

# Larre atlantiarretako landareen sustraien atributuak (*traits*): lurzoruko ur-edukiaren eta mikrobiotaren eragina

(Root traits of Atlantic grassland plants: influence of soil water content and microbiota)

Izaro Zelaia\*, Arantza Aldezabal

Landareen Biologia eta Ekologia Saila, UPV/EHU, Leioa (Bizkaia)

**LABURPENA:** Etorkizuneko lehorteak intentsitatean eta iraupenean emendatzea espero da, prezipitazioen murrizpenaren eta tenperaturen igoeraren ondorioz. Horrek galera handiak ekar ditzake mundu osoko laborantzen ekoizpen eta produktibitatean. Horregatik, premiazkoa da landare-espezieek lehortearen aurrean duten erantzuna ikertzea. Esperimentu honetan larre atlantiarreko sei landare-espezieren lehortearen aurreko erantzuna aztertu da, mikroorganismoen presentzian eta ausentzian, sustraien atributu (*traits*) morfologikoei erreparaturik. Horretarako, zorizko blokeakako partzela zatituan oinarritutako diseinua jarri zen abian kontrolpeko ezaugarriaren negutegian, non 5 bloketako landareak ur-edukiaren %30eko mailan mantendu ziren (lehorte irudikatzeko) eta beste 5 bloketakoak, aldiz, %70ekoan (egoera normala simulatzeko). Horretaz gain, bloke bakoitzean loreontzi banatan jarri ziren espezie bereko bi ale, bati mikroorganismoen inokulua gehituta eta besteari ez. Esperimentuaren hipotesi nagusietako bat izan da lehorte-estresaren aurrean landareek lurzoruko baliabideak (ura, mantengaiak...) kontserbatzeko edo eskuratzeko estrategiak gara ditzaketela, sustrai-atributuak aldatzearen bidez. Bigarren hipotesia, berriz, izan da elkarren mendekoa direla lurzoruko ur-edukia eta mikroorganismoen efektua zein erantzuna. Emaitzek adierazitakoaren arabera, esperimentu honetan ez dira hipotesiak bete. Alde batetik, lurzoruko ur-eduki murriztuaren eragina sustrai-atributuen eta espezieen mendekoa izan da, eta horiek kontuan hartuta, landareek jarraitu duten estrategia identifikatu da: *Festuca nigrescens*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens* eta *Jasione laevis* espezieek, hazkunde azkarreko estrategia, eta *Deschampsia flexuosa* eta *Bellis perennis*-ek, hazkunde geldokoa. Beste aldetik, lurzoruko ur-eskuragarritasun murriztuak ez du eraginik izan mikroorganismoen aktibitatean. Horretaz gainera, aztertu egin da positiboa edo negatiboa izan den landare-espezie bakoitzeko mikroorganismoen edukituen efektua. Horregatik guztiagatik, ondorioztatu da %30eko ur-edukia ez dela nahikoa izan lehorte-estresa simulatzeko.

**HITZ GAKOAK:** lehorte-egoera, mikroorganismoak, sustrai-biomasa, sustrai-diametroa, sustrai-ehunen dentsitatea, sustrai-luzera espezifikoak, zati aereo/sustrai erlazioa.

**ABSTRACT:** In the future, drought is expected to increase in intensity and duration due to the reduced precipitation and high temperatures, leading to significant losses in crop production and its productivity worldwide. Research on the drought response of plants is therefore urgently needed. This experiment has analysed the response to drought of six plant species of Atlantic grasslands, in the presence and absence of microorganisms, based on the root morphological traits. A design has been based on a split-plot design by randomised blocks in a greenhouse under controlled conditions, where the plants in 5 blocks were maintained at a capacity of 30% of their water content (simulating drought) and those in the other 5 blocks at 70% (simulating normal conditions). Two pots of the same species were placed in each block, adding the inoculum of the microorganisms only to one of them. As the main hypothesis, plants under drought stress would be able to develop strategies for conservation or acquisition of soil resources (such as water or nutrients) by modifying root traits. The second hypothesis stated that soil water content and the effect and response of micro-organisms would be interdependent. The results indicate that neither hypothesis was fulfilled. On the one hand, the effect of reduced soil water content was dependent of root traits and species, and the strategy followed by each species was identified: *Festuca nigrescens*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium repens* and *Jasione laevis* followed a fast-growing strategy and *Deschampsia flexuosa* and *Bellis perennis* followed a slow-growing strategy. Moreover, reduced soil water availability did not affect the activity of the microorganisms, but it has been analysed whether the effect of those microorganisms has been positive or negative. In conclusion, the water content of 30% was insufficient to simulate drought.

**KEYWORDS:** drought conditions, microorganisms, root biomass, root diameter, root tissue density, shoot/root ratio, specific root length.

\* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Izaro Zelaia. Landareen Biologia eta Ekologia Saila, UPV/EHU, Sarriena Auzoa, z/g (48940 Leioa-Bizkaia). – izarozk@gmail.com – https://orcid.org/0000-0003-1129-7543

**Nola aipatu / How to cite:** Zelaia, Izaro; Aldezabal, Arantza (2024). «Larre atlantiarretako landareen sustraien atributuak (*traits*): lurzoruko ur-edukiaren eta mikrobiotaren eragina». *Ekaia*, 45, 2024, 345-364. (https://doi.org/10.1387/ekaia.24497).

Jasotze-data: 2023, otsailak 16; Onartze-data: 2023, maiatzak 30.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2024 UPV/EHU



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

## 1. SARRERA

Azken urteotan, klima-aldaketak arreta piztu du gizartean. Mundu osoan, lehortepean dagoen lur-azalera handitu egin da 1970etik [1] eta etorkizunean lehorteak are gehiago emendatzea espero da [2]. Lehorte-aldi horiek landareen hazkundera eta garapena mugatuko dituzte, tenperaturaren igoeren eta prezipitazioen murrizpenen ondorioz lurzoruko ur-edukia era larrian murriztuko baita.

Larreek lur-azaleraren ia %40 betetzen dutelarik [3], esperimentu honean larre atlantiarreko sei landare-espeziek lehortearen aurrean duten erantzuna aztertu da, mikroorganismoen presentzian eta presentziarik gabe, sustraiaren *traits* edo atributu morfologikoei erreparatu. Izan ere, ainguratzear gain, sustraiaren funtzio nagusia da lurzorutik xurgatzea landareen hazkundera mugatzen duten mantenugaiak eta ura [4]. Ondorioz, lehenengo organoak dira estres mota asko hautematen [5].

Sustraiak inguratzen dituen lurzoruari **errizosfera** deritzo, eta bere baitan hartzen ditu lurzorua funtzionamenduari asoziatuta dauden prozesu guztiak. Materia organikoz, sustrai biziez, bizitza askeko mikroorganismoaz eta mikroorganismo sinbiotikoz osatuta dago [6]. Ura eta mantenugaiak errizosferatik mugitzen dira sustraiaren gainazal xurgatzaileara heldu arte, eta gero bertatik landarearen zati aereora garraiatzen dira zurtoinetik, xilemaren bidez [7, 8]. Lurzoru bakoitzeko ur-edukiaren maila normaletan, zabalik egoten dira landareen hostoetako estomak, eta ondorioz, altua izaten da transpirazioa edo hostoan zeharreko ur-galera. Horrek ura eta mantenugaiak lurzoruan eta landarean zehar azkar mugitzea eragiten du [9]. Lehorte-estrespean ordea, lurzoruko ur-edukia murriztearen ondorioz, landareak ezin du berreskuratu transpirazioz galtzen duen ur guztia. Ondorioz, landareek itxi egiten dituzte estomak, azido abszisikoa ekoiztearen bidez [7, 9, 10]. Horri esker, transpirazioa ekiditen da, eta moteldu egiten da uraren eta mantenugaien fluxua lurzorutik sustraiaren gainazal xurgatzaileara [11]. Horretaz gain, karbono dioxidoaren sarrera ere oztopatzen da [12], eta murriztu egiten dira fotosintesi-tasa eta ondoriozko landarearen hazkunde-tasa [13].

Halaber, lurzoruko ur-edukia murrizten den heinean, igo egiten da lurzoruko gazitasun maila. Izan ere, gero eta gehiago kontzentratzen dira lurzoruko gatzak. Horrek lurzoruko ur-potentzialaren murrizpena dakar, eta ura beti ur-potentzial negatiboagorantz mugitzen denez, geroz eta zailagoa izango da ura sartzea sustraietara, lurzoruko ur-potentziala sustraiaren ur-potentziala baino negatiboagoa bihurtu daitekeelako [11, 14]. Horren ondorioz, landarearen hazkundera murrizten da [15, 16], uraren sarrera murriztuak fotosintesi-tasa murriztea eragiten baitu. Gainera, gatzak landarera sartuz gero, kaltetu egin daitezke hostoak [16].

Azkenik, aipatzekoa da estres oxidatzailea ere emendatu egiten dela bai ureta bai gazitasun-estreseko egoeretan, hau da, oxigenoen konposatu erreaktiboak sortzen direla, eta ondorioz, zelulen mintzak kaltetu egiten direla. Horrek are gehiago zailtzen du uraren eta mantenugaiaren xurgapena [9], eta ondorioz, baita landarearen hazkundera ere.

Lurzoruan dauden **bitza askeko mikroorganismo**ei dagokienez, alde batetik, lurzoruan efektu positiboa izan dezakete lehorte-estresaren aurrean. Izan ere, polisakarido extrazelularrak, glikokonjugatuak eta bes-telako proteinak ekoizten dituzte, lurzoruko uraren atxikipenean eta mantenugaiaren garraioan laguntzen duten osagaiak [17]. Horrela, lurzoruko hezetasuna mantentzen laguntzen dute eta lehortearen eragin kaltegarria arintzen dute. Beste aldetik, ur-hornidura murriztean murriztu egiten da mikroorganismoen aktibitatea ere [7]. Ondorioz, astiroago gertatzen da mikroorganismoen bidez gertatzen den materia organikoaren deskonposizioa [18]. Deskonposizio horri esker, mantenugaiak askatzen dira lurzorura, landareen xurgapenerako [12].

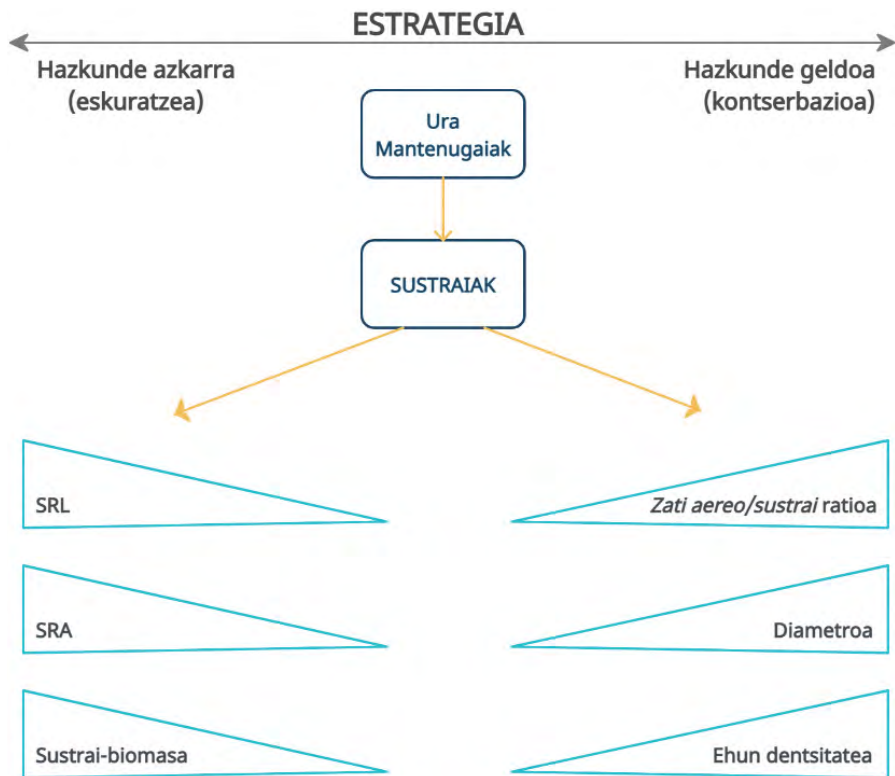
**Sustrai traits-a** edo **atributua** deritzo indibiduo mailan neurgarria den sustrai-sistemako edozein ezaugarri edo atributu morfologiko, fisiologiko edo fenologikori [19]. Esperimentu honetan *traits* morfologikoak aztertuta dira. Horien artean daude sustraien batez besteko diametroa (AvgD, mm-tan), luzera espezifikoa (SRL;  $m \cdot g^{-1}$ -etan) edo sustrai-biomasaren unitate batek ekoiztutako sustraiaren luzera [20], sustrai-ehunen dentsitatea (hau da, biomasa zati bolumena,  $g \cdot cm^{-3}$ -tan, *Density* izenez adierazia), azalera espezifikoa (SRA;  $cm^2 \cdot g^{-1}$ -etan) edo sustrai-azalera biomasaren unitate batekiko [21], eta biomasa edo materia lehorra (rootB, g-tan), zeinek landarearen biomasa totala (totalB, g-tan) eta zati aereo/sustrai erlazioa (SRratio; unitaterik gabea) kalkulatu daitezkeen. Azken hori landareak sustraiari eta zati aereoari esleitzen dien biomasaren kantitatea ezagutzeko erabiltzen da [22].

Lehorte-estresari aurre egiteko, landareek lurrazpiko **bi estrategia** gara ditzakete *traits* horietaz baliatuz, mantenugaiaren eta uraren eskuragarritasun faltari erantzun ahal izateko [23]: lurzoruko baliabideak eskuratzea (hazkunde azkarreko landareek) eta landareko baliabideak kontserbatzea (hazkunde geldoko landareek) (1. irudia).

Hazkunde azkarreko landareetan, sustraien luzera espezifiko eta azalera espezifiko emendatu egiten dira estrespean, mantenugaiak eta ura esploratzeko eta azkar xurgatzeko [9, 5, 18, 24]. Horregatik, sustraien biomasa emendatzeak lagundu egiten die [5, 9] eta *zati aereo/sustrai* erlazio baxua erakusten dute [22, 25]. Diametroa luzera espezifikoarekin erlazionatuta dagoelarik, behera egiten du batez besteko diametroak sustraien luzera espezifiko emendatu ahala [21, 26, 27]. Horretaz gain, sustraiak ehun-dentsitate baxuak erakusten dituzte. Izan ere, karbono gutxi inberti-

tzen dute bizi-iraupen luzeko elementuetan [5, 28]. Estrategia horren bitartez, landareak gai dira lurzorua bolumen handiagoa modu eraginkorrean esploratzeko, ur eta mantengaien erreserben bila [26].

Hazkunde geldoko landareek, aldiz, sustraien luzera eta azalera espezifikoa murrizten dituzte lehorte-estresak gora egin ahala. Izan ere, ur gabeziaren ondorioz zelulek galdu egiten dute hanpadura, eta orduan inhibititu egiten da zelularen luzapena [5, 9, 29]. Horrek sustraien biomasa ere murrizten du [9, 10, 28, 29]. Ondorioz, *zati aereo/sustrai* erlazio altua erakusten dute. Kasu honetan, sustrai-luzera espezifikoa murrizten denez, gora egiten du sustraien batez besteko diametroak [5, 29, 30, 31]. Horretaz gain, hazkunde geldoko landareek ehun-dentsitate altua erakusten dute sustraietan, bizi-iraupen luzearekin erlazionatzen den ezaugarria [27, 28, 29, 32]. Horretarako, karbono kantitate handia inbertitzen dute ehunetan [26]. Baliabi-deak kontserbatzeko estrategia honi esker, mantengaiak eta ura metatzeko ahalmena garatzen dute landareek [31].



**1. irudia.** Lehorte-estresaren aurrean sustraiak gara ditzaketen estratagiak eta bakoitzaren ezaugarriak. SRL: luzera espezifikoa; SRA: azalera espezifikoa.

## 2. HIPOTESIAK

1. Lurzoruko ur-edukiaren mailak eragin adierazgarria dauka landareen sustraien *traits*-etan. Hau da, desberdintasun adierazgarria aurkituko da ur-eskuragarritasun normaleko egoeran hazi diren eta lehorte-estrespean hazi diren landareen sustraien *traits* morfologikoen artean. Gauzak horrela, lehortepeko landareek 2 estrategiatako bat garatuko dute: baliabideak eskuratzea ala kontserbatzea.
2. Elkarren menpekoak dira lurzoruko ur-edukiaren eta mikroorganismoen efektua zein erantzuna.
3. Mikroorganismoek lurzoruko hezetasuna mantentzen laguntzen dute. Ondorioz, lehortearen eragin gutxiago pairatuko dute mikroorganismoekin inokulatutako loreontzietako indibiduoek.
4. Lurzoruko mikroorganismoek aktibitate altuagoa izango dute ur-eskuragarritasunaren egoera egokietan hazitako loreontzietan. Hala-koetan, handiagoa izango da materia organikoaren deskonposizioa, eta ondorioz, lurzorura mantenugai kopuru handiagoa askatuko da. Hortaz, mikroorganismoen eragin onuragarri txikiagoa jasoko dute lehorte-estrespean hazitako landareek.

## 3. PROZEDURA ESPERIMENTALA

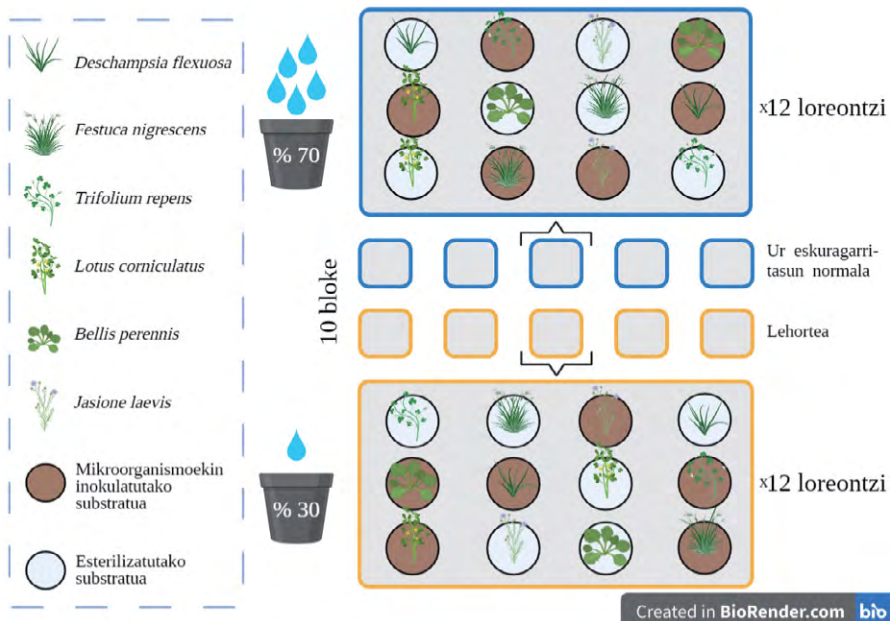
Esperimentu honetarako aukeratutako 6 landare-espezieak Eskualde Kantauriarreko mendietako larre-belardi atlantiarren espezie egituratzailak eta arruntak dira. Izan ere, estaldura altua betetzen dute eta larre tipikoen forma funtzionalen ordezkariak dira [33]. Gure esperimentuan erabilitako espezieak hauek izan ziren: *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin., *Festuca nigrescens* Lam. subsp. *microphylla* (St-Yves) Markgr.-Dannenb., *Lotus corniculatus* L., *Trifolium repens* L., *Bellis perennis* L. eta *Jasione laevis* Lam. subsp. *laevis*.

Hazi-bilketa Aralar mendilerroan egin zen, *in situ*, Errenagan (Gipuzkoa), Igaratzako itxitura esperimentalean, 2020ko abuztuaren 14an. Ondoren, bertan bildu ziren landare-espezie bakoitzetik sortutako haziak aire-giroan lehortu eta garbitu ziren Euskal Herriko Unibertsitateko Leioako Campuseko botanika-laborategian.

Lehenengo eta behin, hazi horien bideragarritasuna egiaztatu zen Tetrazolium testaren bidez [34]: landare-espezie bakoitzaren haziak hozitzeko zuten ahalmena ezagutzeko, aztertu egin zen hazi barneko enbrioia arnasten ote zuen. Gauzak horrela, bideragarritasun baxua erakutsi zuten hazi-tatik ale gehiago landatu ziren gerora, hozidura ziurtatzeko eta esperimentuaren arrakasta bermatzeko.

Ondoren, abian jarri zen zorizko blokekako partzela zatitua (**split-plot randomized block design**) oinarri duen diseinua ezaugarri kontrolatuak dituen negutegian, zeinean gau/eguneko ziklo bat erabili zen. Hau da, gauze 17 °C-ko temperatura egonkorrean mantendu zen negutegia, eta egunez, berriz, 24 °C-ko temperaturan, argi gehigarriarekin batera. Bestalde, negutegian % 60ko hezetasun erlatibo konstantea mantendu zen esperimentu guztian zehar. Ingurunearen ezaugarri horiek optimoak izan ziren landareen hazkunderako.

Esperimenturako, 10 bloke erabili ziren, bakoitza 12 loreontziz osatuta. Guztira, beraz, 120 loreontziz osatutako esperimenterua bideratu zen. Diseinu mota horri dagokion bezala, bi tratamendu erabili ziren. Lehenengo tratamendua blokeen artekoa izan zen. 5 bloke lehorte-egoeran (ur-edukia %30) mantendu ziren, eta beste 5ak, berriz, egoera arruntean (ur-edukia %70), hau da, ur-eskuragarritasun egokiarekin. Bloke horietako bakoitzaren barnean ezarri zen bigarren tratamendua; hau da, mikroorganismoen presentzia. Gauzak horrela, bloke bakoitzeko 12 loreontzietan espezie esperimental bakoitzaren indibiduo bat landatu zen, bloke bakoitzean espezie bereko 2 indibiduo landatuta. Bi indibiduo horietatik, batek mikroorganismoen inokulua jaso zuen eta besteak ez. Hortaz, mikroorganismoen inokulua bloke bakoitzeko 6 loreontzik jaso zuten, hau da, guztira 60 loreontzik (2. irudia).



2. irudia. Split-plot diseinuaren antolaketa eta loreontzien banaketa negutegian.

Loreontziek, **lurzoru experimental** gisa, 2:1 proportzioan hareaz eta substratu unibertsalez osatutako nahastea izan zuten, zeinetan substratu unibertsalak mantenugeaz hornitzen zuten nahastea, eta hareak aireztapena eta sustraiak garbitzeko erraztasuna eskaintzen zuten. Lurzoruaren analisisiek haren ezaugarri fisiko-kimikoak ezagutzeko aukera eman ziguten, eta, honako hauek izan ziren parametro bakoitzaren batez besteko balioak: N nitrikoa ( $\text{NO}_3^-$ ) 29,4 mg/L; P 18,1 mg/L; K 84,1 mg/L; Mg 80,5 mg/L; C/N 33,1; MO %2,1; N <%0,05; Ca 625,3 mg/L; Na 24,6 mg/L. Lurzoru experimental hori autoklabe bidez esterilizatu zen, aurretiaz izan zitzakeen mikroorganismoak ezabatzeko. Helburu bererako, haziak lixibarekin esterilizatu ziren landatu aurretik (%35eko proportzioan).

Bestalde, landareak loreontzietan erein aurretik, **loreontziaren ur-edukia** kalkulatu zen; hau da, zenbateko ur-kantitatea behar duen loreontziko lurzoruak urez %100 saturatuta egoteko [35]. Gure esperimentuan, lehorteko egoera simulatzeko, loreontziak ur-edukiaren %30an mantendu ziren esperimentu osoan zehar. Egoera arruntak simulatzeko, aldiz, %70ean eduki ziren; hau da, urez guttiz asetu gabe, arnasteko aukera ere izan zezaten.

Behin material guztia prest edukita, esperimentua abian jartzeko, hazitokietan erein ziren 120 haziak lehendabizi, eta 22 egunetan hozitu ziren landaretxo esperimentalak. 22 egun horietan zehar, landaretxoak hazi eta garatu ziren, eta garapen maila hori (hots, hasierako biomasa kopurua) kontuan hartzeko asmoz, aldagai destruktiboa izanik, neurtu egin ziren T0 egunean (hau da, landaretxo esperimentalak loreontzietan transplantatzeko egunean) hazitokietan aldi berean hazitako baina loreontzietara transplantatuko ez ziren 10 landaretxo ordezkariak. Zehazki, landaretxo ordezkari horien pisu lehorra neurtu zen. Horretaz gain, esan bezala, egun horretan landaretxo esperimentalak negutegiko loreontzietan transplantatu ziren (otsailaren bigarren astean), eta une horretan hasi zen loreontzietako landareen hazkunde-fasea, bi hilabete luzez (apirilaren bosgarren astera arte) mantendu zena.

Landareak loreontzietan landatu eta aste batera, mikroorganismoak inokulatu ziren zegozkien 60 loreontzietan. **Mikroorganismoen inokuluak** (30 mL) ardi-ustiategi ekologikoa duen baserri bateko larre-belardietako lurzoru laginetatik lortu ziren (lurzoru lagin horiek urarekin nahastuz eta baheetatik iragaziz), larratzearen mende dauden larre-belardietako lurzoruko mikrobiota simulatzeko.

Landareen hazkunde faseko bi hilabete horietan zehar (2021-02-10etik 2021-04-28ra), loreontziak ur desionizatuaz ureztatu ziren astero hiru egunez, bakoitzari zegokion kalkulaturako ur-edukiaren baliora heldu arte, ur-eskuragarritasunaren baldintza esperimentalak mantentzeko.

Apirilaren bostgarren astean esperimentuaren azkenengo laginketari ekin zitzaion. Lehendabizi, landare bakoitzeko sustraiak zati aereotik (hots, zurtoin eta hostoetatik) banandu ziren. Sustrai horiek laborategian garbitu

ondoren, landare bakoitzaren sustrai-sistemaren frakzio bat eskaneatu zen, gerora WinRhizo<sup>®</sup> Pro 2007 *softwarea* erabiliz analizatzeko. Horren bidez, sustraien zenbait *traits* edo atributu kalkulatu ziren eskaneatutako sustrai-frakzioaren biomasa totala erabilia [22]: sustraiaren luzera espezifikoa (*SRL*,  $m \cdot g^{-1}$ -etan), sustraiaren azalera espezifikoa (*SRA*,  $cm^2 \cdot g^{-1}$ -etan), sustrai-ehunen dentsitatea (*Density*,  $g \cdot cm^{-3}$ -tan), eta sustraien batez besteko diametroa (*AvgD*, mm-tan). Eskaneatu ostean, gainera, sustraiak labean sartu ziren (50 °C-an) gutxienez 48 orduz, eta pisu lehorra neurtu zen, zuten biomasa ezagutzeko (*rootB*, g-tan). Horretarako, pisu lehorraren datu horri T0 egunean neurtutako landaretxo ordezkarien sustraien pisu lehorraren datua kendu behar izan zitzaion, soilik jakin nahi zelako esperimenteren 2 hilabeteetan zeharreko tratamenduen eraginpeko hazkundera (landaretxo ordezkarien hazkundera kontuan hartu gabe).

Zati aereoari dagokionez, hostoen gehi zurtoinareen biomasa kantitatea edo pisu lehorra ere pisatu zen (*g*-tan), *zati aereo/sustrai* erlazioaren (*SRratio*; unitaterik gabea) eta landarearen biomasa totalaren (*totalB*, g-tan) datuak ezagutu ahal izateko.

### 3.1. Datuen tratamendua eta analisi estatistikoak

Lehenik eta behin, aldagaien arteko erlazioaren esplorazioa egin zen Pearson korrelazioen bidez, eta korrelazio adierazgarria zuten aldagaiak identifikatzea lortu zen.

Ondoren, lanaren hipotesi nagusiak testatzeko, Eredu Lineal Mistoak (*General Linear Mixed Models*) egin ziren mendeko aldagai (edo erantzun-aldagai,  $Y_i$ ) bakoitzerako: sustraien biomasa (*rootB*), biomasa totala (*TotalB*), *zati aereo/sustrai* erlazioa (*SRratio*), sustraien luzera espezifikoa (*SRL*), sustraien azalera espezifikoa (*SRA*), sustraien batez besteko diametroa (*AvgD*) eta sustrai-ehunen dentsitatea (*Density*). Honako eredia proposatu zen:

$$Y_i = \text{treat1} + \text{treat2} + SP + \text{treat1} \times \text{treat2} + \text{treat1} \times SP + \text{treat2} \times SP + \text{treat1} \times \text{treat2} \times SP + \text{Block}_i + \varepsilon_i,$$

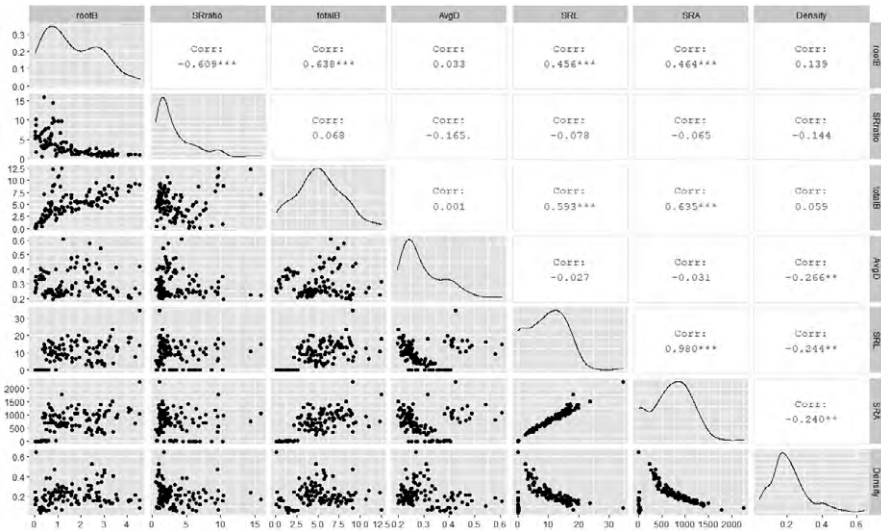
non *treat1* tratamendu nagusia den, hots, ur-edukia (faktore finkoa); *treat2* bloke-barneko tratamendua, hau da, belardiko mikroorganismoen gehipena (faktore finkoa); *SP* espeziea (faktore finkoa);  $\text{Block}_i$  blokeen aldakortasuna (zorizko faktorea), eta  $\varepsilon_i$  errorea (erresidualak, eredia esplikatzea lortu ez duena). Bloke-efektua zorizko faktore gisa aztertu zen, aintzat hartuz eragin bat izan zezakeela (neurri txiki batean ziurrenik) negutegian loreontzi bakoitzak zuen kokapenak. Banaketa normalaren aurrebaldintza betetzen zela ikusi zen eta kontuan hartu zen aldagai esplikatiboen erroreen bariantzaren heterozedastizitatea eredia eraikitzeke orduan, eta espezie bakoitzari zegokion bariantza egokitu zen.



Analisi eta grafiko guztiak R plataforman egin ziren [36].

#### 4. EMAITZAK ETA EZTABAIDA

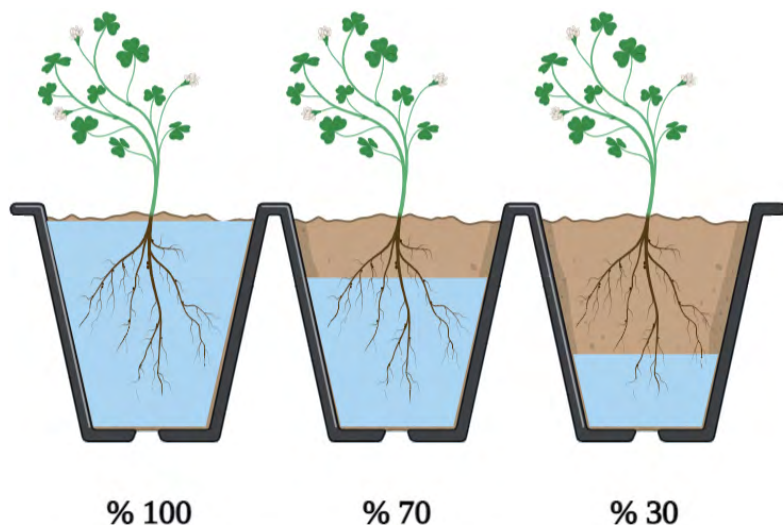
Sustrai *traits*-en arteko korrelazioei dagokienez, espero bezala sustraien luzera espezifikoa (*SRL*) handitzean azalera espezifikoa (*SRA*) ere handitu egin da (3. irudia). Horregatik, hemendik aurrera *SRL*arekin bakarrik lan egitea erabaki da. Horretaz gain, oro har luzera espezifikoa gora egiteak sustraien biomasa totalak (*rootB*) ere gora egitea dakar, eta sustrai-biomasa horrek oro har landarearen biomasa totala (*totalB*) emendatzea eta *zati aereo/sustrai* erlazioa (*SRratio*) murriztea eragiten du [37], korrelazio-testak egiaztatu duen bezala (3. irudia). Bestalde, espero zen, era berean, sustrai-ehunen dentsitateak (*Density*) gora egin ahala luzera espezifikoa (*SRL*) behera egitea. Azkenik, nabarmentzekoa da korrelazio negatibo estuak espero zirela luzera espezifikoa eta batez besteko diametroaren artean, landareek sustraiak luzeran ala zabaleran hazteko estrategia hartzen baitute lehortean aurrean [5, 29, 30, 31]. Hala ere, hori 2 espezieetan soilik ikusi da: *Bellis perennis*-en eta *Deschampsia flexuosa*-n, hain zuzen ere.



**3. irudia.** Sustrai-atributuen arteko Pearsonen korrelazio-koefizienteak, dispersio-diagramak eta histogramak. Atributuak: sustrai-biomasa (*rootB*, g-tan), biomasa totala (*totalB*, g-tan), zati aereo/sustrai erlazioa (*SRratio*, unitaterik ez), sustraien luzera espezifikoa (*SRL*,  $m \cdot g^{-1}$ -etan), sustraien azalera espezifikoa (*SRA*,  $cm^2 \cdot g^{-1}$ -etan), sustraien batez besteko diametroa (*AvgD*, mm-tan), sustrai-ehunen dentsitatea (*Density*,  $g \cdot cm^{-3}$ -tan). Adierazgarritasunak: \*= $0,05$ ; \*\*= $0,01$ ; \*\*\*= $0,001$ .

#### 4.1. Lurzoruko ur-edukiaren eragina sustrai *traits*-etan

Ur-tratamenduei dagokienez, ez da desberdintasun adierazgarririk aurkitu ur-edukien artean sustraien *traits* guztietarako. Hots, *zati aereo/sustrai* erlazioak (*SRratio*) eta sustrai-luzera espezifikoak (*SRL*) ez dute aldaketarik izan landareak %30eko edo %70eko ur-edukian hazi ostean (5. irudia). Izan ere, askotan lehorte-estresa goitik behera gertatzen da, lurzoruko gainazala lehortzen hasten denean [38]. Ondorioz, landareek loreontzien oinarriko ura xurgatzen jarrai dezakete [39] (4. irudia) eta ur-eskasiarekiko erantzuna atzeratu [14]. Dena den, esperimentu honetan lehortea simulatzeko erabilitako ur-edukia %30ekoa izan da antzeko hainbat esperimentutan portzentaje hori erabili izan delako [5, 29, 40].



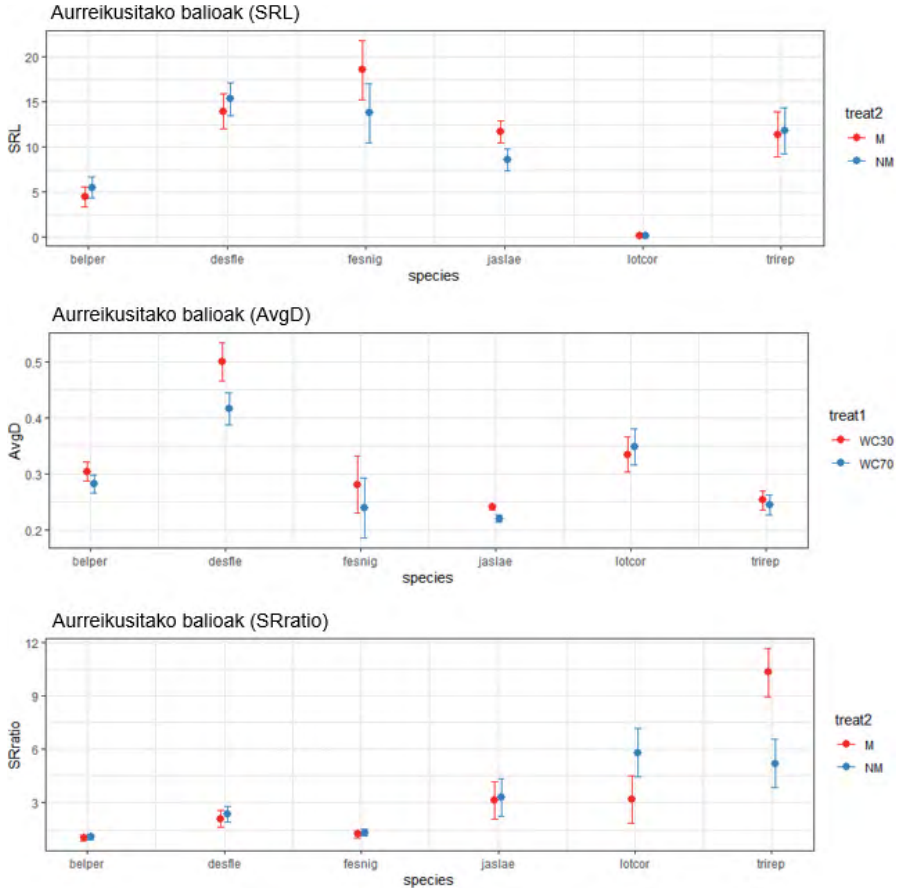
Created in BioRender.com 

**4. irudia.** Goitik beherako lehorte-estresa, non ura lurzoruko goiko geruzetatik lurrunten hasten den.

Aitzitik, *espezie* faktorea adierazgarria izan da eta adierazi du sustrai-atributuen balioak espezieen arabekoak direla, hots, espeziearen identitatea dela sustraien morfologian gehien eragiten duena.

Hala ere, kontuan hartuta urarekiko dependentzia erakutsi duten sustrai-atributu horiek, aztertu egingo dira, segidan, esperimentuan erabilitako espezieek lehortearen aurrean garatu dituzten estrategiak (1. taula). Horretarako ez da kontuan hartuko landarearen biomasa totala, zati aereoaren

biomasak haren balioa alda dezakeelako, biomasa totala zati aereoaren eta sustraien biomasen arteko gehiketa delako [37].



**5. irudia.** Eredu linealen bidez estimaturiko sustraien luzera espezifikoa (*SRL*;  $m \cdot g^{-1}$ -etan), sustraien diametroaren (*AvgD*: mm-tan) eta zati aereo/sustrai erlazioaren (*SRratio*; unitaterik gabea) batezbestekoak eta errore estandarrak. Espezieak (species): *Bellis perennis* (belper), *Deschampsia flexuosa* (desfle), *Festuca nigrescens* (fesnig), *Jasione laevis* (jaslae), *Lotus corniculatus* (lotcor), *Trifolium repens* (trirep). Kolore gorria: mikroorganismoen inokulua jaso dutenak (M); kolore urdina: mikroorganismoen inokulurik jaso ez dutenak (NM). Erdiko grafikoan, kolore gorria: %30eko ur-edukia (WC30); kolore urdina: %70eko ur-edukia.

*Festuca nigrescens* eta *Jasione laevis* espezieek %30eko ur-eskuragarritasunean hazkunde azkarreko landareek jarraitzen duten sustrai-biomasa altua eta sustrai-ehunen dentsitate baxua erakutsi dituzte. Aitzitik,

sustrai-diametro altua erakutsi dute, hazkunde geldoarekin bat datorren ezaugarria. Hortaz, baliabideak eskuratzeko estrategiaren alde egin dutela esan daiteke.

*Deschampsia flexuosa*-ri dagokionez, emaitzetan ikusi da %30eko ur-edukiaren egoeran landareak sustrai-ehunen dentsitate baxuagoa izan duela, hazkunde azkarreko landareen moduan, baina sustrai-diametro altuagoa, hazkunde geldoko landareen ezaugarria. Espezie honen kasu zehatzean, sustraien batez besteko diametroa eta sustrai-luzera espezifikoak korrelazio negatiboan egon direnez, pentsa daiteke sustrai-luzera espezifikoak murriztu egin dela ur-edukiaren %30ean. Beraz, esan dezakegu gramineo hau hazkunde geldokoa dela.

*Lotus corniculatus*-ek hazkunde azkarreko bi ezaugarri (baxuak sustrai-diametroa eta sustrai-ehunen dentsitatea) eta hazkunde geldoko ezaugarri bakarra (sustrai-biomasa baxua) erakutsi ditu ur-eskuragarritasun murriztuan. Beraz, baliabideak eskuratzeko estrategia jarraitu duela esan daiteke.

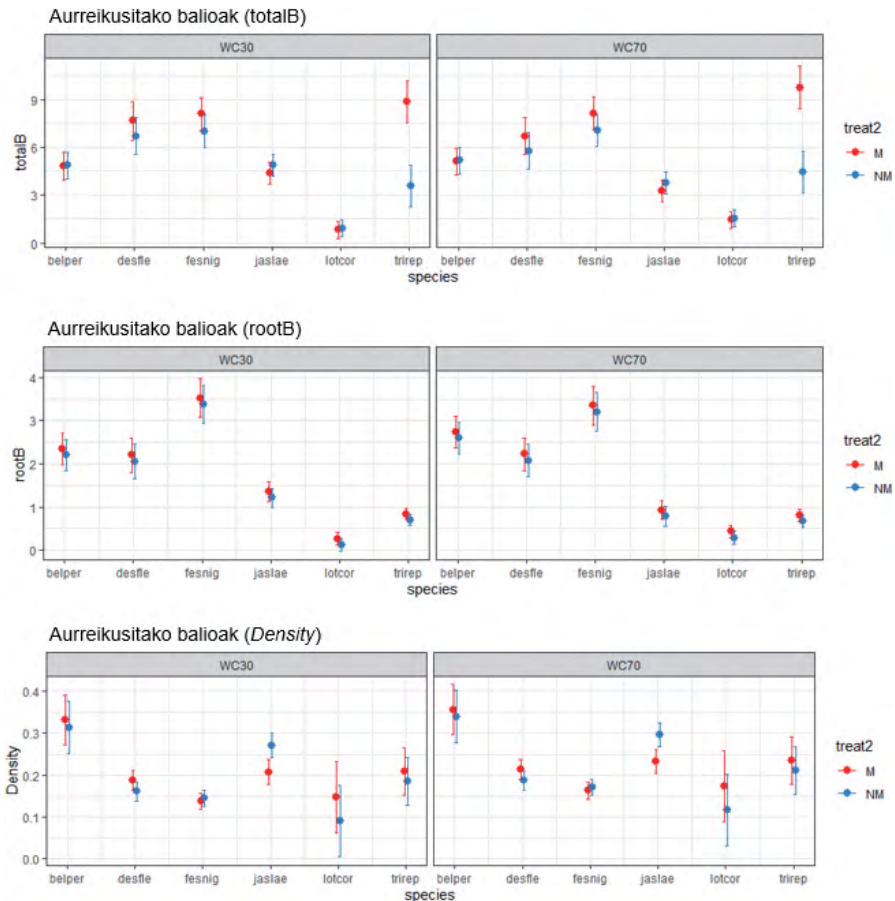
*Trifolium repens* espezieak sustrai-ehunen dentsitate baxua soilik erakutsi du ur-edukiaren %30eko egoeran. Gauzak horrela, hazkunde azkarreko landareen estrategiaren alde egin duela ondoriozta daiteke.

*Bellis perennis*-ek ur-eduki murriztuaren aurrean hazkunde geldoarekin bat datozen sustrai-biomasa baxua eta sustrai-diametro altua erakutsi ditu, baina hazkunde azkarrari dagokion sustrai-ehunen dentsitate baxua. Espezie honetan ere sustraien batez besteko diametroa eta sustrai-luzera espezifikoak korrelazio negatiboan daude, eta horregatik esan daiteke %30eko ur-eskuragarritasunean murriztu egin dela sustrai-luzera espezifikoak. Ondorioz, hazkunde geldoko landare-espezietzat hartu dugu.

#### 4.2. Lurzoruko ur-edukiaren eta mikroorganismoen arteko elkarrekintza

Espero ez bezala, ez da elkarrekintzarik ikusi ur-edukiaren eta mikroorganismoen artean. Izan ere, emaitzetan argi ikusi da mikroorganismoen eragina berdina izan dela ur-edukiaren %30eko nahiz %70eko egoeretan, sustrai-atributu guztietarako (5. eta 6. irudiak). Hori ikusita, onar dezakegu mikroorganismoek %30eko ur-edukia ez dutela lehorte-estres gisa hauteman.

Dena den, aztertu nahi izan da mikroorganismoek oro har eduki duten eragina positiboa (sustraien hazkundera bultzatuz) edo negatiboa (sustraien hazkundera murriztuz) izan ote den landare-espezie bakoitzean, sustrai-atributuen aldatetei erreparatuz mikroorganismoen presentzian eta ausentzian (5. eta 6. irudiak; 1. taula). Oraingoan ere ez da kontuan hartu landarearen biomasa totala, zati aereoaren mende dagoelako.



**6. irudia.** Eredu linealen bidez estimaturiko biomasa totalaren (*totalB*), sustrai-biomasaren (*rootB*) eta sustrai-ehunaren dentsitatea (*Density*), batezbestekoak eta errore estandarrak. Biomusak pisu lehorrean daude (unitatea: g) eta dentsitatea  $g \cdot cm^{-3}$ -tan. Espezieak (species): *Bellis perennis* (belper), *Deschampsia flexuosa* (desfle), *Festuca nigrescens* (fesnig), *Jasione laevis* (jaslae), *Lotus corniculatus* (lotcor), *Trifolium repens* (trirep). Kolore gorria: mikroorganismoen inokulua jaso dutenak (M); kolore urdina: mikroorganismoen inokulurik jaso ez dutenak (NM). WC30: %30eko ur-edukia; WC70: %70eko ur-edukia.

*Festuca nigrescens* espezieak sustraien luzera espezifikoen eta sustrai-biomasaren balio altuagoak lortu ditu mikroorganismoekin inokulatutako loreontzietan. Hortaz, espezie horrek mikroorganismoen efektu positiboa jaso du.

*Deschampsia flexuosa*-k, aldiz, sustrai-ehun dentsitatea eta sustrai-biomasa emendatu ditu mikroorganismoen presentzian, baina luzera espezifi-

koaren balio altuagoak lortu ditu mikroorganismorik gabe. Sustrai-biomasa handitu ahala, *zati aereo/sustrai* erlazioa baxuagoa denez (zati aereoaren biomasa ez aldatzekotan), SRratio baxuagoa izan du mikroorganismoekin. Horrenbestez, mikroorganismoen presentzian sustraien luzera espezifiko murritzu egin den arren, oro har mikroorganismoek efektu positiboa izan dute.

*Lotus corniculatus*-ek sustrai-ehunen dentsitate eta sustrai-biomasa altuagoak erakusten ditu mikroorganismoekin egindako tratamenduan, eta ondorioz, onuragarria izan da haien efektua.

*Trifolium repens* espezieak ere balio altuagoak lortu ditu mikroorganismoen presentzian. Espezie honek sinbiosi-noduluak eratzen ditu *Rhizobium* bakterio nitrogenu-finkatzaileekin. Bakterio horiek atmosferako nitrogenua erreduzitzen dute landarearentzat erabilgarriak diren nitrogenu formetara [41]. Emaitzetan ikusi den bezala, inokulatutako loreontzietako landareek sustrai-ehun dentsitatearen eta sustrai-biomasaren balio altuagoak lortu dituzte, seguruenik nodulazioagatik. Bestalde, mikroorganismoen presentzian sustrai-biomasaren emendioa askoz ere txikiagoa izan denez biomasa totalaren emendioarekin konparatuta, ondorioztatu da zati aereoaren biomasa izan dela gehien emendatu dena, eta horregatik erakutsi duela *zati aereol/sustrai* erlazio altuagoa mikroorganismoen presentzian. Horrek adierazi digu *Trifolium repens* espezieak bereziki duela dependentzia mikroorganismoekin.

*Jasione laevis* espeziearen sustraiek, aldiz, luzera espezifiko eta sustrai-biomasa altuagoa erakutsi dute mikroorganismoen presentzian, baina sustrai-ehun dentsitate baxuagoa. Sustrai-ehunen dentsitate baxua luzera espezifiko emendatzea ahalbidetzeko mekanismoa izan daitekeela aintzat harturik [22], mikroorganismoek eragin positiboa izan dute landare-espezie honetan.

**1. taula.** aztertutako landare-espezie bakoitzak ur-eskuragarritasun murriztuan garatu duen estrategia eta mikroorganismoengandik jaso duen eragina.

Espeziea	Estrategia	Mikroorganismoen eragina
<i>Festuca nigrescens</i>	Hazkunde azkarra	Positiboa
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Hazkunde geldoa	Positiboa oro har
<i>Lotus corniculatus</i>	Hazkunde azkarra	Positiboa
<i>Trifolium repens</i>	Hazkunde azkarra	Positiboa
<i>Jasione laevis</i>	Hazkunde azkarra	Positiboa
<i>Bellis perennis</i>	Hazkunde geldoa	Positiboa oro har

*Bellis perennis*-ek sustrai-biomasa eta sustrai-ehun dentsitate altuagoak erakutsi ditu mikroorganismoekin tratatutako loreontzietan, baina luzera-espezifiko baxuagoa. Hala ere, positiboa izan da, oro har, mikroorganismoen efektua.

Laburbilduz, mikroorganismoek efektu positiboa izan dute espezie guztietan, lurzoruko materia organikoa deskonposatzean mantentzeko asmatzen dituztelako lurzorura, landareek asimila ditzaketen formetan [42]. Hala ere, kasu jakin batzuetan ez da efektu onuragarri hori ikusi *traits* guztietan. Izan ere, lurzoruko bizitza askeko mikroorganismoek landare-hormonak ere ekoiztu ditzakete, hala nola, estomen itxieran laguntzen duen azido abszisikoa [17].

## 5. ONDORIOAK

Lehenik eta behin, esperimentu honetan ez da desberdintasun adierazgarriarik aurkitu ur-tratamenduen artean sustrai *traits* guztietarako. Hala ere, desberdintasuna erakutsi duten sustrai-atributuak aztertuta, ikusi da landare-espezie bakoitzak estrategia bat garatu duela lehorte-estresaren aurrean.

Horrez gain, ez da elkarrekintzarik aurkitu ur-tratamenduen eta mikroorganismoen jardueraren artean, baina haien presentziak eragin adierazgarria izan du espezie bakoitzaren sustrai-atributuetan.

Hurrengo esperimentuei begira, proposatzen da lehorte bortitzagoa eragitea. Alde batetik, %10-20ko ur-eskuragarritasuna ezarri lehorte egoerak simulatzeko, eta beste alde batetik, ureztatu gabe egun gehiago igaroz. Gainera, naturan lurzoruko ur-defizita sor dadin, euria ez egiteaz gain, bata bestearen atzetik jarraian suertatu behar dira tenperatura eta irradiazio altuko egunak. Ondorioz, gure proposamena da hurrengo esperimentuetan negutegian simulatzea naturan gertatzen diren hezetasun erlatiboaren murrizpena eta tenperaturen igoera.

Horretaz gain, etorkizunera begira interesgarria litzateke lurzoru esperimentaleko mikroorganismoen metagenomika egitea, inokulatutako mikroorganismoen presentzia egiaztatzeko eta haien komunitateak deskribatzeko.

## ESKER ONAK

Eskerrak eman nahi genizkioke esperimentu hau aurrera ateratzen lagundu digun pertsona orori. Espreski, gure eskerrik beroenak Leire Aiarzaguena, Asier Urruzola eta June Izari esperimentu osoan zehar emandako

laguntzagarik, eta Iñaki Odriozolari analisi estatistikoetan emandako gidaritzagarik. Halaber, Landare-Fisiologiako laborategiko kideak eskertu nahi ditugu, bereziki Usue Perez eta Jon Miranda, emandako erraztasun eta laguntza guztiagarik, bai eta Teresa Gimeno eta Javier Porrás BC3-ko ikerlariari, emandako aholku eta laguntzagarik sustraien eskanerraren arazoak gainditu ahal izateko. Esperimentu hau posible izan da Eusko Jaurlaritzak gure Ikerketa-Taldeari emandako diru-laguntzari esker (IT1022-16 eta IT1682-22).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] GUNTIÑAS, M. E. (2009). *Influencia de la temperatura y de la humedad en la dinámica de la materia orgánica de los suelos de Galicia y su relación con el cambio climático*. Doktoretza-tesia. Universidad de Santiago de Compostela & Instituto de investigaciones agrobiológicas de Galicia. Galizia, Espainia.
- [2] KØRUP, K., LÆRKE, P. E., & BAADSGAARD, H., ANDERSEN, M. N., KRISTENSEN, K., MÜNNICH, C., DIDION, T., JENSEN, E. S., MÅRTENSSON, L.-M. & JØRGENSEN, U. (2018). Biomass production and water use efficiency in perennial grasses during and after drought stress. *Global change biology bioenergy*, **10**: 12-27. DOI: 10.1111/gcbb.12464.
- [3] LECAIN, D. R., MORGAN, J. A., SCHUMAN, G. E., REEDER, J. D., & HART, R. H. (2002). Carbon exchange and species composition of grazed pastures and exclosures in the shortgrass steppe of Colorado. *Agriculture, ecosystems & environment*, **93**: 421-435. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00290-0.
- [4] BARDGETT, R. D., MOMMER, L., & DE VRIES, F. T. (2014). Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes. *Trends in ecology & evolution*, **29**: 692-699. DOI: 10.1016/j.tree.2014.10.006.
- [5] LOZANO, Y. M., AGUILAR-TRIGUEROS, C. A., FLAIG, I. C., & RILLIG, M. C. (2020). Root trait responses to drought are more heterogeneous than leaf trait responses. *Functional ecology*, **34**: 2224-2235. DOI: 10.1111/1365-2435.13656.
- [6] LAVELLE, P. & SPAIN, A. V. (2001). Functioning of the soil system. *Soil ecology* (pp. 357-529). Lehenengo edizioa. Kluwer Academic Publishers. DOI: 10.1007/0-306-48162-6.
- [7] CIRÍACO DA SILVA, E., NOGUEIRA, R. J., ALMEIDA DA SILVA, M. & ALBUQUERQUE, M. (2011). Drought stress and plant nutrition. *Plant stress*, **5**: 32-41.
- [8] EZIZ, A., YAN, Z., TIAN, D., HAN, W., TANG, Z. & FANG, J. (2017). Drought effect on plant biomass allocation: a meta-analysis. *Ecology and evolution*, **7**: 11002-11010. DOI: 10.1002/ece3.3630.
- [9] ROUPHAEL, Y., CARDARELLI, M., SCHWARZ, D., FRANKEN, P. & COLLA, G. (2012). Effects of drought on nutrient uptake and assimilation in vegetable



- crops. In: Aroca, R (editorea). *Plant responses to drought stress*. Springer (pp. 171-195). Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-32653-0\_7.
- [10] AHANGER, M. A., MORAD-TALAB, N., ABD-ALLAH, E. F., AHMAD, P. & HAJIBOLAND, R. (2016). Plant growth under drought stress: Significance of mineral nutrients. In: Ahmad, P (editorea). *Water stress and crop plants: a sustainable approach* (pp. 649-668). Lehenengo edizioa. John Wiley & Sons, Ltd. DOI: 10.1002/9781119054450.ch37.
- [11] HU, Y., BURUCS, Z., VON TUCHER, S. & SCHMIDHALTER, U. (2007). Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environmental and experimental botany*, **60**: 268-275. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2006.11.003.
- [12] HOFER, D., SUTER, M., BUCHMANN, N., & LÜSCHER, A. (2017). Nitrogen status of functionally different forage species explains resistance to severe drought and post-drought overcompensation. *Agriculture, ecosystems and environment*, **236**: 312-322. DOI: 10.1016/j.agee.2016.11.022.
- [13] GUENNI, O., MARÍN, D. & BARUCH, Z. (2002). Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and soil*, **243**: 229-241. DOI: 10.1023/A:1019956719475.
- [14] RAZZAGHI, F., AHMADI, S. H., ADOLF, V. I., JENSEN, C. R., JACOBSEN, S.-E. & ANDERSEN, M. N. (2011). Water relations and transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity and soil drying. *Journal of agronomy and crop science*, **197**: 348-360. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2011.00473.x.
- [15] MUNNS, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant cell and environment*, **25**: 239-250. DOI: 10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x.
- [16] MUNNS, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist*, **167**: 645-663. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x.
- [17] ULRICH, D. E., SEVANTO, S., RYAN, M., ALBRIGHT, M. B., JOHANSEN, R. B. & DUNBAR, J. M. (2019). Plant-microbe interactions before drought influence plant physiological responses to subsequent severe drought. *Scientific reports*, **9**: 249. DOI: 10.1038/s41598-018-36971-3.
- [18] FRESCHET, G. T., VALVERDE-BARRANTES, O. J., TUCKER, C. M., CRAINE, J. M., MCCORMACK, M. L., VIOLLE, C., ... ROUMET, C. (2017). Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. *Journal of ecology*, **105**: 1182-1196. DOI: 10.1111/1365-2745.12769.
- [19] VIOLLE, C., NAVAS, M.-L., VILE, D., KAZAKOU, E., FORTUNEL, C., HUMMEL, I. & GARNIER, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, **116**: 882-892. DOI: 10.1111/j.2007.0030-1299.15559.x.
- [20] BIROUSTE, M., KAZAKOU, E., BLANCHARD, A. & ROUMET, C. (2012). Plant traits and decomposition: are the relationships for roots comparable to those for leaves? *Annals of botany*, **109**: 463-472. DOI: 10.1093/aob/mcr297.

- [21] HAJEK, P., HERTEL, D. & LEUSCHNER, C. (2013). Intraspecific variation in root and leaf traits and leaf-root trait linkages in eight aspen demes (*Populus tremula* and *P. tremuloides*). *Frontiers in plant science*, **4**: 415. DOI: 10.3389/fpls.2013.00415.
- [22] PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., DÍAZ, S., GARNIER, E., LAVOREL, S., POORTER, H., JAUREGUIBERRY, P., ... CORNELISSEN, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian journal of botany*, **61**: 167-234. DOI: 10.1071/BT12225.
- [23] LAMBERS, H., RAVEN, J. A., SHAVER, G. R., & SMITH, S. E. (2008). Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in ecology & evolution*, **23**: 95-103. DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.008.
- [24] SIMPSON, K. J., BENNETT, C., ATKINSON, R. R. L., MOCKFORD, E. J., MCKENZIE, S., FRECKLETON, R. P., THOMPSON, K., REES, M. & OSBORNE, C. P. (2020). C<sub>4</sub> photosynthesis and the economic spectra of leaf and root traits independently influence growth rates in grasses. *Journal of ecology*, **108**: 1899-1909. DOI: 10.1111/1365-2745.13412.
- [25] CRAINE, J. M., FROEHLE, J., TILMAN, D. G., WEDIN, D. A. & CHAPIN III, F.S. (2001). The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos*, **93**: 274-285. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2001.930210.x.
- [26] FORT, F., CRUZ, P., CATRICE, O., DELBRUT, A., LUZARRETA, M., STROIA, C. & JOUANY, C. (2015). Root functional trait syndromes and plasticity drive the ability of grassland *Fabaceae* to tolerate water and phosphorus shortage. *Environmental and experimental botany*, **110**: 62-72. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.09.007.
- [27] ZHOU, M., BAI, W., ZHANG, Y. & ZHANG, W.-H. (2018). Multi-dimensional patterns of variation in root traits among coexisting herbaceous species in temperate steppes. *Journal of ecology*, **106**: 2320-2331. DOI: 10.1111/1365-2745.12977.
- [28] CHIEPPA, J., NIELSEN, U. N., TISSUE, D. T. & POWER, S. A. (2019). Drought and phosphorus affect productivity of a mesic grassland via shifts in root traits of dominant species. *Plant soil*, **444**: 457-473. DOI: 10.1007/s11104-019-04290-9.
- [29] DE VRIES, F. T., BROWN, C. & STEVENS, C. J. (2016). Grassland species root response to drought: consequences for soil carbon and nitrogen availability. *Plant soil*, **409**: 297-312. DOI: 10.1007/s11104-016-2964-4.
- [30] POIRIER, V., ROUMET, C. & MUNSON, A. D. (2018). The root of the matter: Linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil biology and biochemistry*, **120**: 246-259. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.02.016.
- [31] FORT, F. & FRESCHET, G. T. (2020). Plant ecological indicator values as predictors of fine-root trait variations. *Journal of ecology*, **108**: 1565-1577. DOI: 10.1111/1365-2745.13368.

- [32] MOMMER, L., KIRKEGAARD, J. & VAN RUIJVEN, J. (2016). Root–Root Interactions: Towards a rhizosphere framework. *Trends in plant science*, **21**: 209-217. DOI: 10.1016/j.tplants.2016.01.009.
- [33] ODRIOZOLA, I., GARCÍA-BAQUERO, G., ETXEBERRIA, A. & ALDEZABAL, A. (2017). Patterns of species relatedness created by competitive exclusion depend on species niche differences: evidence from Iberian Atlantic grasslands. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, **28**: 36-46. DOI: 10.1016/j.ppees.2017.07.002.
- [34] AKAGI, S., ATKINS, B., BASKIN, C., EBENER, B., FERRY, A., GILL, M., GOGGI, S., GUTORMSON, T., HALL, J., HECKERT, P., HUBER, K., HURD, K., JOHNSON, G., LANHAM, B., MILLER, A., MILHOUS, M., PETERS, J., SHAW, N., STEPHENSON, M. ... VIVRETTE, N. (2000). Tetrazolium Testing Handbook. In: J. Peters, Ed. *Handbook on Seed Testing*. Association of Official Seed Analysts, Mexiko Berria. USA.
- [35] MIRANDA-APODACA, J. (2015). *Respuesta fisiológica de especies pratenses en monocultivo y competencia mixta frente al elevado CO<sub>2</sub> y la sequía derivados del cambio climático*. Doktoretza-tesia. UPV-EHU, Leioa.
- [36] R CORE TEAM (2017) R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org/>.
- [37] WANG, Y., MENG, B., ZHONG, S., WANG, D., MA, J. & SUN, W. (2018). Aboveground biomass and root/shoot ratio regulated drought susceptibility of ecosystem carbon exchange in a meadow steppe. *Plant soil*, **432**: 259-272. DOI: 10.1007/s11104-018-3790-7.
- [38] JANCZAREK, M., RACHWAŁ, K., MARZEC, A., GRZĄDZIEL, J. & PALUSIŃSKA-SZYSZ, M. (2015). Signal molecules and cell-surface components involved in early stages of the legume-rhizobium interactions. *Applied soil ecology*, **85**: 94-113. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.08.010.
- [39] JACKSON, L. E., BURGER, M. & CAVAGNARO, T. R. (2008). Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services. *Annual review of plant biology*, **59**: 341-363. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092932.
- [40] MATHEW, I., SHIMELIS, H., MWADZINGENI, L., ZENGENI, R., MUTEMA, M. & CHAPLOT, V. (2018). Variance components and heritability of traits related to root: shoot biomass allocation and drought tolerance in wheat. *Euphytica*, **214**: 225. DOI: 10.1007/s10681-018-2302-4.
- [41] SKINNER, R. H. & COMAS, L. H. (2010). Root distribution of temperate forage species subjected to water and nitrogen stress. *Crop science*, **50**: 2178-2185. DOI: 10.2135/cropsci2009.08.0461.
- [42] TURNER, N. C. (2019). Imposing and maintaining soil water deficits in drought studies in pots. *Plant soil*, **439**: 45-55. DOI: 10.1007/s11104-018-3893-1.

## ERANSKINA

**2. taula.** *Eredu Lineal Mistoen (GLMM) emaitza estatistikoak mendeko aldagai bakoitzerako (tratamenduek eragina izan duten kasuetan), non treat1 tratamendu nagusia den, hots, ur-edukia, treat2 bloke-barneko tratamendua, hau da, belar-diko mikroorganismoen gehipena, eta SP espeziea. AG = askatasun-graduak; AG-izend. = izendatzailearen askatasun-graduak.*

Mendeko aldagaiak	Faktore finkoak	AG	AG-izend.	F-balioa	p-balioa
Sustraien biomasa ( <i>rootB</i> )	<i>treat2</i>	1	98	5,98	0,016
	<i>SP</i>	5	98	127,23	<0,0001
	<i>treat1xSP</i>	5	98	2,68	0,026
Zati aereo/sustrai erlazioa ( <i>SRratio</i> )	<i>SP</i>	5	98	57,21	<0,0001
	<i>treat2xSP</i>	5	98	7,11	<0,0001
Biomasa totala ( <i>totalB</i> )	<i>SP</i>	5	93	114,08	<0,0001
	<i>treat1xSP</i>	5	93	2,98	0,015
	<i>treat2xSP</i>	5	93	10,15	<0,0001
Batez besteko diametroa ( <i>AvgD</i> )	<i>treat1</i>	1	8	24,02	0,0012
	<i>SP</i>	5	94	105,68	<0,0001
	<i>treat1xSP</i>	5	94	2,34	0,048
Sustrai luzera espezifikoa ( <i>SRL</i> )	<i>SP</i>	5	95	281,23	<0,0001
	<i>treat2xSP</i>	5	95	3,80	0,0035
Sustrai-ehunen dentsitatea ( <i>Density</i> )	<i>treat1</i>	1	8	6,999	0,0295
	<i>SP</i>	5	94	29,57	<0,0001
	<i>treat2xSP</i>	5	94	3,58	0,005