

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* eta Arantza Aldezabal

Landareen Biologia eta Ekologia Saila, UPV/EHU, Sarriena Auzoa z/g, 48940 Leioa (Bizkaia)

LABURPENA:

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

1

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

Nola aipatu / How to cite: Zelaia, Izaro; Aldezabal, Arantza (2023). Larre atlantiarretako landareen sustraien atributuak (*traits*): lurzoruko ur-edukiaren eta mikrobiotaren eragina, Ekaia, 45, xx-xx. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.24497>)

Jasoa: otsailak 16, 2023; Onartua: maiatzak 30, 2023

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © 2023 UPV/EHU



Obra Creative Commons Atribución 4.0 Internacional-en lizentziapean dago

HITZ GAKOAK: lehorte-baldintzak, mikroorganismoak, sustrai-biomasa, sustrai-diametroa, sustrai-ehunen dentsitatea, sustrai-luzera espezifikoa, 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 can under drought stress develop strategies for conservation or acquisition of soil resources (such as water or nutrients) by modifying root traits. The second hypothesis is that soil water content and the effect and response of micro-organisms are interdependent. The results indicate that both hypotheses were not 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 specie was identified: Festuca nigrescens, Lotus corniculatus, Trifolium repens and Jasione laevis fast growing strategy and Deschampsia flexuosa and Bellis perennis 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 that 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.

1. SARRERA

Azken urteotan, klima-aldaketak arreta piztu du gizartean. Globalki, 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 % 40a betetzen dutelarik [3], esperimendu honetan larre atlantiarreko sei landare-espeziek lehortearen aurrean duten erantzuna aztertu da, mikroorganismoen presentzia eta presentziarik gabe, sustraien *traits* edo atributu morfologikoei erreparatuz. Izan ere, ainguratzeaz gain, sustraien funtzio nagusia lurzorutik landareen hazkundera mugatzen duten mantenugaien eta uraren xurgapena da [4]. Ondorioz, estres mota asko hautematen lehenengo organoak dira [5].

Sustraiak inguratzen dituen lurzoruari **errizosfera** deritzo, eta lurzorua funtzionamenduari asoziatuta dauden prozesu guztiak hartzen ditu bere baitan. Materia organikoz, sustrai biziez, bizitza askeko mikroorganismoak eta mikroorganismo sinbiotikoz osatuta dago [6]. Ura eta mantenugaiak errizosferatik mugitzen dira sustraien gainazal xurgatzailerara heldu arte, eta gero bertatik landarearen zati aereora garraiatzen dira zurtoinetik, xilemaren bidez [7, 8]. Lurzoru bakoitzeko ur-edukiaren baldintza normaletan, landareen hostoetako estomak zabalik egoten dira, eta ondorioz, transpirazioa edo hostoan zeharreko ur-galera altua izaten da. 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 estomak itxi egiten dituzte, azido abszisikoa ekoiztearen bidez [7, 9, 10]. Horri esker, transpirazioa ekiditen da, eta uraren eta mantenugaien fluxua moteltzen da lurzorutik sustraiaren gainazal xurgatzailerara [11]. Horretaz gain, karbono dioxidoaren sarrera ere oztopatzen da [12], eta fotosintesi-tasa eta ondoriozko landarearen hazkunde-tasa murriztu egiten dira [13].

Halaber, lurzoruko ur-edukia murrizten den heinean, lurzoruko gazitasun-maila igotzen da. Izan ere, lurzoruko gatzak gero eta gehiago kontzentratzen dira. Horrek lurzoruko ur-potentzialaren murrizpena dakar, eta ura beti ur-potentzial negatiboagorantz mugitzen denez, geroz eta zailagoa izango da uraren sarrera sustraietara, lurzoruko ur-potentziala sustraien 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, hostoak kaltetu daitezke [16].

Azkenik, aipatzekoa da bai ur- eta bai gazitasun-estresen baldintzapean estres oxidatzailea ere emendatu egiten dela, hau da, oxigenoen konposatu errektiboak 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 **bizitza askeko mikroorganismoak** dagokienez, alde batetik, lurzoruan efektu positiboa izan dezakete lehorte-estresaren aurrean. Izan ere, polisakarido extrazelularrak, glikokonjugatuak eta bestelako proteinak ekoizten dituzte, lurzoruko uraren atxikipenean eta mantenugaiaren garraioan laguntzen dutenak [17]. Horrela, lurzoruko hezetasuna mantentzen laguntzen dute eta lehortearen eragin kaltegarria arintzen dute. Beste aldetik, ur-hornidura murritzean mikroorganismoen aktibitatea murriztu egiten da [7]. Ondorioz, mikroorganismoen bidez gertatzen den materia organikoaren deskonposizioa astiroago gertatzen da [18]. Deskonposizio horri esker, mantenugaiak askatzen dira lurzorura, landareen xurgapenerako [12].

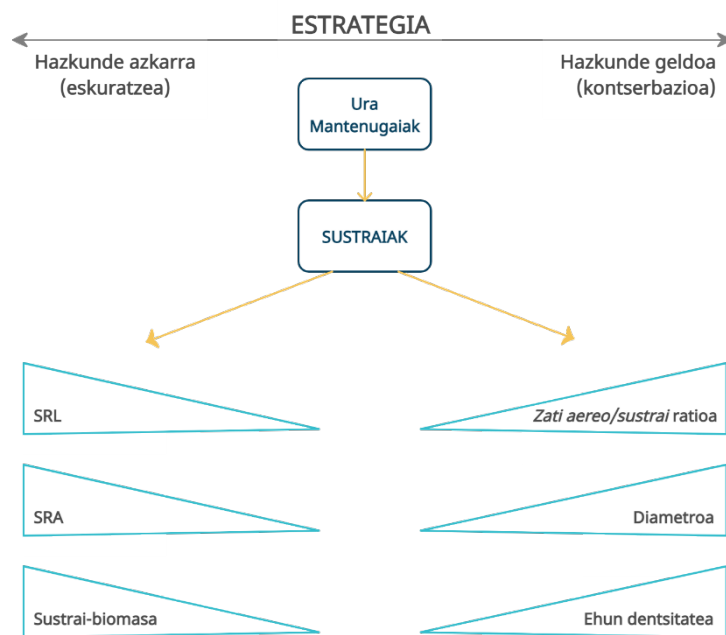
Sustrai traits-a edo **atributua** indibiduo mailan neurgarria den sustrai-sistemako edozein ezaugarri edo atributu morfologiko, fisiologiko edo fenologikori deritzo [19]. Esperimentu honetan *traits* morfologikoak aztertu dira. Horien artean daude sustraiaren batez besteko diametroa (AvgD, mm-tan), luzera espezifikoa (SRL; $m \cdot g^{-1}$ -tan) edo sustrai biomasaren unitate batek ekoiztutako sustraiaren luzera [20], sustrai-ehunen dentsitatea (hau da, biomasa zati bolumena, $g \cdot cm^{-3}$ -tan, *Density* izenaz adierazia), azalera espezifikoa (SRA; $cm^2 \cdot g^{-1}$ -tan) edo sustrai-azalera biomasaren unitate batekiko [21], eta biomasa edo materia lehorra (rootB, g-tan), zeinekin landarearen biomasa totala (totalB, g-tan) eta zati aereo/sustrai erlazioa (SRratio; unitaterik gabea) kalkula daitezkeen. Azken hori landareak sustraiei 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, sustraiaren luzera espezifikoa eta azalera espezifikoa emendatu egiten dira estrespean, mantenugaiaren eta uraren esploraziorako eta horiek azkar xurgatzeko [9, 5, 18, 24]. Horregatik, sustraiaren biomasa emendatzeak lagundu egiten die [5, 9] eta *zati aereo/sustrai* erlazio baxua aurkezten dute [22, 25]. Diametroa luzera espezifikoarekin erlazionatuta dagoelarik, sustraiaren

luzera espezifikoa emendatu ahala batez besteko diametroak behera egiten du [21, 26, 27]. Horretaz gain, sustraiak ehun dentsitate baxuak aurkezten dituzte. Izan ere, bizi-iraupen luzeko elementuetan karbono gutxi inbertitzen dute [5, 28]. Estrategia horrek landareei lurzorua bolumen handiagoa modu eraginkorrean esploratzea ahalbidetzen die, ur eta mantengaiaren 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 hanpadura galdu egiten dute, eta ondorioz, luzapen zelularra inhibitzen da [5, 9, 29]. Horrek sustraien biomasa ere murrizten du [9, 10, 28, 29]. Ondorioz, *zati aereo/sustrai* erlazio altua aurkezten dute. Kasu honetan, sustrai-luzera espezifikoa murrizten denez, sustraien batez besteko diametroak gora egiten du [5, 29, 30, 31]. Horretaz gain, hazkunde geldoko landareek ehun dentsitate altua aurkezten dute sustraietan, bizi-iraupen luzearekin erlazionatzen dena [27, 28, 29, 32]. Horretarako, ehunetan karbono kantitate handia inbertitzen dute [26]. Baliabideak kontserbatzeko estrategia honi esker, mantengaiak eta ura metatzeko ahalmena garatzen dute landareek [31].



1. irudia: Lehortestresaren aurrean sustraiak gara ditzaketen estrategiak eta bakoitzaren ezaugarriak. SRL: luzera espezifikoa; SRA: azalera espezifikoa.

2. HIPOTESIAK

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

3. PROZEDURA ESPERIMENTALA

Esperimentu honetarako aukeratutako 6 landare-espezieak Eskualde Kantauriarreko mendietako larre-belardi atlantiarren espezie egituratzaileak 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*.

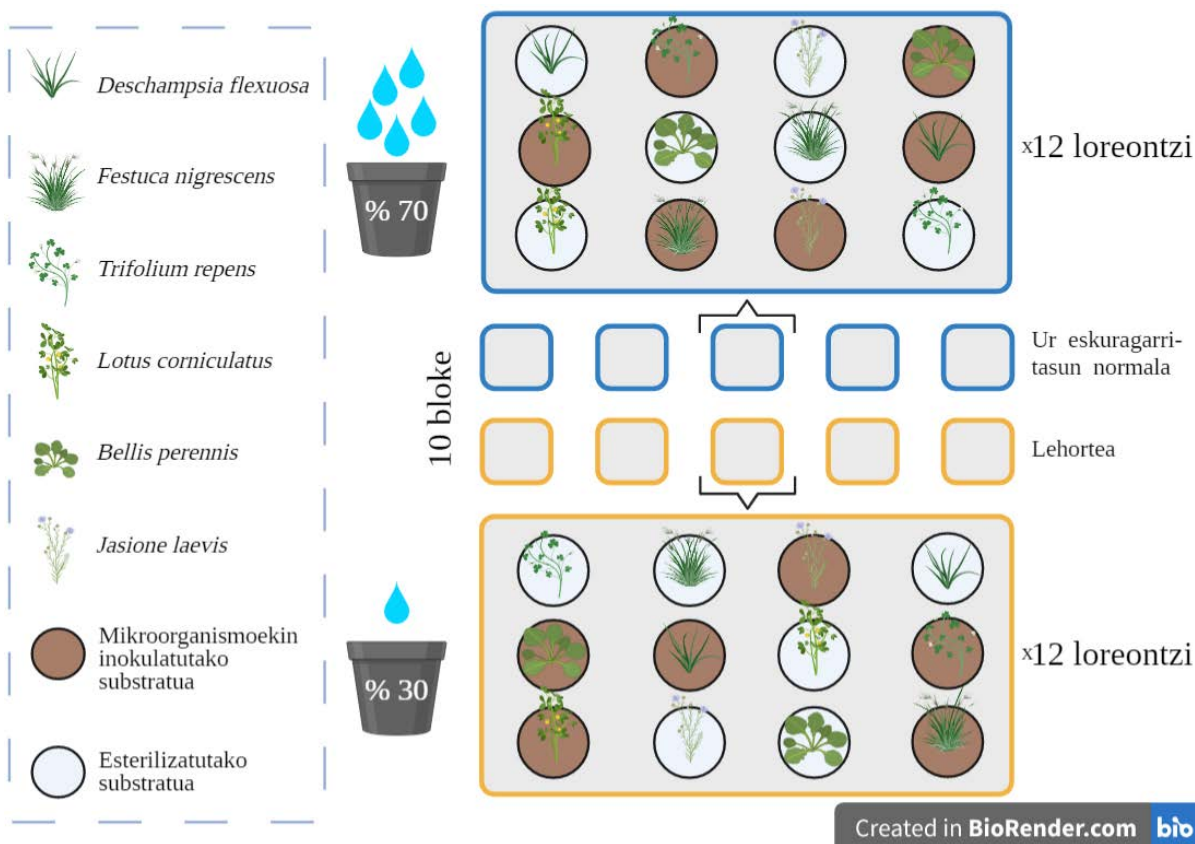
Hazi-bilketa Aralar mendilerroan egin zen, *in situ*, Errenagan (Gipuzkoa), Igaratzako itxitura esperimentalean, 2020ko abuztuaren 14an. Ondoren, bertan bildutako landare-espezie bakoitzetik haziak aire-giroan lehortu eta garbitu egin ziren Euskal Herriko Unibertsitateko Leioako Campuseko botanika-laborategian.

Lehenengo eta behin, hazi horien bideragarritasuna egiaztatu zen Tetrazolium testaren bidez [34], landare-espezie bakoitzaren haziak hozitzeko zuten ahalmena ezagutzeko, hazi barneko enbrioia

arnasten zuen aztertuz. Gauzak horrela, bideragarritasun baxua aurkeztu zuten hazietatik ale gehiago landatu ziren gerora, hozidura ziurtatzeko eta esperimentuaren arrakasta bermatzeko.

Ondoren, zorizko blokekako partzela zatituan (**split-plot randomized block design**) datzan diseinua martxan jarri zen baldintza kontrolatuak dituen negutegian, zeinean gau/eguneko ziklo bat erabili zen. Hau da, gauez 17 °C-eko tenperatura egonkorrean mantendu zen negutegia, eta egunez, berriz, 24 °C-ko tenperaturan, argi gehigarriarekin batera. Bestalde, negutegian % 60ko hezetasun erlatibo konstantea mantendu zen esperimentu guztian zehar. Ingurune-baldintza horiek optimoak izan ziren landareen hazkunderako.

Esperimenturako, 10 bloke erabili ziren, bakoitza 12 loreontziz osatuta. Guztira, beraz, 120 loreontziz osatutako esperimentera bideratu zen. Diseinu mota horri dagokion bezala, bi tratamendu erabili ziren. Lehenengo tratamendua blokeen artekoa izan zen. 5 bloke lehorte-baldintzetan (ur-educia %30) mantendu ziren, eta beste 5ak, berriz, baldintza arruntetan (ur-educia %70), hau da, ur-eskuragarritasun egokiarekin. Bloke horietako bakoitzaren barnean bigarren tratamendua ezarri zen, hau da, mikroorganismoen presentzia. Gauzak horrela, bloke bakoitzeko 12 loreontzietan espezie esperimentera bakoitzaren indibiduo bat landatu zen, bloke bakoitzean espezie bereko 2 indibiduo landatu zirelarik. 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 2:1 proportzioan hareaz eta substratu unibertsalez osatutako nahastea izan zuten **lurzoru esperimental** gisa, zeinetan substratu unibertsalak nahastea mantenugaiez hornitzen zuen eta hareak aireztapena eta sustraiak garbitzeko erraztasuna eskaintzen zuen. Haren analiseiek bere baldintza fisiko-kimikoak ezagutzeko aukera eman zigun, parametro bakoitzaren batez besteko balioak hauek izanik: N nitrikoa (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 esperimental hori autoklabe bidez esterilizatu zen, aurretiaz izan zitzakeen mikroorganismoak ezabatzeko. Helburu berdinarekin, haziak landatu aurretik lixibarekin (% 35eko proportzioan) esterilizatu ziren.

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

Behin material guztia prest edukita, esperimentua abian jartzeko lehendabizi 120 haziak hazitokietan erein ziren, 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, hazitokietan aldi berean hazitako baina loreontzietara transplantatuko ez ziren 10 landaretxo ordezkarien neurketak egin ziren T0 egunean (hau da, landaretxo esperimentalak loreontzietan transplantatzeko egunean). 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, 2 hilabete luzez (apirilaren bostgarren astra 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 menpe 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. Laborategian sustrai horiek garbitu ondoren, landare bakoitzaren sustrai-sistemaren frakzio bat eskaneatu zen, gerora WinRhizo[®] Pro 2007 *softwarea* erabiliz analizatzeko. Horren bidez, sustraiaren zenbait *traits* edo atributu kalkulatu ziren eskaneaturako sustrai-frakzioaren biomasa totala erabilita [22]: sustraiaren luzera espezifikoa (SRL, $m \cdot g^{-1}$ -tan), sustraiaren azalera espezifikoa (SRA, $cm^2 \cdot g^{-1}$ -tan), sustrai-ehunen dentsitatea (*Density*, $g \cdot cm^{-3}$ -tan), eta sustraiaren batez besteko diametroa (AvgD, mm-tan). Eskaneatu ostean, gainera, sustraiak labean sartu ziren (50 °C-tan) gutxienez 48 orduz, eta pisu lehorra neurtu zen, euren biomasa ezagutzeko (rootB, g-tan). Horretarako, pisu lehorraren datu horri T0 egunean neurtutako landaretxo ordezkarien sustraiaren pisu lehorraren datua kendu behar izan zitzaion, esperimentuaren 2 hilabeteetan zeharreko tratamenduen eraginpeko hazkundera soilik jakin nahi zelako (landaretxo ordezkarien hazkundera kontuan hartu gabe).

Zati aereoari dagokionez, hostoen gehi zurtoinaren 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 esangarria zuten aldagaiak identifikatzea lortu zen.

Ondoren, lanaren hipotesi nagusiak testatzeko, Eredu Lineal Mistoak (*General Linear Mixed Models*) egin ziren aldagai dependente (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 ereduak proposatu zen:

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

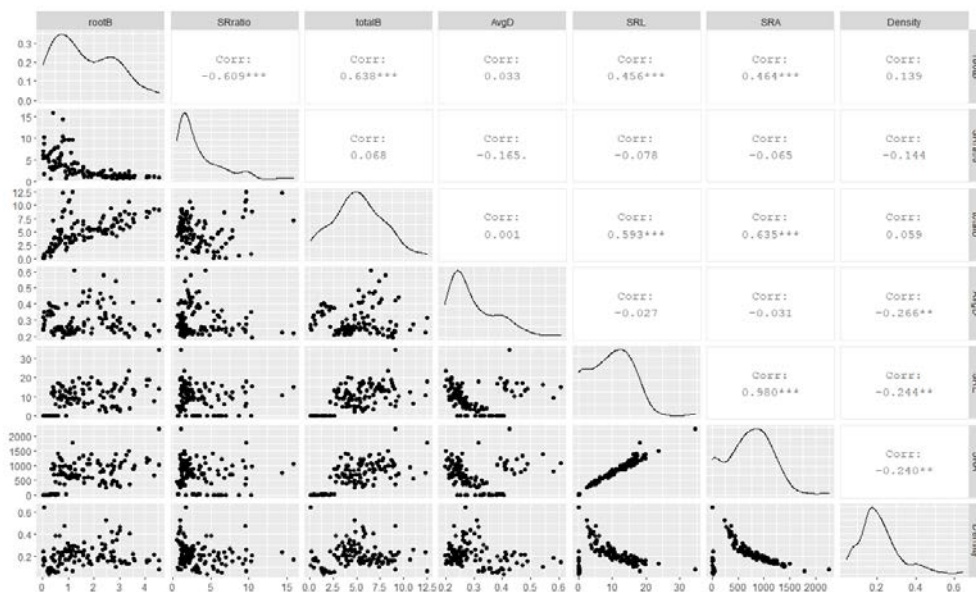
non *treat1* tratamendu nagusia den, hots, ur-edukia (faktore finkoa), *treat2* bloke-barneko tratamendua, hau da, belardiko mikroorganismoen gehipena (faktore finkoa), *SP* espeziea (faktore finkoa), *Block_i* blokeen aldakortasuna (zorizko faktorea) eta ε_i errorea (erresidualak, ereduak esplikatzea lortu ez duena). Bloke-efektua zorizko faktore gisa aztertu zen, asumituz negutegian loreontziek zuten kokapenak nolabait (neurri txiki batean ziurrenik) eragin zezakeela. Banaketa normalaren aurrebaldintza betetzen zela konprobatu zen eta aldagai esplikatiboen erroreen bariantzaren heterozedastizitatea kontuan hartu zen ereduak eraikitzeke orduan, espezie bakoitzari zegokion bariantza egokituz.

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],

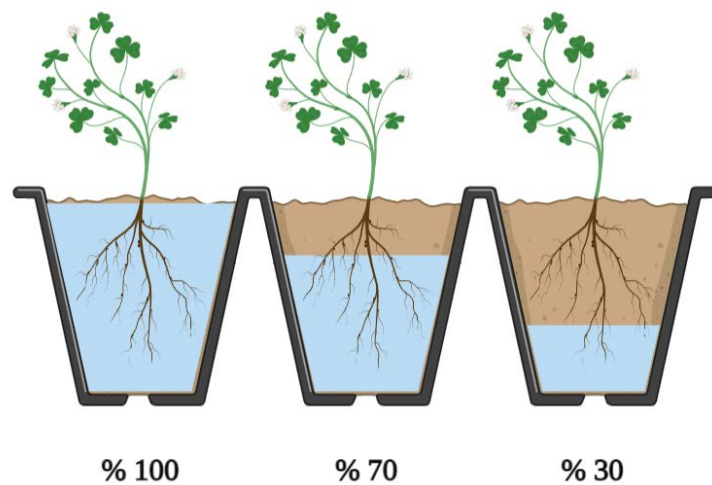
korrelazio-testak egiaztatu duen bezala (3. irudia). Bestalde, esperotakoa izan da ere sustrai-ehunen dentsitateak (*Density*) gora egin ahala luzera espezifikoak (SRL) behera egitea. Azkenik, nabarmentzekoa da korrelazio negatibo estuak espero zirela luzera espezifikoaren eta batez besteko diametroaren artean, landareek sustraiak luzeran ala zabaleran hazteko estrategia hartzen baitute lehortearen aurrean [5, 29, 30, 31]. Hala ere, hori soilik 2 espezieetan ikusi da: *Bellis perennis*-en eta *Deschampsia flexuosa*-n, hain zuzen ere.



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

4.1. Lurzoruko ur-edukiaren eragina sustrai traits-etan

Ur-tratamenduei dagokienez, ez da desberdintasun esangarririk aurkitu ur-eduki desberdinen artean sustraiaren traits guztietarako. Hots, zati aereo/sustrai erlazioak (SRratio) eta sustrai-luzera espezifikoak (SRL) ez dute aldaketarik jasan 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 lehorte simulatzeko erabilitako ur-edukia %30ekoa izan da antzeko hainbat esperimentutan portzentaje hori erabili izan delako [5, 29, 40].

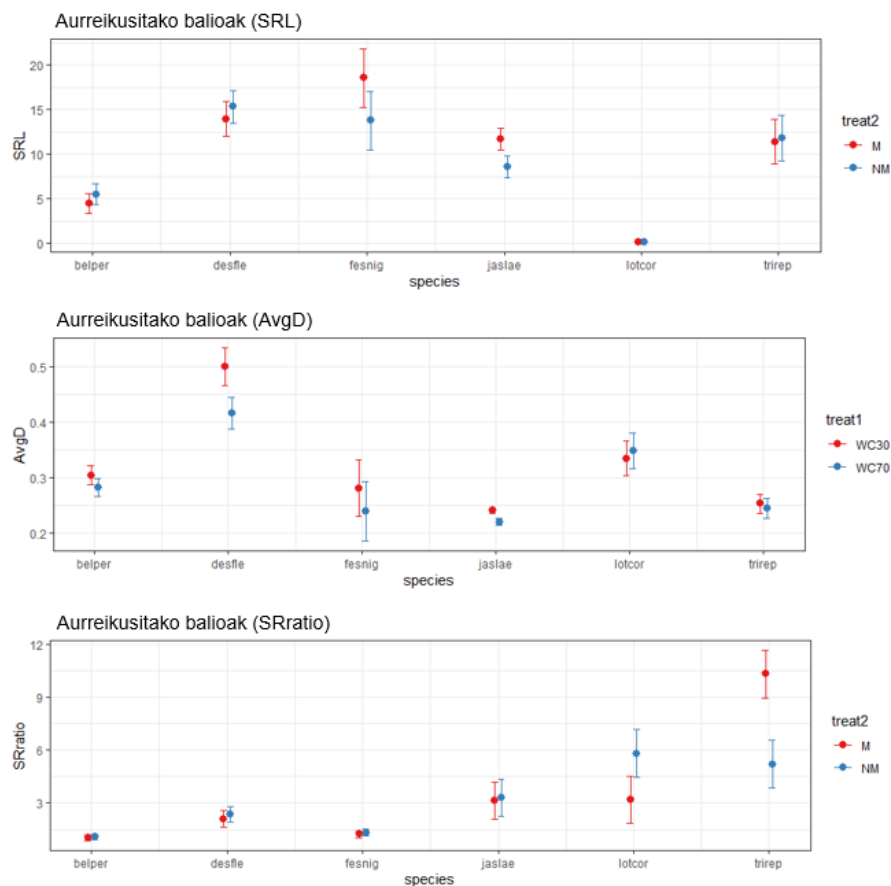


Created in BioRender.com bio

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

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

Hala ere, kontuan hartuta urarekiko dependentzia aurkeztu duten sustrai-atributu horiek, esperimentuan erabilitako espezieek lehortearen aurrean garatu dituzten estrategiak aztertuko dira jarraian (1. taula). Horretarako ez da kontuan hartuko landarearen biomasa totala, zati aereoaren biomasak bere balioa alda dezakeelako, biomasa totala zati aereoaren eta sustraien biomasen arteko gehiketa delako [37].



5. irudia: Eredu linealen bidez estimaturiko sustraien luzera espezifikoa (SRL; $m \cdot g^{-1}$ -tan), sustraien diametroaren (AvgD: mm-tan) eta zati aereo/sustrai erlazioaren (SRratio; unitaterik gabea) batezbestekoak eta errore estandarrek. Espezieak (species): *Bellis perennis* (belper), *Deschampsia flexuosa* (desfle), *Festuca nigrescens* (fesnig), *Jasione laevis* (jaslae), *Lotus corniculatus* (lotcor), *Trifolium repens* (tirep). 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 dituzten sustrai-biomasa altua eta sustrai-ehunen dentsitate baxua aurkeztu dituzte. Aitzitik, sustrai-diametro altua aurkeztu dute, hazkunde geldoarekin bat datorrena. Hortaz, baliabideak eskuratzeko estrategiaren alde egin dutela esan daiteke.

Deschampsia flexuosa-ri dagokionez, emaitzetan ikusi da %30eko ur-edukiaren baldintzetan landareak sustrai-ehunen dentsitate baxuagoa izan duela, hazkunde azkarreko landareen moduan, baina sustrai-diametro altuagoa, azken hori hazkunde geldoko landareen ezaugarria delarik. Espezie honen kasu konkretuan, sustraien batez besteko diametroa eta sustrai-luzera espezifikoa negatiboki

korrelazionatuta egon direnez, pentsa daiteke ur-edukiaren %30ean sustrai-luzera espezifikoa murriztu egin dela. Beraz, esan dezakegu gramineo hau hazkunde geldokoa dela.

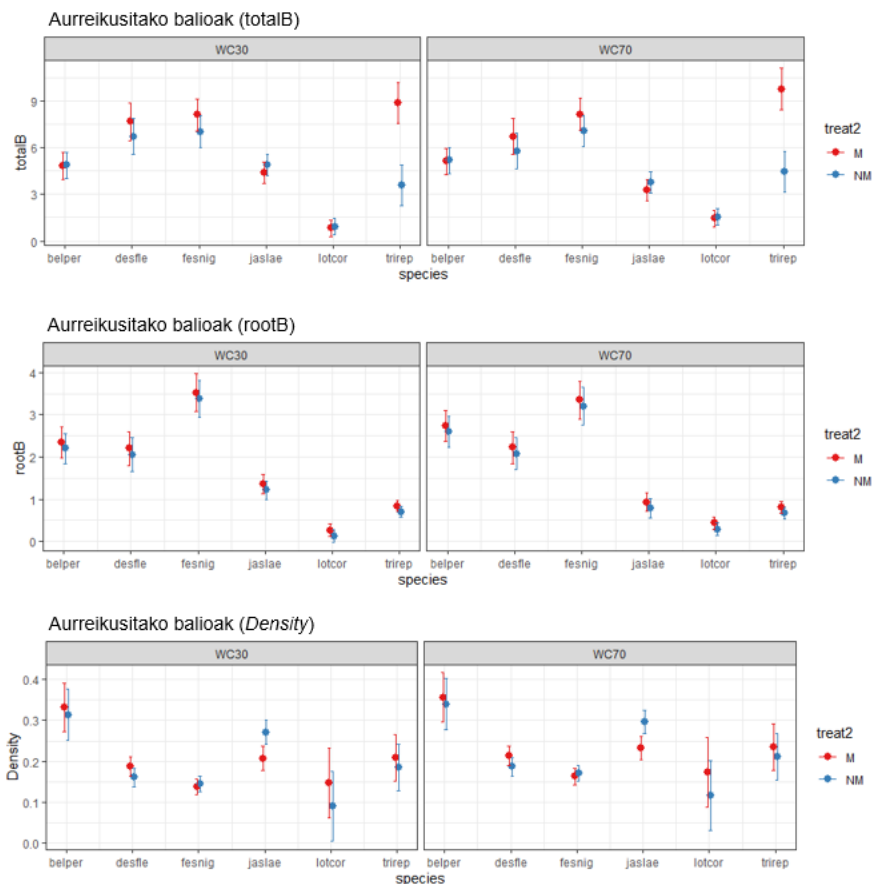
Lotus corniculatus-ek hazkunde azkarreko bi ezaugarri (sustrai-diametro eta sustrai-ehunen dentsitate baxua) eta hazkunde geldoko ezaugarri bakarra (sustrai-biomasa baxua) aurkeztu ditu ur-eskuragarritasun murriztuan. Beraz, baliabideak eskuratzeko estrategia jarraitu duela esan daiteke.

Trifolium repens espezieak sustrai-ehunen dentsitate baxua soilik aurkeztu du ur-edukiaren %30eko baldintzetan. 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 aurkeztu ditu, baina hazkunde azkarrari dagokion sustrai-ehunen dentsitate baxua. Espezie honetan ere sustraien batez besteko diametroa eta sustrai-luzera espezifikoa negatiboki korrelazionatuta daude, eta horregatik esan daiteke %30eko ur-eskuragarritasunean sustrai-luzera espezifikoa murriztu egin dela. 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 bai ur-edukiaren %30eko bai %70eko baldintzetan, sustrai-atributu guztietarako (5. eta 6. irudiak). Hori ikusita, onar dezakegu mikroorganismoek %30eko ur-edukia ez dutela lehortze-estres bezala hauteman.



6. irudia: Eredut linealen bidez estimaturiko biomasa totalaren (*totalB*), sustrai-biomasaren (*rootB*) eta sustrai-ehun 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.

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

Festuca nigrescens espezieak, sustraien luzera espezifikoaren 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 espezifikoaren balio altuagoak lortu ditu mikroorganismoerik gabe. Sustrai-biomasa handitu ahala, *zati aereo/sustrai* erlazio baxuagoa denez (zati aereoaren biomasa ez aldatzekotan), SRratio baxuagoa izan dute mikroorganismoekin. Horrenbestez, mikroorganismoen presentzian sustraien luzera espezifikoa murriztu egin den arren, oro har mikroorganismoek efektu positiboa izan dute.

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

Trifolium repens espezieak ere balio altuagoak lortu ditu mikroorganismoen presentzian. Espezie honek *Rhizobium* bakterio nitrogeno finkatzaileekin sinbiosi-noduluak eratzen ditu. Bakterio horiek nitrogeno atmosferikoa erreduzitzen dute landarearentzat erabilgarriak diren nitrogeno 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 aurkeztu duela *zati aereo/sustrai* erlazio altuagoa mikroorganismoen presentzian. Horrek adierazi digu *Trifolium repens* espeziea mikroorganismoekiko bereziki dependentea dela.

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

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

Laburbilduz, mikroorganismoek efektu positiboa izan dute espezie guztietan, lurzoruko materia organikoa deskonposatzean mantenugaiak askatzen dituztelako lurzorura, landareek asimila ditzaketen formetan [42]. Hala ere, kasu konkretu 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].

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

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

5. ONDORIOAK

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

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

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

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

6. ESKER ONAK

Eskerrak eman nahi genizkioke esperimentu hau aurrera ateratzen lagundu digun pertsona orori. Espreski, gure eskerrik beroenak Leire Aiartzaguena, Asier Urruzola eta June Izari esperimentu osoan zehar emandako laguntzagatik, eta Iñaki Odriozolari analisi estatistikoetan emandako gidaritzagatik. Halaber, Landare-Fisiologiako laborategiko kideak eskertu nahi ditugu, bereziki Usue Perez eta Jon Miranda, emandako erraztasun eta laguntza guztiagatik, bai eta Teresa Gimeno eta Javier Porras BC3-ko ikerlariei, emandako aholku eta laguntzagatik sustraiaren eskanerraren arazoak gainditzeko. Esperimentu hau posible izan da Eusko Jaurlaritzak gure Ikerketa-Taldeari emandako diru-laguntzari esker (IT1022-16 eta IT1682-22).

7. 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). C₄ 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, Mexico Berria. USA.
- [35] MIRANDA-APODACA, J. (2015). *Respuesta fisiológica de especies pratenses en monocultivo y competencia mixta frente al elevado CO₂ 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., ZENGNI, 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.

8. ERANSKINA

Aldagai dependenteak	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

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