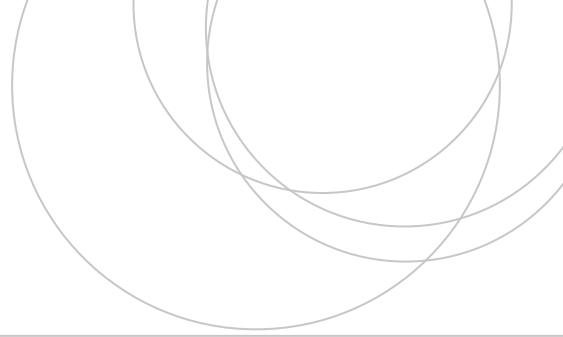




Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

ZIENTZIA  
ETA TEKNOLOGIA  
FAKULTATEA  
FACULTAD  
DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA



Gradu Amaierako Lana  
Biologiako Gradua

# Makroornogabeetan oinarritutako indize biotikoen sensibilitate analisia lurzoru erabilera ezberdinen aurrean.

Egilea:

Ana Garcia del Bao

Zuzendaria:

Aitor Larrañaga Arrizabalaga

Aingeru Martínez Gómez

© 2018, Ana Irene Garcia del Bao

Leioa, 2018ko ekainaren 22a



## **Aurkibidea**

Laburpena .....	1
Sarrera .....	1
Material eta metodoak.....	3
<i>Ikerketa area</i> .....	3
<i>Laginketa</i> .....	4
<i>Datuen tratamendua</i> .....	4
Emaitzak .....	6
Eztabaida.....	14
Ondorioak .....	17
Esker onak.....	17
Bibliografia .....	17
Eranskinak.....	20



## **Abstract**

Rivers offer several ecosystem services to society, but they are among the most affected ecosystems by human activities. Identifying these harmful activities is really important in order to recover and preserve such ecosystem services. In the last years, different biotic indices have been developed to assess the ecological status of these systems. In this research, the suitability of 104 indices based on benthic invertebrates evaluating the impact of land use (pine and eucalypt plantations as impacts and deciduous forest as control) on streams was assessed. We found that indices related to trophic strategies were better to distinguish among different land uses. Nevertheless, different land uses didn't show the same distribution for each type of biotic indices. Moreover, some of the indices which have been designed to detect specific impacts, such as water chemical pollution, also showed differences between land uses. Overall, we concluded that biological indices are a very useful method to quantify the impact of land use change in streams, yet we should keep in mind the specificity of each index to different impacts.

## **Laburpena**

Sistema lotikoez gizartearentzako onuragarriak diren zerbitzu ekosistemiko ugari dauzkate. Baina, erreka zein ibaiak, giza jardueren ondorioz kaltetuenak suertatu diren ekosistemak dira. Funtzio ekosistemiko hauek berreskuratu eta kontserbazteko, gizakiak eragindako kalteak ezagutzea oso garrantzitsua da. Honetarako, azken urteetan indize biotiko ugari garatu dira, eta hauen bitartez erreken egoera ekologikoa aztertu daiteke. Ikerketa honetan, lur erabilera desberdinen (pinu eta eukalipto landaketak inpaktu modura eta baso autoktono edo hostogalkorren basoak kontrol modura) inpaktuak aztertzeko, makroornogabe bentikoetan oinarritutako 104 indize biotikoen egokitasuna ebaluatu zen. Lortutako emaitzetan, estrategia trofikoekin erlazionaturiko indizeek lurren erabilera sorturiko inpaktua hobeto adierazten zutela ikusi zen. Dena dela, lur erabilera ezberdinen arteko banaketa ezberdina lortu da indize mota bakoitzarekin. Gainera, beste inpaktu batzuk detektatzeko diseinatutako indizeek ere diferentziak erakutsi dituzte hiru lur erabilera artean (uraren kutsadura kimikoa detektatzeko indize baten kasua, adibidez). Honela, ikerketa honetan, lur erabilerekin erreketan duten inpaktua indize biotikoen bitartez neurtu daitekeela ikusi da, baina indize bakoitzak neurtzen duen inpaktuarekiko espezifikitatea kontuan izan behar da hauek aplikatzeko orduan.

## **Sarrera**

Errekek gizartearentzako onurak ekartzen dituzten zerbitzu ekosistemiko ugari dauzkate; alde batetik, erreken funtzionamenduan eragiten duten espezieen aberastasun eta mantenugaien zikloetatik daude, eta bestetik, antropozentrikoagoak diren ezaugarriak dauzkagu, aisialdia, kutsatzaileen degradazioa eta errekurtsioen lorpena (arrainak, sedimentuak...) (Thorp *et al.*,

2014). Zerbitzu hauek talde desberdinetan sailkatzen dira: zerbitzu sostengatzaileak (adb., ziklo biogeokimikoak, produkzioa, biodibertsitatea), zerbitzu erregulatzaileak (adib., uraren kalitatearen erregulazioa, uholdeak eta higadura, gaixotasunak), hornidura zerbitzuak (adb., edateko ura, janaria, egurra), eta zerbitzu kulturalak (adb., aisialdia, hezkuntza, estetika) (Thorpe *et al.*, 2014). Hala nola, sistema lotikoak inpaktu handiena pairatzen duten sistemak dira, azken finean gizakiok erreken inguruan herriak eraiki ditugu eta honela, ur horniketa, elektrizitate sorkuntza eta abarreko funtzioetarako erabiltzen ditugu errekak (Armitage *et al.*, 1983; Malmqvist & Rundle, 2002; Wellemeyer *et al.*, 2018). Erreken degradazioan (ekosistemen suntsipena, habitat fisiko eta uraren kimikaren aldaketak, espezieen galera edo agerpena...) eragiten duten faktoreen artean; urbanizazioa, industria, lur erabileren aldaketa eta ubidearen aldaketak dira (Malmqvist & Rundle, 2002). Faktore hauek modu konplexuetan elkar eragiten dute gainera (Aristi *et al.*, 2012). Gizakiaren jardueraren ondorioz gertatzen diren inpaktuen eraginak eskala desberdinetan eman daitezke; uraren kimika, komunitate biologikoak... (Martínez *et al.*, 2013), edo ekosistema osoaren funtzionamendua (Aristi *et al.*, 2012; Arroita *et al.*, 2013) aldatu dezakete. Hau dela eta, gizakiak sistema lotikoetan eragindako kalteak ezagutzea oso garrantzitsua da zerbitzu guztiak berreskuratu eta kontserbatu ahal izateko.

Erreketako egoera ekologikoa aztertzeko, komunitate biologiko desberdinak erabiltzen dira (arrainak, hegaztiak, makroornogabeak, fitoplanktona, perifitona) (Klemm *et al.*, 2003; Giorgio *et al.*, 2016). Haien artean, makroornogabeak mundu mailan ur gezetako sistemen biomonitorizazioan gehien erabiltzen diren organismoak dira (Luo *et al.*, 2018). Organismo hauetatik lortu daitekeen informazioak [komunitatearen adierazle diren ezaugarriak (taxoi aberastasuna, ugaritasun erlatiboa, dominantzia), kutsadurarekiko tolerantzia, talde funtzionalak, bizi estrategiak...], sistema batek asaldura natural eta antropogenikoei nola erantzuten dien ondo adierazten du, eta hori dela eta dira hain erabiliak (Klemm *et al.*, 2002; Klemm *et al.*, 2003). Izan ere, makroornogabeek hainbat abantaila erakusten dituzte: (1) ubikuoak dira eta oso ugariak (Metcalf, 1989); (2) dibertsitate taxonomiko, morfologiko, trofikoak... erakusten dituzte (Klemm *et al.*, 2003); (3) erantzun fisiologiko anitzak eta azkarrak ematen dituzte erreketako ekosistemetan gertatzen diren aldaketen aurrean (Metcalf, 1989); (4) nahiko sedentarioak dira eta ondorioz, lekuko aldaketen berri ematen digute (Metcalf, 1989; Luo *et al.*, 2018); (5) orokorrean, bizi-ziklo luzeak dituzte (1 urte <), eta hori dela eta, denboran emandako aldaketen adierazle onak dira (Metcalf, 1989; Klemm *et al.*, 2002; Luo *et al.*, 2018); (6) oso heterogeneoak dira, eta filum ugariren adierazle dira (Metcalf, 1989); (7) lagintzea eta identifikatzea erraza eta merkea da (Luo *et al.*, 2018).

Munduan zehar indize biotiko ugari garatu dira erreketako makroornogabeetan oinarrituta. Indizeak garatzerako orduan espezifizitatea bilatzen da, hau da, indize horrek diseinatuta dagoen eraginari erantzutea bakarrik, baina hau lortzea zaila da, taxoi sentikorrek perturbazio/kutsadura

iturri ezberdinei erantzuten baitie, eta honen erabilera desegokiak ondorio okerretara eraman gaitzake. Beraz, indize guztiek ez dute informazio bera eskaintzen. Izan ere, indizeen dibertsitatea beharrezkoa da errekek inpaktu desberdinak pairatzen baitituzte. Honela, ezin da edozein indize erabili edozein inpaktu aztertzeko. Zentzu honetan, lur erabileraren aldaketa munduan zehar zabaldua dagoen inpaktua da (Kominoski *et al.*, 2013). Errekak lur sistemekin oso lotuta daude (konektibitate hidrologikoak, materia organikoaren elkartrukeak, uraren mugimenduak...) eta ondorioz, lur sistemetan ematen diren aldaketek ur sistemetan isla daitezke (Wellemeier *et al.*, 2018). Frogatuta dago zuhaitz espezie exotikoen landaketek erreketako egitura biologikoa eta funtzionamendua aldatzen dituztela (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013). Batez ere, inpaktuak baliabide trofikoaren aldaketekin lotuta badaude (hostoen kantitatea eta kalitatea) eta ez hainbeste ur kalitatea edo kutsadurarekin erlazionatuta daudenean. Hala eta guztiz ere, inoiz ez da aztertu zer makroornogabe indize erabil daitezke horrelako inpaktuak ondo aztertzeko.

Horregatik, ikerketa honen helburu nagusia, lurzoru erabileraren aurrean indize biotiko ezberdinek duten erantzuna aztertzea da. Horretarako Larrañaga *et al.* (2009) eta Martínez *et al.* (2013) lanetako ornogabe datuak erabili dira; bi lan hauek arroko lur erabilerak erreketako ornogabe komunitateen egitura aldatzen duela aipatzen dute. Datu base bateratu bat sortu eta 257 indize kalkulatu dira helburu ezberdinetarako diseinatuak izan direnak. Indize biotiko ezberdinen erantzuna aztertzeko hiru hipotesi planteatu dira: (1) kutsadura detektatzeko diseinatutako indizeek aldaketa taxonomikoak islatuko dituzte hein batean, baina ez dira azken hauek baino hobeak izango lekuen arteko diferentziak azaltzeko; (2) egitura trofikoa erakusten duten indizeek, taxonomia edo kutsaduraren inguruko indizeek baino diskriminazio gaitasun handiagoa izango dute, lurzoru erabilera ezberdinek errekurtsioetan duten eragin zuzena dela eta; eta (3) informazio taxonomikoa indizeetara bihurtzeak datu baseetan agertzen diren zeroen kopuruak jaitsiko ditu, analisi estatistikoetarako onurak ekarriz.

## **Material eta metodoak**

### *Ikerketa area*

Ikerketa honetan, Larrañaga *et al.* (2009) eta Martínez *et al.* (2013) lanetan lorturiko makroornogabeen datuak erabili dira. Alde batetik, Larrañaga *et al.* (2009) lanean Agüera eta Sámano arroetako hamar erreka lagindu ziren. Bi arro hauek silizikoak dira, eta laginketa puntu ezberdinen artean 20 km daude gehienez (Larrañaga *et al.*, 2009). Klima epel ozeanikoa da, 14,3 °C-ko batez besteko tenperatura eta 1500 mm batez besteko prezipitazioak dituena (Larrañaga *et al.*, 2009). Hamar erreketatik erdia baso autoktonoz inguratuta daude, zeinetan *Quercus robur* L. dominatzailea den. Beste erdia, aldiz, eukalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) landaketez

inguratuta daude. Ez dago etxebizitza eta baserrien presentziarik lagindutako erreka guztietatik gora (Larrañaga *et al.*, 2009).

Bestalde, Martínez *et al.* (2013) lanak, Kantauriar mendikateko sei erreka aztertu zituen. Aukeratutako laginketa puntuen arteko distantzia 40 km baino gutxiagokoa da (Martínez *et al.*, 2013). Kasu honetan ere, substratua silizikoa da. Eskualde honetan, klima epela da, 14 °C -ko batez besteko tenperatura eta 1200 mm -ko batez besteko prezipitazioak dituen (Martínez *et al.*, 2013). Aztertutako erreken erdia baso autoktonoz inguratuta daude, espezie dominatzaileak, *Fagus sylvatica* L. eta *Q. robur* direlarik (Martínez *et al.*, 2013). Beste erdia, aldiz, *Pinus radiata* D. Don espezie aloktonoaren landaketez inguratuta dago (Martínez *et al.*, 2013). Larrañaga *et al.* (2009) eta Martínez *et al.* (2013) lanak bateratuz, lurzorua hiru erabilera bereizi ziren inguruko landaredian oinarrituz: pinudia (*P*), eukaliptadia (*E*) eta hostogalkorren basoa edo baso autoktonoa (*A*). Landaketez gain, inpaktu antropogenikoak minimoak dira arloan (Martínez *et al.*, 2013). Lur erabileraz aparte, lanerako erabili diren 16 erreken ezaugarriak oso antzekoak ziren, baita uraren ezaugarri fisikokimikoen aldetik ere (I. Eranskina).

### *Laginketa*

Bi lanetan metodologia bera erabili zen makroornogabeen laginak jaso eta prozesatzeko. Laginketak, une desberdinetan egin ziren, Larrañaga *et al.* (2009) lanean, 2003ko martxoaren 25ean egin ziren eta Martínez *et al.* (2013) lanean eginiko laginketak, 2010eko urtarrilean egin ziren. Zoriz aukeratutako puntuetan bentoseko bost lagin hartu ziren Surber sareaz (0.09 m<sup>2</sup>, 0.5 mm -ko zuloak) (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013). Laborategiko tratamenduari dagokiola, laginetatik materia organikoa banatu eta ondorengo kategorietan sailkatu zen: eukalipto/pinu hostoak, beste hostoak eta bestelako materia organikoa (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013). Ornogabeak, zenbatu eta identifikatu egin ziren Tachet *et al.* (2002) gako erabiliz (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013). Oro har, genero mailaraino identifikatu ziren, baina kasu batzuetan familia mailaraino baino ez (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013).

### *Datuen tratamendua*

Indize biotikoak kalkulatzeko, AQEM project -ek garatutako ASTERICS deituriko programa informatikoa erabili zen (Consortium, 2002). Honetarako, datu-basea moldatu zen, makroornogabeen dentsitateak indibiduo totaletara bihurtuz. Modu berean, ASTERICS programak datuak irakurri ahal izateko, taxoi bakoitzari egileek definitutako kodea atxeki zitzaion.

ASTERICS programak, indize biotiko ugari kalkulatzeko (guztira 257), eta hauetako asko lurralde jakinetarako espezifikoak dira, hala nola, “*Portuges Gold-Index*” edo “*German*



*Fauna Index*". Hori dela eta, datu-basea moldatu egin zen, eta azkenean, 104 indize biotiko erabili ziren (II. Eranskina). Hiru talde ezberdinetan sailkatu genituen indizeak lan honetarako: taxoiekin erlazonaturiko indizeak, estrategia trofikoekin erlazonatutako indizeak eta kutsadura indizeak (beste indize guztiak sartu dira kategorian honetan). Kontuan izan indize terminoaren erabilera zabala egiten dela lan honetan eta taxoien dentsitate balioak ere indize moduan hartu direla.

Tratamendu estatistikoa R programarekin burutu zen (R Core Team, 2017). "Nonmetric Multidimensional Scaling" ordenazio analisi desberdinak eraiki ziren. Honetarako *vegan* paketeko (Oksanen et al., 2017) *metaMDS* funtzioa erabili zen. Lehendabizi, taxoien ugaritasunen datu-basea gordina erabili zen. Hala ere, ez zen irudikatu datu-base honen zero kantitate handiak, estres oso txikia izatea eragiten zuelako. Ondoren, hainbat NMDS eraiki ziren indizeak erabilita, lehenik indize guztiak erabilita. Hiru indize motak (taxonomikoak, trofikoak eta kutsaduraren ingurukoak) modu ezberdinean nabarmendu zirenez analisi honetan, beste bi NMDS eraiki ziren, taxoien indizeak kenduta lehena eta taxoi eta estrategia trofikoaren inguruko indizeak kenduta bigarrena. Beste bi NMDS egin ziren oraingoan talde bakarreko indizeak erabilita; taxoien indizeak alde batetik eta estrategia trofikoaren indizeak bestetik

Ondoren, PerMANOVA bat egin zen (Anderson, 2001) sortutako NMDS bakoitzerako, *vegan* paketeko (Oksanen et al., 2017) *vegdist* eta *adonis* funtzioak erabiliz; guztira sei PerMANOVA egin zirelarik. Honetarako, datu-baseak, distantzia indizeetara aldatu ziren, *Bray Curtis* –en disimilaritate indizea (Bray & Curtis, 1957), hain zuzen ere. Indize biotiko bakoitza eta lurren erabilerak hartuta ereduak sortu eta permutazio bidezko ANOVAk egin ziren *lmPerm* paketeko (Wheeler & Torchiano, 2016) *lmp* funtzioa erabiliz. Permutaziozko testak erabili ziren eredu linearen beharrianak urratzen zirelako aldagai askotan. Irudikatu ziren aldagaiekin *PostHoc* testak egin ziren. Honetarako, lur erabilerak binaka aukeratu ziren (Pinua-Autoktonoa, Pinua-Eukalipto eta Eukalipto-Autoktonoa) eta permutaziozko ANOVA berriak eraiki ziren lurren arteko desberdintasunak ikusteko.

Datu taxonomikoekin lan egiteko orduan egoten den arazo bat zero asko izatea da, hau da, taxoiak leku batzuetan agertzen dira, baina beste batzuetan ez (Qian & Cuffney, 2014). Zeroen agerpen altuak tratamendu estatistiko erabilgarrien multzoa txikitzen du eta emaitza ez fidagarriak agertzea sortu dezake (Qian & Cuffney, 2014). Indizeek, datu taxonomikoak integratzen dituztenez, kontu hau hobetzen dute. Hau nola gertatzen den ikusteko zeroen frekuentzia aztertu zen taxoien indize, estrategia trofikoaren indize eta kutsaduraren inguruko indizeetan. Estazio bakoitzak, indize biotiko bakoitzarentzat balio bat edukiko du. Analisi honetan, estazio bakoitzaren balioa, indizearen balio maximoarengatik zatitu zen, honela, 0-1 bitarteko balioak lortu zirelarik. Ondoren, bost kategorian zehaztu ziren (0, < 0.25, 0.25 - 0.5, 0.5

- 0.75 eta > 0.75) eta lortutako emaitzetatik, kategoria bakoitzean zenbat zeuden zenbatu zen (indizeen mota bakoitzarentzako) eta frekuentziak barra grafikoetan erakutsi ziren.

## **Emaitzak**

Taxoien ugaritasunekin egindako NMDSa ez zen irudikatu datu-base honen zero kantitate handiak, estres oso txikia ( $9.27197e^{-05}$ ) eragin zuelako. Taxoi bakoitzaren indibiduo totalekin eta lurren erabilera desberdinekin egindako PerMANOVA -n, 3 lur erabilera ezberdinen arteko diferentzia zen ( $F = 2.55$ ;  $p = 0.008$ ).

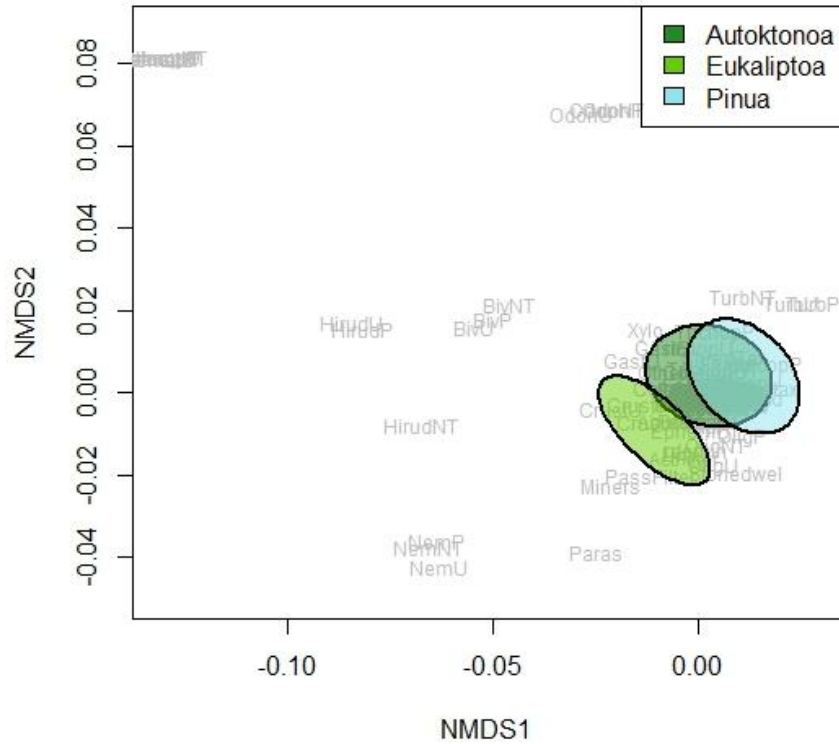
Indize biotiko guztiekin eraikitako NMDSan, indize mota bakoitza modu ezberdinean nabarmendu zen (1. Irudia). Gehien nabarmendu ziren indizeak, ordenazioaren kanpoko aldean ikusten zirenak, taxoiei zegozkienak ziren (1. Irudia). Ordenazio orokor hau erabilita lurren erabileraren eraginari dagokiola, pinudi (*P*) eta hostogalkorren (*A*) basoen elipseak gainjartzen direla ikusi zen, antzekotasunak erakutsiz (1. Irudia). Eukaliptadien (*E*) elipsea aldiz, oso gutxi gainjartzen zen baso autoktonoarekin, desberdintasun handienak adieraziz (1. Irudia). Dena den, indize biotiko guztiak erabilita lurren erabilera ezberdinen arteko diferentzia esangarritasun estatistikoaren muga zegoen (PerMANOVA; Pseudo-F = 1.69,  $p = 0.08$ ).

Taxoien indizeak kentzean sortutako bigarren NMDSan, berriro ere, gelditzen ziren bi indize motak modu ezberdinean nabarmendu ziren (2. Irudia). Kasu honetan, gehien nabarmendu ziren indizeak estrategia trofikoei zegozkienak ziren (2. Irudia). Oraingoan, eukalipto eta baso autoktonoa gehiago gainjartzen ziren eta pinudiaren kasuan aldiz, elipsea ia ez zen gainjartzen (2. Irudia). Egitura trofikoa eta kutsaduraren inguruko indizeak erabilita lurren erabilera ezberdinen arteko diferentziak esangarriak zirela behatu zen (PerMANOVA; Pseudo-F = 2.02,  $p = 0.04$ ).

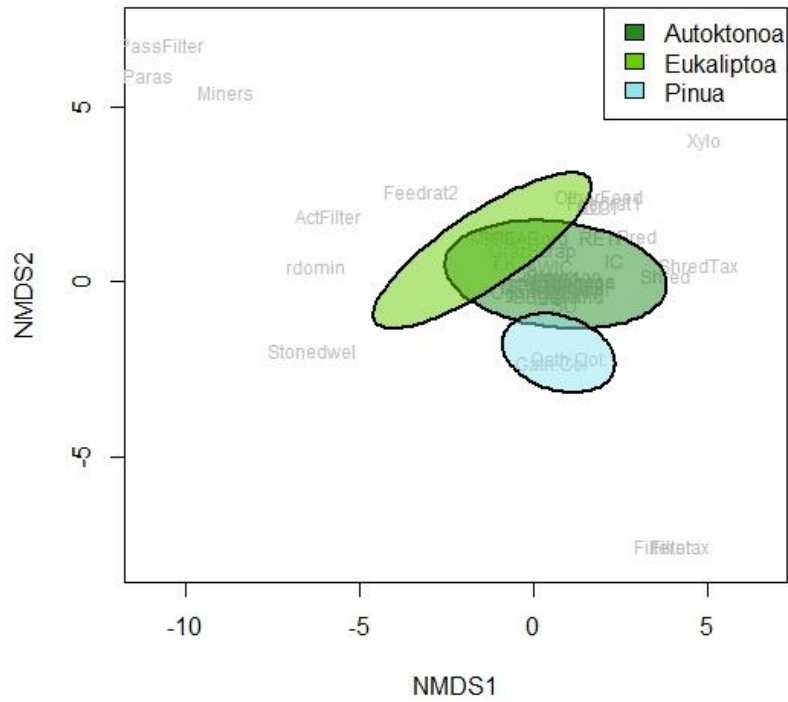
Kutsaduraren inguruko indizeak bakarrik erabilita sorturiko NMDSan, hainbat indize biotiko modu garbian nabarmendu ziren: r strategiaren dominantzia (*r<sub>domin</sub>*), arroka eraikitako etxeak dituzten ornogabeak (*stonedwel*: stone-dwelling), SPEAR (*Species At Risk*) organikoa, r/k dominantzia... (3. Irudia). Kasu honetan, hiru lurren erabilerak gainjarri egiten ziren (3. Irudia). Kutsaduraren inguruko indize biotikoak erabilita bakarrik ez zen lur erabilera ezberdinen arteko diferentzia esangaririk ikusi (PerMANOVA; Pseudo-F = 1.76,  $p = 0.10$ ).

Taxoien indizeekin egindako NMDSan, hiru lurren erabilerak gainjartzen zirela ikusi zen eta gainera, eukaliptoaren elipseak beste biek baino azalera askoz handiagoa hartzen zuela behatu zen (4. Irudia). Taxoiekin erlazionatutako indize biotikoak erabilita bakarrik ez zen lur erabilera ezberdinen arteko diferentzia esangaririk ikusi (PerMANOVA; Pseudo-F = 1.60,  $p = 0.12$ ).

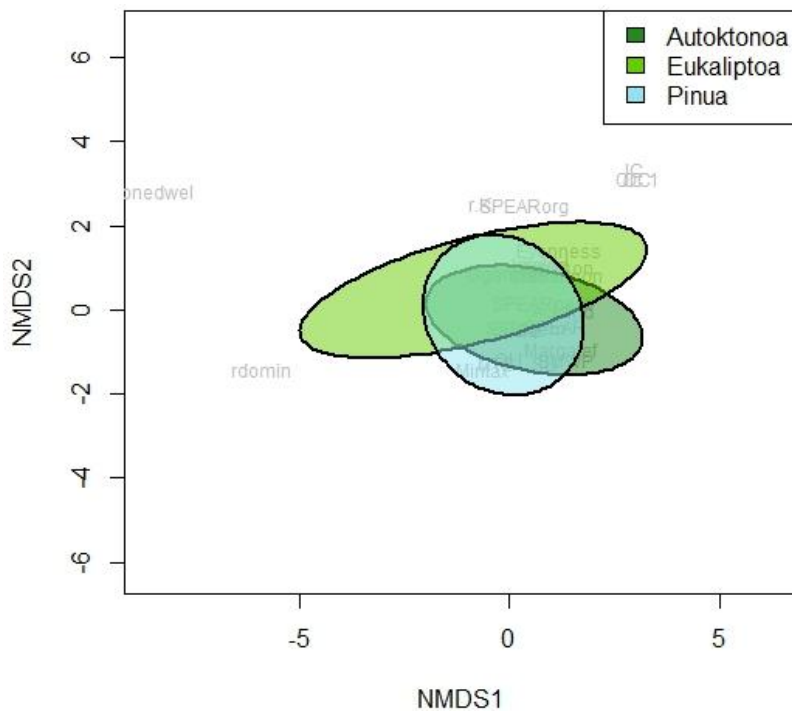
Azkenik, estrategia trofikoekin soilik egindako NMDSan, hiru lurren erabilerak zerbait gainjartzen ziren arren espazioan banatuta zeudela behatu zen, hostogalkorren basoak azalera handiena betetzen zutelarik (5. Irudia). Estrategia trofikoekin indize biotikoak erabilita lur erabilera ezberdinen arteko diferentzia esangarria ikusi zen (PerMANOVA; Pseudo-F = 2.98, p = 0.01).



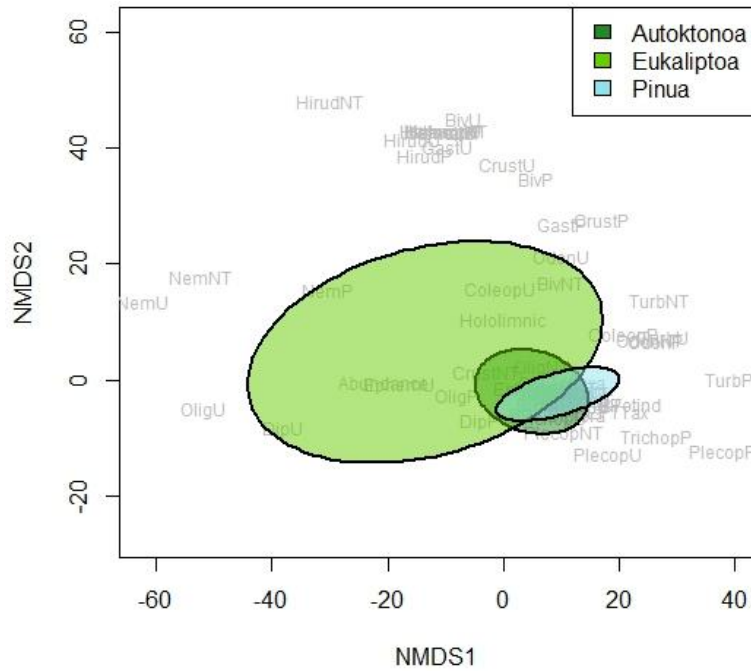
1.Irudia: Lurren erabileraren arabera, indize biotiko guztiekin eraikitako NMDSa. Estres balioa 0.116 izan zen. Analsiaren bi dimentsio hauetan lurraren erabilera ezberdinen kokapena ikusteko elipseak irudikatu dira laginketa puntu ezberdinen kokagunearen errore estandararekin eginak.



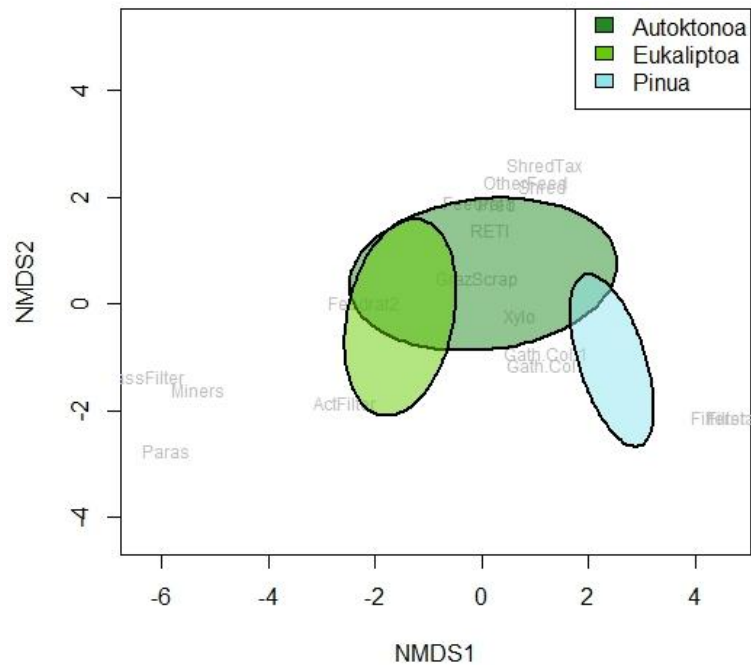
2. Irudia: Lurren erabileraren arabera, indize taxonomiko gabe eraikitako NMDSa. Estres balioa 0.107 izan zen. Analisiaren bi dimentsio hauetan lurraren erabilera ezberdinen kokapena ikusteko elipseak irudikatu dira laginketa puntu ezberdinen kokagunearen errore estandarrarekin eginak.



3. Irudia: Lurren erabileraren arabera, indize taxonomiko eta estrategia trofikoaren indize gabe eraikitako NMDSa. Estres balioa 0.074 izan zen. Analisiaren bi dimentsio hauetan lurraren erabilera ezberdinen kokapena ikusteko elipseak irudikatu dira laginketa puntu ezberdinen kokagunearen errore estandarrarekin eginak.



4. Irudia: Lurren erabileraren arabera, indize taxonomikoekin eraikitako NMDSa. Estres balioa 0.069 izan zen. Analisiaren bi dimentsio hauetan lurraren erabilera ezberdinen kokapena ikusteko elipseak irudikatu dira laginketa puntu ezberdinen kokagunearen errore estandarrarekin eginak.



5. Irudia: Lurren erabileraren arabera, estrategia trofikoekin eraikitako NMDSa. Estres balioa 0.068 izan zen. Analisiaren bi dimentsio hauetan lurraren erabilera ezberdinen kokapena ikusteko elipseak irudikatu dira laginketa puntu ezberdinen kokagunearen errore estandarrarekin eginak.

Indize biotiko guztiekin egindako permutaziozko ANOVAetan, 11 indizek baino ez zuten diferentzia adierazgarria ( $p < 0.05$ ) erakutsi lurren erabilera ezberdinen artean (1. Taula). Beste 11 indizek esangarritasunaren mugako balioak erakutsi zituzten ( $p < 0.1$ , 1. Taula). Nematodoen kasuan, nahiz eta familia honi dagozkion indizeak esangarriak izan, ez ziren irudikatu indizeen balioak oso txikiak zirelako.

Taxoiekin erlazionaturiko indizeen artean, taxoi kopuru totala eta hiru familia baino ez ziren lurzoruaren erabilerearen aldaketaren adierazle izan, diptera, nematoda eta oligoketa diptera ratioa (OD/Total-Taxa) (1. Taula). Bestetik, estrategia trofikoaren artean; iragazle aktiboek, zulatzaileak, parasitoek eta zatitzaileek erakutsi zuten aldaketa, eta kutsadura indizeen artean, bi izan ziren esangarritasuna erakutsi zuten bakarrak, SPEAR (*Species At Risk*) organikoa eta azidotasun indizea (1. Taula).

1.Taula: permutaziozko ANOVA –n, lurraren erabilerearen eta indize biotiko guztien arteko erlazio esangarri ( $p < 0.05$ ) eta esangarritasunaren mugako ( $p < 0.1$ ) p balioak (U = ugaritasuna, NT = Taxoi kopurua, OD = oligoketa diptera, SPEAR = Species At Risk).

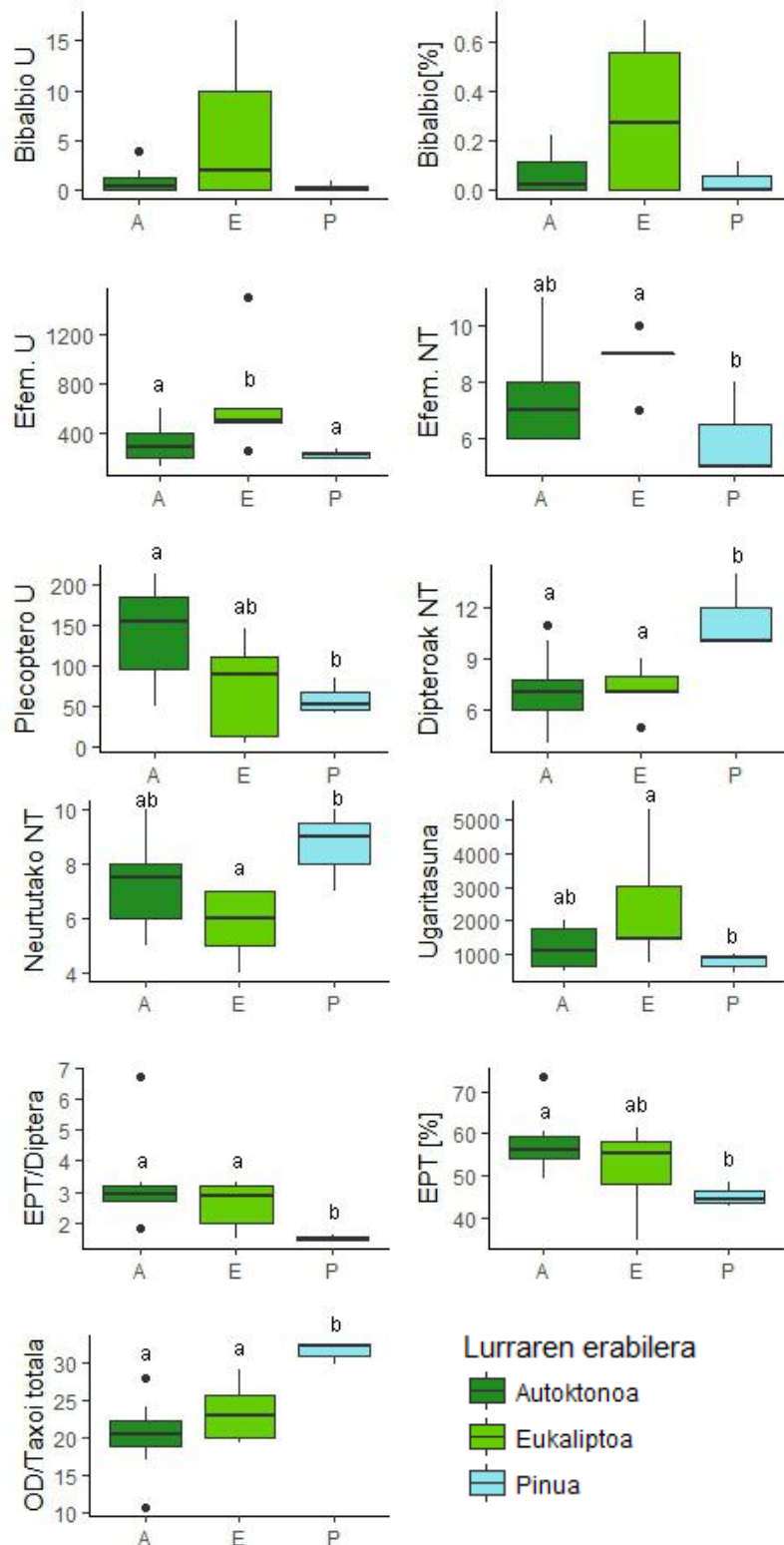
<b>Taldea</b>	<b>Indizea</b>	<b>p balioa</b>
Taxoiak	OD/Total-Taxa (NT)	0.006 **
	Nematoda (U)	0.01 *
	Diptera (NT)	0.02 *
	Zenbatutako taxoi kopurua	0.04 *
	Nematoda [%]	0.04 *
	Bivalvia (U)	0.05 .
	Plecoptera (U)	0.05 .
	Bivalvia [%]	0.06 .
	Nematoda (NT)	0.07 .
	Ephemeroptera (NT)	0.08 .
	Ephemeroptera (U)	0.08 .
	EPT [%]	0.09 .
	EPT/Diptera (NT)	0.09 .
Estrategia trofikoa	Iragazle aktiboak [%]	0.003 **
	Zulatzaileak [%]	0.008 **
	Parasitoak [%]	0.01 *
	Zatitzaileak [%]	0.03 *
	Zatitzaile taxoiak [%]	0.05 .
Bestelakoak	SPEAR organikoa	0.02 *
	Azidotasun indizea	0.03 *
	Ugaritasuna [ind/m <sup>2</sup> ]	0.07 .
	SPEAR pestizidak	0.09 .

Taxoiekin erlazionatutako indizeei dagokiola, bibalbio (ugaritasuna eta proportzioa) eta efemeropteroen (ugaritasuna eta taxoi kopurua) kasuan, antzeko joera ikusi zen, eukaliptadietan balio handiagoak behatu zirelarik (6. Irudia). Plekopteroen ugaritasun handienak aldiz, hostogalkorren basoetan behatu ziren eta dipteroen taxoi kopuru handienak, pinudietan. Neurtutako taxoi kopuru totalari erreparatuta, kopuru handiena pinudietan behatu zen eta taxoi guztien ugaritasuna kontuan hartuta eukaliptadietan behatu zen ugaritasun handiena (6. Irudia). OD/Taxoi kopuru totala –ren indizeak ere joera berdina erakutsi zuen, pinudietan balio handienak erakutsiz. Azkenik, aztertutako bi EPT (Efemeroptero/Plekoptero/Trioptero kopuruak) indizeek, hau da, EPT/diptera eta EPT (%), baso autoktonoan balio handienak erakusten dituzte, ondoren eukaliptadian eta azkenik pinudietan (6. Irudia).

Estrategia trofikoei erreparatzen badiegu, zulatzaileak, iragazle aktiboak eta parasitoak erantzun berdina erakutsi zuten, eukaliptadietan proportzio handiagoa ikusi zelarik. Zatitzaileekin aldiz, proportzio handiagoak behatu ziren hostogalkorren basoetan (7. Irudia).

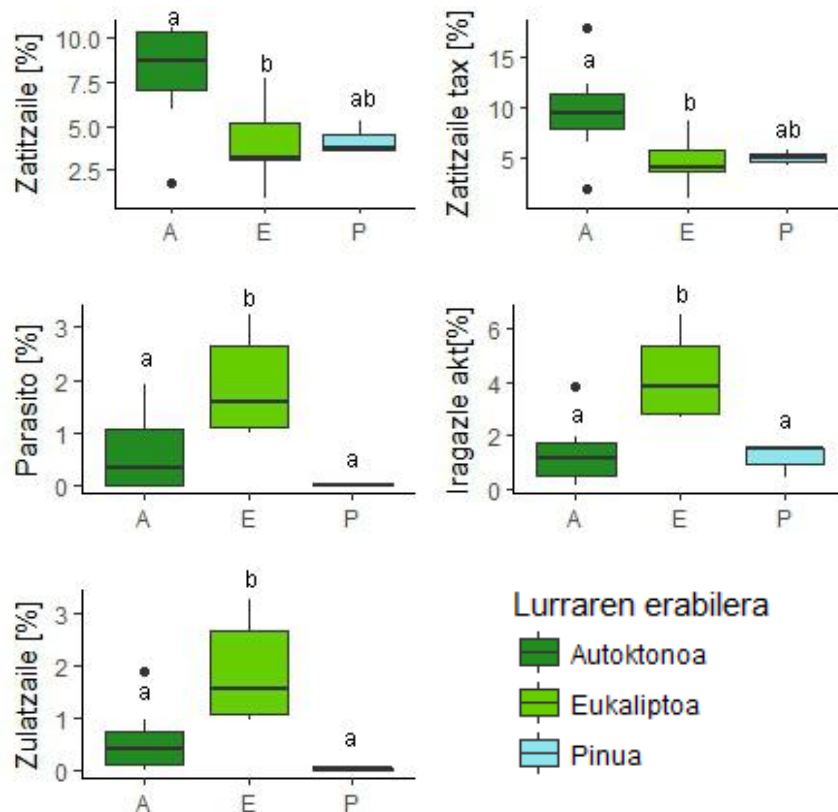
Azkenik, kutsadura indizeei dagokiela, azidotasun indizeak, pinudietan ditu balio handienak, eta SPEAR indizeei dagokiela, organikoa zein pestizidena, biek erakusten dituzte balio handiagoak baso autoktonoetan (8. Irudia).

*PostHoc* analisisian indize desberdinek hiru lur erabilerekiko erlazio desberdinak adierazi zituzten (6., 7. eta 8. Irudiak). Aztertutako indize guztietatik hiruk (Bibalbio ugaritasuna, bibalbio [%] eta SPEAR pestizida) ez zituzten desberdintasun esangarriak adierazi lur erabilera desberdinen artean. Hainbat indizek lur erabilera ezberdinen artean ezberdintasun esangarriak erakutsi zituzten: pinudia desberdintzen zutenak Diptero, EPT/diptera eta OD/Taxoi-totala indizeek izan ziren (6. Irudia); eta eukaliptadia desberdintzen zutenak efemeroptero ugaritasuna, parasitoak, iragazle aktiboak eta zulatzaileak izan ziren (6. eta 7. Irudiak). Bestalde, beste indizeek ere lur erabilera ezberdinen artean ezberdintasun esangarriak erakutsi zituzten, baina bi lur erabilera desberdintzen zituzten: eukaliptadia eta pinudia desberdintzen zituztenen artean, efemeropteroen taxoi kopurua, zenbatutako taxoi kopurua, ugaritasuna eta azidotasun indizeak (6. eta 8. Irudiak); baso autoktonoa eta pinudia desberdintzen zituztenak, plekopteroen ugaritasuna eta EPT; eta azkenik, baso autoktonoa eta eukaliptadia desberdintzen zituzten indizeen artean, zatitzaileak, zatitzaileen taxoiak eta SPEAR organikoa behatu ziren (7. eta 8. Irudiak).

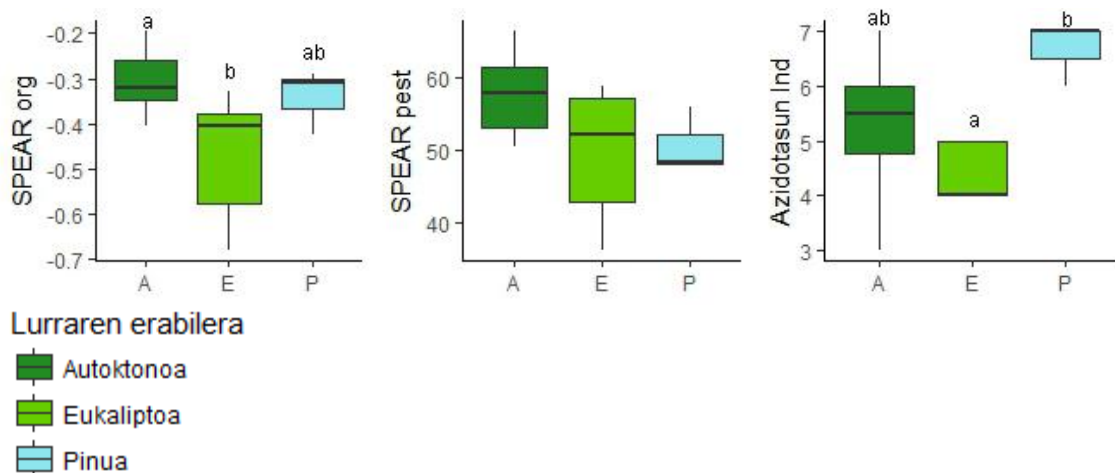


6. Irudia: taxoiaren indizeekin eta lurren erabilera desberdinekin (A = Autoktonoa, E = Eukaliptoia eta P= Pinua) egindako permutaziozko ANOVA -n, erlazio esangarria erakutsi duten eta esangarritasunaren mugan dauden indize biotikoen adierazpen grafikoa (U = ugaritasuna, NT = Taxoi kopurua). Letra minuskulek lur erabilera arteen ezberdintasunak erakusten dituzte, letra berdinez lotu dira esangarriki ezberdintasunik erakutsi ez dituzten kasuak.



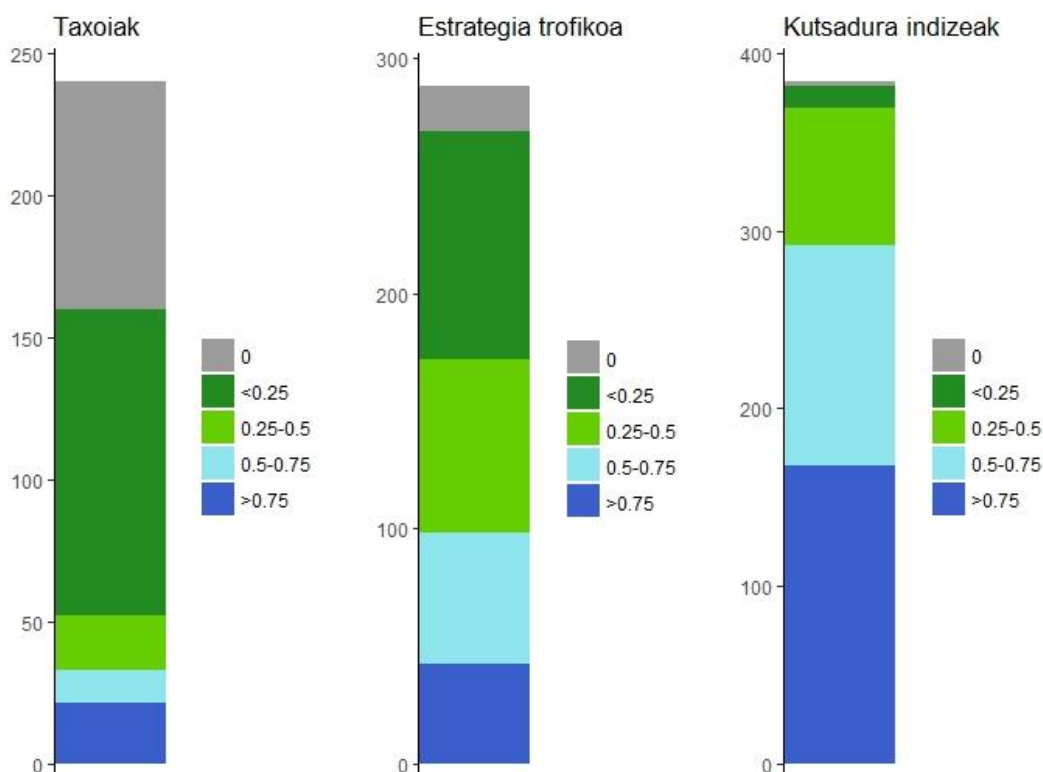


7. Irudia: estrategia trofikoaren indizeekin eta lurren erabilera desberdinekin (A = Autoktonoa, E = Eukalipto eta P= Pinua) egindako permutaziozko ANOVA -n, erlazio esangarria erakutsi duten eta esangarritasunaren mugan dauden indize biotikoen adierazpen grafikoa. Letra minuskulek lur erabileren artean ezberdintasunak erakusten dituzte, letra berdinez lotu dira esangarriki ezberdintasunik erakutsi ez dituzten kasuak.



8. Irudia: kutsadura detektatzeko indizeekin eta lurren erabilera desberdinekin (A = Autoktonoa, E = Eukalipto eta P= Pinua) egindako permutaziozko ANOVA -n, erlazio esangarria erakutsi duten eta esangarritasunaren mugan dauden indize biotikoen adierazpen grafikoa. Letra minuskulek lur erabileren artean ezberdintasunak erakusten dituzte, letra berdinez lotu dira esangarriki ezberdintasunik erakutsi ez dituzten kasuak.

Zeroen frekuentziak aztertuta hiru taldeen arteko desberdintasun nabariak behatu ziren (9. Irudia). Taxoiekin erlazionatutako indizeek, 0 balio gehien dituen taldea zen (% 33,33), eta modu berean, balioen %45a  $< 0.25$  zen (9. Irudia).. Estrategia trofikoekin erlazionatutako indizeetan aldiz, 0 balioak murrizten ziren (% 7), baina  $< 0.25$  diren balioen proportzio nahiko antzekoa mantentzen zen (9. Irudia). Kutsadura indizeen kasuan, 0 – 0.25 bitarteko baliorik ia ez zegoela behatu zen. Azken kasu honetan gainera, balioen gehiengoa 0.5 - 1 tartean dagoela behatu zen (9. Irudia).



**9. Irudia:** indizeen balio estandarizatuen frekuentzien adierazpen grafikoa. Grafikoak ezkerretik eskuinera: taxoiekin erlazionatutako indize biotikoak, estrategia trofikoekin erlazionatutako indize biotikoak eta kutsadura indizeak.  $< 0.25$  diren balioek ez dituzte 0ak barneratzen.

### Eztabaida

Ikerketa honetan, kutsadura detektatzeko diseinatutako indizeek aldaketa taxonomikoak islatzen dituzten arren, taxoien ugaritasunetik lekuen arteko diferentziak hobeto azaltzen dituztela ikusi da. Hala ere, egitura trofikoak erakusten duten indizeek, taxonomia edo kutsaduraren inguruko indizeekin alderatuz, diskriminazio gaitasun handiena erakutsi dutenak izan dira, lurzoru erabilera ezberdinek errekurtsoetan duten eragin zuzena dela eta. Azkenik, informazio taxonomikoa indizeetara bihurtzeko datu baseetan agertzen diren zeroen kopuruak jaitsi dituela ikusi da, estrategia trofiko zein kutsadura indizeen kasuan.

Kutsadura detektatzeko diseinatutako indizeek aldaketa taxonomikoak islatzen dituzte, azken finean, taxoi-ugaritasunetan edo agerpenean oinarritzen dira indize hauek, eta taxoiak aldatzen badira, indizeen balioak ere aldatu egiten dira. Kasu honetan, aztertutako kutsadura indize guztietatik bi izan dira lurren erabileren arteko desberdintasunak azaltzen zituztenak; SPEAR (*Species at Risk*) organikoa eta azidotar indizea. SPEAR indizeak, pestizidek, kutsatzaile organikoak eta ur gezetan eman daitekeen gazitasunaren adierazle biologiko bezala sortuak izan ziren (Schäfer & Liess, 2013). Indize hauek estres espezifikoak adierazteko gai dira, hauei erantzuten dieten organismoen ezaugarrietan oinarritzen direlako (Schäfer & Liess, 2013). SPEAR organikoaren baliorik handienak hostogalkorren basoetan aurkitu dira, eta txikiak eukaliptodietan, azken hauek kutsadura handiagoa duela adieraziz. Beketov eta Liess (2008) lanean, SPEAR<sub>organic</sub> indizea, faktore naturalekiko independentea eta kutsatzaile organikoekiko (adibidez: petrokimikoak eta sintetikoak) guztiz menpekoa dela frogatu zuten. Eukaliptoaren kasuan, hostoek dituzten substantzia toxikoen ondorioz, uraren kimikan eragina eduki lezaketen arren (Martínez *et al.*, 2017), errazagoa da indize hauen inespezifitate baten ondorio garbi bat izatea. Azidotar indizeari erreparatuta, eukaliptodiek pH-rik azidoenetroko urak (pH  $\approx$  4) erakusten zituzten eta bat doa indizeak erakusten duen balioarekin. Pinuaren azikulak lurzorua azidotzen dutela frogatu den arren (Giddens *et al.*, 1997), beharbada, uretan eragina galtzen dute edo ez dute eragin bera edukiko. Eukaliptoak, lehen esan bezala, bere hostoetan olio esentzial toxikoak eta polifenolak gordetzen ditu kapsuletan (Larrañaga *et al.*, 2009), eta substantzia kimiko hauek azidoak direnez, kasu honetan ere hostoen substantziak ura azidifikatzen dute (Canhoto & Laranjeira, 2007).

Taxoiekin erlazionatutako indizeei dagokiela, lau indizeek erlazio esangarria adierazi zuten: taxoi kopurua, OD/Total-Taxa indizea, nematodoen ugaritasun eta proportzioa eta dipteroen taxoi kopurua. Neurtutako taxoi kopurua, diptero eta OD/Total-Taxa indizeei dagokiela, taxoi kopuru handiena pinudietan behatu zen. Taxoi guztiek ez dute erantzun bera edukiko inpaktu baten aurrean. Dipteroak eta oligoketoak oso erresistenteak dira kutsadura eta aldaketa fisikoei eta hori dela eta estrategia trofikoei dagokiela malguagoak dira, errekurtsu desberdinetara moldatzeko aukera handiagoa edukiko dutelarik (Martínez *et al.*, 2016).

Egitura trofikoak erakusten duten indizeei dagokiela, taxonomia edo kutsaduraren inguruko indizeek baino diskriminazio gaitasun handiagoa dutela frogatu da eta hauek izan dira lurren erabileren arteko desberdintasuna azaltzen zituzten indize bakarrak. Azken finean, aztertu dugun asaldura, makroornogabeek erabiltzen dituzten errekurtsuen aldaketa da, eta ondorioz, eragin handiena zatitzaileengan behatu da (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013). Izan ere, errekak sistema heterotrofoak izanik, materia organikoaren sarrera bakarra aloktonoa izango da, eta bertako bizidunek dauden errekurtsuak ustiatuko dituzte (Graça & Canhoto, 2006). Ikerketa honetan, zatitzaile gehiago aurkitu ziren hostogalkorren basoetan, eta gutxiago (antzeko

proporzioetan) pinudi zein eukaliptadietan. Orbel mota bakoitzak ezaugarri desberdinak ditu eta makroornogabeek preferentziak edukitzen dituzte, C: N ratio txikiagoa izatea, adibidez (Graça & Canhoto, 2006). Pinuen azikulak iraunkorrek direnez, C:N ratio altua dute aparatu fotosintetizatzailea mantendu ahal izateko eta honek hostoen deskonposaketa tasa motela izatea eragiten du (Giddens *et al.*, 1997). Ondorioz, kalitate gutxiko orbela da, eta gainera konposatu toxikoak dituela behatu da (Martínez *et al.*, 2013). Bestetik, eukaliptoak bi ezaugarri negatibo ditu, alde batetik, kutikula gogorra du, eta bestetik, toxikoak diren substantziak (polifenolak) ditu hostoetan (Larrañaga *et al.*, 2009). Zatitzaileen errekurtsioa orbela denez, guztiz logikoa da honen aldaketarekin talde funtzional honen murrizketa bat behatzea. Emaidza berdina lortu dira orbel motaren eragina ikertzen duten beste hainbat ikerketetan ere, zatitzaileen aberastasun eta ugaritasun txikiak baso aloktonoetan behatu dituztelarik (Larrañaga *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2013; Monroy *et al.*, 2017).

Bestalde, esperotakoaren kontrara, iragazle aktibo, parasito eta zulatzaile gehiago aurkitu ziren eukaliptadietan. Landaketetan gutxiago espero izanaren arrazoiak deforestazioak eragiten dituen aldaketetan datza, izan ere, materia organikoaren sarreraren aldaketak erreken egitura trofikoan aldaketak eragiten dituela ikusi da (Santiago *et al.*, 2011). Baso mozketek, eragin handia dute erreketako sistemetan, hauen artean: materia organikoaren sarrera eteten da, disolbatutako oxigenoa murrizten da, lurzorua higadura areagotzen da, uraren tenperatura igotzen da... batez ere, txandaketa denbora laburra baldin bada, eukaliptoaren kasuan gertatzen den bezala (10-12 urte) (Santiago *et al.*, 2011). Iragazleak, uretan esekiduran dauden partikulez elikatzen dira, baina baso mozketen ondorioz, sedimentu ugari metatuko dira errekan eta ondorioz, aldaketa honek iragazketa zaildu dezake. Agüerako arloan 2000. urtean egindako eukaliptadiaren mozketak izugarritzko eraginak eduki zituen sisteman, erreken komunitateak erabat aldatu zirelarik (Santiago *et al.*, 2011). Larrañaga *et al.* (2009) eta Martínez *et al.* (2013) lanetan landaketen azkeneko mozketak izan zenetik laginak hartu zituzten arte igarotako denboran, errekek errekupeatzeko nahikoa denbora eduki zuela pentsa daiteke.

Informazio taxonomikoa indizeetara bihurtzeak datu baseetan zeroen kopuruak jaisten ditu estrategia trofiko eta kutsadura detektatzeko indizeen kasuan. Ez da berdina gertatzen taxoiekin erlazionaturiko indizeetan, azken finean, indize hauek taxoi kopuru edota ugaritasunetan daude oinarrিতa eta honek zeroen kopurua mantentzea eragingo du, zeroen frekuentzia analizatzean ikusi den bezala. Egoera onean dauden makroornogabeen komunitateak, taxoi gutxi batzuk oso ugariak dira eta taxoi asko oso urriak edo arraroak (Qian & Cuffney, 2014). Gainera, taxoi arraro hauek, kutsadurarekiko sentikorrek izaten dira eta honek zeroz betetako datu-baseak edukitzera eramaten gaitu, analisi estatistikoak zailtzen dituen (Qian & Cuffney, 2014). Zero balioek datuen banaketa normala bermatzea mugatzen dute eta interpretazioak zailtzen dituzte, zero estrukturalak (*structural zeros*) ala laginketa zeroak (*sampling zeros*) adierazi ditzaketelako

(Qian & Cuffney, 2014). Zero estrukturalak, taxoi falta adierazten dute, eremuaren baldintzak ez direlako egokiak taxoi jakin horrentzako, adibidez; laginketa zeroek aldiz, taxoia aurkitzen den eremuetan ez lagintzea adierazten dute, adibidez, laginaren tamaina egokia ez delako (Qian & Cuffney, 2014). Edonola ere, datu-baseetan zeroen presentzia altuari aurre egiteko modelo desberdinak dauden arren, *Zero-inflated Poisson model* (Lambert, 1992), adibidez, indize biotikoek zeroak murrizteko aukera sinpleago bat eskaintzen dute, analisi estatistikoetarako onurak ekarri.

## **Ondorioak**

Ikerketa honetan, indize biotikoak lur erabilera desberdinek erreketako komunitateetan duten inpaktua adierazteko baliagarriak direla ikusi da. Hala ere, guztiek ez dute diskriminazio gaitasun berdina edukitzen. Kasu honetan, estrategia trofikoekin erlazionaturiko indizeek lurren erabileren aldakortasuna hobeto islatzen dutela ikusi da, erabilera ezberdin hauek errekursoetan duten eragin zuzena dela eta. Indize bakoitzak kuantifikatzen duen inpaktuarekiko espezifikoa da eta ondorioz, espezifitate hau kontuan izan behar da hauek aplikatzeko orduan. Gainera, datu-base taxonomikoek dituzten zeroen kantitate altuak murrizteko aukera ematen dute indize biotikoek eta honek analisi estatistikoetarako aukera gehiago ematen ditu. Arrazoi guzti hauengatik, lur erabilerek erreketan duten inpaktua modu erraz eta sinplean neurtzeko, indize biotikoek aukera ugari ematen dituztela ikusi da.

## **Esker onak**

Eskerrak eman nahi dizkiet Aitor Larrañagari kurtso guztian zehar emandako aholku eta azalpenengatik, zein Aingeru Martinezi azkeneko hilabete honetan memoriaren zuzenketetan lagundutako guztiarengatik. Bide batez, biei eskertu nahiko nieke lan hau burutu ahal izateko beraien tesiko datuak utzi izana. Azkenik, eskerrik beroenak Ioar de Guzmani eta nire gainontzeko taldekideei, hasieran landu behar genuen Elgoibarko proiektua gogotsu aurrera eramaten saiatzeagatik.

## **Bibliografia**

- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26, 32–46.
- AQEM Consortium. (2002). Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0.
- Aristi, I., Diez, J. R., Larrañaga, A., Navarro-Ortega, A., Barceló, D., & Elozegi, A. (2012). Assessing the effects of multiple stressors on the functioning of Mediterranean rivers using

- poplar wood breakdown. *Science of the Total Environment*, 440, 272–279.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., & Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17(3), 333–347.
- Arroita, M., Diez, J. R., Causapé, J., Comín, F. A., José, J., Navarro, E., ... Elosegí, A. (2013). Irrigation agriculture affects organic matter decomposition in semi-arid terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal of Hazardous Materials*, 263P, 139–145.
- Beketov, M. A., & Liess, M. (2008). An indicator for effects of organic toxicants on lotic invertebrate communities: Independence of confounding environmental factors over an extensive river continuum. *Environmental Pollution*, 156(3), 980–987.
- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 326–349.
- Canhoto, C., & Laranjeira, C. (2007). Leachates of *Eucalyptus globulus* in intermittent streams affect water parameters and invertebrates. *International Review of Hydrobiology*, 92(2), 173–182.
- Dodds, W. K., Jones, J. R., & Welch, E. B. (1998). Suggested classification of stream trophic state: Distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research*, 32(5), 1455–1462.
- Giddens, K. M., Parfitt, R. L., & Percival, H. J. (1997). Comparison of some soil properties under *pinus radiata* and improved pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 40(3), 409–416.
- Giorgio, A., De Bonis, S., & Guida, M. (2016). Macroinvertebrate and diatom communities as indicators for the biological assessment of river Picentino (Campania, Italy). *Ecological Indicators*, 64, 85–91.
- Graça, M. A. S., & Canhoto, C. (2006). Leaf litter processing in low order streams. *Limnetica*, 25(1–2), 1–10.
- Klemm, D. J., Blocksom, K. A., Fulk, F. A., Herlihy, A. T., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., ... Davis, W. S. (2003). Development and evaluation of a Macroinvertebrate Biotic Integrity Index (MBII) for regionally assessing Mid-Atlantic Highlands streams. *Environmental Management*, 31(5), 656–669.
- Klemm, D. J., Blocksom, K. A., Thoeni, W. T., Fulk, F. A., Herlihy, A., Kaufman, P., & Cormier, S. M. (2002). Methods development and use of macroinvertebrates as indicators of ecological conditions for streams in the mid-atlantic higlands region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 78, 169–212.
- Kominoski, J. S., Shah, J. J. F., Canhoto, C., Fischer, D. G., Giling, D. P., González, E., ... Tiegs, S. D. (2013). Forecasting functional implications of global changes in riparian plant communities. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(8), 423–432.

- Lambert, D. (1992). Zero-inflated poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics*, *34*(1), 1–14.
- Larrañaga, A., Basaguren, A., Elozegi, A., & Pozo, J. (2009). Impacts of Eucalyptus globulus plantations on Atlantic streams: changes in invertebrate density and shredder traits. *Fundamental and Applied Limnology*, *175*(2), 151–160.
- Malmqvist, B., & Rundle, S. (2002). Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, *29*(2), 134–153.
- Martínez, A., Kominoski, J. S., & Larrañaga, A. (2017). Leaf-litter leachate concentration promotes heterotrophy in freshwater biofilms: Understanding consequences of water scarcity. *Science of the Total Environment*, *599–600*, 1677–1684.
- Martínez, A., Larrañaga, A., Miguélez, A., Yvon-Durocher, G., & Pozo, J. (2016). Land use change affects macroinvertebrate community size spectrum in streams: The case of Pinus radiata plantations. *Freshwater Biology*, *61*(1), 69–79.
- Martínez, A., Larrañaga, A., Pérez, J., Descals, E., Basaguren, A., & Pozo, J. (2013). Effects of pine plantations on structural and functional attributes of forested streams. *Forest Ecology and Management*, *310*, 147–155.
- Metcalf, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, *60*(1–2), 101–139.
- Monroy, S., Martínez, A., López-Rojo, N., Pérez-Calpe, A. V., Basaguren, A., & Pozo, J. (2017). Structural and functional recovery of macroinvertebrate communities and leaf litter decomposition after a marked drought: Does vegetation type matter? *Science of the Total Environment*, *599–600*, 1241–1250.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., ... Wagner, H. (2017). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-5.
- Qian, S. S., & Cuffney, T. F. (2014). A hierarchical zero-inflated model for species compositional data-from individual taxon responses to community response. *Limnology and Oceanography: Methods*, *12*, 498–506.
- R Development Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Santiago, J., Molinero, J., & Pozo, J. (2011). Impact of timber harvesting on litterfall inputs and benthic coarse particulate organic matter (CPOM) storage in a small stream draining a eucalyptus plantation. *Forest Ecology and Management*, *262*(6), 1146–1156.
- Schäfer, R. B., & Liess, M. (2013). Species at Risk (SPEAR) biomonitoring indicators, 1063–1072.
- Tachet, H., Richoux, Ph., Bournaud, M. & Usseglio-Polatera, P. (2002). *Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie et écologie*. CNRS, Paris.

- Thorp, J. H., Flotemersch, J. E., Delong, M. D., Casper, A. F., Thoms, M. C., Ballantyne, F., ... Haase, C. S. (2014). Linking Ecosystem Services , Rehabilitation , and River Hydrogeomorphology. *BioScience*, 60(1), 67–74.
- Wellemeier, J. C., Perkin, J. S., Fore, J. D., & Boyd, C. (2018). Comparing assembly processes for multimetric indices of biotic integrity. *Ecological Indicators*, 89(February), 590–609.
- Wheeler, B., & Torchiano, M. (2016). ImPerm: Permutation Tests for Linear Models. R package version 2.1.0.

## Eranskinak

### I. Eranskina

2. Taula: Martinez *et al.*, (2013) lanean aztertutako sei erreken [hostogalkorren basoak (D1, D2 eta D3) eta pinudiak (P1, P2 eta P3)] uraren ezaugarri fisiko kimikoak, materia organiko xehea eta materia organiko bentiko larriaren (CPOM) datuak. Tenperaturaren eguneko batez besteko balioak adierazten dira. Emariaren datuak laginketa garaian neurtutakoak dira (2009ko azaroa – 2010eko apirila). Laginketa eremu guztiak oligotrofikotzat kontsideratu daitezke Dodds *et al.*, (1998) lanean egindako sailkapenaren arabera (uraren nitrogeno eta fosforo kantitatea).

	D1	D2	D3	P1	P2	P3
Water temperature (°C)	8.03 (3.20-14.20)	7.24 (2.80-12.10)	7.66 (3.60-12.40)	8.34 (4.20-11.10)	7.81 (3.80-13.30)	8.49 (4.10-13.50)
Flow (l s <sup>-1</sup> )	72.7 ± 15.5	46.1 ± 10.4	98.2 ± 32.6	23.6 ± 4.4	20.3 ± 7.5	75.6 ± 25.1
SRP (µg P l <sup>-1</sup> )	14.4 ± 1.2	16.9 ± 1.3	15.8 ± 0.8	14.0 ± 0.8	15.7 ± 0.9	14.6 ± 1.5
NO3 (µg N l <sup>-1</sup> )	600.1 ± 59.2	33.1 ± 6.8	35.3 ± 8.3	596.1 ± 57.8	282.0 ± 33.9	257.4 ± 48.4
NO2 (µg N l <sup>-1</sup> )	1.1 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1	1.2 ± 0.5	0.8 ± 0.1	0.9 ± 0.1
NH4 (µg N l <sup>-1</sup> )	34.0 ± 5.4	34.1 ± 7.7	32.9 ± 5.7	28.5 ± 4.3	36.8 ± 5.1	35.4 ± 5.3
pH	7.10 ± 0.12	7.45 ± 0.13	7.58 ± 0.08	6.97 ± 0.11	7.18 ± 0.13	7.15 ± 0.09
Alkalinity (meq l <sup>-1</sup> )	0.43 ± 0.04	1.23 ± 0.09	0.69 ± 0.10	0.22 ± 0.04	0.53 ± 0.06	0.40 ± 0.07
Conductivity (µg S cm <sup>-1</sup> )	134.0 ± 7.7	171.2 ± 7.3	120.4 ± 10.2	76.8 ± 3.0	156.0 ± 9.7	111.7 ± 7.3
% O <sub>2</sub> Saturation	103.5 ± 4.2	99.9 ± 3.9	107.2 ± 2.4	101.2 ± 0.9	95.3 ± 2.6	98.1 ± 2.8
FPIM (mg l <sup>-1</sup> )	1.22 ± 0.38	0.92 ± 0.21	1.35 ± 0.38	3.80 ± 2.41	4.12 ± 0.89	2.10 ± 0.34
FPOM (mg l <sup>-1</sup> )	1.21 ± 0.15	0.51 ± 0.13	0.50 ± 0.14	1.30 ± 0.52	1.18 ± 0.15	1.13 ± 0.2
CPOM (mg m <sup>-2</sup> )	151.58 ± 94.52	28.73 ± 8.14	25.40 ± 9.81	44.91 ± 15.3	28.40 ± 9.04	49.00 ± 9.84



3. Taulara: Larranaga *et al.* (2009) lanean aztertutako hamar erreken [hosto galkorren basoak (R1, R2, R3, R4 eta R5) eta eukaliptadiak (E1, E2, E3, E4 eta E5)] uraren ezaugarri fisikokimikoak. Taulan aldagaien batez besteko balioak adierazten dira eta parentesi artean balio tartearak. Substratuaren kategoriak: B = Boulder (> 256 mm), C = Cobble (64–256 mm), P = Pebble (16–64 mm) and G = Gravel (2–16 mm). Arroan aurkitzen diren espezie aloktonoen artean, *Pinus radiata* landaketak barneratzen dira, baina eukalipto landaketekin konparatuta presentzia baliogabea da. \*Muturreko balioa, beste eukalipto eremuen erdia gutxi gorabehera.

	1R	2R	3R	4R	5R	1E	2E	3E	4E	5E
Width (m)	5.1	4.4	3.7	2.7	1.9	6.2	2.8	3.8	2.7	2.3
Catchment area (Km <sup>2</sup> )	4.1	1.9	1.3	1.8	1.8	5.7	0.8	3.6	1.3	1.3
Substrate (B, V, P, G %)	75, 10, 10, 5	60, 10, 30, 0	40, 10, 25, 15	20, 25, 30, 20	15, 35, 20, 30	60, 30, 10, 0	65, 15, 10, 5	45, 40, 10, 5	15, 30, 40, 10	35, 45, 15, 5
Temperature (°C)	9.8 (7.1–12.2)	11 (8.8–13.7)	9.4 (6.1–12.6)	9.2 (6.4–12.3)	9.7 (6.6–13.8)	10 (7.1–12.2)	11.2 (8.4–14.2)	11.5 (8.0–18.7)	10.3 (7.5–12.7)	10.7 (6.8–15.3)
pH	7.2 (6.6–7.6)	6.4 (5.8–7.1)	7.5 (7.1–8.5)	7 (6.7–7.6)	6.8 (6.4–7.3)	7.2 (6.9–7.5)	6.1 (5.6–6.5)	6.6 (6.2–7.1)	7.1 (6.4–7.4)	7.1 (6.2–7.4)
Conductivity (µS/cm)	84.5 (54.0–113.4)	67.6 (53.3–86.5)	141.2 (93.0–203.0)	93.3 (71.0–113.5)	73.8 (52.0–99.9)	82.8 (54.0–115.5)	67 (53.2–82.5)	96.2 (56.7–228.0)	214.2 (151.0–298.0)	119.8 (74.0–202.0)
Oxygen (%)	105.4 (95–123)	100 (96–107)	99 (95–104)	98.1 (94–105)	98.6 (92–104)	105.3 (98–120)	98.7 (95–105)	98.5 (95–103)	99.8 (97–106)	101.2 (98–104)
Alkalinity (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	25.1 (15.0–34.5)	8 (1.5–10.5)	47.6 (21.0–67.5)	13.8 (9.0–17.0)	11.6 (6.0–15.0)	22.8 (10.0–30.0)	6 (4.0–8.0)	21.8 (9.0–85.0)	37.4 (11.0–45.5)	21.4 (15.0–29.5)
DIN (µS N/l)	505.6 (247.6–696.1)	1609 (1213.4–2135.4)	1169.3 (1007.2–1424.0)	962.7 (691.1–1155.4)	271.2 (188.3–464.3)	480.3 (290.0–695.2)	509.1 (228.0–707.1)	609.8 (165.3–790.3)	828.5 (224.2–1342.0)	753 (281.3–1099.0)
SRP (µS P/l)	9.4 (1.8–22.7)	6.2 (0.0–26.8)	3.4 (0.0–17.7)	6.6 (0.0–18.4)	5.6 (0.0–14.6)	8.6 (0.0–49.5)	9.7 (0.0–41.4)	8.5 (0.0–39.5)	7.5 (0.0–25.1)	8.1 (1.5–19)
Eucalypt in the reach (%)	0	0	0	0	0	50	75	80	80	50
Non-native in the basin (%)	31	17	15	9	1	33*	69	74	65	63

II. Eranskina

4. Taula: lan honetan erabilitako indize biotiko guztien laburdurak eta azalpenak; taxoi indizeak (orokorrak, %, taxoi kopuru eta ugaritasunak), estrategia trofikoaren indizeak eta kutsadura indizeak.

<b>Taldea</b>	<b>Laburdura</b>	<b>Indizeen azalpena</b>
Tax. Orokor.	Abundance	Ugaritasuna [ind/m <sup>2</sup> ]
	Numtaxa	Taxoi kopurua
	Bbtax	Bataz besteko taxoi kopurua
	Ntaxa	Taxoi kopurua (BMWP indizea)
	NumSTax	Zenbatutako taxoi kopurua
	Mintax	Zenbatutako taxoi kopuru minimoa
	NumFam	Familia kopurua
	NumGen	Genero kopurua
	Ugarit/tot	Ugaritasuna/taxoi totala [%]
Taldea tax. [%]	Turbellaria [%]	Turbellaria [%]
	Nematoda [%]	Nematoda [%]
	Nematomorpha [%]	Nematomorpha [%]
	Gastropoda [%]	Gastropoda [%]
	Bivalvia [%]	Bivalvia [%]
	Oligochaeta [%]	Oligochaeta [%]
	Hirudinea [%]	Hirudinea [%]
	Crustacea [%]	Crustacea [%]
	Ephemeroptera [%]	Ephemeroptera [%]
	Odota [%]	Odonata [%]
	Plecoptera [%]	Plecoptera [%]
	Heteroptera [%]	Heteroptera [%]
	Trichoptera [%]	Trichoptera [%]
	Coleoptera [%]	Coleoptera [%]
	Diptera [%]	Diptera [%]
	EPTTax	Efemeroptero/Plekoptero/Trikoptero-Taxoiak [%]
	EP	Efemeroptero-Plekoptero [%]
EPind/Totind	Efemeroptero-Plekoptero indibiduo/Indibiduo totala [%]	
EPT	Efemeroptero/Plekoptero/Trikoptero [%] (Ugaritasuna)	
Taldea tax. (NT)	Turbellaria	Turbellaria (taxoi kopurua)
	Nematoda	Nematoda (taxoi kopurua)
	Nematomorpha	Nematomorpha (taxoi kopurua)
	Gastropoda	Gastropoda (taxoi kopurua)
	Bivalvia	Bivalvia (taxoi kopurua)
	Oligochaeta	Oligochaeta (taxoi kopurua)
	Hirudinea	Hirudinea (taxoi kopurua)
	Crustacea	Crustacea (taxoi kopurua)
	Ephemeroptera	Ephemeroptera (taxoi kopurua)
	Odota	Odonata (taxoi kopurua)
	Plecoptera	Plecoptera (taxoi kopurua)
	Heteroptera	Heteroptera (taxoi kopurua)
	Trichoptera	Trichoptera (taxoi kopurua)
	Coleoptera	Coleoptera (taxoi kopurua)
	Diptera	Diptera (taxoi kopurua)
	EPTTax2	Efemeroptero/Plekoptero/Trikoptero-Taxoiak (taxoi kopurua)
	EPTD	Efemeroptero-Plekoptero-Trikoptero-Diptera (taxoi kopurua)
	EPT/Diptera	Efemeroptero-Plekoptero-Trikoptero/ Diptera (taxoi kopurua)
	OD/Tottaxa	Oligoketo-Diptero/Taxoi kopuru totala
	Eptax	Efemeroptero/Plekoptero -Taxoiak (taxoi kopurua)
EPTCBO	Efemeroptero/Plekoptero/Trikoptero/Coleoptero/Bibalbio/Odonatu	

Talde tax. (U)	Turb	Turbellaria (ugaritasun)
	Nem	Nematoda (ugaritasun)
	Nemat	Nematomorpha (ugaritasun)
	Gast	Gastropoda (ugaritasun)
	Biva	Bivalvia (ugaritasun)
	Olig	Oligochaeta (ugaritasun)
	Hiru	Hirudinea (ugaritasun)
	Crus	Crustacea (ugaritasun)
	Ephe	Ephemeroptera (ugaritasun)
	Odo	Odonata (ugaritasun)
	Plec	Plecoptera (ugaritasun)
	Hete	Heteroptera (ugaritasun)
	Tric	Trichoptera (ugaritasun)
	Coleo	Coleoptera (ugaritasun)
	Dipt	Diptera (ugaritasun)
E. trofikoak	Stone-dwelling	Harriekin etxeak eraikitzen dituzten taxoiak
	GrazScrap	Herbiboro eta marruskatzaileak [%]
	Miners	Zulatzaileak [%]
	Xylophagous	Xilofagoak [%]
	Shredders	Zatitzaileak [%]
	Gatherers/Collectors	Biltzaileak [%]
	ActFilter	Iragazle aktiboak [%]
	PassFilter	Iragazle pasiboak [%]
	Predators	Predatzaileak [%]
	Parasites	Parasitoak [%]
	OtherFeed	Bestelako estrategia trofikoak [%]
	Feedrat1	Herbiboro + Marruskatzaile/ Biltzaileak+Iragazleak [%]
	Feedrat2	Xilofagoak+Zatitzaileak+Irag. Aktiboak+Irag. Pasiboak [%]
	Shredderstax	Zatitzaileak (scored taxa = 100%) [%]
	Gatherers/Collectors	Biltzaileak (scored taxa = 100%) [%]
Filter	Iragazle aktibo/pasiboak (taxoi guztiak)	
RETI	Rithron Feeding Type Index	
Kutsadura ind.	BMWP	Biological Monitoring Working Party
	IBE	Índice Biológico de Exposición
	QC	Kalitate maila (IBE indizea)
	SU	Unitate sistematikoak (IBE indizea)
	IBEaqem	Índice Biológico de Exposición (Aqem)
	QC	Kalitate maila (IBE Aqem)
	MAS	Bildutako efemeropteroen batz-bestekoa
	IC	Klase osoa
	OU	Unitate eragileak
	MTS	Bildutako efemeropteroen kopuru totala
	AcidInd	Azidotasun indizea
	rdomin	r estrategiaren dominantzia
	r/K	r/K estrategien erlazioa
	LifeInd	Bizi indizea
	AWIC	Acid Water Indicator Community
	Hololimnic [%]	Organismo hololimnikoak [%]
	SPEARpest	Species At Risk pestizidak
	SPEARorg	Species At Risk organikoa
	SPEAR	Species At Risk [%]
	Simpson	Simpsonen dibertsitate indizea
	Shannon	Shannon-Wiener dibertsitate indizea
	Margalef	Margalef dibertsitate indizea
	Evenness	Berdintasun indizea