

GEA, FLORA ET FAUNA

Efecte de la topografia en la variabilitat espacial del contingut de carboni total i d'òxids solubles de ferro i alumini a l'horitzó B del sòl a una catena forestal a Suècia

Sara Bernia*, Johan Stendahl** & Mats Olson***

Rebut: 02.05.00
Acceptat: 17.10.01

Resum

L'objecte d'aquest estudi és la variabilitat espacial i l'efecte de la topografia en un procés com és l'acumulació de sesquioxids solubles de ferro i alumini juntament amb la matèria orgànica il·luviada a l'horitzó B_{hs}. La metodologia aplicada en l'estudi de la variabilitat espacial ha estat l'anàlisi geoestadística. Aquesta es va dur a terme a 96 mostres on es va valorar el carboni total, per l'analitzador elemental LECO, i els òxids solubles de ferro i alumini complexats a la matèria orgànica, extractats en pirofosfat sòdic 0,1N i valorats per ICP. L'anàlisi de la variància entre totes les variables analitzades ens mostra que hi ha diferències significatives (*P-value*: 0,0000), però si comparem els òxids solubles llavors les sèries són significativament semblants (*P-value*: 0,1839). La influència de l'hidromorfisme es va estudiar mitjançant ANOVA comparant els continguts analitzats tenint en compte l'estat de saturació d'aigua. Els resultats ens mostren que totes tres variables es troben afectades per l'hidromorfisme, però en especial els òxids solubles de ferro (*P-value*:

0,0000). Respecte a les relacions entre les variables, el carboni total i els òxids solubles d'alumini es troben amb una bona correlació ($R^2 = 0,74$, $P_0 = 0,001$). Segons l'ajust del semivariograma el paràmetre que té una variabilitat espacial més elevada són els òxids solubles de ferro, que tenen una correlació espacial amb un abast de 20 m. La raó d'aquesta variabilitat ve donada per l'efecte en el ferro de l'hidromorfisme que va ser localitzat a 26 dels 96 punts mostrejats, i a causa de a les característiques d'aquest element ha estat reduït i rentat de forma més fàcil que els sesquioxids d'alumini o el carboni.

PARAULES CLAU: podzol, variabilitat espacial, òxids solubles d'alumini, òxids solubles de ferro, geoestadística.

Abstract

Effect of topography on the spatial variability of total carbon and soluble iron and aluminium oxide contents in the B horizon of a forest soil in a Swedish catena

The object of this study is the spatial variability of and the effect of the topography on the accumulation

* GRAM, Grup de recerca Ambiental Mediterrània. Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional. Universitat de Barcelona. Correu electrònic: sbernia@trivium.gub.es

** Dept. Forest Management and Products, Swedish University of Agricultural Sciences. Box 7060. Uppsala 75007, Suècia.

*** Dept. Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences. P.O. box 7001, 750 07 Uppsala, Suècia

of soluble iron and aluminium oxides together with the illuviated the organic matter in the B_{hs} horizon of the soil. The spatial variability has been analysed geostatistically. This has been done with 96 samples where total carbon has been measured using the elemental analyser LECO. The soluble oxides of iron and aluminium complexed to the organic matter were extracted in 0.1N Na-pyrophosphate and determined by ICP. A one-way ANOVA analysis of variance between the three series showed that there are significant differences (P-value: 0,0000), but if we compare the soluble oxides there are significant similarities (P-value: 0,1839). The influence of waterlogging was studied by ANOVA; the results are that all three variables are affected, but especially the soluble iron oxides (P-value: 0,0000). The relationship between the variables are well correlated as the total carbon and the the soluble oxides of aluminium ($R^2 = 0.74$, $P_0 = 0.001$). When the theoretical semivariogram is fitted, the parameter with the highest spatial variability is the soluble iron oxides content. This has a good spatial correlation in a range of 20 meters. The high spatial variability is due to the effect of the waterlogging on the iron, 26 of the 96 soil samples being waterlogged. Iron is more easily reduced and leached than the carbon or the aluminium sesquioxides.

KEY WORDS: podzol, spatial variability, soluble aluminium oxides, soluble iron oxides, geostatistics.

Resumen

Efecto de la topografía en la variabilidad espacial del contenido de carbono total y de óxidos solubles de hierro y aluminio en el horizonte B del suelo en una catena forestal en Suecia

El objeto de este estudio es la variabilidad espacial y el efecto de la topografía en un proceso como es la acumulación de sesquióxidos solubles de hierro y aluminio complejados a la materia orgánica iluviada en el horizonte B_{hs} en los suelos de una catena sueca. La metodología aplicada en el estudio de la variabilidad espacial ha sido el análisis geoestadístico. Éste se aplicó a 96 muestras en las que se valoró el carbono total, por el analizador elemental LECO, y los óxidos solubles de hierro y aluminio complejados a la materia orgánica, extractados en pirofosfato sódico 0,1N y valorados por ICP. El análisis de la varianza ANOVA entre las variables analizadas nos

muestra que hay diferencias significativas (P-value: 0,0000), pero si comparamos los óxidos solubles entonces las series son significativamente similares (P-value: 0,1839). La influencia del hidromorfismo se estudió mediante la varianza ANOVA, comparando los contenidos analizados teniendo en cuenta el estado de saturación de agua. Los resultados nos indican que las tres variables están afectadas por el hidromorfismo pero en especial los óxidos solubles de hierro (P-value: 0,0000). El carbono total y los óxidos solubles de aluminio están bien correlacionados ($R^2 = 0.74$, $P_0 = 0.001$) y ambas series tienen semejanzas significativas y representativas. Según el ajuste del semivariograma teórico, el parámetro que tiene una variabilidad espacial más elevada son los óxidos solubles de hierro, que tienen una correlación espacial con un alcance de 20 m. La razón de esta variabilidad viene dada por el efecto en el hierro del hidromorfismo que fue localizado en 26 de los 96 puntos muestreados, y debido a las características de este elemento ha sido reducido y lavado de forma más fácil que los sesquióxidos de aluminio o el carbono.

PALABRAS CLAVE: podzol, variabilidad espacial, óxidos solubles de aluminio, óxidos solubles de hierro, geoestadística.

Introducció

Aquest article estudia com afecta la topografia un procés edàfic com és la podzolització, procés acidolític que es basa en la solubilització dels cations bàsics i àcids, que passen a la solució del sòl i, precipiten a l'horitzons B, formant horitzons B_h , B_s o B_{hs} (USDA-SCS, 1988) o són rentats. Per tant, l'efecte d'aquest procés genera l'empobriment del sòl produït per la falta de cations i una elevada concentració del Al^{3+} . Com a conseqüència es produeix fitotoxicitat i l'acidificació de les aigües superficials (Eriksson & Karlton, 1995). El procés de podzolització no és gaire corrent a la nostra geografia, però segons Pedro (1987) afecta aproximadament el 16 % de les terres emergides i a països com Suècia pot arribar a ser un problema ambiental, que s'ha vist agreujat en les darreres dècades per causa de la pluja àcida.

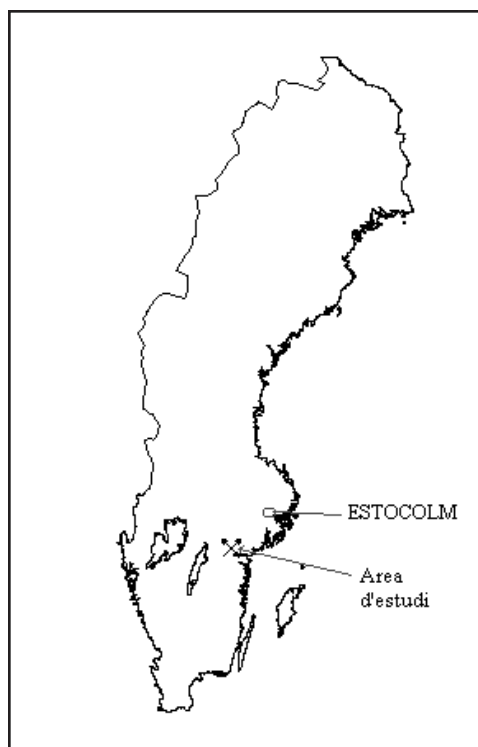


FIGURA 1. Situació de la catena.
Location of the catena studied.

L'estudi de la variabilitat espacial edàfica ha estat àmpliament tractat des de diferents punts de vista: estudis de catenes (Burt & Park, 1999), de caire comparatiu, i estudis regionals que poden ser inventaris (Generalitat Valenciana, 1995) o els efectes al sòl de diferents aportos d'origen antròpic (Rosen *et al.*, 1999; Herbert, 1997). L'objectiu d'aquest article és estudiar la variabilitat espacial del procés de podzolització aplicant la geoestadística com a mètode d'estudi de les funcions aleatòries en l'espai (Isaaks & Mohan, 1989). La diferència amb l'estadística clàssica és notable, ja que té en compte l'aspecte espacial del fenomen estudiat. Segons l'anàlisi geoestadística cada mostra és única, però no és del tot independent de les mostres de l'entorn, ja que

quant més properes es troben més característiques comunes tindran. Cada mostra és localitzable en l'espai i aquest és geomètric en un sentit i en una direcció, per tant parlarem de variables regionalitzades.

Àrea d'estudi

La catena escollida per a realitzar aquest estudi es troba a $59^{\circ} 45' N$ i $16^{\circ} 7,7' E$. Dins del context suec es localitza a uns 30 km de Norköping al comtat de Östergötland (figura 1).

L'àrea estudiada té una superfície de 3600 m², un pendent mitjà de 10° orientat a l'est (figura 2), i l'altitud màxima és de 106 metres. Aquesta zona pertany a una de les empreses

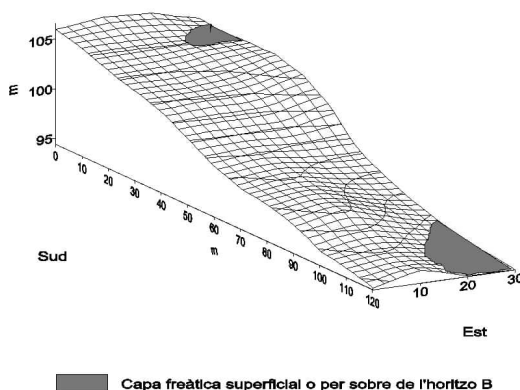


FIGURA 2. Model d'elevació de la catena estudiada.
Elevation model of the catena studied.

forestals sueques més important: MoDo. Uns dies abans de realitzar el mostreig van talar la massa forestal que estava composta per un bosc mixt de píceu (*Picea abies*) que cobria un 58 % de l'àrea i de pi roig (*Pinus sylvestris*), que es cobria un 37 %. Respecte a la climatologia, aquesta regió té una temperatura mitjana anual de 5,3 °C, i la precipitació total anual és de 530 mm, dels quals 110 mm són en forma de neu. La precipitació nival té un gruix mitjà de 25 cm, comença al voltant del 10 de novembre i dura fins a començaments d'abril (Ab Kartografiska Institutet, 1953).

La litologia de la catena és segons Lundqvist (1965), bàsicament granodiorita i tonalita de l'Svecofenià. El substrat litològic apareix en superfície però en gran part del vessant el till sorrenc és el material originari dels sòls analitzats. El till sorrenc que es troba en aquesta regió conté freqüentment còdols i pedres de granodiorita.

Els sòls d'aquesta regió segons la classificació FAO són cambisòls i podzols, i segons la classificació sueca són: litosòls, podzols i brunjords (Troedsson & Wiberg, 1986). La distribució d'aquests tipus de sòl a la catena és: al cim, on el substrat litològic es troba a

prop de la superfície, trobem els litosòls i els podzols no gaire profunds. A mig vessant es troben els podzols més gruixuts o desenvolupats. I al peu del vessant i a les zones saturades trobem podzols i cambisòls amb característiques glei.

Mètodes i tècniques

Mostreig

El mostreig es va dissenyar de tipus sistemàtic en retícula. L'equidistància mitjana entre els punts de mostreig és de 4 metres. El disseny previst, però no es va poder seguir completament a causa de les característiques del terreny i als obstacles, i per tant, es va haver de modificar l'esquema inicial (figura 3).

Cada un dels 96 punts es va georeferenciar i es va fer un forat fins a mig metre de profunditat. El mostreig va consistir en: mesurar a tres punts per tal de fer una mitjana dels gruixos dels horitzons, la profunditat de l'horitzó B; i agafar una mostra a uns cinc centímetres del límit superior de l'horitzó B. Dels 96 punts mostrejats, 26 estaven saturats d'aigua (figura 2), cosa que va dificultar el treball.

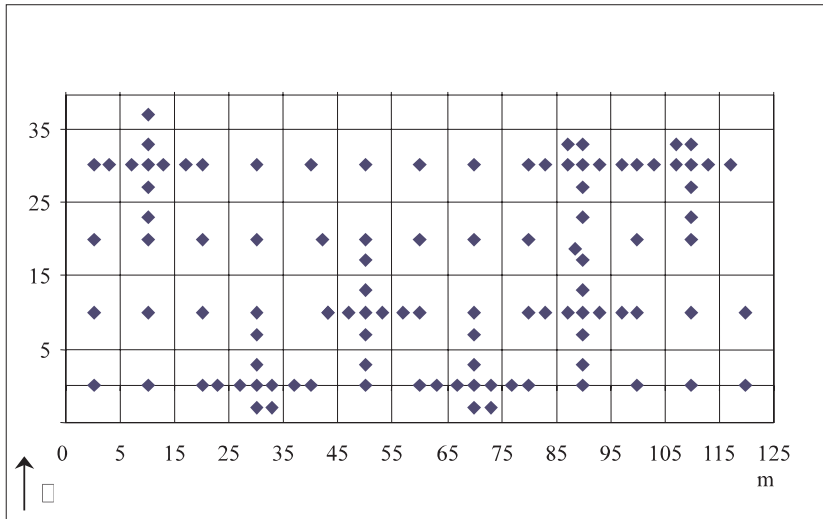


FIGURA 3. Esquema final de mostreig.
Sampling grid.

Anàlisi química

Les 96 mostres van ser assecades a l'aire, tamisades a 2 mm de diàmetre i polvoritzades amb un molinet de boles.

Els mètodes analítics es van escollir seguint la guia de la FAO (1984) i tenint en compte l'objectiu d'analitzar el procés de podsolització, en el qual la matèria orgànica i els òxids de ferro i alumini se solubilitzen i precipiten formant complexos. L'anàlisi dels òxids de ferro i alumini solubles es va fer en un extracte de pirofosfat sòdic (Evans & Mokma, 1996). El $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ a 0,1N va estar en contacte amb la mostra durant 24 h i els òxids van ser valorats per ICP. El carboni total es va analitzar mitjançant un analitzador elemental LECO.

Anàlisi estadística

El tractament estadístic dels resultats va constar de dues parts diferenciades. La prime-

ra és l'estadística bàsica, correlació i ANOVA. Aquests tests es van dur a terme amb els programes SAS, MINITAB i Statsgraphics. La segona part de l'anàlisi estadística es va dur a terme aplicant tècniques geoestadístiques en dues fases: l'anàlisi estructural o l'estudi del semivariograma mitjançant els programes VARIOWIN 2.2 i el GEO-EAS 1.2.1. La segona fase és l'extrapolació dels punts mostrejats al conjunt de la catena mitjançant mètode de *kriging*, que serveix de base a la cartografia. El *kriging* és un estimador BLUE (Best-Linear-Unbiased-Estimator) que dona un error d'estimació mínim i no esbiaixat, segons Samper & Carrera (1990). En el nostre cas vam realitzar un *Kriging* ordinari en blocs (Boyer *et al.*, 1996). La representació cartogràfica es va portar a terme per interpolació lineal mitjançant el programa SURFER 3.2.

TAULA 1. Resultats de l'estadística bàsica.
Statistical results.

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>Mitjana</i>	<i>Desv.Est.</i>	<i>Mínim</i>	<i>Màxim</i>
Al	96	0,28	0,19	0,02	0,89
C	96	1,44	0,99	0,16	4,12
Fe	96	0,32	0,25	0,01	0,99

TAULA 2. Resultats de l'anàlisi de la variància.
Results of the variance analysis.

	<i>F -Ratio</i>	<i>P-Valor</i>
Entre les tres variables	113,48	0,0000
Entre els òxids	1,78	0,1839
Entre òxids d'alumini i l'hidromorfisme	17,94	0,0001
Entre carboni total i l'hidromorfisme	10,89	0,0014
Entre òxids de ferro i l'hidromorfisme	20,69	0,0000

TAULA 3. Coeficients de correlació de Pearson entre les sèries i significació.
Pearson correlation coefficients and probability.

	<i>Al</i>	<i>C total</i>	<i>Fe</i>
<i>Al</i>	1,000*	0,828*	0,736*
	0,0**	0,0001**	0,0001**
<i>C total</i>	0,828*	1,000*	0,614*
	0,0001**	0,0**	0,0001**
<i>Fe</i>	0,736*	0,614*	1,000*
	0,0001**	0,0001**	0,0**

*Coeficient de correlació de Pearson (R^2)

**nivell de significació

Resultats i Discussió

De les 96 mostres analitzades, el carboni total té una mitjana d'1,4400 % \pm 0,9980, un mínim de 0,1615 % i un màxim de 4,1200 %. Com es pot observar a la taula 1 on apareixen

els resultats de l'estadística bàsica, els òxids de ferro varien en dos ordres de magnitud entre el màxim i el mínim, que són de 0,9940 % i 0,0354 % respectivament; tot i que la mitjana és de 0,3220 % \pm 0,2540. En canvi, tant els òxids solubles d'alumini com el carboni total només varien en un ordre de magnitud.

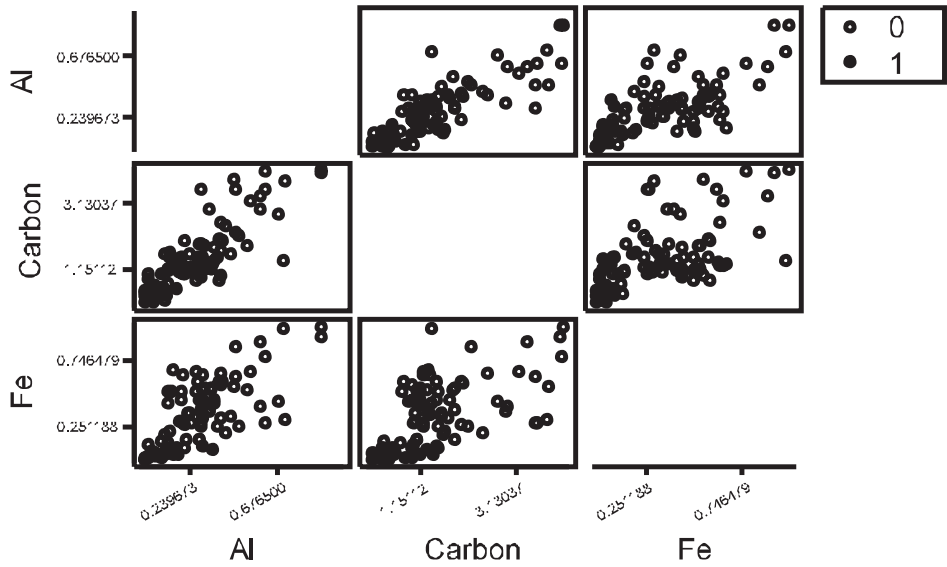


FIGURA 4. Diagrames de dispersió de les sèries analitzades.
Scatter plots of the series analysed.

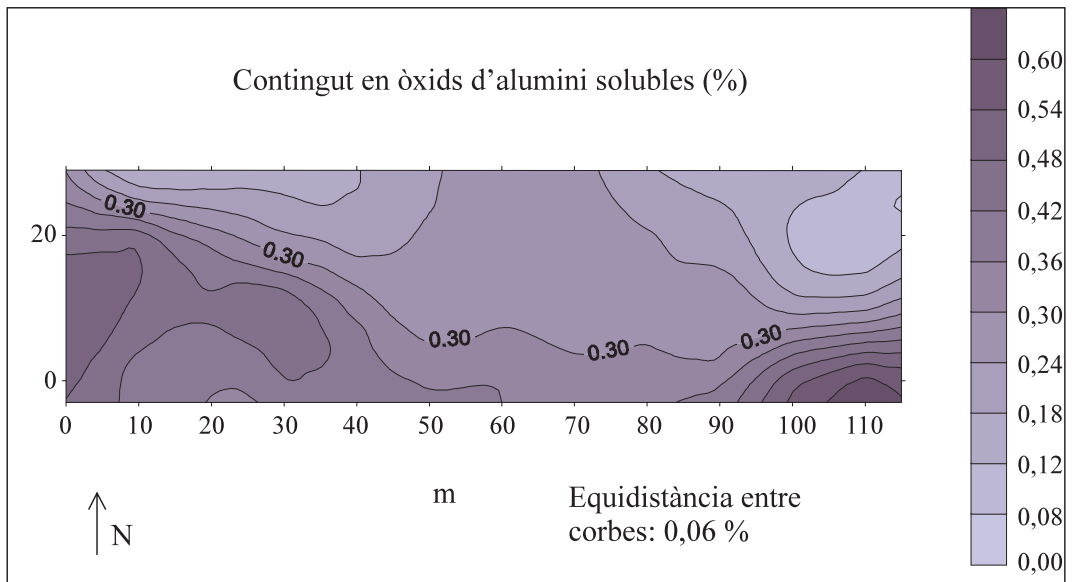


FIGURA 5. Distribució del contingut en òxids d'alumini solubles.
Distribution of the soluble aluminium oxides.

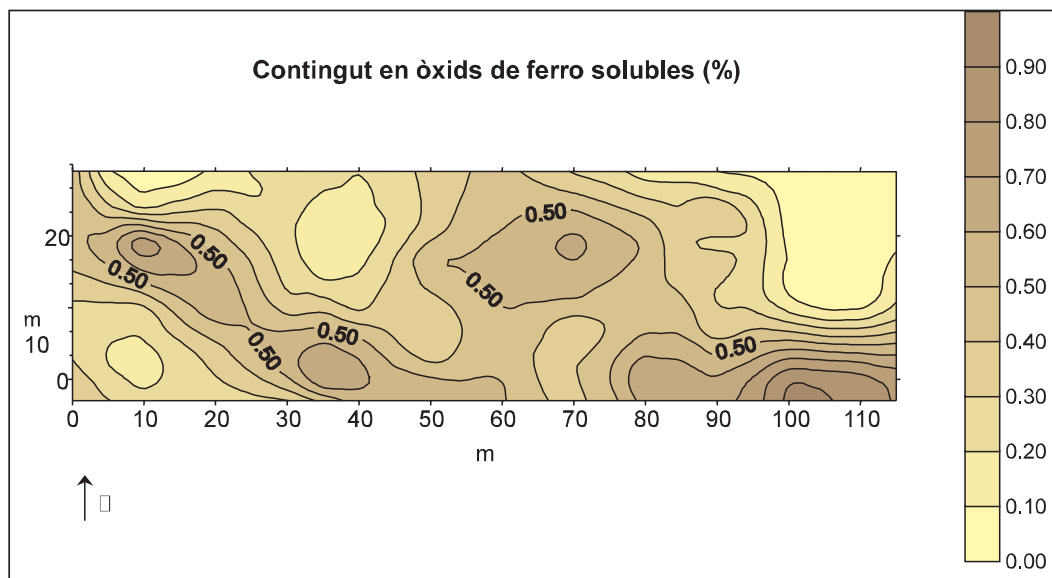


FIGURA 6. Distribució del contingut en òxids de ferro solubles.
Distribution of the soluble iron oxides.

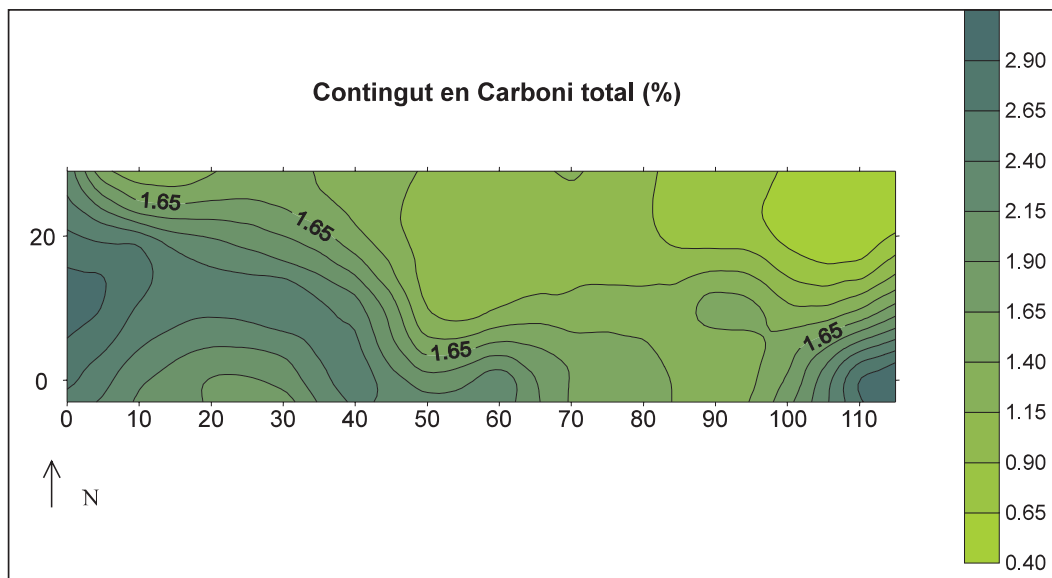


FIGURA 7. Distribució del contingut en carboni total.
Distribution of total carbon.

TAULA 4. Paràmetres característics dels semivariogrames ajustats.
Parameters of the semivariograms fitted.

<i>Variables</i>	<i>Model</i>	<i>Palleta</i>	<i>Llindar</i>	<i>Abast (m)</i>
Òxids de Ferro	esfèric	0,0168	0,042	20
Carboni total	esfèric	0,374	0,528	25
Òxids d'Alumini	esfèric	0,0136	0,02	30

Un cop vam comprovar amb els resultats de l'estadística bàsica que hi havien indicis que les series dels paràmetres analitzats tenien característiques estadísticament diferents, llavors es va realitzar l'ANOVA del qual donem els resultats a la taula 2.

Com es pot veure a la taula 2 les series dels paràmetres estudiats tenen diferències estadísticament representatives (si $P_0 = 0,05$), ja que el *P-value* és de 0,000. Tenint en compte els resultats, vam fer el *Multiple Range Test* pel procediment LSD, per a determinar quines mitjanes són significativament diferents, i el resultat indica que les mitjanes dels òxids de ferro i els d'alumini són homogènies. Tenint en compte això vam fer l'anàlisi de la variància entre tots dos i el resultat del *P-value* va ser de 0,1839, i com és superior al $P_0 = 0,05$ no hi ha diferències significatives entre les dues sèries.

A l'anàlisi de les relacions entre les sèries mitjançant diagrames de dispersió (figura 4) vam afegir la influència de l'hidromorfisme dels perfils estudiats, mitjançant una variable que mostra la presència o absència de capa freàtica en l'horitzó B. Els punts negres dels diagrames que estan donats com a 1 a la llegenda són els punts mostrejats en els quals el nivell de la capa freàtica estava per sobre i la mostra es trobava saturada en aigua. Els cercles buits, o el zero a la llegenda, són els punts no saturats. Per analitzar com afecta l'hidromorfisme el contingut dels compostos químics analitzats vam fer l'anàlisi de la variància on es comparaven els resultats tenint en

compte la saturació del sòl. Els resultats que apareixen a la taula 2 ens mostren que hi ha diferències significatives entre els continguts d'òxids solubles d'alumini (*P-value*: 0,0001), també en el carboni total (*P-value*: 0,0014) i en el cas dels òxids solubles de ferro (*P-value*: 0,0000). Si comparem els *P-value* veiem que la variable que es troba més influenciada per l'hidromorfisme són els sesquioxids de ferro.

Els diagrames de dispersió ens mostren la influència de la capa freàtica ja a que els punts amb els continguts més baixos que es troben més a prop de l'eix de coordenades són precisament els punts mostrejats que estaven saturats. Els coeficients de correlació de Pearson entre les sèries es troben expressats en forma de matriu, juntament amb el nivell de significació a la taula 3.

L'anàlisi geoestadística de les sèries estudiades comença amb l'anàlisi dels semivariogrames mostrals o empírics i l'ajustament als semivariogrames teòrics es va fer per sentimient. Els semivariogrames mostrals tenen entre 194 i 1.124 parelles i les distàncies van dels 2 als 60 metres. Els valors dels paràmetres característics dels semivariogrames ajustats als teòrics es troben expressats a la taula 4.

El model esfèric és el tipus de model més freqüent segons Samper & Carrera (1990). L'efecte palleta apareix a tots tres casos, i s'atribueix a errors experimentals o a l'existència d'una variabilitat a distàncies inferiors a la distància mínima de mostreig (Journal &

Huijbregts, 1978). Els valors del llinar, normalment donen el valor de la semivariància on s'estabilitza el semivariograma i és aproximadament el valor de la variància, però hem de tenir en compte que en calcular-lo amb el paquet geoestadístic GEO-EAS s'ha de sumar el valor de l'efecte palleta (Salazar, 1995). L'abast d'aquests semivariogrames ens donen la distància en metres dins de la qual hi ha una correlació espacial, a partir d'aquesta distància no hi ha dependència espacial de les variables analitzades. Per tant, solubles la variable menys estable espacialment seran els òxids de ferro.

La interpolació dels valors es va realitzar mitjançant un *kriging* ordinari en blocs de 4×4 . Els blocs van ser definits cada 5 m a l'eix de les X i cada 2 m a les Y. Els resultats els expressem en les figures següents.

Els valors representats en intervals van des del 0,00-0,06 fins a 0,88 % d'òxids solubles d'alumini. El contingut que abasta un àrea més gran és el de 0,30-0,36 % i correspon a la zona mitjana de la catena on hi ha més pendent. L'àrea on la capa freàtica es troba més a la superfície correspon als dos intervals inferiors.

El contingut d'òxids de ferro expressat a la figura 6 té els mínims localitzats també a les zones hidromorfes però de manera menys clara ja que trobem zones de mínims a punts com (10, 0) o (40, 20). Tal com ja apuntava l'anàlisi del semivariograma, el contingut en òxids de ferro és la variable analitzada que té una variabilitat espacial més accentuada, per què l'àrea estudiada sofreix períodes d'inundació i el ferro és un element de fàcil reducció ($E^0 = +0.771$ volts, $Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$). Això es pot observar clarament en aquest mapa on el traçat de les isòlines és significativament diferent al dels mapes de les figures 5 i 7, tot i que coincideixen en els mínims a l'extrem nord-est i nord-oest on es troben les zones saturades d'aigua.

A la figura 7 trobem representat el contingut de carboni total a la catena estudiada, com als

mapes anteriors i més clarament al mapa 2, trobem els mínims que en aquest cas van de 0,4 a 0,9 % a les zones hidromorfes. Si comparem el mapa de la figura 5 amb aquest, trobarem moltes similituds, cosa que podíem esperar si tenim en compte la bona correlació entre les dues sèries i l'anàlisi de la variància.

Conclusions

Els processos de podsolització a la catena estudiada estan influenciats per la topografia i la profunditat de la capa freàtica. El factor estudiat que més influencia la variabilitat espacial de la precipitació de la matèria orgànica i dels sesquióxids de ferro i alumini és la hidromorfia. Les característiques hidromòrfiques dels sòls vindran donades per la geomorfologia i la topografia, tot i que per aclarir les influències d'aquests factors caldria dur a terme una anàlisi de components principals.

Convindria valorar el potencial de reducció al llarg del vessant però tenint en compte els resultats, els òxids de ferro solubles són el paràmetre estudiat amb una variabilitat espacial més gran, ja que el ferro és un element de fàcil reducció i per tant, molt més mòbil que l'alumini o el carboni.

L'aplicació de la geoestadística com a metodologia d'estudi de la variabilitat espacial de característiques edàfiques ha resultat positiu. El disseny de l'experiment ha estat correcte en referència a la densitat i a l'equidistància dels punts de mostreig.

Agraïments

Aquest treball ha estat possible gràcies a una beca ERASMUS. Gràcies a Jorge Mendoza per la seva ajuda i suport. Vull agrair també la col·laboració de la doctora

Maria Sala per la correcció de l'article i els seus suggeriments.

Thanks to all the Torkanese and Fyllanese.

Bibliografia

- AB KARTOGRAFISKA INSTITUTET. 1953. *Svenska Sällskapet För. Vols: Climate, Vegetation, Land Relief, Generalstabens Litografiska*. Estocolm. Svenska Sällskapet För
- BOYER, D.; WRIGHT, R.; FELDHAKKE, C. & BLIGH, D., 1996. Soil spatial variability relationships in a steeply sloping acid soil environment. *Soil Science*, 161(5): 278-287.
- BURT, T. P. & PARK, J., 1999. The distribution of solute processes on an acid hillslope and the delivery of solutes to a stream: I. Exchangeable Bases. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 781-797.
- ERIKSSON, E. & KARLTUN, E., 1995. Modeling the transport of acidity in soil profiles with front: a dynamic transport model. *Water and Soil Pollution*, 85(3): 1789-1794.
- EVANS, C. V. & MOKMA, D. L., 1996. Sandy wet spodosols: water tables, chemistry, and pedo partitioning. *Soil Science Society of America Journal*, 60(5): 1495-1501.
- FAO. 1984. *Physical and chemical methods of soil and water analysis*. FAO Soil Bulletins. Roma.
- GENERALITAT VALENCIANA. 1995. *Catálogo de Suelos de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana. Servei d'Estudis Agraris i Comunitaris. València.
- HERBERT, R. J., 1997. Partitioning of heavy metals in podzol soils contaminated by mine drainage waters, Dalarna, Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, 96(1-4): 39-59.
- ISAAKS, E. H. & MOHAN, R. 1989. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press. Nova York. USA.
- JOURNEL, A. H. & HUIJBREGTS, C. H., 1978. *Mining Geostatistics*, Academic Press, London.
- LUNDQVIST, J., 1965. The quaternary of Sweden. In: *The Quaternary, volume I*. (K. Rankama Ed). Interscience publishers, 139-190 pp.
- PEDRO, G., 1987. Las condiciones de formación de los constituyentes secundarios. In: *Edafología 2. Constituyentes y Propiedades del suelo*. (M. Bonneau & B. Souchier Eds.). Masson. Barcelona, 58-71 pp.
- ROSEN, K.; ORBON, I. & LONSSJO, H., 1999. Migration of radiocaesium in Swedish soil profiles after the Chernobyl accident, 1987-1995, *Journal of Environmental Radioactivity*, 46(1): 45-66.
- SALAZAR, M. A., 1995. *Cartografía de la salinidad empleando el SEM y técnicas geoestadísticas en suelos de la finca Pompenillo, Grañén, Huesca*. Proyecto de final de Carrera. Universitat de Lleida. ETSEA.
- SAMPER F. J. & CARRERA, J., 1990. *Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea*. CIMNE. Barcelona.
- USDA-SCS. 1988. *Soil Taxonomy. A basic system of Soil Classification for making and interpreting soil surveys*. Robert E. Krieger Publishing Company. Florida.
- TROEDSON, T. & WIBERG, M., 1986. *Sveriges Jordmånner*. Kungliga Skogs-och Lantbruksakademien.