



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

ZIENTZIAK ETA NATURA ZIENTZIAK

**Ongarri organiko eta
mineralarekin ongarritutako patata
laborearen N₂O isuriak eta
sentsore optikoen bidezko
nitrogenoaren diagnosi
nutrizionala**

*Martxel Makatzaga, Ana Aizpurua,
Ander Castellón eta Haritz Arriaga*

275-282 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.05.34>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO



LAGUNTZAILEAK



Ongarri organiko eta mineralarekin ongarritutako patata laborearen N₂O isuriak eta sentsoare optikoen bidezko nitrogenoaren diagnosi nutrizionala

Martxel Makatzaga¹, Ana Aizpurua², Ander Castellón², Haritz Arriaga¹

¹Baliabide Naturalen Kontserbazio Saila eta ²Landare Ekoizpen eta Babes Saila. NEIKER-Nekazaritza Ikerketa eta Garapeneko Euskal Erakundea. Basque Research and Technology Alliance (BRTA). Berreaga Kalea, 1, 48160, Derio, Bizkaia.

mmakatzaga@neiker.eus

Laburpena

Nekazaritzako nitrogenoaren erabilera okerrak, inpaktu negatiboa du ingurumenean. Horien artean, klima aldaketan inpaktu handia duen oxido nitrosoaren (N₂O) isuriak. Sentsoare optikoen bidez, landarearen nitrogenoaren egoera nutrizionala aztertu da patata landarean (*Solanum tuberosum* L.), momentuan behar duen dosia, zehatzago aplikatzeko helburuz. RapiScan, zeptometro eta SPAD neurgailuak erabili dira, normalizatutako ezberdintasun begetazio-indizea (NDVI), hosto-azaleraren indizea (LAI) eta klorofila edukia aztertzeko, hurrenez-hurren. Hondoko ongarriketako oilo-zirina (170 kg N ha⁻¹) eta ongari minerala (10-18-24+2,5 MgO; 100 kg N ha⁻¹) aplikatu ziren. Azaleko ongarriketako aldiz, nitrato amoniko kaltzikoa (NAC %27) aplikatu zen dosi ezberdinetan: 0, 41, 81 eta 122 kg N ha⁻¹. Hondoko ongarriketako izan zen patataren ekoizpenean gehien eragin zuen faktorea, ongari mineralaren mesedetan 38 t ha⁻¹, oilo-zirinarena 31 t ha⁻¹ zen bitartean. Ekoizpen balioek, LAI eta NDVI indizeekin eduki zuten loturarik esanguratsuenak, hazkuntzaren hasierako faseetatik gainera. N₂O isurietan ez zen tratamenduen arteko ezberdintasunik egon, nahiz eta oilo-zirina aplikatutako partzeletan aurkitu zen isuririk altuena (319 µg N₂O m⁻² h⁻¹) hondoko ongarriztearen egun gutxietara. Gainera, ez zen gai izan, ongari mineralari esker lortutako ekoizpen-balio maximoetara iristeko. NDVI indizeak, laborearen diagnosi nutrizionalari buruzko informazioa ematen digunez, azaleko ongarriketako dosia doitzeko eta ekoizpena estimatzeko erabil daiteke.

Hitz gakoak: *Solanum tuberosum*, NDVI, SPAD, LAI, zehaztasun nekazaritza, oilo-zirina

Abstract

*Improper application of agricultural nitrogen adversely affects the environment. For example, emissions of nitrous oxide (N₂O), which has a huge impact on climate change. Utilizing optical sensors, the nutritional nitrogen status in potato plants (*Solanum tuberosum* L.) has been investigated to enable more precise application of nitrogen doses as needed. Equipment such as the RapiScan, ceptometer, and SPAD have been employed to analyze the normalized difference vegetation index (NDVI), leaf area index (LAI), and chlorophyll content. Basal application was conducted on chicken manure (170 kg N ha⁻¹) and inorganic blending (10-18-24+2,5 MgO; 100 kg N ha⁻¹), while top-dressing was conducted on different doses of N: 0, 41, 81 and 122 kg N ha⁻¹ with calcium ammonium nitrate (NAC 27%), an inorganic commercial product. Basal application was found to have the greatest impact on potato yield, favoring blending application over chicken manure (38 t ha⁻¹ vs. 31 t ha⁻¹). Yield values had the most significant association with LAI and NDVI, from the early stages of growth. There was no significant difference in N₂O emissions between the treatments, although the highest emission was found in the plots where chicken litter was applied (319 µg N₂O m⁻² h⁻¹), just a few days after basal fertilization. Furthermore, it was not able to reach the maximum yield values obtained with the mineral mixture. NDVI index, which provides information on the nutritional diagnosis of the crop, can be used to adjust the dose of surface fertilization and estimate production.*

Keywords: *Solanum tuberosum*, NDVI, SPAD, LAI, precision agriculture, chicken manure

1. Sarrera eta motibazioa

Nitrogenoa (N), laboreak hazteko mantenugai garrantzitsuenetakoa da, baina gehiegizko kantitatean edo era ez egokian erabiltzeak, ingurumenean inpaktu negatiboa eragiten du, besteak beste, uren eutrofizazioa, lurzoruen azidifikazioa eta berotegi efektuko gasen (BEG) isuriak (Galloway et al., 2021). 1980 hamarkadatik hona, ia bikoiztu egin dira nekazaritzari lotutako oxido nitrosoen (N_2O) isuriak esaterako, laboreen hazkuntzarako erabilitako ongarri mineral komertzialen erabilpen masiboagatik batez ere (Winiwarter et al., 2018). Azkenaldian, atentzio handia eskuratu duen gasa da N_2O , izan ere, BEG artetik, berotze global potentzial handiena duena da, karbono dioxidoa (CO_2) baino 273 aldiz handiagoa, hain zuzen ere (IPCC, 2019). Gainera, iturri antropogenikoetatik isuritako N_2O gasaren zatirik handiena (66%), nekazaritza sektoretik dator (Davidson & Kanter, 2014).

Lurzoruko N era organikoan zein mineralean egon daiteke, prozesu fisiko, kimiko eta biologikoen etengabeko eraldatze prozesuen ondorioz. N_2O gasaren sorrera, bi prozesu biologikori dago nagusiki lotuta (Braker & Conrad, 2011). Alde batetik, baldintza aerobioetan ematen den nitrifikazioa, hots, amonioaren (NH_4^+) oxidazioa nitratora (NO_3^-). Beste aldetik, baldintza anaerobioetan, desnitrifikazio prozesua ematen da, hau da, nitratoaren (NO_3^-) erredukzioa N_2 gasera. Prozesu hauek, baldintza edafoklimatikoen menpe daude, , tenperatura epelek eta hezetasun maila altuek, N_2O isuriaren emendia probokatzeko dutelarik.

N-an oinarritutako ongarriketa, N_2O fluxuak kontrolatzeko prozesu gakoa da (Bouwman et al., 2002). Zehaztasunezko ongarritzea, hots, laboreen unean uneko mantenugai eskariari doituko zaion dosia soilik aplikatzea, teknika eraginkorra da N_2O isuriak gutxitzeko. Horretarako, badira gertuko sentore optiko ezberdinak, landa-mailako neurketak eginez, laboreen egoera nutrizionalari buruzko informazioa adierazten duten indizeak neurtzen dituztenak: klorofila edukia, desberdintasun normalizatuko landaredi-indizea (NDVI) eta hosto-azaleraren indizea (LAI) besteak beste. Indize hauek, laboreen momentu oroko nutrizio-beharrei buruzko informazio zehatza ahalbidertzen dutenez, azaleko ongarriketa dosia doitzen lagun dezakete, N galerak saihestearekin batera, ingurumen-inpaktua murriztuz, eta bide batez, kostu ekonomikoa leunduz nekazariari.

Ikerketa honen motibazioa beraz, honakoa litzateke: i) ongarriketa mota (hondokoak eta azalekoak) zein jatorri ezberdinekoak (organikoak eta mineralak) N_2O isurietan duten eragina aztertzea. Sentore optikoak erabiliz, ii) laborearen diagnosi nutrizionala neur daitekeen aztertzea eta iii) hala bada, laborearen hazkuntzaren hasieratik hala bada, ondorengo azaleko ongarriketa dosia doitu daitekeen behatzea.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Patataren (*Solanum tuberosum* L.) munduko ekoizpena 374×10^6 t urte⁻¹ dela kalkulatzen da, $17,8 \times 10^6$ hektareetan (FAOSTAT, 2022) banatzen delarik. Zerealen ondoren, laborerik garrantzitsuenak da mundu mailan (Devaux et al., 2020). EAE-n seigarren laborerik ekoiztuena da, 53.596 t urte⁻¹ ekoiztuz, 1.541 hektareetan banatuz, nekazal sail guztien %2a, hain zuzen ere. Nahiz eta gaur egun Arabako patataren garrantzia ez den 80.hamarkadakoaren adinakoa, EAE-n ekoiztutako patataren %80a Araban ekoizten da (EUSTAT, 2023).

Arabako patata ekoizleen artean, ohikoa izan ohi $150 - 200$ kg N ha⁻¹ aplikatzea ongarriketan, lursail bakoitzaren ezaugarrien arabera beti ere. Kopuru total hori, 2 aplikaziotan burutu ohi dute, alde batetik erein aurretik, hondoko ongarriketa, non, zatirik handiena bota ohi duten. Beste aldetik, tuberizazio-fasearen hasieran, erein eta hilabete ingurura, azaleko ongarriketa, non, jatorri mineraleko ongarri komertzialak erabili ohi dituzten. Baina 2030erako, nekazariak ongarri mineralen erabilpena %20 murriztu beharko dute (2015etik 2017ra aplikatutako dosiekin alderatuta) (EU Commission, 2020). Testuinguru honetan, ongarri mineralak ordezkatzeko asmoz, ongarri organikoaren erabilera garrantzia hartu du. Arabako patata sektoreak zehazki, oilo-zirinararen erabilpenean jarri du arreta, dituen ezaugarri kimikoengatik laborean duen onura dela eta.

Oilo-zirina, EAE-n sortutako azpiproduktu organikoen %2a da, urtero 90.300 t zehazki (Eusko Jaurlaritza, 2008). Ezaugarri kimiko aproposak dituenek, N-tan aberatsa (AHDB, 2019), nekazal-lurretan aplikatuz balorizatzen da guztia ongarri gisa (Eusko Jaurlaritza, 2008). Oilo-zirinarekin salmenta bidez, oilo-ekoizleek etekin ekonomikoa lortzen dute, bi sektoreen arteko sinergiak bultzatuz gainera. Dena den, nekazaritza sailetan, oilo-zirinarekin erabilerak N_2O isurietan duen eragina ez da ezaguna Arabako baldintza klimatikoetan.

Lan honen helburu orokorra patata-laborearen ongarriketa nitrogenatua hobetzea da. Horretarako, honako helburu hauek finkatu dira: (i) hondoko ongarriketa organiko zein mineralak, bai eta azaleko ongarriketan erabilitako N dosi ezberdinek, N_2O gasen isurietan duten efektua aztertzea; (ii) sentsore optikoen egokitasuna aztertzea, azaleko N ongarriketa gutxitzeko.

3. Ikerketaren muina

3.1 Kokapena eta diseinu elementala:

Ikerketa 2024ko maiatza eta iraila artean burutu zen, NEIKEReko nekazal-instalazioetan (Arkaute, Araba), 1116 m²-ko lursail batean. Lursaila, eremu kaltebera bezala izendatuta dago 390/1998 Dekretuaren arabera, urak nekazaritzatik eratorritako nitratoen kutsaduratik babesteari buruzko 47/2022 Errege Dekretuaren baitan. Lurzoruko lehen 30 cm-ko geruzaren ezaugarri fisiko-kimikoak hauek izan ziren: pH, 8,0; materia organikoa, %2,8; N, P, K minerala: 17 mg kg⁻¹, 37 mg kg⁻¹ eta 179 mg kg⁻¹, hurrenez hurren.

Ausazko 4 bloketan diseinatutako entseguak izan zen, bi faktore nagusi aztertu zirelarik: hondoko ongarriketa (oilo zirina edo ongarri minerala) eta azaleko ongarriketa minerala (4 dosi ezberdin), 1. taulan agertzen den moduan. Kontrol gisara, ongarritu gabeko tratamendua erabili zen. Hondoko ongarriketarako erabili zen ongarri mineralaren konposizioa %10 N, %18 P₂O₅, % 24 K₂O + %2,5 izan zen. Oilo zirinarekin ezaugarri kimiko garrantzitsuenak hauek izan ziren: % 2,9 N, % 0,3% P₂O₅, % 2,05 K₂O eta % 0,37% MgO. Azaleko ongarriketarako, nitrato amoniko kaltzikoa erabili zen (NAC27). Partzela elementalak, 9 m luze eta 3 m zabalera zituen (27 m²). Partzela bakoitzak 4 kabailoi zituen patatak ereiteko, 75 cm-ko distantzia utzi zelarik beraien artean. Lan honetarako erabilitako datu guztiak erdiko bi kabailoietatik lortu ziren, ertz-efektua saihesteko. Baldintza klimatikoak (Euskalmet, Arkautiko estazio meteorologikoa, C016) eta luraren tenperatura eta hezetasuna jarraian neurtu ziren. Entseguak iraun zuen bitartean, hots, ereitetik landarea erre zen arte batz besteko tenperatura 17 °C-takoa izan zen eta prezipitazio totala 134 L m⁻². Ureztapena uztailen hasi zen eta abuztuaren bukaera arte egin zen, guztira 167 L m⁻² ureztatu zirelarik.

1.Taula. 2024 kanpainako Arkauteko entseguan aztertutako 9 tratamenduak, 2 faktore aztertuz. Hondoko ongarriketan 2 produktu erabili ziren: ongarri minerala eta oilo zirina. Aurrerago, azaleko ongarriketan NAC %27 dosi ezberdinetan aplikatu zen. Kontrola ez zen ongarritu.

Zkia	Tratamendua	Hondoko ongarriketa (t ha ⁻¹)	Hondoko ongarriketa (kg N ha ⁻¹)	Azaleko ongarriketa (kg NAC % 27 ha ⁻¹)	Azaleko ongarriketa (kg N ha ⁻¹)	kg N _{tot} ha ⁻¹
1	Kontrola	0	0	0	0	0
2	B0	Ongarri minerala (NPK+MgO 10-18-24+2,5) 1	100	0	0	100
3	B150			150	41	141
4	B300			300	81	181
5	B450			450	122	222
6	G0	Oilo-zirina 7,8	170	0	0	170
7	G150			150	41	211
8	G300			300	81	251
9	G450			450	122	292

3.2 Nekazal jarduerak

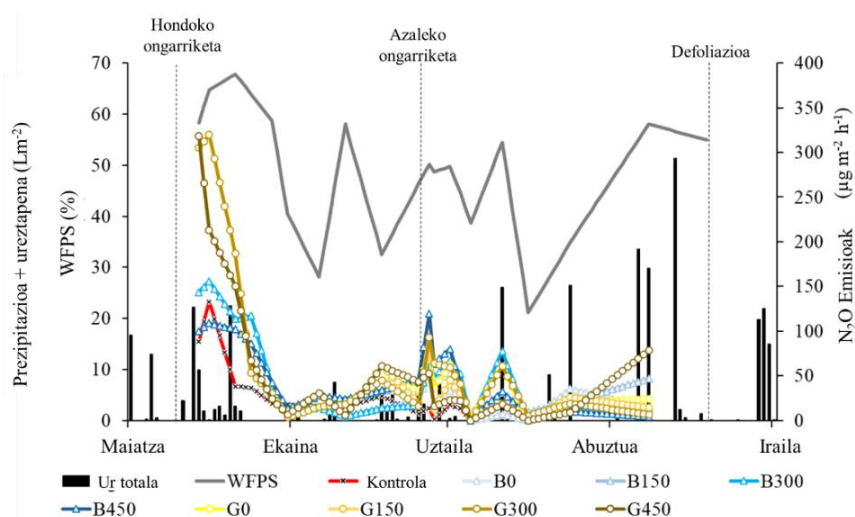
Hondoko ongarriketa 2024/05/09an gauzatu zen eskuz. Ondoren, zegokion makineria erabiliz, kabailoiak egin ziren, ongarririk lurpera eramanez (0-10 cm). 2024/05/13an, patata (Monalisa barietatea) erein zen, 30 cm-ko tartea utziz tuberkuluen artean. Tuberizazio prozesuaren hasieran, 2024/06/24an, azaleko ongarriketa burutu zen. 2024/08/19an defoliazioa burutu zen, ohi bezala, herbizida bidez. Azkenik, 2024/09/18an, patataren uztia bildu zen. Udan zehar, laborearen ihintadura bidez ureztatu zen astero, beti ere landarearen beharren arabera. Belar txarren kontrola eta kontrol sanitarioa, herbizida, fungizida eta intsektiziden aplikazio prebentiboen bidez gauzatu zen laborearen ziklo guztian zehar.

3.3 N₂O isuriak

Entseguak iraun bitartean, hots, eretitetik landarea erre zen arte, N₂O gasaren zuzeneko isuriak neurtu ziren. Lau hilabetetan zehar, 19 egun ezberdinetan burutu ziren laginketak, asteroko maiztasunarekin. Kamera itxien bidezko teknika erabiliz lagindu zen (Merino et al., 2001). Kamerak (6,8 L), kabailoi gainean, baina 5 cm lurpean, jarritako uztai baten gainean kolokatzen ziren, zeinetan 45 minututako inkubazioaren ostean, gas laginak (20 ml) hartzen ziren xiringa bidez. Laginen N₂O kontzentrazioa gas kromatografiaren bidez (Agilent 7890A) neurtu zen NEIKEReko laborategian. Laborearen hazkuntzan zehar izandako N₂O isuriaren batura, integrazio trapezoidal bidez kalkulatu ziren, hots, ondoko bi neurketen artean erlazio lineala zegoela onartuz.

Hondoko ongarriketa burutu zen egunetan aurkitu zen N₂O isuriaren gailurra, oilo-zirinarekin ongarritutako partzeletan (319 $\mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Azaleko ongarriketaren ondoren behatu zen bigarren gailur txikiagoa, N dosia ere txikiagoa izan baitzen. Edonola ere, B450 tratamenduan egon zen isuririk altuena (119 $\mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Uda sasoian, orohar lurzoruko baldintza lehorrek, aktibitate mikrobiologikoa mugatzen dutelarik, N₂O isuriak jaitsi egin ziren ureztaketarik gabeko egunetan. Urez betetako gune porotsuen batezbestekoa %48 izan zen (%21 - %68), abuztuko ureztapenarekin emendatu zelarik, isuriaren gorakadarekin kointzidituz (1. Irudia).

Lehenengo laginketatik azkenengora, 87 egunetan guztira, oilo-zirinarekin ongarritutako partzeletan aurkitu ziren isuri total altuenak 1 kg N₂O ha⁻¹, ongarririk mineralakoak 0,8 kg N₂O ha⁻¹ eta kontrol tratamenduan 0,4 kg N₂O ha⁻¹ edukirik, nahiz eta ezberdintasunak ez izan esanguratsuak ($p > 0,05$). 119 artikuluetan oinarritutako meta-analisi berri batek ere ez du aurkitu ezberdintasun esanguratsurik N mineral eta simaurren erabileraren artean (Meng et al., 2025). Gure kasuan, ongarririk organikoaren ezaugarriengatik, ongarriketaren aplikatu zen N kantitatea handiagoa izan zen (1. Taula). Isuri faktoreak, hau da, aplikatutako N-aren arabera isuri kantitateak, erakusten duen gisa, balioak berdindu egin baitziren: oilo-zirina %0,24 eta ongarririk mineralak %0,21.



1. Irudia. 2024 kanpainako entsegua Arkauten. N₂O isuriaren ($\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) jarraipena, tratamendu guztientzat. Beltzez, ureztapen eta prezipitazio bidez, laboreetara iritsitako ur kantitatea (L m^{-2}). Grisez WFPS (%), hots, urez betetako gune porotsua. Hondoko ongarriketaren ongarririk minerala “B” hizkiz eta kolore urdinez; eta oilo-zirina “G” hizkiz eta kolore horiz. Azaleko ongarriketaren NAC 27 % dosi ezberdinak aplikatu ziren: 0, 150, 300, 450 kg ha^{-1} .

3.4 Gertuko sentsore optikoak

Azaleko ongarriketa burutu aurretik, 2024/06/24an, sentsore optikoekin, indize begetatiboak neurtu ziren, landarearen tuberizazio fasearen hasieran. Gerora, 2024/07/11an eta 2024/08/06an, berriz neurtu ziren, tuberkuluen betetze fasean (loraketa hasieran) eta heltze faseetan, hain zuzen ere. Hosto-azaleraren indizea (LAI) AccuPAR LP-80 zeptometroarekin (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA) neurtu zen, partzela elemental bakoitzeko, erdiko kabailoietako bateko 3 eremu uniformeko gainazalean (eguzkitan) eta azpikaldean (itzalpean). Landareen hostoetako klorofila edukia, SPAD-502 (Konika Minolta®, Sakai, Osaka, Japan) tresnaren bidez neurtu zen, partzela elemental bakoitzean, 20 landare ezberdinetan, guztiz garatutako azken hosto gainazalean, zehazki. Azkenik, NDVI indizea RapidScan CS-45 (Holland Scientific, Lincoln, NE, USA) sentsorea baliatuz neurtu zen, partzela elementaleko erdiko kabailoen ilara guztian zehar, 1 m-ko altuerara.

Tuberizazioaren hasierako fasean iada, azaleko ongarriketaren aurretik, ongarrri minéraleko partzeletan aurkitu ziren biomasa indize altuenak, bereziki LAI eta NDVI: 1,6 eta 0,7 hurrenez hurren. Oilo-zirinez ongarritutako laboreetan indize horiek arinki baxuagoak izan ziren ($p < 0,05$, NDVI kasuan): 1,2 eta 0,6. Ongarritu gabeko laboreetan ordea, bortizki baxuagoak izan ziren: 0,4 eta 0,5. NDVI indizea zehazki, patata laborearen ongarriketa optimizatzeko eraginkorra zela behatu zuten (Assis et al., 2024), ongarrri mineral eta organikoen arteko nahasketa egokiena aukeratzeko balio izan baitzuen. Hostoetako klorofila edukia ordea, antzekoa izan zen tratamendu guztietan, $40,9 \pm 0,8$ (2. Taula).

Laborearen hazkuntza aurrera joan ahala, eta azaleko ongarriketaren ondoren, indize begetatiboak handitzen joan ziren orokorrean, maximoak tuberkuluen betetze-fasean aurkitu zirelarik (2. Taula). Laborea heltze-fasean sarturik, ordea, tasa-fotosintetikoa nabarmen murriztu ohi da, landarea horitzen doan heinean. Aztertutako indize guztiek islatu zituzten aipaturiko laboreen hazkuntza faseen araberrako N eskari espezifikoaren aldaketak. Azaleko ongarriketaren eragina hobekien erakutsi zuten neurgailuak zeptometroa (LAI) eta SPAD (hostoetako klorofila edukia) izan ziren, balio minimoak 0 kg NAC 27% eta maximoak 450 kg NAC 27% dosietan aurkitu baitziren (2. Taula).

2.Taula. Indize begetatiboen 3 neurketak tratamendu guztietan 2024 kanpainako entseguan, Arkauten. Hondoko ongarriketaren, ongarrri minerala “B” hizkiz eta oilo-zirina “G” hizkiz. Azaleko ongarriketaren, NAC 27 % dosi ezberdinak aplikatu ziren: 0, 150, 300, 450 kg ha⁻¹. Kontrol tratamendua analisi estatistikotik kanpo utzi da. P-balioaren interpretazioa: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,001$**

	Kontrola	B0	B150	B300	B450	G0	G150	G300	G450	Tratamenduen p-balioa	Hondoko ongarriketaren n p-balioa	Azaleko ongarriketaren p-balioa	Faktoreen interakzioaren p-balioa
NDVI													
Tuberizazio hasiera	0,54 ± 0,09	0,69 ± 0,05 ^a	-	-	-	0,6 ± 0,1 ^b	-	-	-	*	***	-	-
Tuberkuluen betetzea	0,73 ± 0,03	0,83 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,83 ± 0,01	0,84 ± 0,02	0,79 ± 0,08	0,8 ± 0,08	0,83 ± 0,01	0,83 ± 0,02	0,4	0,1	0,4	0,5
Heltzea	0,64 ± 0,05	0,69 ± 0,04 ^a	0,71 ± 0,03 ^a	0,71 ± 0,03 ^a	0,68 ± 0,03 ^{ab}	0,6 ± 0,11 ^b	0,65 ± 0,05 ^{ab}	0,68 ± 0,04 ^{ab}	0,69 ± 0,02 ^a	0,1	*	0,3	0,3
LAI													
Tuberizazio hasiera	0,4 ± 0,2	1,6 ± 0,4	-	-	-	1,2 ± 0,3	-	-	-	0,2	0,2	-	-
Tuberkuluen betetzea	1,8 ± 0,4	2,6 ± 0,1 ^{cd}	3 ± 0,4 ^{abc}	3,3 ± 0,3 ^a	3,2 ± 0,4 ^{ab}	2,2 ± 0,5 ^d	2,7 ± 0,3 ^{bcd}	2,6 ± 0,4 ^{cd}	3,3 ± 0,2 ^a	***	*	***	0,1
Heltzea	1 ± 0,1	2,5 ± 0,5 ^{bc}	2,9 ± 0,5 ^{ab}	3 ± 0,6 ^{ab}	3,5 ± 0,4 ^a	1,9 ± 0,6 ^c	2,3 ± 0,4 ^{bc}	2,8 ± 0,7 ^{abc}	2,6 ± 0,6 ^{abc}	*	*	*	0,6
Klorofila edukia													
Tuberizazio hasiera	41 ± 0,6	41 ± 0,8	-	-	-	41 ± 0,7	-	-	-	0,6	0,5	-	-
Tuberkuluen betetzea	40 ± 0,1	44 ± 1,2 ^{cd}	45 ± 2,1 ^{abcd}	46 ± 1,4 ^{abc}	47 ± 1,3 ^{ab}	43 ± 2,1 ^d	46 ± 1,9 ^{ab}	45 ± 0,8 ^{bcd}	48 ± 0,6 ^a	**	0,9	***	0,5
Heltzea	37 ± 0,1	40 ± 0,4	41 ± 1,8	41 ± 1,7	41 ± 0,8	41 ± 1,3	41 ± 0,9	42 ± 0,6	42 ± 2,4	0,6	0,3	0,3	1,0

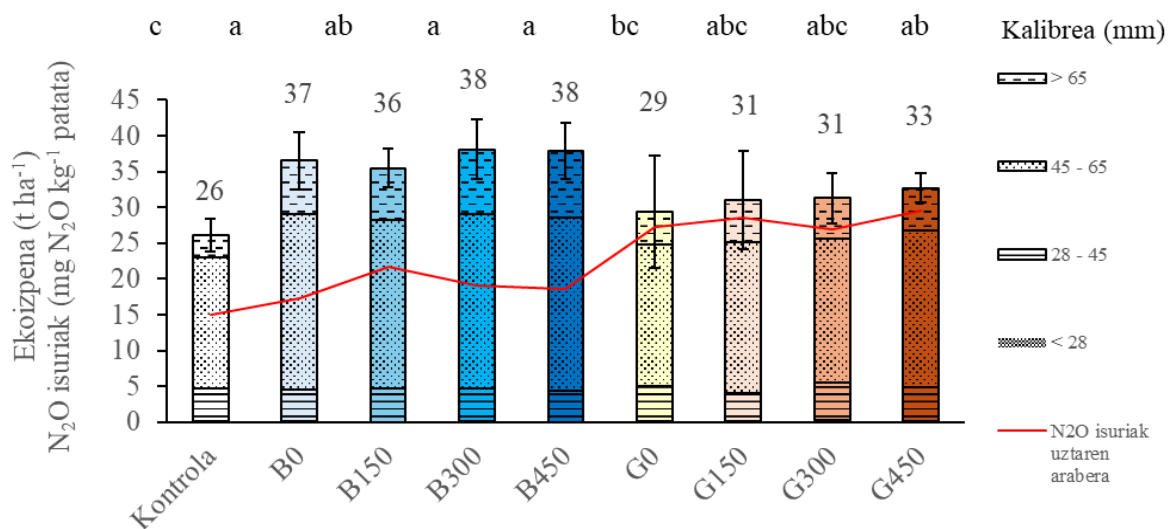
3.5 Patata ekoizpena

Partzela elemental bakoitzeko erdiko bi kabailoietatik, era mekanizatuan azaleratu zen patata uzta eta kaltetu (ustelduak, zuloekin, etab.) eta osasuntsu artean banatu ziren. Patata osasuntsuak, azaleratutako tuberkulu guztien %94 izan ziren. Partzela bakoitzeko patata osasuntsuak pisatu egin ziren jasotako uztaren (kg ha⁻¹) datua izateko. Ondoren, ohiko kalibre kriterioen arabera bereiztu eta pisatu ziren: nanoak (< 28 mm), txikiak (28 – 45 mm), ertainak (45 – 65 mm) eta handiak (> 65 mm).

Ongarritutako partzeletan hazitako patatek ekoizpen handiagoa izan zuten, kontrolarekin alderatuz ($p < 0,05$) (2. Irudia). Hondoko ongarriketan, ongarri minerala eta azaleko ongarriketan, NAC %27 dosi altuenak aplikatu zitzaizkien partzeletan ekoiztu zen patata osasuntsu gehien: $38 \pm 4 \text{ t ha}^{-1}$, nahiz eta ezberdintasunak ez izan esanguratsuak. Gehien eragin zuen faktorea, hondoko ongarriketa izan zen, oilo-zirinarekin ongarritutako partzela guztietan ongarri mineralarekin ongarritutako partzeletan baino gutxiago ekoiztu baitzen: bataz beste, 31 ± 5 eta $37 \pm 4 \text{ t ha}^{-1}$, hurrenez hurren (1. Irudia). Oilo-zirinaren N-ren erabilpen efizientzia (NUE) %10 izan zen, ongarri mineralean aldiz, %24. Abeltzaintzako azpiproduktu organikoek, nekazal-lurretan aplikatzean, orokorrean NUE murrizten dute (Quemada et al., 2020) laboreen hazkuntzan eraginez.

Patataren tamainari dagokionez, tratamendu guztietan, interes komertzial handieneko patata (18 – 45 mm) izan zen gehien ekoiztutakoa (1. Irudia), patata guztien %66, hain zuzen ere. Patata handien ekoizpena ($> 65 \text{ mm}$), interes komertzialekoa ere, %20koa izan zen. Azaleko ongarriketa dosia handitu ahala, proportzio hau handiagoa zen, bereziki hondoko ongarriketan ongarri minerala aplikatutako partzeletan, nahiz eta ezberdintasunak ez ziren esanguratsuak (2. Irudia).

Ekoiztutako patata unitate bakoitzeko isuriak ez ziren esanguratsuki aldatu, nahiz eta oilo-zirinarekin hondoan tratatutako partzeletan isuri altuagoak behatu ziren ($28 \text{ mg N}_2\text{O kg}^{-1}$ patata) ongarri mineralarekin alderatuz ($19 \text{ mg N}_2\text{O kg}^{-1}$ patata) (2. Irudia). Oilo-zirinak duen azido uriko eta amonio kantitate altuak (Shakoor et al., 2021), N organikoaren mineralizazio prozesua azkartu dezake, isurien igoera eraginez.



2 Irudia. 2024 kanpainako entsegua Arkauten. Uzta-bilketako patata osasuntsuen ekoizpena (t ha^{-1}) ohiko kalibre-kriterioen arabera eta ekoizpen totalaren araberako N_2O isuriak ($\text{mg N}_2\text{O kg}^{-1}$ patata). Hondoko ongarriketan ongarri minerala “B” hizkiz; eta oilo-zirina “G” hizkiz. Azaleko ongarriketan NAC 27% dosi ezberdinak aplikatu ziren: 0, 150, 300, 450 kg ha^{-1} . Letrek ezberdintasun estatistikoki esanguratsuak ($p < 0,05$) adierazten dute ekoizpenean.

4. Ondorioak

Hondoko ongarriketa izan zen N_2O isurietan gehien eragin zuen ongarritze garaia, N dosi altuagoa aplikatu baitzen. Hor barne, oilo-zirinaren aplikazioak izan zituen isuririk handienak. Batetik, N gehiago aplikatu zelako eta bestetik, dituen ezaugarri kimikoengatik (N mineralaren proportzio esanguratsua). Lurzoruko hezetasunak ere, eragin nabarmena izan zuen N_2O isuri-fluxuetan.

Gertuko sentsoare optikoen erabilpenak, laboreen egoera nutrizionala aztertzen lagundu dezake. Ongarritutako partzeletan, LAI eta NDVI indizeak behintzat, laborearen hazkuntzaren hasieratik iada,

kontrol partzeletakoak baino handiagoak ziren. Beraz, hondoko ongarritzearen arabera, eta azaleko ongarritzearen aurretik, azaleko ongarritzea doitu liteke. Azaleko ongarriketaren N dosi altuek, ekoizpenean izan duten eragin mugatuak ere, dosia murriztu daitekeela iradokitzen dute. Ondorioz, N₂O isuriak gutxitu litezke, kostu ekonomikoak murriztearekin batera, ekoizpen balioak jaitsi gabe.

Oilo-zirina ez zen gai izan, ongarrri mineraleko tratamenduetan adina patata ekoizteko, azaleko ongarritzearen N dosi altuenetan ere. NDVI indize begetatiboak esaterako, tuberizazio-fasearen hasieratik iada, islatu zuen ongarrri mineralari esker, landareek biomasa handiagoa zutela. Beraz, gailu hauek landareen egoera nitrogenatuari buruzko informazioa ematen digute, ekoizpena estimatzeko aukera eskainiz.

5. Etorkizunerako planteatzan den norabidea

Eremu kaltebera izendatutako nekazal-sailetan, N organiko maximora doitzeak, laboreentzat funtsezkoak diren beste mantenugaietan (P, K, Mg, S besteak beste) desoreka eragin dezake, aplikatutako ongarrriaren ezaugarri kimikoen arabera. Hau, ordea, suplementuak aplikatuz konpentsa daiteke. Beraz, datozen entseguetan, abeltzantzako azpiproduktuez ongarritutako sailetan, laboreen hazkuntzarako ezinbestekoak diren mantenugai garrantzitsuenen dosia ere doitzea komeniko litzake, inongo gabeziarik gabeko hazkuntza oparoa izan dezaten, patataren ekoizpena emendatzeko helburuarekin.

Urruneko sentore optikoen (satelite bidezkoa, Sentinel-2, adibidez) erabilera ere, interes handikoa litzateke, gertuko sentoreekin alderatuz, metodo azkarragoa eta merkeagoa baita laboreen diagnostikoa burutzeko (Al-Gaadi et al., 2016; Atzberger & Richter, 2012). Baina, diseinu esperimentalak aldatu beharko litzateke, urruneko sateliteek duten erresoluzio ahalmena, momentuz, ez delako nahikoa partzela elementaleko tratamendu ezberdinak identifikatzeko.

Bestalde, Bizi-zikloaren ingurumen-analisisa (LCA) aztertzea komenigarria litzateke. Oxido nitrosoaren zeharkako isuriak ere kontutan hartuz, amaierako ikuspegi orokorrean, emaitza bestelakoa izan liteke, erabilitako bi ongarrrien ekoizpen-prozesua oso ezberdina baita.

6. Erreferentziak

- Agriculture and Horticulture Development Board. (2019). Nutrient Management Guide RB209. *Fertiliser Manual (RB209)*, January, 1–48. [https://media.ahdb.org.uk/media/Default/Imported Publication Docs/RB209 Arable crops.pdf](https://media.ahdb.org.uk/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/RB209%20Arable%20crops.pdf)
- Al-Gaadi, K. A., Hassaballa, A. A., Tola, E., Kayad, A. G., Madugundu, R., Alblewi, B., & Assiri, F. (2016). Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. *PLoS ONE*, 11(9), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162219>
- Atzberger, C., & Richter, K. (2012). Spatially constrained inversion of radiative transfer models for improved LAI mapping from future Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 120, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.035>
- Assis, P. H. de S., Luz, J. M. Q., Rodrigo, R. B., Maciel, G. M., de Oliveira, R. C., Borges, R. T. de O., & Siquieroli, A. C. S. (2024). Vegetation indices for monitoring agronomic performance of potato under combinations of mineral and organic fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28(12). <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n12e278100>
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H. (2002). Emissions of N₂O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4). <https://doi.org/10.1029/2001gb001811>
- Braker, G., & Conrad, R. (2011). Diversity, Structure, and Size of N₂O-Producing Microbial Communities in Soils—What Matters for Their Functioning? *Advances in Applied Microbiology*, 75, 33–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387046-9.00002-5>
- Davidson, E. A., & Kanter, D. (2014). Inventories and scenarios of nitrous oxide emissions. *Environmental Research Letters*, 9(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105012>

- Devaux, A.; Goffart, J.-P.; Petsakos, A.; Kromann, P.; Gatto, M.; Okello, J.; Suarez, V.; Hareau, G. (2020). *Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems*. In: Campos, H., Ortiz, O. (eds) *The Potato Crop*. Eds.; Springer International Publishing: Cham,. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-2340-2>
- EU Commission. (2020). Farm to Fork Strategy. *DG SANTE/Unit Food Information and Composition, Food Waste, DG SANTE/Unit 'Food information and composition, food waste'*, 23. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf
- Eusko Jaurlaritz. (2008). *Euskal Autonomia Erkidegoko Nekazariekadura Sektorian sortutako Gai Organikoa, Subproduktuak eta Hondakinak Kudeatzeko Plana 2008-2011: Biomasa kudeatzen*.
- EUSTAT. (2023). *Producción agrícola de la C.A. de Euskadi*. https://www.eustat.eus/elementos/tbl0012208_c.html
- FAO. (2022). *Food and Agriculture Organisation of the United Nations FAOSTAT*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Galloway, J. N., Bleeker, A., & Erisman, J. W. (2021). The Human Creation and Use of Reactive Nitrogen: A Global and Regional Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 46, 255–288. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-045120>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2019. In:Hergoualc'h, K., Akiyama, H., Bernoux, M., Chirinda, N., del Prado, A., Kasimir, A., McDonald, J. D., Ogle, S., Regina, K., van der Weerden, T. J., Liang, C., & Noble, A. (n.d.). Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11: N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 1–54.
- Meng, X., Liu, S., Zou, J., & Osborne, B. (2025). The effect of substituting inorganic fertilizer with manure on soil N2O and CH4 emissions and crop yields: A global meta-analysis. *Field Crops Research*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109831>
- Merino, M.P., Estavillo, J.M., Pinto, M., Rodríguez, M., Duñabeitia, M.K., González-Murua, C. (2001). *Nitrous oxide emissions from grassland in an intensive dairy farm in the Basque Country of Spain* (pp. 121–127). *Soil Use and Management* 17. <https://doi.org/10.1111/J.1475-2743.2001.TB00017.X>
- Quemada, M., Lassaletta, L., Jensen, L. S., Godinot, O., Brentrup, F., Buckley, C., Foray, S., Hvid, S. K., Oenema, J., Richards, K. G., & Oenema, O. (2020). Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. *Agricultural Systems*, 177(May 2019), 102689. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102689>
- Shakoor, A., Shakoor, S., Rehman, A., Ashraf, F., Abdullah, M., Shahzad, S. M., Farooq, T. H., Ashraf, M., Manzoor, M. A., Altaf, M. M., & Altaf, M. A. (2021). Effect of animal manure, crop type, climate zone, and soil attributes on greenhouse gas emissions from agricultural soils—A global meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124019>
- Winiwarter, W., Höglund-Isaksson, L., Klimont, Z., Schöpp, W., & Amann, M. (2018). Technical opportunities to reduce global anthropogenic emissions of nitrous oxide. *Environmental Research Letters*, 13(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ec9>

7. Eskerrak eta oharrak

- GRAIN-SYST proiektua (PID2021-127339OR-C43) IkerketaZientifiko, Teknikoaren eta Berrikuntzaren Plan Nazionalako 2021-2023, “Ezagupenaren Sorkuntza Proiektuak” deialdiaren barne. Eskualdeen Garapeneko Europako Funttsak (FEDER) eta Ikerketaren Agentzia Estatalak (AEI) kofinantzatua.
- Eusko Jaurlaritzako, Ekonomiaren Garapena, Jasangarritasuna eta Ingurumena Saileko IKERTALENT programa 2022. Nekazaritzaren, arrantzaren eta elikagaigintzaren sektoreko zientzia-teknologiaren eta enpresaren alorretan doktoratu aurreko langile ikertzaileentzako eta langile teknologoentzako laguntzak.