



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

**Zoladura iragazkorren eragina
hirietako isurketa-uren kalitatean**

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

117-124 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.05.14>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



LAGUNTZAILEAK



Zoladura iragazkorren eragina hirietako isurketa-uren kalitatean

Ainhoa Lekuona-Orkaizagirre^{1*}, Maite Meaurio¹, Eneko Madrazo-Uribeetxebarria²,
Maddi Garmendia Antin² eta Ainara Gredilla³.

¹*Prozesu Hidro/Ingurumenekoen Ikertaldea (HGI), Kimika Aplikatua Saila, Kimika Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Donostia*

²*Ingeniaritza Energetikoa Saila, Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Donostia*

³*Kimika Analitikoa Saila, Zientzia eta Teknologia Fakultatea, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), Leioa*
ainhoa.lekuona@ehu.eus

Laburpena

Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak (HDSJ) helburu anitzetarako diseinatu ohi dira: uraren ziklo naturala babesteko, uholde arriskua kudeatzeko edota hirietako isurketa-uren kalitatea hobetzeko. Esaterako, zoladura iragazkorrek euri-ura lurzoruan zehar infiltratzea edo euri-uren deposituetara helaraztea ahalbidetzen dute. Besteak beste, Legazpiko San Ignazio auzoan, HDSJ-en aldeko apustua egin dute, zoladura iragazkorren aparkaleku bana eraikiz. Lan honen helburua Legazpiko zoladura iragazkorrek uraren kalitatean duten eragina aztertzea izan da.

Hitz gakoak: Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak, HDSJ, zoladura iragazkorrak, uraren kalitatea

Abstract

Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) are designed for multiple purposes: to protect the natural water cycle, to manage flood risk and/or to improve the quality of urban runoff water. For instance, permeable pavements allow rainwater to infiltrate through the soil or to reach rainwater reservoirs. Among others, in the San Ignazio neighborhood of Legazpi, they have opted for SUDS, building a parking lot with permeable pavements. The objective of this work has been to analyse the impact of the permeable pavements of Legazpi on water quality.

Keywords: Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS, permeable pavements, water quality

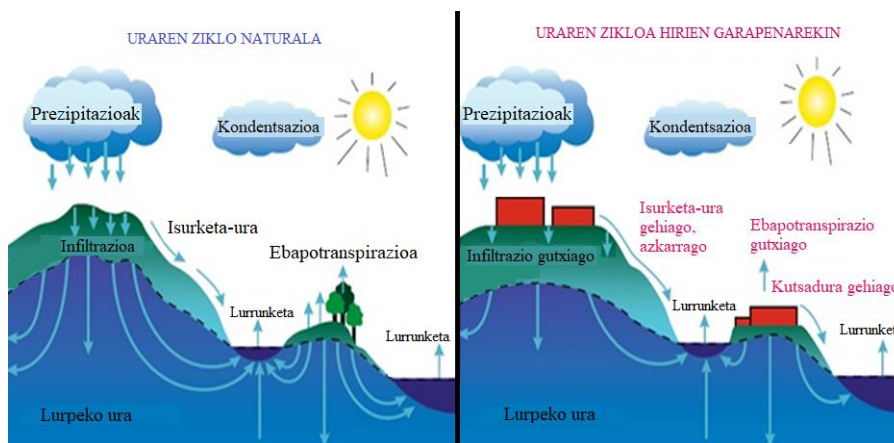
1. Sarrera eta motibazioa

Uraren ziklo naturala, infiltrazioaren, lurrunketaren eta prezipitazioen bidez orekan mantentzen da. Alde batetik, paisaia natural baten gainean euria (edo elurra, kazkabarra, etab.) egiten duenean, ura lurzoruan infiltratzen da. Bestalde, uraren lurruntze-prozesua itsasotik, aintziretatik edo ibaietatik gerta daiteke zuzenean, eta baita izaki bizidunetatik ere, transpirazioaren bidez. Ondoren, lurrunketaren bidez sortutako hodeiaren kondentsaziotik ura lurrazalera itzultzen da prezipitazioaren bidez. Horrela, ura lur gainean (itsasoan, ibaietan, glaziarretan, etab.) nahiz lurpean (lurzoruetan, akuiferoetan, etab.) metatzen da eta berriro lurruntzeko prozesua hasten da (Maderey Rascón, 2005; Lekuona-Orkaizagirre et al., 2024a) uraren ziklo naturala osatuz.

Giza jarduerak, ordea, paisaia naturala eraldatzen dute, eta horrek eragina du uraren ziklo naturalean. Hirietako garapen-prozesuekin, lurzoru naturala infiltrazioa ahalbidetzen ez duten gainazalekin (errepideak, kaleetako asfaltoa...) ordezkatzeko da eta horrela uraren lurzoruranzko bidea oztopatzen da. Horrekin batera, askotan naturako landaredia ezabatzen da, eta horrek uraren lurrunketan eta infiltrazioan eragin dezake; izan ere, landarediak bi prozesu horiek ahalbidetzen ditu. Beraz, urbanizazio-prozesuek lurzorura infiltra daitekeen ur bolumena murrizten dute eta horrek gainazalean zehar lerratzen den uraren kantitatea zein abiadura areagotzen du. Ondorioz, hiri-guneetan uholdeak sortzeko arriskua areagotu eta gainazalaren higadura bizkortzen da (CIRIA, 2015). Bestalde, giza jardueraren eraginez, kaleetako sedimentuetan era askotako kutsatzaileak metatzen dira. Sedimentu horien jatorria, besteak beste, lurzorua, trafikoa eta zoladuraren higadura izaten da, eta kutsatzaile ohikoenen artean metalak (batez ere Cd, Cr, Cu, Ni, Pb eta Zn) eta N edo P-ren zenbait espezie (ongarriei lotuta, askotan anioi forman) daude (Aryal et al., 2010; Drake et al., 2013; Müller et al., 2020; Gasperi et al., 2020). Euria egiten duenean, lurzoruan infiltratu ezin daitekeen ura gainazaletik isurtzen da, eta isurketa-ur horrek

sedimentuetako kutsatzaile horiek garraiatzen ditu. Zenbait ikerketatan kalkulatu da gainazaleko uraren kutsaduraren % 46 inguru hirietako isurketa-urek eragiten duela (Kamali et al., 2017; Chai et al., 2012). 1. irudiko diagraman hirien garapenak uraren ziklo naturalean nola eragiten duen ikus daiteke, modu eskematiko batean.

1. irudia. Uraren ziklo naturala eta uraren zikloaren eraldaketa hirien garapenaren ondorioz.¹



Testuinguru honetan, Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak (HDSJ) hirietako gainazal-urak modu naturalago batean kudeatzeko diseinatzen dira. Oro har, uraren ziklo naturala babestea, uholde arriskua kudeatzea edota hirietako isurketa-uren kalitatea hobetzea dute helburu. HDSJ mota bat baino gehiago daude; batzuk infiltrazioan oinarritzen dira, beste batzuek ura biltegitratzea dute helburu, etab. (CIRIA, 2015). HDSJ ezagunen artean, zoladura iragazkorak (PP, *Permeable Pavements*) aipa daitezke. Zoladura iragazkorrek isurketa-urak infiltratzea ahalbidetzen dute, galtzada-harrien arteko hutsuneen bidez edo material porotsu baten bidez. Sistema hauek zoladura edo infiltrazioa ahalbidetzen duen gainazal bat izaten dute goialdean, euri-ura beheantze pasatzen utziko duena. Bestalde, goiko gainazalaren azpian, porositate altua duten materialak erabiltzen dira, legar garbiak batez ere, gai direnak azaleko geruzatik infiltratu den ura jaso eta gordetzeko, eta denbora emanez lurruntzeko edo lur naturalera infiltratzeko (Drake et al., 2013). Bai goiko eta bai azpiko geruzetako material porotsuen kasuan, isurketa-ura zoruko poroetatik pasatzen denean, iragazte-prozesu bat sortu daiteke, eta horrek infiltratutako uraren kalitatea hobetu dezake. Oro har, zoladura iragazkorren sailkapena egitean, gainazaleko geruza erabiltzen da erreferentzia moduan. Honako hauek dira zoladura iragazkor ezagunenak: elkarri lotutako hormigoizko galtzada-harri iragazkorak (ingelesez, PICPs, *Permeable Interlocking Concrete Pavers*), hormigoizko porotsua (PC, *Porous Concrete*) eta asfalto iragazkorra (PA, *Pervious Asphalt*). PICP zoladurak unitate modularrez osatuta daude, eta junturak agregatu desberdinez beteta egon daitezke. PC eta PA ohiko hormigoia edo asfaltoaren eratorri iragazkorak dira (Drake et al., 2013; Tziampou et al., 2020; Lekuona-Orkaizagirre et al., 2024b; Madrazo-Uribeetxebarria et al., 2022).

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

2019an Europar Batasunak Itun Berde Europarra (Green Deal) aurkeztu zuen. Honetan ekonomia garbi eta zirkular baterako trantsizioa sustatzeko ekintza-plana prestatu zen, biodibertsitatea berreskuratzeko eta kutsadura murrizteko helburuarekin. Ildo horretan, naturan oinarritutako soluzioak (NbS, *Nature based Solutions*) gero eta gehiago hasi ziren nabarmentzen. NbS-en helburua urbanizazio jasangarria lortzea, kaltetutako ekosistemak berreskuratzea eta klima-aldaketari aurre egitea da. Hortaz, HDSJ-ak NbS taldearen barruan sartzen dira (Hattum et al., 2016). Halaber, aipatzekoa da Nazio Batuen Erakundeak 2030 Agendaren barruan definitutako Garapen Jasangarrirako hamaikagarren helburuarekin (Hiri eta Komunitate

¹ 1. irudiko diagrama Nevadako Unibertsitatearen NEMO proiektuaren txostenetik atera da. Web-orriari argitaratutako txostenaren PDF-a: <http://epubs.nsla.nv.gov/statepubs/epubs/706997.pdf>

Jasangarriak) eta seigarrenarekin (Ur Garbia eta Saneamendua) aurrerapausoak emateko balio dutela HDSJ-ek. Sistema hauen ezarpenari dagokionez, Eskozia izan zen HDSJ-en aitzindari nagusia (CIRIA, 2015).

Espainiari dagokionez, 2003an, Madrilgo Gomeznarro Parkean ezarri zen lehenengo HDSJ sistema. Hango gainazal guztia zoladura iragazkorrekin ordezkatu zen, isurketa-urak kontrolatu eta ur hori ureztatze-sistemetan erabiltzeko. Bartzelonan, 2005ean eraiki zen lehenengo HDSJ sistema, Torre Baró auzoan (Castro-Fresno et al., 2013). Denborarekin, HDSJ-ak gero eta ezagunagoak dira hirietako politikarientzat (Andrés-Doménech et al., 2021). Gainera, 2023ko uztailean onartutako eta Jabari Publiko Hidraulikoaren Araudia aldatzen duen Espainiako 665/2023 Errege Dekretu berriaren arabera, garapen berriek, industria-guneek eta, oro har, hiri-garapen berriek drainatze jasangarriko sistemak sartu behar dituzte, hala nola zoladura iragazkorrak, uholde-arriskua arindu dadin.

EAERI erreparatuta, 2007an ezarri zen lehen infiltrazio-sistema, Donostiako Kristina Enea parkean. Aurrerago, HDSJ gehiago ezarri dira: 2014an, Gasteizko Gasteiz Hiribidean zoladura iragazkorra ipini zen; 2018an, Donostiako Txominenea auzoan zoladura iragazkorrez osatutako aparkalekua eraiki zen, Donostiako Udalaren eta Euskal Herriko Unibertsitatearen (UPV/EHU) arteko lankidetzan. Azkenik, 2020an, LIFE Good Local Adapt proiektuaren barruan, Hiri Drainatze Sistema Jasangarrien (HDSJ) ezarri ziren Legazpiko San Ignazio auzoan: zoladura iragazkorrak eta ur-biltegia.

Ikerketen arabera, zoladura iragazkorrek, zoladura iragazgaitzekin alderatuta, gainazaleko isurketa-uren bolumena murrizten dute, eta inguruko ur-masetara kutsadura-karga txikiagoa iristen laguntzen dute (Winston et al., 2016). Uraren kalitateari dagokionez, azken hamarkadako ikerketek erakutsi dute zoladura porotsuetako iragazketari esker isurketa-uretan suspentsioan dauden solidoak, ongariak eta disolbatutako metal batzuk (Cu, Fe, Mn, Zn) murriztu daitezkeela (Drake et al., 2013; Selbig et al., 2019; Wijeyawardana et al., 2022). Zoladura iragazkorrek uraren kalitatean duten eragina ebaluatu eta kuantifikatzeko helburuarekin, lan honetan Legazpiko zoladura iragazkorren sistema aztertu da.

3. Ikerketaren muina

3.1 Metodologia

3.1.1 Laginketak

2023ko maiatzetik 2024ko azarora bitartean 9 laginketa egin ziren. Laginketa bakoitzean asfaltozko aparkalekuan (2. irudiko a) jasotako ura, infiltratu gabea, hartu zen lehenengo, eta ura infiltratzeko zenbait minututako tarte itxaron ondoren (euritearen arabera aldakorra zena), zoladura iragazkorretik (2. irudiko b) infiltratutako ura bildu zen, bi guneetako uren kalitatea alderatzeko helburuarekin.

2. irudia. Legazpiko San Ignazio auzoko bi aparkaleku: (a) asfaltozko aparkalekua eta (b) zoladura iragazkorra duen aparkalekua.



Legazpiko zoladura iragazkorra hormigoi porotsuzko lauza aurrefabrikatuz (*Porous Concrete*, PC) osatutakoa da eta euri-uren jatorria kontrolatzeko sistema gisa jokatzen du, uholde-arazoak murriztuz eta infiltratzen den uraren kalitatea hobetuz (2. irudiko b). Zoladuratik infiltratzen den

ura aparkalekuaren behealdean dagoen ur-biltegi batera bideratzen da eta bertan metatzen da. Gaur egun, zoladura iragazkorrek euri-uraren infiltrazioa ahalbidetzen dute eta ur-biltegia ekaitz-tanga moduan erabiltzen da; beraz, sistemak uholdeak kontrolatzen ere laguntzen du. 1. taulan laginketa-egun bakoitzeko prezipitazioei buruzko informazioa bildu da: aurreko 3 egunetako prezipitazioen batura (mm) eta momentuko euri-intentsitate maximoa. Datuei erreparatuta, laginketa batzuen aurreko hiru egunetan (maiatzaren 9an, irailaren 11n, urtarrilaren 15ean, apirilaren 23an eta azaroaren 20an) 8 mm baino euri gutxiago egin zuela ikus daiteke (1. taula). Laginketaren uneko euri-intentsitateari dagokionez, abenduaren 4ko, otsailaren 26ko eta maiatzaren 14ko prezipitazioak izan ziren intentsitate handienekoak, 14.4, 7.2 eta 7.2 mm/h-rekin, hurrenez hurren. Euri-intentsitate txikienak, aldiz, maiatzaren 9an, irailaren 11n eta apirilaren 23an izan ziren, 2.4 mm/h-ko maximoarekin.

1. taula. Laginketa-egunetako prezipitazioen datuak.

Laginketa-eguna	Aurreko 3 egunetako prezipitazioen batura (mm) ²	Momentuko euri-intentsitate maximoa (mm) ²
2023/05/09	1.4	2.4
2023/09/11	6.4	2.4
2023/12/04	23.2	14.4
2024/01/15	1.2	6.0
2024/02/16	10.2	3.6
2024/02/26	36.4	7.2
2024/04/23	0	1.2
2024/05/14	26	7.2
2024/11/20	0	6.0

3.1.2 Ur-laginen analisisia

Ur-lagin bakoitzetik 1 L jaso ziren, beirazko nahiz polietilenoazko ontzietan, eta laborategian 4°C-tan gorde ziren, ondoren analisiak egiteko. Bi aparkalekuetan jasotako uraren kalitatea konparatzeko, uraren parametro fisiko-kimikoak, anioiak eta metal(oide)ak determinatu ziren. Parametro fisiko-kimikoak laborategian neurtu ziren laginketa bakoitzaren ostean: uhartasuna “Hach 2100Q turbidimeter” tresnarekin eta pH, eroankortasuna eta disolbatutako oxigenoa “Hach HQ2000 multiparameter portable meter” tresnarekin. Esekiduran dauden solidoak (TSS, *Total Suspended Solids*) neurtzeko, 100 mL lagin 0.45 µm-ko porodun iragazkien bidez iragazi zen eta iragazkia (solidoarekin) 105°C-tan berotu zen ordubetez. TSS edukia lortzeko iragazitako solido lehorraren pisu konstantea 100 mL lagin-bolumenarekin zatitu zen. Uretan disolbatutako kutsatzaileei dagokionez, anioien artean sulfatoak, nitratoak, fosfatoak, kloruroak, bromuroak eta fluoruroak aztertu ziren. Laginak 0.45 µm-ko porodun iragazkien bidez iragazi ziren eta ondoren “883 Basic IC plus” kromatografo ionikoaren bidez egin zen determinazioa, Metrosep A Supp 4 zutabea erabiliz, karbonato-bikarbonato (3.2mM-1.0mM) fase mugikorrarekin. Metalen analisisirako laginak 0.45 µm-ko porodun iragazkien bidez iragazi ziren eta gero azidifikatu egin ziren, %1 HNO₃ izan zezaten. Metalak zein metaloideak (Al, Fe, Li, V, Ba, Zn, Cu, Cr, As, Mn, Ti) determinatzeko ICP-MS 7700 (Agilent Technologies) ekipoa erabili zen. ICP-MS analisisian lau barne-patroi (Sc, Ge, Rh eta Ir) erabili ziren. Bai anioiekin eta bai metal(loide)ekin, neurketen errepikakortasuna aztertzeko, desbideratze estandar erlatiboa (DER) kalkulatu zen neurketa-egun bakoitzean, lagina hiru aldiz neurtuta. Oro har, %5 baino DER txikiagoa izan zen. Kalitate kontrolari dagokionez, detekzio-mugak (LOD) prozedurako zurietatik abiatuta kalkulatu ziren: zuriaren batezbestekoari 3 aldiz desbideratze estandarra gehituta.

3.2 Emaitzak

Zoladura iragazkorrek uraren kalitatean duten eragina aztertzeko, asfaltozko aparkalekuan (2. irudiko a) jasotako infiltratu gabeko ura eta zoladura iragazkorretik (2. irudiko b) infiltratutako ura alderatu dira. Bi puntuen artean diferentzia adierazgarria dagoen edo ez aztertzeko, bikoteko t froga estatistikoak egin dira, %95eko konfiantza mailan. Bikoteko t frogen bidez 23 aldagaien arteko aldagarrtasuna aztertu da: 5 parametro fisiko-kimikoena (pH, eroankortasun elektrikoa,

uhertasuna, disolbatutako oxigenoa eta solidoak esekiduran (TSS), 3 anioien kontzentrazioarena (kloruroak, nitratoak, sulfatoak) eta 11 metal/metaloiden edukiarena (Al, Fe, Li, V, Ba, Zn, Cu, Cr, As, Mn, Ti). 2. taulan ur-mota bakoitzaren emaitzak adierazi dira, 9 egunetako batezbesteko gisa emanda, %95eko konfiantza-mailarekin. Horrekin batera, aldagai bakoitzaren bikoteko t-frogaren emaitzak adierazi dira. P-balioak adierazten du bi gunetako uren artean estatistikoki adierazgarria den desberdintasuna dagoen edo ez. P-balioa 0.05 baino txikiagoa bada, ondorioa da, estatistikoki, neurketa-bikoteen arteko batezbesteko diferentzia adierazgarria dela %95eko konfiantza-mailan.

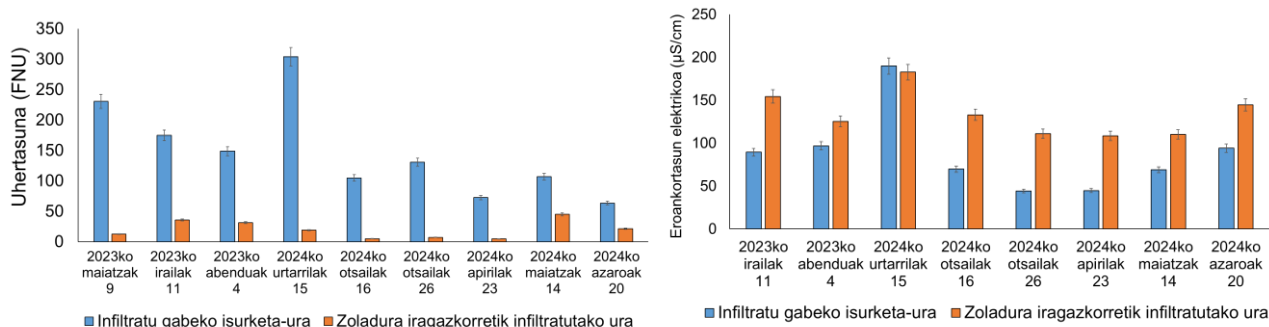
2. taula. Asfaltozko aparkalekuan jasotako infiltratu gabeko uraren eta zoladura iragazkorretik infiltratutako uraren arteko konparaketa: aldagai/parametro bakoitzaren batezbestekoa \pm konfiantza-tartea (9 laginketa kontuan hartuta) eta bikoteko t-frogaren emaitzak. (Diferentzia estatistikoki adierazgarria den kasuetan, p-balioak letra lodiz, * ikurrarekin eta koloreztatuta adierazi dira).

	Aldagaia	Infiltratu gabeko ura	Infiltratutako ura	p-balioa
5 parametro fisiko-kimiko	pH	8.6 \pm 0.3	8.5 \pm 0.2	0.85
	Disolbatutako oxigenoa	9.1 \pm 0.5	9.1 \pm 0.5	0.74
	Eroankortasun elektrikoa	87 \pm 36	134 \pm 20	0.01*
	Uhertasuna	149 \pm 60	20 \pm 11	0.001*
	TSS	61 \pm 27	24 \pm 14	0.008*
3 anioi	Kloruroak	5.1 \pm 6.6	4.2 \pm 5.4	0.98
	Nitratoak	1.2 \pm 1.0	2.7 \pm 2.0	0.01*
	Sulfatoak	4.0 \pm 2.3	5.2 \pm 5.9	0.41
11 metal(oide)	Al	101 \pm 47	73 \pm 43	0.15
	Fe	41 \pm 25	10 \pm 13	0.02*
	Zn	11 \pm 10	9.3 \pm 4.4	0.85
	Mn	2.2 \pm 1.3	0.40 \pm 0.22	0.02*
	Ba	21 \pm 11	6.4 \pm 1.1	0.004*
	Cu	7.7 \pm 6.6	2.4 \pm 1.8	0.03*
	Li	2.2 \pm 2.9	24 \pm 14	0.005*
	Ti	1.3 \pm 0.97	0.62 \pm 0.65	0.14
	V	1.4 \pm 1.0	8.3 \pm 9.8	0.13
	Cr	0.40 \pm 0.01	0.90 \pm 0.76	0.68
	As	0.17 \pm 0.07	1.7 \pm 1.8	0.05

Bikoteko t frogaren emaitzen arabera (ikus 2. taula), honako 9 aldagaietan diferentzia adierazgarriak topatu dira bi gunetako uren artean: eroankortasun elektrikoa, uhertasuna, esekidurako solidoak, nitratoak, Fe, Mn, Ba, Cu eta Li edukian. Gainerako aldagaiei dagokienez, ez dago diferentzia adierazgarriarik asfaltozko aparkalekuan jasotako infiltratu gabeko uraren eta zoladura iragazkorretatik infiltratutako uraren artean. Bi gunetako uren artean diferentzia adierazgarria erakutsi duten hiru parametro fisiko-kimikoei dagokienez, laginketa-dataren arabera, infiltratu gabeko urek 2-20 aldiz uhertasun handiagoa eta 1.2-10 aldiz TSS balio handiagoak zituen. TSS edukia 61 mg/L izan zen, batezbeste, infiltratu gabeko uretan eta 24 mg/L, batezbeste, zoladura iragazkorretatik infiltratutako uretan. Arrainak babesteko 2006/44/EE Zuzentarauak errekara isuriko diren urek bete beharreko muga-balio batzuk ematen ditu, Salmonidae eta Cyprinidae arrain espezieiak babesteko, hain zuzen. Legedi horren arabera, TSS edukia 25 mg/L azpikoa izan behar da, eta beraz, infiltratu gabeko urak ez bezala, zoladura iragazkorrean infiltratutako urak oro har arrainen babeserako legedia betetzen du (2. taula). Bestetik, eroankortasun elektrikoa 1.2-2.5 aldiz handiagoa izan zen zoladura iragazkorretatik infiltratutako uretan. 3. irudian bi gunetako uren uhertasuna eta eroankortasun elektrikoa ikus daitezke. Antzeko emaitzak lortu ziren Georgian (AEB) egindako ikerketa batean; izan ere, uhertasuna nabarmen handiagoa zen asfaltozko aparkaleku iragazgaitzeko isurketa-uretan, eta

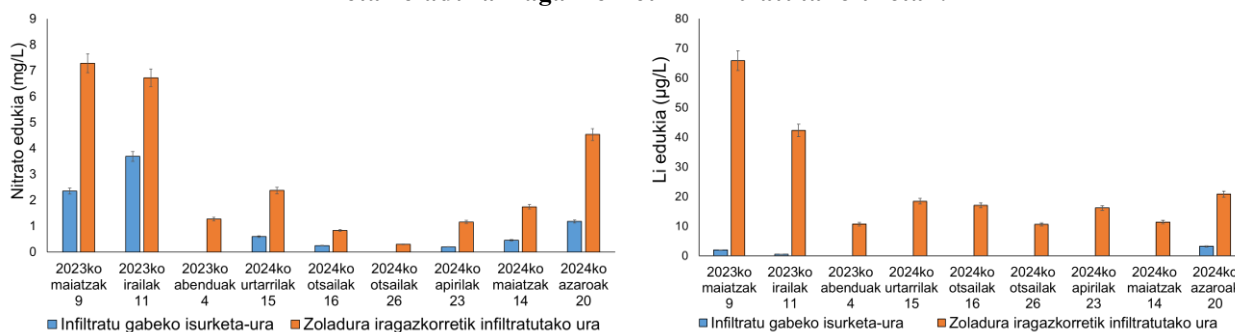
eroankortasuna, gutxi gorabehera, bikoitza zen (Dreelin et al., 2006). Ikerketa-lan horren arabera, uraren eroankortasunaren igoera hori eraikitako zoladura berritik (bereziki legar-oinarritik) lixibiatutako ioien ondorio izan daiteke ziurrenik. Legediari dagokionez, uretan ez dago eroankortasun elektrikoari buruzko estatu-araurik, baina Ingurumen Babeserako Agentziak (EPA) gomendatzen du edateko urak 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ baino eroankortasun elektriko txikiagoa izatea. Zoladura iragazkorrek eroankortasun elektrikoaren igoera sortu arren, infiltratutako urek EPAREN gomendioa betetzen dute kasu guztietan.

3. irudia. Uraren uhertasuna (FNU) eta eroankortasun elektrikoa ($\mu\text{S}/\text{cm}$) infiltratu gabeko isurketa-uretan eta zoladura iragazkorretik infiltratutako uretan.



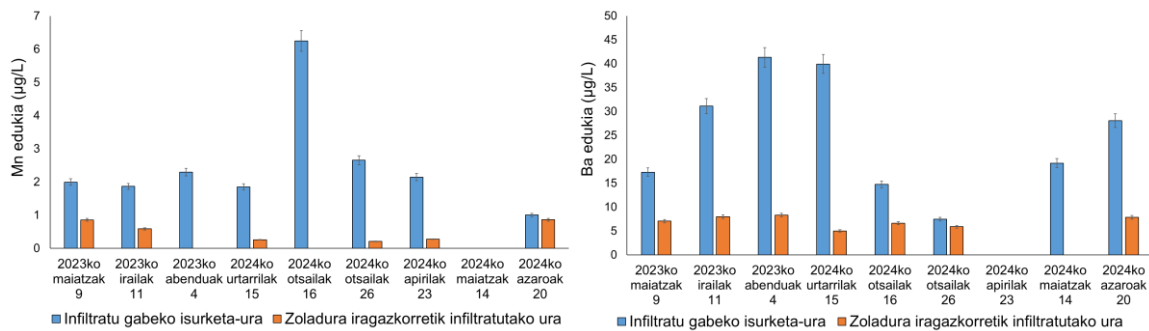
Disolbatutako kutsatzaileen artean, nitrato eta Li eduki handiagoa erakutsi zuten zoladura iragazkorretik infiltratutako urek. 4. irudian bi guneetako uren nitrato eta Li edukia ikus daiteke. Batez beste, zoladura iragazkorretik pasatako urak hiru aldiz nitrato balio handiagoak zituen beste urak baino. Halere, kontuan izan behar da Legazpiko zoladura iragazkorretatik pasatako uren nitrato edukia Uren Zuzentarau Orokorrean (2008/105/EC) eta 261/1996 Errege Dekretuan zehaztutako muga-balioaren (50 mg/L) azpitik dagoela kasu guztietan. Nitratoen emaitzak bat datoz Drake et al. (2014) ikerketa-lanarekin; izan ere, haiek ere nitratoen igoera ikusi zuten uretan, zoladura iragazkorretatik igaro ondoren. Kamali et al (2017) lanean aipatu zuten uretako nitrato edukia handitzea zoladura iragazkorren gainazal-azpiko geruzetako nitrifikazio prozesuaren ondorio izan zitekeela.

4. irudia. Uraren nitrato edukia (mg/L) eta Li edukia ($\mu\text{g}/\text{L}$) infiltratu gabeko isurketa-uretan eta zoladura iragazkorretik infiltratutako uretan.



Litioari dagokionez, litio-gatzak (LiCl , LiNO_3 , etab.) hormigoien osagai gisa erabiltzen dira (Feng et al., 2005), beraz, zoladura iragazkorren hormigoien porotsua (PC) irteerako-uren litioaren iturri izan liteke. Joera hori gorabehera, esan beharra dago ikerketek adierazten dutela litioa ez dela biometatzen eta toxikotasun txikia duela gizakientzat eta ingurumenarentzat (Aral et al., 2008). Azkenik, Fe, Mn, Ba eta Cu edukian kontrako joera ikusi zen: metal hauen eduki txikiagoa ikusi zen zoladura iragazkorretatik infiltratutako uretan, infiltratu gabeko uretan baino. 5. irudian bi guneetako uren Mn eta Ba metalen edukia ikus daiteke. Asfaltozko aparkalekuan bildutako isurketa-ura zoladura iragazkorra zeharkatuko duen sarrera-ura dela kontsideratzen badugu, zoladura iragazkorren ezabatze-eraginkortasunak (%), batez beste, honakoak lirateke: % 46 Fe-arentzat, % 72 Mn-arentzat, % 72 Ba-arentzat eta % 71 Cu-arentzat.

5. irudia. Uraren Mn eta Ba edukia (µg/L) infiltratu gabeko isurketa-uretan eta zoladura iragazkorretik infiltratutako uretan.



4. Ondorioak

Tokiko laginketetan oinarritutako datuen bidez estatistikoki baieztatu da uhertasuna eta TSS edukia nabarmen jaitsi zirela isurketa-uretan, Legazpiko zoladura iragazkorretatik igaro ondoren. Horrek esan nahi du isurketa-uretan dauden sedimentuak (eta haien kutsatzaileak) murrizten direla. Horrekin batera, uretan disolbatuta dauden metal batzuen (Fe, Mn, Ba eta Cu) edukia ere murrizten da zoladura iragazkorretatik pasa ondoren. Bestalde, Legazpiko zoladura iragazkorrek gehigarri efektua izan zuten uraren beste parametro batzuetan, hala nola eroankortasunean, nitratoen edukian eta Li edukian. Antzeko ikerketek jakinarazi zuten eraikitako zoladura berriaren legarrak anioi batzuk lixibiatu ditzakeela, litio gatzak hormigoia osagaietako bat direla eta zoladura iragazkorretako azpi-geruzetan nitrifikazioa gerta litekeela. Azkenik, ez da zoladura iragazkorren eragin estatistikoki adierazgarri ikusi uraren beste zenbait kalitate-parametrotan. Hala nola, pH-an, disolbatutako oxigenoan edota disolbatutako zenbait kutsatzailearen (sulfato, kloruro, Zn edo Cr) edukian.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Lan honen jarraipen gisa, Donostiako Txominenea auzoko zoladura iragazkorrek uraren kalitatean duten eragina aztertzea da lan-taldearen asmoa. Gune horretan dauden zoladura iragazkorrek ezberdinak dira: elkarriz lotutako hormigoizko galtzada-harri iragazkorrek (PICP) eta asfalto iragazkorra (PA). Bi zoladura iragazkorretatik infiltratutako eta infiltratu gabeko urak zenbait laginketa-egunetan hartu, eta bi zoladura iragazkor horiek uraren kalitatean duten eragina aztertzea da asmoa. Horrela, Legazpiko PC zoladura iragazkorrekin batera, hiru zoladura iragazkor mota ezagunenek uraren kalitatean duten efektua alderatu nahiko genuke.

6. Erreferentziak

Andrés-Doménech, I., Anta, J., Perales-Momparler, S., eta Rodriguez-Hernandez, J. (2021). Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis. *Sustainability*, 13(5), 2791. <https://doi.org/10.3390/SU13052791>

Aral, H., and Vecchio-Sadus, A. (2008). Toxicity of lithium to humans and the environment—A literature review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70(3), 349–356. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2008.02.026>

Aryal, R., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., eta Naidu, R. (2010). Urban stormwater quality and treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27(5), 1343–1359. <https://doi.org/10.1007/S11814-010-0387-0/METRICS>

Castro-Fresno, D., Andrés-Valeri, V. C., Sañudo-Fontaneda, L. A., eta Rodriguez-Hernandez, J. (2013). Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements. *Water*, 5(1), 67–93. <https://doi.org/10.3390/W5010067>

Chai, L., Kayhanian, M., Givens, B., Harvey, J. T., Jones, D. (2012). Hydraulic Performance of Fully Permeable Highway Shoulder for Storm Water Runoff Management. *Journal of Environmental Engineering*, 138(7), 711–722. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000523](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000523)

CIRIA. (2015). The SuDS Manual C753. www.ciria.org

- Drake, J. A. P., Bradford, A., Marsalek, J. (2013). Review of environmental performance of permeable pavement systems: state of the knowledge. *Water Quality Research Journal*. <https://doi.org/10.2166/wqrjc.2013.055>
- Drake, J., Bradford, A., Van Seters, T. (2014). Stormwater quality of spring–summer–fall effluent from three partial-infiltration permeable pavement systems and conventional asphalt pavement. *Journal of Environmental Management*, 139, 69–79. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2013.11.056>
- Dreelin, E. A., Fowler, L., Ronald Carroll, C. (2006). A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events. *Water Research*, 40(4), 799–805. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2005.12.002>
- Feng, X., Thomas, M. D. A., Bremner, T. W., Balcom, B. J., and Folliard, K. J. (2005). Studies on lithium salts to mitigate ASR-induced expansion in new concrete: a critical review. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1789–1796. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2004.10.013>
- Gasperi, J., Sebastian, C., Ruban, V., Delamain, M., Percot, S., Wiest, L., Mirande, C., Caupos, E., Demare, D., Kessoo, M. D. K., Saad, M., Schwartz, J. J., Dubois, P., Fratta, C., Wolff, H., Moilleron, R., Chebbo, G., Cren, C., Millet, M., Barraud, S., Gromaire, M. C. (2014). Micropollutants in urban stormwater: Occurrence, concentrations, and atmospheric contributions for a wide range of contaminants in three French catchments. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(8), 5267–5281. <https://doi.org/10.1007/S11356-013-2396-0/TABLES/8>
- Hattum, T., Blauw, M., Bergen Jensen, M., & de Bruin, K. (2016). Towards Water Smart Cities: climate adaptation is a huge opportunity to improve the quality of life in cities. Wageningen Environmental Research rapport; No. 2787. *Wageningen University & Research*. <https://edepot.wur.nl/407327>
- Kamali, M., Delkash, M., Tajrishy, M. (2017). Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. *Journal of Environmental Management*, 187, 43–53. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2016.11.027>
- Lekuona-Orkaizagirre, A., Meaurio, M., Gredilla, A., Madrazo-Uribeetxebarria, E., eta Garmendia-Antin, M. (2024a). Hiri Drainatze Sistema Jasangarriak (HDSJ) eta haien eragina hirietako isurketa-uren kalitatean. *EKAIA EHUKo Zientzia Eta Teknologia Aldizkaria*, 45, 171–190. <https://doi.org/10.1387/EKAIA.24784>
- Lekuona-Orkaizagirre, A., Meaurio, M., Gredilla, A., Madrazo-Uribeetxebarria, E., Carrero, J. A., eta Garmendia-Antin, M. (2024b). Evaluación del contenido de metales y metaloides en pavimentos permeables y sus proximidades. *Ingeniería Del Agua*, 28(2), 82–92. <https://doi.org/10.4995/ia.2024.21068>
- Maderey Rascón, L. (2005). Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. Instituto de Geografía.
- Madrazo-Uribeetxebarria, E., Garmendia-Antin, M. eta Meaurio-Arrate, M. (2022). Zoladura iragazkorak hirietako drainatze sarean txertaturiko elementu gisa. *EKAIA EHUKo Zientzia Eta Teknologia Aldizkaria*. <https://doi.org/10.1387/EKAIA.23083>
- Müller, A., Österlund, H., Marsalek, J., Viklander, M. (2020). The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources. *Science of The Total Environment*, 709, 136125. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.136125>
- Selbig, W. R., Buer, N., & Danz, M. E. (2019). Stormwater-quality performance of lined permeable pavement systems. *Journal of Environmental Management*, 251, 109510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109510>
- Tziampou, N., Coupe, S. J., Sañudo-Fontaneda, L. A., Newman, A. P., & Castro-Fresno, D. (2020). Fluid transport within permeable pavement systems: A review of evaporation processes, moisture loss measurement and the current state of knowledge. *Construction and Building Materials*, 243, 118179. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118179>
- Wijeyawardana, P., Nanayakkara, N., Gunasekara, C., Karunarathna, A., Law, D., & Pramanik, B. K. (2022). Improvement of heavy metal removal from urban runoff using modified pervious concrete. *Science of the Total Environment*, 815, 152936. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152936>
- Winston, R. J., Davidson-Bennett, K. M., Buccier, K. M., Hunt, W. F. (2016). Seasonal Variability in Stormwater Quality Treatment of Permeable Pavements Situated over Heavy Clay and in a Cold Climate. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227(5), 1–21. <https://doi.org/10.1007/S11270-016-2839-6/TABLES/9>

7. Eskerrak eta oharrak

Lan honek Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) Campus Bizia Lab (CBL 23 GARM) eta US22/10 proiektuen laguntza jaso du, eta eskerrak eman nahi dizkiegu Legazpiko eta Donostiako Udalei, proiektuan parte hartzeagatik. Azkenik, Ainhoa Lekuonak Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) doktorego aurreko laguntza eskertu nahi du.