furthermore, the potential relationship between glauconitisation processes and various contemporary events in the BCB (Oceanic Anoxic Events, volcanism and hydrothermal activity) has been evaluated to analyse the possible influences of these events on glauconitisation processes. Preliminary results indicate that there is no direct correlation between individual events and glauconitisation processes.

Key words: Glauconite, Eogenesis, Lower Cretaceous, Basque-Cantabrian Basin.



Sarrera

Glauconita kolore berde bereizgarria duen miken taldeko filosilikato hidratatua da. Konposizio kimiko aldakorra duenez, burdinean (Fe) aberatsa den esmektitatik Fe-an aberatsa den illita bitarteko segidako mineralen multzoa izendatzeko erabiltzen da *glauconita* terminoa (Burst, 1958a; b; Odin eta Matter, 1981; López-Quirós et al., 2019). Ondorioz, gaur egun onetsitako glaukonitaren formula orokorra $(K,Na)(Fe^{3+},Fe^{2+},Al,Mg)_2\ 3[Si_3(Si,Al)O_{10}](OH)_2\cdot 4H_2O$ da (Tribovillard et al., 2023).

Glaukonita pikorrak orokorrean kristal txikien agregatuak izaten dira eta hauek sedimentuan aurkitzen den pikorra baliatzen dute nukleatu eta garatzeko (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Rubio eta López-Pérez, 2024). Glaukonita agregatuek hainbat morfologia aurkezten dituzte arroka eta sedimentuetan, hainbat sailkapen proposatu direlarik aurreko mendean zehar (adb. Cayeux, 1916; Millot, 1964). Sailkapen horietako bat Odin eta Fullagarrek (1988) proposatutakoa izan zen, bertan glaukonita kristal agregatuak bi morfologia nagusiren arabera sailkatu zituzten: granularra eta laminatua. Agregatuek forma granularrak aurkezten dituzte barne molde, pellet, bioklasto edo glaukonitizazio prozesua jasan duen pikor edota mineral gisa agertzen direnean.

Bestalde, glaukonitek nukleo gisa tamaina handiko bioklastoak, nodulu sinsedimentarioak eta sedimentuen gainazalak baliatzen dituztenean, forma laminatua aurkezten dute, milimetro batzuetako zarakarrak osatuz (Odin eta Fullagar, 1988).

Glaukonita mineralean erlatiboki aberastutako unitate edo geruzen sorrera Lurraren historian zehar adin eta ingurune sedimentario ezberdinetan eman bada ere (Banerjee *et al.*, 2016; Roy Choudhury *et al.*, 2022), asko izan dira Kretazeo eta Holozenoan zehar garatu direnak (Banerjee *et al.*, 2016). Euskokantauriar arroan (EKA) ere honelako unitate eta geruza sedimentarioak deskribatu dira, askoren adina Kretazeoa izanik (Rosales, 1995; Aranburu, 1998; López-Horgue *et al.*, 1999; Quintanar, 2003; Millán, 2009).

Lan honen helburua Euskokantauriar arroko Aptiar-Albiar (Behe Kretazeoa) adineko glaukonitan aberastutako unitateen eta geruzen agerpenen berrikuspina egitea izan da. Horietatik bi adibide aukeratu dira azterketa petrologikoa eta mineralogikoa egiteko: arroaren mendebaldeko Jorrios mendiko goi Aptiarreko glaukonitadun geruza (Aranburu, 1998) eta arroaren ekialdeko Aralar mendizerrako behe Aptiarreko unitatearen tarte (Millán, 2009). Datu hauetaz baliatuz, EKAko glaukonitan aberastutako unitate/geruzek amankomunean dituzten ezaugarriak deskribatu dira eta sortu ditzaketen faktoreen azterketa eta eztabaida gauzatu da.

Glaukonitizazio prozesua eta lekutzea

Glaukonita arroka sedimentario, nagusiki itsastarretan, sortzen den mineral autigenikoa da. Hala ere, honen kristalizazioa eta hazkuntza prozesuak nola ematen diren eztabaidagai izaten jarraitzen du.

Glaukonitizazio prozesua azaltzeko proposatu diren hiru hipotesietatik bi, sedimentuaren eta itsas-uraren arteko elkartrukean oinarritzen dira (Burst, 1958a,b; Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1998). Hipotesi hauen baitan burdin (Fe) eta potasio (K) ioiak aintzindaria den buztin mineral batera sartzen direla iradokitzen

da, baina bakoitzak sarrera hau modu ezberdinetan gertatzen dela diote. Karbonatozko sedimentuetan gainera, elementu hauen sarrera momentu ezberdinetan ematen dela ikusi da, sedimentu hauen erreaktibotasunak glaukonitizazio prozesua errazten duelarik.

Hirugarren hipotesia feldespatopotasikoen degradazioan oinarritzen da (Dasgupta *et al.*, 1990).

Modelo guztiek glaukonitizazio prozesua diagenesiaren lehen estaietan gertatzen dela proposatzen dute (Burst, 1958a; b; Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Dasgupta *et al.*, 1990), eta beraz, glaukonitaren kristalizazioa tenperatura erlatiboki baxuetan emango da. Laborategian egindako esperimientuen arabera, kristalizazio tenperaturak 3-60°C bitartekoak dira (Harder, 1980; Baldermann *et al.*, 2017; López-Quirós *et al.*, 2020, 2023; Nieto *et al.*, 2021).

Glaukonitizazioaren garapena emateko beharrezkoa den beste baldintza ingurunea partzialki erreduktorea izatea da (Burst, 1958a; b; Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Tribovillard *et al.*, 2023; Rubio eta López-Pérez, 2024). Baldintza hau lortzeko materia organikoaren presentzia lagungarria da, honen deskonposizio aerobikoak oxigenoa kontsumitu eta baldintza erreduzitzaileak sortuko bait ditu (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Baldermann *et al.*, 2012, 2017; López-Quirós *et al.*, 2020, 2023; Nieto *et al.*, 2021; Roy Choudhury *et al.*, 2021, 2022; Tribovillard *et al.*, 2023).

Bestalde, glaukonita mineralak bere egituran Fe, magnesio (Mg), K, aluminioa (Al), sodioa (Na) eta silizioa (Si) elementuak dituenenez, kristaltze prozesuan ingurunetik elementu hauek eskuratu beharko ditu (Odin eta Matter, 1981). Mg eta Na katioiak itsas uretatik eratorriak direla uste da (Odin eta Matter, 1981). Aldiz, itsas-uraren Fe, K, Si eta Al kontzentrazioak baxuegiak dira glaukonita pikorren garapena sustatzeko (Odin eta Matter, 1981; Amorosi, 1997; Fernández-Landero eta Fernández-Caliani, 2021). Si eta Al katioiak, inguruko filosilikatoen disoluzio edota degradazio mikrobiana- notik eratorriak izan daitezke (Rubio eta López-Pérez, 2024). Bestalde, kristalizazio ingurunean Fe eta K katioien aberastasuna nola ematen den azaltzeko hipotesi ezberdinak proposatu dira.

- Potasio katioien jatorriaren inguruan, bi hipotesi lantzen dira gaur egun: (i) sedimentuan azaltzen diren filosilikato eta feldespatotatik eratorria izatea (Dasgupta *et al.*, 1990; Jiménez-Millán *et al.*, 1998; Al-Bassam *et al.*, 2019; Roy Choudhury *et al.*, 2022) eta (ii) K gutxiko itsas ura (Odin eta Matter, 1981).
- Burdinaren jatorriaren inguruan hainbat hipotesi nagusi daude gaur egun. Lehen hipotesiaren arabera burdinak jatorri kontinental izango luke eta ibai-uren bitartez Fe oxidoak zein katioiak arrora iritsiko lirateke (Odin eta Matter, 1981;

Banerjee *et al.*, 2020; Fernández-Landero eta Fernández-Caliani, 2021). Bigarren hipotesiak mikrobioek eragindako materia organikoaren degradaziotik Fe askatuko litzatekeela adierazten du (Baldermann *et al.*, 2012; Nieto *et al.*, 2021). Beste autore batzuek, Fe katioiak mikrobioek eragindako burdin oxi-hidroxidoen degradaziotik askatzen direla diote (Baldermann *et al.*, 2017; López-Quirós *et al.*, 2020, 2023). Laugarren hipotesi baten arabera, Fe katioien jatorria gertakari bolkaniko eta azpibolkanikoak izango lirateke. Urpeko gertaera horiek burdinaz gain hainbat elementutan aberasten dute itsasoko ura: manganeso (Mn), zink (Zn), kobrea (Cu), bariora (Ba), Silizioa (Si), kaltzioa (Ca), rubidioa (Rb), litioa (Li), potasioa (K), boroa (B), etab (Odin eta Matter, 1981; Amorosi, 1997; Schulz eta Zabel, 2000; Reolid eta Abad, 2013).

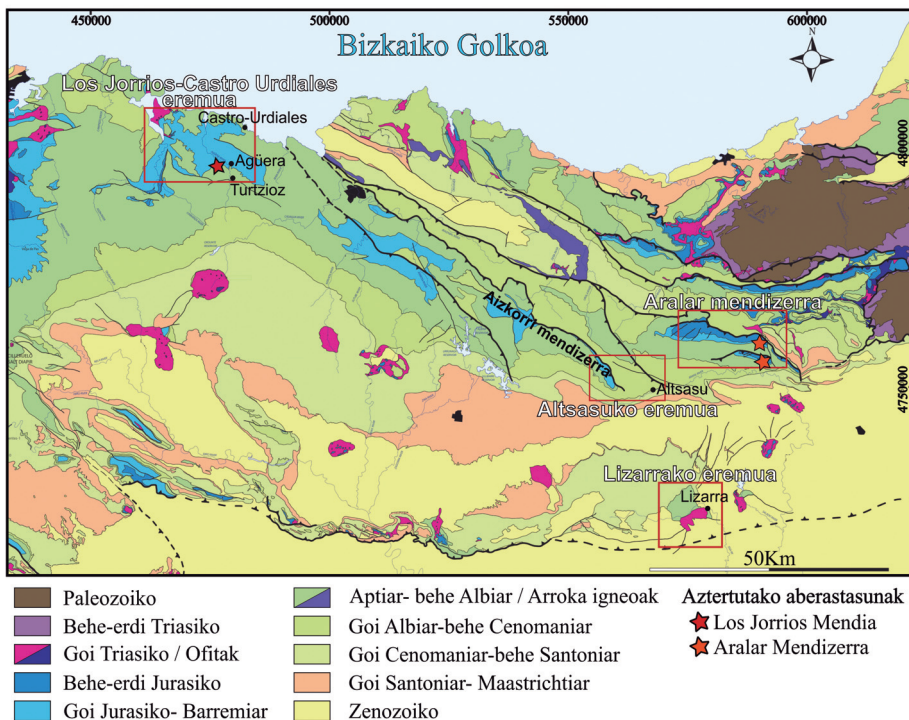
Bestalde, glaukonitaren pikorren garapenean mikrobioek katalizatzaile modura jokatzeko dutela behatu da, inguruneke baldintzak egokitzen dituztelarik glaukonitaren hauspeatzea erraztuz (adb. Baldermann *et al.*, 2012; Nieto *et al.*, 2021).

Gaur egun plataforma kontinental eta latitude ezberdinetan, munduko ozeano guztietan behatu da glaukonita familiako mineralen hazkuntza. Glaukonita pikor hauek, nagusiki izaera silizeoa zein karbonatozkoa duen kanpo plataforma ingurunean azaltzen dira (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fröhlisch, 1988; Lamboy, 1976).

Euskokantauriar arroko glaukonitadun unitateak

Lan honetan aztergai diren arroak EKA kokatzen dira (Ir. 1). Mesozoiko garaian eratu eta Alpetar orogeniaren ondorioz inbertsioa jasan zuen *rift* motako arroa da EKA. Bere eboluzioa Bizkaiko Golkoaren eta Pirinioetako *rift*-sistemaren garapenearen ondorio zuzena da, Europako eta Iberiako plaken mugimendu erlatiboak baldintzatua (adb. Montadert *et al.*, 1979; García-Mondéjar *et al.*, 1996). Arroaren irekitzean emandako hiperestentsio prozesuak mantuaren exhumazioa bideratu zuen Albiar-Cenomaniarrean (adb. Roca *et al.*, 2011; Tugend *et al.*, 2014). Kretazeo berantiarretik Miozeno goiztiarra bitartean bi plaka hauen arteko konbergentziak (Alpetar orogeniak) arroaren laburtzea eta inbertsioa ekarri zuen (adb. Choukroune, 1976; Teixell, 1995).

EKA Behe Kretazeoko materialetan glaukonitan aberastutako hainbat agerpen deskribatu dira (Taula 1; Ir. 1) (Rosales, 1995; Aranburu, 1998; López-Horgue *et al.*, 1999; Jiménez-Millán *et al.*, 2001; Quintanar, 2003; Millán, 2009). Agerpen horiek nagusiki glaukonitaz osatutako geruzetan (Castro-Urdialeseko eremuan eta Jorrios mendian) edota formazio batzuetan glaukonita pikorretan aberastutako unitate litoestratigrafiko gisa azaleratzen dira (Aralar mendizerra, Altsasuko eremua eta Lizarrako eremua).



1. Irudia.- Euskokantauriar arroko mapa sinplifikatua. Miró eta lankideetatik (2020) moldatua, Aptiar - Albiar glaukonita aberastasun ezberdinen eremuak lauki gorritz adierazita. Lan honetan aztertutako azaleramenduen kokapena izarrez adierazita.

Figure 1.- Simplified map of the Basque-Cantabrian Basin, modified from Miró et al. (2020). Red squares show Aptian–Albian areas exhibiting glauconite abundances. The locations of the outcrops analysed in this study are indicated with stars.

Metodologia

Lan honetan EKAko Aptiar-Albiar arteko adina duten materialetan deskribatutako glaukonitadun tarteen informazioa bilatu da (argitarapenetan zein argitaratu gabeko doktorego tesietan oinarrituta). Datu kartografikoetarako *software* askeko QGIS programa baliatu da. Aztertu diren eremu ezberdinetako mapa kartografiko eta geologiko geoerreferentziatuak eta MDT datuak osatzeko Nafarroako datu espazialen azpiegiturako (IDENA), *Instituto Geológico y Minero de España*ko (IGME-CSIC) eta *Instituto Geográfico Nacional*eko (IGN) datu baseak erabili dira. Irudiak egiteko *Inkscape software* askea erabili da.

Landan, azaleramenduen begizko azterketak egin eta 9 esku-lagin hartu dira.

Laborategian azterketa petrografikoa egiteko 29 xafla mehe erabili dira. Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Geologia saileko Nikon SMZ 745T lupa binokularra eta

Eremua	Unitate Litoestratigrafikoak	Litologia	Fosil Bereizgarriak	Ingurune Sedimentarioak	Adina
Castro-Urdialeseko eremua (Rosales, 1995)	Castillo de Ocharan unitatea	Lohiharriak	Bioturbazioak, amoniteak eta ostreidoak	Ezponda-sakonera handiagoko arroa	Behe Aptiar
		Tupa eta kareharri tupatsuak Kareharri nodulotsu eta hareatsuak	Ostreidoak	Emari detritiko ugariko karbonatozko erdi arrapala	
Jorrios mendia (Aranburu, 1998)	Sopuertako ostreidodun kareharri nodulotsuak unitatea	Kareharri hareatsuak	Bioturbazioak eta ostreidoak	Emari detritikodun karbonatozko kanpo arrapala	Goi Aptiar
		Kareharri tupatsu	Ostreidoak		
Aralar mendizerra (Millán, 2009)	Errenaga Fm	Kareharri nodulotsuak Kareharri tupatsu, lutita eta kareharriak	Orbitolina, ostreidoak eta amoniteak	Arrapala mistoa	Behe Aptiar
		Kalkarenitik	Orbitolinak		
	Sarastarri Fm	Bioklastodun kareharriak	Bibalbio maskorrak, ostreidoak eta orbitolinak	Karbonatozko plataforma	Behe Aptiar
	Lareo Fm	Lutita beltzak	Orbitolinak, ostreidoak eta amoniteak	Arrapala mistoa	Behe Aptiar
Altsasuko eremua (Quintanar, 2003)	Egino Fm	Kareharri hareatsuak	Bioturbazioak, formainifero plantonikoak, kaltziesferaak, orbitolinak eta amoniteak	Karbonatozko plataforma isolatuak	Goi Albiar
		Kareharri mikritatsuak			
	Araia Fm	Wavy kareharriak		Karbonatozko plataformen ezponda eta ildoak	Goi Albiar
		Bretxak			
Lizarrako eremua (López-Horgue et al., 1999)	Zufia Fm	Kalkarenitik	Belaki espikulak eta krinoideo plakak	Karbonatozko plataforma	Goi Albiar
		Tupa eta kareharri tupatsuak	Belaki espikulak eta foraminifero plantonikoak		
		Lohiharriak	Bioturbazioak, amoniteak eta serpulidoak		
		Wackak		Emari detritikodun kanpo plataforma basatsua	Goi Albiar

1.Taula.- EKAN glaukonitan aberatsak diren unitate litoestratigrafikoak, autore ezberdinek esleitutako ingurune sedimentarioa eta adina.

Table 1.- Lithostratigraphic units rich in glauconite from the BCB, showing the assigned sedimentary environments and ages according to different authors.

Olympus BHI mikroskopia petrografikoa erabili dira. Laginen azterketa mineralogikoa burutzeko X izpien difrakzioa (XID) gauzatu da UPV/EHUko *Sgiker* Zerbitzu Orokorretan. Analizatzeko bost laginak agatazko almaizean birrindu dira. Lortutako difraktogramak PANalytical X pert HighScore *softwarekin* aztertu dira, ICDD-ren PDF2 datu basea baliatuz.

Emaitzak

EKAko eremu ezberdinetako glaukonitadun litologia horiek hainbat ezaugarri amankomun erakusten dituzte (Taula 1). Glaukonita agerpen mota bakoitzetik adibide bana ikuspuntu petrologiko eta mineralogikotik aztertu da. Jorrioseko eremuan nagusiki glaukonitaz osatuta dagoen Hoyo las Fuentes geruza aztertu da eta Aralar mendizerran bestalde, glaukonita pikor ugari (barreiatuak) dituzten Errenaga Formazioko arroak aztertu dira.

Jorrios mendiko unitate glaukonitikoa

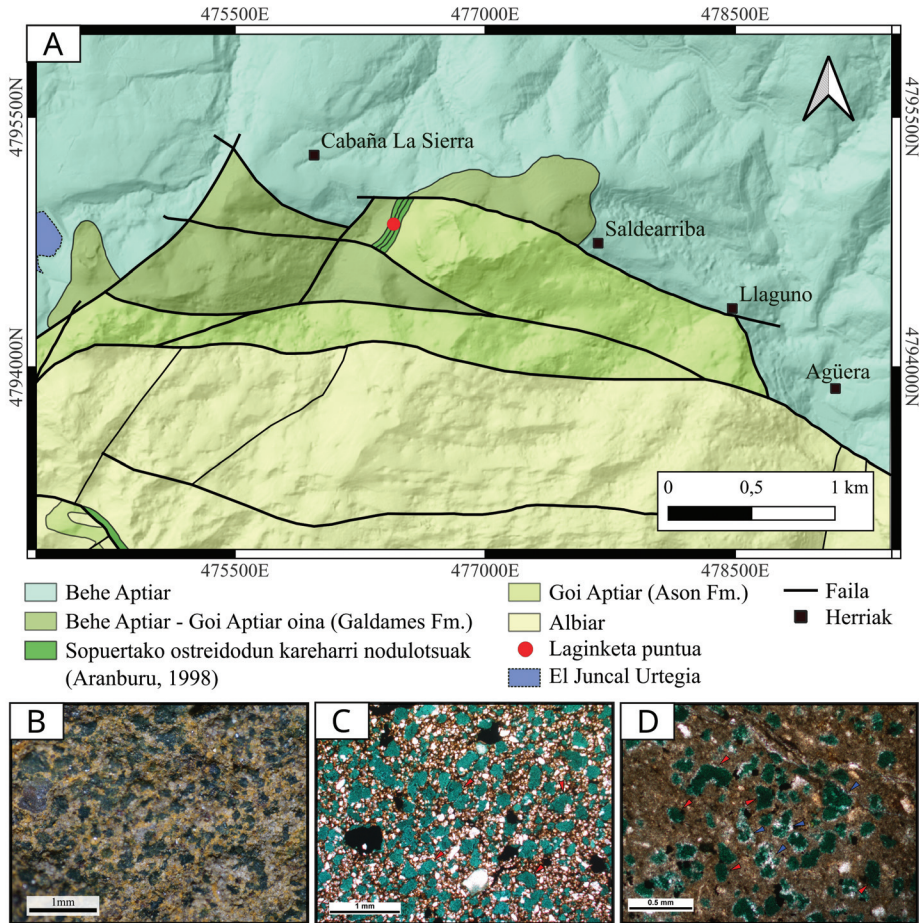
Jorrios mendiko Hoyo las Fuentes tarte glaukonitikoa Aranburuk (1998) deskribatu eta izendatu zuen “Sopuertako ostreidodun kareharri nodulotsuak” unitatearen gaineko partean azaleratzen da, amoniteen bio-zonazioko *nutfieldienseis* zonaren baitan (gaur egungo amoniteen *epicheloniceras martini* biozona). Unitate hau García-Mondéjarrek (1982) definitutako Galdames Formazioaren goiko partea da eta formazio honen gainetik Ratek (1959) definitutako Asón Formazioko kareharri eta kalkarenitak kokatzen dira (Ir. 2A).

Azaleramenduan bost metro inguruko lodiera duen eta orokorrean alterazio zantzuak erakusten dituen kolore berdexkako tarte bat da. Esku-laginean glaukonita pikorrak oso ugariak direla ikusten da, arrokarik kolore berdexka emanez (Ir. 2B). Glaukonitadun faziesak arenita/*waka* izaera daukate, lekuan lekuko, dezimetro edo zentimetroetako lodierako geruzetan banatzen direnak eta hauen artean tupa geruzak tartekatzen dira.

Azterketa petrografikoaz ikus daiteke arroka honen osagai nagusia glaukonita pikorrak direla (% 30-40) (Ir. 2B, 2C). Glaukonitaz gain kuartzo pikorrak, bioklasto ezberdinak -ekinodermatu plakak eta ostreido maskor zatiak, beharrezko- eta elementu opakoki ugari ikusten dira matrize mikritiko batean (Ir. 2D). Arroka hau glaukonitazko arenita/*waka* bat bezala sailkatu da, glaukonita pikorrek harea finetik oso finerako tamaina aurkezten dutela kontuan izanik.

Glaukonita pikorrak 0,06-0,18 mm bitartekoak dira, eta morfologia anahedral-subhedralak dituzte. Kuartzoak tamaina txikiagoko pikor detritiko angelutsuak dira. Elementu opakoei dagokienez, hauek bi multzotan banatu daitezke. Batzuk 5 mm inguruko pikor subhedralak dira, glaukonita eta kuartzo inklusioekin. Besteak berriz, morfologia ezberdinetako pikor txikiagoak dira, batzuk oso euhedralak eta beste batzuk luzangak, batzuetan multzokatuta ageri dira. Ostreido maskor zatiak silizifikatuta azaltzen dira. Kasu batzuetan maskorraren barnean kuartzo euhedralak (autigenikoak) azaltzen dira.

Matrizea nagusiki mikritatsua da, baina honek kolore marroixka du. Hala ere, mikritaz gain matrizean ehundura planar porfirotopikoa duten dolomita kristalak ikusi daitezke. Dolomitaren kontzentrazioa aldakorra da arrokan zehar. Dolomita kristal batzuek partzialki estaltzen dituzten kolore berdeko orbanak dituzte. Bestalde, glaukonita pikorrak inguratuz esparita kristalak azaltzen dira, baina orokorrean ez dira pikor guztia inguratzen iristen eta ez dute orientazio zehatzik aurkezten. Esparita pikor hauek *equant-bladed* bitarteko forma aurkezten dute: kristal ekidimentsional eta subhedralak dira. Eredu batzuetan esparitak glaukonita pikorrak guztiz inguratu eta glaukoniten arteko matrize osoa ordezkatzeko du *drusy* morfologia duten kristalez. Gainera, glaukonita pikor batzuetan esparita kristalak ikusi daitezke pikorraren barruan. Esparita kristal hauek, glaukonita pikorrak inguratzen dituztenak baino handiagoak eta euhedralagoak dira.



2. Irudia.- A) Jorrios eremuaren mapa geologiko sinplifikatua, glaukonitak azaltzen diren azaleramendua puntu gorritz adierazita, Aranburu (1998) eta Robador eta lankidetatik (www.igme.es) moldatua. B) Esku-lagina lupa binokularrean, glaukonita pikor ezberdinak ikusgai. C) Glaukonita pikorrak mikroskopio petrografikoan berde kolore bereizgarritz (gezi gorritz adierazita) matrize dolomitikoan, nikole paraleloekin (PPL). D) Glaukonita pikorrak matrize mikritikoan (gezi gorritz adierazita) eta esparita pikorrak glaukonita pikorren inguruan (gezi urdinez adierazita) (PPL).

Figure 2.- A) Simplified geological map of the Jorrios area with indication (red dots) of glauconite-rich unit outcrop, modified from Aranburu (1998) and Robador et al. (www.igme.es). B) Hand sample under binocular microscope showing glauconite grains. C) Glauconite grains (red arrows) within a dolomitic matrix under plane-polarized light in thin section (PPL). D) Glauconite grains (red arrows) in a micritic matrix, surrounded by sparite crystals (blue arrows) (PPL).

Matrizean estilolitoak ageri ohi dira eta kasu batzuetan, estilolitoak glaukonita pikorretara moldatzen direla ikusi daiteke.

Mineralogiari dagokionez, arrokaaren konposaketa kaltzita (% 40-50), kuartzoa (% 30-40), dolomita/ankerita (% 5-10), miken familiako filosilikatoak, glaukonita minerala barne (% 30-40) eta goethita dira (% 3) XID analisisen arabera.

Interpretazioa

Ingurune sedimentarioari dagokionez, glaukonitazko arenita/*wakaren* izaera mikritatsuak itsas-ingurune lasaian metatu zirela adierazten du. Tupa geruzen tartekatzeak kanpo plataforman metatutako sedimentuak direla iradokitzen dute. Aranburuk (1998) energia eta sedimentazio tasa baxuko kanpo arrapalako ingurunea bezala interpretatu zuen. Bestalde, kuartzo pikor detritiko eta buztin mineralek kanpo arrapalara kontinentetik eratorritako sedimentu detritikoak iristen zirela adierazten du.

Aztertutako material hauek hainbat prozesu diagenetikoren aztarnak erakusten dituzte. Dolomita pikorren ehundurak autigenikoak dira, hau da, diagenesian matrizeak jasan duen dolomitizazio prozesuak sortuak. Arroka dolomita kontzentrazio aldaketek prozesua era heterogeneoan eman zela adierazten du. Kasu batzuetan, glaukonita pikorrek dolomita pikor hauen arteko espaziora egokitzen dira. Alegia, dolomita kristaldu ondoren glaukonitaren kristaltzea gertatzen dela dirudi, dolomitizazio prozesuak utzitako porositatean. Beste batzuetan berriz, dolomita kristalek orban berdeak erakusten dituzte, dolomita kristaldu aurretik glaukonita kristalduta zegoenaren adierazle, glaukonitizazioaren hasiera edo glaukonita dolomita ordezkatzeko hasi dela adieraziz. Honek dolomitizazio eta glaukonitizazio prozesuak diagenesian nahiko batera eman zirela iradokitzen du.

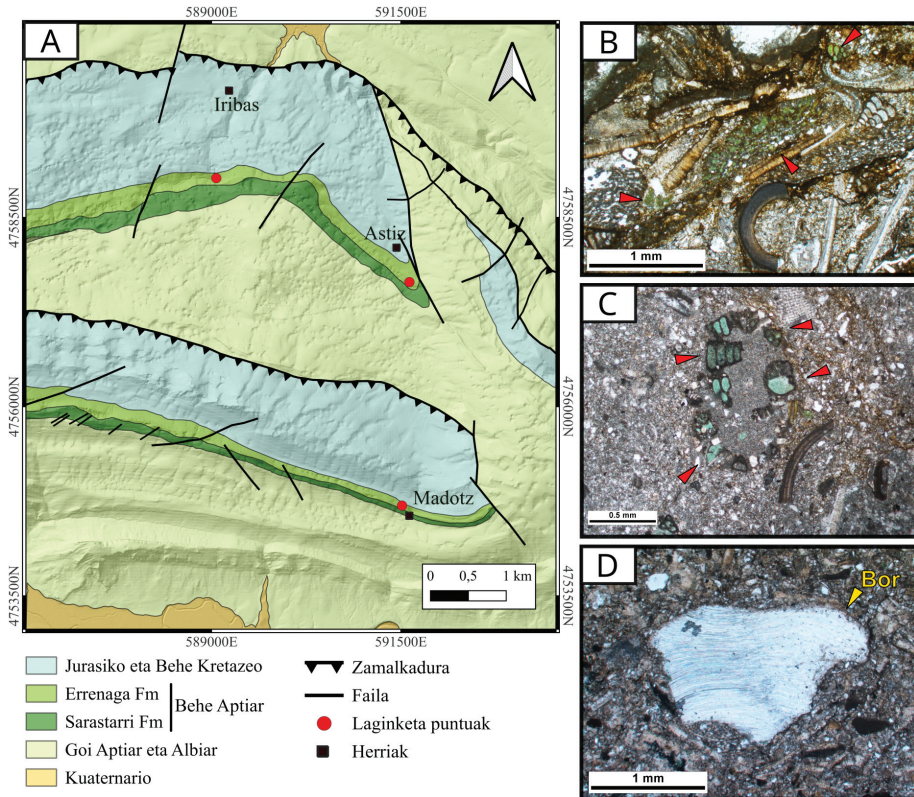
Dolomitizazioa lausoagoa den arroketan glaukonita pikorrek inguratuz mikroesparita eta esparita kristalak azaltzen dira. Esparita hauek matrizearen eraldatzearen ondorio dira, izan ere, glaukonita pikorrek haztean matrize mikritikoan presioa eragiten du mikroesparita eta esparita garatuz.

Arroka hauek estilolitoak - trinkadura kimikoaren aztarnak - ere ikus daitezke, estilolitoak glaukonita pikor ezberdinetara egokitzen direnez, glaukonita pikorrek trinkadura prozesu hauek baino lehenago garatu zirela ondorioztatzen da. Beraz, glaukonitizazio (eta baita dolomitizazio) prozesua diagenesiaren lehen estaietan emango ziren, hots, eogenesian.

Aralar mendizerrako glaukonita aberastasunak

Errenaga Formazioko (García-Mondéjar, 1982) glaukonita pikorren agerpenak mendizerraren ekialdean dauden hiru eremutan aztertu dira (Ir. 3A). Glaukonita

pikorrak orokorrean formazioaren oineko arroketan aurkitzen dira (Millán, 2009). Aztertutako eremuaren ekialdean aurkitzen diren Madotz eta Astizeko tarteez zortzi eta bost metroko lodiera aurkezten dute hurrenez hurren. Mendebaldean dagoen Iribaseko eremuan berriz, lodiera handiagoa da: hogeita metro ingurutan azaltzen dira glaukonita pikorrak. Errenaga Formazioko materialei *Deshayesites oglanlensis* amoniteen biozonako adinak esleitzen dizkie Millánek (2009).



3. Irudia.- A) Aralar mendizerraren ekialdeko eremuaren mapa geologikoa, glaukonitak azaltzen diren azaleramenduak puntu gorritz adierazita, García-Mondéjar eta lankideetatik (2009) eta Robador eta lankideetatik (www.igme.es) moldatua. B) Packstone kareharria, osagai alokimiko ezberdinen mikroskopio argazkia nikole paraleloekin (PPL), glaukonitizatutako foraminifero bentoniko biserialuak eta orbitolina (gezi gorriak). C) Glaukonita pikorrak foraminiferoen intraporositatea betetzen (PPL). D) Brakiopodo maskor zati bioturbatua boring egiturekin (gezi horia) eta ertz mikritizatuduna (PPL).

Figure 3.- A) Geological map of the eastern Aralar Range, with indication of glauconite rich lithologies (red dots), modified from García-Mondéjar et al. (2009) and Robador et al. (www.igme.es). B) Packstone limestone with various allochemical components under plane-polarized light (PPL); biserial benthic foraminifera and orbitolinids affected by glauconitization (red arrows). C) Glauconite grains filling intrapores of different foraminifera (PPL). D) Bioturbated fragment of a brachiopod shell showing boring structures (yellow arrow) and micritized margins (PPL).

Azterketa eremuan Errenaga Formazioa tupatsua da eta kareharri geruzak tartekatzen zaizkio. Glaukonita pikorretan aberastutako litologiak kareharrietan antzeman dira. Kareharri horiek nagusiki *wackestone-packstone* ehundurako kalkarenitak dira (lr. 3B), hala ere, *floatstone* eta matrizedun *rudstone* ehundurako kareharrietan ere aurkitu dira. Ikusi da kareharriek oinean gainean baino izaera tupatsuagoa erakusten dutela. Hauetan ostreido eta bibalbio maskorrak eta orbitolinak deskribatu dira.

Kareharriek geruzapen lausoak aurkezten dituzte Madotzen eta Iribasen; bertan kareharri geruza batzuek izaera nodulotsu eta *wavy*-a aurkezten dituzte. Astizen berriz, tartearen oinean geruzapen gurutzatua daukaten kalkarenitak aurkitzen dira.

Azterketa petrografikoan orbitolinak, foraminifero bentoniko biseriatuak (lr. 3C) eta fosil zati ezberdinak -serpulido, bibalbio, ostreido zein ekinodermatuenak- identifikatu dira. Bioklasto ezberdinetan bioturbazio aztarnak ikus daitezke (*boring*) (lr. 3D) eta hauen ertz batzuk mikritizatuta azaltzen dira. Osagai alokimiko hauez gain kuartzo pikorrak, mineral opakoak, materia organikoa, mikak eta glaukonita pikorrak identifikatzen dira. Kuartzo detritikoak, lohi tamainakoak eta angelutsuak dira. Pikor opakoak nagusiki subhedralak eta lohi tamainakoak (batzuetan harea fin tamainakoak) dira. Materia organikoa lohi tamainako zati luzexka eta masa gisa azaltzen da. Matrizeari dagokionez, nagusiki mikritatsua da.

Glaukonita pikorrak (orokorrean 0,02-0,05 mm bitarteko tamainakoak) nagusiki bi eratara azaltzen dira: foraminifero bentonikoen (orbitolinak zein bestelako biseriatuak) poro intraglanularrak betetzen (lr. 3C) edota matrizean pikor subhedral-anahedral moduan. Kasu gutxi batzuetan ekinodermatu plakek orban berdeak aurkezten dituzte.

Eremu batzuetan, matrize mikritatsuak izaera mikroesparitikoa eta esparitikoa erakutsiz eraldatuta dago. Horrez gain, eremu batzuetan *drusy* erako kaltzitak osagai alokimikoen maskorrak eta horien barneko mikrita ordezkatzan azaltzen dira. Astizeko kareharriek ehundura poikilotopikoa dute, kareharriak *grainstone* ("*faltsua*") itxura hartzen duelarik. Kaltzitaz betetako zain finak ere ikusten dira.

Matrizean agertzen diren estilolitoek kolore marroixka dute eta hauetatik gertu glaukonita pikorren kontzentrazioa handiagoa izan ohi da. Bestalde, bioklasto batzuk desplazamendurik gabeko apurketak aurkezten dituzte.

Lagin hauetako mineralogia honelakoa da: kaltzita (% 70-95), kuartzoa (% 2-15) eta miken familiako filosilikatoak, glaukonitak barne (% 3-15).

Interpretazioa

Nagusiki *wackestone-packstone* motakoak diren kareharri mikritatsu hauek itsas ingurune lasaietan metatu zirela adierazten dute orokorrean, olatuen eraginpetik kanpo. Millánek (2009) Errenaga Formazioko materialak izaera mistoko arrapala ireki batean metatu zirela interpretatu zuen, transgresio (itsas mailaren goratze) batean

zehir (García-Mondéjar *et al.*, 2009; Millán, 2009). Kuartzo pikorren zein buztin mineralen presentziak kontinentetik eratorritako emari detritikoak arrapalara iristen zirela iradokitzen dute (Millán, 2009). Bioklastoen ertz bioturbatuek ingurune sedimentarioko sedimentazio tasa baxua zenaren adierazle dira.

Diagenesiari dagokionez, aztertutako arrokek orokorrean diagenesi baxua jasan dutela bereizten da, partzialki matrize mikritikoa mikroesparita eta esparitara eraldatua dagoelarik. Hala ere, deigarriak dira Astizeko azaleramenduko *grainstone* “*faltsuak*”, hauen ehundura poikilotopikoak matrizearen ordezkaketa sarkorra adierazten dute.

Trinkadura fisikoaren aztarnak ere antzeman dira: hainbat osagai alokimikok zamak eragindako apurketak erakusten dituzte. Bestalde, presio-dizoluzioz sortutako estilolitoak ere ikusi dira. Guztiz glaukonitizatuta azaltzen diren orbitolinetako batzuk zamak eragindako apurketak dituztenez, trinkadura glaukonitizazio prozesuaren ondoren gertatu dela ondoriozta daiteke. Honez gain, arroka hauetan azaltzen diren glaukonita pikorren proportzioa estilolitoetatik gertu handiagoa dela behatu da. Estilolitoen garapenean inguruko karbonatoa disolbatzen da hainbat elementu mobilizatuz eta disolbagaitzagoak diren osagai ezberdinen kontzentrazioa handituz (Al-Bassam eta Fouad, 2012).

Diskusioa

Glaukonitaren hauspeatze goiztiarra

Aztertutako glaukonita pikorrek ez dute birsedimentatuak izan direnaren aztarnarik erakusten. Bere kristaltze izaeragatik forma edo ertz borobilduak izaten dituzte, baina hala ere, matrizeko kristalei ez zaie garraioan eragindako borobiltasunik antzematen. Bestalde, alokimikoen intraporositatean glaukonitak daude eta hauek ez dira garraiatuak izan beste ingurune sedimentario batetik. Ondorioz, osagai alokimiko horien baitan diagenesi prozesuan sortutako glaukonita dela frogatu daiteke. Bi kasuetan bioklastoak egon arren, glaukonita pikorrek ez dute hausturarik erakusten. Aurrekoa kontuan izanik eta beste hainbat adibidetan frogatu den antzera (adb. Amorosi, 1997; Fernández-Landero eta Fernández-Caliani, 2021; Roy Choudhury *et al.*, 2021), pikor hauek autigenikoak direla esan daiteke.

Aztertutako materialetan glaukonita pikorrek garatzeko matrize mikritikoaren mikroporositateaz eta fosil ezberdinen poro intragranularretaz baliatu zen. Glaukonita pikorren kristalizazioa garatzeko (mikro)porositatea baldintzatzaile nagusietako bat dela berretsi da (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1998; López-Quirós *et al.*, 2020; Tribovillard *et al.*, 2023).

Orokorrean, glaukonitaren sorrera sedimentuaren trinkadura eman aurretik sortu zela ondorioztatzen da. Gainera, trinkadura handia denean glaukonita pikorrek garatzen jarraitu dezakete: fosil ezberdinen poro intragranularrak baliatuz. Trinkaduraren

aurrean fosilen barne porositatearen galera txikiagoa izaten da, maskorrek eremu babestu bat sortzen dutelako (Flügel, 2004), glaukonitaren kristalizazioa baimenduz. Gainera, Odin eta Matterrek (1981) maskorren izaera erdi iragazkorrek glaukonita pikorren hazkuntza baldintzatzen duten mikroingurune erreduzitzaileen garapena errazten dutela diote.

Aztertutako laginetatik ondorioztatu da bai Jorrioseko zein Aralarko glaukonitaren hauspeatzea diagenesi goiztiarrean gauzaturiko prozesua izan zela. Hau bat dator beste egileek esan dutenarekin, glaukonitaren familiako pikorren hazkuntza eogenezian ematen dela, sedimentu eta itsasoko uraren interfasean (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; López-Quirós *et al.*, 2019; Banerjee *et al.*, 2020; Fernández-Landero eta Fernández-Caliani, 2021; Rubio eta López-Pérez, 2024).

Glaukonitaren hauspeatzean sedimentuaren izaera baldintzatzaitako bat izaten da, bere garapenerako beharrezko diren elementuak bertatik eskuratuko direla uste baita (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Dasgupta *et al.*, 1990; Fernández-Landero eta Fernández-Caliani, 2021; Tribovillard *et al.*, 2023; Rubio eta López-Pérez, 2024). Glaukonita pikorrek izaera ezberdineko sedimentuetan deskribatu dira, baina hauen aberastasuna handia denean, karbonatozko sedimentuetan garatutakoak bereziki ugariak dira (Banerjee *et al.*, 2016).

Aptiar-Albiar garaiko EKAko agerpenak aztertzerakoan, ikusi daiteke glaukonita pikorren agerpenak era batera edo bestera kaltzio karbonatoa duten arroketan ematen direla (Taula 1) (Rosales, 1995; Aranburu, 1998; Jiménez-Millán *et al.*, 2001; Quintanar, 2003; Millán, 2009). Hala ere, haien konposizioa ez da %100 kaltzio karbonatoa izaten eta osagai detritikoak ere izaten dituzte. Hemendik ondoriozta daiteke glaukonita mineraletan aberastutako unitate edo geruzak karbonatozko segidetan eman arren, material siliziklastiko finaren presentzia nolabaiteko baldintzatzaitaile dela glaukonita hauspeatzeko.

Glaukonitadun unitateen sedimentazio ingurunea

EKAko glaukonita aberastasunak sakonera txikiko karbonatozko plataformetan metatu ziren materialetan garatu ziren (Taula 1), non sarritan material detritikoaren sarrerak ematen ziren (Rosales, 1995; Aranburu, 1998; López-Horgue *et al.*, 1999; Jiménez-Millán *et al.*, 2001; Quintanar, 2003; Millán, 2009). Orokorrean energia eta sedimentazio tasa baxuko ingurune sedimentarioak ziren, hurrenez hurren, mikritaren sedimentazioan eta bioturbazio graduan erreparatuz (Rosales, 1995; Aranburu, 1998; López-Horgue *et al.*, 1999; Jiménez-Millán *et al.*, 2001). Aldiz, Altsasuko eremuan, sakonera zertxobait handiagoko eremuei ere esleitu zaizkie glaukonita pikorren agerpenak, hauek karbonatozko arrapala baten ildo bezala interpretatu zituen Quintanarrek (2003).

Lan honetan sakonago aztertu diren glaukonita agerpenak ere antzerako ingurune bateko materialetan azaltzen dira. Jorrios mendian eta Aralar mendizerrako Errenaga Formazioan azaltzen diren arrokek sakonera erlatiboki txikiko karbonatozko arrapala adierazten dute, kuartzo pikor eta buztin mineralak ingurunera emari detritikoa iristen zela adierazten dutelarik (Aranburu, 1998; Millán, 2009).

Beraz, laburbilduz, aztertutako Kretazeoko EKako glaukonitadun unitateei erreparatuz zera esan daiteke: i) sakonera txikiko plataforma edo arrapalan garatu zirela, ii) energia baxuko ingurune sedimentarioan, orokorrean eguraldi oneko olatuen eraginpetik kanpo, iii) pikor tamaina fineko material detritikoa iristen zela ingurunera eta iv) sedimentazio tasa erlatiboki baxukoa zela ingurune sedimentario hori.

Glaukonitizazioa garatzeko baldintzak

Glaukonita pikorren sorrera eta garapena sedimentuaren eta itsas uraren arteko katioien elkartrukearen bitartez ematen da (Burst, 1958a; Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988) behin sedimentua metatu ondoren, eogenesian. Katioien elkartruke horrek denbora behar du glaukonita mineral ezberdinak garatzeko: fase goiztiarra garatzeko 1000 eta 10000 urte bitarte behar dira eta fase heldu bat garatzeko berriz, milioi bat urtera arte behar dela estimatu dute (Odin eta Matter, 1981). Aipatutako katioien elkartruke hori errazteko inguruneak energia baxukoa eta sedimentazioa tasa baxukoa izan behar du (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Amorosi 1997).

EKako material batzuetan ere sedimentazio tasa baxua zela adierazten duten ezaugarriak ikusi dira. Rosalesek (1995), Aranburuk (1998), Lopez-Horgue eta lankideek (1999) aztertutako materialak metatu zireneko momentuan sedimentazio tasa txikia zela interpretatu zuten, materialetan azaltzen diren bioturbazio ugarietan oinarrituz. Bestalde, Aralar mendizerran behe Aptiarrean sedimentazio tasa altua zen orokorrean (García-Mondéjar *et al.*, 2009; Millán, 2009). Hala ere, aztertutako laginetan deskribatu diren bioturbazioek Errenaga Formazioa metatzen ari zen bitartean sedimentazio tasa baxuagoko momentuak egon zirela iradokitzen dute. Hau da, nahiz eta orokorrean sedimentazio tasa altua izan glaukonita pikorretan aberatsak diren arrokek sedimentazio tasa erlatiboki baxuagoko momentuetan metatu ziren.

Materia organikoaren presentziak ingurune baldintza egokiak garatzen laguntzen omen du, bere degradazioan oxigenoa kontsumituz (Odin eta Matter, 1981; Odin eta Fullagar, 1988; Baldermann *et al.* 2017; López-Quirós *et al.*, 2020, 2023; Nieto *et al.*, 2021). Aztertu diren glaukonitadun faziesek materia organikoaren presentzia dutela ikusi da. Materia organiko hau gutxienez partzialki degradatzeak eremu hauetan ingurune erdi erreduzitzaileak garatzea erraztuko luke.

Glaukonita mineralaren konposizioaren arabera, mineral hau sortzeko ingurunetik Fe, K, Mg, Na, Al eta Si katioiak hartu behar dira (Odin eta Matter, 1981). Katioi hauek jatorri ezberdinak izan ditzakete.

Jorrios mendiko zein Aralar mendizerrako arroketan materia organikoa, oxidoak izan daitezkeen pikor opako ezberdinak eta emari detritikoen aztarnak aurkitu dira. Hauek, eremu hauetako glaukonitizazio prozesua garatzeko beharrezkoak ziren Fe katioien jatorri ezberdinak izan daitezke.

Aztertutako eremuetan glaukonitizazioa goiztiarra izan zela ikusi da, hori horrela, glaukonita pikor hauen garapenerako baliatutako Mg eta Na katioien jatorria itsasoko ura izan zitekeen (Odin eta Matter, 1981). Glaukonitizazio prozesuak ordea, Jorrioseko eremuan, dolomitizazio prozesu batekin denbora erlazio nahiko estua aurkezten du. Kasu honetan, agian, Mg katioien iturria itsasoko uraz gain, kaltzitaren dolomitizazioa eragin zuen jariora bera izan daiteke.

EKAko glaukonita pikorrek sedimentu detritiko finak dituzten materialetan azaltzen dira. Filosilikatoen degradazioak ingurunea K, Al eta Si-an aberasten du eta katioi hauek eskuragarri geratzen dira glaukonitizazio prozesurako (Dasgupta *et al.*, 1990; Jiménez-Millán *et al.*, 1998; Al-Bassam *et al.*, 2019; Roy Choudhury *et al.*, 2022; Rubio eta López-Pérez, 2024).

Azertu diren bi glaukonita aberastasunek hainbat ezaugarri amankomun izan arren, glaukonita pikor kontzentrazioa oso ezberdina da Aralar mendizerran eta Jorrios mendian. Lehenengoan, glaukonita kristalak tamaina erlatiboki txikikoak eta barreiatuta azaltzen dira litologia ezberdinetako segida erlatiboki lodiagoan (5–20 m). Jorrios mendian berriz, glaukonita pikorrek arroketan osagai nagusia dira, 5 m-ko tartean (arroketan %30-40). Gainera, Jorrioseko glaukonita pikorrek Aralar mendizerrakoek baino tamaina handiagoa eta kolore ilunagoa aurkezten dute. Autore ezberdinek glaukonita pikorren kolorea zuzenki erlazionatzen dute glaukonitizazio prozesuaren heldutasunarekin. Hau da, glaukonitizazio gradua altua denean pikorrek kolore iluna izango dute, kolorea argia izango da berriz glaukonitizazio gradua baxua denean (Odin eta Matter, 1981; Amorosi, 1997; Odin eta Fullagar, 1998; López-Quirós *et al.*, 2020). Glaukonita pikorren tamaina ere kasu batzuetan heldutasunaren adierazle dela ikusi da, eremu bateko tamaina handieneko pikorrek helduenak direlarik (Tribovillard *et al.*, 2021, 2023). Hala ere, kontuan izan behar da pikor horien tamainaren baldintzatzaile nagusia garatzeko baliatzen duten nukleoa dela (Odin eta Matter, 1981; Rubio eta López-Pérez, 2024). Bi irizpide hauek kontuan izanik Jorrios mendiko glaukonita pikorrek Aralar mendizerrakoak baino helduagoak dira. Beraz, Jorrioseko glaukonitizazio prozesua garatuagoa dela ondorioztatzen da.

Kasu hauetan glaukonitizazio prozesuaren heldutasunean eragina izan dezake ingurune sedimentarioaren sedimentazio tasa. Jorrios mendiko eremuan, sedimentazio tasa baxua zen (Aranburu, 1998), eta denbora luzez ingurune baldintzak egonkor mantentzeari esker, glaukonita pikor helduak eta kontzentrazio handian garatu ziren.

Aralar mendizerrako Errenaga Formazioan aldiz, sedimentazio tasa oro har handiagoa

zen (García-Mondéjar *et al.*, 2009; Millán, 2009). Honek glaukonitizazio prozesuak glaukonitak garatzeko zuen denbora eta baldintzak mugatzen zituen, sedimentuen hondoratzea azkarrago gertatuz. Ondorioz eremu honetako glaukonita pikorrak ez dira horren handiak eta helduak. Gainera, Jorrios mendiko pikorrekin alderatuta pikor hauen kontzentrazioa txikiagoa bada ere, Aralar mendizerrako glaukonitak lodiera handiagoko tarteetan azaltzen dira. Sedimentuak pilatu ahala, glaukonitizazio prozesuak material ezberdinei eragiten zien glaukonitak azaltzen diren tarte horien lodiera handituz.

EKAko glaukonitadun unitateak eta gertakari ezberdinak

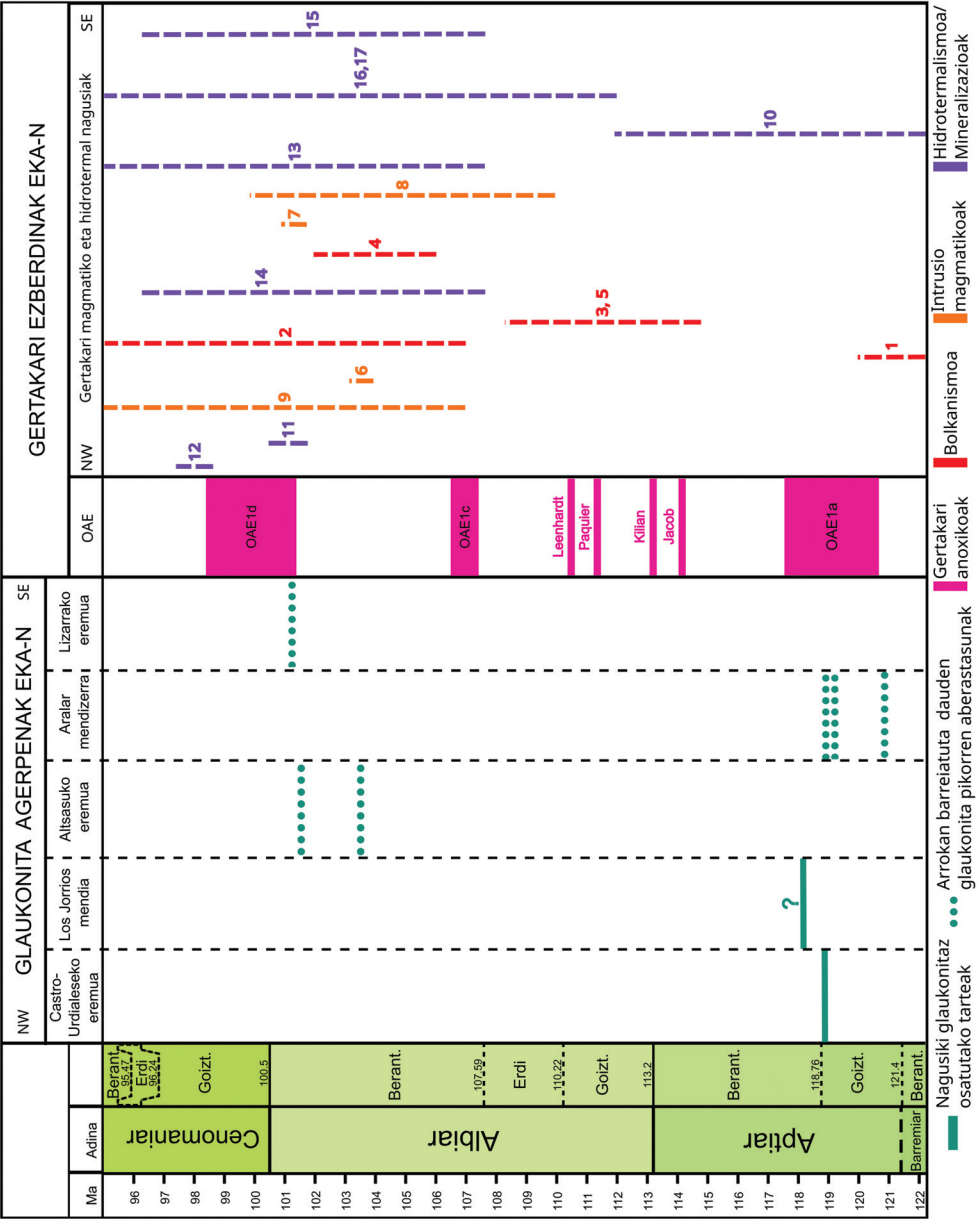
Glaukonita familiako mineralen agerpena mundu mailako zein arro mailako gertakariekin lotu izan dira (adb. Odin eta Matter, 1981; Bréhéret, 1991; Amorosí, 1997; Odin eta Fullagar, 1998; Föllmi, 2016).

Azken urteetan glaukonita pikorren datazioan aurrerapen handiak egon dira, datazioen ziurgabetasuna txikitu delarik (Bansal *et al.*, 2019; Scheibelhofer *et al.*, 2022; Rubio eta López-Pérez, 2024 eta haien aipuak). Glaukonita pikorren datazioek lekututa dauden sedimentuak baino gazteagoak direla adierazten dute, hau da, adin absolutuak estratigrafikoak baino gazteagoak dira (Scheibelhofer *et al.*, 2022; Rubio eta López-Pérez, 2024).

Hainbat autore ezberdinek glaukonita pikorren garapenak Gertakari Anoxiko Ozeaniko (Oceanic Anoxic Events, OAE) ezberdinekin lotzen dituzte. Kasu batzuetan glaukonitizazio prozesuak OAEn garaikideak izan zirela behatu da (Wohlwend *et al.*, 2015; Bansal *et al.*, 2019), beste batzuetan aldiz glaukonitizazio prozesuak OAEak amaitu eta ondoren eman ziren (Bréhéret, 1991; Erbacher *et al.*, 1999).

4. irudian EKAko glaukonita pikorrak lekututa dauden arroken adin estratigrafikoa eta gertakari ezberdinen denborazko banaketa behatu daiteke. Glaukonita agerpenen adin estratigrafiko horiek kontuan hartzen baditugu (glaukonitak seguruenik gazteagoak izango dira), hauetako batzuk OAE gertakariekin garaikideak direla ikusi daiteke. Castro-Urdiales eremuko, Jorrios mendiko eta Aralar mendizerrako glaukonita pikorren adin estratigrafikoa (behe-goiko Aptiar) OAE-1a gertakariarenarekin bat dator. Goi Albiarreko glaukonita agerpenetako batzuk ere OAE-1d gertakariaren hasierarekin garaikideak dira. Bestalde, Altsasu eremuan gertakari anoxikoekin garaikidea ez den aberastasun bat dago, beraz glaukonitizazio honen garapena ezin daiteke OAE gertakari batekin lotu.

Literaturan transgresio momentuekin lotzen diren glaukonita agerpenak ohikoak dira (adb. Odin eta Matter, 1981; Banerjee *et al.*, 2016; Rubio eta López-Pérez, 2024), EKAko glaukonitadun segida batzuk ere transgresio garaiekin lotzen dira. Adibidez, Errenaga Formazioko materialak transgresio batean metatuak izan ziren (García-Mondéjar, 1982; Millán, 2009). Halaber, Jorrios mendiko "Sopuertako ostreidodun



- ◀ 4. Irudia.- Taula kronoestratigrafikoa, EKA-ko Aptiar-Albair adineko glaukonita agerpen ezberdinekin. Materialen adinak Rosales (1995), Aranburu (1998), López-Horgue eta lankideak (1999), Quintanar (2003) eta Millán (2009) lanetatik eskuratu dira. OAE gertakari ezberdinen denborazko banaketa Gale eta lankideak (2020) lanean oinarritua. EKA-ko gertakari igneo eta hidrotermalak: 1-García-Mondéjar *et al.* (2019); 2-Montigny *et al.* (1986); 3-Fernández-Mendiola eta García-Mondéjar (2003); 4-Montigny *et al.* (1986); 5-Fernández-Mendiola eta García-Mondéjar (1995); 6- Agirrezabala (2015); 7- Agirrezabala *et al.* (2013); 8- Carracedo-Sánchez *et al.* (2012); 9- Rossy (1988); 10- Fernández-Martínez eta Velasco (1996); 11- Aranburu *et al.* (2002); 12- López-Horgue *et al.* (2010); 13-Agirrezabala eta García-Mondéjar (2001); 14-Damas-Mollá (2011); 15- Bodego *et al.* (2018); 16-Iriarte (2004); 17- Ladron de Guevara *et al.* (2023).

Figure 4.- Chronostratigraphic chart showing glauconite occurrences of Aptian–Albian age in the BCB. Age data based on Rosales (1995), Aranburu (1998), López-Horgue *et al.* (1999), Quintanar (2003) and Millán (2009). Temporal distribution of OAE based on Gale *et al.* (2020). Igneous and hydrothermal events in the BCB are numbered as follows: 1-García-Mondéjar *et al.* (2019); 2-Montigny *et al.* (1986); 3-Fernández-Mendiola and García-Mondéjar (2003); 4-Montigny *et al.* (1986); 5-Fernández-Mendiola and García-Mondéjar (1995); 6-Agirrezabala (2015); 7-Agirrezabala *et al.* (2013); 8-Carracedo-Sánchez *et al.* (2012); 9-Rossy (1988); 10-Fernández-Martínez and Velasco (1996); 11-Aranburu *et al.* (2002); 12-López-Horgue *et al.* (2010); 13-Agirrezabala and García-Mondéjar (2001); 14-Damas-Mollá (2011); 15-Bodego *et al.* (2018); 16-Iriarte (2004); 17-Ladron de Guevara *et al.* (2023).

kareharri nodulotsuen” unitateak transgresio eta goialdiko sistema baten arteko ezau-garriak erakusten ditu (Aranburu, 1998). Itsas mailaren goratze hauek arroko sedi-mentazio tasaren jaitiera eragiten dute. Sedimentazio tasa baxuaren eta higaduraren arteko oreka lortzean mineral autigeniko ezberdinen, glaukonita familiako mineralak barne, garapena emateko baldintza egokiak garatzen dira (Amorosi, 1997; Föllmi, 2016; Tribovillard *et al.*, 2023). Bestalde, Lizarrako eremuko Zufia Formazioa metatzen zen bitartean itsas mailak hainbat gora-behera jasan zituen eta glaukonita pikorretan aberastutako geruzak erregresio batean metatu ziren (López-Horgue *et al.*, 1999). Literaturan erregresioetan garatutako glaukoniten adibideak arraroagoak izan arren, autore ezberdinek testuinguru hauekin erlazionatutako agerpenak deskribatu dituzte (Banerjee *et al.*, 2016, 2020). Glaukonita pikorren agerpen hauek sarritan hiato gai-nazalekin erlazionatzen dira, beheraldiko sistema elkarketetan ematen den higadura-ren ondorioz.

Glaukonitazioa gertakari igneoekin ere lotu izan da, bolkanismoak itsasoko ura Mn, Fe, Zn, Cu, Ba, Si, Ca eta beste hainbat elementu kimikoetan aberasten duelako (Odin eta Matter, 1981; Schulz eta Zabel, 2000; Reolid eta Abad, 2013). Aptiar-Cenomaniar garaian, hiperestentsio prozesuak EKAre lurratzalaren mehetzea eragin zuen (Roca *et al.*, 2011; Tugend *et al.*, 2014; DeFelipe *et al.*, 2017; Miró *et al.*, 2020). Prozesu honen ondorioz mantua goratu eta bolkanismo eta intrusio magmatikoak eman ziren. Hauetako batzuk glaukonitadun unitate litoestratigrafikoekin adinean bat datoz, adi-bidez, Castro-Urdialeseko eta Aralarko Errenaga Formazioko aberastasunen adin estra-tigrafikoa Bilbo inguruetako bolkanismoaren adinarekin bat dator (Rosales, 1995; Millán, 2009; García-Mondéjar *et al.*, 2019; Fernández-Mendiola *et al.*, 2023). Goi Albiarreko Altsasu eta Lizarra eremuko aberastasunak berriz, arroan eman ziren ger-

takari igneo ezberdinen garaikideak dira (lr. 4) (Montigny *et al.*, 1986; Rossy, 1988; López-Horgue *et al.*, 1999; Quintanar, 2003; Carracedo-Sánchez *et al.*, 2012; Agirrezabala, 2015). Hala ere, Aptiarreko glaukonitadun unitate batzuk (Jorrios, arroaren mendebaldean, eta Sarastarri eta Lareo Formazioetakoak Aralar mendizerran, arroaren ekialdean) (Aranburu, 1998; Millán, 2009) behe Aptiarreko Bilbo inguruko bolkanismoa (García-Mondéjar *et al.*, 2019) baino gazteagoak diren arroketan daude lekututa, hurrengo bolkanismo gertakaria behe Albiarrean eman zelarik (Fernández-Mendiola eta García-Mondéjar, 1995, 2003).

Bilbo inguruko Gutioloko bolkanismoarekin erlazionatutako fluido hidrotermalak behe Aptiarreko mineralizazio ezberdinen erantzule izan omen ziren, besteak beste Fe-an aberastutako jarioak askatuz (García-Mondéjar *et al.*, 2019). Fernández-Mendiola eta lankideek (2023) Castro-Urdialeseko glaukonita aberastasuna Gutioloko bolkanismoarekin lotzen dute, honek itsas uraren kimismoan eragindako aldaketak argudiatuz. Bien artean 40 km daude, baina bi eremu hauen artean azaltzen diren behe Aptiarreko materialetan ez da beste glaukonita aberastasunik ezagutzen. Aralar mendizerrako Errenaga Formazioko glaukonita aberastasunak ere Gutioloko bolkanismoaren garaikideak dira, 80 km-ko distantziara dagoena, baina aurreko kasuan bezala, ez da ezagutzen garaikideak diren beste glaukonitadun unitaterik bien arteko eremuan.

Aptiar eta Cenomaniar garaien artean EKAn tektonika oso aktiboa izan zen. Hiperes-tentsioak eragindako subsidentzia tektonikoak, lurrazalaren mehetzeak eta mantuaren goratzeak gertakari igneoak ez ezik gradiente geotermikoaren igoera ere ekarri zuen (Tugend *et al.*, 2014; DeFelipe *et al.*, 2017; Ducoux *et al.*, 2019). Gradiente horrek eragindako berotzeak fluido hidrotermalen bidez arroko sedimentuen (adb. López-Horgue *et al.*, 2010) edota sakonera estruktural handiagoko elementuen mobilizazioa erraztu ahal izan zuen. Faila sinsedimentario ezberdinen bidez jario hidrotermal horien goranzko garraioa ahalbidetu zen. EKAn gertakari hidrotermal hauen adibide ugari deskribatu dira, adibidez, Fernández-Martínez eta Velasco, 1996; Aranburu *et al.*, 2002; Iriarte, 2004; López-Horgue *et al.*, 2010; García-Mondéjar *et al.*, 2019. Gertaera orokor honen aztarnak geroz eta leku gehiagotan ikusi dira (adb. Ladron de Guevara *et al.*, 2023). Kasu batzuetan jario hidrotermalak itsas hondora iritsi ziren (Fernández-Martínez eta Velasco, 1996; Aranburu *et al.*, 2002; Fernández-Mendiola eta García-Mondéjar, 2003), honek itsas hondoko uraren kimismoa aldatu zezakeen ingurunera elementu eta konposatu ezberdinak askatuz (García-Mondéjar *et al.*, 2019).

EKAko ekialdean Aptiar adinean Troya, Zn eta berun (Pb) sedex motako mineral hobia, lekutu zen, elementu hauetaz gain Fe-an ere aberastutako jarioen eraginez (Fernández-Martínez eta Velasco, 1996). Sedex motako mineral hobiak jario hidrotermalak itsas hondora heltzean garatzen dira, jario hidrotermalak itsas uraren kimismoa aldatzen duelarik (adb. Russell, 1996). Troya hobia Aralar mendizerrako glaukonitadun azaleramenduetatik hamabost kilometrora kokatuta dago eta mineralizazioak glau-

konita pikorrak lekututa dauden materialen garaikideak dira. Kasu honetan sedex mineralizazioak itsas uraren kimismoan aldaketak eragingo zituen, besteak beste glaukonitizazio prozesua aurrera eramateko behar den Fe katioiak askatuz ingurunera.

EKAko glaukonitak lekutu diren kareharrien adin estratigrafikoa kontuan hartuta, glaukonitizazio prozesu guztiak ezin dira mota bakarreko gertaerekin lotu. Hau da, ez dute korrelazio zuzen eta bakarra erakusten agerpenek OAE, transgresio, gertaera igneo edo mineralizazioekin, eta beste batzuetan, aldiz, ez dute inolako gertakariarekin erlazio zuzenik. Hala ere ikusi da Aptiar-Albiar garaietako glaukonitizazioen adin erlatiboa, orokorrean, EKA garai berdinean ematen ari zen tektonika aktibo, intrusio igneo/bolkanismo eta jario hidrotermalek eragindako mineralizazioen adinarekin bat egiten duela. Kontuan izan behar da glaukonitak barneratzen dituen unitateen adinak ezagutzen ditugula, baina ez glaukoniten adin absolutuak, hauek gazteagoak izan daitezkeelarik. Adin zehatzen ezagutzak etorkizunean korrelazio zuzenagoak egitea ahalbidetuko du eta deskribatutako gertakariarekin erlazionatuta dauden ala ez zehaztu.

Bibliografia

Agirrezabala, L.M., 2015. Syndepositional forced folding and related fluid plumbing above a magmatic laccolith: Insights from outcrop (Lower Cretaceous, Basque-Cantabrian Basin, western Pyrenees). *Bulletin of the Geological Society of America*, 127, 982–1000.

Agirrezabala, L.M., García-Mondéjar, J., 2001. Kinematic indicators and mineralization on the Elgoibar fault (Basque-Cantabrian Basin). *Geogaceta*, 30, 7–10.

Agirrezabala, L.M., Kiel, S., Blumenberg, M., Schäfer, N., Reitner, J., 2013. Outcrop analogues of pockmarks and associated methane-seep carbonates: A case study from the Lower Cretaceous (Albian) of the Basque-Cantabrian Basin, western Pyrenees. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 390, 94–115.

Al-Bassam, K.S., Fouad, S.F.A., 2012. Tectonic classification and geochemical significance of stylolites in the Kometan Formation (Turonian) in Dokan Area, Sulaimaniyah, NE Iraq. *Iraqi Bulletin of Geology*, 8, 53–73.

Al-Bassam, K., Magna, T., Vondrážka, R., Čech, S., 2019. Mineralogy and geochemistry of marine glauconitic siliciclasts and phosphates in selected Cenomanian–Turonian units, Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic: Implications for provenance and depositional environment. *Geochemistry*, 79, 347–368.

Amorosi, A., 1997. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, 109, 135–153.

Aranburu, A., 1998. El Aptiense-Albiense de Trucíos-Güñes (Oeste de Bizkaia). *Doktorego tesia*, Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea, Leioa, 606.

Aranburu, A., Fernández-Mendiola, P.A., López-Horgue, M.A., García-Mondéjar, J., 2002. Syntectonic hydrothermal calcite in a faulted carbonate platform margin (Albian of Jorrios, northern Spain). *Sedimentology*, 49, 875–890.

Baldermann, A., Grathoff, G.H., Nickel, C., 2012. Micromilieu-controlled glauconitization in fecal pellets at Oker (Central Germany). *Clay Minerals*, 47, 513–538.

Baldermann, A., Dietzel, M., Mavromatis, V., Mittermayr, F., Warr, L.N., Wemmer, K., 2017. The role of Fe on the formation and diagenesis of interstratified glauconite-smectite and illite-smectite: A case study of Lower Cretaceous shallow-water carbonates. *Chemical Geology*, 453, 21–34.

Banerjee, S., Bansal, U., Vilas Thorat, A., 2016. A review on palaeogeographic implications and temporal variation in glaucony composition. *Journal of Palaeogeography*, 5, 43–71.

Banerjee, S., Choudhury, T.R., Saraswati, P.K., Khanolkar, S., 2020. The formation of authigenic deposits during Paleogene warm climatic intervals: a review. *Journal of Palaeogeography*, 9, 1–27.

Bansal, U., Pande, K., Banerjee, S., Nagendra, R., Jagadeesan, K.C., 2019. The timing of oceanic anoxic events in the Cretaceous succession of Cauvery Basin: Constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of glauconite in the Karai Shale Formation. *Geological Journal*, 54, 308–315.

Bodego, A., Aranburu, A., Iriarte, E., López-Horgue, M.A., Damas-Mollá, L., 2018. First data of Cretaceous hydrothermalism in the eastern margin of the Basque-Cantabrian basin. *Geogaceta*, 64, 35–38.

Bréhéret, J.G., 1991. Glauconitization episodes in marginal settings as echoes of mid-Cretaceous anoxic events in the Vocontian basin (SE France). Non: Tyson, R.V., Pearson, T.H. (Eds.), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*, 415–425, Geological Society Special Publication.

Burst, J.F., 1958a. "Glauconite" Pellets: their mineral nature and applications to stratigraphic interpretations. *Bulletin of the American association of petroleum geologist*, 42, 310–327.

Burst, J.F., 1958b. Mineral heterogeneity in "glauconite" pellets*. *American Mineralogist*, 43, 481–497.

Carracedo-Sánchez, M., Sarrionandia, F., Juteau, T., 2012. El Vulcanismo Submarino de Edad Cretácica de la Cuenca Vasco-Cantábrica. *Revista De La Sociedad Española De Mineralogía*, 16, 260–267.

Cayeux, L., 1916. *Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires*, 524, Imprimerie nationale.

Choukroune, P., 1976. Structure et evolution tectonique de la zone Nord-Pyreneenne. Analyse de la deformation dans une portion de chaine a schistosité sub-verticale. *Mémoires de la Société géologique de France*, 127, 1–116.

Damas-Mollá, L., 2011. Las calizas rojas de Ereño: Facies, Paleoambiente, mineralización y diagénesis. *Patrimonio geológico-histórico de Bizkaia*. Doktorego tesia, Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco, Leioa, 327.

Dasgupta, S., Chaudhuri, A.K., Fukuoka, M., 1990. Compositional characteristics of glauconitic alterations of K-Feldspar from India and their implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 60, 277–281.

DeFelipe, I., Pedreira, D., Pulgar, J.A., Iriarte, E., Mendiá, M., 2017. Mantle exhumation and metamorphism in the Basque-Cantabrian Basin (N Spain): Stable and clumped isotope

analysis in carbonates and comparison with ophticalcites in the North-Pyrenean Zone (Urdach and Lherz). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, 631–652.

Ducoux, M., Jolivet, L., Callot, J. P., Aubourg, C., Masini, E., Lahfid, A., Homonnay, E., Cagnard, F., Gumiaux, C., Baudin, T., 2019. The Nappe des Marbres Unit of the Basque Cantabrian Basin: The Tectono thermal Evolution of a Fossil Hyperextended Rift Basin. *Tectonics*, 38(11), 3881–3915.

Erbacher, J., Hemleben, C., Huber, B.T., Markey, M., 1999. Correlating environmental changes during early Albian oceanic anoxic event 1B using benthic foraminiferal paleoecology. *Marine Micropaleontology*, 38, 7–28.

Fernández-Landero, S., Fernández-Caliani, J.C., 2021. Mineralogical and crystal-chemical constraints on the glauconite-forming process in NEOGENE sediments of the lower Guadalquivir basin (SW Spain). *Minerals*, 11, 578.

Fernández-Martínez, J., Velasco, F., 1996. The Troya Zn-Pb carbonate-hosted sedex deposits, Northern Spain. *Society of Economic Geologists. Special Publication*, 4, 364–377.

Fernández-Mendiola, P.A., García-Mondéjar, J., 1995. Volcaniclastic sediments in the early Albian Mañaria carbonate platform (northern Spain). *Cretaceous Research*, 16, 451–463.

Fernández-Mendiola, P.A., García-Mondéjar, J., 2003. Carbonate platform growth influenced by contemporaneous basaltic intrusion (Albian of Larrano, Spain). *Sedimentology*, 50, 961–978.

Fernández-Mendiola, P.A., Pérez-Malo, J., Owen, H.G., García-Mondéjar, J., 2023. New advances in the stratigraphy of Aptian oceanic anoxic events (Castro Urdiales, Basque-Cantabrian Basin, Spain). *Cretaceous Research*, 144, 105430.

Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. 976. Springer Berlin Heidelberg.

Föllmi, K.B., 2016. Sedimentary condensation. *Earth-Science Reviews*, 152, 143–180.

Gale, A.S., Mutterlose, J., Batenburg, S., 2020. The Cretaceous Period. Non: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M.D., Ogg, G. M. (Eds.), *Geologic Time Scale 2020*, 1023–1086. Elsevier.

García-Mondéjar, J., 1982. Aptiense y Albiense. Región Vasco-Cantabrá y Pirineo Navarro. Non: García, A. (Ed.), *El Cretácico de España*, 63–84, Univ. Complutense, Madrid.

García-Mondéjar, J., Agirrezabala, L.M., Aranburu, A., Fernández-Mendiola, P.A., Gómez-Pérez, I., López-Horgue, M., Rosales, I., 1996. Aptian-Albian tectonic pattern of the Basque-Cantabrian Basin (northern Spain). *Geological Journal*, 31, 13–45.

García-Mondéjar, J., Owen, H.G., Raisossadat, N., Millán, M.I., Fernández-Mendiola, P.A., 2009. The Early Aptian of Aralar (northern Spain): stratigraphy, sedimentology, ammonite biozonation and OAE1. *Cretaceous Research*, 30, 434–464.

García-Mondéjar, J., Carracedo-Sánchez, M., Owen, H.G., Fernández-Mendiola, P.A., 2019. The Early Aptian volcanic episode of Gutíolo (N Spain): Expression of the Bilbao Rift Fault Zone. *Geological Journal*, 54, 3509–3526.

Harder, H., 1980. Syntheses of Glauconite at Surface Temperatures. *Clays and Clay Minerals*, 28, 217–222.

Iriarte, E., 2004. La depresión intermedia entre Leitza y Elizondo (Pirineo Occidental): estratigrafía y relaciones tectónica. *Doktorego tesia*, Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco, Leioa, 342.

Jiménez-Millán, J., Molina, J.M., Nieto, F., Nieto, L., Ruiz-Ortiz, P.A., 1998. Glauconite and phosphate peloids in Mesozoic carbonate sediments (Eastern Subbetic Zone, Betic Cordilleras, SE Spain). *Clay Minerals*, 33, 547–559.

Jiménez-Millán, J., López-Horgue, M., Aranburu, A., Nieto, F., 2001. Caracterización mineralógica y sedimentológica del nivel de glauconita de la formación Zufia (Albiense Superior de la Cuenca Vasco-Cantábrica suroriental). Non: Jiménez-Millán, J. (Ed.), *Nuevas Tendencias en el estudio de arcillas*, 84-91. Sociedad Española de Arcillas.

Ladron de Guevara, M., Iriarte, E., Bodego, A., 2023. The impact of synextensional hydrothermal processes into Cretaceous synrift carbonates (eastern Basque-Cantabrian Basin). 17th Bathurst Meeting-International Meeting of Carbonate Sedimentologists, Naples, Italy. Abstract book, 53.

Lamboy, M., 1976. Géologie marine du plateau continental au N.O. de l'Espagne. *Doktorego tesia*, Rouen-Normandiako Unibertsitatea, Rouen, 283 .

López-Horgue, M.A., Owen, H.G., Rodríguez-Lázaro, J., Orue-Etxebarria, X., Fernández-Mendiola, P.A., García-Mondéjar, J., 1999. Late Albian–Early Cenomanian stratigraphic succession near Estella-Lizarrá (Navarra, central northern Spain) and its regional and interregional correlation. *Cretaceous Research*, 20, 369–402.

López-Horgue, M.A., Iriarte, E., Schröder, S., Fernández-Mendiola, P.A., Caline, B., Corneillie, H., Frémont, J., Sudrie, M., Zerti, S., 2010. Structurally controlled hydrothermal dolomites in Albian carbonates of the Asón valley, Basque Cantabrian Basin, Northern Spain. *Marine and Petroleum Geology*, 27, 1069–1092.

López-Quirós, A., Escutia, C., Sánchez-Navas, A., Nieto, F., García-Casco, A., Martín-Algarra, A., Evangelinos, D., Salabarnada, A., 2019. Glaucony authigenesis, maturity and alteration in the Weddell Sea: An indicator of paleoenvironmental conditions before the onset of Antarctic glaciation. *Scientific Reports*, 9, 13580.

López-Quirós, A., Sánchez-Navas, A., Nieto, F., Escutia, C., 2020. New insights into the nature of glauconite. *American Mineralogist*, 105, 674–686.

López-Quirós, A., Lobo, F.J., Mendes, I., Nieto, F., 2023. Holocene Glaucony from the Gadiana Shelf, Northern Gulf of Cadiz (SW Iberia): New Genetic Insights in a Sequence Stratigraphy Context. *Minerals*, 13, 177.

Millán, M.I., 2009. Palaeoenvironmental changes record during the Early Aptian of Aralar (N Spain). *Doktorego tesia*, Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco, Leioa, 157.

Millot, G. , 1964. Géologie des argiles. 499. Masson et Cie Editeurs.

Miró, J., Muñoz, J.A., Manatschal, G., Roca, E., 2020. The Basque – Cantabrian Pyrenees: report of data analysis. *BSGF - Earth Sciences Bulletin*, 191, 22.

Montadert, L., De Charpal, O., Roberts, D., Guennoc, P., Sibuet, J.-C., 1979. Northeast Atlantic passive continental margins: rifting and subsidence processes. Non: Talwani, M.,

Hay, W., Ryan, W. (Eds.), Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironment, 154–186, AGU.

Montigny, R., Azambre, B., Rossy, M., Thuizat, R., 1986. K-Ar Study of Cretaceous magmatism and metamorphism in the Pyrenees: Age and length of rotation of the Iberian Peninsula. *Tectonophysics*, 129, 257–273.

Nieto, F., Abad, I., Bauluz, B., Reolid, M., 2021. Textural and genetic relationships between glauconite and celadonite at the nanoscale: Two different structural-compositional fields. *European Journal of Mineralogy*, 33, 503–517.

Odin, G.S., Fröhlich, F., 1988. Chapter C3: Glaucony from the Kerguelen Plateau. Non: Odin, G.S. (Ed.), *Green Marine Clays*, 225–248, Developments in Sedimentology, Elsevier.

Odin, G.S., Fullagar, P.D., 1988. Geological significance of the Glaucony facies. Non: Odin, G.S. (Ed.), *Green Marine Clays*, 225–248, Developments in Sedimentology, Elsevier.

Odin, G.S., Matter, A., 1981. De Glauconiarum origine. *Sedimentology*, 28, 611–641.

Quintanar, A.B., 2003. El Cretácico medio del extremo suroriental del anticlinorio de Bilbao. *Doktorego tesia*, Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco, Leioa, 217.

Rat, P., 1959. Les pays crétacés basco-cantabriques (Espagne). *Doktorego tesia*, Université de Dijon, Dijon, 525.

Reolid, M., Abad, I., 2013. Glauconitic laminated crusts from Jurassic pillow-lava deposits (Betic Cordillera, South Spain). *Geogaceta*, 54, 43–46.

Robador Moreno, A., Samsó Escolá, J.M., Ramajo Cordero, J., Barnolas Cortinas, A., Clariana García P., Martín Alfageme, S., Gil Peña, I., Mapa Geológico Digital continuo E. 1: 50.000, Zona Pirineos Vasco-Cantábrica (Zona-1600). Non: GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España [en línea]. Date of consultation: 30.07.2024. Available at: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/geodezona.aspx?Id=Z1600>

Roca, E., Muñoz, J.A., Ferrer, O., Ellouz, N., 2011. The role of the Bay of Biscay Mesozoic extensional structure in the configuration of the Pyrenean orogen: Constraints from the MARCONI deep seismic reflection survey. *Tectonics*, 30.

Rosales, I., 1995. La plataforma carbonatada de Castro Urdiales (Aptiense-Albiense, Cantabria). *Doktorego tesia*, Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco, Leioa, 495.

Rossy, M., 1988. Contribution à l'étude du magmatisme mésozoïque du domaine pyrénéen: I, le Trias dans l'ensemble du domaine, II le Crétacé dans les provinces basques d'Espagne. *Doktorego tesia*, Université de Besançon, Besançon, 368.

Roy Choudhury, T., Banerjee, S., Khanolkar, S., Saraswati, P.K., Meena, S.S., 2021. Glauconite authigenesis during the onset of the Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A case study from the Khuiala Formation in Jaisalmer Basin, India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 571, 110388.

- Roy Choudhury, T., Banerjee, S., Khanolkar, S., Meena, S.S., 2022. Paleoenvironmental conditions during the Paleocene–Eocene transition imprinted within the glauconitic giral member of the barmer basin, India. *Minerals*, 12, 56.
- Rubio, B., López-Pérez, A.E., 2024. Exploring the genesis of glaucony and verdine facies for paleoenvironmental interpretation: A review. *Sedimentary Geology*, 461, 106579.
- Russell, M. J., 1996. The generation at hot springs of sedimentary ore deposits, microbialites and life. *Ore Geology Reviews*, 10 (3–6), 199–214.
- Scheibelhofer, E., Moser, U., Löhr, S., Wilmsen, M., Farkaš, J., Gallhofer, D., Bäckström, A.M., Zack, T., Baldermann, A., 2022. Revisiting Glauconite Geochronology: Lessons Learned from In Situ Radiometric Dating of a Glauconite-Rich Cretaceous Shelfal Sequence. *Minerals*, 12, 818.
- Schulz, H.D., Zabel, M., 2000. *Marine Geochemistry*. 463. Springer.
- Teixell, C.A., 1995. Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la Zona Axial pirenaica. *Doktorego tesia, Universidad de Barcelona, Barcelona*, 305.
- Tribovillard, N., Bout-Roumazielles, V., Delattre, M., Ventalon, S., Abraham, R., Nzié, O., 2021. Syndepositional glauconite as a paleoenvironmental proxy - the lower Cenomanian Chalk of Cap Blanc Nez (N-France). *Chemical Geology*, 584, 120508.
- Tribovillard, N., Bout-Roumazielles, V., Abraham, R., Ventalon, S., Delattre, M., Baudin, F., 2023. The contrasting origins of glauconite in the shallow marine environment highlight this mineral as a marker of paleoenvironmental conditions. *Comptes Rendus - Geoscience*, 355, 157-173.
- Tugend, J., Manatschal, G., Kusznir, N.J., Masini, E., Mohn, G., Thinon, I., 2014. Formation and deformation of hyperextended rift systems: Insights from rift domain mapping in the Bay of Biscay-Pyrenees. *Tectonics*, 33, 1239–1276.
- Wohlwend, S., Hart, M., Weissert, H., 2015. Ocean current intensification during the Cretaceous oceanic anoxic event 2 - evidence from the northern Tethys. *Terra Nova*, 27, 147-155.



Fecha de recepción / Date of reception: 31/10/2024

Fecha de aceptación / Date of acceptance: 17/06/2025

Editor Asociado / Associate editor: Asier Hilario