

La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici



IX Jornades sobre Recerca al Parc Nacional
d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

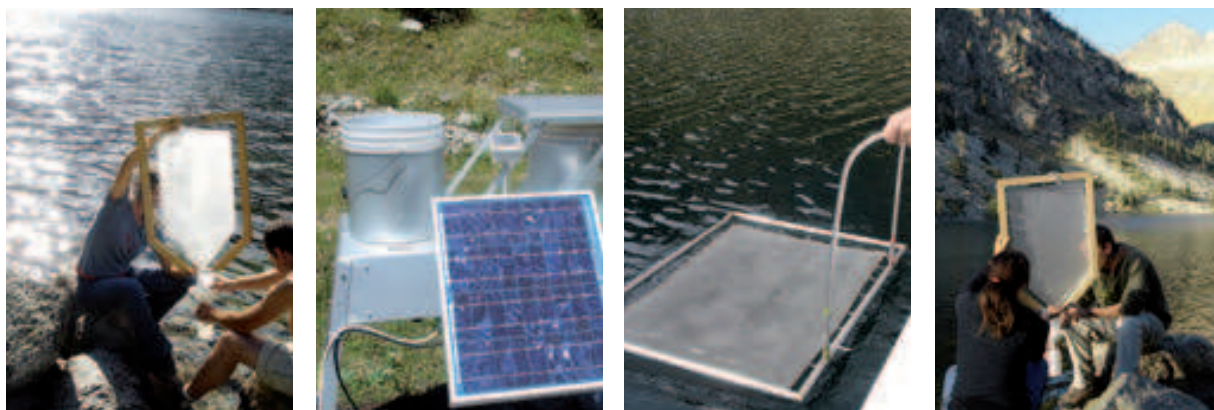
Boí (Alta Ribagorça), 17, 18 i 19 d'octubre de 2012



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura, Ramaderia,
Pesca, Alimentació i Medi Natural



Parc Nacional
d'Aigüestortes
i Estany de Sant Maurici



Biblioteca de Catalunya - Dades CIP

Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (9es : 2012 : Boí, Catalunya)

La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici : IX Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici : Boí (Alta Ribagorça), 17, 18 i 19 d'octubre de 2012
Bibliografia. – Textos en català i castellà, resums en anglès, català i castellà
ISBN 9788439390596

I. Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural II. Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici III. Títol

1. Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Catalunya) – Congressos
502.4(467.1:23Pirineus)(061.3)

Generalitat de Catalunya

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural

Foto portada: Montserrat Bacardit (Plataforma de mostratge de sediments en el treball del projecte OCUPA)

Fotos interiors: Emilio O. Casamayor (Projecte AERBAC)

Tiratge: 650 exemplars

Disseny: Aran Disseny

Dipòsit Legal: DL B-21618-2013

ISBN 9788439390596



Caracterització edàfica dels boscos de pi negre de nova formació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici

Carme Casas Arcarons¹, Núria Bruch Oms¹, Pere Casals Tortras², Empar Carrillo Ortuño³, Josep M. Ninot Sugrañes³

1. Grup de Recerca en Medi Ambient, Dept. de Ciències Ambientals. Universitat de Vic. C/ de la Laura, 13. 08500 Vic.

2. Grup d'Ecologia i Gestió de Sistemes Silvopastorals. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Ctra. de Sant Llorenç de Morunys, km 2. 25280 Solsona

3. Grup de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació, Dept. de Biologia Vegetal. Universitat de Barcelona. Av. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

Abstract

The aim of this study was to relate soil fertility with stand structure and composition of *Pinus uncinata* forests reforested naturally in the past 50 years in the Aigüestortes and Estany de Sant Maurici National Park. Overall, the soil in the 29 sampled plots is acid with high levels of nitrogen and organic matter, low rate of mineralization, low levels of phosphorus (Olsen), a very low cation capacity exchange, and low sodium contents and high potassium, calcium and magnesium concentrations. Young forests developed over granite soils are sandy, with a high content of organic matter. These stands are mainly originated by the expansion of the forest into rhododendron bushes. New forests developed over schists and calcosquists, from colonization of abandoned pastures or managed forests had finer soil texture and higher levels of phosphorus (Olsen) and CIC. The highest density of young *Pinus* seems to be linked to organic soil fertility, while soil fertility in forests with a higher density of *Pinus* with a DBH higher than 15 cm, seems are related mainly to available mineral phosphorus.

Keywords: soil fertility, *Pinus uncinata*, soils, reforestation, Pyrenees

Resum

L'objectiu d'aquest treball és avaluar la fertilitat edàfica dels boscos de *Pinus uncinata* del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, situats en àrees reforestades naturalment en els darrers 50 anys, i relacionar-ho amb l'estructura i composició d'aquests boscos. Els sòls estudiats de 29 parcel·les de boscos joves de *Pinus uncinata*, són de natura àcida, amb nivells alts de nitrogen i de matèria orgànica, i amb una taxa de mineralització baixa; tenen nivells baixos de fòsfor (Olsen), una capacitat d'intercanvi catiònic molt baixa, i un baix contingut en sodi i alt en potassi, calci i magnesi. Sobre granit, amb sòls arenosos i més orgànics hi ha majoritàriament els boscos joves originats per l'expansió del bosc sobre els matollars de neret. Sobre esquists i calcosquists, amb sòls de textures més fines, amb nivells més alts de fòsfor (Olsen) i una major CIC, s'hi localitzen els nous boscos formats a partir de la colonització de pastures o per l'abandonament de l'explotació forestal. La major densitat de plàntules i de plançons sembla anar lligada a la fertilitat orgànica del sòl, mentre que en els boscos on hi ha una major densitat d'arbres amb DAP superior als 15 cm, la fertilitat del sòl es pot relacionar sobretot amb el fòsfor mineral (assimilable).

Paraules clau: fertilitat edàfica, *Pinus uncinata*, sòls, reforestació, Pirineus

Introducció

Tant als Pirineus orientals com en el propi Parc Nacional d'Aigüestortes s'ha observat que en els darrers anys hi ha hagut canvis importants en el paisatge, que porten cap a una recuperació de la superfície forestal (Carrillo *et al.*, 2010). Sembla que la colonització i densificació de les pinedes de pi negre estarien més relacionats amb els canvis d'ús i, concretament, amb la disminució de la pressió ramadera que amb el canvi climàtic (Améztegui *et al.*, 2010). Aquests canvis tenen importants implicacions tant pel que fa al paisatge en general, com a les comunitats biòtiques i com als processos ecològics. Per aquestes raons, esdevé molt rellevant documentar els diferents aspectes que formen aquests canvis, per tal de preveure'n les conseqüències.

Aquest estudi s'emmarca dins del projecte desenvolupat durant els anys 2006-2009, *Reforestación natural en el dominio de Pinus uncinata y cambios en la diversidad del piso subalpino en el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*, finançat per l'*Organismo Autónomo Parques Nacionales* (Ministerio de Medio Ambiente), en el qual es va estudiar el procés de successió vegetal en els boscos de pi negre (Ninot *et al.*, 2011). En un treball anterior (Carrillo *et al.*, 2010) es varen estudiar els canvis ocorreguts en els darrers 50 anys a l'estatge subalpí del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, i les característiques estructurals i florístiques de les noves masses forestals.

A través de l'anàlisi de diferents variables físiques i químiques de mostres de sòl, en aquest treball es pretén avaluar la fertilitat edàfica a escala de parcel·la dels boscos de *Pinus uncinata* situats en àrees reforestades naturalment en els darrers 50 anys, i relacionar-ho amb l'estructura i la composició d'aquests boscos.

Metodologia

Selecció i característiques de les parcel·les

L'estudi edàfic dels boscos de pi negre (*Pinus uncinata*) s'ha realitzat en les àrees del Parc Nacional d'Aigüestortes, on s'ha detectat l'establiment de noves poblacions de pi negre o en aquelles on hi ha hagut una densificació del bosc en els darrers anys. A partir de la comparació de les fotografies aèries del vol del 1956 i de les ortofotos digitals del 2008 s'han seleccionat en aquestes àrees refo-

restades 29 parcel·les, distribuïdes arreu del parc, inclosa la zona perifèrica (figura 1), representatives de diverses situacions topogràfiques, geològiques o d'origen (zones d'allaus, abandonament de pastures, incendis, etc.). En aquestes mateixes parcel·les és on es va estudiar la composició florística, l'estructura i la dinàmica del bosc (Carrillo *et al.*, 2010).

Cada parcel·la feia 314 m² i correspon a una superfície uniforme, circular de 10 m de radi. Poc més de la meitat de les parcel·les es troben a la zona perifèrica del Parc, i quasi dos terços es troben a la part alta de l'estatge subalpí; la meitat corresponen a orientacions més o menys obagues, i la resta es reparteixen entre solells i vessants intermedis (figura 2). Pel que fa al substrat, 17 són granítics, 8 són esquistoses i 4 calcàries.

Del total, un 50% han resultat de reforestació de pastures mesòfiles, un 25% han envaït matollars (sobretot neretars) i la resta han cobert àrees desforestades per allaus o focs forestals. En tots els casos, la reforestació s'ha fet per expansió d'unitats boscoses veïnes, i en força ocasions ja hi havia prèviament algun arbre dispers a les clapes que s'han reforestat (Carrillo *et al.*, 2010).

Mostreig

A cada parcel·la s'han recollit dues mostres de sòl, una de 0 a 5 cm de profunditat i l'altra de 5 a 15 cm, en quatre punts de la parcel·la situats a la part central dels quatre radis corresponents als punts cardinals (N, S, E i W). A partir de les mostres recollides en aquests quatre punts s'ha obtingut una mostra composta per a cada profunditat.

Les mostres de l'horitzó superior s'han recollit mitjançant un tub cilíndric de 5 cm de diàmetre i les de l'horitzó inferior s'han extret mitjançant una barrina metàl·lica Eijkelkamp.

Anàlisi de les mostres

Les mostres extretes s'han deixat assecar a l'aire i s'han tamisat amb un sedàs de 2 mm per separar les graves de la terra fina ($\varnothing < 2\text{mm}$). Per conèixer la fertilitat de sòl s'han analitzat els paràmetres següents: el nitrogen total (mètode Kjeldahl), el carboni oxidable i la matèria orgànica (Mètode Walkley y Black), el pH (pH en aigua i en clorur potàssic; dilució 1:5), l'acidesa de reserva, el fòsfor total (Mètode Olsen-Watanable), les bases extractables (magnesi,

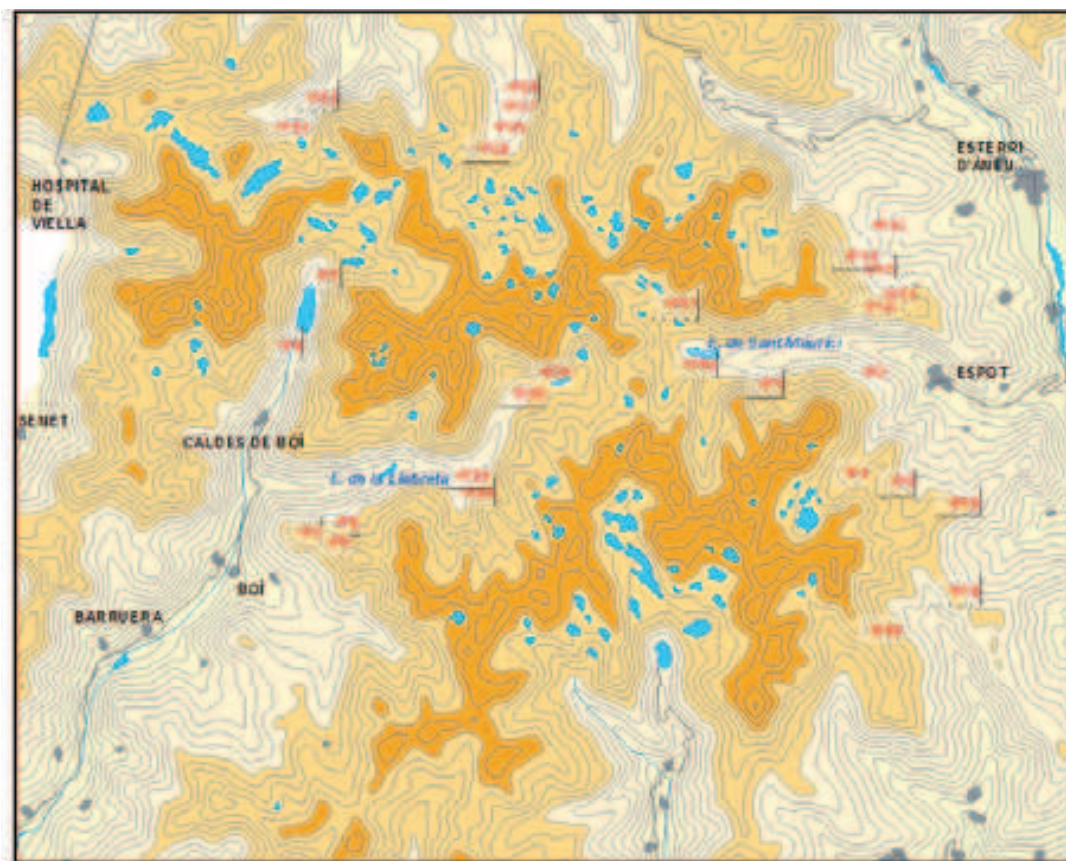


Figura 1. Localització de les 29 parcel·les estudiades en el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Carrillo *et al.*, 2010).

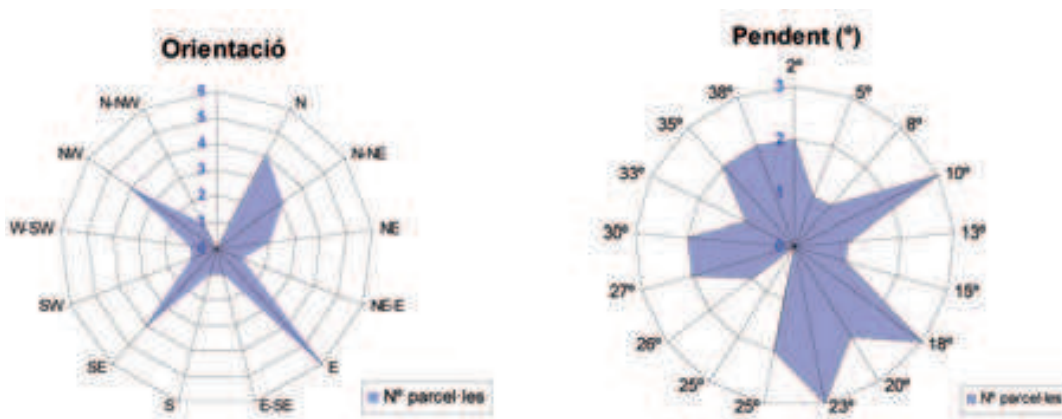


Figura 2. Orientació i pendent de les parcel·les mostrejades (Carrillo *et al.*, 2010).

potassi, calci i sodi) i la capacitat d'intercanvi catiònic (Mètode de Mehlich (1948, amb modificacions aportades per Lax *et al.* (1986)). Per a les mostres de l'horitzó inferior (5-15 cm) s'ha analitzat també la textura per gravimetria i s'ha determinat la classe textural seguint la nomenclatura USDA.

Anàlisi de les dades

Per avaluar les diferències en les característiques fisicoquímiques dels sòls entre els dos horitzons considerats (0-5 cm i 5-15 cm) i entre els diferents tipus de substrat, s'ha aplicat una anàlisi de la variança (ANOVA) d'un factor. Per a l'anàlisi detallada

de les diferències entre els factors considerats s'ha realitzat una comparació múltiple a posteriori mitjançant el test de Duncan, considerant el nivell de significació $p < 0,05$. La relació entre els diferents paràmetres fisicoquímics analitzats s'ha estudiat mitjançant la correlació bivariada de Pearson. Totes aquestes anàlisis estadístiques s'han fet mitjançant el programa SPSS vs. 17.0, i s'han utilitzat les variables originals.

La relació entre les variables edàfiques s'ha analitzat mitjançant una anàlisi de components principals (PCA) i per a la relació entre l'estructura forestal

i les característiques edàfiques s'ha emprat una anàlisi de correspondències (RDA). Per tal d'obtenir les variables edàfiques que millor expliquen la variabilitat de l'estructura forestal s'ha emprat un test "forward" que selecciona pas a pas la variable amb una significació més elevada de les variables ambientals (edàfiques) possibles. Les variables considerades per a l'estructura forestal han estat el recobriment dels diferents estrats (arbori, arbusti i herbaci), la densitat de plançons, de plàntules i d'arbres de *Pinus uncinata* de diferents diàmetres (diàmetre a l'alçada del pit, o DAP, entre 5-10 cm, de 10,1 a 15 cm, de 15,1 a 20 cm, i de més de 20,1 cm).

Resultats i discussió

Característiques físicoquímiques dels sòls

La textura dels sòls desenvolupats sobre granit és majoritàriament francoarenosa, en alguns casos és franca i només en una de les parcel·les és francoargil·loarenosa. Sobre esquists, els sòls tenen textura franca o francoarenosa, i sobre els calcosquists el sòl és franc o francollimós (taula 1).

Els sòls de les parcel·les estudiades són àcids, amb un pH al voltant de 5, tant en el nivell superior (0-5 cm) com en l'inferior (5-15 cm) (taula 2). En general, els sòls desenvolupats sobre els

calcosquists tendeixen a tenir valors de pH lleugerament superiors a la resta.

L'àcidesa de reserva és força alta, i varia entre els dos horitzons i segons el tipus de substrat, essent els sòls sobre esquists els que tenen els valors més alts (figura 3).

El contingut de matèria orgànica dels sòls estudiats és molt alt, i varia entre uns límits molt amplis (taula 2), amb una mitjana de 22,72% a l'horitzó superficial (0-5 cm), i de 12,85% a l'horitzó subsuperficial (5-15 cm). Varia també segons el tipus de substrat, essent els sòls de les parcel·les situades sobre granit els que tenen el contingut més alt, i les parcel·les situades sobre esquists les que el presenten més baix (figura 3). A l'horitzó de 5-15 cm el contingut de matèria orgànica està correlacionat significativament i positivament amb el contingut d'argiles (figura 4). El contingut de nitrogen també és elevat; varia entre uns límits força amplis i disminueix en profunditat (taula 2). Tant en l'horitzó superior com a l'inferior els valors més baixos els presenten els sòls de les parcel·les que es troben sobre esquists. El percentatge de nitrogen està altament correlacionat, significativament i positivament, amb la matèria orgànica a tots els horitzons, i a l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) també ho està amb les argiles (figura 4).

SUBSTRAT	PARCEL·LES	CLASSE TEXTURAL (USDA) 5-15 cm
Calcosquists	P2, P10	Francollimosa
	P11, P12	Franca
Esquists	P4, P13, P15, P18	Franca
	P6, P9, P14, P19	Francoarenosa
Granit	P1, P5, P7, P23, P29	Franca
	P3, P8, P16, P17, P20, P21, P22, P24, P25, P27, P28	Francoarenosa
	P26	Francoargil·loarenosa

Taula 1. Classe textural dels sòls de les parcel·les estudiades

La relació C/N dels sòls estudiats és alta i varia entre uns límits força amplis (taula 2). A la majoria de parcel·les, en el nivell superior (0-5 cm) la relació C/N presenta valors superior a 12, la qual cosa indica que es tracta de sòls amb una baixa taxa de descomposició i mineralització de la matèria orgànica, i per tant s'hi acumula una quantitat important d'humus. A tots dos horitzons considerats la relació C/N és superior en els sòls desenvolupats sobre granit que als sòls que hi ha sobre calcosquists (figura 5).

El contingut de fòsfor dels sòls dels boscos de pi negre estudiats és en general baix (entre 5 i 10 mg P kg⁻¹ sòl) en els dos horitzons considerats (taula 2). Només en 7 de les parcel·les estudiades el contingut de fòsfor de l'horitzó superior (0-5 cm) és superior a 10 mg P kg⁻¹. En aquest mateix horitzó, els valors més alts de fòsfor els presen-

ten els sòls que hi ha sobre calcosquists i els més baixos en els sòls que hi ha sobre els esquists. A l'horitzó subsuperficial (5-15 cm) els valors de fòsfor són molt baixos, pròxims a 5 mg P kg⁻¹ per a qualsevol tipus de substrat (figura 5).

Es tracta de sòls que de mitjana tenen nivells baixos de sodi (entre 0,1 i 0,2 cmol (+) kg⁻¹) i nivells alts de potassi (superior als 0,25 cmol (+) kg⁻¹) (taula 2); el contingut de calci i de magnesi és també força alt, sobretot a les parcel·les que es troben sobre calcosquists (figura 6). Tant el contingut de sodi com el de potassi estan ben correlacionats, positivament i significativament, amb el de nitrogen, i en el cas del potassi també ho està amb la matèria orgànica. Els nivells de magnesi estan ben correlacionats amb el fòsfor i lleugerament però significativament amb la matèria orgànica (figura 7).

PARÀMETRES	PROFUNDITAT			p-valor
	0 - 15 cm	0 - 5 cm	5 - 15 cm	
pH (H ₂ O)	5,10 ± 0,48 (4,13-6,15)	5,15 ± 0,47 (4,39-5,98)	5,05 ± 0,49 (4,13-6,15)	0,436
Acidesa de reserva	0,84 ± 0,17 (0,53-1,33)	0,77 ± 0,13 (0,53-1,06)	0,92 ± 0,17 (0,61-1,33)	0,001
% Nitrogen	0,66 ± 0,31 (0,21-1,18)	0,82 ± 0,29 (0,24-1,48)	0,5 ± 0,24 (0,21-1,18)	0,000
% Carboni oxidable	10,34 ± 5,62 (3,35-27,29)	13,21 ± 5,97 (3,51-27,29)	7,47 ± 3,42 (3,35-16,23)	0,000
% Matèria orgànica	17,79 ± 9,67 (5,76-46,93)	22,72 ± 10,27 (6,04-46,93)	12,85 ± 5,87 (5,76-27,92)	0,000
C/N	15,64 ± 3,77 (8,50-27,29)	16,06 ± 4,55 (8,50-27,29)	15,22 ± 2,80 (8,83-21,32)	0,403
Fòsfor mg kg ⁻¹	6,92 ± 3,15 (2,10-15,30)	8,60 ± 3,16 (2,08-15,30)	5,24 ± 2,08 (2,21-10,99)	0,000
Potassi cmol (+) kg ⁻¹	0,46 ± 0,22 (0,16-1,26)	0,58 ± 0,22 (0,30-1,26)	0,34 ± 0,14 (0,16-0,90)	0,000
Magnesi cmol (+) kg ⁻¹	0,77 ± 0,34 (0,29-1,56)	0,98 ± 0,33 (0,37-1,55)	0,57 ± 0,20 (0,29-1,09)	0,000
Calci cmol (+) kg ⁻¹	2,60 ± 2,51 (0,048-12,14)	3,53 ± 2,62 (0,48-12,14)	1,66 ± 2,05 (0,05-10,05)	0,004
Sodi cmol (+) kg ⁻¹	0,089 ± 0,07 (0,014-0,45)	0,12 ± 0,08 (0,03-0,45)	0,06 ± 0,04 (0,01-0,18)	0,000
CIC cmol (+) kg ⁻¹	3,94 ± 2,87 (0,65-14,28)	5,22 ± 2,91 (1,39-14,28)	2,65 ± 2,21 (0,65-11,20)	0,000

Taula 2. Mitjana i desviació estàndard dels paràmetres analitzats en els dos horitzons superiors del sòl. Entre parèntesi valors mínim i màxim. p-valor: significació de l'anàlisi de la variança d'un factor per a l'anàlisi de les diferències entre els dos horitzons. (CIC: Capacitat d'intercanvi catiònic)

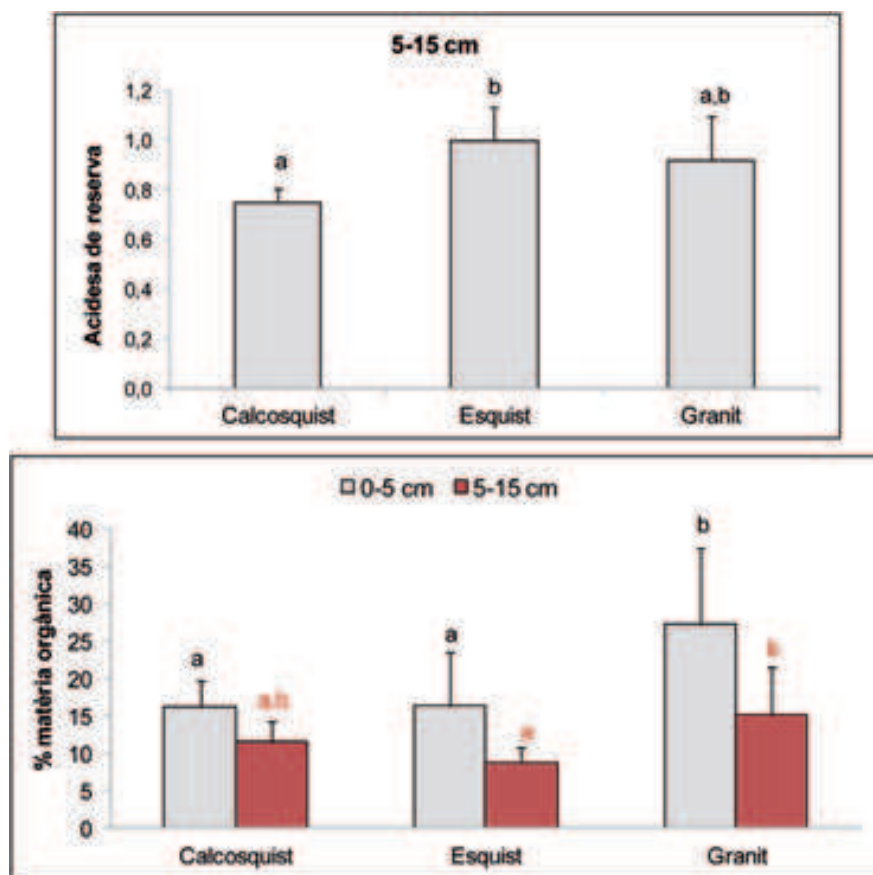


Figura 3. Acidesa de reserva (mitjana i desviació estàndard) del nivell subsuperficial (5-15 cm) i contingut de matèria orgànica (mitjana i desviació estàndard) dels dos horitzons (0-5 cm i 5-15 cm) dels sòls en diferents tipus de substrat. Lletres diferents indiquen diferències significatives entre substrats per a cada horitzó ($p < 0,05$; test de Duncan).

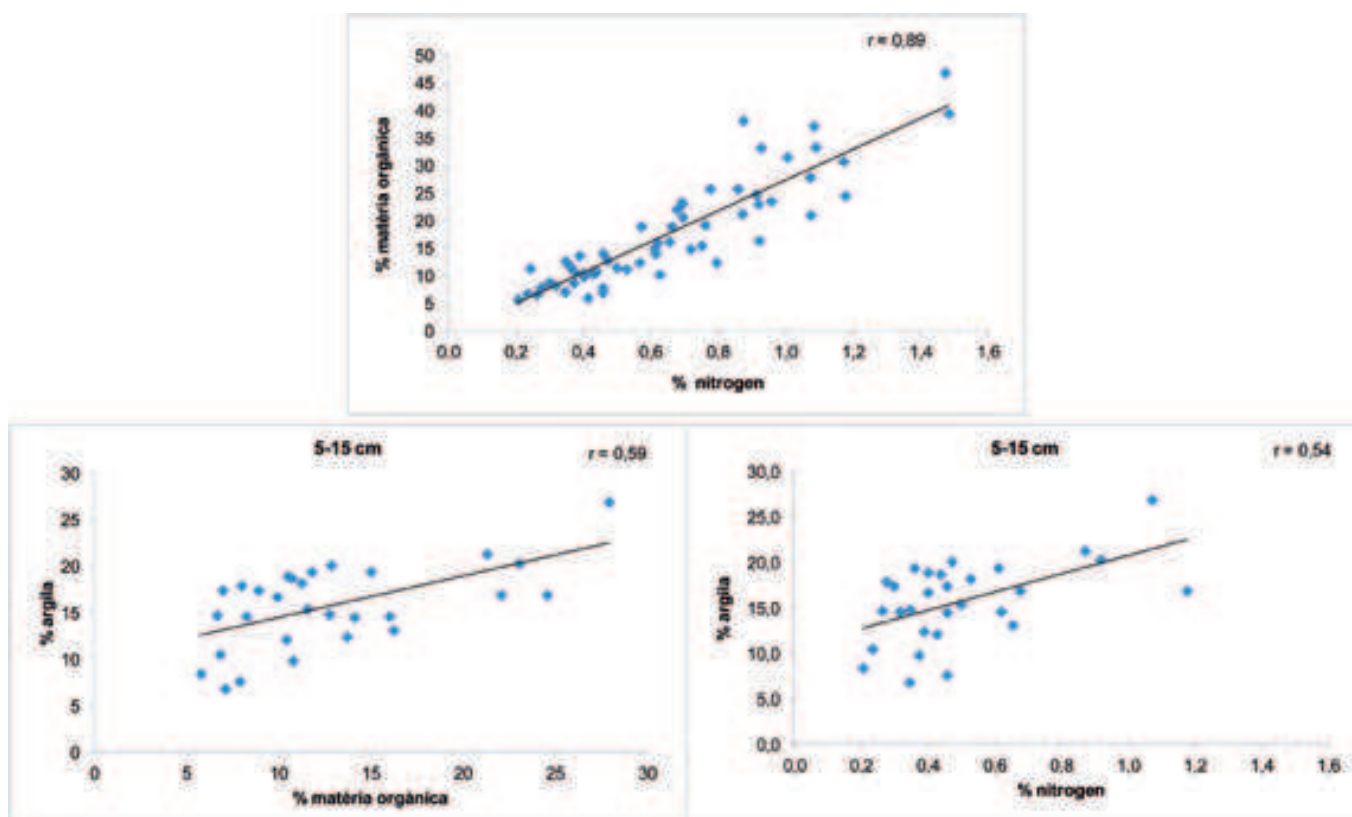


Figura 4. Regressió lineal entre els percentatges de matèria orgànica i d'argiles a l'horitzó de 5-15 cm.

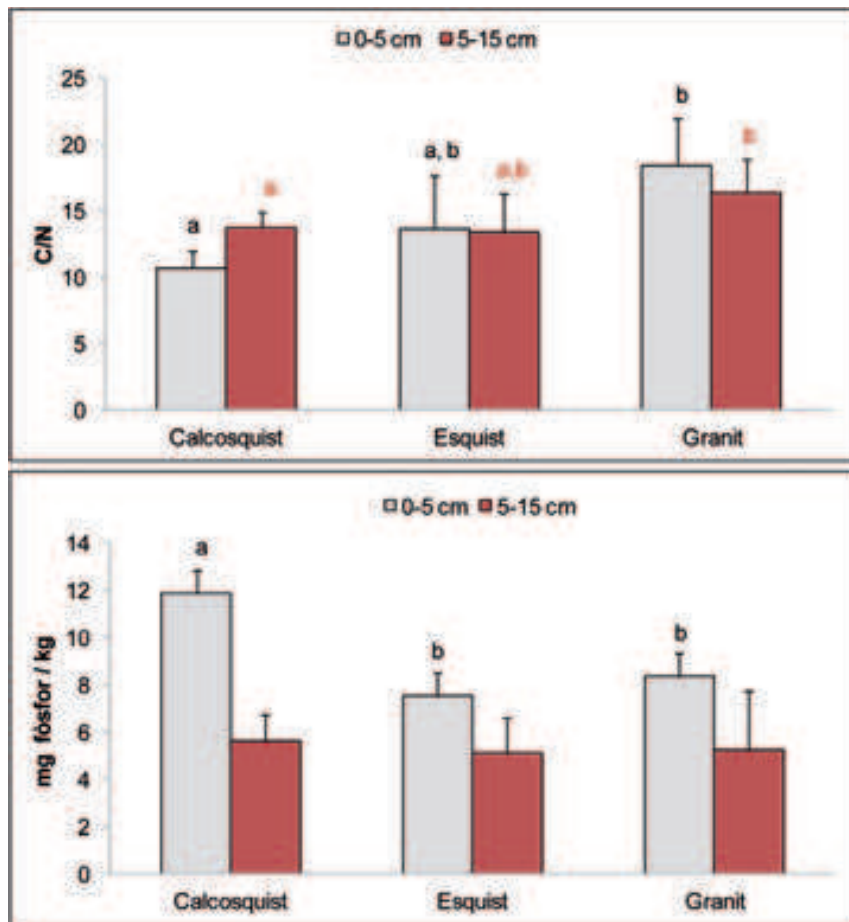


Figura 5. Relació C/N (mitjana i desviació estàndard) i contingut de fòsfor total (mitjana i desviació estàndard) dels dos horitzons del sòl (0-5 cm i 5-15 cm) en els diferents tipus de substrat. Lletres diferents indiquen diferències significatives entre substrats per cada horitzó ($p < 0,05$; test de Duncan).

La capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) dels sòls estudiats és molt baixa, amb valors inferiors a 5 cmol (+) kg^{-1} a la majoria de parcel·les, tant en l'horitzó superficial (0-5 cm) com en l'inferior (5-15 cm) (taula 2). La CIC disminueix en profunditat, amb valors significativament més baixos en l'horitzó inferior (taula 2). La CIC varia força entre les diferents parcel·les, i en algunes presenta valors extremadament baixos a tots dos horitzons (valors mínims de 1,39 cmol (+) kg^{-1} a l'horitzó de 0-5 cm i de 0,65 cmol (+) kg^{-1} a l'horitzó de 5-15 cm).

La CIC varia segons el tipus de substrat, essent més alta en els sòls de les parcel·les situades sobre calcosquists que en els que hi ha sobre es-

quists (figura 6). La CIC més alta, la presenta una parcel·la situada en una zona de calcosquists a la Plana dels Aires (vall de Son del Pi) amb un contingut elevat de matèria orgànica i amb textura francollimosa, mentre que la CIC més baixa correspon a una parcel·la situada sobre granit, a la zona de Subenuix (Sant Maurici), amb poca matèria orgànica i amb textura francoarenosa.

La CIC està correlacionada positivament i significativament amb els continguts de calci i de magnesi. Amb el calci la correlació és molt alta ($r=0,99$), essent les parcel·les que tenen la CIC superior a 10 les que tenen el contingut més alt de Ca ($>8 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$); pel que fa al magnesi, la correlació és menor ($r=0,78$).

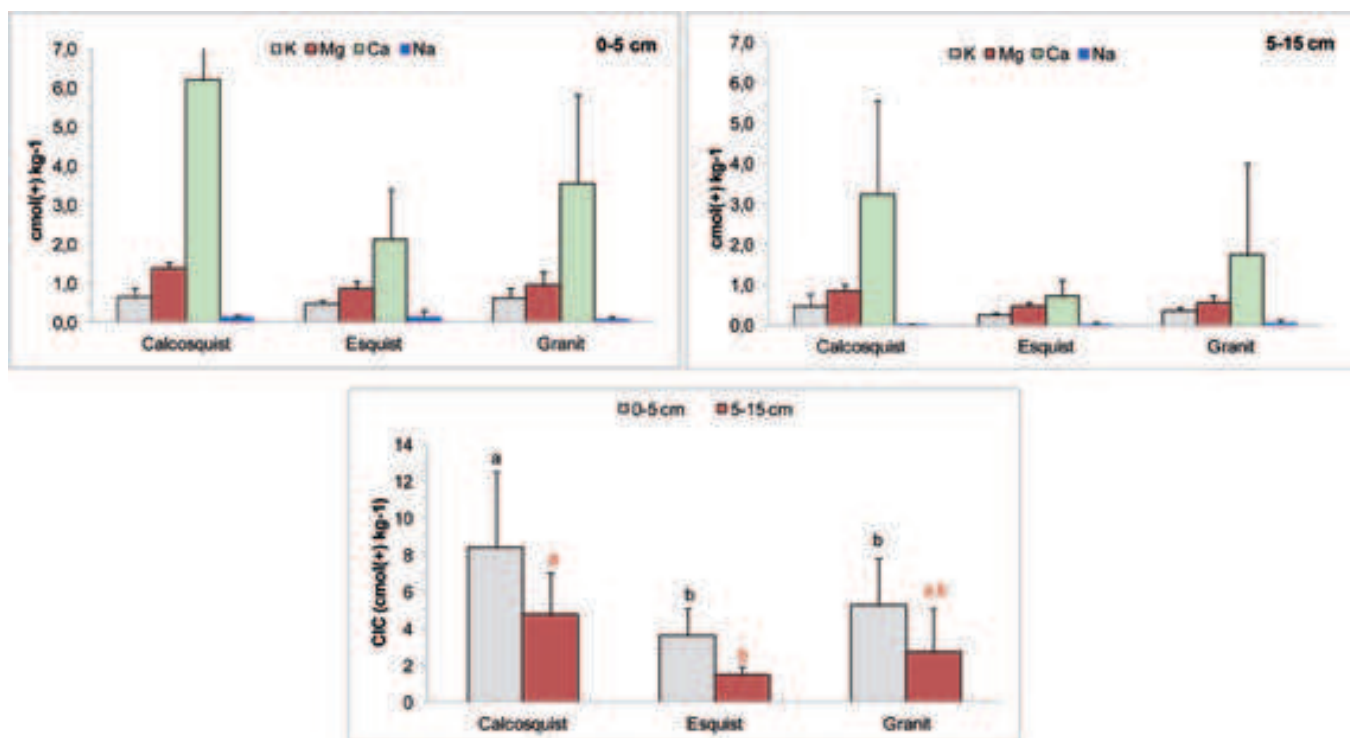


Figura 6. Contingut de cations (mitjana i desviació estàndard) i capacitat d'intercanvi catiónic (CIC) (mitjana i desviació estàndard) dels dos horitzons del sòl (0-5 cm i 5-15 cm) en els diferents tipus de substrat. Lletres diferents indiquen diferències significatives entre substrats per a cada horitzó ($p < 0,05$; test de Duncan).

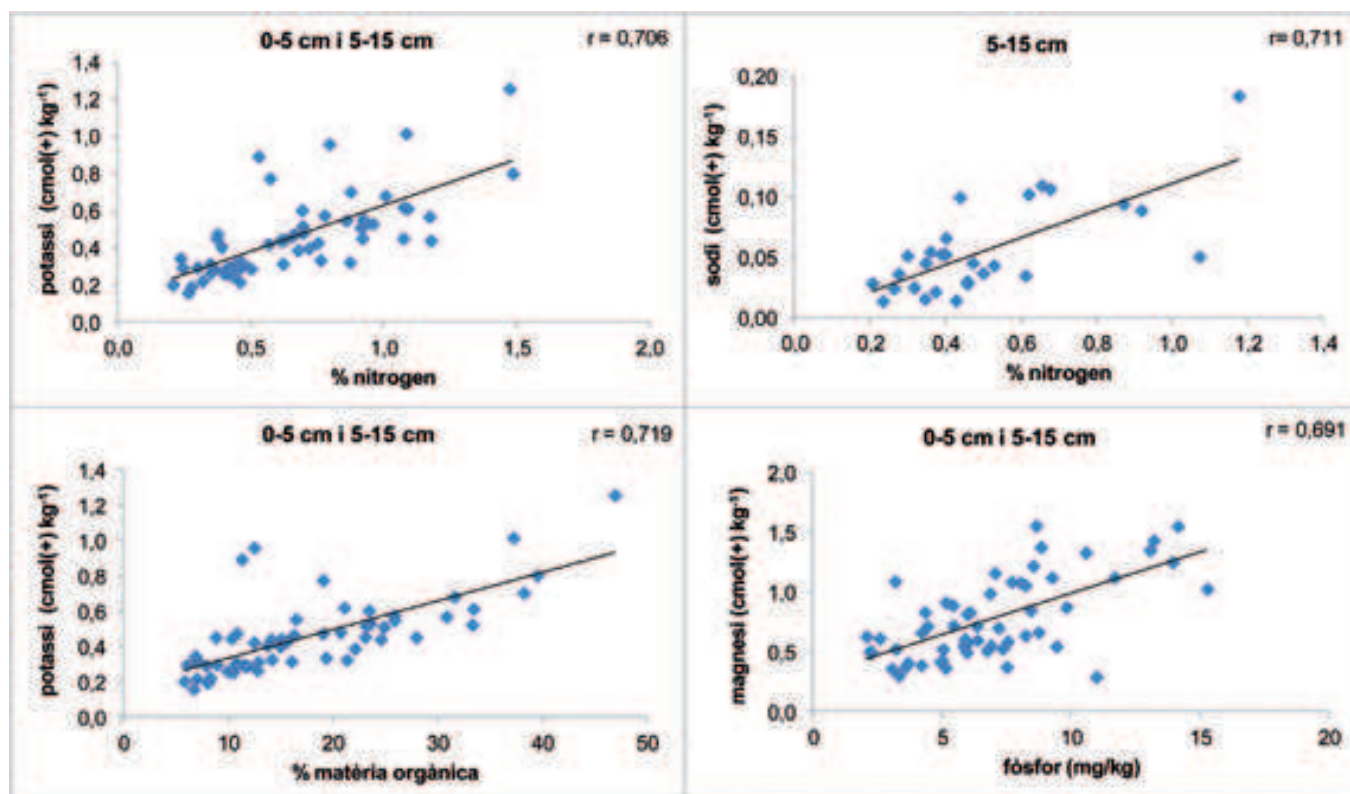


Figura 7. Regressions lineals significatives (sig.: 0,0001) entre diferents paràmetres edàfics del sòls de totes les parcel·les i per als horitzons indicats en cada gràfic.

Relació entre les variables edàfiques

Els tres primers eixos resultants de l'anàlisi de components principals (CPA) aplicada a les característiques edàfiques de l'horitzó superior (0 a 5 cm) expliquen globalment un 89,4% de la variabilitat

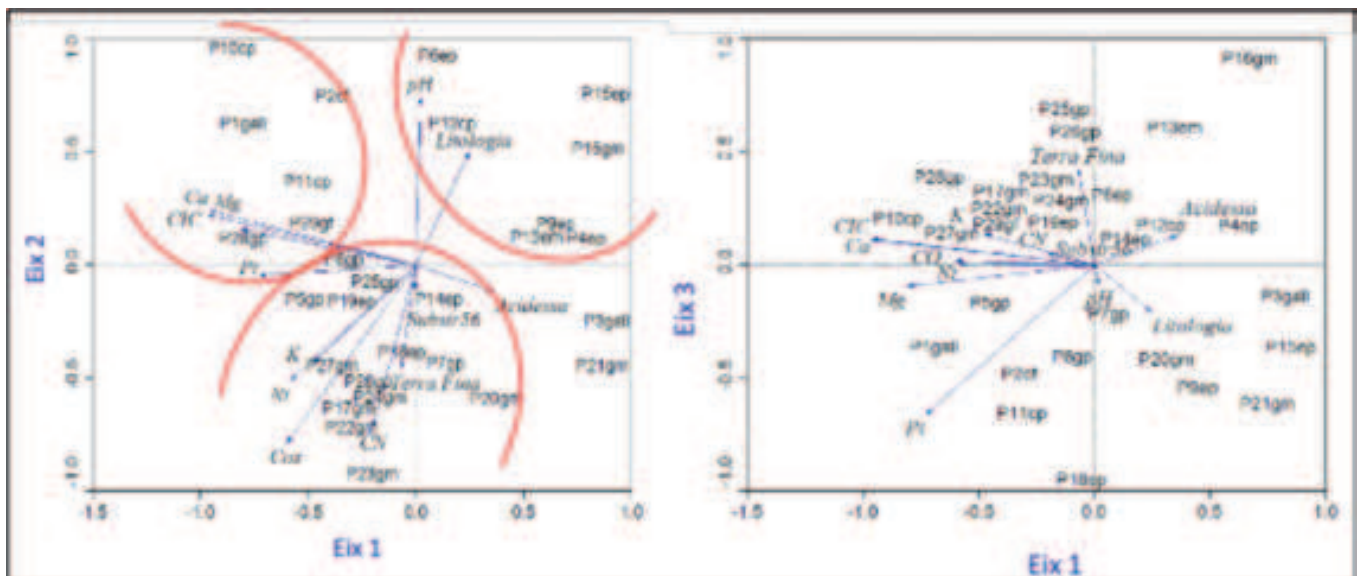
de les mostres (el 62,2% el primer eix, el 20,3% el segon i el 6,8% el tercer). De la representació gràfica sobre els dos primers eixos (figura 8a) es dedueix que el primer eix representa la fertilitat mineral (cations i fòsfor) i la CIC, mentre que el segon

eix està relacionat amb la fertilitat orgànica, el potassi i els valors baixos de pH. De manera que en el quadrant superior esquerre del gràfic (figura 8a) s'hi situen els sòls que tenen una CIC alta i nivells alts de fòsfor, de calci i de magnesi; en aquest grup hi coincideixen les parcel·les situades sobre calcosquists, a la majoria de les quals l'origen del bosc és a partir de la colonització de pastures, de zones d'allaus i també de l'abandonament de l'explotació forestal. En el quadrant superior dret del gràfic (figura 8a) s'hi agrupen les parcel·les en les quals els sòls tenen nivells baixos de fòsfor, pocs cations, i la CIC és baixa, i es troben situades majoritàriament en zones esquistoses. En una posició intermèdia del primer eix i a la part inferior del segon (figura 8a), s'hi situen els sòls més rics en matèria orgà-

nica i nitrogen i amb els pH més baixos, els quals corresponen a les parcel·les situades majoritàriament sobre granit, i on l'origen del bosc és a partir de la colonització dels matollars de neret. El tercer eix està relacionat amb la proporció de terra fina, de manera que en la representació gràfica sobre aquest eix es separen a la part superior els sòls que presenten una proporció més alta de terra fina (figura 8a).

En el CPA de l'horitzó inferior (5-15 cm) els tres primers eixos expliquen un 83% de la variabilitat de les mostres (el 48,7% el primer, el 21,7% el segon i un 12,5% el tercer). La varianza del primer eix està relacionada, per una banda, amb la fertilitat inorgànica (calci, magnesi i CIC) i, en sentit oposat, amb l'acidesa de reserva del sòl (figura 8b). El

a) 0 – 5 cm



b) 5 – 15 cm

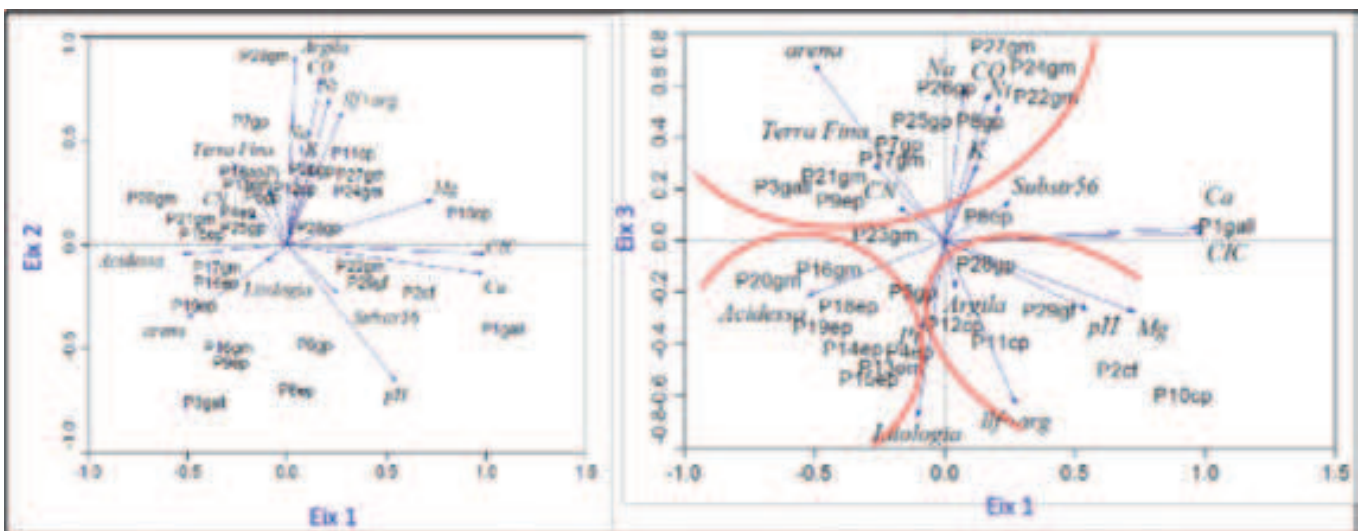


Figura 8. Ordenació de les parcel·les (P1 a P29) en l'espai definit pels eixos 1 i 2 (esquerra) i 1 i 3 (dreta) de l'anàlisi de components principals (CPA) aplicada a les característiques edàfiques: a) de l'horitzó superior (0 a 5 cm); b) de l'horitzó inferior (5 a 15 cm). Les sagetes indiquen la posició i la importància d'aquests paràmetres. Les lletres que acompanyen el codi de la parcel·la indiquen, la primera el tipus de substrat (g: granit; c: calcosquist; e: esquist) i la segona el possible origen de la reforestació (f: forestal; m: matollar; p: prat; all: zona d'allaus). CO: carboni oxidable; llf: llim fi; arg: argila; Pt: fòsfor total; Nt: nitrogen total.

segon eix va lligat en sentit positiu a la fertilitat orgànica (carboni orgànic i nitrogen) i a les textures més fines (amb continguts alts de llims i argiles). El tercer eix separa la fertilitat orgànica de la textura. En la representació gràfica sobre els eixos primer i tercer (figura 8b) s'agrupen en el quadrant superior els sòls desenvolupats sobre granit, amb textures arenoses i amb una major fertilitat orgànica, i en el quadrant inferior els sòls de textures més fines (amb una major proporció de llims i argiles) i formats sobre esquists (quadrant inferior esquerra) i calcosquists (quadrant inferior dret).

Aquests resultats posen de manifest que la fertilitat dels sòls estudiats està força relacionada amb la litologia. De manera que sobre substrats esquistosos els sòls tenen poca fertilitat orgànica i mineral, i sobre calcosquists els sòls tenen una major fertilitat mineral, amb nivells més alts de cations i de fòsfor mineral, i CIC i acidesa de reserva també altes. Els sòls desenvolupats sobre granit tenen textures més arenoses, pH més baixos i una major fertilitat orgànica, amb els nivells més alts de nitrogen i de matèria orgànica.

S'observa que hi ha una certa relació entre l'origen d'aquests boscos joves estudiats i la litologia i les característiques edàfiques. Així, els boscos joves que s'han originat per l'expansió del bosc sobre els matollars de neret es troben majoritàriament sobre granit, amb sòls arenosos i més orgànics, mentre que els nous boscos que s'han format a partir de la colonització de pastures o per l'abandonament de l'explotació forestal s'han localitzat a les àrees d'esquists i de calcosquists, amb sòls de textures més fines, amb nivells més alts de fòsfor i una major CIC.

Relació entre les característiques edàfiques i l'estructura dels boscos joves de pi negre

L'anàlisi de correspondències (RDA) aplicat a les variables edàfiques i als paràmetres estructurals del bosc indica que la variabilitat de les mostres deguda a l'estructura forestal de les parcel·les estudiades (recobriment arbori, arbustiu i herbaci, densitat de plançons, de plàntules i d'arbres de *Pinus uncinata* de diferents diàmetres) es relaciona amb el carboni oxidable, el nitrogen total, l'arena, el pH, la CIC, el fòsfor i el magnesi (figura 9).

El conjunt de totes aquestes variables edàfiques explica un 47% de la variabilitat de l'estructura forestal. S'observa, per una banda, el pes important que tenen les sorres en el recobriment arbustiu, i la fertilitat orgànica en la densitat de plàntules (DAP < 2 cm) elevada. Per altra banda, la fertilitat mineral (representada pel fòsfor) va lligada a un major recobriment herbaci i a la presència d'arbres de les classes diamètriques superiors (DAP entre 15 i 20 cm i superiors a 20 cm). La CIC i els pH més alts van lligats a una major àrea basal, determinada per les densitats més altes dels arbres amb un DAP entre 5 i 15 cm (figura 9). Per tant els sòls dels boscos joves que tenen un major recobriment de l'estrat arbustiu i una major densitat de plàntules, són en general més arenosos i més orgànics. En canvi, els sòls dels boscos que presenten un major recobriment herbaci i una major densitat d'arbres amb DAP superior als 15 cm, són de textura fina, amb una CIC i un pH més alts i continguts superiors de fòsfor.

Conclusions

Els sòls dels boscos joves de *Pinus uncinata* són de natura àcida, amb nivells alts de nitrogen i de matèria orgànica, i amb una taxa de mineralització baixa; tenen nivells baixos de fòsfor (Olsen), una capacitat d'intercanvi catiònic (CIC) molt baixa, i un baix contingut en sodi i alt en potassi, calci i magnesi.

La fertilitat del sòl està força relacionada amb la litologia. Sobre granit els sòls tenen textures més arenoses, pH més baixos, una major fertilitat orgànica, amb el nivells més alts de nitrogen i de matèria orgànica. En els calcosquists, hi ha sòls amb textures més fines (francollimosa), amb una major fertilitat mineral, amb nivells més alts de cations i de fòsfor mineral, i amb una CIC i acidesa de reserva també més altes. Sobre els esquists sòls tenen una fertilitat tant orgànica com mineral inferior; presenten els continguts més baixos de

nitrogen, de matèria orgànica, de fòsfor i de cations, i la CIC més baixa.

L'origen dels boscos joves estudiats sembla estar relacionat amb la litologia i les característiques edàfiques. Sobre granit, amb sòls arenosos i més orgànics hi ha majoritàriament els boscos joves originats per l'expansió del bosc sobre els matollars de neret. Sobre esquists i calcosquists, amb sòls de textures més fines, amb nivells més alts de fòsfor (Olsen) i una major CIC, s'hi localitzen els nous boscos formats a partir de la colonització de pastures o per l'abandonament de l'explotació forestal. Hi ha una certa relació entre l'estructura forestal i la fertilitat del sòl. La major densitat de plàntules i de plançons va lligada a la fertilitat orgànica del sòl (nivells alts de matèria orgànica), mentre que en els boscos on hi ha una major densitat d'arbres amb DAP superior als 15 cm, la fertilitat del sòl va lligada sobretot al fòsfor mineral (assimilable).

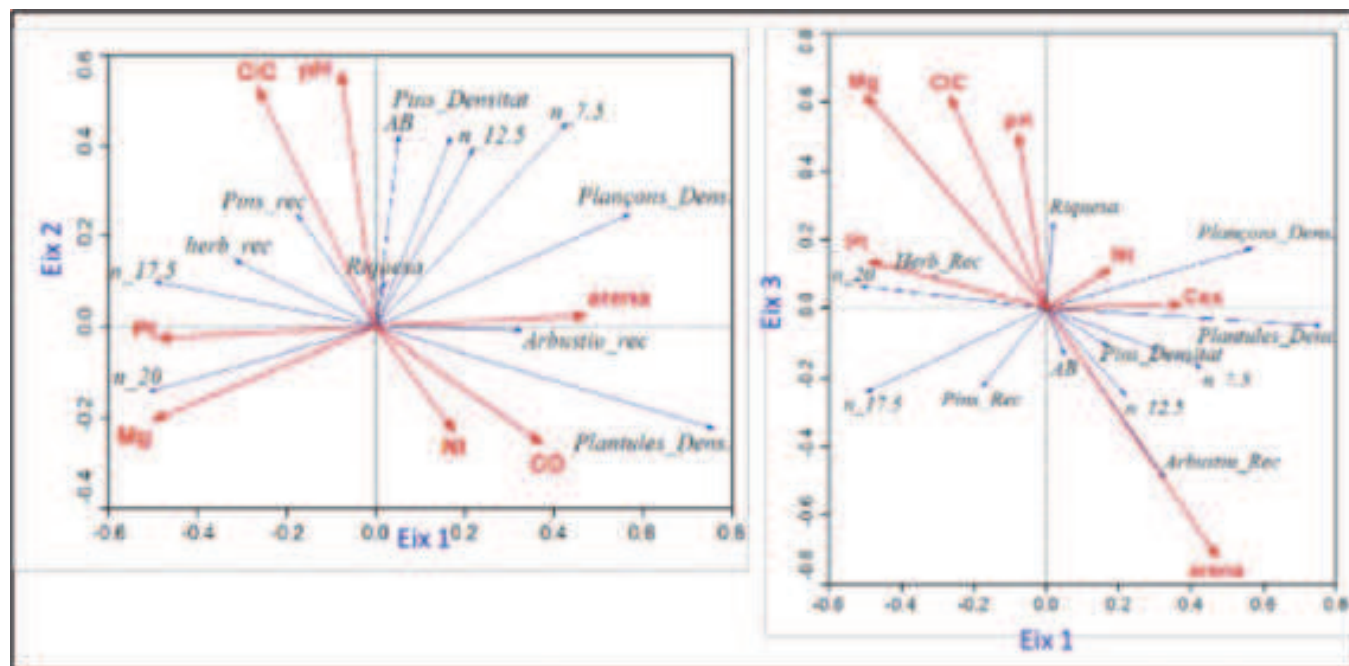


Figura 9. Ordenació dels paràmetres edàfics i d'estructura forestal en l'espai definit pels eixos 1 i 2 (gràfic esquerra) i 1 i 3 (gràfic de la dreta), segons les mostres de sòl (0-15 cm), obtinguda en l'anàlisi de correspondències (RDA). Les sagetes de color blau corresponen als paràmetres d'estructura forestal (AB: Àrea basal; Dens: densitat; rec: recobriment, Plàntules: DAP < 2 cm, Plançons: 2 cm < DAP < 5 cm; n_7,5: arbres amb DAP de 5 a 10 cm; n_12,5: arbres amb DAP de 10,1 a 15; n_17,5: arbres amb DAP de 15,1 a 20 cm; n_20: arbres amb DAP > 20,1 cm; Pins-rec: % recobriment de l'estrat arbori; Arbustiu_rec: % recobriment de l'estrat arbustiu; herb_rec: recobriment estrat herbaci) i les de color vermell als paràmetres edàfics (CO: carboni oxidable; Nt: nitrogen total; Pt: fòsfor total; Mg: magnesi).

Bibliografia

- AMÉZTEGUI, A., BROTONS, L., COLL, L. Land-use changes as major drivers of mountain pine (*Pinus uncinata* Ram.) expansion in the Pyrenees. *Global Ecology and Biogeography* 2010; 19, 632–641.
- BADIA, D., MARTÍ, C. Suelos del Pirineo Central: Fragen. Huesca, INIA, U.Z, CPNA, I.E.A. 1999.
- BATLLORI, E., BLANCO-MORENO, J.M., NINOT, J.M., GUTIÉRREZ, E., CARRILLO, E. Vegetation patterns at the alpine treeline ecotone: the influence of tree cover on abrupt change in species composition of alpine communities. *J. Veg. Sci.* 20: 814-825. 2009a
- CARRILLO E., CASAS C., MARMÍ M., BAGARIA G., PUENTE A., CARRERAS, J. I NINOT J. M. Reforestació de l'estatge subalpí per boscos de *Pinus uncinata*: diversitat i estructura. A: La investigació al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. *VIII Jornades sobre Recerca al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*. Espot, Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2009.
- EGER, A., HEWITT, A. Soils and their relationship to aspect and vegetation history in the eastern Southern Alps, Canterbury High Country, South Island, New Zealand. *Catena* 2008, 75 (3): 297-307.
- GARCÍA-RUIZ, J.M., LASANTA, T., RUIZ-FLANO, P., ORTIGOSA, L., WHITE, S., GONZÁLEZ, C. & MARTÍ, C. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecol.* 1996, 11(5): 267-277.
- MARCOS, J.A., MARCOS, E., TABOADA, A., TÀRREGA, R. Comparison of community structure and soil characteristics in different aged *Pinus sylvestris* plantations and a natural pine forest. *Forest Ecology and Management* 2007, 247(1-3), 35-42.
- MOLINA, D. Conservació i degradació de sòls a les àrees de muntanya en procés d'abandonament. La fertilitat del sòl al Parc Natural del Cadí-Moixeró. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra, 2000.
- NINOT, J. M. BATLLORI, E., CARRERAS, J., CARRILLO, E., CASALS, P., CASAS, C. GRAU, O., GUTIÉRREZ, E., MONTANÉ, F., PUENTE, A. Reforestación natural en el dominio de *Pinus uncinata* del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. En Ramírez, L. y Asensio B. (editores). *Proyectos de investigación en parques nacionales: 2007-2010*. Madrid; Organismo Autónomo de Parques Nacionales, 2011.
- SAÑA, J. MORÉ, J.C., COHÍ, A. La gestión de la fertilidad de los suelos. Madrid, MAPA, 1996.