



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Hiri-lurzoruetako metalen eta
metaloideen
bioeskuragarritasunaren
ebaluazioa**

*Ainhoa Lekuona Orkaizagirre,
Ainara Gredilla Altonaga,
Maite Meaurio Arrate,
Eneko Madrazo Uribeetxebarria
eta Maddi Garmendia Antin*

263-270 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.05.33>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Hiri-lurzoruetako metalen eta metaloideen edukiaren eta bioeskuragarritasunaren ebaluazioa

Ainhoa Lekuona Orkaizagirre¹, Ainara Gredilla Altonaga², Maite Meaurio Arrate¹, Eneko Madrazo Uribeetxebarria³, Maddi Garmendia Antin³,

¹*Kimika Aplikatua Saila, Kimika Fakultatea, UPV/EHU,*

²*Kimika Analitikoa Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, UPV/EHU,*

³*Ingeniaritza Energetikoa Saila, Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, UPV/EHU*
ainhoa.lekuona@ehu.eus

Laburpena

Hirietako lurzoruek zenbait metal izan ditzakete, horietatik batzuk toxikoak direlarik. Metalak eta metaloideak giza-gorputzean sar daitezke, inhalazio, ingestio edo azaleko absortzioaren bidez. Kontuan izanda 1 eta 12 urte bitarteko haurren eguneko batezbesteko ingestio-dosia 200 mg·egun⁻¹ dela, digestio prozesuaren bidez lurzortik barneratu daitezkeen metalak determinatzeko in vitro metodologia desberdinak proposatu dira. SBET (*Simplified Bioaccessibility Extraction Test*) metodoak giza-urdaileko baldintzak simulatzen ditu. Ikerketa honetan 27 lurzoru-lagin bildu dira Donostiako aisialdi-guneetan, metal eta metaloideen (Fe, Ni, Zn, As, Cr, Cd eta Pb) bioeskuragarritasuna ebaluatzeko.

Aztertutako elementu guztien kontzentrazioa Lurzoruen Legeko (4/2015) Ebaluazio Balio Adierazgarrien (B-EBA) azpitik agon arren, SBET metodoak Zn, Pb eta Cd metal bioeskuragarrienak bezala identifikatzea ahalbidetu du.

Hitz gakoak: lurzorua, metalak eta metaloideak, bioeskuragarritasuna, SBET

Abstract

Urban soils may contain different metals, some of them being toxic. Metals and metalloids can enter the human body by direct inhalation, ingestion or dermic absorption. Taking into account that 200 mg·day⁻¹ is the average daily ingested dose of soil for children aged from 1 to 12, in vitro methodologies have been proposed for the quantification of the metal fraction mobilized from soils during the digestion process. SBET (Simplified Bioaccessibility Extraction Test) method simulates the human gastric conditions. A total of 27 urban soils were collected in leisure areas from San Sebastian to evaluate the bioaccessibility of metals and metalloids (Fe, Ni, Zn, As, Cr, Cd and Pb).

Although the concentration of the examined metals is below the Indicative Evaluation Value (B-EBA) defined in the Soils Law (4/2015), the SBET method has provided the identification of Zn, Pb and Cd as the most bioaccessible metals.

Keywords: soils, metals and metalloids, bioaccessibility, SBET

1. Sarrera eta motibazioa

Lurzorua lurrazalaren gainazaleko geruza gisa definitzen da eta mineral-partikulak, materia organikoa, ura, airea eta organismo bizidunak dira bere osagai nagusiak. Oso dinamikoa da eta funtzio asko ditu: karbonoaren eta biomasaren ekoizle nagusia da eta biodibertsitatearen garapena eta ekosistemaren biziraupena ahalbidetzen ditu, besteak beste. Hori dela eta, lurzoru ezinbestekoa da gizakiarentzat eta bere osasurentzat, eta beraz garrantzitsua da lurzoruaren kalitatea bermatzea (Petruzzelli et al., 2020).

Hiriguneetako lurzoruetan toxikotasun ezberdineko metalak aurki daitezke, oro har, traza-elementu gisa, 100 mg·kg⁻¹ baino kontzentrazio txikiagoan, eta horiek giza gorputzean sar daitezke, inhalazio zuzenaren, ingestioaren eta kontaktu dermikoaren bidezko absortzioaren bidez (Ferreira-Baptista eta De Miguel, 2005; Poggio et al., 2008). Estatu Batuetako Ingurumen Babesaren Agentziaren arabera (ingeleseaz *United States Environmental Protection Agency*, USEPA), honakoak dira lurzoru eta sedimentuen eguneko ingestio-balioak: 1 eta 12 urte bitarteko haurren kasuan 200 mg·egun⁻¹ eta 12 urtetik aurrerako pertsonentzat 100 mg·egun⁻¹ (USEPA, 2011). Haurren kasuan, lur- eta sedimentu-partikulen ingestioa bide ohikoa da traza-elementuak

organismoan sartzeko, uraren edo metal astunekin kutsatutako elikagaien ingestioa bezain esposizio-bide garrantzitsua izanik. Haurren nerbio-sistema garatzear dagoela eta gorputz tamaina txikia dutela kontuan izanik, haiengan elementu horien eragina handiagoa da.

Oro har, lurzorua kutsatuta dagoela determinatzeko, Lurzoruen Legeko (4/2015) Ebaluazio Balio Adierazgarriak (EBA balioak) erabiltzen dira erreferentzia gisa. Legean definitutako EBA balioen artean, pertsonen babeserako definitutako B-EBA balioak izan dira lan honetan erreferentzia moduan hartu direnak. Balio horiek honako eremu-moten arabera dira: haurren jolaserako eremua, hiria, parke publikoa, industria eta beste erabilera batzuk. Horrez gain, arestian aipatutakoa kontuan izanik, elementu horiek giza gorputzean izan dezaketen eragina ebaluatzeko garrantzitsua da giza gorputzak absorbatzeko eskuragarri dagoen frakzioa, hots, frakzio bioeskuragarria, determinatzea.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Gaur egun, bioeskuragarritasuna ebaluatzeko tekniken artean, in vivo zein in vitro metodoak erabiltzen dira. In vivo esperimentuak anatomikoki, metabolikoki eta fisiologikoki gizakien antzekoak diren animaliekin egiten dira (Turner, 2011). In vitro metodoak, bestetik, aukera etikoago eta merkeago gisa aurkezten dira, non giza-digestioa simulatzen den giza-gorputzean oinarritutako fluido sintetikoak erabiliz. Horrela, saiakuntza horien bidez urdailean zein hesteetan disolagarria den eta beraz absortziorako eskuragarri dagoen kutsagai baten frakzioa neurtu daiteke, hau da, bioeskuragarria den frakzioa.

Oinarri fisiologikoan oinarritutako erauzketa proba (PBET, *Physiologically Based Extraction Test*) eta bioeskuragarritasun-erauzketa proba sinplifikatua (SBET, *Simplified Bioaccessibility Extraction Test*) gehien erabiltzen diren bi metodo dira digestio biokimikoa giza traktu gastrointestinallean simulatzeko. SBET, PBETaren forma sinplifikatu gisa definitzen da, eta urrats bakarreko erauzketa da, urdailko baldintzak bakarrik simulatzen dituelarik.

Aukeratutako in vitro metodoa edozein izanda ere, elementuek bioeskuragarritasun balio desberdinak izaten dituzte, besteak beste, honako faktoreen ondorioz: jatorrizko forma kimikoa, pH-a, erauzketako portaera eta lurzorearen edo sedimentuaren buztin-edukia (Ljung et al., 2007).

Ikerketa honen xede nagusia hiri-lurzoruetako zenbait metal eta metaloideen edukia aztertzea eta horien bioeskuragarritasuna ebaluatzea izan da, horretarako SBET in vitro metodo sinplifikatua erabiliz. Helburu hori lortzeko, honako helburu txikiagoak definitu dira:

- Lurzoruaren kalitatea aztertzea, Fe, Ni, Zn, As, Cr, Cd eta Pb edukiaren balioak Lurzoruen Legeko B-EBA balioekin alderatuz.
- Metalen edukiari dagokionez kokapen geografikoaren arabera joera orokorrik antzematen den ondorioztatzea.
- Lurzoruaren parametro fisiko-kimikoen eta aztertutako metalen edukiaren arteko erlazioa ebaluatzea.
- Aztertutako metalen eta metaloideen artean irisgarritasun handienekoak zeintzuk diren identifikatzea eta kuantifikatzea, lurzoru bakoitzeko metal edukia eta bioeskuragarria den frakzioa alderatuz.

3. Ikerketaren muina

3.1. Laginketa

Laginketa-gunea Donostian kokatzen da, Gipuzkoako hiriburuan, hain zuzen. Kantauri itsasoko kostaldean kokatzen da eta bertako klima ozeaniko epela da, honako bereizgarriak dituelarik:

temperatura apalak, hezetasun erlatibo altuak, hodeitza sarriak eta urtean zehar erregulartasunez banatutako euria (Bueno, 2017).

Guztira 27 lurzoru-lagin hartu dira hirian zehar, gehienak haurren parkeetatik edo aisialdirako guneetatik. Laginak inguru ezberdinetatik hartu dira: kostatik gertu, hiriaren erdigunean, industria-guneetatik gertu, mendialdetik hurbilago, etab. 1. irudian laginketa-mapa ikus daiteke, laginketa-puntuekin.

1. irudia. Laginketa-puntuak mapan.

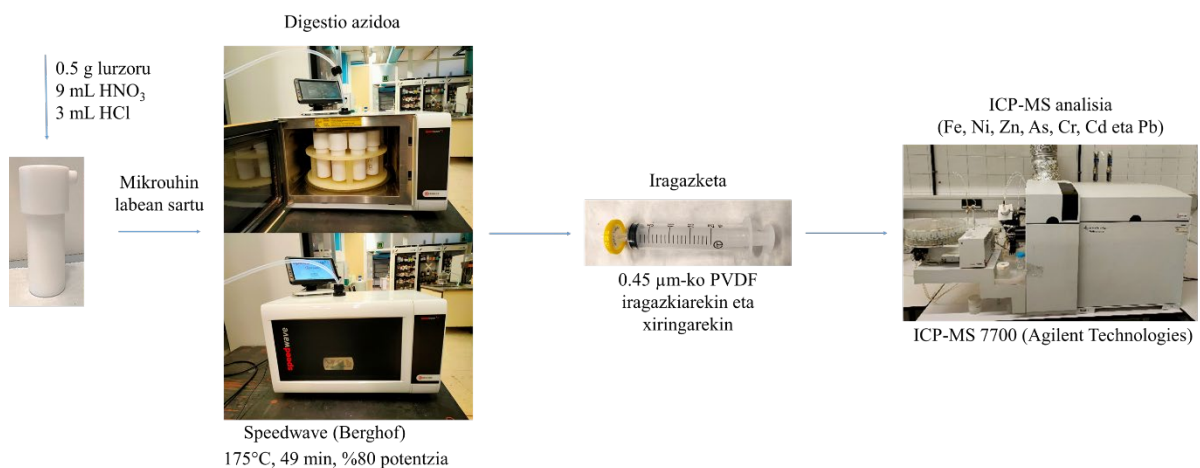


3.2. Prozedura esperimental

Lurzoruaren parametro fisiko-kimikoek metalen fase-banaketan eta beraz haien bioeskuragarritasunean izan dezaketen eragina aztertu ahal izateko, honakoak neurtu dira: pH-a, eroankortasun elektrikoa eta karbonatoen zein materia organikoaren edukia. pH-a eta eroankortasun elektrikoa elektrodoen bidez neurtu dira, 5 g lurzoruri 25 mL ur gehitu eta denbora batez irabiatu ondoren; karbonatoak atzerako balorazio bidez eta materia organikoa *Lost On Ignition* (LOI) bezala ezagutzen den kaltzinazio-teknikaren bidez (TC WI, 2003).

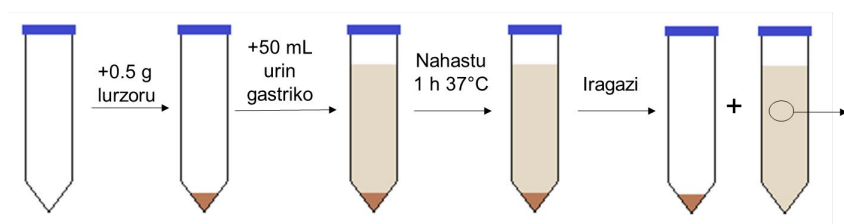
Ondoren, lurzorueta metal eduki *pseudototala* determinatu da, *agua regia* (HNO_3/HCl) nahaste bat erabilita, eta erauzketa mikrouhinen bidez lagunduz. Erauzietan zegoen Fe, Ni, Zn, As, Cr, Cd eta Pb elementuen kontzentrazioa Indukzio Bidez Akoplatutako Plasma - Masa Espektrometria (ICP-MS, *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*) erabilita determinatu da (ikus 2. irudiko eskema).

2. irudia. Metalen eduki *pseudototalaren* determinazioa, digestio azidoaren bidez.



SBET metodoa aplikatzean bukaerako disoluzioaren metal edukia ICP-MS bidez determinatu da. SBET metodoaren urin gastriko sintetiko prestatzeko 0.4 M glizina den 2 L-ko disoluzioa prestatu da, HCl-rekin pHa 1.5era doitzuz (Kim et al., 2002). 3. irudian SBET prozeduraren eskema ikus daiteke.

3. irudia. SBET prozeduraren eskema.



ICP-MS analisia
(Fe, Ni, Zn, As, Cr, Cd eta Pb)
ICP-MS 7700 (Agilent Technologies)

Bioeskuragarritasunaren ehunekoak kalkulatzeko 1. ekuazioa erabili da, SBET bidez erauzitako metal edukia lurzoruaren eduki *pseudototalarekin* zatituz.

$$\text{Bioeskuragarritasuna (\%)} = \frac{c_{\text{SBET}}}{c_{\text{Totala}}} \cdot 100 \quad (1)$$

* c_{Totala} =kontzentrazio *pseudototala*

3.3. Emaitzak

1. taulan aztertutako lurzoru-laginetako Fe, Ni, Zn, As, Cr, Cd eta Pb eduki *pseudototalaren* batezbestekoa eta balio minimoa zein maximoa adierazi dira, eta jarraian RSDak (Relative Standard Desviation), balioen desbideraketa adierazten dutenak. Lurzoruen kalitatea aztertzeko Lurzoruen Legean definitutako metal bakoitzaren B-EBA muga-balioak ere ipini dira. B-EBA balioetan lau eremu ezberdintzen dira: haurren jolas-eremuak, hiriko gunek, parke publikoak eta industriagunek. Balio guztiak $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ unitateetan daude emanda.

1. taula. Lurzoruen metal edukia eta B-EBA balioak.

		Lurzoruen metal edukia ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)						
		Fe	Ni	Zn	As	Cr	Cd	Pb
Batazbestekoa		22300	18.6	167	13.4	17.5	0.226	99
Minimoa		6600	6.3	45	Detektatu gabe	8.2	Detektatu gabe	21
Maximoa		40700	33.2	360	24.8	33.0	0.750	274
%RSD		3.3	2.9	3.0	5.4	2.8	1.4	2.1
B-EBA balioak	Haurren jolas-eremua	*Ez dago B-EBA baliorik Fe-erentzat.	110	*Gehieneko kontzentrazio onargarri eratorria g/kg hamarrekotan ematen da.	30	90	5	120
	Hiria		150		30	200	8	150
	Parke publikoa		500		30	400	25	450
	Industria		800		200	550	50	1000

1. taulan ikus daiteke hiriko lurzoruetan aztertutako Fe, Ni, Zn, As, Cr eta Cd edukia B-EBA balioen azpitik agertzen dela aztertutako puntu guztietan. Bestalde, berunaren kasuan, puntu gehienak lau eremuetarako definitutako B-EBA balioen azpitik badaude ere, zortzi lagin $120\text{-}274 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kontzentrazio-tartean agertzen dira. Puntu horietatik zazpi parke publikoak dira eta bat industriagunetik gertu dago; beraz datu guztiak bakoitzaren erabilerarako definitutako erreferentzia-balioen azpitik daude Pb-ren kasuan ere.

Kokapen geografikoaren arabera joera orokorrak aztertzeko, NWAC (*Normalised-and-Weighted Average Concentration*) balioak kalkulatu dira. NWAC indizea kutsatzaileen metaketa-adierazlea da, lagin bakoitzarentzat kalkulatzen dena aztergai diren elementu guztien eragina aldi berean kontuan hartuz. Era honetan 1-10 bitarteko balioekin sailkatzen ditu aztertzen diren laginak edo laginketa-puntuak. NWAC balio-tarteak definitu, tarte bakoitzari kolore bat esleitu eta mapa batean koloretan adierazteak kutsatzaileen karga handieneko gunek zeintzuk diren identifikatzen lagun dezake(Gredilla et al., 2014).

Kasu honetan NWAC balioek metalen karga adierazten dute eta 4. irudian laginketa puntuetarako lortutako NWACak koloretan bereizi dira, lau balio-tarteren arabera.

4. irudia. Laginketa-puntuak NWAC balioen arabera koloreztatuta.



5. irudian ikusten diren puntu beltzak metal karga handienekoak dira eta bat datoz 1. taularen eztabaidan aipatutako berun eduki handiena duten zortzi lagin horiekin. Oro har, esan daiteke banaketa espaziala nahiko heterogeneoa dela.

Ikerketa eremuan neurtutako parametro fisiko-kimikoen (pH, eroankortasun elektrikoa, karbonatoak eta materia organikoa) eta aztertutako metal eta metaloideen artean erlaziorik ote zegoen aztertzeko korrelazio analisi bat burutu da (ikus 2. taula).

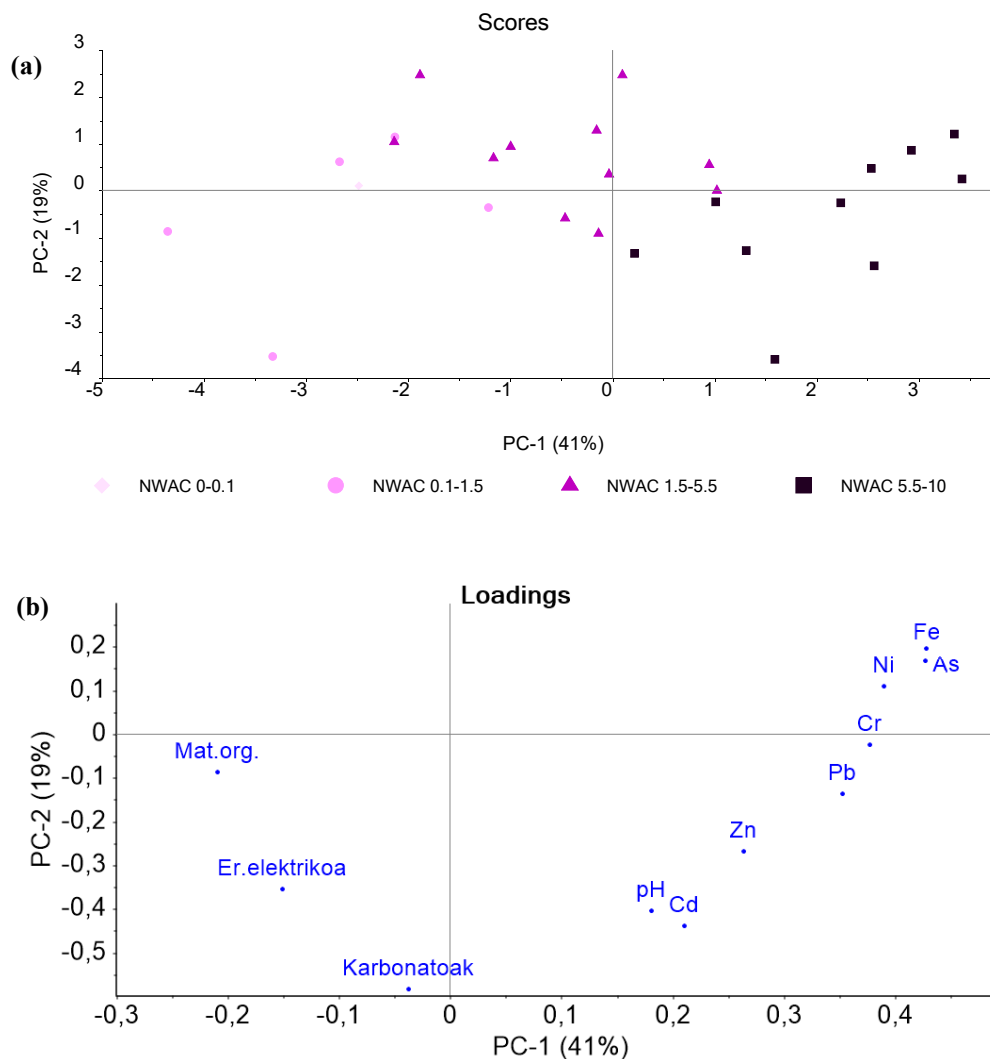
2. ekuazioa kontuan hartuta, lagin-kopurua (N) 27 izanik, konfiantza-tartea %99 eta dagokion t student balioa 2.4851, aldagaien arteko korrelazio esanguratsua kontsideratzeko $r > 0.4451$ bete behar da; beraz kasu honetan zenbait aldagai-bikoteraren artean korrelazio esanguratsua dagoela esan daiteke, handienetik txikienera: As-Fe (0.8790), Ni-Fe (0.8784), Cr-Fe (0.7513), As-Ni (0.7153), Cr-Ni (0.6762), Cr-As (0.6717), Pb-As (0.6399), Cd-Zn (0.5929), Pb-Zn (0.5672), karbonatoak-pH (0.5037), Pb-Cd (0.5006) eta Pb-Fe (0.4947).

$$t = \frac{r \cdot \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

Korrelazio-analisiko datuak aztertuz gero, badirudi metalen artean oro har korrelazio handia dagoela; hau da, Fe eduki handiko laginek Ni eduki handia daukatela, adibidez. Bestetik, parametro fisiko-kimikoen artean karbonatoen eta pH-aren arteko erlazioa ikus daiteke, lurzoruetako karbonatoen kopurua handitzean pH-a basikotu egiten dela, alegia. Ez da ordea erlazio handia antzeman aldagai fisiko-kimikoen eta metalen edukiaren artean.

Lagin bakoitzean analizatutako 4 aldagai fisiko-kimikoen eta 7 metalen kontzentrazio datuak kontuan izanik, 27 x 11 tamainako matrizea eratu da. Datuen matrizea sinplifikatzeko eta aldagaiak murrizteko Aldagai Nagusien Analisia (PCA, *Principal Component Analysis*) teknika erabili da. 3 aldagai nagusirekin bariantza azalduaren %73.7 adierazi da eta 5. irudian lehenengo bi aldagai nagusiekin lortutako *Scores* eta *Loadings* grafikoak ipini dira. Lehenak laginak aldagai berrien funtzioan adierazten ditu eta bigarrenean jatorrizko aldagaiek aldagai berrietan egiten duten ekarpena ikus daiteke.

5. irudia. PCaren Scores (a) eta Loadings (b) grafikoak.

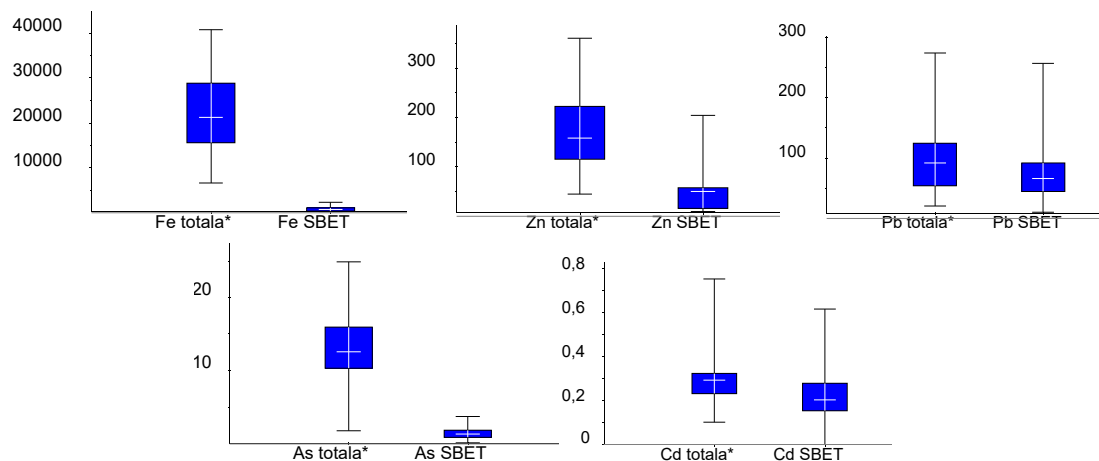


PC1 eta PC2 aldagai nagusiek definitutako Scores grafikoan (5a. irudia) laginak NWAC distribuzioan (4. irudia) lortu duten balio-tarteen arabera identifikatu dira. Horrela lau koloretan banatzen dira puntuak,. Grafikoan ikusten da NWAC balio baxuagoak dituzten laginak, hau da, aztertutako elementuen karga txikiagoa dutenak, grafikoaren ezker aldean kokatzen direla eta NWAC balio altuagoa duten laginak, ordea, eskuinaldean kokatzen dira.

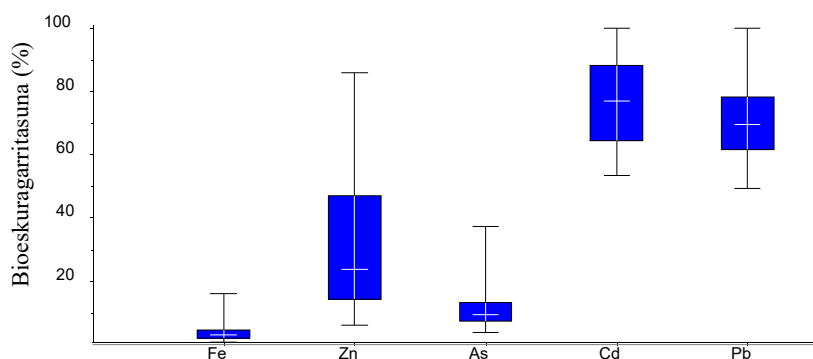
Bestalde, PC1-PC2 Loadings grafikoaren arabera (5b. irudia), lehenengo aldagai nagusiak (PC1) laginketa-puntuak elementuen kontzentrazioaren eta pH-aren arabera banatzen ditu. Horrekin batera, 2. taulan adieraziko korrelazio esanguratsuak baieztatu daitezke Loadings grafikoarekin, aldagai-bikote horiek elkarrekiko gertu agertzen baitira.

Aزتتutako metalen eta metaloideen bioeskuragarritasuna ebaluatzeko, 6. irudiko grafikoetan laginen metal eduki *pseudototal*aren eta SBET bidez erazitakoaren kontzentrazio-tarteak adierazi dira eta 7. irudian aztertutako metal batzuen bioeskuragarritasuna adierazi da, ehunekotan.

6. irudia. Metalen kontzentrazioa laginean (*pseudototala*) eta SBET bidez erazutakoa (bioeskuragarria) ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -etan) (Grafikoaren goiko mugak maximoa adierazten du, behekoak minimoa, erdikoak batezbestekoa, kaxaren goiko mugak %75 kuartila eta kaxaren beheko mugak %25 kuartila).



7. irudia. Metalen bioeskuragarritasuna ehunekoetan (1. ekuazioarekin kalkulaturik). Grafikoaren goiko mugak maximoa adierazten du, behekoak minimoa, erdikoak batezbestekoa, kaxaren goiko mugak %75 kuartila eta kaxaren beheko mugak %25 kuartila).



6. eta 7. irudiak aztertuta, ikusten da burdina dela lurzoruetan presentzia handiena duen elementua baina bere bioeskuragarritasuna nahiko baxua da (%0.8-%16). Beruna nahiko ugaria da lurzoruan eta bioeskuragarritasuna altua (%49-%100). Zinka ere nahiko ugaria da eta bioeskuragarritasuna aldakorra den arren, oro har nahiko altua da (%6-%86). Artsenikoaren presentzia txikiagoa da eta bioeskuragarritasuna nahiko baxua (%4-%37). Cd edukia urria da, baina dagoena nahiko bioeskuragarri dago (%53-%100). Nikela eta kromoa $15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ inguruko batezbestekoan agertzen dira lurzoruetan (ikus 1. taula) eta SBET bidez erazutako kontzentrazioak detekzio-mugaren azpitik daude, hau da, ez dira bioeskuragarriak gure laginketa eremuan.

4. Ondorioak

- Laginen metal/metaloiden edukia B-EBA balioen azpitik dago kasu guztietan. Gainera, Fe, Ni, Zn, As, Cr eta Cd elementuetarako lortutako kontzentrazioak haurren eremuei dagokien erreferentzia-balio zorrotzenaren azpitik daude kasu guztietan. Berunaren kasuan, aldiz, guztiek ez dute betetzen haurren eremu izateko bete behar den baldintza, bai, ordea, parke publiko gisa erabiltzeko baldintza.
- NWAC mapan ez da kokapen geografikoaren arabera joera orokorrik antzeman. NWAC sailkapena bat dator PC1-PC2 Scores grafikoko banaketa espazialarekin.

- Korrelazio-taulan azpimarratutako erlazioak bat datoz PC1-PC2 Loadings grafikoko adierazpenarekin. Izatez, metal/metaloide batzuen artean korrelazio nabarmena dago eta pHaren eta karbonatoen artekoa ere, baina parametro fisiko-kimikoen eta metal/metaloideen artean ez dago erlazio adierazgarririk.
- SBET metodoa erreminta egokia izan da metal bioeskuragarriak identifikatu ahal izateko. Aztertutako laginketa-eremuan Zn, Pb eta Cd izan dira bioeskuragarritasun handieneko metalak eta Ni eta Cr ez dira bioeskuragarriak.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honetako metodologia erabilgarria izan daiteke hurren jolas-eremuetako nahiz beste gune batzuetako lurzorua kalitatea ebaluatzeko. Bestalde, metodologiaren egokitasuna ebaluatzeko beste metodologia osoago batekin aldera daiteke SBET metodoa.

6. Erreferentziak

- 4/2015 LEGEA, ekainaren 25ekoa, lurzoria kutsatzea saihestu eta kutsatutakoa garbitzekoa.
- Bueno, A. S. (2017). *Clima . - Geografia e Historia de San Sebastian*.
<https://www.ingeba.org/liburua/donostia/3gfisica/31clima.htm> (2023ko otsailaren 14ean berreskuratuta)
- Ferreira-Baptista, L., eta De Miguel, E. (2005). Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment. *Atmospheric Environment*, 39(25), 4501–4512.
<https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2005.03.026>
- Gredilla, A., Fdez-Ortiz De Vallejuelo, S., De Diego, A., Arana, G., eta Madariaga, J. M. (2014). A new index to sort estuarine sediments according to their contaminant content. *Ecological Indicators*, 45, 364–370.
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2014.04.038>
- Kim, J.-Y., Kim, K.-W., Lee, J.-U., Lee, J.-S., eta Cook, J. (2002). Assessment of As and Heavy Metal Contamination in the Vicinity of Duckum Au-Ag Mine, Korea. *Environmental Geochemistry and Health* 2002 24:3, 24(3), 213–225. <https://doi.org/10.1023/A:1016096017050>
- Ljung, K., Oomen, A., Duits, M., Selinus, O., eta Berglund, M. (2007). Bioaccessibility of metals in urban playground soils. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/10934520701435684](http://Dx.Doi.Org/10.1080/10934520701435684), 42(9), 1241–1250.
<https://doi.org/10.1080/10934520701435684>
- Petruzzelli, G., Pedron, F., eta Rosellini, I. (2020). Bioavailability and bioaccessibility in soil: a short review and a case study. *AIMS Environmental Science*, 7(2), 208–225. <https://doi.org/10.3934/environsci.2020013>
- Poggio, L., Vrščaj, B., Hepperle, E., Schulin, R., eta Marsan, F. A. (2008). Introducing a method of human health risk evaluation for planning and soil quality management of heavy metal-polluted soils-An example from Grugliasco (Italy). *Landscape and Urban Planning*, 88(2–4), 64–72.
<https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2008.08.002>
- TC WI. (2003). *TC WI Chemical Analyses-Determination of loss on ignition in sediment, sludge, soil, and waste*.
- Turner, A. (2011). Oral bioaccessibility of trace metals in household dust: a review. *Environmental Geochemistry and Health*, 33(4), 331–341. <https://doi.org/10.1007/S10653-011-9386-2>
- USEPA. (2011). *Update for Chapter 5 of the Exposure Factors Handbook Soil and Dust Ingestion*.

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honek UPV/EHU-ko Campus Bizia Lab Programaren (22GARM) dirulaguntza jaso du eta horrekin batera Ainhoa Lekuonak UPV/EHU-k emandako doktorego aurreko beka eskertu nahi du.