

LA DISTRIBUCIÓ DELS CARBONATS EN ELS SÒLS DE LA DEPRESSIÓ CENTRAL CATALANA

V. R. Vallejo *

Rebut: març de 1986

SUMMARY

Carbonate distribution in the soils of the Catalan Central Basin

Soils from different calcareous substrates are studied in order to search the evolution of the carbonate fraction. There is a close relationship between soil-type and lithologic material.

From hard limestones, red-brown (fersiallitic) soils are formed. In general they have lost the carbonates almost completely but, in some cases, they have secondary lime in different forms. These accumulations of calcium carbonate are associated with an increase in the carbonate content of the finer fractions, clay and fine silt.

On calcareous sandstones, completely carbonate-leached red-brown soils coexist with carbonatic ones, in the same ecological conditions. In the latter, as in soils formed from calcarenite substrate, carbonates concentrate in the sand fractions. The total amount of carbonates in the profile depends on its content in the parent material but, in any case, the carbonate leaching rate is high: 40-50 %.

On calcareous clays and calcilutites, the soils are highly calcareous, mainly in the silt fraction, and they have the lower carbonate leaching rate, about 10 %.

Soils from gypsic materials have lost most of the gypsum and thus the carbonate is relatively concentrated.

Two general types of soils with respect to carbonate evolution are distinguished: a) Carbonate-leached soils, mostly occurring in fissures in the rock layers, which are postulated to be relicts. b) Calcareous soils, in which carbonates are mainly removed from the top horizons and from the finer granulometric fractions. The dynamics of these soils is supposedly in agreement with the current climatic conditions.

The overall evolution of the soils in the studied area is characterized by the presence of calcium carbonate, which comes either from an incomplete carbonate leaching of the calcareous substrates, from carbonate deposition of previously leached red soils or from the relative accumulation of carbonates in soils from gypsiferous materials.

* Departament de Fisiologia Vegetal. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

INTRODUCCIÓ

Els processos pedogenètics es poden caracteritzar per la dinàmica dels elements més solubles en les condicions d'alteració concretes del lloc. En extenses àrees de pluviometria escassa, el carbonat càlcic és el mineral característic i la seva dinàmica descriu la pedogènesi. D'altra banda, l'existència de carbonats d'alcalinoterris controla l'ambient químic del sòl a través del tampó $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$, condicionant la disponibilitat de molts nutrients, la humificació, la floculació dels col·loides i, en general, frenant alguna altra evolució química del sòl.

En el present treball s'estudia la distribució dels carbonats en sòls formats a partir de diverses roques carbonatades de la Depressió Central Catalana. L'estudi s'aborda mitjançant l'anàlisi dels carbonats totals i de les fraccions granulomètriques de sòls representatius de les diferents línies d'evolució observades.

MATERIAL I MÈTODES

S'han analitzat 54 perfils de sòls de la Depressió Central Catalana, considerada en el sentit biogeogràfic de BRAUN-BLANQUET & BOLÒS (1957). Els sondatges s'han fet sota vegetació arbustiva o de bosc i situació topogràfica culminant. Les característiques generals d'aquests sòls han estat descrites en un altre treball (VALLEJO, 1984).

Els mètodes emprats són: anàlisi granulomètrica pel mètode de la pipeta, seguint les indicacions de DUPUIS (1969); les fraccions considerades són: sorra grollera, amb diàmetre de 2-0,2 mm; sorra fina, 0,2-0,05 mm; llim groller, 0,05-0,02 mm; llim fi, 0,02-0,002 mm, i argila, inferior a 0,002 mm; els carbonats totals i de les fraccions granulomètriques s'han analitzat en general pel mètode acidimètric (USDA, 1973; DUPUIS, 1975); en sòls que contenen guix, el mètode anterior té un error important, en excés, per la qual cosa s'ha utilitzat el mètode del calcímetre (ALLISON & MOODIE, 1965).

La denominació dels horitzons segueix els criteris de la CPCS (1967). El fet que la sistemàtica anterior prengui el contingut en carbonats com a element taxonòmic en els alts nivells de classificació, fa que sigui més adient en la discriminació de

grups de sòls amb diferent perfil calcari en el present estudi. També es dona la classificació segons la Soil Taxonomy (ST; USDA, 1975), d'ús més generalitzat.

EL SUBSTRAT LITOLÒGIC

La relativa homogeneïtat climàtica de la Depressió Central comporta que la natura del material parental prengui un paper determinant en l'evolució dels sòls. Interessa, doncs, una tipificació de les roques que reflecteixi les seves propietats com a material parental dels sòls. En roques carbonatades són fonamentals les següents característiques (CIRIC, 1967): contingut total en carbonats, natura mineralògica (calcita, aragonit, dolomita), porositat, textura, característiques del residu insoluble. Se segueix aproximadament la classificació de les roques carbonatades de LEIGHTON & PENDEXTER (1962).

S'han mostrejat sòls formats a partir de les següents roques d'àmplia distribució a la Depressió Central:

Roques calcàries (més del 50 % de minerals carbonatats).

— Calcàries micrítiques, dures, grises. Són poc poroses i contenen més del 90 % de carbonats. 15 perfils.

— Calcilitites detrítiques. Contenen més del 50 % de les partícules carbonatades de mida llim i argila. La textura d'aquestes roques a l'àrea mostrejada és predominantment llimosa, essent la fracció majoritària el llim fi. El contingut en carbonats és molt variable, i no s'han detectat en aquest treball pautes regionals. 5 perfils.

— Calcarenites detrítiques, constituïdes per grans de mida sorra i ciment cristal·lí, ambdós de natura calcària. A la zona estudiada, el gra és preferentment sorra fina. El contingut en carbonats varia entre un 70 i un 90 %. Aquestes roques formen part de la província petrogràfica Sud definida per PINILLA (1966). 7 perfils.

Dins les roques que contenen menys del 50 % de carbonats, s'han trobat els tipus següents:

— Argiles calcàries. Roques detrítiques de residu insoluble format per argiles i llims. El contingut en carbonats és variable. Aquestes roques presenten una gradació sense solució de continuïtat amb les calcilitites detrítiques. 3 perfils.

— Gresos calcaris, de gra silícic i ciment calcari. El contingut total en carbonats en els casos estudiats és de l'ordre de 30-40 %. Es localitzen a la província Nord de PINILLA (1966). 10 perfils.

Roques guixenques. El guix és, en general, de tipus nodular i amb molta freqüència és englobat dins materials lutítics, amb carbonats i argiles. El contingut en carbonats és molt variable, entre 5 i 45 % a les mostres analitzades. El contingut en guix oscilla entre 75 i 20 %. 4 perfils.

A més dels sòls en relació directa amb les roques esmentades o amb colluvis molt locals originaris del mateix substrat, hi ha una sèrie de sòls desenvolupats a partir de materials col·luvials, constituïts per la barreja de més d'un tipus de roca. En aquestes situacions, les característiques físico-químiques vénen determinades per l'element fi predominant, que prové de calcilites (5 perfils) o argiles calcàries (5 perfils).

RESULTATS

La distribució de carbonats als sòls serà en funció dels següents elements: a) del contingut inicial del substrat i de les seves propietats envers la meteorització (CIRIC, 1967; PEDRO, 1972); b) de l'evolució del sòl que es realitza a través de la dissolució dels carbonats; el bicarbonat càlcic resultant pot reprecipitar en el mateix sòl, en els horitzons profunds, o bé ser evacuat del perfil i, en determinades circumstàncies, precipitar aigües avall en els vessants. Òbviament, les característiques del substrat seran relativament més importants com menor sigui el grau d'evolució del sòl.

Prentem com a element discriminant el contingut i la distribució dels carbonats, molt relacionat amb el tipus de substrat litològic, es consideren els següents grups de sòls:

1) Sòls sobre calcària dura. Fersialítics amb reserva càlcica i poc o molt rendzini-formes (CPCS). Subgrups lítico-xèric de *Haplargids*, *Camborthids*, *Haploxerolls*, *Torriorthents* i *Xerochrepts* (ST). L'evolució d'aquests sòls es caracteritza per la dissolució química pel·lucular de la calcària, sense disgregació mecànica, i la fàcil percolació dels soluts (LAMOUROUX, 1972), que provoquen una forta descarbonatació.

TAULA I. Carbonats totals: mitjana dels sòls estudiats
Mean total carbonates of the studied soils

Horitzó	Sòls carbonatats												% guix		
	Fersialítics ¹						Sòls carbonatats								
	S/gres calc.		S/calcarenita		S/lutites		S/guix		S/guix		S/guix				
n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	
A ₀	6	5,8	1,3	3	11,7	3,5	2	33,3	6,0	4	19,5	4,1	8	14,5	9,0
A ₁	12	6,4	3,1	5	21,3	6,2	9	51,6	7,9	15	35,7	11,0	5	31,8	13,8
A ₂ (B) ²	9	4,7	3,8	5	23,7	11,0	5	71,0	5,7	11	41,6	15,3	2	24,8	11,0
C i R ²	2	93,5	2,8	1	46,4		5	84,7	7,9	8	40,4	17,8	5	15,3	16,9

1. Sòls fersialítics sobre calcària no recarbonatats.
2. Una part d'aquests horitzons no tenen relació genètica amb els superiors (són IIA₃, IIC, etc.).

n: Nombre de mostres analitzades.
 \bar{x} : Valor mitjà de % CaCO₃ equivalent (o % guix en el seu cas).
s: Desviació típica.

Normalment són molt pedregosos per la fragmentació de la calcària poc alterada. A la zona estudiada no es forma cap altre tipus de sòl a partir de calcàries dures.

1 a. Sòls sense recarbonatacions: els carbonats són baixos a tot el perfil (taula I). La fracció sorra grollera (minoritària) és constituïda en gran part per fragments de calcària (fig. 1,1) mentre que les fraccions granulomètriques més fines presenten una disminució brusca en el contingut de carbonats. Malgrat aquesta distribució de la composició de les partícules, la textura predominantment franco-argil·limosa fa que les fraccions que aporten més carbonats al total de cada horitzó siguin, en general, argila i llim fi. No obstant això, aquestes fraccions no representen, una i altra, més de 3 g de CaCO_3 en 100 g de terra. L'existència d'una certa quantitat, encara que exigua, de carbonats a les fraccions més fines, indica la feble dinàmica de descarbonatació actual i, potser, un origen secundari d'aquests carbonats, no prou abundants per a constituir formes d'acumulació visibles a l'ull nu.

1 b. Sòls amb recarbonatacions evidents: pseudo-micelis en A_3 i (B), nòduls (de vegades retreballats), precipitats a les cares inferiors de les pedres, encrosta-ments. A la fig. 1,2 s'observa com la precipitació de carbonats comporta la seva acumulació inicial a la fracció de mida argila, d'acord amb els resultats de MERMUT & ST. ARNAUD (1981) i WIEDER & YAALON (1982), i en segon terme a la fracció llim fi.

A les àrees més humides dins la zona d'estudi, el grau de descarbonatació és més gran. Les recarbonatacions, en canvi, no obeeixen a cap pauta regional aparent. En un dels perfils estudiats, un horitzó col·luvial, ric en concrecions calcàries secundàries, se superposa a un altre de descarbonat i lleugerament àcid; aquest fet de-

mostra que les condicions actuals són força conservatives respecte a les descarbonatacions.

Els sòls fersialítics ocupen extensions reduïdes: en els altiplans i en situacions relativament protegides de l'erosió per ser freqüentment fissurals. En els vessants, la barreja col·luvial amb material lutític, molt carbonatat i quantitativament predominant, fa desaparèixer els caràcters fersialítics.

2) Sòls desenvolupats a partir de roca sorrenca. L'alteració de la roca s'inicia per la dissolució i lixiviació del ciment calcari que facilita la posterior disgregació mecànica (arenització) (CIRIC, 1967). S'han trobat els següents tipus de sòls:

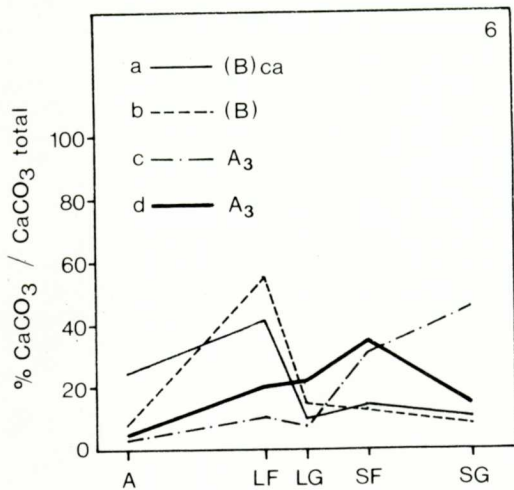
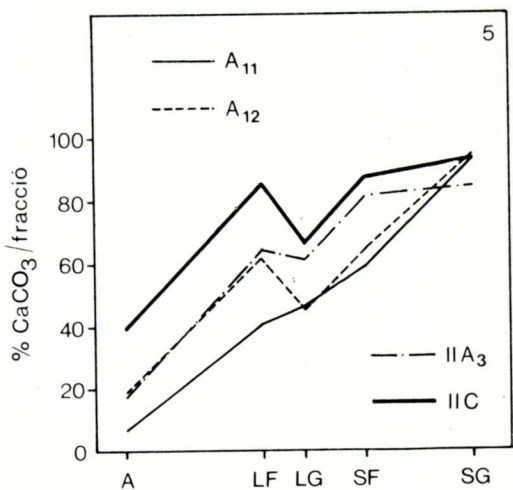
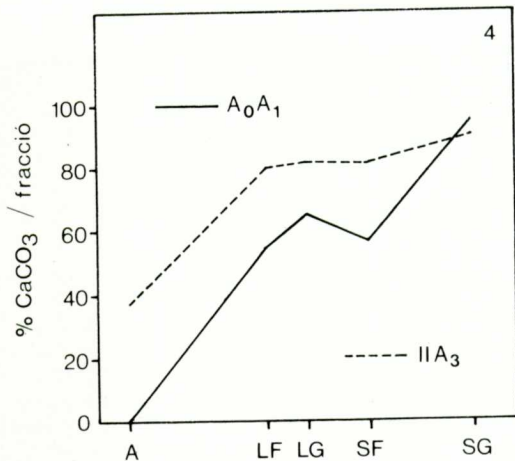
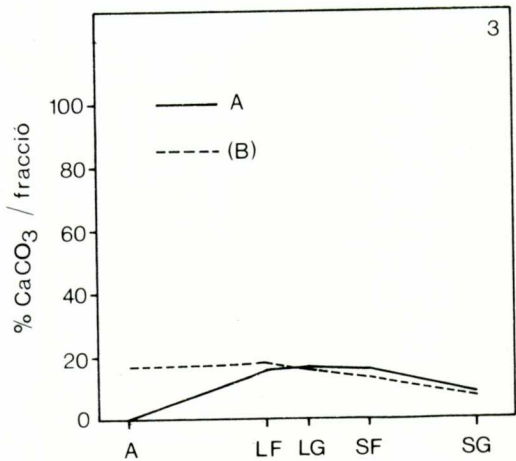
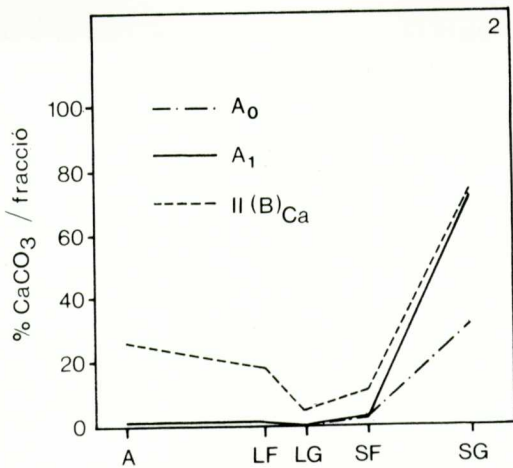
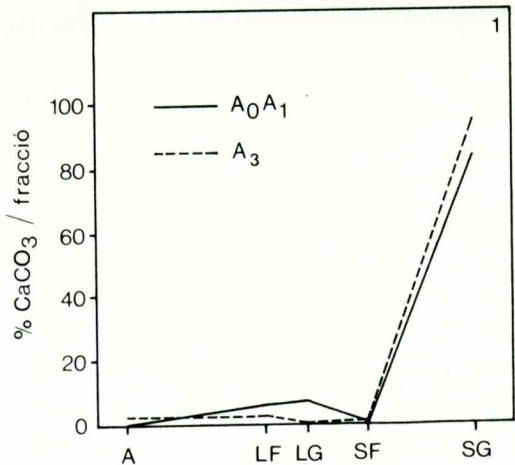
2 a. Sòls fersialítics bruns (CPCS) sobre gres calcari. Subgrup *lític* de *Xerorthents*, *Xerochrepts* i *Haploxeralfs* (ST). Són sòls fissurals, totalment descarbonatats i, fins i tot, acidificats, de l'extrem septentrional de l'àrea estudiada. Coexisteixen amb sòls no descarbonatats ni fersialitzats en les mateixes condicions ambientals i de substrat, la qual cosa suggereix que tenen un caràcter relict.

2 b. Sòls carbonatats (rendzines i bruns calcaris, CPCS). Són sòls molt superficials del subgrup lítico-xèric de *Torriorthents*, excepte en un cas de *Camborthid* lítico-xeròlic (ST). La dissolució del ciment calcari deixa un residu sorrenc pobre en carbonats en el cas de gres calcari i molt carbonatat en el cas de calcarenites, com s'evidencia tant en la distribució de carbonats a les classes de partícules (fig. 2) com en els continguts totals (taula I).

En sòls a partir de gres calcari, el contingut en carbonats és força variable a les sorres i depèn de les característiques pròpies del gres. Els llims mantenen continguts relativament alts que constitueixen sovint les fraccions més riques en carbo-

Fig. 1. Distribució dels carbonats a les fraccions granulomètriques de sòls representatius. 1: sòl fersialític sobre calcària; 2: sòl fersialític recarbonatat sobre calcària. Sòls carbonatats; 3: sobre gres calcari; 4: sobre calcarenita; 5: sobre calcilitita; 6: comparació de la distribució dels carbonats de les fraccions respecte als carbonats totals d'horitzons representatius dels diferents tipus de sòl: a: fersialític recarbonatat; b: carbonatat sobre argila calcària; c: carbonatat sobre calcarenita, i d: carbonatat sobre gres calcari.

A: argila; LF: llim fi; LG: llim groller; SF: sorra fina; SG: sorra grollera. A l'eix x, els intervals entre les classes granulomètriques es representen a escala logarítmica. Carbonates distribution in the granulometric fractions from representative soils. 1: fersiallitic soil on limestone; 2: fersiallitic soil with secondary carbonates on limestone. Carbonatic soils; 3: on calcareous sandstone; 4: on calcarenite; 5: on calcilitite; 6: comparison of carbonates distribution in the granulometric fractions with respect to total carbonates in representative horizons from the different soil types: a: fersiallitic with secondary lime; b: carbonatic on calcareous clay; c: carbonatic on calcarenite, and d: carbonatic on calcareous sandstone. A: clay; LF: fine silt; LG: coarse silt; SF: fine sand; SG: coarse sand. The particle size classes are plotted in logarithmic scale.



nats. Aquest fet és conseqüència d'una dissolució incompleta del ciment del gres que és majoritàriament de mida llim. La fracció argila dels horitzons superiors és sempre totalment descarbonatada (fig. 1,3).

En sòls desenvolupats a partir de calcares, la pauta de distribució dels carbonats en les fraccions granulomètriques és similar a la del gres calcarí, excepte en un superior contingut a les sorres que, d'altra banda, és força constant en els sòls anàlitzats (fig. 1,4).

3) Sòls sobre materials lutítics. Són sòls carbonatats, rendzines i bruns calcaris (CPCS). *Torriorthents* lítico-xèric, *Camborthids* lítico-xeròlic, *Calciorthids* xeròlic i *Paleorthids* xeròlic (ST). Les roques lutítics s'alteren fàcilment per desintegració mecànica (CIRIC, 1967) la qual cosa les fa molt sensibles a l'erosió. En ser roques poroses, embeuen l'aigua de pluja i el seu poder descarbonatant és neutralitzat ràpidament; com a conseqüència, la dissolució progressa poc en profunditat (BOTTNER, 1972). En medis secs, els carbonats dissolts sovint no arriben a evacuar-se del perfil.

El predomini de l'alteració mecànica sobre la química fa que els sòls formats a partir de calcilutites i argiles calcàries siguin molt rics en carbonats, poc diferenciats i joves (BOTTNER, 1972). Són, comparativament, els sòls més carbonatats, amb un alt contingut en carbonats de dimensions fines, fins i tot en els horitzons superiors (taula I i fig. 2). La descarbonatació sempre augmenta en el sentit $C \rightarrow (B) \rightarrow A_1 \rightarrow A_0$, encara que a la taula I els valors dels horitzons A_3 -(B) i C siguin del mateix ordre pel fet que no s'han analitzat tots els materials parentals i que molts horitzons no s'originen directament a partir del substrat subjacent. Totes les fraccions són en gran part de natura calcària, excepte les argiles dels horitzons A_0 i, per tant, la major part dels carbonats corresponen a la fracció predominant: el llim fi (fig. 2). En alguns casos hi ha recarbonatacions.

Els sòls a partir d'argiles calcàries i calcilutites tenen un comportament semblant, amb l'única diferència que aquests darrers presenten un nivell general de carbonats més alt.

4. Sòls sobre guixos: Sòls guixencs (renziniformes i bru guixencs, CPCS); *Torriorthents* lítico-xèric i *Camborthids* lítico-xeròlic (ST). A l'àrea estudiada, les roques guixenques sempre contenen carbonat càl-

cic, encara que en proporcions força variables. La superior solubilitat del guix respecte al carbonat càlcic fa que el desenvolupament del perfil comporti un increment relatiu en el percentatge de carbonat per rentat selectiu de guix. Per la mateixa raó, els materials colluvials procedents de les roques guixenques són molt pobres en guix. D'altra banda, en les situacions topogràfiques escollides, no s'han observat precipitats secundaris de guix, amb la qual cosa se suposa que predomina el rentat lateral i la lixiviació del sulfat. El procés de dissolució selectiva del guix comporta l'evolució d'aquests sòls cap als carbonatats.

DISCUSSIÓ DELS RESULTATS

D'una manera general, hi ha una relació inversa per cada sòl entre el percentatge de matèria orgànica i de carbonat càlcic total i de les fraccions fines, justificada per la interacció complementària de dos efectes: a) l'alliberament d'acidesa i CO_2 concomitant amb la descomposició de la matèria orgànica, i b) la posició superficial dels horitzons rics en matèria orgànica, per on passa el màxim d'aigua de pluja i amb el màxim poder de dissolució. En els horitzons orgànics (A_0), el contingut en carbonats seria el resultat del balanç entre les pujades de matèria mineral per la fauna edàfica i la dissolució, màxima dins el perfil per les raons assenyalades abans. A diferència dels sòls carbonatats, els sòls fersialítics sobre calcària només mantenen la relació inversa matèria orgànica/carbonat càlcic en la fracció de mida argila (la més làbil). Aquest fet corroboraria el caràcter fonamentalment relicte d'aquestes fortes descarbonatacions.

La dissolució és màxima en relació inversa a les mides de partícules carbonatades a causa de l'augment corresponent de superfície específica. Per tant, llevat que una fracció sigui a la roca selectivament de natura no calcària, per efecte de la dissolució, el contingut en carbonats de les fraccions granulomètriques s'ordenarà de menys a més en el sentit argila \rightarrow sorra grollera. Pel mateix motiu, si es comparen horitzons originaris d'un material parental comú, s'observa que les fraccions fines són les que disminueixen més els carbonats de baix a dalt del perfil. Les inversions de l'ordenació anterior en l'extrem argila (fi-

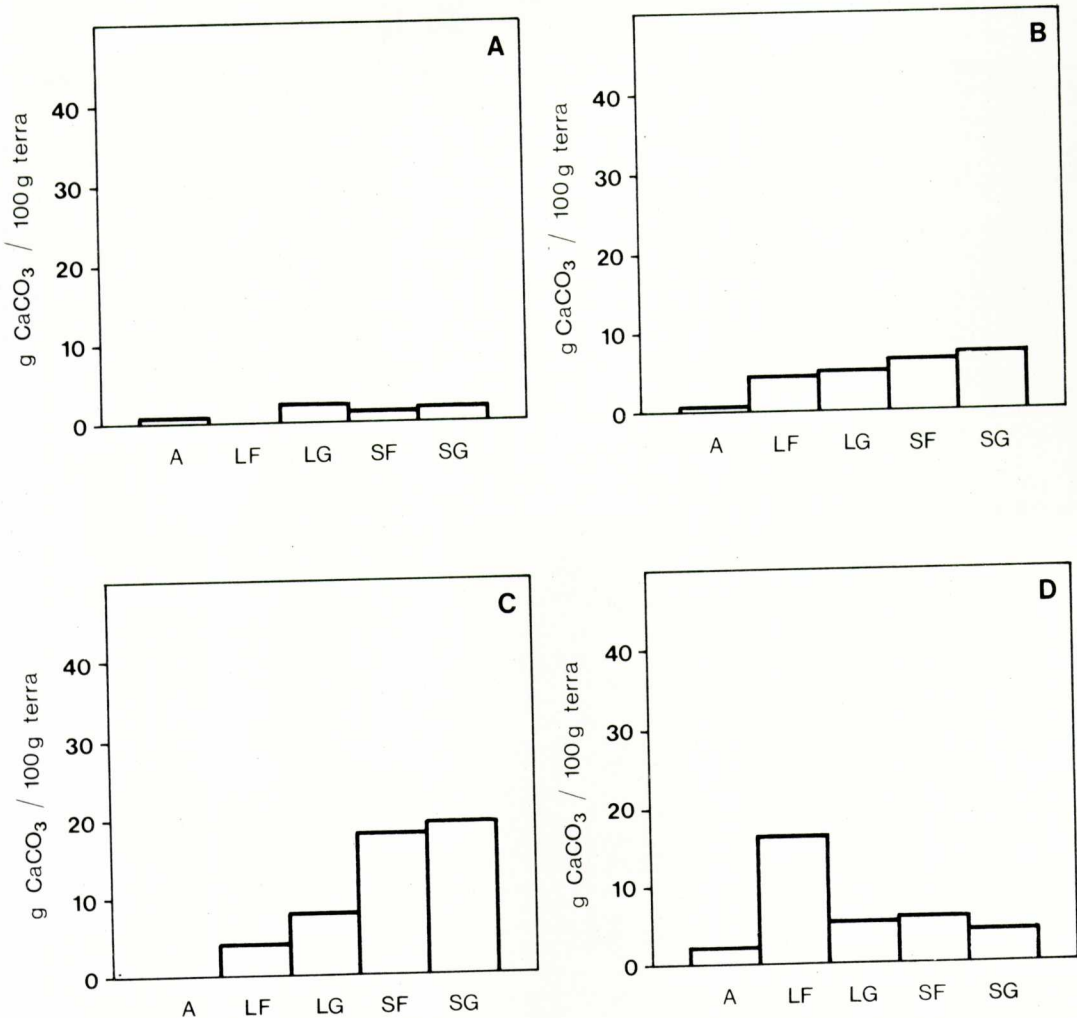


FIG. 2. Distribució dels continguts absoluts de carbonats per fraccions granulomètriques d'horitzons A₁ de sòls representatius. A: fersialític sobre calcària; B: carbonatat sobre gres calcari; C: carbonatat sobre calcarenita. D: carbonatat sobre calcilutita.
 Distribution of the absolute carbonate contents in relation to the granulometric fractions from A₁ horizons of representative soils. A: fersiallitic on limestone; B: carbonatic on calcareous sandstone; C: carbonatic on calcarenite; D: carbonatic on calcilutite.

gura 1,2, horitzó II (B)ca indicaria l'existència de processos de recarbonatació que s'inicien en les fraccions més fines, i creixen cap a les grolleres.

D'altra banda, si hom defineix un índex de grau de descarbonatació que sigui: $100 \times (\% \text{CaCO}_3 \text{ roca} - \% \text{CaCO}_3 \text{ hor. A}_1) / \% \text{CaCO}_3 \text{ roca}$, hom pot determinar l'ordre de magnitud de la descarbonatació pels diferents grups de sòls. Utilitzant els valors mitjans de la taula I, orientatius en el sentit que

no corresponen sempre a seqüències d'horitzons relacionats genèticament ni tots els perfils tenen el mateix nombre d'horitzons, s'obtenen els següents graus de descarbonatació: fersialítics bruns sobre gres calcari, 100 %; fersialítics sobre calcària, 90 %; carbonatats sobre gres calcari, 50 %; carbonatats sobre calcarenita, 40 %; carbonatats sobre argiles calcàries i calcilutites, 10 %. La diferència en el grau de descarbonatació entre gres calcari i calca-

renita pot ser atribuïda a la distribució geogràfica dels afloraments de les dues roques, coincidint els gresos amb el sector septentrional, més humit, i les calcarenites amb el meridional, més sec. Cas a part són els sòls desenvolupats a partir de guixos en els quals es produeix un augment relatiu, d'un 100 %, en el contingut de carbonats, a causa de la pèrdua absoluta d'un 90 % del guix inicial. És obvi que la lixiviació de guix dels relleus culminals és un procés força actiu que precedeix la descarbonatació.

L'ordenació dels grups de sòls segons el grau de descarbonatació reflecteix l'efecte combinat de les característiques del substrat i del temps durant el qual s'ha produït l'edafogènesi, amb les condicions climàtiques corresponents. En aquest sentit es poden diferenciar dos grans grups de sòls: 1) sòls molt descarbonatats, que poden presentar recarbonatacions, de cicle llarg, amb distribució espacial discontinua i sovint associada a posicions fissurals protegides de l'erosió; aquests sòls, formats sobre materials percolants (calcàries i gresos calcaris), correspondrien als grups fersialítics descrits. Per les raons citades i les condicions climàtiques actuals, lluny dels òptims de fersialització proposats per LAMOUROUX (1972), s'atribueix un caràcter fonamentalment relicte a aquests sòls. 2) Sòls d'evolució clarament d'acord amb el clima actual, d'àmplia distribució, en els quals la descarbonatació és moderada en general i, en qualsevol cas, molt dependent de les característiques de la roca mare, en particular la seva porositat i contingut i distribució dels carbonats.

En resum, el carbonat càlcic és el mineral característic dels sòls estudiats, tant per la feble descarbonatació actual, com per la convergència dels sòls fersialítics, no totalment descarbonatats i en alguns casos recarbonatats, i la dels sòls guixencs, per rentat del guix i concentració relativa dels carbonats.

BIBLIOGRAFIA

- ALLISON, L. E. & MOODIE, C. D. 1965. Carbonate. In: *Methods of soil analysis* (C. A. Black, Ed.): 1379-1396. American Soc. Agron. Madison.
- BOTTNER, P. 1972. *Evolution des sols en milieu carbonaté. La pédogenèse sur roches calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du sud de la France*. Thèse Univ. Strasbourg, mém. n. 37.
- BRAUN-BLANQUET, J. & BOLDÈS, O. de. 1957. Les groupements végétaux du Bassin Moyen de l'Ebre et leur dynamisme. *An. Est. Exp. Aula Dei*, 5.
- CIRIC, M. 1967. Characteristics of soil formation on limestone and principles of limestone classification. *Soviet Soil Sci.*, 1: 57-64.
- CPCS. 1967. *Classification des sols*. ENSA, docmulting.
- DUPUIS, P. 1969. Dosage des carbonates dans les fractions granulométriques de quelques sols calcaires et dolomitiques. *Ann. Agron.*, 20 (1): 61-88.
- DUPUIS, P. 1975. La répartition granulométrique des carbonates dans les sols. *Sci. du Sol*, 4: 249-270.
- LAMOUROUX, M. 1972. Étude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. *Mém. ORSTOM*, 56.
- LEIGHTON, M. W. & PENDEXTER, G. 1962. *Classification of carbonate rocks*. Ann. Ass. of Petroleum Geologists. Oklahoma.
- MERMUT, A. R. & ST. ARNAUD, R. J. 1981. A study of microcrystalline pedogenic carbonates using submicroscopic techniques. *Can. J. Soil Sci.*, 61: 261-272.
- PEDRO, G. 1972. Les sols développés sur roches-mères calcaires. Nature, originalité et cadre général de leur évolution à la surface du globe. *Sci. du Sol*, 1: 6-18.
- PINILLA, A. 1966. Estudio sedimentológico de la zona aragonesa de la cuenca terciaria del Ebro. II parte. *Anal. Edaf. Agrob.*, 27: 593-617.
- USDA. 1973. *Investigación de suelos. Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras*. Trillas. México.
- USDA. 1975. *Soil Taxonomy. Agricultural handbook*, 436. Soil Conservation Service.
- VALLEJO, V. R. 1984. *Estudio de los suelos forestales de la Depresión Central Catalana*. Resum tesi. Universitat de Barcelona.
- WIEDER, M. & YAALON, D. H. 1982. Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. *Geoderma*, 28: 1-12.