

DISTRIBUCIÓ DEL FERRO LLIURE EN ELS SÒLS DE LES TERRASSES DEL RIU ANOIA (ALT PENEDEÈS)

Ramon Josa *

Rebut: gener de 1987

SUMMARY

Free iron distribution in the soils of the Anoia river terraces (NE Spain)

The results of the different iron contents (total, pedogenic free iron oxides and amorphous iron) in a soil sequence on the Anoia River (Catalonia, NE Spain) terraces are shown.

The iron ratio increases from the flood-plain to terrace 2, probably Paleotyrrenian-Eutyrrhenian.

The soil sequence is: Typic Xerocept, Calcixerollic Xerochrept and Rhodoxeralf.

RESUM

Hom recull els resultats de la distribució de les diferents formes de ferro (total, lliure i no cristal·lí) en una seqüència de sòls formats sobre les terrasses del riu Anoia, en el seu pas per l'Alt Penedès.

La taxa d'alliberament de ferro s'incrementa des de la plana al·luvial fins a la terrassa 2 (atribuïda al període Paleotirrenià-Eutirrenià).

La seqüència de sòls que es correspon amb la successió de les terrasses és: *Typic Xerocept*, *Calcixerollic Xerochrept* i *Rhodoxeralf*.

MOTS CLAU: Fe lliure, Pedogènesi, Cronoseqüència, Anoia, Quaternari.

KEY WORDS: Free Fe, Pedogenesis, Chronosequence, Anoia River, Quaternary.

INTRODUCCIÓ

En la successió de terrasses al·luvials dels grans rius es donen dues condicions molt favorables per a observar i estudiar els processos de pedogènesi dels sòls que s'hi han desenvolupat. En les condicions

òptimes, és a dir, si durant tot el període d'evolució del riu la litologia de la capçalera s'ha mantingut invariable, la mineralogia de la terra fina dels dipòsits al·luvials no presenta variacions de composició importants. La litologia del material original serà homogènia per a totes les terrasses i,

* Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Urgell, 187. 08036 Barcelona.

TAULA I. Localització i classificació dels perfils representatius dels 4 nivells de terrasses.
Location and classification of the different representative profiles on the four terrace levels.

Nivell	Perfil núm.	X	Localització Coordenades U.T.M. Y	Z	Classificació S. T. S. (1975)
2	8.304	398,835	4.586,950	153	<i>Rhodoxeralf</i>
1b	8.303	402,060	4.586,205	132	<i>Calcixerollic Xerocept</i>
1a	8.301	395,250	4.591,350	170	<i>Calcixerollic Xerocept</i>
p. a.	8.001	397,190	4.589,935	130	<i>Typic Xerochrept</i>

per tant, l'evolució dels sòls s'haurà fet a partir d'un mateix material inicial.

Per contra, els sòls desenvolupats sobre aquestes terrasses presenten molt sovint una morfologia força diversificada, fruit de la desigual durada del període d'evolució a què han estat sotmesos.

En aquestes condicions òptimes, el factor temps esdevé l'única variable a considerar per explicar la diferenciació observada en els sòls. En conjunt, responen plenament al concepte de cronosequència de sòls tal i com la defineix JENNY (1946).

En l'àrea circummediterrània, s'han estudiat nombroses successions de sòls sobre terrasses de rius més o menys importants (Roine, Henares, Po, etc.) amb el resultat d'una seqüenciació força semblant, però amb variacions lligades a la presència o no de carbonat de calci a la terra fina (BORNAND, 1978; VAUDOUR, 1979; ARDUINO *et al.* 1984) i als nivells pluviomètrics actuals de la zona estudiada (ARNAL, 1982).

Totes les seqüències trobades en aquest àmbit geogràfic responen als tres estadis evolutius següents:

- Estadi de descarbonatació (si el sòl era inicialment carbonatat).
- Estadi de fersialitització i rubefacció, i
- Estadi de degradació amb formació d'ultisòls o planosòls si el temps d'evolució ha estat suficient.

En tot aquest procés evolutiu, l'alteració dels minerals primaris del sòl dona lloc a la formació d'òxids de ferro cristal·lí, anomenat ferro lliure, format a expenses del

ferro present en els minerals primaris, i que per acumulació pot esdevenir un índex del grau d'evolució del sòl (McKEAGUE, 1979).

Alguns estudis previs realitzats al Penedès (GALLART, 1980) havien posat de manifest l'existència, a la vall del riu Anoia, d'una sèrie de terrasses al·luvials que suporten sòls de diferent pedogènesi, i que són identificables pel seu color, vermellós o no, però lligat sempre a la presència d'ions Fe.

És força conegut que el grau d'alliberació de ferro serveix de criteri guia per a caracteritzar els sòls dels diferents nivells de terrasses (BLUME & SCHWERTMANN, 1969).

Amb l'objectiu de conèixer la distribució de les formes de Fe i poder quantificar el ferro lliure format durant el procés d'evolució dels sòls de les terrasses del riu Anoia, s'han estudiat una sèrie de perfils representatius distribuïts entre els tres nivells millor diferenciats: terrasses 1a, 1b i 2, i la plana al·luvial (p. a.).

Aquesta caracterització morfològica, analítica i sistemàtica dels sòls, estudiada per JOSA (1985), serveix de referència a l'hora d'estudiar la distribució de les formes del Fe que contenen els sòls.

MATERIAL I MÈTODES

Del conjunt de dipòsits al·luvials de l'Anoia s'han seleccionat 4 perfils representatius. S'ha analitzat el contingut de les diferents formes del Fe en un total de 65

TAULA II. Principals dades analítiques dels perfils.
Relevant analytical soil data.

Perfil	Htzó.	Prof. cm	Color sec	SG %	SF %	LLG %	LLF %	Arg %	pH	CO ₂ ⁼ %	C.O. %	C.E. dSm ⁻¹
p. a. (8.001)	Ap1	0- 9	7,5YR6/4	16,09	28,46	23,85	18,48	13,13	8,35	47,52	0,71	1,30
	Ap2	9- 24	7,5YR6/5	18,41	28,02	18,35	23,16	12,24	8,40	46,42	0,97	1,00
	Bw	24- 50	7,5YR7/4	18,78	23,10	22,64	22,58	12,91	8,25	46,59	0,57	1,50
	C1	50- 78	7,5YR6/2	84,54	10,48	1,47	1,86	1,75	8,75	35,88	0,07	1,20
	C2	78- 89	10YR6/3	86,59	8,68	1,23	2,04	1,45	8,80	35,20	0,02	1,65
	C4	89-130	10YR6/3	88,78	7,11	1,22	1,90	0,99	8,80	33,46	0,07	1,55
	C5	130-160	7,5YR6/2	73,50	21,17	2,07	1,68	1,58	8,80	38,04	0,07	0,90
1a (8.301)	Ap	0- 22	5YR4/4	7,15	11,91	18,05	35,25	27,64	8,45	18,51	0,78	0,20
	Bw1	22- 45	5YR4/2	5,97	11,20	14,48	31,00	37,35	8,40	16,12	0,84	0,17
	Bw2	45- 61	5YR5/2	7,97	9,63	13,12	30,56	38,74	8,30	23,80	0,77	0,21
	2Bw	61- 86	7,5YR6/1	3,84	5,45	11,79	40,44	38,47	8,50	41,43	0,51	0,18
	2Bk	86-110	5YR6/1	1,91	2,33	6,75	44,41	44,62	8,30	33,65	0,57	0,19
	3AbCk	110-127	10YR7/2	5,43	7,81	15,05	45,14	26,47	8,15	50,40	0,22	0,40
	3CgAy	127-144	10YR8/2	1,64	6,12	17,36	50,18	24,70	8,20	52,27	0,19	0,74
	4AbC	144-165	2,5YR7/6	1,12	48,02	21,61	12,46	16,69	8,35	57,28	0,11	0,27
	5Cy	165-171	2,5YR7/6	31,96	43,37	8,61	9,56	6,50	8,35	48,70	0,08	0,35
	6C	171-180	10YR6/6	3,91	26,07	30,25	26,94	12,85	8,35	53,52	0,13	0,45
1b (8.303)	Ap	0- 60	7,5YR5/4	10,32	32,55	20,44	14,71	21,98	8,30	25,11	0,75	0,20
	Bw1	60-110	5YR5/5	11,49	28,53	21,94	17,59	20,45	8,45	7,16	0,23	0,19
	Bw2	110-140	5YR5/6	7,51	30,45	20,78	15,61	25,64	8,15	4,60	0,20	0,25
	2Ck	140-186	7,5YR6/6	15,01	17,50	23,80	22,08	21,55	8,25	37,60	0,15	0,31
2 (8.304)	Bw	0- 79	7,5YR6/6	14,73	17,10	18,29	26,04	23,82	7,90	30,28	0,18	0,34
	Bw2	79-115	7,5YR7/4	12,77	13,47	15,26	36,31	22,19	8,00	4,39	0,15	0,88
	2Bt1	115-156	5YR5/4	8,20	15,28	23,10	19,74	33,61	8,35	4,97	0,27	0,34
	2Bt2	156-206	5YR5/6	8,97	16,57	21,24	19,66	33,56	8,10	2,61	0,05	1,21
	2Ck	> 206	7,5YR6/6	20,60	16,01	26,61	14,09	23,60	8,40	39,09	0,17	1,60

mostres repartides entre els quatre nivells.

La taula I recull la localització dels perfils i la seva classificació taxonòmica (JOSA, 1985). La taula II presenta les principals característiques analítiques d'aquests perfils. Les anàlisis s'han realitzat d'acord amb els mètodes de l'US SALINITY LAB. (1966), a excepció de la conductivitat elèctrica, que ha estat mesurada en l'extracte 1/5.

Els perfils escollits corresponen als quatre termes de la seqüència trobada: Sòl poc evolucionat d'aportament (p. a.), sòl bru calcari modal (nivell 1a), sòl bru calcari amb encostrament (nivell 1b) i sòl fersialític amb reserva càlcica (nivell 2). Alguns d'ells són funcionals avui encara (nivells de p. a. i 1a) i els altres dos són relictos (nivells 1b i 2). El material original del nivell 2 correspon a dipòsits associats a la terrassa.

La datació dels perfils no està definitivament establerta però els nivells posteriors a 1b es poden atribuir a l'Holocè, mentre que els nivells 1b i 2 són preholocènics. En concret, el nivell 2 pot datar com a màxim entre 100×10^3 i 125×10^3 anys, entre el Paleotirrenià i l'Eutirrenià (GALLART, 1980).

Les formes de Fe analitzades són les següents:

- *Fe total* (Fe_t); s'extreu amb HCl concentrat i en calent (DABIN *et al.*, 1966).
- *Fe lliure* (Fe_d); s'obté extractant la mostra amb ditionit sòdic/citrat sòdic/bicarbonat sòdic, segons MEHRA & JACKSON (1960). Es valora el ferro cristallí d'origen edàfic.
- *Fe no cristallí* (Fe_o); també dit amorf, que s'ha obtingut per extracció amb el tampó oxalat-oxàlic (SCHWERTMANN, 1964).

TAULA III. Distribució del ferro total (% Fe_t) en el conjunt de les mostres analitzades.
Distribution of total iron (% Fe_t) in the analysed soil samples.

Horitzó: Nivell	A	B	C	n	x	σ
2	2,64	3,42	2,95	21	2,95	0,243
1b	2,68	2,34	1,89	9	2,25	0,322
1a	6,23	5,66	6,06	28	5,98	0,239
p. a.	3,90	3,84	3,38	7	3,71	0,231

TAULA IV. Contingut en òxids de ferro cristallins (% Fe_d) en les mostres analitzades.
Distribution of free iron oxides (% Fe_d) in the analysed soil samples.

Horitzó: Nivell	A	B	C	n	x	σ
2	1,15	1,99	1,63	21	1,59	0,344
1b	1,14	1,00	0,90	9	1,02	0,097
1a	1,09	1,20	1,02	28	1,10	0,076
p. a.	1,29	1,31	0,97	7	1,19	0,156

El contingut en Fe s'ha determinat per absorció atòmica en tots els casos.

Amb aquests valors s'han calculat els índexs habituals que permeten comparar les diferents formes de Fe presents en el sòl, evitant la distorsió que origina el diferent contingut de Fe en el material original:

Taxa d'alliberament de Fe:

$$(\text{Fe}_d / \text{Fe}_t) \cdot 100;$$

Índex de ferro amorf:

$$(\text{Fe}_o / \text{Fe}_t) \cdot 100 \text{ i}$$

Índex d'activitat dels òxids de ferro:

$$(\text{Fe}_o / \text{Fe}_d) \cdot 100$$

RESULTATS I DISCUSSIÓ

Es tracta d'una seqüència de sòls desenvolupats sobre materials originals carbonatats (taula II), on el major contingut en carbonats es troba en 1b. En la se-

qüència s'observa una mobilització creixent d'aquesta sal, de forma paral·lela a l'edat de la terrassa. En darrer terme dona lloc a la formació d'horitzons Bca, on es presenta en forma de crosta contínua i dura. La descarbonatació dels horitzons Bw i Bt és intensa però no completa, de forma que s'asseguren uns pH actuals força elevats (entorn de 8) i un percentatge de saturació també alt. Es tracta d'un procés llarg i que no ha afectat de forma apreciable els nivells anteriors a 1a.

El nivell 1b presenta un contingut creixent de sals solubles, especialment en els horitzons de profunditat. Aquestes sals són fonamentalment guix i clorurs (JOSA, 1985), que coincideixen amb l'aparició de tonalitats gris-blavoses que s'atribueixen a unes condicions de paleoreducció (DANIELS *et al.*, 1961).

La mobilització de la fracció argila és menor al llarg de la seqüència i no és fins al nivell 2 que es manifesten els horitzons argílics. El seu desenvolupament és força intens i poden arribar a tenir amb facilitat entorn d'1 m de gruix (p. ex. perfil 8.304). Es caracteritzen per desenvolupar una estructura polièdrica grossa amb nombrosos *sliken-sides*.

El contingut en Fe_t (taula III) és prò-

xim al 3 %, encara que analitzant els resultats s'observa un increment anòmal en tots els horitzons del nivell 1b. Aquest contingut arriba a duplicar el valor que presenten els altres termes de la seqüència.

Els valors de Fe_d (taula IV) estan força més agrupats en tota la seqüència (entre 1 i 2 %), essent majors en els horitzons Bt del nivell 2.

La rubefacció interessa els darrers termes de la seqüència; s'inicia a partir del terme 1b i no afecta tot el perfil fins al nivell 2 (taula V). El procés de fersialitització es manifesta encara més tardà i no excessivament intens, ja que no pot parlar-se de fersialitització abans del nivell 2 (pre-holocènic), on s'assoleixen taxes d'alliberació de Fe superiors al 60 % en l'horitzó Bt (taula VI).

El ferro no cristal·lí (taula VII) es manté a uns nivells més baixos (0,05 i 0,1 %), com era d'esperar, malgrat s'incrementi significativament en el terme 1a. Precisament en aquest terme s'observa la presència de successius nivells orgànics enterrats, formats en condicions paleoreductores, que poden explicar els valors

TAULA V. Índex d'alliberament de Fe ($Fe_d/Fe_t \cdot 100$); dels horitzons B i C.
Free iron ratio.

Horitzó: Nivell	B C	
	$Fe_d/Fe_t \cdot 100$	
2	61,75	55,96
1b	45,36	48,19
1a	21,47	28,87
p. a.	34,28	29,15

TAULA VI. Valors més alts de l'índex de ferro lliure que s'han trobat a la zona. Corresponen al perfil 8203 de la terrassa 2.
Higher values of free iron contents found in the area.
Soil profile number 8203, terrace 2.

Horitzó	Fe_t	Fe_d	Taxa d'alliberació de Fe (%)
2Bw	3,37	2,04	60,50
2Bt1	3,25	2,51	77,74
2Bt2	4,20	3,65	86,76

TAULA VII. Contingut de ferro no cristal·lí (% Fe_o) en les mostres analitzades.
Amorphous iron ratio.

Horitzó: Nivell	A	B	C	n	x	σ
2	0,054	0,091	—	17	0,079	0,015
1b	0,078	0,084	0,031	9	0,069	0,022
1a	0,163	0,224	0,178	28	0,189	0,025
p. a.	0,148	0,151	0,064	7	0,121	0,040

majors d'activitat dels òxids de ferro, ja que la matèria orgànica retarda i, fins i tot, bloqueja la cristallització dels òxids de ferro (SCHWERTMANN, 1966, 1985).

TAULA VIII. Índex d'activitat dels òxids de Fe en els horitzons A+Ab i B dels diferents nivells de terrassa.
Iron activity ratio in the A+Ab & B horizons.

Horitzó Nivell	A+Ab B	
	$Fe_o/Fe_t \cdot 100$	
2	2,63	0,39
1b	3,03	3,22
1a	21,84	4,42
p. a.	3,82	3,93

BIBLIOGRAFIA

- ARDUINO, E., BARBERIS, E., CARRARO, F. & FORNO, M. G. 1984. Estimating relative ages from Iron-oxid/total-Iron ratios of soils in the West Po Valley, Italy. *Geoderma*, 83: 39-52.
- ARNAL, H., BARRIÈRE, J. & BORNAND, M. 1973. Les paléossols des terrasses fluviales du bassin Rhodanien et du Languedoc. *Spec. AFEQ XIX Cong. INQUA*, 2: 203-206.
- BLUME, H. P. & SCHWERTMANN, U. 1969. Genetic evaluation of profile distribution of Al, Fe, Mn oxides. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 33: 348-444.
- BORNAND, M. 1978. *Altération des matériaux fluvioglaciers; genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la Moyenne Vallée du Rhône*. Thèse Doct. État USTL, SES, Montpellier.
- DABIN, J. et al. 1966. Al, Fe, Ti totaux, Fe libre. Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. *Cah. ORSTOM sér. Pédologie*, IV (1): 269-275.
- DANIELS, R. B., SIMONSON, G. H. & HANDY, R. L. 1961. Ferrous iron content and color of sediment. *Soil Sci.*, 91: 378-382.
- GALLART, F. 1980. *Estudi geomorfològic del Penedès. Sector Anoia i Riudebitlles*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- JENNY, H. F. 1946. Arrangement of soil Series and types according to functions of soil forming factors. *Soil Sic.*, 61: 375-391.
- JOSA MARCH, R. 1985. *Estudi cronoseqüencial de sòls sobre les terrasses de l'Anoia (entre Geliada i el Bedorc)*. Tesi Doctoral. Universitat de Barcelona.
- MCKEAGUE, L. E., BRYDON, J. E. & MILES, N. M. 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 35: 33-38.
- MEHRA & JACKSON. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Proc. 7th. U.S. Conf. Clay and Clays Min.*, 317-327.
- RAYNAL, R. 1979. Observations sur le quaternaire continental et sa morphogénese dans le Sud et dans le Centre de Portugal. *Finisterra*, XIV (28): 190-217.
- SCHWERTMANN, U. 1966. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxide. *Nature*, 212: 645-646.
- SCHWERTMANN, U. 1985. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. In: *Advances in Soil Science*, 1: 171-200.
- USDA. 1975. *Soil Taxonomy. A basis system of soil classification for making and interpreting soils surveys*. Agriculture Handbook, 436. Washington D.C.
- US SALINITY LABORATORY STAFF. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agriculture Handbook, 60. Washington D.C.
- VAUDOUR, J. 1979. *La Région de Madrid. Altérations, sols et paléossols. Contribution à l'étude géomorphologique d'une région méditerranéenne semi-aride*. OPHRYS. Paris.