



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Belvís de Monroy granito-
pegmatita sistemaren
karakterizazioa eta
zeresana Mazizo Iberiarreko
elementu arraroen esplorazioan**

*Nora Santos-Loyola,
Encarnación Roda-Robles,
Idoia Garate-Olave eta
Jon Errandonea-Martin*

45-52 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.05.05>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



Belvís de Monroy granito-pegmatita sistemaren karakterizazioa eta zeresana Mazizo Iberiarreko elementu arraroen esplorazioan

Nora Santos Loyola¹, Encarnación Roda-Robles¹, Idoia Garate-Olave¹,
Jon Errandonea-Martin¹

¹Geologia Saila, Zientzia eta Teknologia fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea
(UPV/EHU), Sarriena Auzoa z.g. Leioa 48940
nora.santos@ehu.eus

Laburpena

Teknologia berriek eskatzen dituzten elementu arraroen pegmatita mineralizazioak ugariak dira Iberiar penintsulan hedatzen den Iberiar Mazizo eskualde geologikoan. Cáceres probintzian aurkitu daiteke Iberiar Mazizoko zati bat, eta bertan, Belvís de Monroy herriaren inguruan, izen bereko granito-pegmatita sistema lekutzen da; hori horrela, mineralizatuta egoteko zantzuek eta granitoaren berezitasunek sistema bere osotasunean ulertzeko interesa piztu dute. Aurkeztutako ikerketaren helburua pegmatitak karakterizatzea, elementu arraroen jokaera ezagutzea eta esplorazio teknikak diseinatzea da. Horretarako, landa lana, kartografia geologikoa, azterketa petrografikoak eta analisi kimikoak egitea planteatzen da. Orain arteko emaitzek sistemaren konplexutasuna argitara ekarri dute.

Hitz gakoak: pegmatitak, Iberiar penintsula, Li mineralizazioak, elementu arraroak

Abstract

The pegmatite mineralizations with rare elements required by new technologies are abundant in the geological region of the Iberian Massif, which extends across the Iberian Peninsula. In the province of Cáceres, a part of the Iberian Massif can be found, and within it, in the surroundings of the borough of Belvís de Monroy, the granite-pegmatite system with the same name is located. The peculiarities of the granite and the evidence to be mineralized have sparked interest in understanding the system. This study aims to characterize the pegmatites, analyze the behavior of rare elements, and develop exploration techniques. To achieve this, the research proposes fieldwork, geological mapping, petrographic studies, and chemical analysis. The results obtained so far have revealed the complexity of the system.

Keywords: pegmatite, Iberian peninsula, Li-mineralizations, rare elements

1. Sarrera eta motibazioa

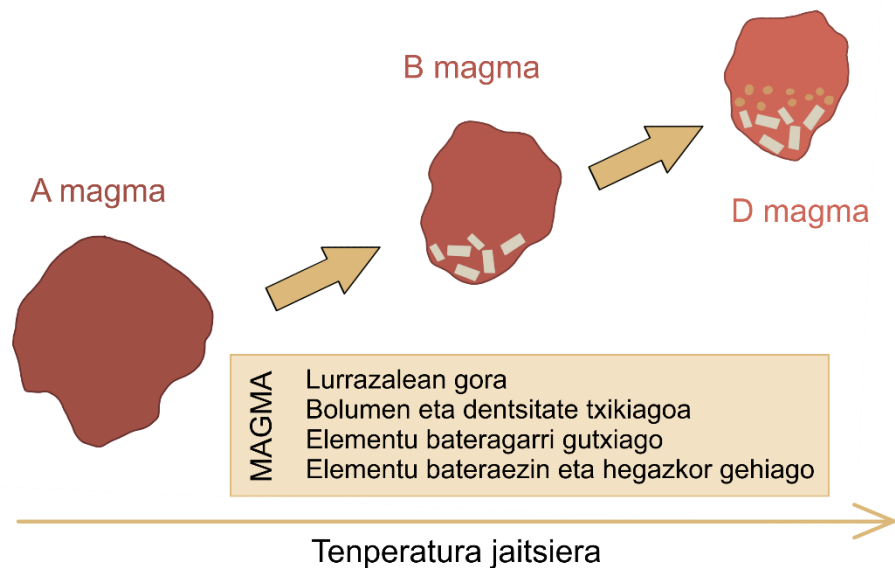
Asko hitz egiten da gizarteak pairatzen duen krisi ekosozialaz eta berekin dakarren teknologia berrien sorreraz eta trantsizio energetikoaz. Trantsizio, krisi eta kontsumismoak argi utzi dute erregai fosilen erabilera murrizteko beste lehengai batzuekiko dugun dependentzia (Baltazar Tabelin et al., 2021; IEA, 2021, 2024). Hori dela medio, teknologia berriek pegmatitetatik lor daitezkeen elementu arraroen (Li, Nb edo Ta) beharra dute. Ez hori bakarrik, orain arte erabili diren industria mineralak, hala nola, kuartzoa eta feldespatoa, nahitaezko lehengaiak dira zenbait industriarako (teknologikoa, zeramikoa, farmazia-industria...) (Kesler et al 2012; London, 2016; Bradley et al., 2017; Dondi et al., 2025). Behar hauen ondorioz, mineralizatutako pegmatiten interes ekonomikoa esponentzialki handitu da, eta berarekin batera interes zientifikoaren gorakada gertatu da. Lehengaien beharrak esplorazioan inbertitzea iradokitzen du: ezagunak diren hobiak eta aurretik ustiatutako meatzeak birkalifikatzeko, ezagutzen ez direnak bilatzeko eta inoiz hobi gisa pentsatu ez direnak jo puntuan jartzeko.

Pegmatitak, oro har, arroka igneoak dira, hau da, magma batetik kristaldutakoak. Batez ere konposizio granitikokoak dira, eta beste arroka igneoetatik pikor larri edota aldakorragatik eta ehundura (pikorren arteko erlazio) bereziengatik bereizten dira (London, 2008). Arroka deigarriak dira mineral exotikoen presentziarengatik. Mineral exotiko deitzen zaie normalean oso kantitate txikian presente dauden elementuak kristalaren funtsezko elementu direlako, adibidez: Li-a miketan (lepidolita) eta turmalinan (elbaita) edo berilioatan aberatsa den berilo minerala (London, 2008; London, 2018). Orokorrean pegmatitak, dike morfologia dute, hau da, oro har bertikalak diren gorputz planar zein lentikularrak dira. Gainera, ohikoa izaten da gorputz pegmatitikoak

kontzentratuta agertzea eremu mugatu batean eta, sarri, gorputz granitiko baten inguruan. Eremu honi landa pegmatitiko deitzen zaio.

Pegmatitak, askotan, sistema granitikoekin erlazionatuta daude genetikoki, sistema hauen azken etapan kristaldutako arroak izanik. Beraz, granito sistema bateko azken etapako prozesu kimiko, fisiko zein, geologikoak ezagutzeko baliagarriak dira, hau da, petrogenesia zehazteko. Hauen garrantzia ulertzeko sistema granitiko batean ematen diren prozesu eta kontzeptu batzuk azaldu behar dira. Petrologia igneoan oinarritzkoa den magma bereizketa prozesu bat da kristalizazio frakzionatua, Bowenek 1928an lehen aldiz azaldua. Jatorrizko magma batean baldintza aldaketa baten ondorioz, adibidez, tenperatura jaitsieraren ondorioz, desoreka bat ematen da eta sistema egonkor mantentzeko mineralak kristaltzen hasten dira (1. irudia). Lehenengo mineralen prezipitazioak, dentsitate txikiagoko eta konposizio desberdineko magma eratzea eragingo du. Hau behin eta berriz gertatuko da, jatorrizko magma gehiena kristaldu eta bolumen txikiago azken galdatu bat lortu arte. Prozesu hau ulertzeko garrantzitsua da hurrengo hau ulertzea: kristaltzen diren mineralak elementu bateragarriak kontsumituko dituzte, hau da, fase solidoan/kristaletan egotea nahiago duten elementuak (Fe, Ca, Mg...). Bestalde, sortzen den galdatuan, fase likido batean, mantentzea nahiago duten elementuak geratuko dira. Hau elementu bateraezinak deritze (adibidez, Li, F, B...) eta hein handi batean hegazkorrak dira, hau da, gas edo disolbatuta egoteko lehentasuna duten elementu eta konposatuak dira (H_2O , Cl...). Hau horrela izanik, azken galdatuak elementu bateraezinen kontzentrazio handia izango du. Gainera, dentsitate jaitsierak galdatua poliki-poliki lurrazalean gora egin izana eragiten du. Jatorrizko galdatuaren eta inguruko arroaren baldintza fisiko-kimikoen aldaketa nabarmena da. Horren adibide da presioa aldaketa, sakonera txikiagoan presio txikiagoa da. Presio jaitsierak inguruko arroa haustea eragin dezake eta haustura hauetan azken galdatua injektatu eta magmaren kristalizazioa ematen bada, dike pegmatitikoak formatzen dira.

1. irudia. Kristalizazio frakzionatuaren eskema sinplea.



Kristalizazio frakzionatua pegmatiten teoria petrogenetiko bat da, baina teoria honek bere kontraesanak ere baditu. Oro har, munduko landa pegmatitikoak ez dira ezagunak haien antzekotasunengatik baizik eta heterogeneotasunagatik. Hori horrela, teoria honek bere mugak ditu eta, gaur egun, teoria ezberdinak eztabaidan daude.

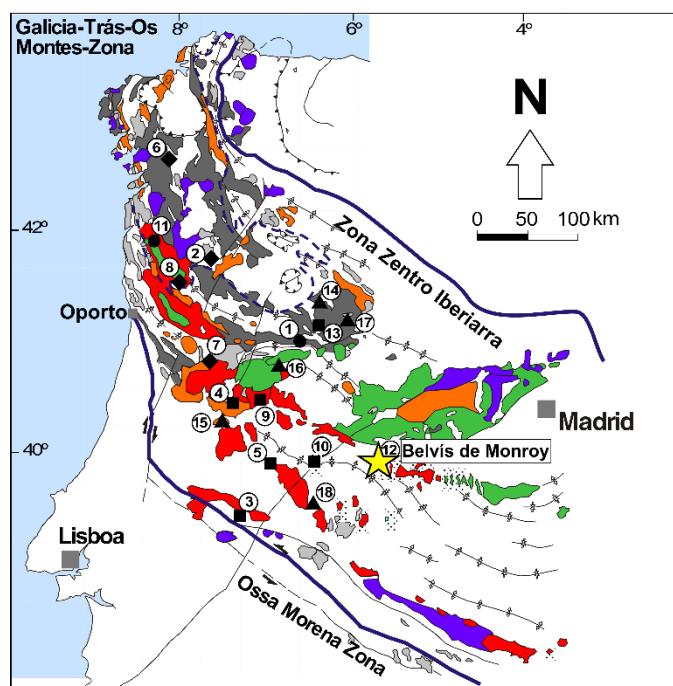
Eredu genetikoez gain, interes zientifiko-ekonomikoa dela medio, landa pegmatitikoaren karakterizazio kartografiko, mineralogiko, petrologiko eta geokimikoa helburu duten lanak ere ugariak dira. Mazizo Iberriarra, Portugal eta Espainia mendebaldean hedatzen den eskualde

geologikoa, aztergai izan da aurreko mende amaieratik gaur egun arte. Eskualde geologiko honen interesa bertan dauden balio ekonomiko handiko elementu arraroen (Li, Sn, Nb eta Ta) hobien aberastasunean datza. Mineralizazioak lau hobi motatan sailkatu dira (Roda-Robles et al., 2016; Pesquera et al., 2020):

- Pegmatitak: alde batetik Li-an aberastutakoak eta, bestetik, berilo eta fosfatotan aberatsak direnak daude.
- Kupula granitikoak: granitoen ertzeko zonak B, Li eta F elementu bateraezinetan aberastuta egon daitezke.
- Kuartzozko zainak: kuartzozko zain hidrotermaletan Li-an aberatsak diren mineralak ager daitezke.
- Metasomatismo bidez Li-an aberastutako metasedimentuak: metasomatismoa prozesu geologiko bat da eta elementu hegazkor eta bateraezinetan aberatsa den jariakin batek metasedimentuetan (metamorfismo gradu bat erakusten duten arroka sedimentario etan) aldaketak eragiten ditu. Aldaketa hauek konposizionalak dira; arroko mineralen konposizioa aldatzen da eta mineral berriak eratzen dira.

Hauetatik pegmatitak dira gehien nabarmentzen direnak, eta gorputz pegmatitiko bat baino gehiago agertzen dira landa pegmatitikoak osatuz, oro har, granitoekin espazialki erlazionatuta (2. irudia) (Roda-Robles et al., 2016; 2018). Adibide bezala, Gaztela-Leon mendebaldeko, Extremadurako bi probintzietako eta Portugal iparraldeko mineralizatutako landa-pegmatitikoak aipa daitezke: Barroso-Alvão, Fregeneda-Almendra eta Tres Arroyos (Martins et al., 2012; Garate-Olave et al., 2017; Roda-Robles et al., 2023). Sistema pegmatitiko gehienak detailean deskribatuta dauden arren oraindik gutxi batzuk geratzen dira ikertzeko. Gainera, azken urteotan, esplorazio teknika berritzaile ez-suntsitzaileak diseinatu dira eta ikerketa eremu hauek erabiliak izaten ari dira teknika fintzeko, esplorazio ereduak diseinatzeko eta gorputz mineralizatu berriak aurkitzeko (Cardoso-Fernandes et al., 2020; 2022; Errandonea-Martin et al., 2022; Dias et al., 2023; Garate-Olave et al., 2024).

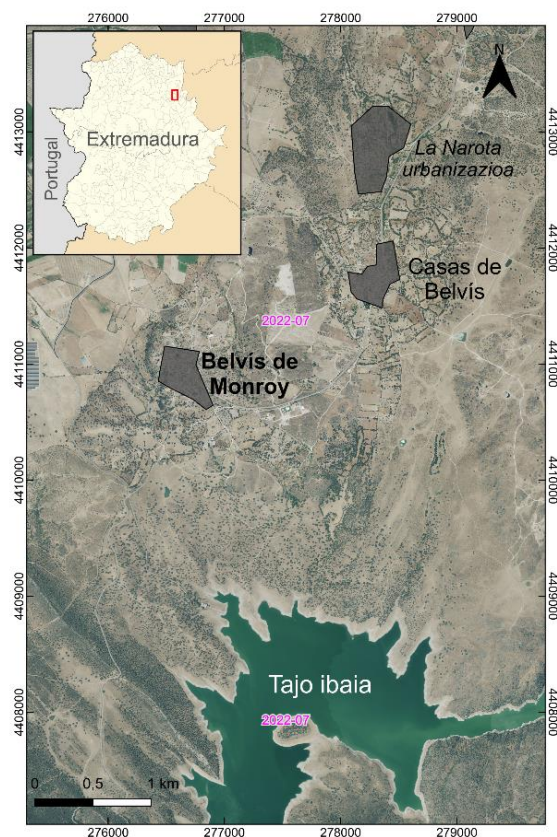
2. irudia. Iberiar Mazizoaren parte diren Zona Zentro Iberiarreko eta Galizia-Tras-Os-Montes Zonako mapa sinplifikatua. Koloreztatuta Bariskoko granitoak adierazten dira eta, zenbakituta, granito kupula eta pegmatitei erlazionatutako Li-zko mineralizazioak. Ikertuko den granito-pegmatita sistema seinalatuta agertzen da (Roda-Robles eta lankideetatik (2018) moldatuta).



2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Belvís de Monroy Cáceres probintziaren ipar-mendebaldean kokatutako udalerri bat da (3. irudia). Izen bereko 20 km² granito-pegmatita sistema lekutzen da herriaren eta Tajo ibaiaren ibilguko Valdecañas urtegiaren inguruan (3. irudia). Lehenengo kartografia geologikoa Montserín-López eta Pérez-Rojasek (1987) aurkeztutakoa da. Kartografia honetan geolokalizatu gabeko dike gorputzak marrazten dira, pegmatiten presentzia adierazten. Hamarkada batzuk beranduago, Merino eta lankideek (2013) granitoaren berezitasunak plazaratu zituzten. Hala ere, pegmatita sistemaren konplexutasunak mapetan islarik gabe jarraitzen zuen. Jarraian, Pérez-Soba eta lankideek (2014) kartografia geologiko osatuago bat argitaratu zuten. Bertan, pegmatita gorputz esanguratsuenak kartografiatzeaz gain, egiturari dagozkion datu batzuk ere aurkeztu zituzten. Gainera, Merino eta lankideek (2013) eta Pérez-Soba eta lankideek (2014) pegmatiten deskribapen sinple bat eskaini zuten. Urte berean, Jiménez-Martínezek (2014) pegmatitetan lepidolita (Li-zko mika) presente dagoela aipatu zuen.

3. irudia. Belvís de Monroy granito-pegmatita sistemaren ikerketa gunea (PNOA, 2022).



Ikerketa honen helburuak, beraz, honako puntu nagusietan azal daitezke:

- 1) Bereizmen handiko kartografia geologiko bat eratzea.
- 2) Pegmatita gorputzen deskripzio mineralogiko eta geokimikoa egitea.
- 3) Belvís de Monroyko granito-pegmatita sistemaren eredu petrogenetikoa ezartzea.
- 4) Kristalizazio pegmatitikoan elementu batzuen (adibidez, P, B, F, Li, Rb, Sn, Nb eta Ta) portaera geokimikoa ezartzea, arroka ostalarien garatutako metasomatismo-prozesuak ere kontuan hartuta.
- 5) Eskualdeko elementu arraroetan aberastutako gorputz pegmatitiko berriak aztertzekeo eredua eta esplorazio patroia diseinatzea.

3. Ikerketaren muina

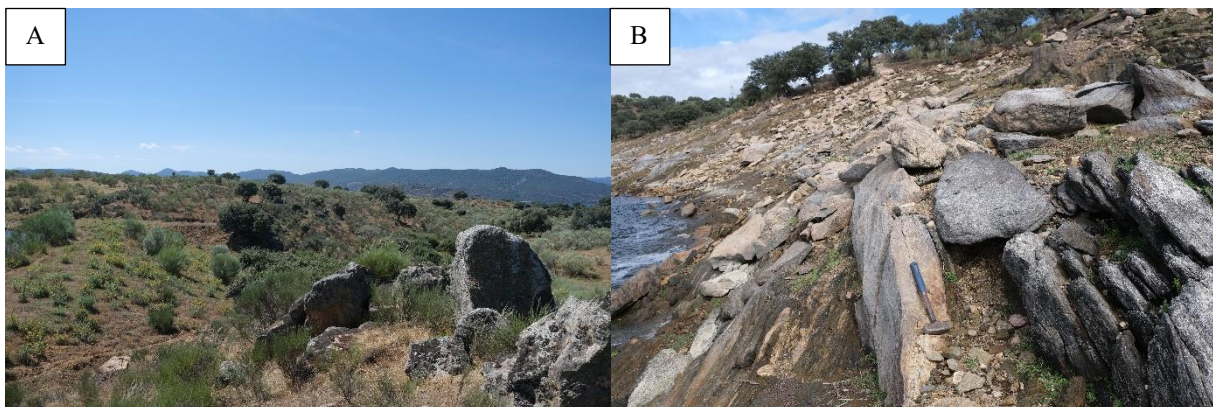
Aurkeztu diren helburuak lortu ahal izateko bi atal nagusi ditu ikerketa honek. Alde batetik, landa lana, kartografia eta datu estruktural zein makroskopikoak lortzeko beharrezkoa dena. Beste alde batetik, laborategiko lana egin behar da; mikroskopia bidezko azterketak eta analisi kimikoak oinarritzkoak izango dira landan ikusten den hori hobeto ulertzeko.

Kartografia geologikoa, deskribapen makroskopikoa eta laginketa:

Kartografia geologiko zehatz bat egiteko eta nahi diren behatokiak zehazteko egindako mapa geologikoen bilketa bat egin da eta satelitezko irudiak, lurrazalaren eredu digitalak eta itzal mapak aztertu dira. 20 km² landa eremua 18 egunetan aztertua izan da non 260 behatokitik gora ezarri diren (≈ 13 behatoki/km²) (4A eta B. irudia). Hauetan granito, pegmatita zein arroka ostalariaren 180 lagin jaso dira (≈ 9 behatoki/km²) eta guztira ehun bat gorputz identifikatu dira. Landako pegmatita dike, arroka igneo eta arroka ostalariko mineralen identifikazioa, ehundura makroskopikoak, neurketa estrukturalak edota barne egiturak zehaztu dira.

Kartografia geologikoa QGIS software librearen bidez digitalizatu da 1:2500eko eskala eta 2x2 metroko erresoluzioa duen mapa bat osatuz. Aurkitutako dike eta pegmatita gorputzak 2 metroko errorearekin kartografiatu dira eta bestelako egitura geologikoak eta topografikoak, aldiz, 5 metroko errorearekin.

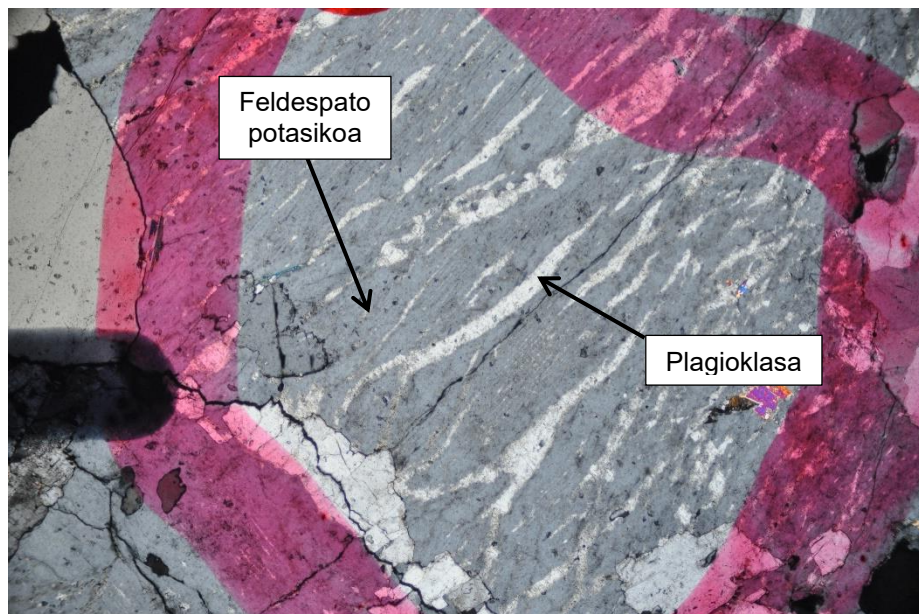
4. irudia. Belvís de Monroy landa eremuko azaleramenduak A) landareriaz estalitako landan azaleramenduak murriztagoak dira; irudiaren ezker aldean 2-3 metro lodi den dike pegmatitiko bat ikus daiteke. B) Urtegiaren ertzean arroka azaleramenduak jarraipen handiagoa dute; mailua 30 zentimetrotako dike aplitiko-pegmatitiko batean pausatua dago.



Deskribapen mikroskopikoa eta analisi kimikoak

Geologiako arlo gehienetan oinarritzko da arroken azterketa mikroskopikoa egitea eta, horretarako, transmisio edo islapen bidezko mikroskopia optikoaren erabilera funtsezkoa da. Bertan, alde batetik begi bistaz ikus ez daitezkeen mineralak identifika daitezke eta, bestetik, hauen ehundurak deskribatu. Izan ere, ehundura eta arroka fabrika batzuk ikusteko ezin bestekoa da eskala honetako ikusmena izatea. Funtsezkoa dela esaten da bertatik lortzen den informazioa oinarritzko delako eta erabilgarria zenbait metodologiaren aplikatzeko: arroken mineralogia zehazteko, ehundurak deskribatzeko edota mikro-estrukturen edota kristalizazio baldintzen inguruko informazioa lortzeko. Azterketa mikroskopiko eta landa lanaren bidez 7 gorputz igneo mota ezberdin zehaztu dira. Gainera, pegmatita mota denetan mineral nagusiak berdinak direla ikusi da: kuartzoa, plagioklasa eta moskobita, batzuetan seinagarria da feldespatu potasiko, turmalina edo granatearen presentzia (5. irudia). Mineral osagarriei dagokionez, ugaritasuna eta konplexutasuna agerian geratu da. Nabarmentzekoa da Li-zko mika (lepidolita) eta 20 fosfato mineral espezie ezberdin.

5. irudia. Mikroskopia optiko bidez feldespatu potasiko kristal bati ateratako irudia da. Irudian feldespatu potasikoan (gris ilunean) pertita moduan agertzen diren plagioklasak ikus daitezke (gris argian ikusten diren kristal luzexkak). Horrez gain, irudi honetan analisisetarako lagin prestaketa sinplea nolakoa den ikus daiteke. Mineralen elementu nagusi zein aztarnen analisi kimikoetarako errotulagailu bidez adierazten da intereseko eremua.



Analisi kristalografikoei dagokienez X-izpien difrakzioa mineral jakin batzuen azterketa kristalografikoa egiteko erabili da. Horren adibide, feldespatu potasikoetan egindako analisi kristalografikoak ditugu. Aztertutako feldespatu potasiko gehien mineral fasea ortosa da eta sistema monoklinikoan kristaldu dela adierazten du. Horrek, pegmatiten kristalizazio tenperatura tarte bat ezartzea ahalbidetu du.

Analisi kimikoak mineraletan zein arroketan egiten dira osatzen dituzten elementu nagusiak eta aztarna elementuak ezagutzeko. Analisi hauek beharrezkoak dira kristal berean ematen diren konposizio aldaketak ezagutzeko, gorputz bateko kimika mineralaren aldakortasuna zehazteko, kristalizazio prozesuan zehar galdatuaren konposizio aldaketak nolakoak eta zergatik izan diren jakin ahal izateko eta erlazio petrogenetikoak ezartzeko. Jada, elementu nagusiak ezagutzeko, mikrosonda elektronikoko 1500 analisi inguru burutu dira (5. irudia). Hala nola, ablazio bidezko laserraren bitartez (ICP-masa espektrometria), 300 analisi egin dira aztarna elementuak ezagutzeko. Hau gutxi ez balitz, arroka totalaren 12 analisi egin dira, gutxienez bana mota bakoitzeko eta bina aldaketa gehien erakusten duten pegmatita motetan, lekuan lekuko eman daitezkeen aldaketa kimikoak jasotzeko. Arroka totalaren analisiak pegmatitek inguruko granitoekin duten erlazio genetikoak interpretatzea ahalbidetuko dute.

4. Ondorioak

Kartografia geologiko zehatzari esker, 100 bat pegmatita gorputz deskribatu dira eta Belvís de Monroy granito-pegmatita sistema interes zientifiko handiko eremua dela agerian geratu da. Landako datuek eta azterketa mineralogiko zein petrografikoez azalera ekarri dute pegmatitek duten mineralogia konplexua eta egitura/ehundura aniztasuna. Fosfatoen presentzia nabarmentzen da, eta, horrek, gorputz igneoak P-tan aberatsak direla adierazten du. Horrez gain, lepidoliten presentzia pegmatita hauetan Li-a dagoen adierazle garbia da.

Agerikoa da ikerketa-plan konplexua planteatzen dela. Izan ere, azterketa eta analisi mota desberdinak era bateratuan aztertu behar dira Belvís de Monroy granito-pegmatita sistema bere osotasunean ulertzeko, bai xehetasunean deskribatzeko, bai eta kristalizazio baldintzak eta jatorria zehazteko.

5. Etorkizunerako planteatzeko den norabidea

Belvís de Monroy sistemaren karakterizazio mineralogiko, petrografiko eta geokimikoek hurrengo pausuak zehaztuko dituzten arren, etorkizunerako ikerketa posible batzuk plazaratu daitezke.

Alde batetik, esplorazioan erabiltzen ari garen teknika berriak aplikatzeko eta probatzeko eremu egokia da, adibidez arroka ostalariaren metasomatismoa aztertzeke. Teknika ez suntsitzaileak proba ditzakegu, hala nola, landan aurkitu ez diren mineralizazioak bilatzeko satelite bidezko espektroen analisia edota ekipamendu eramangarri bidezko lekuko analisi kimikoak.

Beste alde batetik, mineralizazio berriak esploratzeko helburuari begira, Belvís de Monroy sistemako landa eremu mugatu eta sistemaren ezaugarri geologikoengatik aproposa da ikerketa geofisiko desberdinak egiteko. Geofisikarekin granito azpiko egitura ezagutu ahal izango dugu eta mineralizatuta egon daitezkeen gorputz igneo berriak identifikatu ahal izango ditugu.

6. Erreferentziak

- Baltazar Tabelin, C., Dallas, J., Casanova, S., Pelech, T., Bournival, G., Saydam, S., & Canbulat, I. (2021). Towards a low-carbon society: A review of lithium resource availability, challenges and innovations in mining, extraction and recycling, and future perspectives. *Minerals Engineering*, 163, 106743. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106743>
- Bradley, D. C., McCauley, A. D., & Stillings, L. M. (2017). *Mineral-deposit model for lithium–cesium–tantalum pegmatites*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–O. <https://doi.org/10.3133/sir201050700>
- Dias, F., Ribeiro, R., Gonçalves, F., Lima, A., Roda-Robles, E., & Martins, T. (2023). Calibrating a handheld LIBS for Li exploration in the Barroso-Alvão aplite-pegmatite field, northern Portugal: Textural precautions and procedures when analyzing spodumene and petalite. *Minerals*, 13(4), 470. <https://doi.org/10.3390/min13040470>
- Garate-Olave, I., Müller, A., Roda-Robles, E., Gil-Crespo, P. P., & Pesquera, A. (2017). Extreme fractionation in a granite–pegmatite system documented by quartz chemistry: The case study of Tres Arroyos (Central Iberian Zone, Spain). *Lithos*, 286–287, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.07.014>
- Garate-Olave, I., Roda-Robles, E., Santos-Loyola, N., Martins, T., Lima, A., & Errandonea-Martin, J. (2024). Crystallization sequence of the spodumene-rich Alijó pegmatite (Northern Portugal) and related metasomatism on its host rock. *Minerals*, 14(7), 701. <https://doi.org/10.3390/min14070701>
- Cardoso-Fernandes, J., Teodoro, A. C., Lima, A., Perrotta, M., & Roda-Robles, E. (2020). Detecting lithium (Li) mineralizations from space: Current research and future perspectives. *Applied Sciences*, 10(5), 1785. <https://doi.org/10.3390/app10051785>
- Cardoso-Fernandes, J., Lima, J., Lima, A., Roda-Robles, E., Köhler, M., Schaefer, Barth, A., Knobloch, A., Gonçalves, M. A., Gonçalves, F., & Teodoro, A. C. (2022). Stream sediment analysis for lithium (Li) exploration in the Douro region (Portugal): A comparative study of the spatial interpolation and catchment basin approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 236, 106978. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.106978>
- Errandonea-Martin, J., Garate-Olave, I., Roda-Robles, E., Cardoso-Fernandes, J., Lima, A., Anjos-Ribeiro, M., & Teodoro, A. C. (2022). Metasomatic effect of Li-bearing aplite-pegmatites on psammitic and pelitic metasediments: Geochemical constraints on critical raw material exploration at the Fregeneda–Almendra Pegmatite Field (Spain and Portugal). *Ore Geology Reviews*, 150, 105155. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105155>
- International Energy Agency. (2024). *World energy outlook 2024*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

- International Energy Agency. (2021). *The role of critical minerals in clean energy transitions*. Berreskuratua 2025eko otsailaren 5etik <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- Jiménez-Martínez, R. (2014). Riqueza mineralógica del Distrito pegmatítico de Belvís de Monroy (Cáceres, España). *De Re Metallica*, 23, 79–84.
- Kesler, S. E., Gruber, P. W., Medina, P. A., Keoleian, G. A., Everson, M. P., & Wallington, T. J. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*, 48, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.05.006>
- London, D. (2008). *Pegmatites*. Mineralogical Association of Canada arg.
- London, D. (2014). A petrologic assessment of internal zonation in granitic pegmatites. *Lithos*, 184–187, 74–104. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.10.020>
- London, D. (2016). Rare-element granitic pegmatites. In P. L. Verplanck & M. W. Hitzman (Eds.), *Rare earth and critical elements in ore deposits* (pp. 165–194). *Reviews in Economic Geology*, 18. <https://doi.org/10.5382/Rev.18.08>
- London, D. (2018). Ore-forming processes within granitic pegmatites. *Ore Geology Reviews*, 101, 349–383. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.07.011>
- Martins, T., Roda-Robles, E., Lima, A., & Parsarval, P. (2012). Geochemistry and evolution of micas in the Barroso-Alvão pegmatite field, northern Portugal. *The Canadian Mineralogist*, 50(4), 1117–1129. <https://doi.org/10.3749/canmin.50.4.1117>
- Merino, E., Villaseca, C., Orejana, D., & Jeffries, T. (2013). Gahnite, chrysoberyl and beryl co-occurrence as accessory minerals in a highly evolved peraluminous pluton: The Belvís de Monroy leucogranite (Cáceres, Spain). *Lithos*, 179, 137–156. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.09.004>
- Monteserín-López, V., & Pérez-Rojas, A. (1987). *Mapa geológico de España, Hoja No. 652, Jaraicejo*. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria, Madrid.
- Pérez-Soba, C., Villaseca, C., Orejana, D., & Jeffries, T. (2014). Uranium-rich accessory minerals in the peraluminous and perphosphorous Belvís de Monroy pluton (Iberian Variscan belt). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 167, 1008. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-1008-4>
- Pesquera, A., Roda-Robles, E., Gil-Crespo, P. P., Valls, D., & Torres-Ruiz, J. (2020). The metasomatic enrichment of Li in psammopelitic units at San José-Valdeflórez, Central Iberian Zone, Spain: A new type of lithium deposit. *Scientific Reports*, 10, 10828. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67520-6>
- Roda-Robles, E., Vieira, R., Lima, A., Errandonea-Martin, J., Pesquera, A., Cardoso-Fernandes, J., & Garate-Olave, I. (2023). Li-rich pegmatites and related peraluminous granites of the Fregeneda-Almendra field (Spain-Portugal): A case study of magmatic signature for Li enrichment. *Lithos*, 452–453, 107195. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2023.107195>

7. Eskerrak eta oharrak

Doktore tesi proiektu hau Eusko Jaurlaritzako Zientzia, Unibertsitate eta Berrikuntza Sailaren doktoretza aurreko programari eta Euskal Herriko Unibertsitatearen GIU 21/008 taldeari esker posible izaten ari da.