

Baso-lurzoruetako materia organikoaren mineralizazioa: ikuspuntu biologikoa*

(Soil organic matter mineralization: biological view)

Gartzia, Nahia¹; Mendarte, Sorkunde
NEIKER-Tecnalia. Agroekosistema eta Baliabide Naturalak.
48160 Derio
ngartzia@neiker.net¹

Domínguez, Izaskun; Amezaga, Ibone; Onaindia, Miren
UPV/EHU. Landare Biologia eta Ekologia Saila. Sarriena, z/g.
48940 Bilbo

Jaso: 2003.03.11

Onartu: 2008.11.03

BIBLID [1137-8603 (2008), 19; 101-129]

Ikerlan honen helburua arroka amak materia organikoaren mineralizazioan izan lezakeen eragina ezagutzeta eta horrek baso-elikaduran izan lezakeen garrantzia aztertzea izan ziren. Horretarako, 20 intsinis pinu landaketa ezberdinen lurzoruko karbonoaren, nitrogenoaren eta fosforoaren mineralizazioa aztertu ziren laborategi baldintzetan. Karbono mineralizazio tasarik altuena karriren gaineko lurzoruetan neurtu zen, baxuena bestalde hararrien gainekoetan. Karbono mineralizazio-tasan, C/N erlazioak eta pHak ukan zuten eraginik nabarmenena, eta fosforoaren mineralizazioa fosforo foliarrekin eralzionatuta agertuta zen.

Giltza-Hitzak: Materia organikoa. Mineralizazioa. Arroka ama. Lurzoru arnasketa. Aktibitate enzimikoak. Intsinis pinua.

El objeto de este trabajo fue conocer la influencia que podría ejercer la roca madre en la mineralización de la materia orgánica y analizar la importancia que eso podría tener en la alimentación forestal. Para ello se analizó en condiciones de laboratorio la mineralización de carbono, nitrógeno y fósforo del suelo de 20 plantaciones distintas de pino insignis. La mayor tasa de mineralización de carbono se midió en los suelos situados sobre roca caliza, y la más baja en los situados sobre roca arenisca. La mayor influencia en la mineralización de carbono la ejerció la relación C/N y el pH y la mineralización de fosforo apareció relacionada con el fósforo foliar.

Palabras Clave: Materia orgánica. Mineralización. Roca madre. Respiración del suelo. Actividad enzimática. Pino insignis.

Cette étude a pour objectif d'éclaircir l'influence de la roche mère dans la minéralisation de la matière organique et d'analyser l'importance de ce processus sur l'alimentation forestière. Ainsi, la minéralisation du carbone, de l'azote et du phosphore du sol de 20 plantations distinctes de pin insignis a été analysée en laboratoire. Le taux le plus élevé de minéralisation du carbone a été mesuré dans les sols situés sur une roche calcaire, et le plus bas sur le grès. On a constaté que le rapport C/N exerçait l'influence la plus élevée sur la minéralisation du carbone, et que le pH et la minéralisation du phosphore étaient liés au phosphore foliaire.

Mots Clé : Matière organique. Minéralisation. Roche mère. Respiration du sol. Activité enzymatique. Pin insignis.

* Lan honek Eusko Ikaskuntzaren 2002. urteko ikerketa laguntza jaso du.

1. SARRERA

XIX. mendean Euskal Herrian emandako desamortizazioek, Lehen Mundu-Gerrak, Konbentzio-Gerrak, Lehen Karlistadak, oidioak eta hazkunde demografikoak udalerriek beren *mendiak* salmentan jartzea bultzatu zuen gerrateen ondorioz sortutako zorrek ordaintzeko. Garai honetan basoek jasan zuten kaltea izugarria izan zen eta zaintzen ez zirenez, ordura arte errentagarriak ziren basoak balioa galtzen hasi ziren; horrez gain, zura-beharrizana gero eta handiagoa zen. Garai honetan, Adan de Yarza markesak Amerikatik ekarritako hiru espezie landatu ziren Bizkaian zurgintzarako eta hiruretatik hobekien moldatzen zena intsinis pinua zela ikusi zen. Era honetan, Euskal Herrian haritziz eta gaztainadiz (kostaldetik hasi eta 500 m-ra arteko lurralde osoa) osotutako azalera pinu landaketez ordezkatzeko joan ziren urtez urte eta gaur egun baso-estalduraren %65,6a (IFN-2, 1996) betetzen dute Bizkaian.

Intsinis pinuaren (*Pinus radiata* D. Don) berezko banaketa Kalifornia kostaldeko txoko bitara besterik ez da mugatzen, San Franciscon eta Monterrey aldean hain zuzen ere. 50 m luze izatera heltzen den hazkuntza azkarreko koniferoa da eta Bizkaian 30-40 urteko errotazioz landatzen da (Merino et al., 1998) eta oro har hiru kudeaketa sistemaren bidez ateratzen da egurra. Batean, ohiko kudeaketa legez ezagutzen denekoan, egurra ateratzean egur-hondarrak erre egiten dira eta makina astunak ez dira sarri erabiltzen; beste bietan, erauzketa sistema mekanizatuak erabiltzen dira, bai enborrak atera ostean "ripper"-aren aurreko palaz hondar guztiak kentzen dituen eta bai horrez gain, 50 cm-ra arteko goldaketa sakona egiten duena. Azken erauzketa sistema bi hauek, orbel geruza bera ere desagertarazi eta lurzoruan perturbazio nabariak sor ditzakete. Landaketaren emankortasunerako garrantzitsuak diren ezaugarri fisiko-kimikoak ere eraldatu egiten dituzte. Egurraren erauzketa-sistemak eta lurzoruaren-gertatze sistemek lurzoruaren konpaktazioa, eroankortasun hidraulikoa, higadura, azidifikazioa eta materia organiko eta elikagaien galera sortarazten dutela onartzen da (Rab, 1994; Staaf & Olsson, 1991; Farrish et al., 1993). Gainera, eraldaketa hauek etorkizuneko zuhaitzen biziraupena eta hasierako hazkuntzan eragiteaz gain landaketaren ondorengo emankortasunean ere eragiten dute (Smith et al., 1994; Rab, 1996).

2000. urtean Setälä eta laguntzaileek egurraren erauzketa eta landaketa sistemek lurzoruaren kalitatea murrizten zutela frogatu zuten, lurzoruko materia organikoa deskonposatzen duen komunitatea kaltetzen zutelako. Horrez gain, kontuan hartu behar da landaketaren emankortsuna beronek eskuragarri dituen elikagai kantitatearen mendekoa dela eta elikagai honen zati garrantzitsu bat lurzoruko mikrobio-biomasak ekoizten duela materia organikoa deskonposatzera-koan (Azmal et al., 1996).

Lurzoruko materia organikoak lurzoruaren egituraren, airearen eta uraren iragazketan, uraren erretentzioan, higaduraren murrizpenean, kutsatzaileen garraioan edo inmobilizazioan eta elikagaien eskuragarritasunean eragiten du (Knoepp et al., 2000). Kontzeptualki, lurzoruko materia organikoa deskonposizio maila ezberdineko hainbat taldetan banatua izan da; hiru zati funtzional bereiz-

tu dira deskonposizio dinamika azaltzerakoan, labila (aktiboa), geldoa eta erre-kaltzitrantea (pasiboa) (Paul & Juma, 1984; Parton et al., 1987a; Verbene et al., 1990). Lehenengo zati aktibo horrek lurzoruko mikrobio-biomasa eta karbono labil ez-mikrobianoa ere barneratzen ditu. Erreserba labil hau interes berezikoa da, batez ere lurzoruko aldaketa fisiko-kimikoen aurrean erantzun nahiko azkarraren ematen duelako eta elikagai-jariora egiten duen ekarpena materia organiko geldoak eta erre-kaltzitranteak baino askoz ere handiagoa delako (Bauhus, 1996).

Karbonoaren aldaketek, lurzoruan zein zelula mailan, modu zuzenean edo ez-zuzenean beste hainbat elikagairen patua baldintzatzen dute, hala nola nitrogenoarena (N), sufurearena (S) eta fosforoarena (P) (Paul & Clark, 1996). N-ak eta P-ak sarritan landarearen hazkuntza mugatzen dute baldintza naturaletan, beraien eskuragarritasuna eta eskaria arrazoi ezberdinen erantzuna delako (Crawley, 1997). Adibidez, karbonoa soberan badago mikorrizetara bideratuko da P-aren eskuragarritasuna emendatzeko. Ildo horretatik, elikagai baten eskuragarritasuna emendatzeak beste baten eskaria handiagotzea dakar eta honenbestez, berau lortzeko esfortzuak sendotzea. Gauzak honela, P eskuragarritasun handiagoak N-a lortzeko esfortzuaren emendioa eragiten du (Treseder & Vitousek, 2001).

C eta N-a hertsiki erlazionatuta aurkitzen dira lurzoruko materia organikoan, hori dela eta N-aren mineralizazioa lurzoruko organismo bizien C-aren arnasketarekin lotuta dago (Mc Gill, 1981). Hainbat autorek azpimarratu dute materia organikoaren kalitateak N-aren mineralizazioan duen garrantzia (Binkley & Hart, 1989; Nadelhoffer et al., 1991). Materia organiko hilaren deskonposizio-tasak, bai materia organikoak berak duen edo kanpotik lor daitekeen nitrogenoaren (nitrito edota amonioaren) eskuragarritasunean eragiten du. Beraz, lurzoruak nitrogenoak mugatutako biomasa deskonposatzaile jakin bat mantentzeko (Begon et al., 1996). Nitrogeno eskuragarritasuna emendatuz gero mikrobio-biomasa handiagoa mantentzeko eta honek, deskonposizio abiadura handiago bat eragingo du.

Hainbat ekosistema lurtarretan, landareen hazkuntza mugatzen duen faktore nagusia fosforo eskuragarritasuna izan daiteke (Attiwill & Adams, 1993; Chapin et al., 1994). Euskal Herriko pinudietan horrela dela frogatu da eta gaur egun pinu plantulen fosforo ongarriztatzearen erantzunaren gainean hainbat ikerketa gauzatzen ari dira (Martinez de Arano, 2002).

Lurzoruko fosforo eskuragarritasunaren zatiki handiena fosfato-esterretan atxikita aurkitzen da eta karbonoarekiko independenteki mineralizatzen da (Olander, 2000). Fosforo organikoa fosfatasek hidrolizatu behar dute, landareek fosforo inorganikoa baino ezin dutelako eskuratu (Stevenson, 1986). Fosfatasa ekoizle nagusiak landare sustraiak, ondoak eta lurzoruko mikroorganismoak dira. Lurzoruko fosfatasek koloide eta sustantzia humikoei loturiko eta lurzoru soluzioko fosfatasa askeen entzimen jarduera islatzeaz gain, landare bizi edo hilekin edota zelula mikrobianoekin erlazionatutako entzimen aktibitatea ere islatzen dute (Skujins, 1976; Nannipieri et al., 1990). Gainera, fosfatasak fosfo-

ro organikoaren mineralizazio potentzialaren eta lurzoruen jarduera biologikoaren adierazle onak dira (Speir & Ross, 1978; Dick & Tabatabai, 1993).

Lurzoruen jarduera biologikoa materia organikoaren ezaugarri kimikoen gain (nitrogenoa, C/N, lignina, lignina/N) lurzoruen ingurune-ezaugarriek ere (tenperatura, hezetasuna, pH, ehundura) mugatzen dute. "Soil Science Society of America"-k 1973. urtean emandako lurzoruen definizioaren arabera, luraren gainazaleko geruza mineral finkagabearen garapenean litologiak edo arroka amak ere eragina duela onartzen da. Arroka honen meteorizazio fisiko, kimiko eta biologikoak eragin nabaria dauka lurzoruen ehundura finkatzerakoan (Porta et al., 1994). Ehundura 2 mm baino txikiago diren partikulen banaketaren arabera ezartzen da; partikula-talde garrantzitsuenak harea, buztina eta lohia direlarik. Hiru talde horien portzentajeek lurzoru horren porositatean, ur-erretentzio ahalmenean, dentsitatean eta beste hainbat ezaugarritan eragiten dute (Kimmins, 1987).

Baso-ekosistemen kudeaketa jasangarriaren inguruan hainbat ikerketa bultzatu izan dira azkenengo urteetan, batik bat Montreal eta Helsinkiko Hitzarmenen ostean (Schoenholtz et al., 2000; Knoepp et al., 2000). Ikerketa hauetako asko finkatu dira kudeaketa-eredu ezberdinek higaduraren zein lurzoruen parametro fisiko-kimikoetan duten eraginean (Olarieta et al., 1999; Merino & Edeso, 1999; Merino et al., 1998). Kudeaketaren eragina aztertzeko beharrezkoa da lurzoru ezberdinen berezko joera eta dinamika ezagutzea. Hau horrela, karbonoaren, nitrogenoaren eta fosforoaren mineralizazioaren gainean litologiak duen eragina determinatu nahi izan da ikerketa-lan honetan. Lurzoru mota ezberdinek mineralizazio-dinamika ezberdina jarraituz gero, landaketaren garapenean eta emankortasunean eragiten duten kudeaketa-sistemen birplanteatzea eragingo luke.

Laburbilduz ikerketa honen helburuak honako hauek dira:

- Pinudietako lurzoruen mikrobioen arnasketak jarraitzen duen dinamika deskribatzea.
- Lurzoru horietako A eta B horizonteen arteko ezberdintasunik badagoen ezagutzea eta horrekin batera, kudeaketa-sistemen gain inplikaziorik izan dezaketen determinatzea.
- Nitrogenoaren mineralizazioa kuantifikatzea eta berau mugatzen duten faktoreak ezagutzea.
- Fosforoaren eta fosfatasa azidoaren jardueraren arteko harremana ezagutzea lurzoruen emankortasunaren adierazle gisa.

2. MATERIALAK ETA METODOAK

Pinus radiata D. Don espezieko hiru eta hamaika urte bitarteko 20 landaketa lagindu ziren 2000ko otsaila eta martxoa bitartean. Landaketak litologi taldeen arabera sailkatu ziren, beraien artean materia organikoaren, altitudearen eta maldaren heina nahiko zabala izanik (1. taula).

1. Taula. Aztertutako landaketaren kokapena, altitudea, malda eta litologi ezaugarriak

Lagin zkoa.	Udalerria	Kokapena (koordenada geografikoak)		Altitudea (m)	Malda (%)	Litologia
1	Urigoiti	51° 32'W	47° 70'N	470	22	Kararria
2	Urigoiti	51° 35'W	47° 70'N	520	16	Kararria
3	Muxika	52° 27'W	47° 92'N	190	17	Kararria
4	Gerekiz	52° 21'W	47° 93'N	180	4	Kararria
5	Mendata	52° 90'W	47° 92'N	120	20	Kararria
6	Nabarniz	52° 99'W	48° 00'N	100	18	Kararria
7	Zugastieta	52° 56'W	47° 89'N	150	17	Kararria
8	Sollube	51° 95'W	48° 04'N	450	12	Lutitak
9	Basondo	52° 94'W	47° 98'N	100	6	Lutitak
10	Abadiño	53° 41'W	47° 77'N	180	10	Lutitak
11	Abadiño	53° 41'W	47° 77'N	170	6	Lutitak
12	Orozko	51° 22'W	47° 69'N	540	14	Lutitak
13	Orozko	51° 22'W	47° 69'N	580	14	Lutitak
14	Gatika	50° 65'W	48° 03'N	50	20	Hararria
15	Manugas	52° 86'W	47° 87'N	430	25	Hararria
16	Manugas	52° 86'W	47° 87'N	430	25	Hararria
17	Barazar	52° 49'W	47° 66'N	620	10	Hararria
18	Barinaga	54° 32'W	47° 86'N	450	27	Igneoak
19	Barinaga	54° 32'W	47° 86'N	450	27	Igneoak
20	Ajangiz	52° 76'W	47° 95'N	80	20	Igneoak

Landaketa bakoitzean 50 m-ko trantsektuak ezarri ziren, laginketaren norabide-landaketaren hileren berdina ez zela ziurtatuz. Bosna metroka zuhaitzik hurbilena bilatu zen. Trantsektuaren puntua eta zuhaitzik hurbilena batzen zituen ardatzean adaburuaren kanpoaldeko herenean, sonda pedologiko batekin lurzoruaren sakonera totala neurtu zen. Horrez gain, drenaje txarraren edo horizonte urpetuen adierazleak ere begiratu ziren. Lurzoruaren lehen 25 cm-en azpi-laginak hartu ziren, A horizontea gainontzekotik bereiztuz.

Landaketa bakoitzeko lurzoru laginak 35° C-tako berogailu batean lehortu ziren, erabat lehortu eta pisu egonkorra lortu arte, ondoren almerizean xehetu eta 2 mm-ko bahetik iragazi ziren. Bai C potentziala eta bai N mineralizazioa kalkulatzeko garaian ukigabeko lurzoru laginek berezko baldintzetan gertatzen denaren ideia zehatzagoa ematen badigute ere (Cabrera & Kissel, 1988a, b), eraldatutako laginek (adb. lehorrak eta xehetuak) hainbat abantaila eskeintzen dituzte: i) laginketa hainbat puntu ezberdinetan ahalbidetzen du aldakortasun espazialaren batzbestekoa lortzeko, ii) aztertu beharreko laginen kopurua murrizten du ekosistemaren errepresentagarritasuna zalantzan jarri gabe, iii) laginen hasierako prozesuan malgutasuna baimentzen du, era honetan berehalako hozkailuratzeari ekiditen baita eta iv) urtarotasunak sorturiko arazoak ere baztertu egiten ditu (Franzluebbers, 1999).

2.1. Analisi kimikoak

pHa CG 712 (SCHOTT-GERATE) pH-metroaz neurtu zen 2,5eko proportzioan ur/lur suspentsioan. Materia organikoa eta nitrogeno totala Walkey eta Kjeldhal-en metodoen bitartez. Elkartruke konplexuko katioiak azetato amonikoz erauzi ziren pH 7an. Ca^{2+} eta Mg^{2+} kantitateak absortzio atomikoz kalkulatu ziren eta K^+ eta Na^+ ugar igorpen bidezko espektrofotometriaz. Elkartruke kationikorako gaitasuna eta Al^{3+} saturazio-portzentajea tanponatu gabeko BaCl_2 -tan (pH= 6,4) disolbatuz eta ondoren titulatu ziren.

2.2. Karbonoaren, nitrogenoaren eta fosforoaren mineralizazioa

Karbonoaren mineralizazioa 10 gr-ko pisu lehorreko azpilaginetan kuantifikatu zen. Laginak ur distilatuz hezatu ziren gutxi gora-behera poroen %50 urez bete arte eta 0,5 dm³-tako ontzi hermetikoetan 30°C-tara ilunetan inkubatu ziren 42 egunez (Gonzalez-Prieto, 1996; Chang, 1997; Villegas-Panga, 2000). Ontzietan NaOH-dun 0,2 N alkali-tranpak ezarri ziren, ekoiztutako CO₂ kantitatea HCl 0,1 N-z baloratu ahal izateko (Niklinska et al., 1999). Neurketak 3, 7, 14, 21, 28, 35 eta 42. egunetan egin ziren, horretarako bakoitzean alkali-tranpak ordezkatu eta ontziak 15 minutuz zabalik mantentzen ziren arnasketa aerobikoa izan zedin (Prescott et al., 2000). Lurzoru lagin bakoitzeko hiru erreplika burutu ziren. Arnasketa tasaren emaitzak mg CO₂ kg⁻¹ d⁻¹ ematen dira eta arnasketa metatuenak mg CO₂ kg⁻¹-tan.

Nitrogenoaren mineralizazio garbia, inkubatu ondorengo eta aurretiko amonio eta nitrato formako nitrogenoaren arteko diferentzia legez kalkulatu zen (Nadelhoffer et al, 1984). Lurzoruen erauzketa egiteko KCl 2 M erabili zen; amonioa eta nitratoa kalkulatzeko erabilgarria delako eta gainera, lortzen den erauzkina hainbat hilabetetan hozkailuan gordeta egonkorra delako (Bremner & Keeney, 1966; Selmer-Olsen et al., 1971). 100 ml-ko ontzi batetan pisu-lehorreko 10 gr lagin eta 50 ml KCl 2 M ordu betez irabiatu ziren. Gainjalkina garbi egon arte itxaron ondoren (orokorrean 15-30min), Whatman N°42 paper-iragazkitik iragazi eta analisiak burutu arte erauzkinak hozkailuan 4°C-tan gorde ziren.

Amonio eta nitrato formako nitrogeno kantitateak neurtzeko, amonioarentzako indofenol-urdinaren metodoa (Solorzano, 1969) eta nitratoarentzako espektrofotometria ultramarearena (Cawse, 1967) erabili ziren. Lurzoru bakoitzeko bi erreplika burutu ziren.

Fosforoaren mineralizazioa ezagutzeko bi erauzketa-metodo erabili ziren, Olsenena (0,05 N NaHCO₃, pH 8,5, 1:10 soil/solution ratio, 30 minutuz irabiatuz) eta HCl %2,5 metodoa (1,25 gr lurzoru, 50ml HCl, 3 orduz 80°C-tara irabiatuz). Olsen metodoak bikarbonato sodikoa erabiltzen du erauzle gisa. Bikarbonato-ioia prezipitatu egiten da CaCO₃ sortzean eta ondorioz, oso erabilgarria da P-Ca forma disolbagarrienak erauzteko. Bestalde, metodo honekin erauzitako fosforoak ez du korrelazio sendoegia aurkezten landaketaren erantzunarekin (Methods for soil analysis). HCl 2,5% metodoak, P-Ca formarik basikoenen (ad. hidroxiapatitak) disolbagarritasuna emendatzen du. Horrez gain, P-Al eta P-Fe taldeetako fosforoa ere erauzten du, erreazio abiadura askoz geldoagoa izan arren.

Bi metodoen bidez erazitako fosforoa kuantifikatzeko molibdato amonikoa erabili zen. Molibdenoak ortofosfatoarekin erreakzionatzen du 430 nm-tan espektrofotometriaz neur daitekeen koloredun konplexu bat eratuz.

2.3. Fosfatasa azidoaren jarduera

Fosfomonoesterasa azidoaren (EC 3.1.3.2.) jarduera neurtzeko, 1 gr lurzoru, 0,25 ml tolueno eta 4 ml p-nitrofenilfosfato tetrahidrato disodio tanpoia 20 mM erabili ziren. 37°Ctan 5 minutuz irabiatu ondoren erreakziorako sustratua zen p-nitrofenil fosfatoa gehitu zen. 60 minutu igaro ostean, erreakzioa gelditzeko 1 ml CaCl₂ eta 4 ml NaOH 0,5 M gehitu ziren. Soluzioak Whatman N°2 paper-iragazkitik iragazi eta 410 nm-ko μ -n espektrofotometroan neurtu ziren. Fosfatasa azidoaren jarduera Dick (1996)-en ekuazioaren bidez kalkulatu zen:

$$\text{Act. Fos.} = \frac{5 \cdot (A_{410} - A_{410B1} - A_{410B2}) \cdot F \cdot f}{139,1 \cdot P_m \cdot T}$$

Act.Fos. = fosfatasa azidoaren jarduera ($\mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

A_{410} = erazukinaren absorbantzia 410nm-ko uhin-luzeran.

A_{410B1} = lurzorurik gabeko kontrolaren absorbantzia 410nm-ko uhin-luzeran.

A_{410B2} = sustraturik gabeko kontrolaren absorbantzia 410nm-ko uhin-luzeran.

F = 4-nitrofenolaren kalibrazio zuzeneko faktorea (mg 4-nitrofenol l⁻¹).

f = diluzio-faktorea.

P_m = laginaren pisua (g).

T = erreakzioaren iraupena (h).

2.4. Estatistika

Datuen estatistika-tratamendua Statview 5.0-aren bidez burutu zen. Lurzoruko aldagai fisiko-kimikoetan eta biologikoetan litologiaren arteko ezberdintasunak ikeritzeko, bide bakarreko ANOVA eta Fisher' s PLSD post hoc testa erabili genituen. Datuen banaketa normala Kolmogorov-Smirnof normalitate-frogaren bidez testatu zen eta F_{max} testaren bidez bariantzen homegeneitatea. Lurzoruen arnasketatasaren eragileak determinatzeko, behin korrelazio sinpleak burutu ostean, Osagai Nagusien Analisia (ONA) erabili zen. Anlisi horretan, soluzio ortogonalak aukeratu genuen eraikitako bi faktoreak elkarrekiko independenteak izateak zentzu ekologikoan interpretazioak ulergarriagoak zirelako. Varimax errotaioa erabili zen aldagaien arteko bariantza maximoa izan zedin eta era honetan, beraien arteko erlazioak garbiago ikusi ahal izateko. A eta B horizonteen arteko diferentziak aztertzeko t-testa erabili zen. Anlisi estatistikoen esangarratasun maila $p < 0,05$ ean ezarri zen.

3. EMAITZAK ETA EZTABAIDA

3.1. Aldagai fisiko-kimikoak

Litologia ezberdinetako lurzoruen ezaugarri fisiko-kimikoak ondorengo taulan adierazten dira (2. taula). Lurzoruen partikulen tamainaren analisisian bariantza

nabarmena behatzen da A horizonteko harea kantitate totalean (12-85 %), buztinean (6-46 %) zein lohian (9-44 %). Hararrietan aurkitu da harea lodieren portzentajerik altuena eta buztin portzentajerik baxuena, beste hiru litologiek in ezberdintasun esanguratsuak dituztelarik. Bestalde, kararriak dira buztin edukirik altuena duten lurzoruak. Lurzoruen B horizonteko goialdeko partikulen bariantza ere nabaria da harea kantitate totalean (10-83 %), buztinean (7-48 %) eta lohian (11-41 %), horrez gain, partikulen banaketa A horizontekoaren antzekoa da: kararriek dute buztin portzentajerik altuena eta harea portzentajerik baxuena eta alderantziz gertatzen da hararrietan. Bi horizonteen artean ez da ezberdintasun esanguratsurik aurkitzen harea kantitate total, buztin edo lohi portzentajearen.

Lurzoruen A horizonteko pH-ak 6,20 eta 3,40 tartean mugitzen dira, batzbesteko pHrik altuena kararriek erakusten dutelarik 5,17 (0,65)-ko balioaz. Litologia ezberdinen artean pH ezberdintasun esanguratsua behatzen da, hararriak eta lutitak direlarik pH antzekoenak eta era berean, baxuenak 3,5 (0,09) eta 3,68 (0,24) erakusten dituztenak. Oro har, kaltzio kantitatea da pH-arekin erlazio zuzenena erakusten duen aldagaia ($r^2=0,914$ $p < 0,001$) eta honi dagokionean, kararriek beste hiru litologiek in ezberdintasun nabariak erakusten dituzte. Muxikako (3) landaketaren A horizontearen eta Zugastietako (7) B horizontearen goialdeko zatiaren pH-ak 3,80 eta 3,70 izanik hurrenez hurren, kararri oso garbituak edo deskarbonatuak direla ondariozta dezakegu, beraz kararri baino lutita kontsideratzea hobe dela pentsatu izan dugu. Bestalde, B horizonteko pH-ak 6,40 eta 3,40 tartean mugitzen dira, baliorik altuenak kararriak erakusten dituztelarik eta baxuenak hararriak.

Lurzoruko materia organikoan (M.O.%) ez da ezberdintasun esanguratsurik behatzen litologiaren arabera, baina bai bi horizonteen artean. A horizontean batz bestea 1,65 aldiz materia organiko gehiago dago B horizontearen goialdeko baino; hau bestalde, guztiz aurre esangarria da materia organikoaren sarrera nagusia landare hondakinak baitira. Materia organikoaren C/N erlazioan ere ez da diferentziarik behatzen A horizontean litologiaren arabera, baina B horizontearen goialdean C/N baxuena kararriek erakusten dute, beste hiru litologiaren baino bi aldiz baxuagoa izanik. Zugastietako (7) landaketak ez du materia organiko metaketa nabarmenik erakusten, baina oso kontrako C/N erlazioa (23,97) du. Hogeitabostetik gorako karbono nitrogeno erlazioak komunitate deskonposatzailearen mineralizazio garbi eza edo immobilizazioa sortzen ditu (Paul & Clark, 1996).

2. Taula. Lurzoruen A horizontetako ezaugarri fisiko-kimikoak

Lagin zbk.	Ehundura	pH	M.O.%	N%	C/N	Ca ⁺² (meq/100g)	Mg ⁺² (meq/100g)	K ⁺ (ppm)	P Olsen (ppm)	P HCl (ppm)
1	Buztin limotsua	6,20	5,31	0,35	8,80	24,40	1,32	143	0,40	400,61
2	Buztin limotsua	5,35	4,30	0,33	7,56	15,04	1,00	86	0,00	138,70
3	Frankoa	3,80	3,46	0,18	11,15	1,59	0,52	81	0,00	68,73
4	Franko buztintsua	5,00	3,31	0,21	9,14	7,57	0,91	95	2,20	163,64
5	Franko buztin limotsua	4,80	2,03	0,11	10,70	6,86	1,08	73	0,00	79,30
6	Frankoa	4,50	3,50	0,14	14,50	3,27	0,71	93	0,20	95,40
8	Franko buztin hareatsua	3,40	5,67	0,29	11,34	0,62	0,31	95	0,00	252,88
9	Buztin hareatsua	3,50	4,34	0,16	15,73	0,69	0,52	82	1,60	156,08
10	Franko buztintsua	4,00	3,26	0,21	9,00	3,35	0,48	58	3,70	156,57
11	Frankoa	3,70	5,23	0,21	14,45	1,88	0,44	81	0,20	174,41
14	Franko buztin hareatsua	3,60	3,53	0,19	10,78	0,47	0,34	66	0,08	153,20
15	Hareatsua	3,40	3,49	0,12	16,87	0,42	0,15	31	0,00	134,94
16	Franko hareatsua	3,45	3,01	0,13	13,43	0,36	0,14	53	0,00	77,37
17	Franko hareatsua	3,55	5,85	0,23	14,75	2,96	0,30	59	1,40	192,21
18	Franko hareatsua	4,35	9,46	0,65	8,44	3,57	1,72	127	3,49	466,82
19	Franko buztintsua	4,10	6,71	0,41	9,49	2,18	1,25	128	3,60	148,75
20	Frankoa	3,95	4,58	0,19	13,98	1,26	0,76	87	2,80	283,13

3. Taula. Lurzoruen B horizontetako goialdeko zatiaren ezaugarri fisiko-kimikoak

Lagin zbk.	Ehundura	pH	M.O.%	N%	C/N	Ca ⁺² (meq/100g)	Mg ⁺² (meq/100g)	K ⁺ (ppm)	P Olsen (ppm)	P HCl (ppm)
1	Buztin limotsua	6,40	3,10	0,23	7,82	22,13	0,92	81	0,00	163,01
2	Buztin limotsua	5,40	2,39	0,21	6,60	12,00	0,77	61	0,00	99,24
4	Franko buztintsua	6,00	1,19	0,11	6,28	10,10	0,91	77	0,00	90,72
7	Franko buztin hareatsua	3,70	1,24	0,03	23,97	0,45	0,12	40	0,00	53,83
9	Buztin hareatsua	3,50	4,34	0,16	15,73	0,69	0,48	82	1,60	169,70
10	Franko buztintsua	3,90	2,12	0,14	8,78	1,89	0,26	43	1,19	98,56
11	Frankoa	3,70	2,20	0,10	12,76	0,83	0,19	49	0,00	228,90
12	Franko buztintsua	3,70	3,16	0,18	10,18	0,59	0,28	96	6,08	159,46
13	Franko buztintsua	3,70	4,14	0,19	12,64	0,56	0,26	115	0,00	142,16
14	Franko buztin hareatsua	3,50	1,94	0,12	9,38	0,6	0,15	43	0,00	135,08
15	Franko hareatsua	3,40	2,56	0,09	16,50	0,02	0,03	19	0,00	142,08
17	Franko hareatsua	3,40	1,89	0,08	13,70	0,49	0,07	19	0,00	139,84
20	Frankoa	3,90	3,20	0,11	16,87	0,69	0,49	50	1,16	254,63

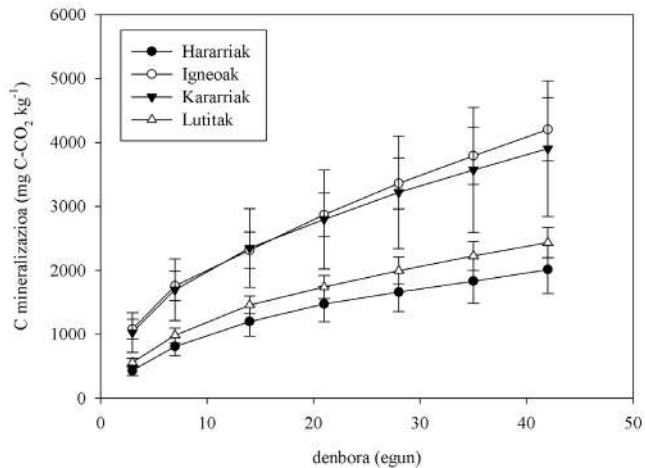
3.2. Aldagai biologikoa

3.2.1. Arnasketa mikrobianoa

3.2.1.1. Arnasketa mikrobianoaren dinamika

Karbonoaren mineralizazio metatuak garapen kurbilinearra erakusten du 42 egunetako inkubazioan (1. irudia). Lurzoru guztiak patroi bera jarraitzen dute eta beraien arteko ezberdintasunak nabariak dira. CO₂ askapen handiena hasierako egunetan ematen da, erraz mineralizagarria den materia organikoaren murrizpen azkarra dela eta. Gainerako inkubazioan hazkuntza linear geldoagoa behatzen da. Inkubazioaren baldintzak mendikoak baino onuragarriagoak direnez, 30 C^o eta hezetasun maila konstantea, luzarora extrapolatutako emaitzek ez dute benetako materia organikoaren galera adieraziko baina lurzoru ezberdinak konparatzeko baliagarria da.

1. Irudia. A horizonteko lurzoruko mikrobio biomasak 42 egunen buruan askatutako karbono metatuaren batz besteko balioak eta errore estandarrak litologia ezberdinetarako



Karbonoaren mineralizazio zinetika 1972an Stanford & Smith-ek konpartimendu bakarreko modelo exponentzial negatibo bezala definitu zuten:

$C_t = C_o (1 - e^{-kt})$ non C_t arnasketa mikrobiano metatua, C_o potentzialki mineralizatu daitekeen C-a, k mineralizazio konstantea eta t denbora egunetan den. Baina honez gain, beste hainbat modelo ezberdin argitaratu dira (Juma et al., 1984; Jones, 1984; Bonde & Rosswall, 1987; Bonde et al., 1988). Hori dela eta, lurzoruko C organikoaren mineralizazioaren denboran zeharreko garapena ezagutzeko balio experimentalak hobekien doitzen ziren modelo zinetikoa aurkitu nahi izan da. Hogeitamar lurzoru testatu dira ekuazio ezberdinetarako, emaitzik onenak ekuazio exponentzial negatiborako lortu direlarik (2. irudia eta 3. taula). Basondoko (9) eta Zugastietako (7) B horizonteko lurzoruak ez dira egokiro doitzen ekuazio ez-linear exponentzial negatibora (4. taula).

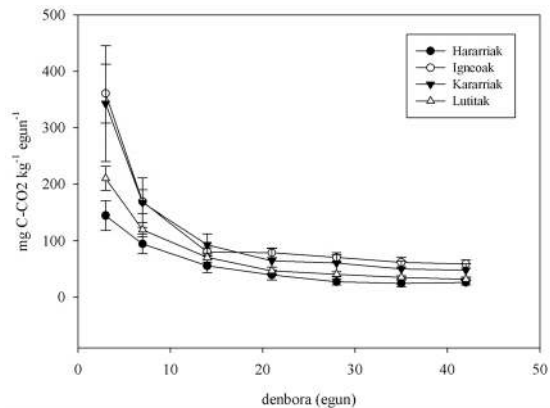
4. Taula. Ezkerrean, A horizonteko eta eskuinean B horizonteko laginen ekuazio ez-linear exponenzial negatiboarentzako parametroak

Lagina	C ₀	k	r ²	Lagina	C ₀	k	r ²
(1) Urigoiti	490,48	0,046	0,801 **	(1) Urigoiti	289,20	0,056	0,835 **
(2) Urigoiti	326,83	0,047	0,845 **	(2) Urigoiti	152,10	0,049	0,807 **
(3) Muxika	146,78	0,048	0,814 **	(4) Gerekiz	58,61	0,05	0,899 **
(4) Gerekiz	130,43	0,043	0,671 *	(7) Zugastieta	35,42	0,03	0,325 e.e.
(5) Mendata	85,20	0,039	0,794 **	(9) Basondo	51,27	0,034	0,438 e.e.
(6) Nabarniz	165,96	0,050	0,805 **	(10) Abadiño	68,86	0,05	0,801 **
(8) Sollube	168,24	0,044	0,935 ***	(11) Abadiño	114,82	0,066	0,879 **
(9) Basondo	135,46	0,040	0,795 **	(12) Orozko	152,35	0,05	0,832 **
(10) Abadiño	129,22	0,045	0,710 *	(13) Orozko	132,44	0,043	0,874 **
(11) Abadiño	240,18	0,049	0,884 **	(14) Gatika	53,9	0,044	0,735 *
(14) Gatika	116,55	0,050	0,805 **	(15) Manugas	69,02	0,053	0,899 **
(15) Manugas	89,59	0,047	0,808 **	(17) Barazar	65,78	0,034	0,774 **
(16) Manugas	84,57	0,040	0,740 *	(20) Ajangiz	106,12	0,043	0,766 **
(17) Barazar	199,55	0,044	0,892 **				
(18) Barinaga	300,15	0,042	0,726 *				
(19) Barinaga	208,91	0,033	0,680 *				
(20) Ajangiz	184,55	0,043	0,770 **				

C₀ = potentzialki mineralizagarria den karbonoa eta k = erreakzioa burutzen den tasaren konstantea. * p<0,05, ** p<0,01, *** p<0,001 eta e.e., ez esanguratsua.

Lurzoru tenperatura eta hezetasuna direnez CO₂ fluxua kontrolatzen duten faktore garrantzitsuenak (Raich & Schlesinger, 1992; Raich & Potter, 1995; Davidson et al., 1998), eta biak baldintza egokietan mantendu direnez, lurzoruen arnasketan katalizatzen den erreakzioaren abiadura (k) ez da ezberdintasun esangarririk behatzen litologiaren batz bestekoetan. Bestalde, k konstante honek A horizontetaren sakonerarekin erlazio negatiboa erakusten du (r² = 0,48 p<0,01), izan ere A horizontetako sakonagoa duten lurzoruek erreakzio abiadura baxuagoa dute gutxiago berotzen direlako eta horrenbestez, libixibazioz galtzen diren elikagaiak ere gutxiago dira.

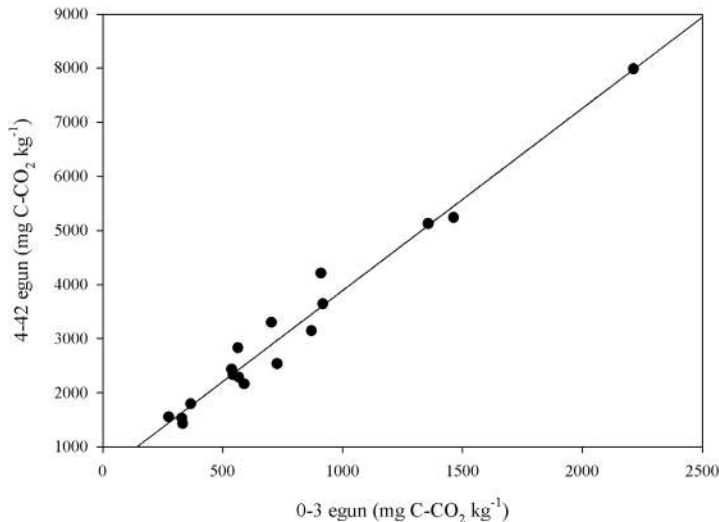
2. Irudia. A horizonteko lurzoruko mikrobio biomasaren C mineralizazio-tasen batz besteko balioak eta errore estandarrak litologia ezberdin bakoitzeko



Arnasketa-tasarik altuenak lehen hiru egunetan ematen dira $738 \text{ mg CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ egun}^{-1}$ delarik maximoa eta $92 \text{ mg CO}_2\text{-C kg}^{-1} \text{ egun}^{-1}$ minimoa, biak karrietan behatzen direlarik. Zientzialarien artean aspalditik onartua izan da partikula finek lurzoruko materia organikoa babesten dutela (adb. Sorenhen, 1981; Hassink, 1994b) eta beraz, lurzoru buztintsuen ehundura finak mineralizatutako C eta N kantitatea murrizten duela (Coté et al., 2000). Bestalde, ikusmiratutako lurzoruetan buztin kantitate eta arnasketaren arteko erlazioa positiboa da, hau lurzoruak $<2\text{mm}$ -ko bahetik pasatzean, buztin agregatuetan lotutako materia organikoa askatu egin delako izan daiteke. Arnasketa basalerantz hurbiltzen doazen heinean, litologia ezberdinetako lurzoruen arteko ezberdintasunak hasieran legez mantendu egiten dira.

CO_2 askapenik handiena lehen hiru egunetan ematen dela ikusirik, lehen hiru egunetan mineralizatutako karbonoaren (CMIN_{0-3d}) eta gainontzeko egunetan mineralizatutako karbonoaren (CMIN_{4-42d}) arteko erlazioa barrendatu nahi izan da, horretarako korrelazioak eta erregresioak burutuz. Lehen hiru egunetako arnasketak %90ean 42 egunetan ematen dena azaltzen du (3. irudia). Franzluebbers et al.-ek 2000. urtean antzeko korrelazioak lortu zituzten eta lehen hiru egunetako fluxu nagusiak isla zezakeenaren bi erantzun eman zituzten. Batetik populazio mikrobianoaren dinamika adierazten zuela azpimarratu zuten, laginak lehortearen ondorioz (Sorensen, 1974) eta urez hezetzearan sorturiko txoke osmotikoaren ondorioz (Kieft, et al., 1987) hiliko mikroorganismoak ere dinamikan barneratuz eta horrez gain, bizirik iraun zuten mikroorganismoen lixatutako metabolitoetan oinarritutako hazkuntza fluxua (Jenkinson, 1966). Eta bestetik, materia organikoaren kalitatearen adierazle zen C mineralizazio-tasa jarraien zati bat islatzen zuela zioten (Franzluebbers et al., 2000).

3. Irudia. Lehen hiru egunetan mineralizatutako karbonoaren eta hurrengo 36 egunetan mineralizatutakoaren arteko erlazioa ($R^2 = 0,903$ $P < 0,0001$)

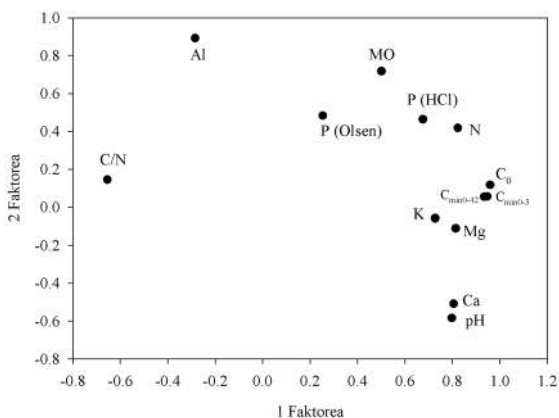


3.2.1.2. Arnasketa mikrobianoaren eta aldagai fisiko-kimikoen arteko elkarre- kintzak

Lurzoruko mikrobio-biomasaren arnasketak beste aldagai fisiko-kimikoekin duen erlazioa usmatzeko, hiru parametro hartu dira aintzakotzat. Lehen hiru egu-
netako arnasketa metatua (CMIN_{0-3 d}), inkubazio garai osoko arnasketa metatua (CMIN_{0-42 d}) eta potentzialki mineralizagarria den karbonoa (C₀). Lehen urrats legez Pearson-en korrelazio linearrak garatu dira (5. taula) eta ezaugarri hauek aldagai moduan hartuta, Osagai Nagusien Analisi (ONA) bat garatu da guztien arteko harreman multibariantea ezagutzeko asmoz. Ezaugarri fisikoek hein batean lurzorua nolakotasun kimikoa finkatzen dutenez, analitiek bereiz mantendu dira, halere ONAn sortutako faktoreekin duten hantazinoa ikertu da (6. taula). 5. irudian lurzoru bakoitzaren kokapena ikus dezakegu ONAren bi faktoreekin eraikitako planoetan.

5. Taula. Lurzoruen arnasketaren hiru parametroek beste ezaugarri fisiko-kimiko batzuekin erakusten duten korrelazioa A horizontean, non * p < 0,05, ** p < 0,01, * p < 0,001 eta e.e. ez esanguratsua**

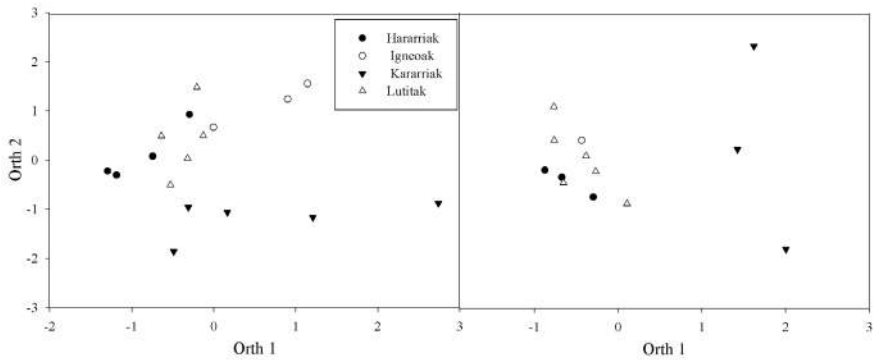
	CMIN _{0-3 d}	CMIN _{0-42 d}	Co
Harea fina (%)	-0,627 **	-0,617 **	-0,581 *
Buztina (%)	0,588 *	0,604 **	0,564 *
Lohia (%)	0,547 *	0,530 *	0,554 *
pH	0,704 **	0,671 **	0,681 **
MO (%)	0,504 *	0,601 **	0,551 *
N (%)	0,731 ***	0,800 ***	0,739 ***
C/N	-0,472 *	-0,481 *	-0,448 e.e.
Ca ⁺² (meq/100g)	0,764 ***	0,752 ***	0,779 ***
Mg ⁺² (meq/100g)	0,685 **	0,680 **	0,618 **
K ⁺ (ppm)	0,592 *	0,641 **	0,604 **
Al ⁺³ (meq/100g)	-0,220 e.e.	-0,163 e.e.	-0,200 e.e.
P HCl (ppm)	0,739 ***	0,722 ***	0,695 **



**4. Irudia. A horizonteko alda-
gai fisiko-kimiko eta arnas-
keta parametroak erabiliz
egindako ONAk eraikitako
faktoreen irudikapen grafikoa**

MO= materia organikoa (%), N= nitro-
genoa (%), CMIN₀₋₃= arnasketa meta-
tua (mg CO₂-C kg⁻¹), Ca, Mg, eta Al
=kaltzio, magnesio, eta aluminio
kantitateak dira meq-etan, K= pota-
sioa ppm-etan, P= Olsen fosforoa
ppm-etan P_{HCl}= HCl %2,5 fosforoa
ppm-etan.

5. Irudia. Ezkerrean, A horizonteko eta eskuinean, B horizonteko aldagai fisiko-kimiko eta arnasketaren hiru parametroak erabiliz egindako ONAK eraikitako faktoreen irudikapen grafikoak laginen kokapen espaziala adieraziz



6. Taula. A horizonteko lurzoru parametro ezberdinek duten korrelazioa ONAn sortutako faktore ortogonal biekkin

	Orth 1	Orth 2
Harea totala (%)	-0,782 ***	0,203 e.e.
Buztina (%)	0,793 ***	-0,157 e.e.
Lohia (%)	0,645 **	-0,216 e.e.

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ eta e.e. ez esanguratsua.

Lehen faktoreak bariantzaren %55a eta bigarrenak %20a azaltzen dute. Lehen ardatzean eragiten duten aldagai nagusiak batetik, C/N erlazioa eta bes-tetik, pHaz, Ca^{+2} az, Mg^{+2} az, K^{+} az, nitrogeno totalaz eta arnasketaren parame-troez osotutako taldea dira (4. irudia). Ardatz honen eraiketan pisurik nabarmena duen aldagaia pHa da, hararriak eta kararriak bi muturretan kokatzen dire-larik. Kararrien multzoa ordea, ardatz osoan barreiatuta agertzen da, taldearen heterogeneotasuna bistaratuz. Bigarren faktorean intzidentzia duen aldagaia batez ere materia organikoa da. A horizonteko kararriak ardatzaren alde negati-boan kokatzen dira materia organiko eduki baxuenak dituztelarik eta lurzoru igneoak, bestalde, ardatzaren mutur positiboan aurkitzen dute beraien lekua %9,46 eta %6,71ko materia organiko edukiaz, altuenak direlarik.

B horizonteko laginen lehen ardatzarekiko banaketan ere pHak bistako eragi-na du, kararriak eskuin muturrean aurkitzen ditugu eta ezker muturrean berriz, hararriak eta lutitak nahastuta. Behe horizonte honetan materia organikoaren edukia baxuagoa da eta horregatik, bigarren ardatzean ez du A horizontean bezain besteko garrantzia. Ardatz honetan pisu gehien erakusten duen aldagaia arnasketa metatua da ($r = 0,866$ $p < 0,001$). Kasu honetan ere kararriak ardatz osoan zehar barreiatuta agertzen dira, baina oro har hararriak dira bigarren arda-tzaren alde negatiboan kokatzen direnak eta arnasketa maila baxuena dutenak.

Beraz, karbonoaren mineralizazioari bagagozkio, ONAk lurzoruen arnasketak pHarekiko eta materia organikoarekiko duen lotura adierazi du. pHa, lurzoru ezaugarri kimikoen adierazlea da eta 6. taulak ezaugarri hauek lurzoruaren ehundurarekiko duten mendekotasuna egiaztatu du. Bestalde, materia organikoaren eragina bi eratakoa izan daiteke, batetik materia organikoaren kantitateak muga dezake arnasketa mikrobianoa eta bestetik, materia organiko horren kalitateak, hots C/N erlazioak.

3.2.1.3. Kantitatea ala kalitatea?

Litologiaren arabera lurzoruen anasketa-tasa ezberdina denentz ezagutzeko ANCOVAk garatu dira kobariante legez materia organikoa eta C/N erlazioa erabiliz. Materia organiko kantitatearen eragina ezabatu ostean, hararriek, kararri eta igneokin estatistikoki ezberdintasun esanguratsuak mantentzen dituzte, baita lutitek kararri eta igneokin ere (7. taula), baina C/N erlazioaren eragina kentzean estatistikoki ezberdintasun esanguratsuak desagertu egiten dira. Egia esan, estatistikoki erkatuz gero, C/N erlazioa eta litologiaren arteko interakzioa ez da esanguratsua izan. Halere, C/N erlazioak beste aldagai kimikoekin eta arnaske-tarekin ere erlazio negatiboa ukan du eta litologiaren araberako banapen bat jarraitzen du (5. irudia).

Horrenbestez, litologiaren arnasketa-tasen arteko ezberdintasunak C/N erlazioaren atarramendu direla ondoriozta dezakegu. Materia organikoaren kalitatea berriz, jarduera biologikoak eraldatuko du, jarduera biologiko sendagoek C/N erlazio baxuagoak emango dituztelarik. Azken finean, litologiak lurzoruaren fisika-kimika mugatzean mikrobio-biomasaren jarduera determinatzen duela pentsa genezake eta jarduera honetatik askatutako elikagai kantitateak landarearen hazkuntzan izan dezakeen eragina dela eta ekoiztutako orbelaren C/N erlazioan eragin.

7. Taula. Lehen hiru egunetako arnasketen arteko diferentziak aztertzeko garatutako ANCOVA, kobariante legez materia organikoa erabiliz

a)

	Askatasun graduak	F-balioa	p-balioa	power
Litologia	3	4,853	0,0282	0,733
M.O. (%)	1	9,923	0,0117	0,810
Interakzioa	3	8,189	0,0061	0,932

b)

	Kobariantea (M.O. %)
Hararriak, Igneoak	**
Hararriak, Kararriak	**
Hararriak, Lutitak	e.e.
Igneoak, Kararriak	e.e.
Igneoak, Lutitak	*
Kararriak, Lutitak	*

Fisher's PLSD post-hoc testaren emaitzak. * p<0,05, ** p<0,01, *** p<0,001 eta e.e. ez esanguratsua.

3.2.1.4. A eta B horizonteen arteko aldakortasuna

A eta B horizonteak bereiztu ahal izan diren lurzoruetan, beti ere C mineralizazioa handiagoa izan da A horizontean. A horizonteen arnasketa kararrietan 1,6 aldiz handiagoa da B horizontearena baino, lutitetan 1,8 aldiz eta hararrietan 1,9 aldiz. Azpimarratzekoa da, B horizontearen goialdea aztertu zela soilik eta sakoneran barrura egin ahala diferentzia hauek bereizgarriagoak izan zitezkeela. Horizonteen arteko aktibitate biologiko bereizketa hau, beste hainbat ikerketetan behatu izan da (Lindén et al., 1992; Kanal, 1995), baina klima jakin batzutan, Mediterranearren kasu, gainazalak jasaten dituen lehorte baldintzak direla eta, geruza sakonagoetan aktibitate biologiko handiagoa aurkitzen da (Rovira & Vallejo, 1997). A horizontean aktibitate biologiko handiagoa emateak lurzoru horren kudeaketa diseinatzerakoan inplikazio garrantzitsuak ditu, A horizontea galduz gero elikagai iturri nagusia desagertuko bailitzake.

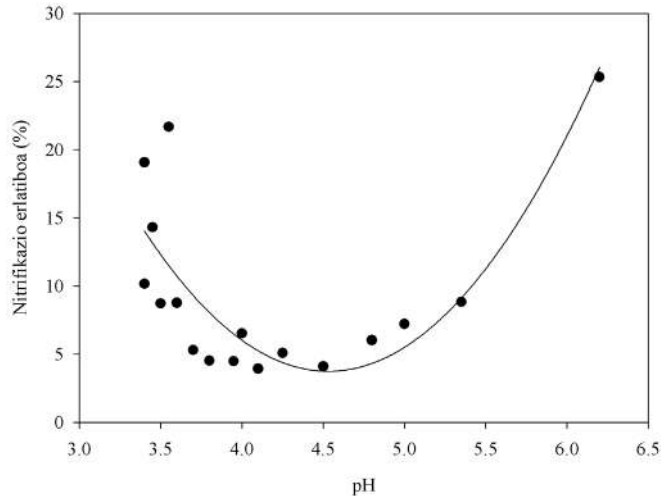
3.2.2. Nitrogenoaren mineralizazio mikrobianoa

Nitrogenoaren zikloan materia organiko legez datozen sarrerak eta lurrazpian ematen diren mineralizazioa (amonifikazioa + nitrifikazioa + desnitrifikazioa) eta immobilizazioa hartu behar dira kontuan batik bat. Aztertutako lurzoruetan materia organikoa eta nitrogeno totala guztiz erlazionatuta ($r^2=0.584$ $p<0.001$) dautu, beraz materia organikoaren galerak nitrogeno mineralizagarria ere murriztu egingo luke (Sands, 1982; Flinn et al., 1985). Inkubazio garaian lurzoruen A horizontean gehien bat amonio formako nitrogenoa sortu da litologia guztietan, hararrietan, kararrietan eta lutitetan gutxi gora-behera 5 aldiz handitzen da $\text{NH}_4^+\text{-N}$ kantitatea eta igneotan 9 aldiz. Nitrato formako nitrogenoaren ekoizpena oro har, negatiboa izan da, izan ere lurzoru gehientsuenetan hasieran zegoen $\text{NO}_3\text{-N}$ kantitatea baino zeozer gutxiago aurkitu da inkubazioa bukatu ostean. Amonioaren eta nitratoaren portaera hau Piatek eta Allen-ek (1999) garatutako ikerlanean ere ikusten da, uda sasoiaren tenperatura emendio nabarmena ematen den garaian amonio ekoizpena bikoiztu egiten da eta nitratoa berriz, nahiko konstante mantentzen den arren, pixkat murriztu egiten da. Horrenbestez, garatutako ikerketa 30°C -tan burutu dela kontuan hartuta, normaltzat jo daiteke amonio emendio hau ikustea.

B horizontearen goialdean, ez da $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ekoizpen baxuagorik eman, baina kantitateak baxuagoak dira A horizontean baino. Hararrietan 3,5 aldiz amonio formako nitrogeno gehiago zegoen inkubazio ostean, kararrietan 2 aldiz eta lutitetan 3,8 aldiz. Pinudi hauek inkubazio ondorengo lurzoruetan, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ kantitatea askoz ere handiagoa da $\text{NO}_3\text{-N}$ arekin konparatuz. Nitrato ekoizpen baxuko lurzoruak, oro har lurzoru azidoak izanik, katioi basikoen immobilizazioaz gain fosforoaren prezipitazioa ere jasaten dute. Honek guztiak eragin nabariak ukan ditzake lurzoruaren emankortasunean. Carlyle et al.-ek 1990. urtean egindako ikerketan nitrifikazio gogorreko, ertaineko eta ahuleko lurzoruak sailkatu zituzten, ikusmiratutako 30 lurzoruak azken talde honetan barneratzen dira. Nitratoaren ekoizpen garbia era batean amonio eskuragarritasunaren funtzioa denez, N mineralizazioan eragiten duten faktoreek (adb. inkubazioa) era berean nitrato ekoizpena emendatzen dute. Hori dela eta, zaila da nitrifikazioan *per se* eragiten duten lurzoru ezaugarriak ezagutzeko (Carlyle et al., 1990). Arazo hau konpondu

asmoz, 42 egunetako inkubazioaren ondoren nitrogeno inorganiko eta nitratoaren arteko erlazioaren $\{NO_3-N/(NH_4^+-N + NO_3-N) \times 100\}$ neurketa alternatibo erabili da. Nitrifikazio prozesua pH eta fosforo eskuragarritasunaren mendekoa da (Verstraete, 1981; Schmidt, 1982), azidifikazioak amonioaren oxidazio prozesua eragozten du eta fosforo eskuragarritasun eskasak, mikrobio-baiomasaren garapenean duen eragina dela eta, nitratoaren ekoizpena mugatzen du.

6. Irudia. Nitrato erlazioaren neurketa alternatiboaren eta pHaren arteko erlazioa ($R^2=0,7$ $P<0,001$)



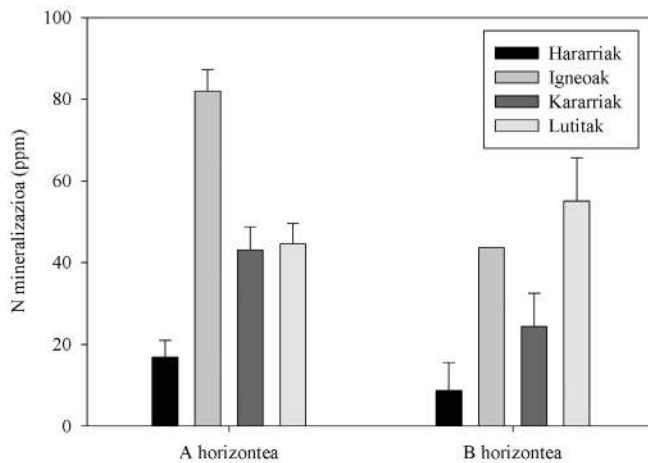
Nitrato erlazio minimoa pH 3,75-4.0 tartean ematen da. pH 3.0-3.5 artean dagoenean, lurzoruan ematen den nitrato erlazioa 5 aldiz handiagoa da pHa 4.0-4.5 artean dagoenean baino. pH basikoetan ere gauza bera gertatzen da, pH \approx 6 denean nitrato erlazioa 4 aldiz handiagoa da. Florida erdialdeko baso lurzoru hareatsuetan, 1980.ean Boomsma & Burger-ek nitrato erlazioa, 5%etik 93%ra igotzen zela pH 4,45-4,65 tarte batean ikusi zuten. Bestalde, gure lurzoruetan pH basikoenetan ere nitrato erlazioak ez du 30%a gaintitzen. Nitrifikazioa baso lurzoruetan pH 4 baino baxuagoetan ere gerta daitekeen arren, soluzio kultibatuetan pH 6 baino baxuagoetan nitrifikazio prozesua ez da martxan jartzen (Paul & Clark, 1996).

Fosforo eskuragarritasun legez neurtu den aldagaia Olsen fosforoa izanik, lurzoruen A eta B horizontetean ez du inolako loturarik mantentzen nitrato erlazio-arekin.

Nitrogenoaren mineralizazio garbia, inkubatu aurreko eta ondorengo amonio eta nitrato diferentzia legez kalkulatu da. Ikertzaile batzuk (Clarholm et al., 1993) emaitz hauek ezin direla momentuko N eskuragarritasuna kalkulatzeko erabili ondorioztatu dute, laborategiko baldintzak landakoekiko nahiko ezberdinak direlako eta inkubazioz askatutako nitrogenoak ez duelako derrigorrez landareentzat

eskuragarria den nitrogenoa adierazi nahi, baina Carlyle et al.-en (1998) emaitzek, eskualde klimatiko mugatu batetan urteko N mineralizazioa eta nitrifikazioa laborategi inkubazioetan kalkula zitekeela erakutsi zuten. N mineralizazio garbia beti ere positiboa izan da, hots inkubazio garaian nitrogenoa askatu da (7. irudia). Lutitak dira A horizontean N mineralizazio garbi handiena izan duten litologia eta igneoak baxuena, beraien arteko diferentziak nabarmenak direlarik. B horizontean bestalde, N mineralizazio netoak baxua izateko joera erakutsi du. Reich et al.-ek (1997), ANPP-k (Aboveground Net Primary Production) eta N mineralizazioak baso motarekiko baino, lurzoru mota eta materia parentalarekiko mendekotasun gogorragoa zutela zioten.

7. Irudia. A eta B horizonteko nitrogenoaren mineralizazio netoa ppm-tan



8. Taula. A horizonteetako aldagaiekin garatutako korrelazio matrizean nitrogenoaren mineralizazio garbiak erakutsi dituen korrelazioa esanguratsuak. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ eta e.e. ez esanguratsua

	N mineralizazio garbia (ppm)	
P Olsen (ppm)	0,592	*
P Olsen mineralizazio garbia (ppm)	0,556	*
Mg ⁺² (meq/100g)	0,602	**
N totala (%)	0,509	*
CMIN _{0-3 d} (mg C-CO ₂ Kg ⁻¹)	0,487	*

Lurzoruko fosforoak eta nitrogenoaren mineralizazioak duten erlazioa nahiko ezezaguna da. Floridako *Pinus elliotii* landaketetan P emendioak ez du inolako aldaketarik erakusten N mineralizazio garbian (DiStefano & Gholz, 1989), bestalde Ryan et al.-ek 1972an baldintza anaerobikoetan fosforoak, mikrobio jar-

dueraren emendio eta N immobilizazio bidez, amonioaren ekoizpena murrizten zuela ikusi zuten. *Pinus taeda* landaketetan bien arteko korrelazio negatiboak ere aurkitu izan dira (Piatek & Allen, 1999), ikerketa honetan bestalde korrelazio positiboa aurkitu da.

Nitrogenoaren mineralizazioan materia organikoaren kalitateak du eraginik garrantzitsuenak (Aber & Melillo, 1982; Berg & McClaugherty, 1989; Gower & Son, 1992; Stump & Binkley, 1993), eta arnasketaren atalean ondorioztatu den legez materia parentalak mugatutako ezaugarri kimikoen bidez C/N erlazioa determinatzen bada, landaketa bakoitzaren sustratu geologikoak ere bere eragina izango du nitrogenoaren mineralizazio tasan. Halere, ikerketa batzutan erlazio negatiboa aurkitu bada ere C/N eta N mineralizazio garbiaren artean (Prescott et al., 2000), beste batzutan, ikerketa hau barne, ez da horrelakorik aurkitu (Carlyle & Nambiar, 2001).

N mineralizazio garbia mikrobio-biomasaren arnasketarekin eta nitrogeno kantitate totalarekin erlazionatuta egotea guztiz auresangarria zen. Batetik, karbonoa eta nitrogenoa guztiz erlazionatuta aurkitzen direlako lurzoruko materia organikoan, eta bestetik, nitrogeno kantitateak mikrobio-biomasa mugatzen duelako.

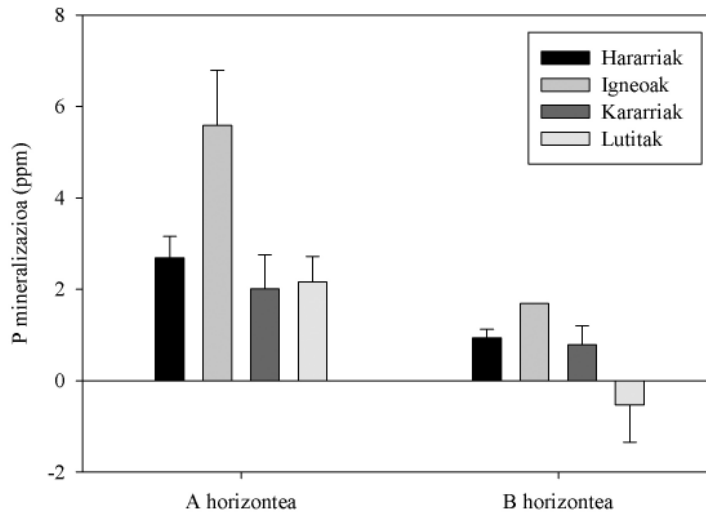
3.2.3. Fosforoaren mineralizazio mikrobianoa

Oro har, aztertutako 30 lurzoruek fosforo edukin baxuak dituzte, A horizonteko 17tik seirek 0,0 ppm fosforo Olsen erakutsi dute eta B horizonteko 13tik bederatzik ere bai. Olsen fosforo balio maximoa 3,7 ppm-takoa da A horizontean eta lurzoru berean B horizontean 1,19 ppm. Baso landaketa baten fosforo balio muga 3 ppm-takoa da (Martinez de Arano, 2002), balio horretatik behera landareak bere hazkuntza beharrianak asetzeko arazo larriak izaten ditu. Fosforo edukin baxuak eta Bizkaian pinuak egokiro hasten direla ikusita, fosforo erauzle sendoago batekin probatzea pentsatu zen, azido klorhidrikoarekin. HCl-ak %2,5eko kontzentrazioan, fosforo eskuragarriaz gain, fosfato kaltzikoan eta materia organikoa atxikita dagoena ere askatzen du eta ondorioz eskala ezberdinean dihardugu metodoaren arabera. Azido klorhidrikoz erauzitako fosforo edukinaren balio muga 150 ppm-takoa da (Schlatter com. pers.) eta gure landaketak mugan doi-doi ala mugaren azpitik dabilta, balio maximoa A horizontearentzako 466,83 ppm delarik eta 254,63 ppm B horizontearentzako.

Bi metodoekin erauzitako fosforoaren mineralizazioa inkubatu aurretiko eta ondorengo kantitateen arteko diferentzia legez adierazi da. A horizontean, Olsen metodoarekin erauzitako fosforoaren mineralizazio netoa positiboa izan da beti (8. irudia), inkubazio ostean fosforo kantitatea handiagoa da eta litologia guztietan hazkuntza esanguratsua eman da. Hazkuntzarik handiena hararrien kasuan ematen da 8,26 aldiz emendatzen delarik fosforo kantitatea ($p < 0,01$), lurzoru igneoen kasuan 2,69 aldiz ($p < 0,05$), kararrietan 4,59 aldiz ($p < 0,05$) eta lutitetan 2,96 aldiz ($p < 0,05$) emendatzen da fosforo kantitatea. B horizontean bestalde, inkubazio garaian ekoizten den fosforo kantitatea oro har baxuagoa da A horizontean ekoizten dena baino, hau B horizontean materia organiko gutxiago dago-

elako ematen da eta ondorioz fosforo iturri baxuagoa dagoelako. Lurzoru igneoetan bestalde, fosforo ekoizpen hau ez da murrizpen B horizontera sartzean, berau mantendu egiten da eta honek horizonte organiko sakonagoa dutela ondorioztatzen garamatza. Mineralizazio garbiari dagokionean, B horizontean mineralizazio baxuagoa ematen da eta lutiten kasuan negatiboa bilakatzen da, lurzoru horietan mikrobio-biomasak inobilizatutako fosforoa mineralizatutakoa baino garrantzitsuagoa da.

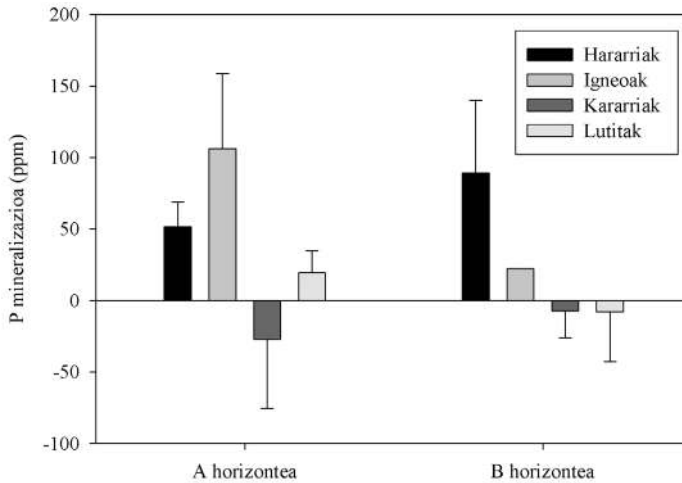
8. Irudia. A eta B horizonteko Olsen metodoaren bitartez erauzitako inkubatu aurreko eta ondorengo fosforo kantitateen diferentziak, hots mineralizazio netoa ppm-tan



Azido klorhidrikoaren metodoan, lau lurzorutan mineralizazio netoa negatiboa izan da. A horizontean, kararriak salbu mineralizazio positiboa eman da, mineralizatorik handiena lurzoru igneoetan eman delarik. B horizontean oro har mineralizazio neto baxuagoa ematen da, hararriak dira salbuespen bakarra mineralizazio emendio bat jasotzen dutelarik. Lutiten B horizonteko mineralizazioaren balantzea zero da. Kararriek bai A horizontean eta bai B horizontean ere mineralizazio negatiboa erakusten dute, baina A horizonteko mineralizazioa oraindik ere negatiboagoa da B horizontekoa baino, beraz bertan aktibitate biologiko sendoago bat ematen dela pentsa genezake, eta izan horrela da.

Olsen fosforoaren metodoan, fosforo eskuragarri emendio nabaria eman da inkubazio garaia bukatu ostean, azido klorhidrikoaren metodoan bestalde, balio muga 150 ppm-takoa dela kontuan hartuta, mineralizatu den fosforoaren proportzioa, positiboa deneko kasuetan, oso murrizta da.

9. Irudia. A eta B horizonteko azido klorhidriko 2,5% metodoaren bitartez erazitako fosforoaren mineralizazio netoa ppm-tan



9. Taula. Azido klorhidriko eta Olsen metodoen bidez lorturiko fosforoaren mineralizazio netoek beste parametro kimiko eta biologikoekin dituzten korrelazioak

	P mineralizazio netoa (HCl)	P mineralizazio netoa (Olsen)
PH	-0,566 *	0,134
Ca (meq)	-0,725 ***	0,139
N (%)	-0,167	0,589 *
N min net	0,149	0,620 **
P foliar (ppm)	0,178	0,773 ***
CMIN ₀₋₃ d	-0,637 **	0,592 *
CMIN ₀₋₄₂ d	-0,596 *	0,575 *
Co	-0,667 **	0,518 *

* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001 eta e.e. ez esanguratsua.

Korrelazio hauek ze motako loturak diren ulertzeko erregresioak burutu dira eta azido klorhidrikoaren metodoak kaltzio kantitatearekin erakusten du lotura lineal negatibo sendoena ($r^2 = 0,527$ p < 0,001), izan ere kaltzio edukin altuagoa duten lurzoruek fosfato kaltziko moduan lotutako fosforo mugiezin gehiago dute eta hau honela ez da arraroa kararriek metodo honetan mineralizazio neto negatiboa izatea. Bestalde, Olsen metodo bidezko mineralizazioak nitrogenoarekin erakusten du erlazio zuzena. Nitrogeno eskuragarritasuna altuagoa deneko lurzoruetan, fosforo mineralizazio garbi handiagoa ematen da, hau elikagaien arteko erlazioaren menpekota izan daiteke, hots elikagai baten eskuragarritasuna emendatzean beste baten lorpenera bueltatzen dira esfortzu guztiak (Treseeder & Vitousek, 2001).

Lurzoru hauen fosforoaren inguruko egoera aztertuta, landareek nolabait fosforoa eskuratzeko sistemaren bat badutela ondoriozta genezake, hori dela eta fosforoaren eskuragarritasunaren adierazle gisa lurzoruko fosfatasa azidoek joka zezaketela pentsatzera jo genuen. Fosforo organiko proportzio handiko lurzoruetan, adibidez basoetako lurzoru azidoetan, errizosferako fosfatasek oso paper garrantzitsua betetzen dute landarearen sustrai bidezko fosforo-eskuraketan (Häußling & Marschner, 1989).

Aztertutako pinudietan fosfatasa azidoaren aktibitatea beste ikerketa batzutan aurkitu denaren antzekoa izan da (adb. Polglase et al., 1992), A horizonteko aktibitate maximoa $9,5 \mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ izan da eta minimoa $1,73 \mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$. B horizontearen goialdeko aktibitatea bestalde askoz ere baxuagoa izan da, aktibitate minimoa $0,80 \mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ izan delarik A horizonteko aktibitate baxueneko lurzoru berdinarekin egokituz.

10. Taula. Fosfatasa azidoaren aktibitateen balioak lurzoru mota ezberdinetarako eta emaitz horiek lortu dituzten autoreen erreferentziak

Lurzoru mota	Fosfatasa aktibitatea ($\mu\text{mol p-nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1} \pm \text{SD}$)	Erreferentzia
Kararriak	$4,54 \pm 1,03$	Ikerketa hau
Lutitak	$5,99 \pm 2,72$	Ikerketa hau
Hararriak	$4,07 \pm 2,54$	Ikerketa hau
Igneoak	$5,01 \pm 2,34$	Ikerketa hau
Konifero baso epelak	2,2 - 20,8	Pang & Kolenko, 1986
Eukaliptu basoak	3,4 - 22,9	Polglase et al., 1992
Konifero baso epelak	0,2 - 0,3	Carlholm, 1993
Ibai-ertzetako basoak	0,2 - 2,5	Amador et al., 1997
Baso erdi-idorrak	0,14-0,15	Kramer & Green, 2000

Fosfatasa aktibitate altuena oro har materia organiko portzentajerik altuena erakusten duten lurzoruek dute, materia organikoa fosforo iturri esanguratsua dela bistaratuz. Entzima hauei esker fosforo organikoaren osagaiak landarearentzat eskuragarri diren fosforo inorganiko eran hidrolisatzen diren arren (Tarafdar & Claasen, 1988), ikertutako lurzoruetan ez da fosfatasa aktibitatearen eta fosforoaren arteko lotura zuzenik ikusten.

Fosfatasa azidoaren aktibitateak erlazio zuzen ez oso sendoa erakutsi du aluminio kantitatearekin ($r = 0,56$ $p < 0,05$). Lurzoruairekin pHa jeisten den heinean, katioak galdu eta aluminio eta burdin hidroxidoak sortzen dira, eta gutxika gutxika fosforoa Ca-fosfato mineral primariotik hasi eta Fe- eta Al-fosfato mineral sekundarioan bilakatzen da (Lajtha & Schlesinger, 1988). Era honetan lotutako fosforoa oso mugiezina da eta sarri landareentzat nahiko eskuragaitza bihurtzen da (Laverdiere, 1982; Wood et al., 1984), hori dela eta une honetan komunitate deskonposatzaileak eta landareek fosforo beharrezina somatzen dute eta fosfatasek ekoiztera bideratzen dute beraien esfortzuaren zati handi bat (Carlholm,

1993). Bestalde, lurzoru baten aluminio saturazio portzentajea baldintzatzen duten faktoreen artean ehundura dago, buztin eduki altuagoko lurzoruek aluminio saturazio portzentaje baxuagoa dute ($r^2 = 0,581$ $p < 0,001$) eta alderantzizko erlazioa harea total edukiarekin ($r^2 = 0,504$ $p < 0,01$).

Skujins (1967)-ek aurkitu bezala oso korrelazio eskasa dago entzimaren aktibitatearen eta CO_2 aren ekoizpenaren artean. Entzima hauek oso erreakzio espezifikoak katalizatzen dituzte eta gerta daiteke momentu horretan populazioaren zati txiki baten esku egotea. Horrez gain, lurzoruko entzima askoren aktibitatea osagai biotikoz eta abiotikoz osatua dago eta beraz, gerta daiteke populazio mikrobiano ez oso bideragarri bat izatea entzima abiotiko eduki altuko lurzoru batetan. Ondorioz, entzimaren aktibitatearen eta aktibitate edo biomasa mikrobianoaren arteko korrelazio baxua eman daiteke.

4. ONDORIOAK

- Bizkaiko pinudien arnasketa metatuaren garapena kurbilinearra da. Arnasketa maila baxuena eta altuena erakusten duten lurzoruak hararri eta kararrien gainean garatutako lurzoruak izan dira hurrenez hurren, eta era berean buztin portzentajearen bi muturretan kokatzen dira. Arnasketa maila hauek, hasierako arnasketa fluxuan nahiz arnasketa basalerantz hurbiltzen doazen heinean ere mantentzen dira.
- Lurzoruko mikrobio-biomasaren inkubazio garai osoko arnasketa, lehen hiru egunetan ematen denarekin kuantifikatu daiteke. Lehen hiru egunetako arnasketa fluxuan ematen diren lurzoru mota ezberdinen arteko diferentziak, inkubazioaren bukaeran ere mantendu egiten dira. Horrenbestez, neurketa honek lurzoru ezberdinak konparatzeko sasoian baliozko datu bat ematen digu.
- A horizontean mikrobio-biomasaren jarduera, karbono dioxido eran neurtuta, ia bi aldiz handiagoa da B horizontearen goialdean baino, gertaera hau guztiz auresangarria da, materia organikoaren zatirik handiena A horizontean gelditzen baita.
- Materia organikoaren eta litologiaren arteko interakzioa oso esanguratsua da eta litologiaren arteko ezberdintasunak argi eta garbi usten ditu, baina askoz ere garrantzitsuagoa da materia organiko horren kalitatea, izan ere C/N berdineko lurzoruen jarduera biologikoan ez da bereizketarik antzematen. Litologiak baldintzatutako lurzoruaren ezaugarri fisiko-kimikoek determinatuko dute lurzoru horren jarduera biologikoa eta ondorioz C/N erlazioa.
- Mineralizazioa zuhaitzaren elikadura-egoerarekin estuki erlazionatuta dagoen prozesua da, izan ere Olsen fosforoaren mineralizazioa da lurzoru parametro ezberdinen artean, zuhaitzaren fosforo foliar edukia hoberen azaltzen duena. Hau horrela, lehen hiru egunetako arnasketaren neurketa lurzoru kalitatea neurtzeko indikatzaile legez erabilgarria izan daiteke.

Arnasketa-tasarik baxuena izan duten lurzoruak hararriak izan dira eta hale-re, 144,25 mg CO₂-C kg⁻¹ egun⁻¹ askatu dituzte, horrenbestez lurzoruak karbonoaren ziklo orokorrean paper garrantzitsua jokatzeko duela esan beharrekoa da.

A horizontearen garrantzia begi bistakoa da bai baso-ekosistemaren osasun orokorrerako, bai baso-landaketan emankortasunerako eta bai karbonoaren ziklo orokorrerako.

5. BIBLIOGRAFIA

- ABER, J.D.; MELILLO, J.M. *Nitrogen immobilization in decaying hardwood leaf litter as a function of initial nitrogen and lignin content*. In: Canadian Journal of Botany, 1982, 60; 2263-2269.
- AMADOR, J.A.; GLUCKSMAN, A.M.; LYONS, J.B.; GORRES, J.H. *Spatial distribution of soil phosphatase activity within a riparian forest*. In: Soil Science, 1997, 162(11); 808-825.
- ATIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. *Nutrient cycling in forest*. In: New Phytologist, 1993, 124; 561-582.
- AZMAL, A.K.M.; MARUMOTO, T.; SHINDO, H.; NISHIYAMA, M. *Mineralization and changes in microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures*. In: Soil Science and Plant Nutrition, 1996, 42(3); 463-473.
- BAUHUS, J. *C and N mineralization in an acid forest soil along a gap-stand gradient*. In: Soil Biology and Biochemistry, 1996, 28; 923-932.
- BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R., (1996). *Ecology*. Oxford: Blackwell Science.
- BERG, B.; MCCLAUGHERTY, C. *Nitrogen and phosphorus release from decomposing litter in relation to the disappearance of lignin*. In: Canadian Journal of Forest Research, 1989, 19; 1148-1156.
- BINKLEY, D.; HART S.C. *The components of nitrogen availability assessment in forest soils*. In: Advance in Soil Science, 1989, 10; 57-112.
- BONDE, T.A.; ROSSSWALL, T. *Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems*. In: Soil Science Society of America Journal, 1987, 51; 1508-1514.
- BONDE, T.A.; SCHMURER, J.; ROSSSWALL, T. *Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments*. In: Soil Biology and Biochemistry, 1988, 20; 447-452.
- BOOMSMA, D.B.; BURGER, J.A. *Factors affecting nitrogen mineralization in an acid sandy forest soil*. In: Managing the nitrogen economies of natural and man-made forest ecosystems (Eds. R.A. Rummery & F.J. Hingston), CSIRO. Australian Land Resource Management, 1980; 250-258.
- BREMMER, J.M., KEENEY, D.R. *Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods*. In: Soil Science Society of America Journal Society of America Proceedings, 1966, 31; 466-472.
- CABRERA, M.L.; KISSEL, D.E. *Evaluation of a method to predict nitrogen mineralized from soil nitrogen under field conditions*. In: Soil Science Society of America Journal, 1988a, 52; 1027-1031.

- CABRERA, M.L.; KISSEL, D.E. *Potentially mineralizable nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples*. In: Soil Science Society of America Journal, 1988b, 52; 1010-1015.
- CARLYLE, J.C.; NAMBIAR, E.K.S. *Relationship between net nitrogen mineralization, properties of the forest floor and mineral soil, and wood production in Pinus radiata plantations*. In: Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(5); 889-898.
- CARLYLE, J.C.; LOWTHER, J.R.; SMETHURST, P.J.; NAMBIAR, E.K.S. *Influence of chemical properties on nitrogen mineralization and nitrification in podzolized sands. Implications for forest management*. In: Australian Journal of Soil Research, 1990, 28(6); 981 - 1000.
- CARLYLE, J.C.; NAMBIAR, E.K.S.; BLIGH, M.W. *Woody residue management to reduce nitrogen and phosphorus leaching from sandy soil after clear-felling Pinus radiata plantations*. In: Canadian Journal of Forest Research, 1998a, 28; 1222-1232.
- CAWSE, P.A. *The determination of nitrate in soil solutions by ultraviolet spectrophotometry*. In: Analyst, 1967, 92; 311-315.
- CHANG, S.X.; PRESTON, C.M.; MCCULLOUGH, K. *Transformations of residual 15N in a coniferous forest soil humus layer in northern Vancouver Island, British Columbia*. In: Plant and Soil, 1997, 192 (2); 295-305.
- CHAPIN III, F.S.; WALKER, L.R.; FASTIE, C.L.; SHARMAN, L.C. *Mechanisms of primary succession following deglaciation at Glacier Bay, Alaska*. In: Ecological Monographs, 1994, 64; 149-175.
- CLARHOLM, M. *Microbial biomass P, labile P, and acid phosphatase activity in the humus layer of a spruce forest, after repeated additions of fertilizers*. In: Biology and Fertility of Soils, 1993, 16; 287-292.
- COTÉ, L.; BROWN, S.; PARE, D.; FYLES, J.; BAUHUS, J. *Dynamics of carbon and nitrogen mineralization in relation to stand type, stand age and soil texture in the boreal mixed-wood*. In: Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32; 1079-1090.
- CRAWLEY, M.J., Ed. (1997). *Plant Ecology*. 2nd Editions. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- DAVIDSON, E.A.; BELK, E.; BOONE, R.D. *Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest*. In: Global Change Biology, 1998, 4; 217-227.
- DICK, W.A.; TABATABAI, M.A. *Significance and potential uses of soil enzymes*. In: Meeting, F.B. (Ed.), *Soil Microbial Ecology: Application in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, New York, 1996; 95-125.
- DISTEFANO, J.F.; GHOLZ, H.L. 1989. *Controls over net inorganic nitrogen transformations in an age sequence of Pinus elliotii plantations in North Florida*. In: Forest Science 35; 920-934.
- FARRISH, K.W.; ADAMS, J.C.; THOMPSON, C.V. *Soil conservation practices on clearcut forestlands in Louisiana*. In: Journal of Soil & Water Conservation, 1993, 48; 136-139.
- FLINN, D.W.; SQUIRE, R.O.; FARRELL, P.W. *The role of organic matter in the maintenance of site productivity on sandy soils*. In: New Zealand Journal of Forestry, 1980, 52; 229-236.
- FRANZLUEBBERS, A.J. *Potential C and N mineralization and microbial biomass from intact and increasingly disturbed soils of varying texture*. In: Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31; 1083-1090.

- FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONEYCUTT, C.W.; SCHOMBERG, H.H.; HONS, F.M. *Flush of carbon dioxide rewetting of dried soil relates to active organic pools*. In: Soil Science Society of America Journal, 2000, 64; 613-623.
- GONZALEZ-PRIETO, S.J.; CABANEIRO, A.; VILLAR, M.C.; CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T. *Effect of soil characteristics on N mineralization capacity in 112 native and agricultural soils from the northwest of Spain*. In: Biology and Fertility of Soils, 1996, 22(3); 252-260.
- GOWER, S.T.; SON, Y. Differences in soil and leaf litterfall nitrogen dynamics for five forest plantations. In: Soil Science Society of America Journal, 1992, 56; 1959-1966.
- HASSINK, J. *Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization*. In: Soil Biology & Biochemistry, 1994b, 9; 1221-1231.
- HÄUB-LING, M.; MARSCHNER, H. *Organic and inorganic soil phosphates and acid phosphates activity in the rhizosphere of 80-years-old Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) trees*. In: Biology and Fertility of Soils, 1989, 8; 128-133.
- JENKINSON, D.S. *Studies on decomposition of plant material in soil: III. Partial sterilization of soil and the soil biomass*. In: Journal of Soil Science, 1966, 17; 280-302.
- JONES, C.A. *Estimation of an active fraction of soil nitrogen*. In: Communications in Soil Science & Plant Analysis, 1984, 15; 23-32.
- JUMA, N.J.; PAUL, E.A.; MARY, B. *Kinetic analysis of net nitrogen mineralization in soil*. In: Soil Science Society of America Journal, 1984, 48; 753-757.
- KANAL, A. *Effect of incorporation depth and soil climate on straw decomposition rate in a loamy Podzoluvisol*. In: Biology and Fertility of Soils, 1995, 20; 190-196.
- KIEFT, L.T.; SOROKER, E.; FIRESTONE, M.K. *Microbial biomass response to a rapid increase in water potential when dry soil is wetted*. In: Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19; 119-126.
- KIMMINS, J.P. 1987. *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management*. 2nd Edition. Prentice Hall, New Jersey.
- KNOEPP, J.D.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr.; D.A.; CLARK, J.S. *Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use*. In: Forest Ecology and Management, 2000, 138; 357-368.
- KRAMER, S; GREEN, D.M. *Acid and alkaline phosphatase dynamics and their relationship to soil microclimate in a semiarid woodland*. In: Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32; 179-188.
- LAJTHA, K.; SCHLESINGER, W.H. *The biogeochemistry of phosphorus cycling and phosphorus availability along a desert soil chronosequence*. In: Ecology, 1988, 69(1); 24-39.
- LAVERDIERE, M.R. *Effects of phosphate additions on the charge properties of a Podzolic B horizon*. In: Canadian Journal of Soil Science, 1982, 62; 519-525.
- LINDÉN, B.; LYGSTAD, I.; SIPPOLA, J.; SOEGAARD, K.; KJELLERUP, V. 1992. *Nitrogen mineralization during the growing season. 2. Influence of soil organic matter content, and effect on optimum nitrogen fertilization of spring barley*. In: Swedish Journal of Agricultural Research. 22; 49-60.
- MARTÍNEZ DE ARANO, I. *Diagnóstico nutritivo y necesidades de fertilización de plantaciones de Pinus radiata de Bizkaia y Araba*. INFORME FINAL, Convocatoria I+D, DPA Gobierno Vasco, 2000, 43.

- MERINO, A.; EDES, J.M. *Soil fertility rehabilitation in young Pinus radiata D. Don plantations from northern Spain after intensive site preparation*. In: Forest Ecology and Management, 1999, 116; 83-91.
- MERINO, A.; EDES, J.M.; GÓZALEZ, M.J.; MARAURI, P. *Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices*. In: Forest Ecology and Management, 1998, 103; 235-246.
- MERINO, A.; GUZMÁN, O.; EDES, J.M. *Efectos de las técnicas de preparación del terreno sobre las propiedades de los suelos en plantaciones forestales*. In: Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 1998, 3-2; 347-358.
- Ministerio de Medio Ambiente & Eusko Jaurlaritza. Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995.
- NADELHOFFER, K.J.; ABER, J.D.; MELILLO, J.M. *Seasonal patterns of ammonium and nitrate uptake in nine temperate forest ecosystems*. In: Plant and Soil, 1984, 80; 321-335.
- NADELHOFFER, K.J.; GIBLIN, A.E.; SHAVER, G.R.; LAUNDRE, J.A. *Effects of temperature and substrate quality on element mineralization in six Arctic soils*. In: Ecology, 1991, 72; 242-253.
- NANNIPIERI, P.; GREGO, S.; CECCANTI, B. *Ecological significance of the biological activity in soil*. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), Soil Biochemistry, vol. 6 Marcel Dekker, New York, 1990; 293-355.
- NIKLIŃSKA, N.; MARYŃSKI, M.; LASKOWSKI, R. *Effect of temperature on humus respiration rate and nitrogen mineralization: implications for global climate change*. In: Biogeochemistry, 1999, 44; 239-257.
- OLANDER, L.P.; VITOUSEK, P.M. *Regulation of soil phosphatase and chitinase activity by N and P availability*. In: Biogeochemistry, 2000, 49; 175-190.
- OLARIETA, J.R.; RODRIGUEZ, R.; BESGA, G.; RODRIGUEZ, M.; VIRGEL, S.; DOMINGO, M. *Efecto de las labores mecanizadas de preparación del terreno para plantaciones de Pino radiata en algunas propiedades físico-químicas del suelo*. In: II Congreso Forestal Español, Pamplona, 1997.
- PANG, P.C.K.; KOLENKO, H. *Phosphomonoesterase activity in forest soils*. In: Soil Biology & Biochemistry, 1986, 18(1); 35-40.
- PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. *Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model*. In: Biogeochemistry, 1987a, 5; 109-131.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, San Diego, 1996; 130 pp.
- PAUL, E.A.; JUMA, N.G. *Mineralization and immobilization of soil nitrogen by microorganisms*. In: Terrestrial Nitrogen Cycles (F.E. Clark & T. Rosswall, Eds), Ecological Bulletins (Stockholm) 33, 1981; 179-199.
- PIATEK, K.B.; ALLEN, H.L. *Nitrogen mineralization in a pine fifteen years after harvesting and site preparation*. In: Soil Science Society of America Journal, 1999, 63; 990-998.
- POLGLASE, P.J.; ATTWILL, P.M.; ADAMS, M.A. *Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age of Eucalyptus regnans F.Muell. III. Labile inorganic and organic P, phosphatase activity and P availability*. In: Plant & Soil, 1992, 142; 177-185.

- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Mundi-Prensa, Madrid, 1994; 97.
- PRESCOTT, C.E.; CHAPPEL, H.N.; VESTERDAL, L. *Nitrogen turnover in forest floors of coastal Douglas-fir at sites differing in soil nitrogen capital*. In: *Ecology*, 2000, 81(7); 1878-1886.
- RAB, M.A. *Changes in physical properties of a soil associated with logging of Eucalyptus regnans forest in southeastern Australia*. In: *Forest Ecology and Management*, 1994, 70; 215-229.
- RAB, M.A. *Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the Eucalyptus regnans forest of southesatern Australia*. In: *Forest Ecology and Management*, 1996, 84; 159-176.
- RAICH, J.W.; POTTER, C.S. *Global patterns of carbon dioxide emissions from soils*. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9; 2-36.
- RAICH, J.W.; SCHLESINGER, W.H. 1992. *The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate*. In: *Tellus* 44B, 1992; 81-99.
- REICH, P.B.; GRIGAL, D.F.; ABER, J.D.; GOWER, S.T. *Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soils*. In: *Ecology*, 1997, 78(2); 335-347.
- ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. *Organic carbon and nitrogen mineralization under mediterranean climatic conditions: the effects of incubation depth*. In: *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, 29; 1509-1520.
- RYAN, J.A.; SIMS, J.L.; PEASLEE, D.E. *Effect of phosphate and chloride salts on ammonification in waterlogged soils*. In: *Soil Science Society of America Proceedings*, 1972, 36; 915-917.
- SANDS, R. *Physical changes to sandy soils planted to radiata pine*. In: *IUFRO Symposium on Forest Site and Continuous Productivity* (Eds. R. Ballard and S.P. Gessel.) USDA General Technical Report, 1982; 146-152.
- SCHMIDT, E.L. *Nitrification in soil*. In: *Nitrogen in Agricultural Soils* (Ed. F.J. Stevenson.) *Agronomy: A series of monographs*, 1982, 22; 253-288.
- SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN-MIEGROET, H.; BURGER, J.A. *A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities*. In: *Forest Ecology and Management*, 2000, 138; 335-356.
- SELMER-OLSEN, A.R.; ΔIEN, A.; BAERUG, R.; LYNGSTAD, I. *Pretreatment and storage of soil samples prior to mineral nitrogen determination*. In: *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science*, 1971, 21; 57-63.
- SETÄLÄ, H.; HAIMI, J.; SIIRA-PIETIKÄINEN, A. *Sensitivity of soil processes in northern forest soils: are management practices a threat?* In: *Forest Ecology and Management*, 2000, 133; 5-11.
- SKUJIINS, J. *Extracellular enzymes in soil*. *CRC Critical Reviews in Microbiology*, 1976, 4; 383-421.
- SMITH, C.T.; DYCK, W.J.; BEETS, P.N.; HODGKISS, P.D.; LOWE, A.T. *Nutrition and productivity of Pinus radiata following harvest disturbance and fertilization of coastal sand dunes*. In: *Forest Ecology and Management*, 1994, 66; 5-38.
- Soil Science Society of America. *Glossary of Soil Science terms*. *Soil. Sci. Soc. Amer.*, Madison, Wisc, 1973; 34 pp.

- SORENHEN, L.H. *Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay*. In: Soil Biology & Biochemistry, 1981, 13; 313-321.
- SORENSEN, L.H. *Rate of decomposition of organic matter in soil as influenced by repeated air drying-rewetting and repeated additions of organic material*. In: Soil Biology and Biochemistry, 1974, 6; 287-292.
- SPEIR, T.W.; ROSS, D.J. *Soil phosphatase and sulphatase*. In: Burns, R.G. (Ed.), Soil Enzymes. Academic Press, London, 1978: 197-215.
- STAAF, H.; OLSSON, B.A. *Acidity in four coniferous forest soils after different harvesting regimes of logging slash*. In: Scandinavian Journal of Forest Research, 1991, 6; 19-29.
- STANFORD, G.; SMITH, S.J. *Nitrogen mineralization potentials of soils*. In: Soil Science Society of America Proceedings, 1972, 36; 465-472.
- STEVENSON, J.J. *Cycles of soil: C, N, P, S, micronutrients*. John Wiley, New York, 1986.
- STUMP, L.M.; BINKLEY, D. *Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests*. In: Canadian Journal of Forest Research, 1993, 23; 492-502.
- TARAFDAR, J.C.; CLAASEN, N. *Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms*. In: Biology and Fertility of Soils, 1988, 5; 308-312.
- TRESEDER, K.K.; VITOUSEK, P.M. *Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in Hawaiian rain forest*. In: Ecology, 2001, 82(4); 946-954.
- VERBEENE, E.L.J.; HASSINK, J.; DE WILLIGEN, P.; GROOT, J.J.R.; VAN VEEN, J.A. *Modelling organic matter dynamics in different soils*. In: Netherlands Journal of Agricultural Sciences, 1990, 38; 221-238.
- VERSTRAETE, W. *Nitrification*. In: Terrestrial Nitrogen Cycles (Eds. F.E. Clark & T. Rosswall) Ecological Bulletins, 1981, 33; 303-314.
- VILLEGAS-PANGA, G.; BLAIR, G.; LEFROY, R. *Measurement of decomposition and associated nutrient release from straw (Oryza sativa L.) of different rice varieties using a perfusion system*. In: Plant and Soil, 2000, 223(1-2); 1-11.
- WOOD, T.; BORMANN, F.H.; VOIGT, G.K. *Phosphorus cycling in a northern hardwood forest: biological and chemical control*. In: Science, 1984, 223; 391-393.