

INTRODUCCIÓ AL CONEIXEMENT DEL SÒL

SÒLS DELS PAÏSOS CATALANS

ASSOCIACIÓ D'ENGINYERS AGRÒNOMS DE CATALUNYA

INTRODUCCIÓ AL CONEIXEMENT DEL SÒL

SÒLS DELS PAÏSOS CATALANS

Jaume Porta i Casanellas
i
Josep M. Alcañiz i Baldellou
Edith Castells i Ferrer
Robert Cruañas i Tarradas
Ricard Danés i Ribalta
M. Teresa Felipó i Oriol
Juan Sánchez Diaz
Narcís Teixidor i Albert

ASSOCIACIÓ D'ENGINYERS AGRÓNOMS DE CATALUNYA

EQUIP D'AUTORS

Josep Alcañiz i Baldellou, *Doctor en Biologia*
Departament de Fisiologia Vegetal i Edafologia, Facultat de Ciències, Universitat A. de Barcelona

Edith Castells i Ferrer, *Llicenciada en Biologia*
Departament de Ciència del Sòl i Climatologia, E.T.S. d'Enginyers Agrònoms (Lleida), Universitat Politècnica de Catalunya

Robert Cruañas i Tarradas, *Doctor en Química*
Departament d'Edafologia, Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona

Ricard Danés i Ribalta, *Enginyer Agrònom*
Secció de Sòls i Fertilitzants, Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya

M. Teresa Felipó i Oriol, *Doctora en Farmàcia*
Departament d'Edafologia, Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona

Jaume Porta i Casanellas, *Doctor Enginyer Agrònom*
Departament de Ciència del Sòl i Climatologia, E.T.S. d'Enginyers Agrònoms (Lleida), Universitat Politècnica de Catalunya

Juan Sánchez Diaz, *Doctor en Biologia*
Departament d'Edafologia, Facultat de Farmàcia, Universitat de València

Narcís Teixidor i Albert, *Enginyer Agrònom*
Laboratori Agrari (Cabrils), Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya

1.ª edició: gener de 1987

© FUNDACIÓ ENCICLOPEDIA CATALANA, 1985

Disseny maqueta exterior i coberta: Blanca Marquès
Disseny maqueta interior i paginació: Toni Miserachs

Imprès a: Ferrer Olsina, Viladomat, 158-160 - 08015-Barcelona
i a Romanyà Valls, Verdaguer, 1 - 08786 Capellades
ISBN: 84-398-8658-6
Dipòsit Legal: B-921-1987

Índex general

1. Generalitats 9

1.1 Introducció al coneixement dels sòls .. 11
1.1.1 Consideracions generals 11
Concepte de sòl 11
Estudi del sòl 12
Procés històric d'accés al coneixement edàfic 15
1.1.2 Aspectes històrics dels estudis edàfics als Països Catalans 17

1.2 Els constituents i les propietats dels sòls 19
1.2.1 Els constituents inorgànics 19
L'origen 19
Els silicats 20
Els minerals no silicats 26
1.2.2 Els constituents orgànics 30
L'origen 30
El contingut i la composició 30
L'humus 32
La matèria orgànica fresca 32
Els complexos òrgano-minerals .. 35
1.2.3 Les propietats i característiques edàfiques 35
La textura 35
L'estructura 36
La densitat i la porositat 37
L'aigua edàfica 37
L'atmosfera edàfica 42
La temperatura 43
El color 44
La profunditat 45
L'intercanvi iònic 45
La reacció àcido/bàsica 47
La salinitat 47
El potencial redox 48
Les propietats biològiques 49

1.3 Gènesi, distribució i sistemàtica dels sòls *50*
1.3.1 Consideracions generals 50
1.3.2 Les classificacions edàfiques 50
Els criteris de classificació 50
La sistemàtica d'Huguet del Villar 51
Les sistemàtiques europees clàssiques 52
El Soil Taxonomy System 53
Les Unitats de Sòls de la FAO ... 55
Les correlacions taxonòmiques .. 59
1.3.3 La distribució edàfica mundial 59

2. Els factors i els processos edafogènics 63

2.1 Els factors edafogènics als Països Catalans 65
2.1.1 Consideracions generals 65
2.1.2 El clima 65
Els índexs climàtics i el sòl 67
El clima i les propietats del sòl .. 68
Els climes zonals i la taxonomia dels sòls 69
Els règims d'humitat i de temperatura 69
2.1.3 Els materials originaris 71
Els materials i la mineralogia del sòl 72
L'estratificació, la laminació i la formació del sòl 76
2.1.4 La geomorfologia 76
Les catenes, les toposeqüències i les topofuncions 77
Els sòls i el paisatge geomorfològic 77
2.1.5 L'activitat biològica 81
L'acció de la vegetació 81
L'acció de la fauna 83
2.1.6 El temps 83
La durada del procés edafogènic . 84
L'edat dels sòls 84
La datació dels sòls 84

2.2 Els processos edafogènics als Països Catalans 86
2.2.1 Consideracions generals 86
2.2.2 La meteorització 86
Els processos físics 87
Els processos químics 88
2.2.3 Les transformacions orgàniques 89
La mineralització 89
Les transformacions de les substàncies nitrogenades 90
La humificació 91
2.2.4 Les transformacions inorgàniques ... 91
Les solubilitzacions, precipitacions i intercanvis iònics 91
Les gleïficacions 94
Les transformacions i neoformacions d'argiles 95
Les transformacions fèrriques ... 96

Les migracions i translocacions .. 98
2.2.5 D'altres transformacions 99
L'engruiximent d'epipedions 99
L'edafotorbació 100

2.3 Els processos erosius i la conservació dels sòls als Països Catalans 101
2.3.1 Consideracions generals 101
2.3.2 La pèrdua de sòls 103
L'erosió hídrica 103
L'erosió eòlica 107
Els moviments en massa 107
L'avaluació de les pèrdues 108
2.3.3 Les pràctiques de conservació de sòls 109

3. Els tipus i els usos del sòl 113

3.1 Els sòls dels Països Catalans 115
3.1.1 Consideracions generals 115
Els inventaris i la cartografia 115
Els mapes de sòls 115
Els sistemes d'informació de sòls 118
3.1.2 La tipologia edàfica 119
Criteris i fons d'informació 119
Els entisòls 123
Els inceptisòls 126
Els aridisòls 129
Els alfisòls 132
Els mol·lisòls 133
Els espodosòls 135
Els histosòls 135

3.2 Els usos dels sòls als Països Catalans . 137
3.2.1 Les dedicacions actuals del sòl 137
L'ús del sòl a Catalunya 137
L'ús del sòl al País Valencià 139
L'ús del sòl a les Illes 140

3.2.2 Les característiques dels sòls i la planificació territorial 141
Els mètodes d'avaluació 141
La fertilitat 146
La contaminació 149
La restauració 156
Els sòls i l'ordenació del territori . 160

Bibliografia 161

Índex terminològic i d'autors 165

Presentació

Gairebé cinquanta anys després que la Generalitat de Catalunya, per mitjà de les publicacions de la Biblioteca del Pagès de la Direcció General d'Agricultura, posés a l'abast d'un públic majoritari un llibre dedicat a explicar «Què és la Ciència del Sòl?», gràcies a la iniciativa d'Enciclopèdia Catalana S.A. i a la col·laboració de l'Associació d'Enginyers Agrònoms de Catalunya, es torna a disposar d'un estudi que es podria haver anomenat «Què és la Ciència del Sòl cinquanta anys després?»

Si l'any 1937 era important donar a conèixer el que és la Ciència del Sòl, o Edafologia, sembla que el 1986 continua essent-ho. En un moment de crisi de l'Edafologia oficial, en el qual aquesta disciplina està essent dissimulada sota denominacions tals com «Ciències de la Terra», «Recursos Naturals», «Agrobiologia i Ecologia» o «Producció Vegetal», pot ésser necessari recordar que fou el granollerí Emili Huguet del Villar qui introduí el terme «Edafologia» l'any 1927, algú que va ésser represaliat i que morí a l'exili al Marroc l'any 1957, oblidat de quasi tots, malgrat la seva important obra edafològica. El centenari del seu naixement va passar en la indiferència general, si bé esperem que un dia algú valorarà la seva persona i la seva obra, el que servirà sens dubte per a revaloritzar l'Edafologia oficial.

La present publicació i l'equip de persones que hi ha al darrera poden servir d'exemples per a mostrar que l'Edafologia no ha mort. Si l'any 1937 la Generalitat de Catalunya s'interessà per difondre la Ciència del Sòl, al 1986 podem afirmar que ha passat a l'acció, amb treballs de tanta importància com ho són l'estudi i la cartografia dels sòls de la zona regable del Canal d'Urgell, els d'Els Guilamets o la creació d'un sistema d'informació de sòls, entre altres actuacions. La Diputació de Barcelona també ha sentit la mancança d'informació sobre els sòls de Catalunya i ha endegat un programa molt ambiciós, mitjançant el qual s'estan cartografiant els sòls de la circumscripció de Barcelona a nivell de terme municipal.

El present treball constitueix una aportació substancial i actualitzada en el camp de les síntesis edafològiques i constitueix un veritable manual d'introducció a l'Edafologia, que fa especial referència als sòls dels Països Catalans, domini en el qual comencem a estar en condicions de tenir una visió de conjunt amb criteris homologables internacionalment.

Hom hi planteja l'estudi del sòl des dels seus constituents, factors i processos formadors. Es tracten els temes de la denominació dels sòls, la seva tipologia i distribució geogràfica, l'avaluació, l'ús

1. Introducció al coneixement dels sòls

1.1 Consideracions generals

Concepte de sòl.

L'home s'ha interessat per l'ús del sòl des del moment en què es converteix en agricultor, construeix edificis o es planteja obres d'enginyeria civil. Això fa que al llarg de la història s'hagin anat acumulant coneixements empírics sobre el comportament del sòl i sobre les seves característiques. No obstant això, fins al final del segle XIX, els estudis realitzats tenien un caire molt aplicat. Els agricultors, en treballar la terra, marquen involuntàriament una divisió en el sòl, la capa treballada amb els estris agrícoles, en la qual es dipositen les llavors i es desenvolupen principalment les arrels, i la resta o capes profundes. Aquesta concepció empírica fou recollida per De Gasparin (1843), que introduí una noció estratigràfica en l'estudi del sòl en distingir el sòl "actiu" o capa llaurada i el sòl "inert".

La concepció utilitària ha perdurat, si bé ha estat matisada per diferents autors. Així, Diehl descriu el sòl com la part superficial de la terra que, a causa de la seva estructura flonja i de la seva composició química pot assegurar el desenvolupament de les plantes cultivades. L'agrònom utilitza freqüentment aquest enfocament, i en alguns casos continua amb la terminologia de De Gasparin en parlar de "sòl" com a equivalent de la capa activa i de "subsòl" o capa inert, idees que han d'ésser superades d'una vegada. Tal com ja afirmaven en 1937 Oriol i Valle, més que el "sòl" i el "subsòl" ens interessa tota la natura del sòl, és a dir, el sòl de dalt a baix, des de la superfície fins al material originari o roca mare.

Joffe (1949) diu que els treballs de l'escola russa, fundada per Dokutxàiev, van fer sortir l'estudi del sòl del caos i la confusió des del punt de vista geològic, agronòmic i químic, i establí sòlidament una ciència independent, amb punts de vista i metodologies específiques. Dokutxàiev considera el sòl com a cos natural, amb un origen lligat al medi en el qual el sòl es troba. L'Escola russa planteja l'estudi del sòl amb independència de la seva utilització agrícola. El sòl és una creació natural com un animal, un vegetal o una roca, que resulta de l'acció continuada del clima i dels organismes sobre un material originari o roca mare, i que ocupa una determinada posició en el paisatge. La seva formació dependrà del temps que hagin actuat aquests factors.

En aquest sentit hom pot afirmar que el sòl és el resultat d'un procés d'autoorganització d'una interfase, causada per la interacció perllongada entre la litosfera i la biosfera sota l'acció del clima (Margalef, 1974). Fitzpatrick (1971) defineix el sòl com un *continuum* d'espai i temps que forma la part superficial de la terra. L'interès creixent per l'ordenació del territori, que es generalitzà a finals de la dècada dels anys setanta, introdueix una nova concepció del sòl com un recurs natural no renovable a terme mitjà. No n'hi ha prou d'estudiar aquest recurs, cal conservar-lo, defensar-lo de qualsevol degradació i orientar l'ús del territori, tenint en compte que cal respectar els sòls de millor qualitat per a la producció d'aliments i primeres matèries.

Dintre de la teoria general de sistemes, el sòl es pot definir com un sistema obert, amb entrades o "inputs" i sortides o "ouputs" de matèria i energia, els límits del qual són, no obstant això, difícils de definir, atès que es tracta d'un *continuum*. Queda molt clar que el sòl no és un dipòsit o un material geològic. No obstant això, cal remarcar que, en alguns casos, resulta difícil diferenciar al camp on acaba l'un i comença l'altre, a causa de les seves semblances i del fet que les definicions del sòl són qualitatives.

L'estudi del sistema "sòl" permet establir els seus components i afirmar que és un sistema de tres fases: sòlida, líquida i gasosa. La *fase sòlida* és formada per partícules minerals i, en menor quantitat, per components orgànics; ambdues estan en contacte i constitueixen una sèrie d'espais buits que poden estar ocupats per la *fase líquida* o aigua del sòl i per la *fase gasosa* o atmosfera del sòl. La interacció entre les fases sòlida i líquida fa possibles reaccions de superfície extremament importants. La fase sòlida sol tenir un volum constant, mentre que en les fases líquida i gasosa varien constantment al llarg del temps i, segons que el sòl s'humitegi o s'assequi, predominarà l'una o l'altra. Un sòl hidromorf, per exemple, és aquell en el qual els espais buits estan ocupats majoritàriament per aigua, i la manca de la fase gasosa farà que hi dominin els processos anaeròbics.

L'estudi del sòl es realitza caracteritzant la natura i el grau de meteorització dels seus components, per la mida de la fracció mineral que dóna lloc al concepte de granulometria o textura, per l'agrupació espacial de les partícules individuals que té com a conseqüència la formació d'agregats, és a dir, l'estructura del sòl,

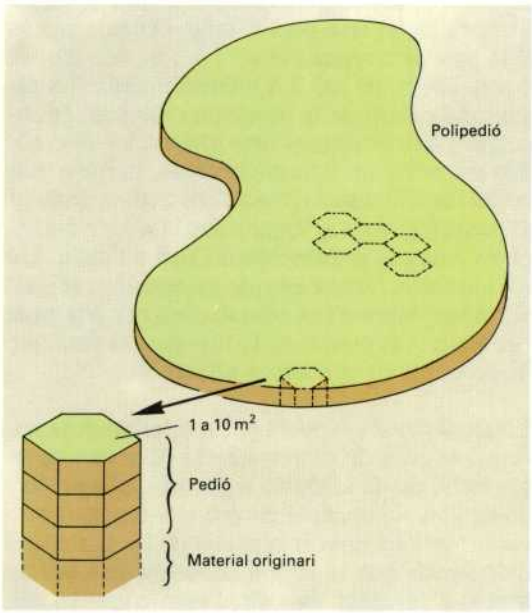


1 *L'ESTUDI DELS SÒLS exigeix l'obertura d'una calicata o escandall fins a trobar la roca mare o material originari, a fi d'estudiar els diversos horitzonts i prendre mostres (la il·lustració mostra aquesta comesa, feta per membres de l'Escola T.S. d'Enginyers Agrònoms de Lleida, en un camp de la Segarra).*
[Foto: Xavier Goñi]

per la consistència, etc. Atès que el sòl no és un cos uniforme, sinó que presenta una marcada anisotropia en sentit vertical manifestada en forma de capes o *horitzons*, l'estudi d'aquestes característiques, que es descriuen més endavant no pot referir-se a la totalitat del sòl, sinó que haurà de tenir en compte l'existència d'horitzons.

Estudi del sòl

El terme *edafografia* (Brewer, 1964) expressa d'una forma molt minuciosa què és un estudi edafològic rigorós, és a dir, la descripció sistemàtica dels sòls basada en les observacions i l'estudi de mostres, tant al camp com al laboratori, mitjançant làmines primes i altres tècniques que permeten conèixer la mida, la forma, la disposició i la identificació dels constituents.



2 *EL PEDIÓ és la unitat de mostreig, i recull les variacions que un sòl individual pot presentar en les seves característiques.*
[Dibuix: Maber, original dels autors]

• *Perfil i pedió*

L'obertura d'una *calicata* o *escandall* posa de manifest els horitzons més o menys diferenciats que constitueixen el *perfil* del sòl. S'ha produït una discussió poc menys que innecessària en contraposar els conceptes de perfil com equivalent a un pla, i de *pedió* com equivalent a un volum. Per als autors americans, un perfil representa una secció vertical d'un sòl, és a dir, un pla, per la qual cosa no els resultava satisfactori aquest concepte. Sense voler entrar en la discussió, que ha estat analitzada detalladament per Boulaine (1982), per a molts autors europeus el perfil representa també un volum de sòl. Així, Plaisance i col·laboradors (1958) parlen d'obertura d'una calicata i examen de les parets. No obstant això, el terme perfil ha estat desplaçat pel de pedió en la literatura anglosaxona*.

El pedió (Simonson i col·laboradors, 1960) és el volum més petit de sòl que pot ésser reconegut com un sòl individual. Es defineix com un cos tridimensional amb dimensions laterals suficients per a permetre l'estudi de les formes dels horitzons i de les intercalacions que puguin existir. L'agrupació de pedions idèntics o d'*isopedions* dóna un *polipedió* (Johnson, 1963) que és una unitat de paisatge edàfic i correspon a una unitat cartogràfica a escales grans de mapa. Un polipedió pot contenir inclusions d'altres pedions sense representació cartogràfica.

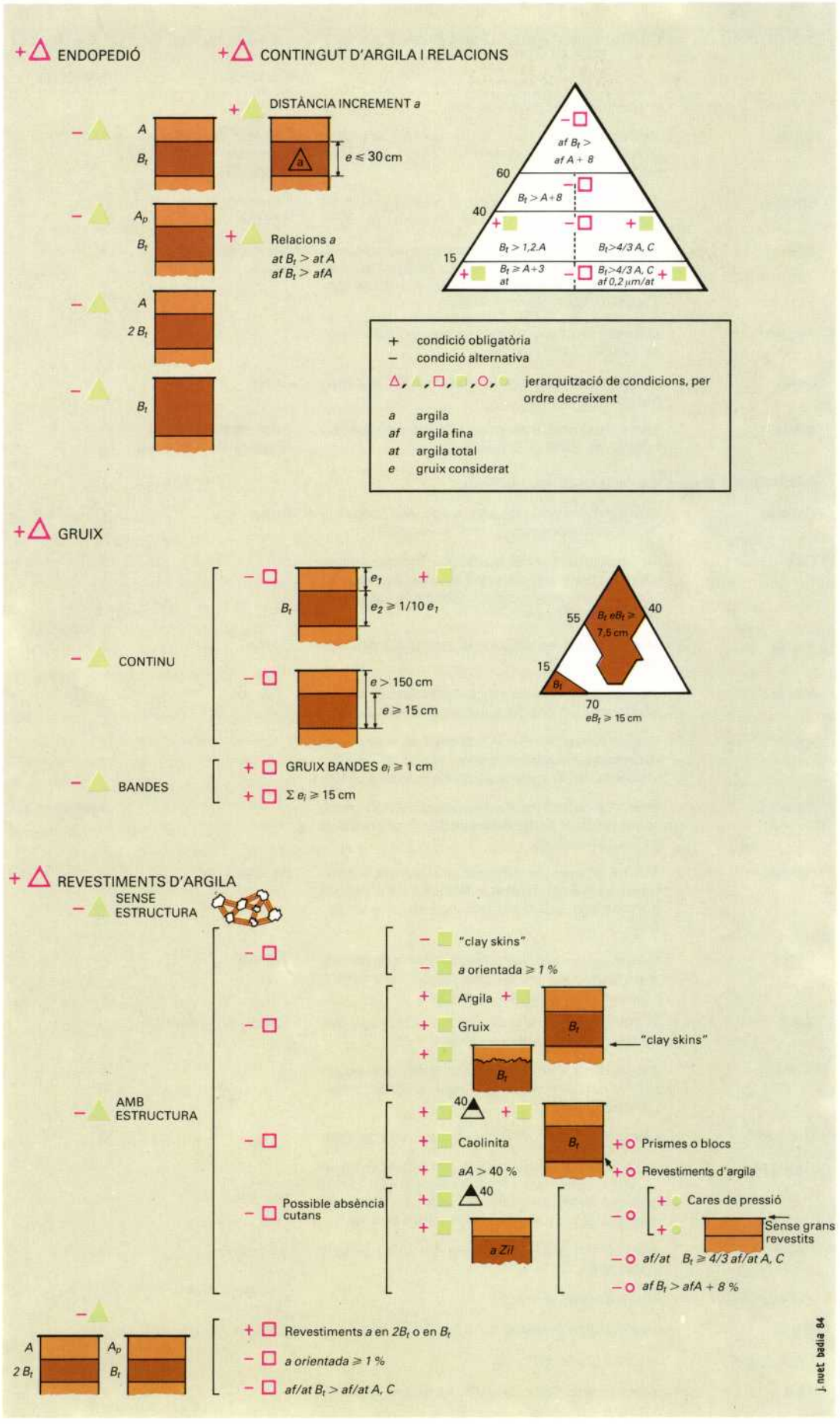
• *Horitzons, sòlum i secció control*

Els principals processos que donen lloc a la diferenciació del perfil són l'alteració del material originari, la incorporació de matèria orgànica i les translocacions de matèria dintre del sòl. El resultat és l'aparició de capes horitzontals o subhoritzontals denominades *horitzons genètics.*

En alguns treballs aplicats, l'estudi del sòl es limita a una part del pedió. Així sorgeixen els conceptes de sòlum i de secció control. El *sòlum* es defineix com la part superior i més transformada del pedió, és a dir, aquella en la qual l'activitat biològica i els processos edafogenètics han estat més intensos. La determinació del límit inferior del sòlum és imprecisa, la qual cosa dificulta l'aplicació pràctica d'aquest concepte (Chizhikov, 1968). En general, hom acostuma a fixar el límit inferior per la fondària màxima a la qual arriben les arrels de les plantes perennes.

L'estudi dels règims d'humitat dels sòls es realitza en base a la *secció control* (Soil Survey Staff, 1975), que és una part del perfil on el lí-

* En la present obra s'utilitzen indistintament perfil i pedió, ambdós amb el mateix significat, com un volum de sòl.



3 *LA DESCRIPCIÓ DELS HORITZONS DE DIAGNOSI és complexa. Hom pot fer-la mitjançant taules com la il·lustrada, referent a un horitzó argílic, en la qual s'analitzen quatre condicions: l'horitzó argílic ha d'ésser un endopedió; ha de presentar un enriquiment d'argila il·luviada, expressada en funció del contingut d'argila i de la relació entre l'argila de l'horitzó* Bt *i* A*; ha de tenir un determinat gruix; i hi ha d'haver un revestiment d'argila il·luviada. Aquestes condicions necessàries (+ △), es complementen amb d'altres de secundàries, obligatòries (+ ▲) o alternatives (– ▲), i així successivament.*
[Dibuix: J. Nuet i Badia, original dels autors]

4 *HORITZONS DE DIAGNOSI DELS SÒLS DELS PAÏSOS CATALANS. La identificació dels horitzons es pot fer, a la pràctica, de forma molt objectiva, car les característiques completes disponibles són quantitatives i molt detallades, contràriament a allò que passa amb els horitzons genètics. [Font: dades elaborades pels autors]*

DENOMINACIÓ	CARACTERÍSTIQUES SIMPLIFICADES	PRESÈNCIA ALS PAÏSOS CATALANS	
		exemples	freqüència
EPIPEDIONS (horitzons de diagnòstic formats en superfície)			
Mòllic	Horitzó de color fosc, ric en humus, saturació de bases alta, principalment Ca^{2+} i Mg^{2+}, amb bona estructura.	Maçanet de la Selva Collsacabra (Osona) Berguedà	+ +
Úmbric	Morfològicament semblant al mòllic, però amb una saturació de bases inferior al 50%	Montseny Pirineus	+ +
Antròpic	Horitzó que ha adquirit unes característiques semblants al mòllic per intervenció de l'home, conreu i reg molt antics. A causa dels fems, el contingut de fòsfor és molt elevat.	Alguns regatges antics	+
Plaggen	D'origen antròpic, format per acumulació de jaç de bestiar. Molt humífer.		0
Ócric	Pobre en matèria orgànica, colors clars, poc gruixut per ésser mòllic.	Arreu	+ + + +
Hístic	Horitzó orgànic format en condicions molt humides, de torba o "muck".	Delta de l'Ebre Mulleres dels Pirineus	+
ENDOPEDIONS (horitzons de diagnòstic subsuperficials)			
Càmbic	Horitzó d'alteració. En sòls, en general, poc evolucionats (correspon a un *B* estructural).	Arreu	+ + + +
Óxic	Horitzó extremament alterat, format essencialment per òxids de ferro i alumini hidratats, argiles 1:1 i minerals molt poc alterables. Zones tropicals i equatorials.		0
Argílic	Horitzó illuvial, en el qual s'ha acumulat argila (correspon a un *Bt*).	Girona	+ +
Nàtric	Horitzó argílic amb un percentatge de sodi de canvi superior al 15% (correspon a un *Btna*).		
Àgric	Horitzó illuvial, format sota la capa conreada, amb quantitats importants de llim, argila i humus illuviats a través dels porus grans de la capa llaurada.		
Sòmbric	Horitzó amb humus illuvial, no associat a l'alumini ni al sodi. El percentatge de saturació de bases és inferior al 50%.		possible
Espòdic	Horitzó d'acumulació illuvial de materials amorfs, matèria orgànica, alumini o ferro, actius. Típic dels podzols ben desenvolupats (correspon a un *Bh, Bfe*).	Pirineus	+
Plàcic	Horitzó prim, roig fosc, cimentat per ferro, ferro i manganès o per un complex de matèria orgànica i ferro. Es pot presentar en podzols.	Pirineus	
Àlbic	Horitzó fortament eluviat. De colors blancs, a causa de la sorra i el llim residuals.	Caldes de Malavella	+
Sulfúric	Horitzó format en condicions d'anaerobiosi accentuada. Fortament àcid (pH inferior a 3,5), clapejat amb jarosita.		0
Duripan	Horitzó cimentat per sílice. Regions volcàniques.		0
Fragipan	Horitzó argilo-llimós, de densitat aparent molt alta, dur en estat sec i fràgil en estat humit, sovint clapejat. Estructura laminar, xarxa poligonal amb esquerdes blanquejades (correspon a un *Bx*).		
Càlcic	Horitzó d'acumulació de carbonat càlcic o càlcic i magnèsic.	Barcelonès	+ + + +
Petrocàlcic	Horitzó càlcic cimentat.	Garrigues, Camp de Tarragona	+ + + +
Gípsic	Horitzó d'acumulació de guix.	Segarra, Garrigues	+ +
Petrogípsic	Horitzó gípsic cimentat.		
Sàlic	Horitzó amb sals més solubles que el guix.		

mit superior és definit per la profunditat del front d'humectació després de 24 hores d'haver aportat a un sòl sec 2,5 cm d'aigua, equivalents a 25 l/m²; el límit inferior el defineix el front d'humectació després de 48 hores d'haver aportat 7,5 cm d'aigua a un sòl sec. Els factors que determinen la secció control són els elements grollers, la textura, l'estructura, la distribució i la mida dels porus, les galeries d'animals, les esquerdes i la vegetació. Es poden donar unes fondàries orientatives en funció de la textura.

- ***Horitzons genètics "versus" horitzons diagnòstics***

Els horitzons genètics són portadors d'informació referent al procés que els ha originat i de la posició dintre del pedió. Així, un horitzó denominat *Bt* indica que hi ha hagut un procés d'illuviació d'argila*; la denominació *B* indica que s'ha format dintre del perfil, sempre sota d'un horitzó *A*. La definició dels horitzons genètics és sobretot qualitativa, la qual cosa fa que siguin conceptes difícils d'aplicar a la pràctica, malgrat que són generalment fàcils d'entendre. El fet que no hi hagi una normalització en la terminologia fa perdre precisió i complica innecessàriament les coses**.

Les nomenclatures més generalitzades són les de la FAO (1967, 1971), i la del Soil Survey Staff (1951, 1983) dels EUA; prenent-les com a base s'ha elaborat la del SINEDARES-Catalunya, que és l'adoptada en la present obra.

El pas d'un enfocament qualitatiu basat en processos edafogenètics, a una concepció quantitativa, basada en caràcters mesurables, es produí en introduir el concepte d'*horitzó de diagnòstic* (SSS, 1960). La definició d'aquests horitzons és el més precisa possible, basant-se en dades de camps i de laboratori. El concepte ha estat acceptat pels principals sistemes de classificació, que no tan sols l'han adoptat, sinó que fins i tot han proposat horitzons de diagnòstic diferents que els del Soil Survey Staff dels EUA.

Procés històric d'accés al coneixement edàfic

L'interès pel sòl ha anat històricament lligat, durant moltíssims segles, a l'interès per l'activitat agrícola. Així, els arxius de la Xina antiga permeten d'afirmar que ja als anys 2357 a 2261 aC, la dinastia Yao utilitzava un sistema de classificació de sòls amb la finalitat de distribuir els impostos. D'altres civilitzacions antigues també posseïen coneixements sobre els sòls: la cultura sumèria (3000-2000 aC) n'ha deixat testimoni en tauletes cuneïformes en les quals es recullen normes per a sòls acabats de posar en reg. Aristòtil (384-322 aC), així com el seu deixeble Teofrast (372-287 aC) posà especial atenció al sòl en relació amb la nutrició de les plantes. Els escriptors romans Cató el Vell (234-149 aC), Varró (116-27 aC), Virgili (79-19 aC) i Columella (segle I) s'ocuparen de problemes agrícoles relacionats amb el sòl. La cultura àrab, a la seva època d'esplendor a la península Ibèrica, va desenvolupar una vertadera enginyeria del reg, amb un domini notable de l'aigua; el llibre de l'andalusí Ibn al-Awan, intitulat "*El llibre d'agricultura*" constitueix un recull dels coneixements de l'àrea mediterrània a l'edat mitjana. Una de les obres més llegides d'agricultura, "*De agricultura vulgare*", de Pietro de Crescenzi (1230-1320), que condensa els coneixements agrícoles del mon romà, fa també allusió a qüestions relatives als sòls.

L'esperit innovador del Renaixement es reflectí també en el coneixement edàfic. Hom intentà de posar en clar la nutrició vegetal i es recercà l'anomenat "principi de la vegetació". Jan Baptista Helmont (1577-1644) descobrí l'anhídrid carbònic i demostrà el paper que té en l'alimentació de la planta, tot establint balanços ponderals. Bernard Palissy (1510-1590) destacà la importància del sòl com a subministrador de sals i assenyalà la necessitat de les restitucions a la planta. Olivier de Serres (1539-1619), en l'obra "*Théâtre d'agriculture et ménage des champs*" (1600) parla de les propietats físiques del sòl i considerà els fems com una font de calor. Wallerius (1709-1785), considerat el fundador de la química del sòl, formulà la *teoria de l'humus*, segons la qual la planta s'alimenta a partir de l'humus; la seva tasca principal fou haver deixat clar l'interès d'estudiar la composició química dels sòls i la de les plantes. A Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) recauen, entre altres, l'honor d'haver establert les grans línies del cicle de la matèria orgànica i, en una època en la qual la teoria de l'humus era vigent, l'establiment que les plantes s'alimentaven de l'aire, de l'aigua i, en general, del regne mineral, idees precursores en 50 anys a les de Liebig.

La química agrícola, i en especial la nutrició de les plantes, continuà essent el centre d'atenció de molts autors durant el segle XIX. Importants són els treballs de Nicolas Théodore Saussure (1767-1845), recollits a l'obra "*Recherches chimiques sur la végétation*" (1804), en la qual estudià les relacions entre la composició química dels sòls i la de les plantes. No obstant això, no fou fins a les recerques de Justus von Liebig (1803-1873) que la teoria de l'humus va ésser desautoritzada i s'establiren les bases de la moderna nutrició mineral de les plantes i de la fertilitat de sòls. La seva obra "*Die organische*

* *t*, de l'alemany *Ton* = argila.

** A tall d'exemple, l'antic *B* entre parèntesis (*B*) o de Laastsh, és el B_2 del Soil Survey Staff dels EUA, que la FAO denominà *Bv* (*v*, de l'alemany "Verwitterung" = meteorització, a l'edició del 1967) i que ha passat a denominar-se *Bw* (*w*, de l'anglès "weathering"), a l'edició del 1971.

Chimie in ihrer Anwendung aut Agrikulturchemie und Physiologie'' (1840) representa una aportació molt remarcable a la ciència del sòl i, bé que les tesis inicials de Liebig han estat corregides posteriorment, les lleis establertes sobre l'aplicació de fertilitzants minerals en agricultura han permès un increment molt considerable de la producció agrícola i de la productivitat d'aleshores ençà, tot donant lloc a la naixença de la indústria dels adobs químics. El mateix Liebig proposà un mètode per a la preparació dels superfosfats i estudià el cicle del carboni i del nitrogen a la natura. Cal remarcar que també fou ell qui elaborà una concepció del sòl com a resultat d'una sèrie de processos, tals com l'alteració dels silicats, la incorporació de matèria orgànica, descarbonatació, etc. Altres autors de l'època, com Adrien de Gasparin (1783-1862), en canvi, tenien una idea del sòl molt més limitada, i el consideren només com medi sobre el qual creixen les plantes.

Però, tot i ésser gradualment cada cop més importants, cap d'aquestes concepcions no considera el sòl com a objecte d'estudi per ell mateix. Aquesta òptica neix al segle XIX de l'Escola russa, la qual havia tingut un il·lustre predecessor en Mikhaïl Vassílevitx Lomonosov (1711-1765), el fundador de la universitat de Moscou (1755), autor que ja concebé el sòl com un cos en evolució, idea que és a la base de l'edafologia actual. A mitjan segle XIX, Vescelowski fou encarregat per les autoritats russes de preparar un mapa de sòls amb finalitats cadastrals, treballs continuats per Txaslavski que despertaren l'interès del qui és considerat fundador de l'edafologia: Vassili Vassílevitx Dokutxàiev (1846-1903). Aquest científic rus, creador de la prestigiosa Escola edafològica russa del principi del segle, publicà molt poc, però els seus deixebles foren els difussors i continuadors de l'obra i de la nova concepció del sòl. El pas d'aquests treballs a Occident es va veure retardat fins al principi del segle actual, a causa de dificultats idiomàtiques i de les convulsions que afectaren Rússia i Europa. La ciència del sòl és, doncs, una disciplina molt jove que no es presenta com a una activitat científica independent fins a finals del segle passat, i això gràcies a les noves concepcions de l'escola russa.

L'any 1909 s'organitzà a Hongria la First International Conference on Agrogeology, que reuní especialistes en l'estudi del sòl. En aquest congrés sorgí la iniciativa de repetir les reunions periòdiques. Aquestes tingueren lloc a Estocolm l'any 1910, a Praga el 1922 i, en darrer lloc, a Roma el 1924, on es discutí el nom a utilitzar per a designar la nova societat internacional que s'acabava de constituir per aplegar els estudiosos del sòl. El terme *edafologia* (del grec εδαφος, sòl, i λογος, tractat) proposat pel romanès Schussiev no va ésser acceptat, com tampoc no ho fou el de *pedologia* (del grec πεδιος, terra, i λογος, tractat) utilitzat a França i als països anglosaxons. La rel grega εδαφος és utilitzada per Teofrast per a designar "el sòl en què s'instal·len les plantes", mentre que πεδιος significa "el sòl ferm sobre el qual es camina". És per això que, al costat d'aquests dos termes, tanmateix prou difosos, coexisteix —i nosaltres preferim— la locució *ciència del sòl*.

En efecte, el terme "Pedology", abandonat al Congrés de 1924, va ésser substituït pel més ampli de "Soil Science". Marbut (1934) afirma que la pedologia és una branca de la ciència del sòl o dels sòls, l'objectiu de la qual és dilucidar les lleis naturals que governen el seu origen, formació i distribució. Marbut precisa que no s'ha de confondre pedologia amb ciència del sòl, la qual té uns objectius molt més amplis, tals com són ara la fertilitat de sòls, la química dels sòls, la mineralogia de sòls, a més a més de la gènesi i classificació de sòls.

Aquesta distinció és clara a la literatura. Així a Catalunya, el primer llibre dedicat a l'estudi del sòl (Oriol i Valle, 1937) porta el títol de *"Què és la ciència del sòl?"*. Per altra banda, Huguet del Villar, en una nota a peu de pàgina de l'obra *"Geobotánica"* (1927) explica els motius que el portaren a preferir el vocable edafologia enfront del de pedologia. A causa de l'autoritat d'aquest autor, fundador de la ciència del sòl a Catalunya, considerem d'interès traduir i evocar les seves paraules: "el nom acceptat per aquesta ciència a la Societat Internacional organitzada el 1924 i en els Congressos internacionals que fins ara (1929) s'han celebrat, és el de Pedologia, de manera diferent, naturalment, per a cada idioma. Aquesta paraula, però, tenia un valor anterior, el de "ciència del nen", com derivat neollatí del grec παις, παιδος, nen; i, malgrat que en alguns idiomes se li dóna, en aquesta última acepció la forma de *paidologia*, això no altera el fons de la qüestió, atès que *ai* i *e* són simplement dues pronunciacions diferents del diftong grec αι, i tenen el mateix valor etimològic. Ara bé, l'αι grec passà al llatí en forma d'αε, que es pronunciava *e*, i amb aquest valor ha passat a les llengües neollatines pedologia, i els seus equivalents són precisament les formes correctes del grec παιδολογια, i paidologia és tan sols una forma defectuosa. Per aquest motiu ens sembla indispensable la preferència d'edafologia, per a expressar "la ciència del sòl", atès que εδαφος, d'on deriva, té en grec el mateix significat que πεδιος, i és encara més corrent que l'última veu, que era tan sols poètica.

El Congrés de Washington (1927) possibilità el contacte entre els edafòlegs russos i els americans, la qual cosa facilità la difussió de les idees de l'Escola russa. La traducció a l'alemany de l'obra de Glinka (1914) hi contribuí també molt

positivament. A partir d'aquest moment, i a causa de l'arrelament de la nova ciència en els diferents països del món, es produí una veritable eclosió, de manera que sorgiren diverses especialitats o branques, les quals s'han consolidat totalment. La Societat Internacional de la Ciència del Sòl s'ha constituït en set Comisions (física de sòls, química de sòls, biologia de sòls, fertilitat de sòls i nutrició de plantes, gènesi, classificació i cartografia de sòls, tecnologia de sòls i mineralogia de sòls), que són les branques en què s'ha anat dividint aquesta ciència. Durant el segle XX el desenvolupament ha estat molt considerable en totes elles, la qual cosa fa difícil realitzar una síntesi històrica a nivell mundial dels coneixements edàfics disponibles en l'actualitat.

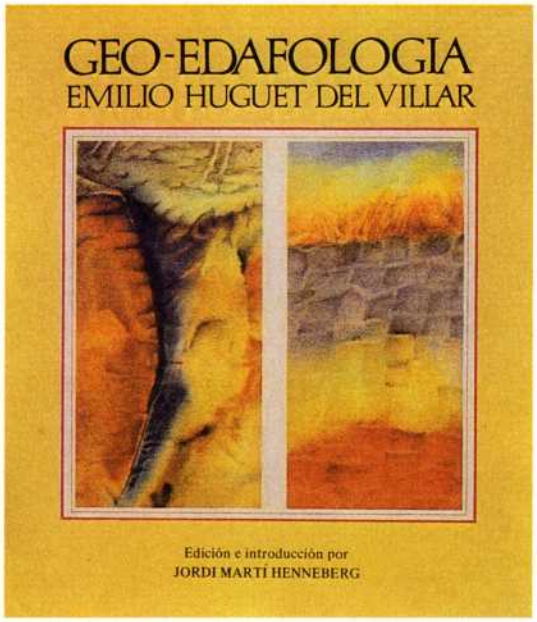
1.2 Aspectes històrics dels estudis edàfics als Països Catalans

La història dels estudis edàfics als Països Catalans es pot considerar que comença al primer terç del segle XX, amb una personalitat de gran relleu internacional, Emili Huguet i Serratacó (Granollers 1871 - Rabat 1951), més conegut pel pseudònim d'Emili Huguet del Villar. Cal buscar-ne els antecedents en una disciplina afí, la química agrícola, i en un camp d'activitat entroncat amb els treballs de Liebig: la fertilitat del sòl i els adobs. La figura d'Huguet del Villar i la tasca desenvolupada per ell han estat objecte d'estudi per part de diversos investigadors, si bé cal destacar els de Martí (1983, 1984), que han permès conèixer millor la seva persona i la seva obra.

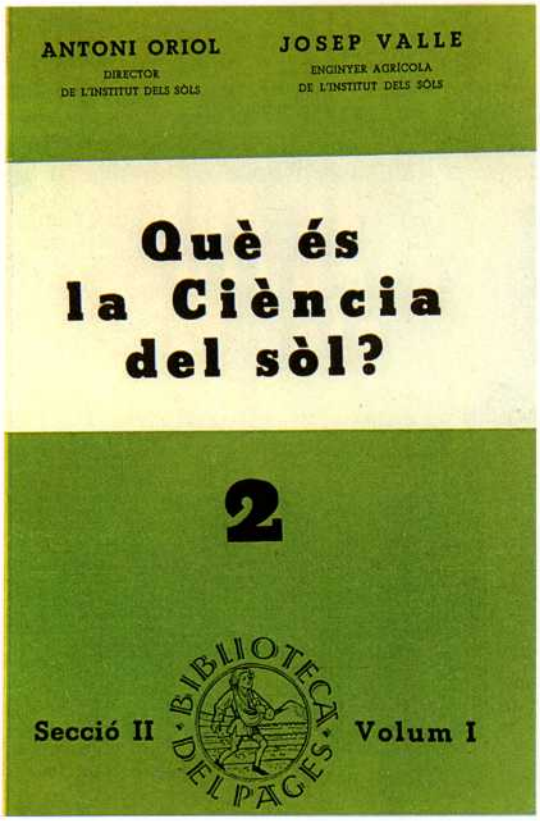
L'any 1924 es creà la Societat Internacional de la Ciència del Sòl a la reunió de Roma, a la qual ja assistí Huguet del Villar. L'any 1929 la Societat el nomenà president de la Subcomissió de la Regió Mediterrània. El mateix any publicà l'obra "*Geobotánica*", en la qual dedica un extens capítol als factors del medi edàfic i presenta una classificació tipològica de sòls, amb una concepció que demostra el nivell científic de l'autor i la seva posició d'avantguarda.

Pocs anys després (1932) la Generalitat de Catalunya creà l'Institut Mediterrani de Sòls, del qual Huguet del Villar fou nomenat director. L'Institut, que ocupà provisionalment un centre d'ensenyament agrari superior, l'Escola Superior d'Agricultura de la Generalitat, a Barcelona, tingué l'encàrrec de realitzar els treballs confiats per la Subcomissió Mediterrània de la Societat Internacional de la Ciència del Sòl. Huguet del Villar només en fou director l'any 1933 i part del 1934. En efecte, el 2 de maig de 1934 es traspassà tot l'Institut a la Junta de Ciències Naturals de Catalunya. Passà així a constituirse en l'Institut dels Sòls de Catalunya, dependent del Departament de Cultura, que és qui subvencionava la Junta de Ciències Naturals. L'Institut continuà a l'Escola Superior d'Agricultura, als laboratoris annexos a la Càtedra de Bioquímica. Entre les seves funcions d'aplicació cal destacar la realització d'un mapa edafològic i les deduccions pràctiques per al conreu agrícola; tenia funcions d'alta investigació per a l'enaltiment dels coneixements. La revista "*Arxius*" era la revista de l'Institut dels Sòls.

El darrer director i ànima de l'Institut fou Antoni Oriol i Anguera (Linyola, 1906), que el di-

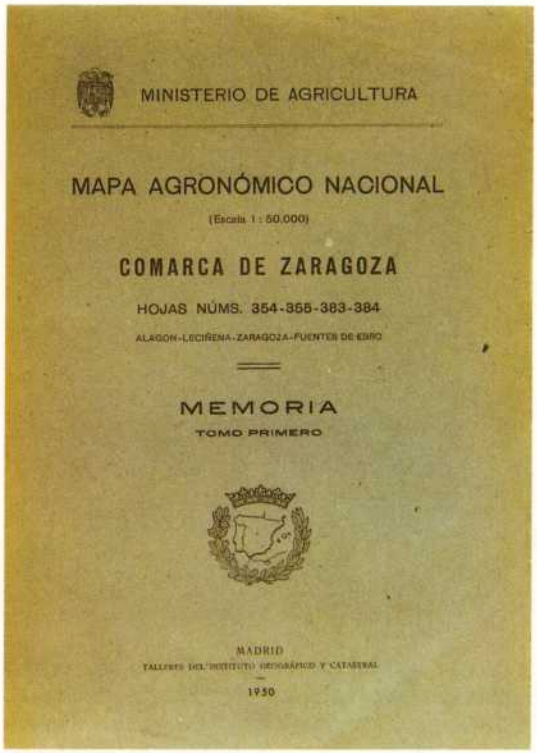


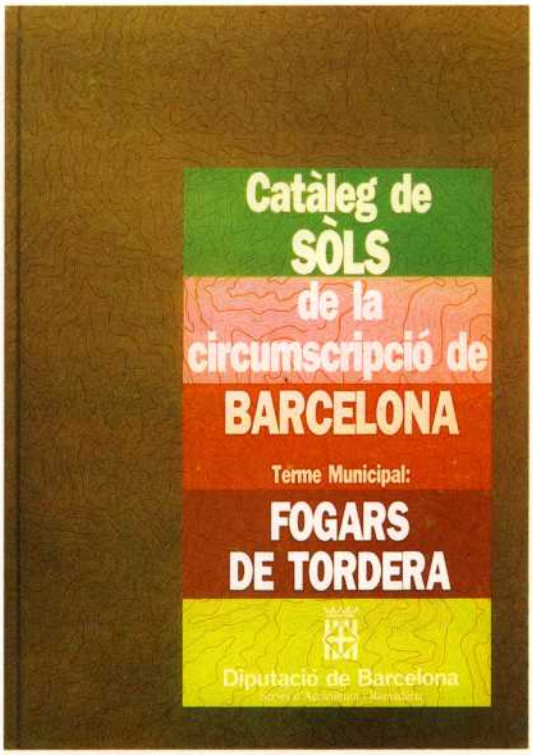
5 *EDICIÓ MODERNA (1983) de l'obra "Geo-edafologia", text d'Emili Huguet del Villar, pioner dels estudis edafològics als Països Catalans i a tot l'Estat espanyol; aquest text, escrit el 1950, poc abans de la mort del seu autor, romangué inèdit durant més de trenta anys, fins que, a cura de Jordi Martí, fou editat per la Universitat de Barcelona. [Foto: Jordi Vidal]*



6 *EL PRIMER MANUAL EN CATALÀ sobre la ciència del sòl fou "Què és la Ciència del sòl?" (1937), obra d'Antoni Oriol i Anguera i Josep Valle, publicada per la Generalitat de Catalunya a fi d'iniciar els agricultors en el coneixement científic de la natura i de donar-los normes per a l'explotació més racional de les terres. [Foto: Jordi Vidal]*

7 *INICIATIVES CARTOGRÀFIQUES I CATALOGADORES d'índole diversa han estat empreses a tota la península Ibèrica en el camp edafològic, sense traduir-se mai, però, en una activitat exhaustiva i d'incidència real sobre la gestió dels recursos. En són exemples el "Mapa Agronómico Nacional", començat la dècada dels cinquanta, i el "Catàleg de sòls de la circumscripció de Barcelona", iniciat en la present dècada dels vuitanta. [Fotos: Jordi Vidal]*





rigí fins a la seva dissolució (1939) per part del govern franquista. Oriol i Anguera, que hagué d'exiliar-se, tingué una dedicació curta, però fulgurant, al món edafològic, de la qual fou fruit l'obra "*Què és la ciència del sòl?*" (1937), escrita juntament amb Josep Valle i Arribas.

L'any 1940 José Mª Albareda, a través de la Universidad Complutense de Madrid, introduí els estudis d'edafologia dintre de la Universitat espanyola, i l'any 1942 es creà a Madrid el Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal. No fou fins l'any 1945 que Lluís Miravitlles i Millé, a través de la Facultat de Farmàcia de la Universitat de Barcelona, instaurà a Catalunya l'ensenyament regular de l'edafologia. D'aleshores ençà diverses escoles i facultats dels Països Catalans hi han dedicat atenció, amb conreadors remarcables com Arturo Caballero López, Josep Cardús, Jaume Bech o Llorenç Marco i Baró. Altrament, la Generalitat de Catalunya creà (1982) o rebé en transferència (1985) serveis específics dedicats a l'estudi dels sòls.

Així, doncs, en el moment actual, els estudis edàfics a Catalunya es realitzen a les tres universitats catalanes, al CSIC i al Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, a la Facultat de Farmàcia i a l'Escola d'Enginyers Agrònoms de València, i al Col·legi Universitari d'Alacant.

2. Els constituents i les propietats dels sòls

2.1 Els constituents inorgànics

L'origen

Els materials de tipus inorgànic que formen la fase sòlida del sòl són constituïts per silicats, òxids i hidròxids metàl·lics; en determinats casos per aluminosilicats amorfs i en d'altres per carbonats o sulfats; més rarament hi ha clorurs, fosfats o sulfurs. Les proporcions relatives en què es presenten els diversos minerals varien en funció del tipus de material a partir del qual s'ha desenvolupat el sòl, i dels processos edafogenètics actuants. En els sòls dels Països Catalans els carbonats tenen un paper predominant.

L'alteració de les roques de la capa superficial de la Terra, de composició mineralògica i característiques diverses, provoca la disgregació o fragmentació (meteorització física) i la transformació dels minerals que contenen (meteorització química). Els processos d'alteració (físics, químics i també biològics) actuen d'una manera simultània i condueixen a la formació d'un conjunt de materials de diferent natura, mida, i fins i tot procedència, atès que l'aigua i l'aire poden transportar alguns materials força lluny del seu lloc d'origen.

A partir, doncs, d'uns materials anomenats *primaris*, constituïts fonamentalment per quars, feldspats i mica, poden formar-se per alteració una sèrie de materials nous, dits *secundaris*, tals com argila, òxids i hidròxids de ferro i alumini, aluminosilicats amorfs, etc. Els productes finals resultants depenen igualment de les aportacions i de les pèrdues que poden produir-se en el sistema. El conjunt de materials primaris residuals, els més o menys transformats, els incorporats al sistema i els neoformats són els que constitueixen el sòl.

L'alteració que pot experimentar un determinat material depèn de la seva natura i dels seus constituents, particularment la composició i el tipus d'enllaç químic, així com la coordinació en l'espai o l'estructura, si bé la que realment assoleixi dependrà també de les condicions del medi a què estigui sotmès.

La mida de les partícules resultants és relacionada amb el grau d'alteració dels minerals, de manera que hi ha una certa dependència entre la seva natura i les seves diferents mides. La fracció arena, que és rica en quars i en altres minerals resistents, és la fracció menys activa del sòl; la fracció llim és dominada per minerals amb un major grau de disgregació; la fracció argila és formada quasi exclusivament per minerals argilosos* i òxids de ferro i d'alumini. Aquesta darrera fracció, a causa de l'elevada superfície específica** i de la càrrega superficial de les argiles, és la de màxima activitat enfront dels fenòmens químico-físics que tenen lloc a la interfase sòlido-líquida, com l'intercanvi iònic, la dispersió-floculació, l'expansió-retracció, la cohesió, la plasticitat, etc. En aquests fenòmens juga també un paper important l'altre component col·loïdal de la fase sòlida: la matèria orgànica del sòl.



8 *LA PRESÈNCIA D'ARGILES EXPANDIBLES provoca l'aparició de cares de lliscament brillants, amb estries característiques, les quals posen de manifest els moviments interns que afecten els sòls de caràcter vèrtic (la il·lustració correspon a sòls de Doñana, a Sevilla). (Foto: Jaume Porta)*

La mineralogia dels constituents té importància des d'un punt de vista de la gènesi del sòl, atès que permet inferir quina ha estat l'evolució i quina és la línea evolutiva possible de cara al futur; d'altra banda, permet conèixer el grau de fertilitat del sòl, ja que és relacionat amb el contingut de minerals alterables que poden anar alliberant nutrients a mitjà o a llarg terme. També és possible preveure a través de la mineralogia el comportament mecànic i el poder del sòl com a depurador natural. Per exemple, en els Països Catalans el contingut de potassi es veu afavorit en els sòls desenvolupats sobre granits per la meteorització de la biotita.

* El terme *argila* té dos significats diferents: en granulometria de sòls indica la fracció de diàmetre aparent inferior a 2 μm; en mineralogia s'utilitza per a designar un tipus de filosilicats.

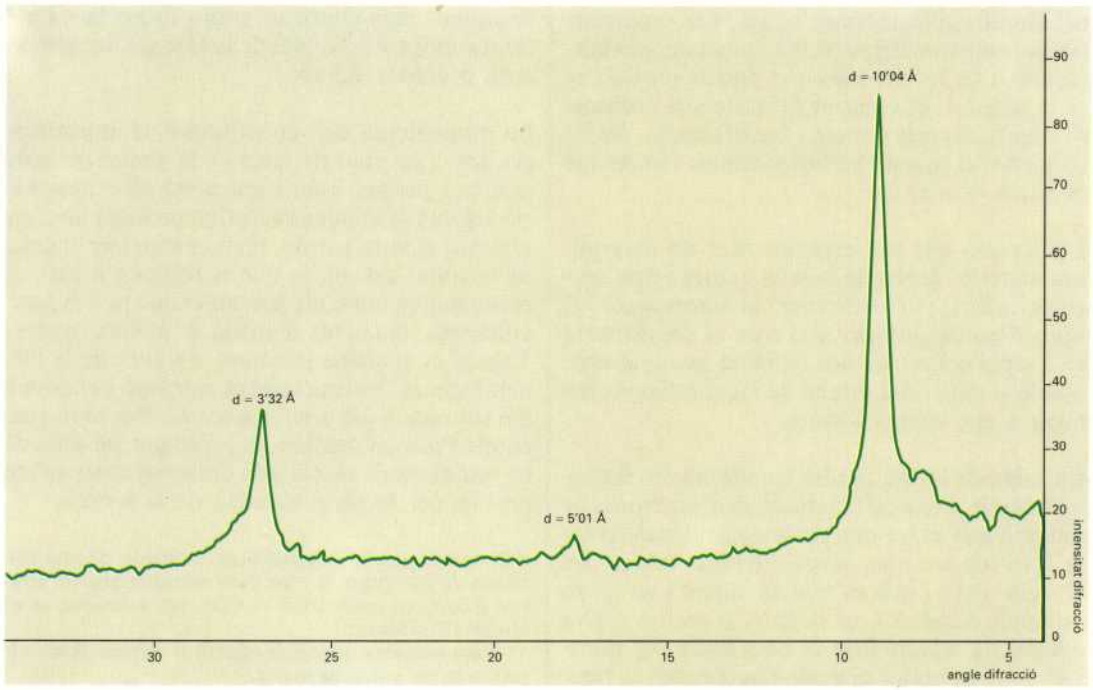
** Hom anomena *superfície específica* la superfície de la partícula per unitat de massa.

9 *CONSTITUENTS DEL SÒL: mida de partícula i natura probable.*
[Font: dades elaborades pels autors]

FRACCIÓ GRANULOMÈTRICA	DIÀMETRE APARENT (μm)	NATURA PROBABLE
Elements grossos	>2000	fragments de roca
Sorra grossa	200-2000	quars miques altres minerals poc alterables
Sorra fina	20-200	quars miques feldspats altres minerals poc alterables material calcari concrecions ferruginoses
Llim	2-20	quars fragments de miques feldspats agregats argilosos òxids i hidròxids de ferro i alumini aluminosilicats amorfs calcari actiu
Argila	< 2	quars minerals argilosos òxids i hidròxids de ferro i alumini aluminosilicats amorfs calcari actiu

Els silicats

Els principals constituents minerals del sòl són els silicats, ja que representen el 95% en pes dels materials que formen la superfície de la Terra. Són, per tant, els minerals petrogenètics més importants. Formen part de les roques ígnies (granits, diorites, basalts, etc.), de les metamòrfiques (gneis, esquists, quarsites, entre altres), i d'algunes de sedimentàries (gresos, lutites, etc.). Cal buscar l'explicació de l'abundància dels silicats, per una banda, en la geoquímica de la superfície de la Terra, on hi ha el 47% d'oxigen, el 28% de silici i el 8,2% d'alumini i, per altra banda, en l'estructura cristal·lina dels silicats, la qual es fonamenta en una unitat elemental de gran estabilitat, com és l'àtom de silici amb coordinació quatre respecte de l'oxigen, cosa que genera un tetraedre com a poliedre de coordinació $(SiO_4)^{4-}$. Aquestes unitats aïllades poden, com a tals, formar part d'una xarxa cristal·lina, o bé poden enllaçar-se entre elles compartint diferent nombre d'oxígens i diversos graus de polimerització, tot donant estructu-



10 *DIAGRAMA DE DIFRACCIÓ DE RAIGS X corresponent a la fracció argílica d'un sòl del Maresme amb predominància d'il·lita. La difracció dels raigs X permet d'identificar els minerals argilosos dels sòls.*
[Dibuix: Maber, dades dels autors]

res més o menys complicades*. Així s'explica la gran varietat d'estructures que presenten els silicats.

Els *nesosilicats* són constituïts per unitats tetraèdriques aïllades; la interacció de dos tetraedres, amb compartició d'un àtom d'oxigen, dóna lloc als *sorosilicats*; l'associació de 3, 4 o 6 tetraedres, compartint cada un d'ells dos oxígens, genera estructures cícliques o *ciclosilicats*; els *inosilicats* són formats per associacions lineals polimèriques generades per compartició de 2 oxígens, en cadenes senzilles (piroxens) i dobles o condensades entre elles paral·lelament (amfíbols); els *filosilicats* són constituïts per associacions bidimensionals de tetraedres que comparteixen 3 oxígens d'un mateix pla, en disposició pseudo-hexagonal i, més rarament, pseudo-tetragonal; i finalment els *tectosilicats* són edificis tridimensionals amb compartició total dels vèrtexs oxigenats del tetraedre elemental.

La càrrega aniònica de les estructures possibles és compensada per una sèrie de cations com ara Al^{3+}, Fe^{3+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, que formen una xarxa cristal·lina que fins i tot pot incorporar al reticle grups aniònics complementaris com OH^{-}, F^{-}, Cl^{-}, etc. Una altra peculiaritat molt important és la possibilitat que es produeixin en determinades estructures substitucions isomòrfiques per cations de mida semblant, però de menor valència. Això és una de les causes principals de la creació de càrregues negatives estructurals no compensades, que caracteritzen les argiles (filosilicats), i que poden ésser neutralitzades per cations.

- ***Els filosilicats: miques***

L'estructura dels filosilicats és basada en l'existència de capes amb coordinació tetraèdrica, *T*, d'oxigen envers el silici que no compleixen el principi d'electroneutralitat. La unió pels oxígens no compartits dirigits cap a una mateixa direcció de l'espai permet associar la capa tetraèdrica amb una altra capa —generalment d'Al^{3+} o de Mg^{2+}, coordinats octaèdricament a grups hidroxil—, tot compensant el dèficit de càrrega i possibilitant l'establiment d'unitats estructurals de tipus laminar. La capa octaèdrica, *O*, amb alumini, es denomina gibsítica i la que té magnesi, brucítica, ja que la seva composició i estructura és la de la gibsita $Al_2(OH)_6$ i la brucita $Mg_3(OH)_6$, respectivament. Els filosilicats generats són de tipus dioctaèdric en el primer cas, i trioctaèdric en el segon, ja que 2/3 o 3/3 dels octaedres de coordinació són ocupats per Al^{3+} o Mg^{2+} respectivament.

* El grau de polimerització que s'aconsegueix depèn, amb igualtat en les altres condicions, de la temperatura de formació. Els silicats formats a elevada temperatura, l'olivina, per exemple, presenten un grau de polimerització baix. Les condicions de pressió i la concentració química poden alterar aquesta relació.

D'acord amb la nomenclatura proposada per Niggli, l'estructura més senzilla és de tipus *T-O*. Les unitats estructurals es classifiquen en dimòrfiques o *T-O*, també designades per 1:1, i trimòrfiques *T-O-T* o 2:1, atenent a la proporció de capes de tetraedres de silici respecte als octaedres d'alumini o de magnesi. Aquestes unitats estructurals tenen possibilitat d'unir-se entre elles per accions electrostàtiques febles de Van der Waals, o bé per ponts d'hidrogen mitjançant o no molècules d'aigua, si la seva càrrega global és neutra; però la unió també pot esdevenir per cations, hidratats o no, si existeix càrrega estructural no compensada. Aquesta càrrega és fonamentalment generada per substitució isomorfa del Si^{4+} per Al^{3+} en les capes tetraèdriques, i d'Al^{3+} per Fe^{2+} o Mg^{2+} per K^{+} i Li^{+}, entre altres, dins les octaèdriques; i també per l'actuació de grups estructurals tipus —SiOH i —AlOH presents en els extrems del reticle cristal·lí que poden desprotonitzar-se generant càrregues negatives, dependents però, del pH del medi.

Aquestes càrregues permeten, doncs, una adsorció superficial fins i tot reversible de cations, que ocupen bàsicament els espais interlaminars entre unitats estructurals i, per tant, possibiliten la capacitat d'intercanviar cations entre la partícula cristal·lina i la solució exterior.

Dins d'aquest grup es troben les miques i les argiles. A causa de la gran importància dins el sòl, les argiles mereixen ésser considerades com un conjunt de minerals a estudiar separadament de la resta dels filosilicats.

El grup de les *miques*, que és essencial en roques eruptives i fonamental en les metamòrfiques, és caracteritzat per tenir unitats estructurals tipus 2:1 o *T-O-T*, tri i dioctraèdriques, amb un grau de substitució isomorfa en capes tetraèdriques important i una organització en l'espai estratificada, on la distància entre capes homòlogues d'unitats estructurals consecutives, espaiat reticular o distància basal, és tan sols de 10 Å. Això fa que la càrrega de la seva estructura es compensi per la presència d'ions, principalmente el K^{+}, entre les unitats estructurals, és a dir, interlaminar. Aquesta espècie iònica a causa del seu radi (1,33 Å) queda perfectament encaixada en els espais buits hexagonals que hi ha entre els oxígens, on és retinguda d'una forma poc reversible o difícilment intercanviable, cosa que justifica el fet que les miques manifestin una baixa capacitat d'intercanvi catiònic.

Els dos membres que són característics del grup i especialment abundosos en determinats sòls, són la *moscovita*, present en pegmatites i en certs granits, que es presenta en agregats laminars i fins i tot en cristalls d'hàbit tabular i secció hexagonal, amb una tonalitat clara i nacra-

SUBCLASSE FÓRMULA EMPÍRICA	CARACTERÍSTIQUES ESTRUCTURALS	EXEMPLES	CARACTERÍSTIQUES I IMPORTÀNCIA EN ELS SÒLS
Nesosilicats $(SiO_4)^{4-}$	Tetràedres aïllats	Sèrie de l'olivina $(Mg, Fe)_2\ SiO_4$	Incompatibles en roques amb quars: sòls joves desenvolupats sobre roques basàltiques. Mineral molt alterable.
		Grup del granat $M_3^{2+}\ M_2^{3+}\ (SiO_4)_3$ M^{3+} = Al, Fe M^{2+} = Fe, Mn, Ca, Mg	Més estable i present en roques eruptives àcides o metamòrfiques.
		Andalusita $Al_2\ |O/SiO_4|$	Producte típic de metamorfisme associat a intrusions granítiques.
		Zircó $Zr\ SiO_4$	Mineral molt resistent a l'alteració, Zr/Si baix.
Sorosilicats $(Si_2O_7)^{6-}$	Compartició d'un àtom d'oxigen	Grup de l'epidot $Ca_2\ (Fe, Al)\ Al_2\ |O/OH/SiO_4/Si_2O_7|$	Poc interès en sòls. Minerals poc freqüents.
Ciclosilicats $(Si_3O_9)^{6-}$	Associació de 3, 4 o 6 tetràedres compartint cadascun d'ells dos oxígens.	Benitoïta	Minerals poc freqüents.
$(Si_4O_{12})^{8-}$		Axinita	Minerals poc freqüents.
$(Si_6O_{18})^{12-}$		Grup del berille (berille i cordierita)	Minerals poc freqüents.
		Turmalina $Na\ (Mg, Fe)_3Al_6$ $|(OH)_4/(BO_3)_3Si_6O_{18}|$	Font principal de bor en el sòl.
Inosilicats	Tetràedres enllaçats linealment		Silicats ferro-magnèsics de vegades amb calci, components essencials de les roques màfiques.
$(Si_2O_6)^{4-}$	Cadenes senzilles	Grup dels piroxens	Sòls desenvolupats sobre roques ígnies de natura bàsica. Molt alterable. En roques metamòrfiques.
		Grup de l'augita $(Ca, Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Ti, Al)_2$ $|(Si, Al)_2O_6|$	
$(Si_4O_{11})^{6-}$	Cadenes dobles	Grup dels amfíbols Sèrie antofil·lita Sèrie tremolita Sèrie hornblenda $(Ca, Na, K)_{2-3}\ (Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al)_5$ $|(OH, F)_2\ /\ (Si, Al)_2\ Si_6O_{22}|$	En roques metamòrfiques i ígnies.
Fil·losilicats $(Si_2O_5)^{2-}$	Capes bidimensionals de tetràedres que comparteixen 3 oxígens d'un mateix pla, en disposició pseudo-hexagonal i, més rarament, pseudo-tetraèdrica.	Argiles Caolinites Esmectites Vermiculites Argiles micàcies Clorites	Molt importants. Presents en tots els sòls, excepte en els arenosos.
		Miques Moscovita Biotita	Essencials en sòls sobre roques eruptives com el granit, i fonamentalment en els desenvolupats sobre roques metamòrfiques.
Tectosilicats (SiO_2)	Edificis tridimensionals amb compartició total dels vèrtexs oxigenats del tetràedre elemental.	Grup de la sílice Quars Opal	Màxima estabilitat.
$[(Si_{n-x}, Al_x)\ O_{2n}]^{x-}$		Grup dels feldspats Sèrie de les plagioclasses Sèrie de les ortòclasses	Molt abundants. Fàcilment alterables.
		Grup dels feldspatoides	En sòls procedents de roques bàsiques i ultrabàsiques, pobres en sílice.

da característica, i també la *biotita*, que és molt comuna en roques ígnies, i es caracteritza pel color fosc i la presència de ferro en estat ferrós en la seva estructura. La biotita té una alteració més fàcil, a causa de la vulnerabilitat del Fe^{2+}, que passa a Fe^{3+} per oxidació.

• ***Els minerals argilosos***

El terme argila inclou un conjunt d'espècies de minerals silicatats de composició i estructura diverses, la definició, nomenclatura i classificació dels quals han plantejat nombrosos problemes. Els criteris que s'empren aquí són bàsicament els que es desprenen de les recomanacions formulades pel Comitè de Nomenclatura de la AIPEA (Association International pour l'Étude des Argiles).

Les argiles o minerals argilosos pertanyen a la subclasse dels filosilicats, per tant tenen unitats estructurals de caràcter laminar en disposició estratificada, i es classifiquen per llur proporció entre capes amb coordinació tetraèdrica i octaèdrica (estructures 1:1 o *T-O*, i 2:1 o *T-O-T*). Les subdivisions es fan d'acord amb la càrrega no compensada de les diferents unitats estructurals i en el tipus de capes octaèdriques que hi són presents, és a dir, dioctaèdriques o trioctaèdriques.

La composició química global resultant d'una més o menys gran substitució isomorfa dins d'una estructura particular, la coordinació interlaminar a cations aïllats o grups de cations coordinats entre ells de forma hidratada o no, l'aigua de coordinació, etc., determinen l'existència de les diferents espècies dins la complexa classificació general dels minerals argilosos, algunes de les quals donen nom al grup al qual pertanyen. Els minerals argilosos es caracteritzen per una estructura, composició i propietats cristalloquímiques particulars. Els grups de minerals argilosos de més interès en el sòl són els de les caolinites, esmectites, vermiculites, argiles micàcies i clorites.

Les espècies del grup de les **caolinites** que poden trobar-se en el sòl són, fonamentalment, la caolinita i l'halloysita, que es caracteritzen per ser filosilicats de tipus 1:1 dioctaèdrics, és a dir, resultants de la unió d'una capa tetraèdrica i una capa octaèdrica gibsítica. La fórmula empírica teòrica pot ésser expressada d'una manera general per $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot n\ H_2O$, i les diferents espècies es distingeixen per la manera d'ordenar-se les unitats estructurals bàsiques i el contingut d'aigua estructural. Si n = 0 el representant del grup és la caolinita, mentre que la halloysita conté aigua interlaminar, n = 0-2, que es perd de forma irreversible quan el mineral és escalfat. La forma hidratada, amb n = 2, presenta un espaiat reticular de 10 Å, i la parcialment deshidratada o halloysita 7 Å*.

A causa que no presenten una substitució isomorfa, les unitats estructurals de la caolinita són pràcticament neutres i l'espaiat interlaminar, molt petit, romandrà buit, ja que s'uneixen les diferents unitats estructurals a través de ponts d'hidrogen.

En el cas de l'halloysita, un cert desordre en l'apilament de les làmines *T-O*, desordre turbostàtic**, permet la presència d'una capa de molècules d'aigua interlaminar, cosa que debilita indirectament l'enllaç entre unitats estructurals. La distància basal de la forma hidratada és de l'ordre dels 10 Å i els cristalls d'halloysita observats al microscopi electrònic presenten una forma tubular característica, a causa de la presència d'aigua.

La capacitat d'intercanvi catiònic, *CIC*, de la caolinita, pot avaluar-se entre 3 i 10 meq/100 g d'argila. Els cations intercanviables es localitzen tan sols en els laterals de les làmines de caolinita, on compensen el dèficit de càrrega originat per desprotonació dels grups —SiOH i —AlOH situats en els límits del reticle o xarxa cristal·lina. Les diferències de *CIC* entre l'halloysita, 5-30 meq/100 i la caolinita, son causades possiblement pel diferent grau de cristal·linitat d'ambdues espècies i una més gran probabilitat de substitució isomòrfica per l'halloysita.

La caolinita pot ésser present en el sòl com a producte de pseudomorfisme o alteració molt intensa de minerals primaris com els feldspats o miques, en condicions d'acidesa (pH < 7), i en medis ben drenats on la relació Si/Al i el contingut amb bases sigui baix, per la qual cosa és poc abundant als sòls dels Països Catalans. L'halloysita pot també ésser fruit de la cristal·lització de l'al·lofana i és present a molts dels sòls desenvolupats sobre materials volcànics, com és el cas de determinades zones de les comarques de la Garrotxa, el Gironès i la Selva. Els sòls amb caolinites seran sòls de baixa activitat químico-física, baixa capacitat d'intercanvi catiònic, poc fèrtils, amb un límit líquid baix, i poden presentar un caràcter anfotèric, ja que la caolinita presenta càrregues estructurals positives o negatives no compensades, que depenen del pH.

Les **esmectites** són minerals argilosos de tipus 2:1 o *T-O-T*, di i trioctaèdrics, amb un espaiat reticular de 14 Å variable. Quan una esmectita seca entra en contacte amb l'aigua, aquesta se situa en l'espaiat interlaminar i l'argila s'expan-

11 *CARACTERÍSTIQUES ESTRUCTURALS DELS SILICATS i paper que juguen en la composició del sòl.*
[Font: dades elaborades pels autors]

* El terme "metahalloysita" era emprat per a designar l'halloysita 7 Å.
** S'entén per desordre turbostàtic el generat per l'apilament d'unitats estructurals de tipus laminar, en la direcció perpendicular a elles (eix cristal·logràfic *c*) de manera que no hi hagi una superposició totalment coincident.

UNITAT ESTRUCTURAL	GRUP (x = carrega per unitat estructural)	SUBGRUP	ESPÈCIE (fórmula empírica ideal simplificada)	ESPAIAT RETICULAR (A)	ESTABILITAT DE L'ESPAIAT	ESPÈCIES INTERLAMINARS
1:1	Caolinites x = 0	Caolinites	Caolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ Halloysita $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$	7	estable	
2:1	Esmectites $0.25 < x < 0.6$	Dioctaèdriques (montmorillonites)	Montmorillonita $0.33\ M^+ (Al_{1.65}\ Mg_{0.33})\ Si_4O_{10}\ (OH)_2$	14	variable (12-15)	cations hidratats intercanviables
		Trioctaèdriques (saponites)	Saponita $(0.33\ M^+Mg_3\ (Si_{3.65}Al_{0.65}Al_{0.33})O_{10}(OH)_2)$			
2:1	Vermiculites $0.6 < x < 0.9$	Dioctaèdriques	Vermiculita dioctaèdrica $0.86M^+ (Al, Fe, etc)_2\ (Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$	14	variable (14-15)	cations hidratats intercanviables
		Trioctaèdriques	Vermiculita trioctaèdrica $0.86\ M^+ (Mg, Fe, etc)_3\ (St, Al)_4O_{10}\ (OH)_2$			
2:1	Argiles micàcies $0.6 < x < 1.0$	Dioctaèdriques	Illita* dioctàedrica $K\ (Al, FeMg)_2\ (Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$	10	estable	cations anhidres dificilment intercanviables o fixos.
		Trioctaèdriques	Illita* $K\ (Mg, Fe, Al)_3\ (Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$			
2:1	Clorites x = variable	Dioctaèdriques	Donbasita	14	estable	hidròxids mixtos fixos
		Ditrioctaèdriques	Sudoïta $Al_4\ (Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$			
		Trioctaèdriques	Camosita			

* El mot il·lita no és recomanat per l'AIPEA per referir-se a les argiles amb estructura derivada de les miques, malgrat que sigui àmpliament utilitzat i gaudeixi de gran difusió.

12 *CLASSIFICACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS PRINCIPALS TIPUS D'ARGILA, segons les recomanacions de l'AIPEA. [Font: dades elaborades pels autors]*

deix; segons el tipus d'esmectita, de cations intercanviables i contingut d'aigua, l'espaiat pot augmentar fins un màxim de 20 Å. Poden presentar substitució isomorfa en làmines tetraèdriques i octaèdriques, i compensen la seva càrrega per cations de tipus Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^+ i K^+ més o menys hidratats i intercanviables situats principalment a l'espai interlaminar. La seva capacitat de canvi és elevada, i assoleixen també una capacitat de retenció d'aigua, per la qual cosa se les anomena argiles expandibles. Aquest fet té grans repercusions en el comportament dels sòls que contenen aquest tipus d'argiles.

La sèrie dioctaèdrica o de la *montmorillonita* és, sens dubte, la més important, integrada per espècies de tipus dioctaèdric i de fórmula general $M_{x-y}(Al_{2-y})\ (SiO_{4-x}\ Al_x)O_{10}(OH)_2$. Si no presenta substitució isomorfa tetraèdrica, l'espècie representativa és la montmorillonita, mentre que si no existeix substitució isomorfa de tipus octaèdric l'espècie representativa és la beidellita. La fórmula general de la sèrie trioctaèdrica respon a $M_{x+y}(Mg_{3-y}Li_y)\ (Si_{4-x}\ Al_x)O_{10}\ (OH)_2$, i les espècies més representatives en són l'*hectorita* o la *saponita*, caracteritzades per la impossibilitat de substitució isomorfa en capes tetraèdriques o octaèdriques respectivament.

Les montmorillonites són les espècies més freqüents del grup i es troben en quantitats molt variades en la majoria dels sòls de la zona temperada i mediterrània. Tot i així és freqüent trobar en un mateix sòl una transició contínua entre les espècies que integren les sèries dioctaèdriques i trioctaèdriques del grup de les esmectites. La capacitat d'intercanvi catiònic d'aquestes argiles és elevada, de l'ordre de 60 a 120 meq/100 g. Les montmorillonites poden tenir diferents orígens: així, poden formar-se en medis neutres o bàsics on la relació Si/Al sigui elevada (2-3) i també la concentració de bases (Ca^{2+}, Mg^{2+} i Na^+). A nivell mundial aquest és l'origen dels sòls amb argiles expandibles, abundoses en els vertisòls; a les zones volcàniques dels Països Catalans (Garrotxa i Gironès) aquest origen és possible, malgrat que en aquest cas no es formen vertisòls. Per altra banda, en determinades condicions poden també formar-se montmorillonites per transformació progressiva d'estructures micàcies, i concretament per desplaçament del K^+ interlaminar, que és substituït per Ca^{2+}, Mg^{2+} i aigua interlaminar.

Els sòls amb aquest tipus d'argila, a causa de la seva elevada capacitat d'adsorció d'aigua, que comporta una variació de l'espaiat reticular, són sotmesos a fluctuacions volumètriques en funció del contingut hídric. Són en general fèrtils, a causa de la seva elevada capacitat d'intercanvi catiònic i riquesa en bases, si bé són difícils de treballar si la proporció d'argila és elevada. Tenen un límit líquid alt.

La presència de minerals argilosos del tipus de les **vermiculites** és freqüent en sòls fortament alterats, i és possible l'evolució a materials amorfs i posteriorment a mica o caolinita. La seva formació es veu afavorida en un medi àcid ($pH < 7$) amb proporció $Si/Al > 2$ i rica en Mg^{2+}. També és possible la seva formació per transformació progressiva de les miques o il-

lites, procés en el qual la pèrdua de potassi interlaminar va acompanyada d'un augment de l'espaiat reticular. Aquest procés és possible en els sòls desenvolupats sobre materials granítics dels Països Catalans.

Les vermiculites són silicats de tipus 2:1, di o trioctaèdrics, malgrat que les vermiculites macroscòpiques són invariablement trioctaèdriques. La seva fórmula empírica general és:

$$Mg_{3-y}\ (Al,\ Fe)_y(Si_{4-x}Al_x)O_{10}(OH)_2\ Mg_{(x-y/2)},$$

essent $0{,}6 < (x\text{-}y) < 0{,}9$. Es caracteritzen per tenir substitucions isomòrfiques en capes tetraèdriques i octaèdriques. La càrrega per unitat estructural és semblant a la de les argiles micàcies, però la seva naturalesa trioctaèdrica, la substitució isomorfa octaèdrica permanent, l'espaiat reticular de l'ordre dels 14 Å variables fins els 15 i l'absència de potassi interlaminar difícilment intercanviable, els proporciona una major capacitat de canvi catiònic, 100-150 meq/100 g, així com una més gran facilitat per a l'intercanvi dels cations retinguts a l'espaiat interlaminar junt a dues capes de molècules d'aigua i una expansió reticular limitada.

Les **argiles micàcies** són filosilicats amb unitat estructural tipus 2:1 o *T-O-T*, di o trioctaèdriques i espaiat reticular de 10 Å fix, no expansionable, on la capa octaèdrica és situada entre dues de tipus tetraèdric que s'uneixen per compartició d'oxígens o de grups hidròxils. Componen aquest grup una sèrie de minerals argilosos amb certes variacions respecte a l'estructura bàsica de les miques, el principal representant dels quals és la illita. L'AIPEA mostra certes reserves respecte a l'ús dels termes illites, sericites, etc., i recomana el terme general d'argiles micàcies. Aquestes argiles presenten substitucions isomòrfiques, principalment del Si^{+2} per l'Al^{+3} en les capes tetraèdriques i, ocasionalment, de l'Al^{+3} pel Mg^{+2} en les octaèdriques, la qual cosa genera càrregues negatives que són compensades per la presència de determinats cations, generalment el potassi en posició interlaminar.

El seu espaiat interlaminar constant és ocupat per cations anhidres, fonamentalment potassi, retinguts de manera difícilment intercanviable entre les cavitats hexagonals formades per capes tetraèdriques d'unitats estructurals veïnes. Aquest fet es pot explicar per l'existència d'una elevada densitat superficial de càrrega, 0,6 a 1, i per la substitució isomòrfica tetraèdrica. Tan sols els ions potassi situats a la superfície accessible dels extrems de la unitat estructural poden ser fàcilment intercanviats i de manera totalment reversible.

En el sòl predominen les espècies dioctraèdriques potàssiques de fórmula empírica general:

$$K_{x+y}\ (Al_{2-y}\ Mg_y)\ (Al_x\ Si_{4-x})O_{10}\ (OH)_2,$$

essent $0{,}6 < (x - y) < 1$.

La capacitat d'intercanvi catiònic d'aquest tipus d'argila és de l'ordre de 10 a 40 meq/100 g. Les condicions més adequades per a la seva formació consisteixen en un medi neutre o lleugerament bàsic, amb proporció Si/Al de 2 a 3 i elevada presència de potassi. La illita és el tipus d'argila més freqüent en els sòls dels Països Catalans.

Les **clorites** són filosilicats de tipus 2:1 o *T-O-T* amb càrrega variable i espaiat reticular fix al voltant dels 14 Å*. Pot generalitzar-se'n la composició des d'una unitat estructural tipus 2:1 o *T-O-T*, alternant amb capes de coordinació octaèdriques derivades de la brucita o gibsita, de fórmula general:

T-O-T: $[(M^{2+}_y, M^{3}_{2-y})\ (Si_{4-x}Al_x)O_{10}(OH)_2]^{(x+y)-}$
O: $[(M^{2+}_{3-z}, M_z^{3+})\ (OH)_6]^{z+}$

Existeixen clorites de tipus di, di-tri i trioctaèdriques, atenent a la naturalesa de les dues capes octaèdriques que integren la seva particular unitat estructural. Les espècies més característiques són les trioctaèdriques, amb substitució isomorfa del Si per Al i ocasionalment per Fe i Cr en les capes tetraèdriques. De la mateixa manera les capes octaèdriques a base de Mg, Fe i Al, presenten importants substitucions per Cr, Ni, Mn, V, Cu i Li. La seva *CIC* és entre els 10 i els 40 meq/100 g.

Les clorites són freqüents en roques metamòrfiques, en esquists clorítics i en els sòls formats a partir d'aquestes roques. Poden originar-se a pH bàsic i concentració de Mg^{2+} fortament elevada o bé en presència de montmorillonita i vermiculita, si paral·lelament hi ha formació de gibsita i brucita. Aquest tipus d'argila pot trobar-se en petites quantitats als sòls dels Països Catalans.

• *Les argiles interestratificades i els minerals fibrosos*

A més dels minerals argilosos descrits anteriorment existeixen una sèrie d'estructures considerades no clàssiques, derivades de les argiles, que també tenen interès en l'estudi de la mineralogia del sòl. Aquests minerals són les argiles interestratificades i les pirofilites o minerals fibrosos.

Les **argiles interestratificades** són constituïdes per edificis reticulars complexos formats per la unió de diferents tipus d'unitats estructurals 1:1

* La nomenclatura 2:1:1, que reflectia una estructura tipus *T-O-T-O* ha estat substituïda per la 2:1 en considerar la capa octaèdrica addicional com a material interlaminar.

i 2:1, o bé una mateixa d'unitat estructural amb diferents materials interlaminars. Una argila interestratificada no és una barreja d'argiles, ja que és impossible separar les diferents unitats estructurals mitjançant medis físics. En general són formades per dues unitats estructurals diferents i la seva superposició segueix una distribució ordenada i regular respecte a la direcció perpendicular als plans estructurals, malgrat que també poden agrupar-se en forma totalment irregular.

Aquest tipus d'edificis són abundants en sòls de zones temperades i concretament als Països Catalans, com a resultat de la transformació progressiva d'altres espècies argiloses anteriorment definides. Els interestratificats més freqüents són de tipus I-M, I-V, I-C, M-V, M-C i V-C, que deriven de la il·lita, montmorillonita, vermiculita i clorita.

Els **minerals fibrosos** o **pirofilites** es caracteritzen per tenir una estructura derivada de les argiles, on les distribucions bidimensionals de tetràedres de sílice en disposició hexagonal tenen l'oxigen no compartit en sentit oposat, de la qual cosa resulta una estructura en canals que els dóna l'aspecte fibrós característic. Aquestes capes de sílice es coordinen també amb capes octaèdriques de magnesi i alumini, i a l'interior dels canals es localitzen molècules d'aigua i ions intercanviables. Les espècies més importants són l'atapulgita i la sepiolita. Les *CIC* que presenten són de l'ordre de 20 i 35 meq/100 g respectivament.



13 *SOBRE LES BASANITES de la zona volcànica d'Olot (Garrotxa) es desenvolupen sòls que contenen aluminosilicats amorfs, la possible presència dels quals pot diagnosticar-se al camp mitjançant el test del NaF. (Foto: Jaume Porta)*

Aquests tipus de minerals apareixen per alteració de roques eruptives i metamòrfiques i també són presents en determinades roques sedimentàries. En els sòls, es formen en medi bàsic i en presència de sals i sílice lliure.

- ***Els aluminosilicats amorfs***

Es coneix pel nom d'al·lofana un conjunt de materials que poden ésser definits com un gel mixt aluminosílic, provinent de la hidratació de vidres volcànics i alteració ràpida dels minerals primaris. La seva composició és molt variable i depèn de la natura del material originari, però pot ésser expressada per $Al_2O_3 \cdot x\ SiO_2 \cdot nH_2O$, és a dir, com a aluminosilicat hidratat amb relacions Al_2O_3/SiO_2 100:112 o 100:180.

A diferència de les argiles, és un material de tipus no cristal·lí i de distribució molt restringida entre les roques, que es troba associat a certs dipòsits argilosos i en roques volcàniques alterades. En el sòl és un producte d'alteració de determinats silicats, especialment en cendres volcàniques, es troba normalment barrejat amb hidròxid fèrric, essent el component més característic dels andisòls. En condicions de clima contrastat, aquests materials amorfs passen a formes cristal·lines tals com l'hal·loysita o la caolinita.

L'al·lofana té una capacitat d'intercanvi catiònic elevada, de l'ordre 100-200 i fins i tot 400 meq/100 g, variable en funció del pH del medi. Els sòls on aquests aluminosilicats són abundants, com és el cas de la zona volcànica d'Olot, tenen una alta activitat i propietats plàstiques molt particulars, com és la tixotropia.

Els minerals no silicatats

En determinats indrets prenen importància altres materials de natura inorgànica, no silicatats. Els carbonats i els sulfats, especialment la calcita i el guix, són molt abundants en sòls de medis semiàrids i àrids. Els clorurs, principalment l'halita, els sulfats sòdics, tenardita i mirabilita i el magnèsic o l'epsomita, són presents en sòls afectats per salinitat. Els fostats i nitrats són molt escassos als sòls, i s'hi incorporen en forma d'adobs, principalment. Els òxids i hidròxids de ferro són també d'especial importància i responsables en bona part de la coloració dels sòls; els òxids i hidròxids d'alumini i d'altres minerals, si bé és possible trobar-los al sòl, són poc freqüents o hi són en quantitats poc importants.

- ***Els òxids i hidròxids***

Els òxids i hidròxids de ferro, de naturalesa amorfa o cristal·lina, es troben al sòl heretats de roques que els contenen o com a resultat de

la meteorització de minerals ferromagnesians com la biotita, els amfíbols i els piroxens.

Els òxids cristal·lins més importants són la goethita i l'hematites. El primer és causant de la coloració ocre del sòl juntament amb la limonita, domina en zones de clima húmid i es troba en quantitats importants en els sòls de zones temperades. La varietat terrosa de l'hematites es caracteritza pel color vermell que dóna al sòl, és abundant en climes contrastats i càlids com el mediterrani, on es produeix per rubefacció, encara que també pot ésser un material heretat de sediments com els gresos del Triàsic. També cal considerar la magnetita, que és la forma heretada més notable present en el sòl, especialment en materials volcànics o en certes roques cristal·lines bàsiques. La limonita és extremadament freqüent i, amb el temps, pot passar a goethita i hematites.

Quant als òxids i hidròxids d'alumini, les formes més freqüents són la gibsita i la bohemita. Els òxids d'alumini són de menys transcendència que els de ferro, excepte en sòls tropicals d'alteració extrema on es formen laterites (mescla de gibsita i bohemita). La gibsita es forma en medis tropicals per desilicatització primària i ràpida de roques bàsiques, en condicions de fort drenatge, condicions que rarament solen trobar-se en climes temperats, encara que sembla que es pot formar lentament gibsita junt amb la caolinita, en arenes ben drenades sobre granit, diorites, etc. i també en determinades circumstàncies particulars d'hidromorfia.

Els òxids de manganès, de color negre, acostumen a presentar-se en sòls hidromorfs conjuntament amb els de ferro, formant precipitats de pirolusita, com per exemple a la plana al·luvial de la Tordera.

A més a més dels òxids de ferro i d'alumini, és interessant esmentar l'òxid de titani, que es presenta en el sòl en forma de rútil, anatasa i brokita, tots tres molt resistents a l'alteració. El rutil n'és la forma més freqüent i, juntament amb el circoni i el quars, constitueix els minerals de màxima resistència a l'alteració del sòl. És present en granits, gneis, esquists micacis i calcàries metamòrfiques.

La ilmenita, òxid doble de ferro i titani, també és present en el sòl formant part dels gneis i altres roques metamòrfiques, sempre associades a la magnetita.

- ***Els carbonats***

Els carbonats, atès que són minerals poc estables, són característics només en regions àrides i semiàrides, per la qual cosa són molt freqüents i abundants als sòls dels Països Catalans. Com a unitat aniònica fonamental tenen el grup



14 *EL PAPER DE L'HEMATITES, bé que quantitativament és un component menor, és d'una gran importància quant a la coloració dels sòls, als quals confereix un accentuat color vermell, com és el cas d'aquest rodoxeralf* (terra rossa) *de Serinyà (Gironès).*
[Foto: Josep M. Alcañiz]

CO_3^{2-}, de coordinació planar ternària, amb un carboni al centre i tres ions oxígens als vèrtexs del triangle, units amb menys força que en el cas de l'enllaç covalent C-O de l'anhídrid carbònic, la qual cosa explica la fàcil reacció dels carbonats amb els ions àcids. Aquesta reacció és característica dels carbonats i s'utilitza concretament per la seva identificació en el sòl:

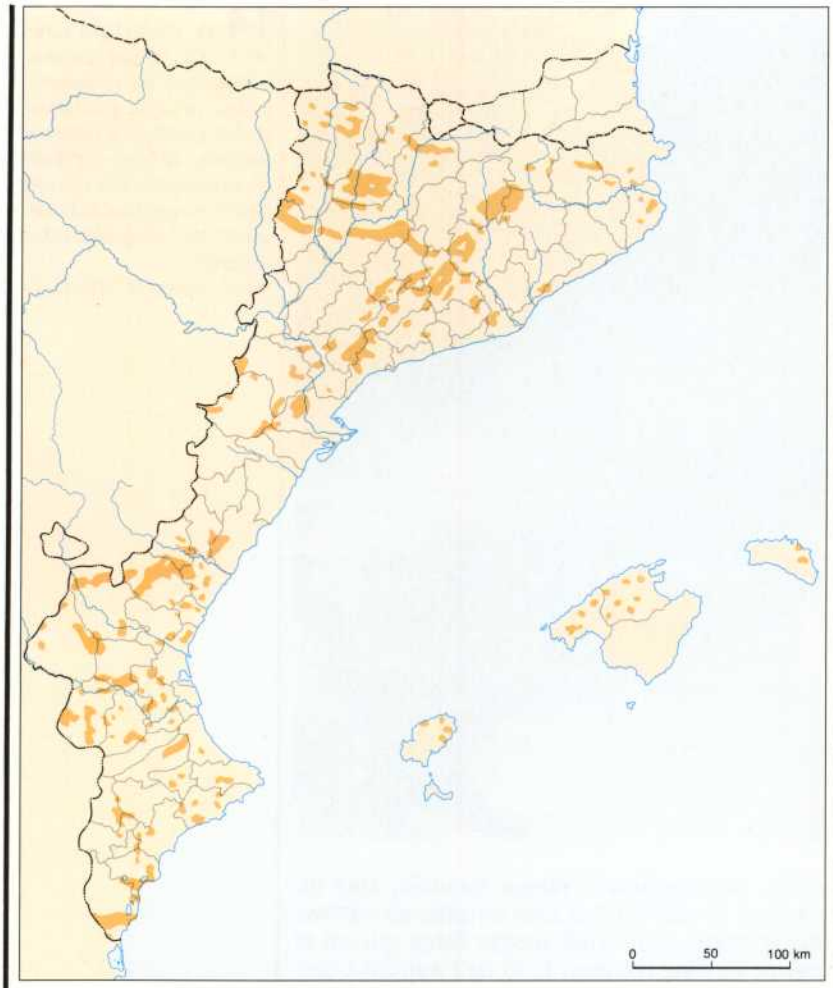
$$CO_3^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$$

Els carbonats són incolors, blancs o poc acolorits, excepte els de coure, que no són freqüents en els sòls, cosa que fa que els sòls amb abundància de carbonats tinguin tonalitats clares.

Hi ha tres grups isostructurals: el de la calcita o carbonat càlcic, $CaCO_3$, i la magnesita o car-



15 *LES COLORACIONS BLANQUES TÍPIQUES dels horitzons K d'acumulació de carbonats (endopedió càlcic) són donades per la calcita, com en aquests sòls de Picassent (Horta).*
[Foto: C. Roquero]



16 *DISTRIBUCIÓ DELS MATERIALS GUIXOSOS aflorants als Països Catalans. Hom hi constata la seva extensió geogràfica elevada, bé que només apareixen en els sòls de les zones de clima àrid i semiàrid, car en els altres casos són fàcilment rentats.*
[Cartografia: Maber, a partir d'Oriol Riba, 1966]

17 *ELS SULFATS, I CONCRETAMENT EL GUIX, donen coloracions blanques als sòls. L'acumulació secundària en el pedió origina cristalis lenticulars visibles en làmina prima.*
[Foto: Joan Herrero]

bonat magnèsic, $MgCO_3$; el de la dolomita o carbonat doble de calci i magnesi, $CaMg(CO_3)_2$; i el grup de l'aragonita, polimorf de la calcita. Aquests minerals formen masses importants de roques sedimentàries i d'algunes de metamòrfiques, com en el cas dels marbres. La calcita pot presentar-se en els sòls heretada del material original, o bé pot formar-se per precipitació a partir de formes solubles en determinades condicions, o bé per carbonatació de les bases alliberades en l'alteració de les plagiòclasis.

La dolomita és més estable que la calcita, cosa que es tradueix en una meteorització diferencial de les roques calcàries, especialment manifesta quan hi ha capes alternades de calcita i dolomita.

El carbonat sòdic, Na_2CO_3, és un mineral rar que té importància únicament en els sòls alcalins.

- ***Els sulfats***

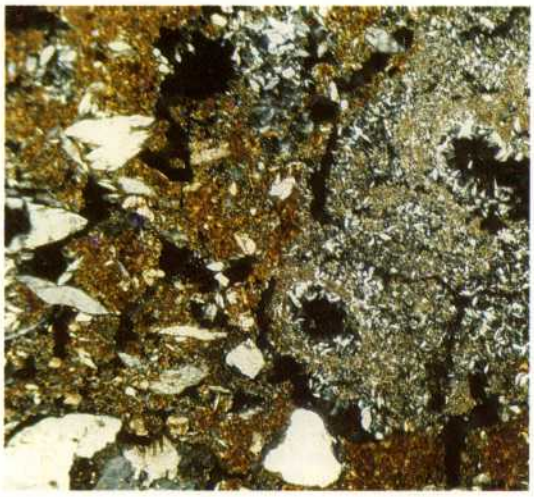
La relació radial $S^{6+} : O^{2+}$ de 0,214 condiciona una coordinació 4 de l'oxigen envers el sofre, és a dir, de tipus tetraèdric. L'enllaç covalent S-O és molt fort, i dóna lloc al grup aniònic SO_4^{2-} que, sense compartir oxígens, assoleix l'electroneutralitat per unió amb diferents cations que són els que determinen les propietats químiques i físiques d'aquests minerals. Les espècies més característiques en sòls són el guix, $CaSO_4.2H_2O$, i l'anhidrita, $CaSO_4$, que poden ésser transformades l'una en l'altre per processos d'hidratació o deshidratació.

La presència de guix va associada a unes condicions semiàrides o àrides, perquè és un mineral soluble a raó de 2 g/l, i en zones humides és dissolt i eliminat amb l'aigua de percolació. Als Països Catalans és un mineral important per la superfície que ocupen les roques sedimentàries que el contenen. En els sòls guixosos es poden trobar plantes especialitzades considerades indicadores.

En alguns casos, l'estudi en làmines primes posa de manifest que un altre sulfat, com la celestina, $SrSO_4$, acompanya el guix, encara que de forma molt minoritària. Aquest és el cas dels sòls desenvolupats sobre guix a la Segarra.

La resta de sulfats són típics de sòls afectats per la salinitat: el sulfat sòdic, en forma de tenardita, Na_2SO_4, o de mirabilita, $Na_2SO_4.10H_2O$, i el sulfat magnèsic o epsomita, $MgSO_4.7H_2O$. El sulfat sòdic presenta la peculiaritat que la seva solubilitat disminueix fortament quan baixen les temperatures, cosa que condiciona la dinàmica d'aquesta sal als sòls, ja que a l'hivern en baixar les temperatures és la menys soluble i no és rentada com les altres sals. El sulfat magnèsic és dos o tres cops més tòxic que el sulfat sòdic. El sulfat potàssic, K_2SO_4, no és freqüent, perquè el potassi es adsorbit per les argiles i, a més a més, aprofitat pels organismes.

Un altre grup de sulfats que hom pot trobar en els sòls, en pòlders i en estuaris, són el sulfat de ferro, $Fe_2(SO_4)_3$, i el d'alumini, $Al_2(SO_4)_3$, que proporcionen una acidesa extrema i molt



desfavorable. També la jarosita, sulfat doble de ferro i potassi, K $Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$, pot ser-hi present.

• ***Els sulfurs***

La forma estable del sofre en medis airejats és el S^{6+}, que en combinar-se amb oxigen dóna lloc als sulfats. En els sòls hidromorfs, la manca d'oxigen pot provocar el desencadenament d'una sèrie de processos reductors que afecten de manera especial el S^{6+} i el Fe^{3+} i donen lloc a la precipitació del sulfur de Fe^{2+} en forma de pirita o marcassita, FeS_2, que es troba en dipòsits de tipus sedimentari. El sofre pot procedir dels sulfats, i particularment de l'aigua de mar, en zones d'estuari o pòlders, o bé de la descomposició anaeròbia de la matèria orgànica, en presència de bacteris reductors.

La presència de sulfurs es pot reconèixer per la característica olor a sulfhídric que es desprèn en tractar una mostra de sòl amb un àcid concentrat.

• ***Els clorurs***

Els clorurs són minerals molt solubles, desfavorables per a les plantes si es presenten en quantitats importants, cosa que és freqüent en sòls afectats per salinitat. Els clorurs presents als sòls són l'halita, NaCl, amb una solubilitat de 264 g/l, per la qual cosa és especialment nociva; i el clorur càlcic, $CaCl_2$, molt poc freqüent en sòls afectats per la salinitat, a causa que en presència de sulfat o carbonat sòdic evoluciona ràpidament.

El clorur magnèsic i el clorur càlcic són sals molt higroscòpiques, i poden absorbir vapor d'aigua de l'atmosfera, cosa que fa que els sòls salins que contenen aquests minerals romanguin humits durant llargs períodes després d'unes pluges. Els clorurs tenen, en general, una dinàmica i una mobilitat molt altes, especialment importants en zones àrides i semiàrides, cosa que possibilita que es concentrin a la superfície donant eflorescències blanquinoses característiques.

La presència de NaCl és problemàtica, atesa l'activitat de l'ió Na^+, que pot arribar a ocupar un bon percentatge dels llocs d'intercanvi, produint la peptització del col·loide mineral i orgànic en medi aquós, i originant la pèrdua d'estructura, disminució de la conductivitat hidràulica, etc., condicions desfavorables per a les arrels.

• ***Els fosfats***

Els fosfats són minerals minoritaris als sòls. La seva estructura és formada per l'agrupació aniònica PO_4^{3-}, on l'oxigen coordina tetraèdricament



18 *SÒL HIDROMORF (psammaqüent) del delta de l'Ebre, amb sulfurs (banda negra) a la zona d'oscil·lació de la capa freàtica, fruit de l'activitat de microorganismes anaeròbics. [Foto: Josep M. Alcañiz]*

al fòsfor amb enllaç covalent, rP/rO = 0,25. L'electroneutralitat s'assoleix per unió amb cations, calci en medi bàsic, sodi en medi alcalí i ferro o alumini en medi àcid. Són, en general, insolubles en solucions neutres o bàsiques, excepte el fosfat sòdic. Els ortofosfats monometàl·lics alcalinoterris són solubles. No obstant això, poden retrogradar-se a formes apatítiques o tricàlciques que són altament insolubles. L'apatita presenta solució sòlida amb anions, com el fluorur, el clorur i l'hidroxil, $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$, i constitueix la font més important de fòsfor en el sòl. En sòls àcids, les formes possibles són la vivianita, $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$, la variscita, $AlPO_4 \cdot 2H_2O$, i l'estrengita, $FePO_4 \cdot 2H_2O$.

Les roques ígnies contenen de l'ordre del 0,15% de fòsfor: si bé les àcides són pobres en fòsfor,



19 *EFLORESCÈNCIES BLANQUES en sòls afectats per la salinitat, a Albatera (Baix Segura), a causa de la mobilitat dels clorurs i dels sulfats en el perfil, i de llur acumulació en superfície en èpoques d'evaporació alta. [Foto: C. Roquero]*

les bàsiques en són més riques. Els basalts en tenen el doble que el granit, mentre que les roques calcàries són pobres en fòsfor (0,02%). La importància del fòsfor resideix en el fet de ser un nutrient important de les plantes, i en el particular comportament químico-físic, pel que fa a l'adsorció aniònica de què són objecte els ions fosfat, la seva immobilització, etc.

2.2 *Els constituents orgànics*

L'origen

La matèria orgànica* del sòl té el seu origen en la biomassa morta que prové dels vegetals, dels microorganismes i de la fauna. Generalment, el material originari no conté inicialment matèria orgànica. En el cas dels sòls conreuats cal considerar també les aportacions externes que es fan en forma d'esmenes orgàniques, fems, composts, i restes de collites.

La vegetació és la principal font de matèria orgànica i juga un paper considerable en la formació del sòl, particularment dels epipedions. Un cop finalitzat el seu cicle vital, les restes vegetals es dipositen a la superfície del sòl —fulles, tiges, branques, etc.— o bé a l'interior —arrels—, i es van descomponent i incorporant-s'hi a poc a poc.

Els microorganismes aporten també matèria orgànica per excreció de substàncies orgàniques provinents del seu metabolisme, i també per incorporació al sòl de llur pròpia biomassa.

La fauna edàfica intervé activament en la descomposició de la matèria orgànica, fragmentant i digerint les restes vegetals; els cucs de terra acceleren la barreja amb la matèria mineral actuant com un digestor accelerat. Els excrements de la fauna són també una important aportació de matèria orgànica, i actuen com a nuclis d'alta activitat biològica descomponedora.

Les restes orgàniques sofreixen tota una sèrie de transformacions que donen lloc, per una part, a tota una gamma de productes senzills com CO_2, NH_3, H_2O, NO_3^-, PO_4^{3-}, K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, etc., en condicions reductores CH_4, N_2; i per altra a uns compostos químicament complexos de coloració bruna fosca, que s'agrupen sota el nom d'*humus*, el qual juga un paper molt important en la fertilitat i l'estabilitat estructural dels sòls, gràcies a la seva capacitat per a adsorbir nutrients i agregar partícules.

Una bona part de les restes orgàniques es descomponen amb relativa rapidesa, i donen al final productes senzills com els que abans hem esmentat, gràcies a l'acció dels microorganismes descomponedors, bacteris, actinomicets, fongs, entre d'altres, que utilitzen la biomassa morta com a font d'energia per al seu metabolisme; aquest procés es denomina *mineralització*. Però no totes les molècules orgàniques són aprofitables pels microorganismes sapròfits: hi ha compostos que per la seva estructura, molt estable, són difícils de descompondre, i ho fan només de forma parcial. Aquest és el cas, per exemple, de la lignina, un important constituent dels teixits llenyosos vegetals.

Els fongs i altres microorganismes hidrolitzen parcialment aquesta molècula alliberant al sòl fragments mig oxidats que junt amb la lignina lleugerament transformada i els productes del seu metabolisme excretats passen a formar part de l'humus. A mesura que avança el procés de descomposició de les restes de la biomassa desapareixen els composts fàcilment mineralitzables i s'incorporen substàncies precursores de l'humus sintetitzades pels mateixos microorganismes, i es produeix una acumulació relativa de substàncies complexes, més o menys polimètriques i amb abundància de composts aromàtics, que per processos de maduració físico-química, *humificació*, constituiran l'humus.

La presència de matèria orgànica en el sòl s'evidencia per un ennegriment dels epipedions, melanització, causat per l'humus, i és aquesta una de les característiques que permeten diferenciar epipedions d'endopedions.

El contingut i la composició

La quantitat de matèria orgànica dels sòls és molt variable, i depèn sobretot de la biomassa vegetal que soportin i de l'horitzó estudiat. Hi ha una ràpida disminució del contingut orgànic en fondària, a causa d'una deposició majoritàriament superficial de les restes vegetals. Així, en el cas dels sòls forestals, gran part de la biomassa morta que forma la virosta* té el

* La locució *matèria orgànica* és emprada amb diferents significats. Per a alguns autors és únicament la fracció orgànica transformada, sinònim d'humus; d'altres distingeixen entre *matèria orgànica fresca* o restes vegetals recentment incorporades, i *humus* o *matèria orgànica transformada*. Duchaufour, en parlar de *tipus d'humus* es refereix a la matèria orgànica global, és a dir, a la matèria orgànica fresca i a la matèria orgànica humificada. Aquesta ambigüitat en la terminologia és produïda pel fet que resulta difícil a vegades separar les diferents formes de matèria orgànica. En el present text utilitzem el terme en el sentit ampli per a englobar la matèria orgànica fresca i l'humus.

* *Virosta* és un terme utilitzat en ecologia per a designar les restes orgàniques, principalment de vegetals, que es dipositen en la superfície dels sòls formant una capa. És sinònim de fullaraca, referida sobretot a la virosta dels boscs

ORGANISMES	Ceres, greixos, resines	Proteïnes	Cel·lulosa	Hemicel·lulosa, hidrats, carbohidrats	Lignina i derivats	C/N
Herbes lleguminoses vivaces:						
arrels	10-12	10-15	20-25	25-30	10-15	
fulles		12-20	15	10-12	5	12-16
Herbes gramínies vivaces:						
arrels	5-12	5-10	25-30	25-30	15-20	15-20
Arbres de fulla ampla:						
fulles	3-5	4-10	15-25	10-20	10	40-50
fusta	—	0,5-1	40-50	20-30	20-25	
Coníferes:						
fulles	20-25	5-7	20	15-20	15	60-70
fusta	—	0,1-1	45-50	15-25	25-30	
Bacteris	—	40-70	No n'hi ha	Mucositat	No n'hi ha	8-12
Matèria orgànica dels sòls	0,8-7,7	30-35	3-5	5-12	30-50	8-15

20 *COMPOSICIÓ QUÍMICA APROXIMADA de diversos organismes vegetals superiors i inferiors (en % de pes sec).*
[Font: dades elaborades pels autors]

seu origen en les fulles que es dipositen a la superfície del sòl; per altra banda els sòls de prats tenen un contingut més uniforme, i uns horitzons A més gruixuts a causa de la incorporació directa dels sistemes radiculars de les pratenses i de la forta activitat biològica que normalment existeix en aquests sòls.

Els continguts mitjans de matèria orgànica dels horitzons organominerals dels sòls dels Països Catalans són baixos, sobretot en els sòls agrícoles. A causa de la gran diversitat d'ambients s'hi troben casos extrems, com el 0,3% en alguns sòls d'Alacant i de la Segarra, el 0,8% en determinades zones del Vallès, o bé el 3% en alguns d'Osona, i també valors del 21% en sòls de zones humides d'alta muntanya a la Vall d'Aran. En zones de mulleres i aiguamolls es troben unes acumulacions importants de matèria orgànica de tipus torbós, que donen al sòl el qualificatiu de sòl orgànic o histosòls, amb continguts de matèria orgànica del 63%, com és el cas de l'estany de Ratera (Pallars Sobirà) o del 49% als ullals del delta de l'Ebre.

En termes generals es pot dir que existeix una proporcionalitat directa entre el contingut de matèria orgànica i la precipitació, i inversa amb la temperatura, encara que no de forma lineal: per tant, les zones més deficients en matèria orgànica són les més àrides. Cal tenir en compte que en sòls agrícoles el conreu continuat incrementa la taxa de mineralització i accentua el dèficit de matèria orgànica; d'altra banda, el costum de cremar els rostolls aminora la incorporació de matèria orgànica al sòl.

caducifolis, i equival a "litière" en francès i "litter layer" en anglès. Correspon a l'horitzó $O_1 = A_{00}$ (capes *L* i *F*), constituït per restes que encara conserven l'estructura de teixit i per tant es pot reconèixer el seu origen a ull nu, a diferència de l'horitzó $O_2 = A_o$ (capa *H*), de color negrós, on les restes són més descompostes.





21 *LA INCORPORACIÓ DE MATÈRIA ORGÀNICA provoca l'enfosquiment de la part superior del pedió; la distribució depèn del tipus de formació vegetal. Així, als prats (a dalt, umbrept del Turó de l'Home, al Montseny) hi ha una incorporació profunda i uniforme, mentre que sota una vegetació forestal (a baix, ocrept de les muntanyes de Prades) la incorporació és molt més superficial i hi ha virosta abundant.*
[Fotos: Josep M. Alcañiz]

La vegetació és un dels condicionants del contingut i la composició química de la matèria orgànica dels sòls. Per a estudiarla, cal diferenciar les substàncies procedents de la biomassa morta o del metabolisme microbià, que es denomina matèria orgànica fresca o no humificada, del conjunt de substàncies resultants de la seva transformació.

La matèria orgànica fresca

Cal destacar en les restes vegetals l'abundància de carbohidrats, cel·luloses, hemicel·luloses, midó, quitines, pectines i mucopolisacàrids bacterians. Totes aquestes substàncies especialment abundants en la virosta són també presents en la part superficial dels sòls, i constitueixen del 5 al 20% de la matèria orgànica total. La matèria orgànica fresca disminueix en profunditat a la vegada que l'humus passa a ésser la fracció dominant de la matèria orgànica total.

La cel·lulosa és un dels carbohidrats més abundants al sòl, i es troba associada a les hemicel·luloses i a la lignina, tots ells força insolubles, a més de substàncies pèctiques. Alguns d'aquests carbohidrats i, sobretot, els productes de la seva hidròlisi i oxidació parcial s'integren a les substàncies húmiques d'una manera estable.

Els compostos nitrogenats tenen l'origen principal en la part proteica de la biomassa i són els aminoàcids, aminosucres i, en menor grau, les bases nitrogenades, i constitueixen la principal font de nitrogen per als microorganismes heterotròfics del sòl. D'altres, com amides, aminoàcids aromàtics i heterocicles de nitrogen com les porfirines i citocroms, poden incorporar-se directament a l'humus. Diversos autors han demostrat que una petita part de les proteïnes enzimàticament actives que van a parar al sòl queden estabilitzades en l'humus, i conserven fins i tot llur activitat, cosa que representa un factor de fertilitat potencial per la seva acció sobre la mineralització de la matèria orgànica.

El nitrogen pot esdevenir un factor limitant de l'activitat biològica del sòl, ja que és necessària una proporció adequada entre el contingut de carboni i el de nitrogen. La relació C/N del sòl té un marge de variació de 8 a 30. Els valors més freqüents en el cas de sòls de conreu són entre 8 i 12, van decreixent a mesura que es descompon la matèria orgànica i reflecteixen el grau de mineralització.

Els compostos lipídics no són gaire abundants en el sòl, ja que molts d'ells, com els greixos i els olis, són ràpidament biodegradats. D'altres, però, com els esterols i els derivats polinucleats, poden passar a formar part directament de l'humus.

La lignina és un precursor de substàncies húmiques, juntament amb altres compostos fenòlics i aromàtics que es troben en menys quantitat en la matèria viva, és difícilment biodegradable i s'acumula en el sòl formant part de l'humus.

L'humus

L'heterogeneïtat dels components orgànics, la natura polimèrica i la formació de complexos amb la matèria mineral, fan difícil l'estudi de l'humus. La major part de les tècniques analítiques convencionals donen, per tant, una informació molt parcial sobre la seva estructura i composició.

A grans trets, es pot dir que hi ha dues vies per a abordar el complex problema de l'estudi de l'humus: una consisteix a *descompondre* el polímer húmic en monòmers per mitjans químics com la hidròlisi o per mitjans físics, amb tècni-



22 *LA PRÀCTICA DE CREMAR ROSTOLLS contribueix a disminuir la capacitat agrícola dels sòls, car la matèria orgànica així perduda hauria millorat l'estructura i la retenció d'aigua i nutrients (bladars de la Noguera).*
[Foto: Jaume Porta]

ques com la piròlisi. Posteriorment, cal identificar els monòmers per a proposar models estructurals del polímer. L'altra via, més clàssica, consisteix en la solubilització parcial de l'humus en un procés d'*extracció* i el posterior *fraccionament* de les substàncies húmiques en grups més homogenis, als quals s'apliquen tècniques analítiques per caracteritzar-los. Aquest procediment, més emprat en l'etapa inicial de l'estudi de la matèria orgànica, va sent substituït a mesura que hom disposa de tècniques analítiques instrumentals més acurades.

El fraccionament condueix a una barreja de composts de composició i propietats complexes que depèn molt del mètode emprat, i de la possible alteració del material original. Dins les vies clàssiques, els extractants més emprats són el NaOH, que dóna rendiments elevats, i els agents complexants com el pirofosfat de sodi, que extreuen humus més condensat, o bé, barreges d'ambdós. Altres procediments consisteixen en extraccions seqüencials amb reactius d'agressivitat creixent. El rendiment de l'extracció és molt variable en funció del tipus de sòl, reactiu i condicions d'extracció, i és comprès normalment entre el 15% i el 60% del carboni orgànic total. La fracció orgànica no extractable es denomina *humina*.

Les fraccions húmiques més estudiades són els *àcids fúlvics* (*AF*) i els *àcids húmics* (*AH*), expressió que inclou altres subfraccions com els àcids húmics bruns, els àcids húmics grisos, i els àcids hematomelànics. Aquestes fraccions, junt amb la humina, són barreges complexes de substàncies amb diversos graus de polimerització, i per tant no es pot donar una fórmula química representativa sinó que s'han de caracteritzar per la seva composició elemental, grups funcionals i d'altres dades analítiques globals que demostren la considerable variabilitat de llur composició en els diferents sòls.

- ***Els àcids húmics i fúlvics***

El carboni i l'oxigen són els elements majoritaris en la composició de les substàncies húmiques que són, per tant, composts relativament oxidats. Els àcids húmics contenen més carboni i menys hidrogen i oxigen, cosa que indica un caràcter més aromàtic i menys oxidat que el dels àcids fúlvics; són també més rics en nitrogen, encara que les formes en què aquest es troba poden ésser diferents. Una part important de nitrogen, sobretot en els àcids húmics, es troba en forma no hidrolitzable, probablement heterocíclica. El nitrogen s'incorpora a la matèria orgànica durant els processos d'humificació.

Pel que fa als grups funcionals carboxílics i alcohòlics, així com l'acidesa total, són molt més elevats en els àcids fúlvics; en canvi no hi ha gaires diferències en el contingut de quinònics

UNITATS	AH	AF
ELEMENTS (%)		
C	56,2	45,7
H	4,7	5,4
N	3,2	2,1
S	0,8	1,9
O	35,5	44,8
GRUPS FUNCIONALS (meq/g)		
acidesa total	6,7	10,3
carboxílic (COOH)	3,6	8,2
fenòlic (OH)	3,9	3,0
alcohòlic (OH)	2,6	6,1
quinònic (C = O) cetònic (C = O)	2,9	2,7
metòxic (OCH_3)	0,6	0,8
E_4/E_6	4,8	9,6

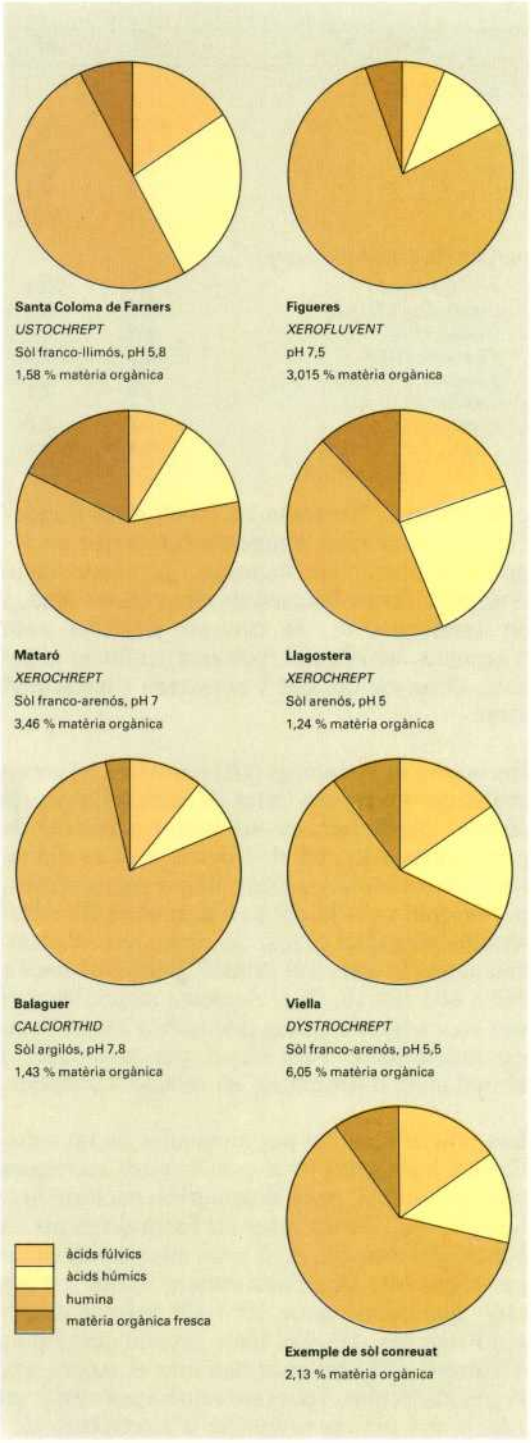
23 *ÀCIDS HÚMICS (AH) I FÚLVICS (AF) DEL SÒL: composició elemental mitjana i grups funcionals.*
[Font: Schnitzer, 1978]

o de cetònics. Normalment en els àcids húmics hi ha un contingut lleugerament major de fenòlics i menor de metoxils. La dissociació d'aquests grups funcionals de caràcter àcid, i en conseqüència, la càrrega elèctrica neta d'aquestes substàncies, predominantment negativa, depenen del pH i permeten l'intercanvi iònic.

Els espectres infraroigs (*IR*) permeten posar en evidència diferències entre els àcids húmics i els fúlvics, concretament una major presència de grups carboxílics en els fúlvics. L'absorció en l'espectre visible no dóna lloc a pics definits, per la qual cosa la caracterització de les substàncies húmiques es realitza d'una manera convencional en base a la relació d'absorbàncies a 465 i 665 nm (E_4/E_6). Aquesta relació és menor en els húmics, cosa que indica major grau de condensació, més elevat pes molecular, i abundància d'aromàtics en relació a alifàtics.

Les estimacions del pes molecular de les substàncies húmiques fetes per diverses tècniques com crioscòpia, pressió osmòtica, exclusió molecular, etc., donen resultats força diferents en funció del mètode, però totes elles indiquen un pes molecular significativament major per als *AH*, que oscilla entre 10^3 i 10^6 enfront de 10^2 a 10^4 per als *AF*. Cal tenir present que molts d'aquests mètodes indiquen més el volum que el pes molecular, i per tant aquest pot variar en funció del pH, la presència d'electròlits, etc.

Les tècniques electroforètiques permeten separar a partir dels *AH*, els *AH* bruns que migren al càtode dels *AH* grisos que migren poc per tenir una relació càrrega superficial/massa més petita. Mitjançant les diverses tècniques degradatives s'ha pogut identificar tota una sèrie de monòmers dels *AH* i *AF*, que posa en evidència l'abundància d'estructures aromàtiques, sobretot benzè, substituïdes, i d'altres com heterocicles de nitrogen. A més s'identifica tota una sèrie de compostos alifàtics en proporcions molt variables en els sòls, que procedeixen en gran nombre dels carbohidrats i dels àcids policar-



24 *COMPOSICIÓ DE L'HUMUS d'alguns sòls agrícoles de Catalunya (la* MOF *és expressada en % de carboni sobre el carboni oxidable total).*
[Dibuix: Maber, a partir de Saña i Soriano, 1983]

boxílics. Segons Schnitzer, les diferències principals entre els *AH* i els *AF*, establertes per mètodes de degradació oxidativa, són en la relació entre les estructures benzè-carboxíliques i les fenolítiques, elevada en els *AH*, més que en el grau d'aromaticitat. Altres autors destaquen la importància de les estructures alifàtiques, sobretot en els *AF*. En qualsevol cas, la considerable variabilitat en la composició dels *AH* i *AF* dels diferents sòls fa difícil establir en molts casos els models característics per a ambdues fraccions.

Dels resultats abans esmentats cal deduir que els *AH* i els *AF* tenen molts components comuns de natura aromàtica i també alifàtica, però mantenen diferències principalment en la solubilitat, mida molecular, abundància de grups funcionals i càrrega elèctrica.

• ***Les humines***

Els procediments convencionals d'extracció deixen una important fracció de matèria orgànica insoluble, que denominem humines. Les causes de la insolubilitat són diverses, però en una bona part es troben en la formació de complexos estables amb la fracció col·loïdal mineral, argiles i oxihidròxids, i constitueixen l'important complex argil·lohúmic. La presència d'aquest complex en el sòl és un factor positiu que aporta una alta estabilitat estructural i que contribueix a mantenir una millor porositat i fertilitat dels sòls. Tot i que menys estudiades, es creu que la composició bàsica de les humines és semblant a la dels *AH*, amb un major grau d'aromaticitat i condensació i una menor proporció de grups funcionals lliures.

En funció dels components de partida i de la via de formació, Duchaufour classifica les humines amb un sentit ampli. La *humina heretada* és la matèria orgànica insoluble de composició molt semblant a la que tenia en la biomassa morta. Aquest és el cas d'una bona part de la lignina parcialment oxidada que passa directament a la fracció humina. La *humina d'insolubilització* es forma a partir de precursors solubles continguts en les fraccions *AF* i *AH* que, per polimerització, precipiten i resten insolubles. Aquest és el cas d'alguns polifenols i melanoidines. Alguns autors diferencien també la *humina microbiana*, que comprèn tota la sèrie de substàncies sintetitzades pels microorganismes, i que és formada per mucopolisacàrids de la paret bacteriana, aminosucres i composts poliurònics. La *humina evolucionada de maduració* correspon a una fracció molt estable de caràcter molt aromàtic i condensat, fortament lligada a la matèria mineral que ha anat evolucionant lentament en el sòl.

• ***Els tipus d'humus***

Els criteris inicials de classificació de l'humus eren morfològics, basats en l'aspecte, color, estructura, gruix de la virosta, grau d'incorporació entre la matèria orgànica i la matèria mineral, presència o no d'horitzons orgànics, etc. Els criteris de camp establerts per Kubiena han estat complementats amb dades analítiques que han permès arribar a establir criteris físico-químics i biològics per poder diferenciar la diversitat d'humus. Com a visió simplificada, resulten útils les classificacions basades en el règim hídric, aerobiosi-anaerobiosi, i en les condicions nutritives del medi, eutròfia-oligotròfia.

Les classificacions actuals de l'humus, com la de Duchaufour i col·laboradors, a més dels criteris morfològics utilitzen paràmetres com la relació C/N, saturació de bases del complex de canvi, pH, relació *AH/AF*, etc. Aquests paràmetres són el resultat de l'acció del medi sobre el sòl i per tant tenen un sentit ecològic. No obstant això, encara hi ha grups d'humus poc definits, com per exemple el cas dels "moders" i "mulls" carbonatats, que cal especificar millor sobretot en l'aspecte de la humificació.

- ***Els complexos organominerals***

Per necessitats metodològiques d'estudi, la matèria mineral és separada dràsticament de la matèria orgànica, però cal tenir molt en compte que en el sòl es troben unides formant complexos organominerals de diversa natura i estabilitat. Una bona part de l'humus resta insolubilitzat en forma de complexos estables amb la fracció argilosa, i origina el complex argil·lohúmic. L'abundància de grups funcionals de la matèria orgànica permet també la formació de complexos amb cations, que són retinguts amb diversos graus d'energia, i són anomenats complexos organometàl·lics. La falta del coneixement precís de la molècula orgànica complexant fa difícil establir les constants d'estabilitat dels complexos amb els diferents cations. La formació del complex argil·lohúmic possibilita l'íntima unió de l'humus amb la matèria mineral allà on la matèria orgànica és ben humificada, de tal manera que ambdues fraccions resten indiferenciables a cop d'ull. L'humus actua, doncs, com a ciment en la formació dels microagregats del sòl.

Els composts organominerals presents en el sòl poden ésser classificats d'acord amb la seva estabilitat i mobilitat. En primer lloc, els immòbils, normalment molt estables, insolubles i relativament de mida gran, corresponen sobretot als argil·lohúmics, en els quals els cations actuen de ponts d'enllaç entre els dos macroanions. Per altra banda, els mòbils o fàcilment mobilitzables, molt freqüents en la fracció d'àcids fúlvics, tenen un grau d'estabilitat i solubilitat variable, en funció de la seva natura i de les condicions del medi. Solen ser de mida relativament més petita i es corresponen predominantment amb els complexos organometàl·lics. En aquest cas, la part orgànica actua d'agent quelant, gràcies a l'abundància de grups funcionals carboxílics, fenòlics i en menor grau aminos.

En els sòls rics en carbonats, molt freqüents als Països Catalans, la presència de calci afavoreix la formació d'un complex de tipus argil·lohúmic, sempre que la quantitat d'argila no esdevingui un factor limitant. L'anió orgànic del complex és en aquests casos de tipus humina heretada. En els sòls neutres i moderadament àcids, és el ferro el catió que juga un paper predominant en la formació de complexos que seran igualment de tipus argil·lohúmic, on predominaran els *AF* i les humines d'insolubilització.

En sòls àcids, pobres en argiles i rics en matèria orgànica, com els podzols, es formen complexos organometàl·lics mòbils amb el Fe i Al que migren dins el sòl; de no ser així, el ferro i l'alumini restarien insolubles en les condicions aeròbies habituals en aquests sòls; l'humus és en aquests casos fonamentalment de tipus *AF*.

2.3 Les propietats i característiques edàfiques

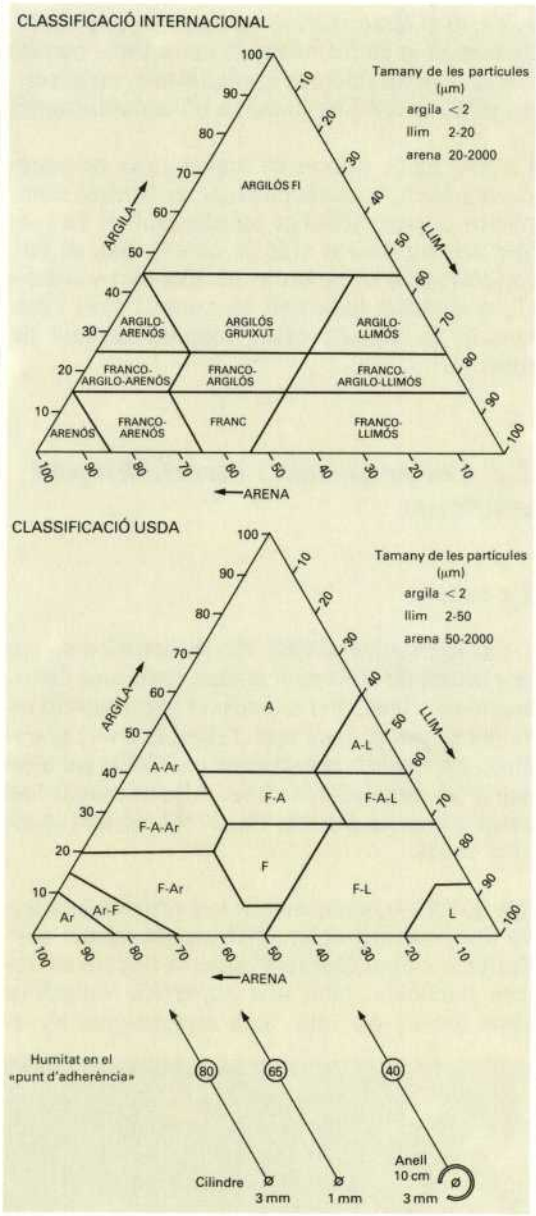
La textura

La fracció mineral dels sòls és constituïda per partícules de diferents mides, amb una distribució contínua. Per a conèixer la proporció relativa en pes de cada una d'elles, és a dir, la textura, cal establir prèviament uns límits per a separar les diferents fraccions. Alguns criteris han estat acceptats per tots els autors, no així en altres casos.

La textura o granulometria es refereix a la terra fina, que inclou les partícules de diàmetre inferior a 2 mm. Dintre d'aquesta fracció es troben partícules amb una superfície específica molt gran i, per tant, amb una activitat eleva-



25 *LES FRACCIONS DE LLIM I ARGILA d'un sòl són determinables mitjançant la dispersió i posterior sedimentació, tal com mostren aquestes probetes.*
(Foto: Robert Cruañas)



26 *DIAGRAMA TRIANGULAR per a la determinació de la classe textural; cal tenir en compte els límits de les fraccions determinades, car el diagrama és específic (A argilós, L llimós, F franc, Ar arenós). [Dibuix: Maber, a partir de dades facilitades pels autors]*

da en els processos que tenen lloc en el sòl: és la fracció d'argila. Així, per exemple, un gram d'argila té una superfície de 100 a 150 vegades més gran que un gram de sorra. La fracció intermèdia és la denominada llim, i la més grollera, la sorra. L'agrupació de les partícules en funció de la mida i els resultats expressats en percentatges, permet establir diferents classes texturals del sòl, que es refereixen a les proporcions de sorra, llim i argila de cada una de les escales de mides.

De les moltes propostes fetes per establir fraccions, dues són d'ús freqüent en edafologia. Una és la proposada inicialment per Atterberg i adoptada per la Societat Internacional de la Ciència del Sòl l'any 1926 i l'altra és la del Departament d'Agricultura dels EUA (USDA). De fet, no hi ha cap divisió natural i neta entre mides, i per això hi ha discrepàncies i límits més o menys arbitraris. La proporció de cada fracció es determina mitjançant l'anàlisi granulomètrica o mecànica, prèvia separació de la fracció superior a 2 mm i eliminació de la matèria orgànica*. Les partícules més grosses de 0,05 mm en són separades per tamisat i les inferiors per mètodes de sedimentació basats en la llei d'Stokes. Els resultats de l'anàlisi es poden presentar de diferents maneres, mitjançant diagrames lineals, circulars, semilogarítmics i triangulars. Els dos darrers són els emprats més freqüentment, i mitjançant els diagrames triangulars es poden representar les diferents classes texturals del sòl. La nomenclatura de les classes texturals pot ser modificada quan en el sòl hi ha en abundància graves (2-60 mm), còdols (60-250 mm) o blocs de mida superior a 200 mm; en aquests casos s'afegeix a la denominació textural l'adjectiu que correspon a aquestes fraccions.

Una anàlisi textural dóna poca informació directa, i la indirecta que proporciona cal que s'utilitzi amb prudència. El fet que la textura sigui una característica intrínseca molt evident i que altres propietats del sòl hi estiguin relacionades, justifica que tant els pagesos com els científics hi hagin parat atenció. No obstant això, cal remarcar, per una banda, que les partícules del sòl no es troben aïllades sinó que s'agrupen per constituir unitats individualitzades de mida més gran o unitats estructurals que seran les que realment condicionaran el comportament del sòl. Per una altra banda, aquesta resposta serà diferent segons la mineralogia, especialment la de les argiles: així, per a una mateixa textura, un sòl serà més fèrtil si les argiles són esmectítiques o illítiques que si són caolinítiques, i el seu comportament mecànic serà condicionat per la mineralogia de les argiles.

L'estructura

L'estructura del sòl és el resultat de l'organització espacial de les partícules elementals, sorra, llim i argila, en unitats compostes de mida més gran, anomenades *agregats*. Aquestes unitats estructurals són separades les unes de les altres per superfícies de debilitat i fan que el sòl tingui un comportament diferent que quan una mateixa proporció de partícules elementals es troben individualitzades. L'estructura és més un concepte qualitatiu que una propietat directament quantificable.

L'agregació d'un sòl condiciona l'espai porós i, per tant, l'aireació, la capacitat d'infiltració,

* Segons les característiques del sòl, hom utilitzarà un mètode o un altre per a realitzar aquesta anàlisi. El mètode internacional proposa eliminar també els carbonats, però en els sòls dels Països Catalans aquest mineral acostuma a ésser molt abundant, per la qual cosa la seva eliminació restaria significació als resultats.

la permeabilitat, així com la circulació d'aigua. L'estructura condiciona també l'erosionabilitat: per exemple, els horitzons superficials amb estructura massisa que redueixen la infiltració d'aigua, incrementen l'escolament i les possibilitats que el sòl s'erosioni.

En un estudi morfològic o bé genètic es considerarà l'estructura de tots els horitzons, però quan es tracta de la fertilitat és molt més interessant l'estructura de l'horitzó superficial, la seva compacitat, la estabilitat dels agregats enfront de l'acció de l'aigua, etc. L'estructura d'aquest horitzó pot afectar en gran manera l'emergència de les plàntules, si el sòl té tendència a formar una crosta en superfície després d'unes pluges, cosa que es produeix freqüentment a determinats sòls, com per exemple a les Garrigues o a la Segarra. Una mala estructura dels horitzons subsuperficials pot dificultar la penetració de les arrels, i si és associada a un excés d'aigua hi haurà una mala circulació i, possiblement, problemes d'anòxia.

Els sòls formats predominantment per sorra grossa tenen les partícules deslligades, no coherents, amb agregats poc desenvolupats, mentre que aquells que tenen gran quantitat d'argila tendeixen a ser massius. Els processos d'humectació-dessecació donen lloc a l'aparició d'una estructura per retracció, amb agregats grossos de vegades prismàtics. En els sòls ben estructurats, les unitats individuals tenen pocs punts de contacte entre ells i són generalment rodejades per un espai porós continu; en canvi, en sòls massius és la matèria mineral la que forma un medi continu i l'espai porós és discontinu. Generalment, però, es dóna la situació intermèdia en el sòl on l'espai porós, juntament amb la matèria sòlida, forma un sistema continu.

L'estructura es descriu atenent el grau de desenvolupament, és a dir, el nivell de distinció i de durabilitat dels agregats, així es parla de sòls sense estructura, dèbil, moderada o forta; a la forma dels agregats, és a dir, al model o patró estructural que es repeteix, laminar, prismàtic o en blocs; a la mida o classe; i a la durabilitat dels agregats, mesurada en funció de diversos índexs d'inestabilitat estructural proposats per diferents autors.

L'estudi al camp de l'estructura pot ésser complementat i millorat al laboratori passant a una escala més detallada, la microstructura. La descripció d'aquesta mitjançant làmines primes* és especialment útil per a caracteritzar l'organització del sòl. Brewer (1965) introduí una terminologia específica, l'ús de la qual s'ha generalitzat*, que ha estat revisada per Bullock i collaboradors (1984).

* Una làmina prima es fabrica per impregnació amb resines d'un bloc inalterat de sòl que s'endureix, i després es serra en fines làmines que poden ésser observades al microscopi.

La densitat i la porositat

El sòl com a medi porós permet definir dues categories de densitats: una és la de les partícules sòlides o densitat real i l'altra és l'aparent, és a dir, la massa referida al volum total considerant sòlids i espais buits**. El comportament físic d'un sòl és condicionat, en gran manera, pels seus espais buits, mida, forma, distribució i connexions entre els porus, atès que controlen els fluxos d'aigua i de gasos.

L'espai no ocupat per partícules sòlides expressat com a percentatge en volum s'anomena porositat***. S'han proposat diverses agrupacions dels porus per mides, per diferenciar una macro o una microporositat. Es pot estimar de forma orientativa al camp o bé es pot mesurar la quantitat i descriure la distribució per mides en làmina prima o mitjançant un porosímetre; també es poden realitzar estudis tridimensionals fotografiant seccions, fent impregnacions amb poliester, estereoradiografies, microscòpia electrònica, per tractament d'imatge, etc.

Els factors que controlen la porositat del sòl són l'estructura i la textura; l'activitat biològica i les tècniques de conreu la influencien indirectament.

L'aigua edàfica

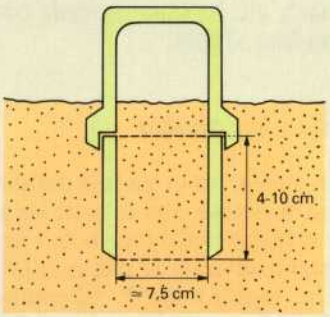
El cicle de l'aigua en el sòl fa referència a l'aportació, pèrdua i variació de la reserva, com una part del cicle general de l'aigua a la biosfera. L'aigua és aportada com a conseqüència de les precipitacions en forma de pluja i de neu o bé pel reg. Una part és interceptada per les parts aèries de les plantes abans d'arribar al sòl i s'evapora directament: aquesta pèrdua pot ésser molt important en els boscos, fins el 25%, i és molt petita en els sòls de conreu depenent del tipus i estat de la vegetació.

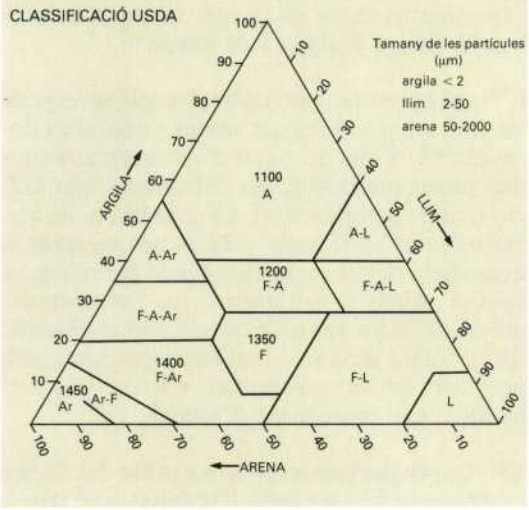
* Termes com *esquelet, plasma, cutans, glebules, porus,* etc., són alguns dels emprats pels micromorfòlegs.

** La densitat dels sòlids es representa per ϱ_s i l'aparent pot ésser referida a la massa seca, ϱ_a^b, o amb una certa quantitat d'aigua, ϱ_w^b. La densitat real d'un sòl mineral és aproximadament de 2650 kg m^{-3}, i disminueix a mesura que augmenta el contingut de matèria orgànica del sòl: per a un sòl orgànic és de 1450 kg m^{-3}. La densitat aparent oscilla entre els 1000 i els 1700 kg m^{-3}.

*** La porositat pot ser calculada a partir de les densitats real i aparent, així:

$$PT = \left(1 - \frac{\varrho_a^b}{\varrho_s}\right) \cdot 100$$





27 *LA DENSITAT APARENT és determinada a partir de mostres preses de forma que no s'alterin els materials. A mesura que augmenta la proporció del porus, més petita és la densitat aparent (en el cas d'una mostra de textura argilosa, ϱ^b = 1 100 kg/m³).*
[Dibuix: Maber, a partir de dades facilitades pels autors]

L'aigua, un cop al terreny, pot travessar la superfície, procés que s'anomena *infiltració*. La velocitat d'infiltració s'expressa en mm/h⁻¹ i depèn de les característiques superficials, estructura, compactació, conductivitat hidràulica dels horitzons subjacents, etc. La infiltració permet augmentar la reserva. L'aigua que no pot infiltrar-se forma tolls si el terreny és pla, o es perd circulant vessant avall en forma d'escolament superficial.

L'aigua circula dintre del sòl més o menys ràpidament en funció de la conductivitat hidràulica o la permeabilitat dels diferents horitzons; una part d'aquesta aigua pot perdre's per moviment vertical descendent, i una altra part lateralment, en forma d'escolament subsuperficial.

A les zones humides dels Pirineus o de Girona, les precipitacions són abundants i el front d'humectació travessa tot el perfil; hi pot haver drenatge, els sòls tenen un règim d'humitat percolant. Per contra, a Mallorca, i d'Alacant a Tarragona, Lleida i Barcelona, l'evapo-transpiració supera la precipitació, el front d'humectació no baixa gaire en el perfil i el règim d'humitat és no percolant.

Alguns sòls són saturats d'aigua, a causa de la presència d'una capa freàtica a una determinada profunditat. El nivell d'aquesta capa pot oscil·lar periòdicament en funció de la precipitació i de l'evapo-transpiració. A vegades aquesta capa pot ser temporal. En el primer cas hom pot parlar de sòls hidromorfs de tipus glei, en el segon, de sòls amb pseudo-glei.

Quan es compara el comportament d'una mateixa planta, en dos sòls diferents que contenen igual quantitat d'aigua s'observa que la resposta no és idèntica. La planta que es trobi en un sòl sorrenc patirà set més aviat que aquella que es trobi en un sòl argilós, amb la resta de condicions iguals. Aquest fet i d'altres constatacions permeten afirmar que no n'hi ha prou a conèixer el contingut d'aigua d'un sòl, cal saber l'energia potencial referida a la unitat de massa, que és el que s'ha definit com *potencial de l'aigua del sòl*.

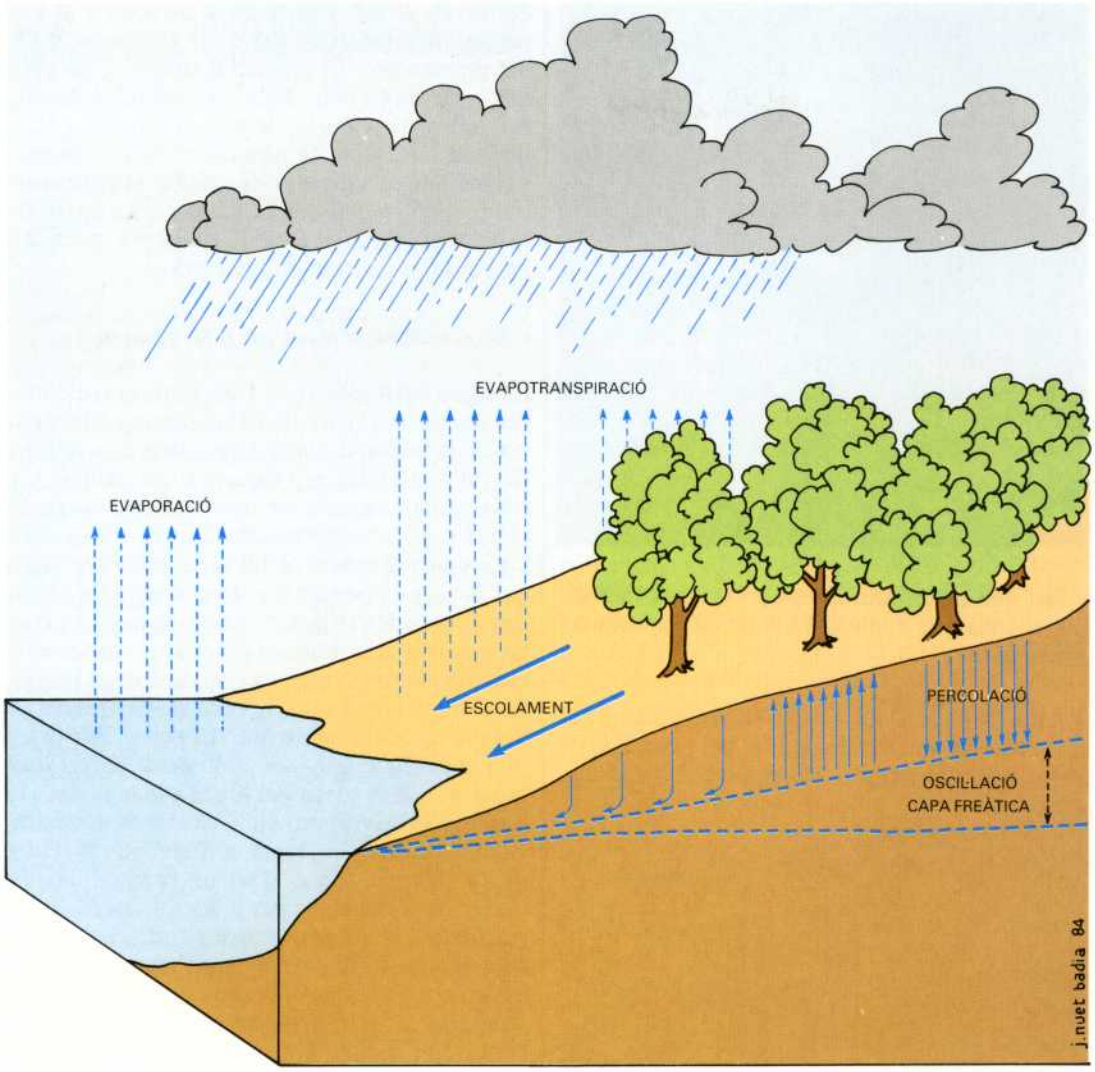
Els pagesos de les Garrigues consideren frescals els sòls més sorrencs, la qual cosa sembla en principi contradictòria, atès que són els sòls argilosos els que poden emmagatzemar més aigua. El que passa és que l'esmentada comarca té un clima semiàrid i el sòl no rep prou aigua, per la qual cosa la poca que hi arriba és retinguda amb més energia en el sòl argilós, de manera que l'aigua del sòl sorrenc està més a disposició de les plantes.

Les principals forces que actuen sobre l'aigua del sòl són les gravitacionals, que expliquen el moviment descendent; les d'adsorció superficial directa de les molècules d'aigua sobre les partícules sòlides o matriu, forces que, juntament amb les de capil·laritat i les unions osmòtiques de l'aigua a les capes dobles difuses, expliquen la retenció d'aigua, i s'anomenen forces matricials; l'evaporació i l'absorció per les arrels fan que el moviment sigui ascendent. El comportament i les disponibilitats de l'aigua són el resultat de tots els camps de força que actuen.

Seguint Briggs (1874 - 1963), algunes publicacions parlen encara de tipus d'aigua del sòl, i estableixen l'aigua gravitacional, la capil·lar i la higroscòpica. Aquestes divisions resulten bastant arbitràries i poc relacionades amb els moviments de l'aigua en el sòl; tota l'aigua és sotmesa a l'acció de la gravetat, per tant, tota ella és, de fet, aigua gravitacional, etc.

L'enfocament de la física de sòls moderna es obra de Buckingham (1867 - 1940). Enfront de la concepció en classes discretes de Briggs, el que proposà Buckingham és considerar els estats energètics de l'aigua del sòl, atès que aquests són continus i poden, per tant, rebre un tractament unificat. A partir dels anys seixanta ha canviat considerablement l'enfocament en l'estudi de l'aigua del sòl amb la introducció de la concepció energètica.

Atès que en general resulta difícil arribar a



28 *EL CICLE DE L'AIGUA a la biosfera condiciona la circulació i el règim d'humitat del sòl.*
[Dibuix: J. Nuet i Badia, original dels autors]

conèixer les magnituds i les direccions de les forces que controlen la retenció i el moviment de l'aigua del sòl, i que aquestes forces són conservatives, Buckingham proposà la utilització dels potencials associats, que són escalars. El potencial total Ψt es pot descompondre en els diversos potencials que el componen: $\Psi t = \Psi g + \Psi p + \Psi o + \ldots$ on Ψg és el potencial gravitacional; el potencial de pressió Ψp es pot subdividir en Ψ_p^u, que és el de submersió, en el cas que hi hagi una capa freàtica; i en Ψ_p^m, potencial matricial; Ψo és l'osmòtic que es presenta en el cas que la solució del sòl contingui sals dissoltes. Els potencials de l'aigua del sòl es poden expressar en cm de columna d'aigua o bé en unitats de pressió, Pascal (Pa), o d'energia (JKg^{-1}). L'equivalència és 1 bar = 10^5 Pa.

Per evitar utilitzar nombres massa grans si hom expressa el potencial de pressió en cm de columna d'aigua, Schofield (1935) proposà expressar el potencial en forma logarítmica, introduí el concepte de pF = log (—cm d'aigua). Un pF = 1 equival a una columna de 10 cm d'aigua; pF = 4,2 equival a $10^{4\cdot2}$ cm de columna d'aigua, és a dir, 15 x 10^5 Pa = 1500 k Pa. El concepte de pF, no obstant això, ha estat abandonat a la literatura dels EUA; no així pels autors europeus (Koorevaar i col·laboradors, 1983).

En els sòls salins del Vinalopó, per exemple, té una importància gran el potencial osmòtic: les plantes mesofítiques no poden extreure aigua a causa que aquesta es troba a potencials negatius molt elevats. Si s'observa amb deteniment la vegetació dels prats salins d'Alacant, del delta de l'Ebre, dels aiguamolls de l'Empordà, dels voltants de l'estany de Canet o de les terres de ponent, es descobriran uns trets morfològics comuns. Hi ha plantes que tenen avortades les fulles, tal es el cas d'*Arthrocnemum*, de *Sarcocornia* i de *Salicornia*; d'altres tenen fulles petites i coriàcies, com *Frankenia reuteri*, trets que són propis de la vegetació xerofítica. Aquesta morfologia és causada per una adaptació a una sequera fisiològica i no per una manca real d'aigua al sòl. La presència d'una comunitat a base d'*Arthrocnemum* indica que hi ha una capa freàtica a prop de la superfície del sòl i fins i tot entollament en alguns períodes de l'any. Les plantes de conreu, generalment glicòfiles,

32 *RÈGIMS D'HUMITAT EDÀFICA, determinats en funció del nombre d'anys en què s'acompleixen determinades exigències en nombre de dies de sòl sec (Ψ_p^m > − 15 bars) o humit (Ψ_p^m < − 15 bars) (e, estiu; h, hivern). [Font: dades elaborades pels autors]*

RÈGIM D'HUMITAT	ANYS	SEQUEDAT DIES		HUMITAT DIES		TEMPERATURA MITJANA DEL SÒL A 50 cm	
		acumulatius	consecutius	acumulatius	consecutius	anual	estiu-hivern
Àqüic	10/10			Saturat alguns dies amb ts > 5°C			
Arídic o tòrric	> 5/10	> 180		< 180	< 90		
Údic 1	> 5/10	< 90		> 270			
2	> 6/10		< 45e			< 22	> 5
Ústic 1	> 5/10	> 90		> 180	> 90	> 22	< 5
2	> 6/10		< 45e		> 45 h	< 22	> 5
Xèric	> 6/10		> 45e	> 180	> 45 h	< 22	> 5

Quan es classifica un sòl cal tenir en compte els seus règims característics. Per al d'humitat es pren com a referència la presència o absència en la secció control d'una capa freàtica que la saturi uns quants dies en l'època de creixement de les plantes (règim àqüic), o d'aigua a un potencial inferior a —15 bars durant algunes èpoques de l'any (règims arídic i tòrric, údic, ústic, i xèric). Aquest darrer és el més freqüent a la zona dels Països Catalans d'influència mediterrània.

Les característiques fonamentals són, per al règim *àqüic*, unes condicions d'anòxia, a causa de la saturació per una capa freàtica que afecta una part del perfil el límit superior de la qual està a menys de 50 cm; si el nivell freàtic és oscillant el règim es àqüic, i si el nivell es manté molt a prop de la superfície, es peràqüic. Als Països Catalans, es troben sòls que presentin aquestes característiques al delta de l'Ebre, a les riberes dels rius, etc.

En climes àrids, i de vegades en els semiàrids, els sòls tenen règim *arídic*; a més d'aquesta aridesa climàtica hi ha sòls que pertanyen als aridisòls, perquè presenten una acumulació de sals solubles i un règim ascensional.

En els sòls amb règim *údic* l'aigua percola a través del sòl durant una part de l'any, la majoria dels anys, mentre que en el cas del perúdic, el front d'humectació afecta tot el perfil tots els mesos, la majoria dels anys.

Intermedi entre els règims arídic i údic es troba l'*ústic*, tant en zones tropicals com temperades. Aquestes darreres es caracteritzen per un clima amb una època de pluges a la primavera i a l'estiu, o bé a l'estiu i a la tardor, però no a l'hivern. És el règim d'humitat típic de les zones de clima monsònic. Altrament, fent la transició entre els règims údic i xèric, hom ha definit un subtipus d'ústic, anomenat *ústic 2* o *pseudo-ústic*, en el qual el sòl roman sec més dies que no pas en l'údic, sense arribar als 45 dies consecutius durant l'estiu. Aquest règim d'humitat no és fàcilment localitzable als Països Catalans, per manca de mesures directes, però podria caracteritzar els sòls dels Prepirineus, al baix Berguedà, Osona i Solsonès.

El règim *xèric* és característic de climes mediterranis: hiverns freds i humits, estius calorosos i secs. La manca de dades mesurades per a caracteritzar el règim d'humitat obliga a utilitzar correlacions per a arribar a una estimació, que en el cas dels sòls dels Països Catalans no sempre donen bons resultats. Així per exemple, les dades dels ruixats típics dels mesos d'agost a comarques com les Garrigues poden induir a errors importants. Aquestes pluges són puntuals i molt intenses, per la qual cosa no augmenten gaire la reserva en aigua del sòl i, encara que els càlculs utilitzant certes fórmules puguin conduir a un règim ústic, la realitat, les comunitats vegetals presents de tipus mediterrani i la impossibilitat d'un conreu de secà a l'estiu indiquen la no-aplicabilitat de correlacions deduïdes a altres països.

L'atmosfera edàfica

Quan un sòl es troba en les condicions d'humitat corresponents a la capacitat de camp, els macroporus estan plens d'aire. El volum d'aire varia en funció de la textura i l'estructura; així, un sòl sorrenc en aquestes condicions en té al voltant del 30%, mentre que en un sòl argilós no sobrepassa el 10-15%.

Les variacions estacionals condicionen també el volum gasós del sòl: per a una mateixa estructura, la macroporositat durant l'hivern és més petita que a l'estiu. La degradació de l'estructura d'un sòl comporta una disminució de la macroporositat, i aquesta té conseqüències importants sobre l'activitat microbiana del sòl i la vida de les plantes. Si es compara la composició de l'aire atmosfèric amb la del sòl s'observa que, mentre el contingut de nitrogen és el mateix, en el sòl hi ha una concentració més alta en CO_2 i més petita d'O_2 que a l'atmosfe-

ra, i a més a més l'aire que ocupa els macroporus sovint està saturat d'aigua.

La concentració total de CO_2 i O_2 en el sòl no és constant i es pot admetre que hi ha una certa compensació entre la concentració dels dos gasos, de tal manera que, quan la proporció d'oxigen és baixa, la de carbònic és generalment alta, a causa de l'activitat biològica. Les arrels respiren i necessiten oxigen per a fer-ho i quan aquest manca es produeixen condicions d'asfíxia; llavors l'activitat microbiana s'altera i es modifica la mineralització de la matèria orgànica, cosa que pot produir substàncies tòxiques per als vegetals. Condicions reductores en el sòl fan també que els processos formadors d'aquest es modifiquin i es produeixin mobilitzacions de ferro i manganès.

L'oxigen s'incorpora a l'interior del sòl, a l'estat dissolt, mitjançant la pluja, però aquesta aportació és mínima enfront de la gran quantitat de CO_2 que produeixen les arrels i l'activitat microbiana. El contingut de carboni augmenta amb la profunditat, però com que els processos biològics tenen lloc fonamentalment en la part superficial, cal que aquesta tingui una concentració adient d'oxigen.

En la renovació i la regulació de la composició de l'atmosfera del sòl juga un paper important la difusió de l'aire a través d'ell, que fa que la composició de l'atmosfera del sòl es mantingui constant entre uns certs límits. La pressió atmosfèrica, la descomposició de bicarbonats, i fins i tot l'acció del vent prop de la superfície, ajuden també en la regulació.

La temperatura

Les condicions de temperatura i d'humitat del sòl defineixen el que s'anomena el *clima del sòl*. La temperatura és en cada moment el resultat de les aportacions calorífiques, la principal de les quals és l'energia solar, i de les pèrdues de calor. La radiació solar, en ésser intermitent per l'efecte dia-nit i variable al llarg de l'any, provoca fluctuacions de la temperatura del sòl amb un mínim a la matinada i un màxim poc després de migdia; i oscil·lacions de tipus estacional. La temperatura del sòl té importància, atès que influeix sobre la germinació i el creixement de les plantes, sobre l'activitat microbiana; per altra banda es veuen afectats els processos d'alteració de roques i minerals, per l'efecte gel-desgel i la velocitat de les reaccions, que és funció de la temperatura, d'acord amb la llei de Van't Hoff. El règim de temperatura del sòl té, doncs, interès en l'ús agrícola del sòl (condiciona l'època de sembra, per exemple).

La calor pot ésser transferida per *conducció*, mecanisme que té importància en sòls secs; per



33 *LA TEMPERATURA DEL SÒL és mesurable mitjançant termòmetres enterrats a la profunditat desitjada en cada cas, com aquest, que dóna la temperatura a – 50 cm.*
[Foto: Jaume Porta]

convecció, important en sòls humits; per *radiació*, que afecta principalment la superfície del sòl; i per *evaporació* i *condensació* de l'aigua. L'increment de la temperatura del sòl depèn de la calor específica dels seus constituents, per una mateixa energia radiant rebuda. L'aigua té una calor específica unes 5 vegades més alta que els constituents minerals secs, 0,20 cal/g i °C, mentre que per a un sòl saturat d'aigua el valor és de 0,6. Com més elevat sigui la calor específica d'un sòl, més petites seran les oscil·lacions de temperatura.

L'energia que arriba a la superfície del sòl es propaga cap els horitzons subsuperficials gràcies a la conductivitat tèrmica, que és de 20 cal/cm seg °C en el cas del quars, 4 per a la sorra humida, 0,70 per a la sorra seca i 0,14 per a la matèria orgànica, mentre que l'aire té una conductivitat tèrmica molt baixa, 0,06.

La relació entre la conductivitat tèrmica (λ) i la calor específica (C) és la difusitat tèrmica, que expressa la variació de temperatura per unitat de volum de sòl.

La temperatura de sòl es mesura utilitzant termòmetres o bé amb termoparells, o termistors. La mesura es realitza a 50 cm de profunditat, atès que es suposa que a aquesta fondària només afecten les oscil·lacions estacionals però no les diàries. Quan no es disposa de mesures directes, el règim tèrmic pot ésser aproximat a partir de dades climàtiques.

RÈGIM	TEMPERATURA MITJANA (*tmes*)	TEMPERATURA ESTIVAL (JN + JL + AG) (*tmes*)					TEMPERATURA ESTIVAL-HIVERNAL (*tmes-tmhs*)
		sòls minerals				sòls orgànics	
		no satura a.p. a l'estiu		satura a.p. a l'estiu		gelat 2 mesos a.p. després solstici estiu	
Pergèlic	< 0						
Críic	0 < tmes < 8	s/h 0	a/h 0	s/h 0	a/h 0 hístic	no gelat a.p. > 5 cm.	
		<15	<8	<13	<6		
Frígid	< 8	major que en règim críic					> 5
Mèsic	8 ⩽ tmes < 15						> 5
Tèrmic	15 ⩽ tmes < 22						> 5
Hipertèrmic	tmes ⩾ 22						> 5

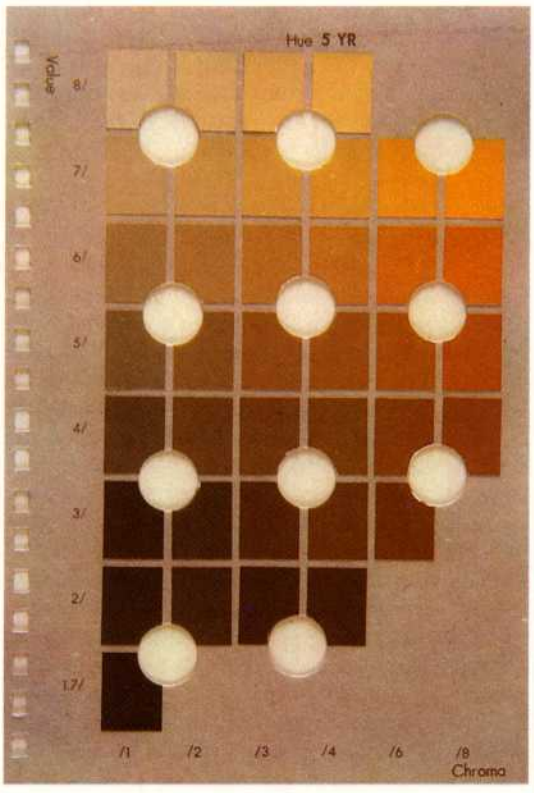
34 *EL RÈGIM TÈRMIC és un factor condicionant de l'ús agrícola dels sòls, fet que el Soil Taxonomy System quantifica segons la taula adjunta (temperatures preses a 50 cm de profunditat, o en el contacte lític/paralític, i expressades en °C, a.p. alguna part, s/h 0 sense horitzó 0, a/h 0 amb horitzó 0). (Font: dades elaborades pels autors)*

L'home pot intervenir per controlar la temperatura del sòl mitjançant cobertes i abrics, "mulching", pel·lícules de plàstic, com ho fa al Maresme, o bé regant, drenant, controlant les males herbes, etc. Atesa la importància del règim de temperatura per a l'ús agrícola del sòl, el Departament d'Agricultura dels EUA (USDA) ha definit amb precisió deu règims diferents perquè siguin emprats com a criteri taxonòmic a l'hora de classificar els sòls. Els paràmetres utilitzats són la temperatura mitjana anual del sòl a 50 cm (*t mas*), la temperatura mitjana del sòl a l'estiu (*t mse*) i l'oscil·lació de temperatura al llarg de l'any, caracteritzada per la diferència entre la (*t mse*) i de l'hivern (*t msh*).

El color

Les classificacions clàssiques utilitzaven el color en la seva terminologia per a establir algunes de les categories de sòls. Així la classificació russa estableix els sòls grisos forestals, els sòls castanys, els sòls bruns de estepa, etc. Les classificacions de Baldwin i col·laboradors, la d'Huguet del Villar o la d'Aubert-Duchaufour també ho fan; entre altres, Gaucher no dubte a afirmar que la introducció en tipologia de sòls de noms basats en el color ha estat sempre generadora de confusions.

L'interès d'estudiar i descriure el color del sòl resideix en el fet que és una propietat que subministra informació qualitativa indirecta sobre les característiques i el comportament del sòl. El color de la superfície del sòl determina l'albedo*, es a dir, la fracció de radiació solar que serà reflectida pel sòl. Els sòls desenvolupats sobre esquists del Paleozoic, com els de Garriguella (Alt Empordà) en ésser foscos, absorbiran més calor que els sòls de colors clars d'altres indrets que rebin la mateixa radiació solar i continguin la mateixa quantitat d'aigua*: el color condiciona, doncs, el balanç energètic del sòl. El color pot indicar si el contingut de matèria orgànica és alt (colors generalment foscos) o baix (colors clars). Un color clar sempre indica pobressa en matèria orgànica; en el cas d'un color fosc poden haver-hi altres elements que el produeixin.



35 *LA CODIFICACIÓ DELS COLORS, mitjançant unes taules estandarditzades, redueix la subjectivitat de les descripcions, referides a aquest aspecte, dels sòls que hom estudia. La il·lustració correspon a una plana de les taules Munsell (a través dels forats, la comparació amb el sòl esdevé fàcil). (Foto: Jordi Vidal)*

* L'*albedo* es defineix com la proporció d'energia incident que és reflectida. Depèn de la longitud d'ona de la radiació, de l'angle d'incidència de la radiació i de les característiques de la superfície sobre la qual incideixen els raigs.

* Si el sòl és fosc, o negre com les torbes del delta de l'Ebre, hi haurà un altre factor a tenir en compte: el fet que té una elevada capacitat de retenció d'aigua. De dos sòls amb el mateix color fosc, el més sec serà més càlid que el més humit, a causa que l'aigua té un poder calorífic més elevat que la fracció mineral.

La distinció dels horitzons al camp s'acostuma a realitzar gràcies a les diferències de color que presenten. El color reflecteix els processos edafogenètics, els tipus de meteorització, les condicions climàtiques (per exemple, rubefacció), les condicions físico-químiques, processos redox, gleïficació, etc. Els processos erosius també poden ésser deduïts a partir del color: les tonalitats clares de la superfície d'un territori poden indicar la presència d'un endopedió càlcic en superfície per erosió. El color pot ésser heretat de la roca mare; és el cas dels sòls joves. Durant la gènesi i evolució del sòl, aquest pot anar adquirint altres colors. Els principals elements cromogènics són la matèria orgànica, els òxids i els hidròxids de ferro* i manganès, els sulfurs, els sulfats, els carbonats, el guix, etc.

Aquesta propietat del sòl no permet un tractament quantitatiu, el màxim a què s'ha arribat és a una descripció codificada que permet una objectivitat més gran**. El codi Munsell defineix un espai tridimensional de color, les coordenades del qual són el *matís*, és a dir, la longitud d'ona dominant de la radiació reflectida pel sòl o color espectral dominant; la *lluïssor* o grau de claror o foscor relativa del color, comparat amb el blanc absolut; i el *croma* o saturació cromàtica que expressa la puresa relativa del color; els cromes baixos tenen dominància de gris, en els cromes alts hi ha una puresa més alta del color.

En el cas dels sòls hidromorfs, el color és un dels criteris importants utilitzats per a definir el caràcter àqüic; la rubefacció o caràcter ròdic de les *terrae rossae* també és definida en base al codi Munsell pel Soil Taxonomy System (STS, 1975).

La profunditat

La profunditat d'un sòl és una propietat molt intuïtiva, si bé no sempre és fàcil d'establir al camp, concretament en aquells casos en què el pas al material originari sigui gradual. L'ús agrícola d'un terreny és condicionat per la profunditat. L'aparició d'una roca dura consolidada o d'un horitzó cimentat a prop de la superfície limitarà el volum explorable per les arrels. En

* Les argiles pures són de color blanc. Els colors que presenten els sòls són causats pels elements cromogènics, els òxids de ferro: oligist Fe_2O_3, color roig; goethita Fe_2O_3 $3H_2O$, color groc a bru; hidròxid ferrós $Fe(OH)_2$, color verd gris; òxid ferrós FeO, color verd grisós a blavós; limonita Fe_2O_3 nH_2O, color bru.

** S'han proposat diversos codis, com els d'Ostwald, de Ridgeway, de Munsell, de Zakharov, de Seguy, d'Expolaire, etc. El de Munsell és el que s'ha generalitzat. Munsell fou un artista i professor d'art a Boston que el 1905 proposà una notació de colors. A partir del 1948 s'adoptà per descriure els colors del sòl, i es publicà el Munsell Soil Color Charts. Existeix una versió dels EUA i una de japonesa, que només es diferencien en els noms dels colors.



36 *LA PRESÈNCIA D'UN CONTACTE LÍTIC prop de la superfície limita l'ús agrícola dels sòls i les disponibilitats d'aigua per a les plantes, com és el cas d'aquest xerocrept lític d'Albocàsser (Alt Maestrat).*
[Foto: C. Roquero]

el cas en què hi hagi una roca de duresa de 3 o més a l'escala de Mohs, es parla d'un contacte *lític*, i si aquest està a menys de 50 cm de la superfície, aquesta característica queda reflectida en el nom del sòl a nivell subgrup. En els Països Catalans són freqüents els xerortents lítics sobre calcàries dures. El contacte paralític fa referència al límit entre el sòl i un material continu coherent, però de duresa inferior a 3. Tal és el cas dels gresos, lutites, pissarres sedimentàries, dipòsits de graves, etc., la densitat o consolidació dels quals és tal que les arrels no poden penetrar-hi; en el cas en què hi hagi esquerdes, la distància que les separa ha d'ésser més gran de 10 cm.

Les classificacions encaminades a avaluar la potencialitat agrícola del sòl utilitzen com un dels criteris importants la profunditat efectiva del sòl, és a dir, la que pot ésser explorada per les arrels.

L'intercanvi iònic

En entrar en contacte la fase sòlida del sòl amb una solució aquosa, les espècies catiòniques presents a la fase líquida poden ser captades per la sòlida, alliberant-se a la vegada d'altres cations que inicialment s'hi trobaven associats. El procés és de naturalesa dinàmica, s'anomena intercanvi o bescanvi iònic i fou estudiat per primera vegada de forma sistemàtica per Thompson (1850) i per Way (1850-1852). És un fenòmen de caràcter iònic, reversible, i afecta principalment les partícules de càrrega elèctrica, que en el cas del sòl son les argiles, la matèria orgànica i alguns colloides amorfs.

La heterogeneïtat dels components del sòl obliga a considerar el fenòmen d'intercanvi com un procés global i complex de naturalesa físico-química, integrat per accions tan diverses com és

el desplaçament i la quelació de tipus químic i estequiomètric; o l'adsorció física superficial no estrictament estequiomètrica, motivada per l'existència d'un potencial electrostàtic. Generalment, però, s'utilitza el terme d'adsorció per a designar la globalitat del procés d'intercanvi, cosa que no resulta totalment correcta des del punt de vista teòric. Això explica en part les diferències obtingudes analíticament en avaluar aquesta capacitat d'intercanvi en funció del catió i les condicions emprades en cada tècnica, així com les diferències obtingudes entre els càlculs teòrics i els resultats experimentals.

En el sòl, l'intercanvi catiònic gaudeix d'una major importància que l'aniònic, i pot ésser representat en aproximació per un equilibri químic:

$$Me_1\text{-Sol} + Me_2 = Me_2\text{-Sol} + Me_1$$

Els paràmetres que s'utilitzen per a quantificar aquestes propietats del sòl són la *capacitat d'intercanvi catiònic* (*CIC*), antigament denominada *T*, i la *capacitat d'intercanvi aniònic* (*CIA*). Els mètodes per a determinar la *CIC* i els cations de canvi no són totalment satisfactoris per a ésser emprats en tots els sòls, cosa que explica que sigui un tema que els anys 80 encara sigui objecte de treballs d'investigació. Els principals problemes analítics són produïts per la presència de carbonats, de guix, o de sals solubles, així com per la naturalesa del catió emprat a l'intercanvi. Els resultats s'expressèn en meq/100 g. La relació entre la suma de bases, el calci, el magnesi, el sodi i el potassi i la *CIC* es coneix com *percentatge de saturació de bases*.

Els fenòmens d'intercanvi tenen una gran importància, atès que afecten el moviment i la retenció de cations en el sòl, la nutrició de les plantes, la dinàmica d'elements contaminants i el poder de reciclatge natural del sòl: els processos de floculació-dispersió, és a dir, estructuració, pH potència i poder amortidor del sòl, etc.

En el sòl, l'origen d'aquesta propietat cal buscar-lo en el complex de canvi (integrat per matèria orgànica, argiles, òxids i hidròxids de ferro i alumini, i aluminosilicats amorfs) i l'actuació és substancialment diferent segons el constituent del sòl que es consideri. Per la elevada proporció en què es troben en el sòl, les argiles hi tenen una participació molt important, motivada per l'existència de càrregues negatives no compensades en el seu reticle cristallí i la seva gran superfície activa, atès el caràcter col·loidal, és a dir, la mida de partícula sempre inferior a 2 μm.

Aquestes càrregues negatives es generen predominantment per una substitució isomorfa i poden originar l'intercanvi per atracció electrostàtica (pròpiament adsorció). En principi aquestes càrregues superficials (permanents) són independents de condicions del medi com el pH i la concentració iònica, a diferència del que succeeix respecte de les generades en les estructures argiloses per desprotonació de determinats grups estructurals com el —SiOH i el —AlOH, que també participen en el procés d'intercanvi (càrregues variables). En conjunt, la *CIC* de les argiles pot xifrar-se depenent de la seva naturalesa, entre 3 i 150 meq/100 g.

La matèria orgànica, malgrat ésser una fracció normalment minoritària en el sòl, participa molt activament en l'intercanvi catiònic amb *CIC* de l'ordre de 150-500 meq/100 g, depenent de la seva naturalesa. Es pren com a valor mitjà el de 400 meq/100 g. La matèria orgànica del sòl es caracteritza per tenir una notable diversitat en els graus de polimerització i d'oxidació, així com en el tipus de grups funcionals, pero majoritàriament estableix l'intercanvi per accions químiques com desplaçaments, quelació, etc., correlacionades amb l'existència de grups carboxílics, fenòlics i amino entre altres. La desprotonació de grups funcionals de natura àcida, fa que la *CIC* que presenta la matèria orgànica sigui altament depenent del pH del medi (càrregues variables).

La presència d'aluminosilicats amorfs (al·lofanes) especialment en sòls desenvolupats sobre materials volcànics proporciona al sòl una important *CIC* xifrada entre 100-200 meq/100, fins i tot 400, amb una dependència molt acusada del pH. També manifesten, però, una certa *CIA* gens despreciable, important en la dinàmica dels fosfats. Els òxids i hidròxids de ferro i alumini són els principals responsables de l'intercanvi aniònic. La *CIC* que mostren és de l'ordre de 3 a 30 meq/100 g, mentre que la *CIA* és de 100 a 150 meq/100 g.

La potencialitat agrícola d'un sòl està molt influenciada per la capacitat d'intercanvi catiònic dels seus components. En els sòls, els valors límits de la *CIC* són de 0 (cas dels sòls totalment sorrencs) a 100 meq/100 g, encara que en la gran majoria siguin inferiors a 50 i nor-

COMPONENT	CIC meq/100 g
Caolinita	3-15
Halloysita H_2O	5-15
Halloysita $2H_2O$	15-40
Esmectita	60-120
Illita	20-30
Argiles micàcies	10-40
Vermiculita	100-150
Clorita	10-40
Sepiolita-paligorskita	3-15
Glauconita	5-40
Allofana	100-200
Matèria orgànica	150-500
Feldspats i quars	1-2

37 *CAPACITAT D'INTERCANVI CATIÒNIC (CIC) D'UN SÒL en funció dels seus components. La potencialitat agrícola d'un sòl es veu molt imfluenciada per la seva* CIC.
[Font: dades elaborades pels autors]

malment compresos entre 5-30 meq/100 g. A Catalunya els valors en sòls agrícoles se situen entre 7 i 60, amb una mitjana de 22 meq/100 g; la participació mitjana de la fracció mineral es xifra en el 65%, i l'orgànica en el 35%.

La reacció àcido-bàsica

L'expressió reacció del sòl s'empra per a designar la concentració d'ions hidroni (H_3O^+) que pot donar aquest a una solució aquosa en equilibri. Malgrat que l'expressió s'ha generalitzat, no és del tot correcta des d'un punt de vista químic, per poc precisa, ja que les reaccions del sòl poden ésser de naturalesa molt diversa.

Correntment, aquesta propietat s'expressa mitjançant el pH, definit com el logaritme de la inversa de la concentració d'ions hidroni $pH = -\log (H_3O^+)$. L'escala de pH va de 0 a 14, si bé en medis edàfics els valors van de 3 fins a 11. En superar el valor 7, que correspon a la neutralitat, es passa a l'interval de basicitat o alcalinitat, si bé en termes edafològics alcalinitat s'utilitza per a expressar unes condicions on predomina el sodi d'intercanvi i el pH es situa més enllà de 8,5, essent freqüents en aquest cas valors de 9,0 i fins i tot de 10.

Els sòls poden assolir valors de pH extrems de 3 i 10, si bé normalment es situen entre 5,5 i 8,5. A Catalunya els sòls tenen pH de 4,4 a 8,4, amb valors mitjans de l'ordre de 6,0 per als àcids i 7,8 en els bàsics; en sòls calcaris el pH és de l'ordre de 8 a 8,5.

La mesura del pH depèn de diversos factors, cosa que fa difícil obtenir mesures representatives; per evitar aquests inconvenients s'ha introduït el concepte de *potencial calcari*, definit com pH-0,5 pCa, que dóna valors menys afectats per la concentració de sals i el contingut d'aigua, i que són més característics en els sòls on predominen les càrregues permanents. A més del pH en solució aquosa o *pH actual*, es pot mesurar el pH enfront d'una dissolució salina, generalment de clorur potàssic KCl, o *pH potencial*, que acostuma a ésser de 0,5 a 1 unitat de pH inferior a l'actual, a causa de la possibilitat d'intercanvi del potassi amb ions acidificants del complex de canvi.

L'acidesa és una propietat important per la seva repercusió en determinats processos i en l'evolució del sòl. Les propietats físiques es veuen afectades tant en condicions d'acidesa com d'alcalinitat; en ambdós casos extrems es pot provocar una dispersió dels coHoides amb destrucció de l'estructura. La solubilització i precipitació, així com la mobilització i disponibilitat d'elements nodridors o bé d'elements tòxics, són condicionades pel pH del medi. Les propietats biològiques també ho són; l'acidesa afavoreix els fongs enfront dels bacteris, cosa que afectarà la fixació de nitrogen, l'evolució de la matèria orgànica, etc.

L'acidesa actual d'un sòl s'origina fonamentalment per la capacitat d'hidròlisi o de dissociació dels seus constituents, i la potencial per la presència de determinades espècies catiòniques d'intercanvi, com l'Al^{3+} i el H^+. Si bé el pH mesura la concentració d'ions H_3O^+, no són aquests ions la causa de la limitació del creixement de les plantes als sòls de pH àcid, sinó la mobilització que en aquestes condicions es produeix, de metalls que poden ésser tòxics. L'alumini intercanviable és el principal responsable de l'acidesa dels sòls minerals, mentre que, en els orgànics, ho són els àcids orgànics que integren l'humus.

L'acidificació dels sòls va associada a factors climàtics, així és als indrets més humits dels Països Catalans, on més possibilitat hi ha de trobar sòls àcids; per exemple a la Fageda d'en Jordà (Garrotxa), a les avetoses i fagedes de la Vall d'Aran i, en general, als estatges alpí i subalpí dels Pirineus. Altres factors com el biològic, el litològic, l'agronòmic, etc., tenen també influència en el pH dels sòls.

Les possibilitats de canviar bruscament el pH del sòl no són grans, ja que aquest presenta un *poder d'amortiment* o mecanisme de protecció envers les modificacions sobtades de pH. El poder d'amortiment és tan més elevat com més gran és la capacitat d'intercanvi catiònic, és a dir, com més argila i matèria orgànica té el sòl. La capacitat d'amortir les variacions del pH en un sentit o altre, depèn també de les espècies catiòniques intercanviables i, per tant, del grau de saturació en bases.

La salinitat

En el sòl poden ser presents una sèrie de constituents de tipus salí, caracteritzats per la seva elevada solubilitat en aigua, com són els clorurs de sodi o de magnesi i, en molta menor proporció, el de calci o de potassi, els sulfats sòdic i magnèsic, principalment; i en alguns casos hi poden haver bicarbonats, carbonats i nitrats. El procés mitjançant el qual s'acumulen al sòl sals solubles s'anomena salinació o salinització, i el fet que el sòl tingui aquests constituents, salinitat.

Un contingut important de sals solubles provoca un augment de la pressió osmòtica que té una incidència negativa sobre el creixement de la majoria de les plantes. Certament, l'excés de sals obliga la planta a invertir el flux hídric normal (sòl-planta-atmosfera) per a intentar contrarestar l'acció agressiva per dilució, la qual cosa provoca la sequera fisiològica. A més, la



38 *LA PRESÈNCIA DE SALS en el sòl pot provocar-ne una acumulació en superfície que es tradueix en una coloració clara característica i que té una acció negativa sobre el creixement de la majoria de les plantes, com és el cas d'aquest camp a Tamarit de Llitera (noteu la presència de vegetació espontània halòfila als marges no conreats dels camps) (Foto: Jaume Porta)*

presència excessiva de sals en el sòl pot ocasionar problemes de competència entre determinats nutrients (antagonismes), així com de toxicitat, que afecten clarament la nutrició vegetal. Es pot arribar a modificar també en certes condicions la composició catiònica del complex de canvi, originant greus alteracions en les característiques físiques i químico-físiques del sòl. Aquest és el cas d'una presència excessiva de sodi, que pot provocar una sodificació (pH < 8,5) o alcalinització (pH > 8,5), amb la corresponent destrucció de l'estructura del sòl.

El grau i el tipus de salinitat condicionen, doncs, tota una sèrie de propietats del sòl i també el rendiment dels conreus. La salinitat d'un sòl s'avalua mesurant la conductivitat elèctrica (*CE*) d'un extracte de pasta saturada; clàssicament s'expressa en mmho/cm a 25°C, i si bé recentment s'ha introduït com a unitat el m S/cm a 25°C (1 Siemen = 1 mho) i el dS/m a 25°C (1 dS/m = 1 mmho/cm).

El potencial redox

El sòl és un sistema viu que fins i tot respira, atès que consumeix oxigen i desprèn diòxid de carboni. Efectivament, l'oxigen és utilitzat pels microorganismes, així com per les arrels dels vegetals, per a oxidar la matèria orgànica a CO_2 i obtenir energia. Des d'un punt de vista químic, però, l'oxidació no és solament un guany d'oxigen, sinó un procés en el qual hi ha una pèrdua d'electrons per part d'una espècie o substància (reductor), que són utilitzats per una altra que en resulta reduïda (l'oxidant). Atès que l'oxidació i la reducció actuen simultàniament, cal parlar de processos redox o d'oxidació-reducció.

La tendència de determinades substàncies o sistemes d'actuar i transformar-se en un sentit o un altre, pot ésser quantificada mitjançant un paràmetre anomenat *potencial redox*, i designat per *Eh*. Malgrat que en sòls sigui més utilitzat el potencial d'oxidació, es recomana, per unificar criteris amb altres disciplines, l'ús del potencial de reducció, que és igual, però de signe contrari; s'expressa en mV.

Com més alt és el potencial de reducció, expressat en volts o mil·livolts, més tendencia té el sòl i, per tant, les espècies iòniques implicades, a evolucionar cap a les formes reduïdes. Així, els sòls amb anaerobiosi es caracteritzen per tenir potencials de reducció alts i positius. Els sistemes més afectats pels processos redox en el sòl son: Fe^{3+}/Fe^{2+}, Mn^{4+}/Mn^{2+}, NO_3^-/NO_2^-, SO_4^{2-}/S^{2-} i CO_2/CH_4, i els valors del potencial de reducció són entre −0,6 i +0,3 V; en condicions aeròbiques es troben entre −0,2 i −0,6, mentre que en situació d'anaerobiosi poden anar des de −0,2 a +0,3.

Els sistemes naturals en general, i els sòls en particular, acostumen, però, a estar ben airejats, per la qual cosa els constituents es troben a la seva forma oxidada quan es tracta d'elements que, com el ferro o el manganès, poden actuar amb més d'una valència. En sòls hidromorfs (règim àqüic), que es caracteritzen per tenir els porus gairebé plens d'aigua, amb poca o sense renovació, la demanda biològica d'oxigen pot

ésser tal que l'oxigen s'esgoti: els microorganismes anaeròbics es veuen afavorits enfront dels aeròbics, i predominen en aquests casos les formes reduïdes.

Les propietats biològiques

El sòl forneix un conjunt d'hàbitats per als éssers vius. Molts microorganismes i força animals realitzen tot el seu cicle vital en el sòl que els proporciona casa i aliments. D'altres hi passen nomes unes etapes de la seva vida (per exemple, alguns insectes i aràcnids), o bé l'utilitzen com a catau.

El sòl proporciona als vegetals superiors el suport on desenvolupen les arrels i troben els nutrients necessaris per al seu metabolisme. La gran diversitat d'organismes que viuen en el sòl indica l'existència de nombrosos nínxols ecològics ocupats per diferents éssers vius cadascun dels quals realitza unes funcions molt concretes. La diversitat d'hàbitat és elevada, sobretot de microhàbitats amb unes condicions físico-químiques particulars que afavoreixen la diversificació dels microorganismes. Hi ha tota una xarxa tròfica complexa d'organismes que actuen sobre la descomposició de la matèria orgànica aprofitant l'energia que s'hi emmagatzema. La mesofauna i part de la macrofauna utilitzen parcialment les restes vegetals, les fragmenten, les descomponen i les excreten al medi, de manera que els microorganismes descomponedors poden actuar molt més ràpidament sobre els residus resultants. De tota manera, molts factors ambientals (temperatura, humitat, pH, Eh, entre altres) limiten l'activitat biològica, cosa que fa que el creixement de les poblacions microbianes no sigui constant ni gaire elevat.

La gran superfície per unitat de volum que presenten les partícules dels sòls, així com la elevada porositat, permeten l'establiment de molts microorganismes a la superfície de les partícules i els agregats, on troben una humitat i una aireació equilibrades. El sòl és també un refugi tèrmic per a la fauna edàfica, perquè les fluctuacions de temperatura queden molt esmorteïdes a pocs centímetres de fondària; així, molts organismes poden situar-se en la posició adequada per a la seva regulació tèrmica.

L'evolució de la taxa de respiració del sòl dóna idea de l'activitat biològica global i de les seves fluctuacions. Atès que la major part d'aquesta activitat és heteròtrofa, la mesura posterior del CO_2 en funció del temps és un bon indicador de l'activitat biològica. Altres mètodes es basen en la quantificació d'algun procés concret com l'amonificació, la nitrificació, la cel·lulòlisi, etc., però són més específics de determinats grups d'organismes.

FORMES OXIDADES		FORMES REDUÏDES	*Eh* DE REDUCCIÓ
$Fe^{3+} + e^-$	$\rightleftharpoons$	Fe^{2+}	−0,3 a −0,1
$MnO_2 + 2e^- + 4H^+$	$\rightleftharpoons$	$Mn^{2+} + 2H_2O$	−0,4 a −0,2
$SO_4^{2-} + 8e^- + 10H^+$	$\rightleftharpoons$	$H_2S + 4H_2O$	0 a +0,15
$NO_3^- + 2e^- + 2H^+$	$\rightleftharpoons$	$NO_2^- + H_2O$	
$NO_3^- + 5e^- + 6H^+$	$\rightleftharpoons$	$0,5N_2 + 3H_2O$	−0,35
$N_2 + 6e^- + 6H^+$	$\rightleftharpoons$	$2NH_3$	
$C + 4e^- + 4H^+$	$\rightleftharpoons$	CH_4	+0,15 a +0,25

39 *PRESÈNCIA DE FORMES OXIDADES O REDUÏDES en els sòls: en la majoria dels sòls predominen les primeres, excepte en els hidromorfs, dominats per les segones.*
[Font: dades elaborades pels autors]

Els organismes edàfics tenen, a més a més, unes conseqüències molt positives per a les propietats físiques dels sòls, ja que afavoreixen llur estructuració. Alguns microorganismes poden descompondre substàncies orgàniques tòxiques tals com metabòlits de plantes o d'altres organismes i també pesticides, que podrien ésser nocius per als conreus. D'altres tenen accions antagòniques sobre agents patògens de vegetals i, per tant, els protegeixen de malalties parasitàries.

En el procés d'alteració de roques, l'acció dels organismes ajuda a la formació del sòl. Així, per exemple, els líquens i les algues són els primers colonitzadors de roques, i hi aporten la matèria orgànica suficient perquè d'altres organismes puguin viure-hi; és el cas dels briòfits, colonitzadors primerencs, també. La secreció d'àcids orgànics afavoreix l'alteració i la solubilització dels minerals del sòl.

Com a conseqüència de l'activitat microbiana, alguns nutrients que normalment estan en forma insoluble, com el fòsfor i el potassi, són solubilitzats, i d'altres que es troben lligats a la matèria orgànica com el nitrogen, el sofre i el fòsfor, son mineralitzats: d'aquesta manera poden ésser assimilats pels vegetals. En les transformacions d'oxidació-reducció del sofre, el ferro, i el manganès, que depenen de les condicions aeròbies i anaeròbies del sòl, els microorganismes tenen també un paper molt important.

3. Gènesi, distribució i sistemàtica dels sòls

3.1 Consideracions generals

La classificació dels sòls en categories organitzades ha estat quelcom dinàmic, i a la dècada dels 80 encara no pot considerar-se com un tema estabilitzat, ben al contrari del que succeeix amb d'altres disciplines. La classificació és el reflex de l'estat de coneixements sobre els sòls, i aquests han evolucionat i augmentat considerablement, cosa que obliga a canvis i reorganitzacions periòdiques.

Els usuaris dels sòls s'interessen gairebé unicament per les propietats útils i, rarament, es preocupen de llur denominació. En d'altres àmbits científics o de la vida ningú no qüestiona l'interès de conèixer el nom de l'animal o de la planta que s'estudia o de la qual es parla. En el cas dels sòls no és evident que sigui així, no ja per al públic en general, sinó també per als especialistes d'altres disciplines i, fins i tot, per a científics de sòls no directament relacionats amb la gènesi i la classificació.

Kubiena (1952) era molt clar en afirmar que una experimentació agrària queda totalment sense base si hi manquen les indicacions sobre el sòl, de la mateixa manera que si hi manquen les de les plantes utilitzades per a experimentar. Quan es vol caracteritzar el medi en el qual viu una comunitat vegetal o es volen aplicar uns coneixements adquirits en una zona a una altra, cal, en tots els casos, conèixer d'una manera precisa els sòls i el nom que sintetitza les seves propietats i el seu comportament.

L'aparent indiferència per la denominació dels sòls té, sens dubte, justificacions. Per un cantó no hi ha hagut un desenvolupament paral·lel entre la taxonomia i l'ús dels coneixements de sòls en altres disciplines. Un edafòleg pot proporcionar molta informació sobre un sòl, que de vegades no podrà ésser íntegrament utilitzada per altres especialistes, per manca de la suficient investigació que estableixi les interrelacions.

Quan s'intenta fer la intersecció a nivell quantitatiu entre el conjunt *propietats d'un sòl* i el d'*exigències d'un conreu*, pel que fa a profunditat de sòl, porositat, tipus d'estructura, etc., la manca d'informació sobre el conreu pot desanimar. L'agrònom, l'extensionista o el pagès es desil·lusionen en veure que no poden emprar tot el que l'edafòleg els podria aportar. En aquestes circumstàncies, conèixer el nom del sòl es considera una cosa il·lustrativa, però poc pràctica. D'altra banda, a Catalunya, no és sinó fins als anys 80, que s'enceta una cartografia de sòls a nivell detallat, és a dir, l'elaboració de mapes de sòls a gran escala, 1:20.000, dintre del marc d'un catàleg de sòls iniciat per la Diputació de Barcelona a nivell de terme municipal (Danés, 1984). Aquest tipus de mapes detallats exigeixen una densitat d'observacions molt alta, però permeten que l'usuari en tregui tot el partit que es pot esperar d'un mapa de sòls.

Altres aspectes que han contribuït a aquesta aparent indiferència han estat la manca d'un sistema únic de classificació i la nomenclatura emprada pels taxonomistes, terminologia que alguns consideren força críptica. A més a més, en un moment determinat, el 1960, es va posar a la disposició de la comunitat científica un sistema taxonòmic totalment nou que abandonava les denominacions basades en noms corrents i proposava una nomenclatura i un esquema de classificació totalment diferents als emprats fins aleshores. La inèrcia, gran fins i tot en els propis edafòlegs, i la manca de seguretat que el nou sistema s'implantaria, han creat una situació que ha fet que fins els anys 70 no fos començat a utilitzar d'una manera general. Les perspectives als anys 80 no semblen portar a la acceptació generalitzada d'un determinat sistema de classificació, i el tema continua essent objecte de discussions per a elaborar noves propostes (Porta, 1985).

Cal remarcar, però, que la necessitat d'ordenar l'ús del territori ha posat d'actualitat l'interès de conèixer els sòls sobre els quals s'instal·len les diferents activitats humanes i, per tant, ha impulsat el coneixement dels sistemes de classificació i avaluació.

3.2 Les classificacions edàfiques

Els criteris de classificació

Una de les primeres dificultats per a classificar sòls es troba a l'hora d'establir els criteris que permetin assolir la màxima precisió en la descripció de l'objecte i aconseguir el millor ordenament dels coneixements.

Els primers intents per agrupar sòls es basaren en criteris *petrogràfico-geològics* que donaven una major significació a les relacions entre el sòl i el material geològic. Gras (1863) utilitzà aquest criteri per a traçar un mapa del Departament d'Isère; Forder (1864-1867) preparà el primer mapa de sòls d'Europa emprant el ma-

teix criteri, a l'igual que Hitchcock (1841), que realitzà un mapa dels Estats Units amb 14 grups de sòls. L'aplicació d'aquest criteri a àrees geogràfiques grans va demostrar la seva poca consistència. La *vegetació natural* fou el criteri emprat per Hilgard (1911); les classificacions basades en *propietats químiques* foren desenvolupades per Knop (1871) i De Sigmond (1933). Basant-se en el sistema linneà, Nowachi (1892) en proposà un de terminologia llatina, "Genera et Species Terrarum", en el qual el *gènere* indicava la qualitat del sòl, pedregós, arenós, turbós, etc., i l'*espècie* depenia del contingut d'argila i matèria orgànica.

El primer esquema vàlid de classificació de sòls fou el proposat per Dokutxàiev, buscant establir una jerarquització. El seu deixeble Sibirtzev (1860-1899) utilitzà els *factors formadors* com a criteris de base i enuncià el que ell anomenava *llei de la zonalitat* que, si bé ha estat molt qüestionada posteriorment, li va permetre d'arribar a un esquema jerarquitzat de classificació de sòls. Per a l'escola russa, el factor formador preponderant en la formació dels sòls era el clima, i amb base en ell desenvoluparen diferents *sistemes genètics* de classificació. En aquest sentit, la classificació de Vilensky (1927) es basa en la temperatura i la precipitació com a índexs principals.

A partir de les línies establertes per l'escola russa, Marbut (1927) als Estats Units, combinà diversos criteris (temperatura, pluviometria i natura física i química del sòl) fins a establir un sistema de classificació que posteriorment va ésser modificat per Baldwin, Kellogg i Thorp (1938), revisat per Thorp i Smith (1949) i utilitzat per Tames (1958) per a elaborar el mapa d'Espanya a escala 1:1.000.000.

A nivell mundial s'han desenvolupat més de seixanta sistemes diferents de classificació de sòls. Atès que pot haver-hi més d'una raó o criteri per a classificar i que els mateixos objectes poden agrupar-se de més d'una manera, Smith (1981) afirmava que sempre hi haurà més d'una taxonomia per a uns mateixos objectes, totes igualment òptimes per al seu propòsit. El fet que el sòl sigui un *continuum* planteja problemes, atès que no es tracta de cossos discrets. Per tant, l'establiment de límits, així com de propietats diferenciadores, es basa sempre en criteris subjectius, la qual cosa explica que en el moment actual continuï havent-hi més d'un sistema de classificació en ús. En sòls no es pot arribar a una sistemàtica filogenètica, sinó que queden limitats a una sistemàtica tipològica: la formació de sòls és una ontogènia, no una filogènia.

DIVISIONS I TIPUS

I. SÒLS TOTALMENT DESENVOLUPATS: ZONALS

1. Laterites.
2. Sòls de loess-eòlic
3. Sòls d'estepa-desert
4. Sòls txernozems
5. Sòls forestals grisos
6. Sòls podzolitzats
7. Sòls de tundra

II. SÒLS INTRAZONALS

8. Sòls alcalins
9. Sòls "bog" i "moor"

III. SÒLS IMMADURS: AZONALS

10. Sòls esquelètics
11. Sòls alluvials

40 *DENOMINACIÓ I CLASSIFICACIÓ GENÈTICA DELS SÒLS, basades en el principi de la zonalitat, segons l'escola edafològica soviètica de Sibirtsev (1895). (Font: dades elaborades pels autors)*

La sistemàtica d'Huguet del Villar

En l'obra "*Los suelos de la península luso-ibérica*" (1937), Huguet del Villar donà a conèixer un sistema de classificació de sòls que constitueix la contribució més important d'un edafòleg català a la taxonomia de sòls. Aquesta

MACROCLIMA / TÈRMICAMENT:	POLAR	FRED	TEMPERAT	SUBTROPICAL	TROPICAL
PLUVIOMÈTRICAMENT:					
ÀRID	*tundra*	*sòls torbosos secs*	*terres grises*		*sòls rojos de semidesert*
SEMIÀRID			*terres castanyes*	*sòls grocs de les estepes seques*	*terres roges*
MODERAT	*torba i sòls de prat*	*sòls de prat negre*	*txernozems*	*terres grogues*	*laterites*
SUBHUMIT		*sòls de prat degradats*	*sòls degradats (forestals grisos)*	*terres grogues degradades*	*terres roges degradades*
HUMIT	*sòls torbosos podzolitzats*	*sòls podzolitzats*	*sòls podzolitzats*	*terres grogues podzolitzades*	*terres roges podzolitzades*

41 *ESQUEMES TAXONÒMICS INICIALS EN LA CLASSIFICACIÓ GENÈTICA (Vilensky, 1927), basats en el macroclima, concretament en les precipitacions i en les temperatures. (Font: dades elaborades pels autors)*



42 *EL MAPA DE SÒLS DE LA PENÍNSULA IBÈRICA ("Suelos de la Península Luso-Ibérica"), elaborat per Emili Huguet del Villar i publicat (1937) a escala 1:1 000 000, és el primer mapa de sòls que fou editat, i es basa en la classificació edàfica proposada pel seu mateix autor.*
[Foto: Jordi Vidal / Institut Botànic de Barcelona]

classificació, actualment ja en desús, és plantejada amb caràcter universal, i en basar-se en la morfologia del perfil suposà un enfocament diferent del de classificacions anteriors, que ha estat reprès com a criteri base per a diverses classificacions morfomètriques actuals.

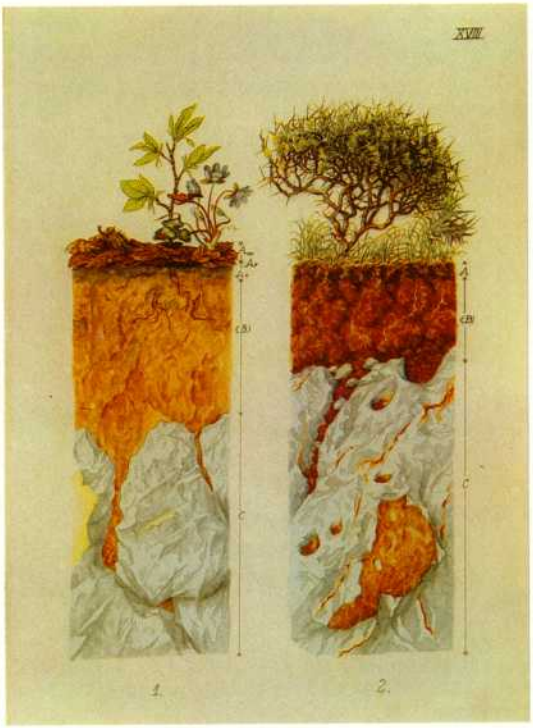
Huguet del Villar establí quatre *cicles* (el salino-alcalí, el dels sòls calcaris, el dels sesquiòxids i l'hidropèdic), subdividits en un total de vuit *sèries*. D'acord amb el nivell d'evolució del pedió, les sèries es dividien en tres *estadis* (el madur, l'immadur i el postmadur), i aquests en dues *fases* (la primària i la secundària). La classificació fou presentada en forma de clau dicotòmica i utilitzada pel seu autor en l'elaboració del mapa de la península a escala 1:1 000 000. Per causes alienes a l'edafologia, la iniciativa no va tenir continuïtat.

Les sistemàtiques europees clàssiques

Dels diversos sistemes taxonòmics proposats a Europa, els que han tingut incidència a l'hora de l'elaboració de mapes de sòls a Catalunya

43 *DENOMINACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS SÒLS segons la classificació de Kubiena (1952), basada en les esmentades característiques i en els processos formadors. La unitat fonamental és el* tipus *(equivalent al gènere biotaxonòmic), completada amb el* subtipus *(equivalent a l'espècie biotaxonòmica); així, en* terra rossa, terra *fóra el tipus i* rossa *el subtipus.*
[Font: dades elaborades pels autors]

DIVISIÓ "ORIGEN"	CLASSE	TIPUS PRINCIPALS
Subaquàtics	No torbosos	*Dy, Gittja, Sapropel*
	Torbosos	*Fen*
	Bruts semiterrestres	*Rambla*
Semiterrestres o d'inundació i aigua subterrània	Anmooriformes	*Anmoor, March*
	Torbosos semiterrestres	
	Salins	*Solontxac, Solonetz, Solod*
	Gleis amb humus terrestre	*Glei*
	No gleïtzats en valls fluvials	*Vega*
	Bruts terrestres	*Yerma, Sierozem*
	Rankeriformes	*Ránker*
	Rendziniformes	*Rendzina, Pararendzina*
	Sòls d'estepa	*Serozem, Burozem, Castanozem, Txernozem*
Terrestres	"Terrae calxis"	Terra
	Plastosòls	*Braunlehmn, Rotlem*
	Latosòls	*Roterde*
	Terres brunes	*Braunerde*
	Pseudogleis	*Pseudoglei*
	Podzols	*Podzol*



han estat el de Kubiena (1952) i els desenvolupats a França.

- ***La classificació de Kubiena***

El sistema taxonòmic que ha servit de base per a la majoria de les classificacions europees actuals ha estat el proposat per Kubiena (1952), que fou emprat fins a la dècada dels 60. Una de les principals aportacions d'aquesta classificació fou la introducció dels estudis micromorfològics de sòls. És un sistema jeràrquic, que utilitza tant la morfologia del perfil com els processos formadors.

- ***La classificació del CPCS***

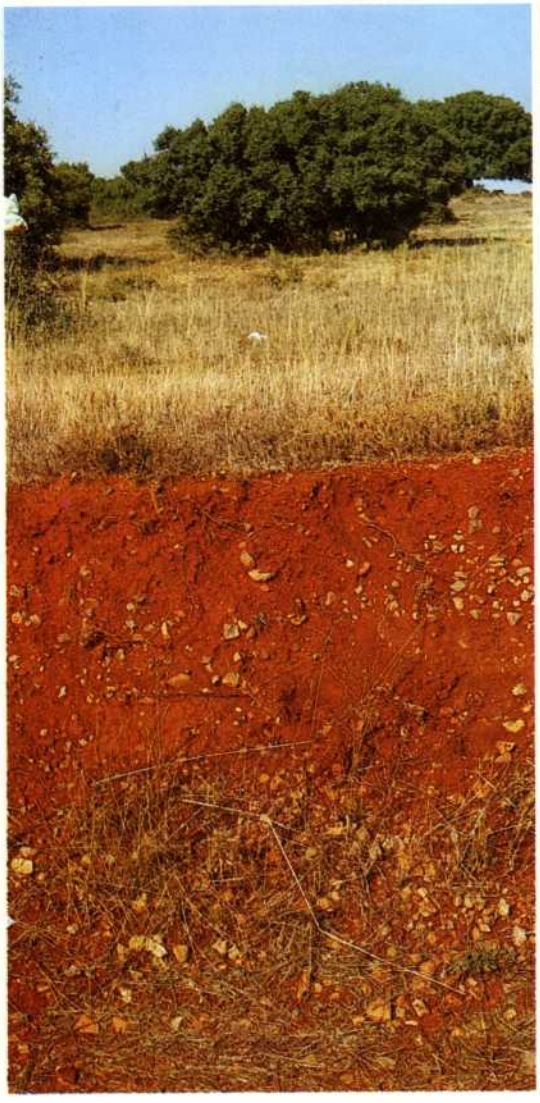
En el Congrés de París de la Societat Internacional de la Ciència del Sòl es presentà un esquema de classificació basat en la genèsi dels sòls (Aubert i Duchaufour, 1956) que fou modificat i ampliat posteriorment (Aubert, 1965) i que serví de base a la Commision de Pédologie et de Cartographie des Sols per a elaborar la que s'anomena classificació francesa de sòls (CPCS, 1967). Aquest sistema taxonòmic estableix nou categories (classe, subclasse, grup, subgrup, fàcies, família, sèrie i tipus), si bé només els nivells superiors han estat definits. Les classes s'estableixen en base al grau d'evolució i desenvolupament del perfil, el model d'alteració relacionat amb la formació de complexos organominerals de propietats particulars, el tipus d'humus i la seva participació en la formació dels complexos i l'evolució de la matèria orgànica, així com en alguns casos per condicions particulars i locals tals com l'hidromorfisme o la presència de sals solubles.

El 1971, Duchaufour proposà un esquema modificat. Posteriorment, a França hi ha hagut diverses propostes, com la de Segalen, Fauck i col·laboradors (1979) i la de Boulaine (1982), sense que cap d'elles no hagi aconseguit d'afermar-se.

El Soil Taxonomy System

A partir del 1950 començà la revisió de la classificació de Thorp i Smith (1949) per intentar solucionar diversos problemes. Guy Smith, director del Soil Survey Investigations (USDA) va ésser encarregat del projecte. La metodologia de treball emprada fou la d'anar elaborant successius documents de treball o aproximacions des del 1951 al 1960, any que, al Congrés Internacional de la Ciència del Sòl celebrat a Madison (EUA), es distribuí la setena aproximació, revisada posteriorment i editada el 1975 amb el nom de Soil Taxonomy System.

El sistema proposa plantejaments que signifiquen passar dels sistemes anteriors (Kubiena,



44 *ELS ACURATS DIBUIXOS DE PERFILS DE SÒLS incorporats per W.L. Kubiena en les seves claus sistemàtiques, fonamentades en una nomenclatura basada en normes populars emprats pels agricultors de diversos països, constribuïren a la popularització del seu sistema. La il·lustració adjunta en recull dos, un de corresponent a una* terra fusca *(esquerra), i un altre d'una* terra rossa *sialítica (dreta). [Foto: Jordi Vidal]*

45 *VISTA GENERAL D'UN RHODOXERALF de la Mancha (l'horitzó argílic aflora en superfície per causa de l'erosió). [Foto: Jaume Porta]*

46 *DENOMINACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS SÒLS segons la Commission de Pédologie et Cartographie des Sols de France (CPCS), amb les modificacions del CNRS i del CNRF (1974). [Font: dades elaborades pels autors]*

CLASSES I CATEGORIES	CARACTERÍSTIQUES
I. SÒLS MINERALS BRUTS *1. D'erosió (litosòls, regosòls); o d'aportació* *2. De deserts freds* *3. De deserts càlids*	Sòls amb disgregació física superficial, amb una alteració química molt dèbil i gairebé sense matèria orgànica.
II. SÒLS DE PERFIL POC DIFERENCIAT *1. De permagel* *2. Humífers al damunt de roca dura i àcida* *3. Poc evolucionats* *4. Poc evolucionats de clima sec (xeroràn kers)*	Sòls de perfil A_1C formats al damunt d'una roca silicatada i sense horitzó (*B*) d'alteració o, si aquest existeix, és emmascarat per una incorporació profunda de matèria orgànica.
III. VERTISÒLS *1. Sense drenatge extern (hidromorfs)* *2. Amb drenatge extern (litomorfs)*	Sòls rics en argiles expandibles, amb perfil *A(B)C*, essent el *(B)* estructural prismàtic amb cares de esllavissament.
IV. ANDÒSOLS	Sòls amb allofana formats sobre materials volcànics
V. SÒLS CÀLCICO-MAGNÈSICS *1. Molt humífers* *2. Humífers (rendzines)* *3. Poc humífers*	Sòls formats sobre roques que tenen calcita o dolomita, amb perfil A_1C (de vegades *A(B)C*) i amb complex adsorbent saturat o gairebé saturat en calci i magnesi.
VI. SÒLS ISOHÚMICS *1. Amb complex parcialment desaturat en superfície (brunizem)* *2. Amb complex saturat (txernozem, sòls castanys)* *3. Amb complex saturat i edafoclima molt contrastat (sòls marrons i serozems)* *4. Amb edafoclima molt sec; crosta de guix (sòls grisos subdesèrtics)* *5. Amb complex saturat i edafoclima càlid (sòls bruns subàrids)*	Sòls amb incorporació de matèria orgànica en profunditat, molt humificada i molt polimeritzada, amb un grau de saturació de bases (Ca i Mg) generalment molt elevat.
VII. SÒLS BRUNIFICATS *1. Temperats (sòls bruns)* *2. Illuviats atlàntics* *3. Illuviats continentals o boreals*	Sòls amb humus de tipus "mull" (de vegades "moder"), no calcari, amb horitzó d'alteració (*B*), de color bru, o amb horitzó d'acumulació *Bt* argílic.
VIII. SÒLS PODZOLITZATS *1. Atlàntics poc o no gens hidromorfs (podzols)* *2. Hidromorfs* *3. Amb edafoclima fred (podzols boreals i alpins)*	Sòls amb humus de tipus "mor" o "moder", alteració molt intensa dels silicats i emigració important dels sesquiòxids complexats amb formació d'un *B* espòdic.
IX. SÒLS RICS EN SESQUIÒXIDS DE FERRO I MANGANÈS *1. Fersialítics* *2. Ferruginosos tropicals*	Sòls de colors molt vius (ocre o roig), rics en òxids de ferro individualitzats, però sense alumini lliure.
X. SÒLS FERRALÍTICS *1. Ferralites* *2. Ferralítics*	Sòls amb alteració completa dels minerals primaris rics en goethita i freqüentment en gibsita, amb argiles de tipus caolínic.
XI. SÒLS HIDROMORFS *1. Pseudoglei* *2. Estagnoglei* *3. Glei* *4. Torbes* *5. Pelosòls*	Sòls amb saturació temporal o permanent d'aigua que afecta la quasi totalitat del perfil i provoca una reducció del ferro acompanyada freqüentment d'una mobilització i una migració localitzada d'aquest element.
XII. SÒLS SALSÒDICS O SALSODIMORFS *1. Amb sals de sodi i estructura no degradada (sòls salins o solontxac)* *2. Amb complex sòdic i estructura degradada (sòls alcalins solontxac-solonetz, solonetz, solods)*	Sòls caracteritzats per la presència de sals de sodi solubles o de sodi de canvi al complex adsorbent.

UNITAT	DENOMINACIÓ
Classe 1	*Primarosòls*
Classe 2	*Organosòls*
Classe 3	*Selsòls*
Classe 4	*Andosòls*
Classe 5	*Bisialsòls*
Classe 6	*Ferbisialsòls*
Classe 7	*Monosialsòls*
Classe 8	*Fermonosialsòls*
Classe 9	*Oxidisòls*
Classe 10	*Podzols*

47 *DENOMINACIÓ I SISTEMÀTICA DELS SÒLS segons la classificació ORSTOM preparada per l'equip de Segalen (1979-82), la qual utilitza com a criteri taxonòmic principal els constituents.*
[Font: dades elaborades pels autors]

Baldwin, etc.), bàsicament descriptius i qualitatius o semiquantitatius, a un sistema morfomètric totalment quantitatiu, cosa que en fa molt objectiva l'aplicació. És una classificació que inclou tan les categories més elevades de generalització com les inferiors o de màxim detall, les *sèries*. Es basa en les propietats observables o mesurables dels objectes a classificar, a ésser possible relacionades o derivades de la genèsi del sòl, i dóna prioritat a les que tenen influència sobre el creixement de les plantes.

Un altre aspecte remarcable és el fet que el Soil Taxonomy System, ja des de la quarta aproximació apareguda el 1955, introdueix els *horitzons de diagnòstic*. Aquest concepte ha estat acceptat per la comunitat científica edafològica i adoptat per molts altres sistemes taxonòmics, tal com varen ésser definits pels seus autors, o bé ampliant-los o modificant-los segons els casos. Es pot afirmar, no obstant això, que el Soil Taxonomy System dóna massa pes a algun dels horitzons de diagnòstic a l'hora d'establir les diferents categories de sòls, com per exemple l'endopedió argílic.

Dels molts aspectes innovadors es pot destacar haver diferenciat clarament els processos d'illuviació d'argila dels de quelluviació. En l'estudi dels sòls de Catalunya el fet és important, atès que la illuviació d'argila és un procés freqüent, mentre que el de quelluviació es presenta en àrees molt delimitades dels Pirineus: era, doncs, important poder separar aquestes dues categories de sòls. També s'ha de destacar la utilització dels règims d'humitat i de temperatura del sòl com a criteris taxonòmics, definits d'una forma quantitativa. Els règims tenen interès perquè reflecteixen la potencialitat agrícola d'un sòl. No obstant això, cal remarcar que són unes dades difícils d'obtenir i, atès que el Soil Taxonomy System utilitza aquests criteris a un nivell taxonòmic alt, en intentar classificar sòls en alguns indrets dels Països Catalans, la manca de dades sobre els règims d'humitat suposa una dificultat.

Les categories de sòls establertes per classificar els sòls mundials es reuneixen en 10 ordres, 47 subordres, 185 grups, 970 subgrups, 4500 famílies i 13 000 sèries.

Les unitats de sòls de la FAO

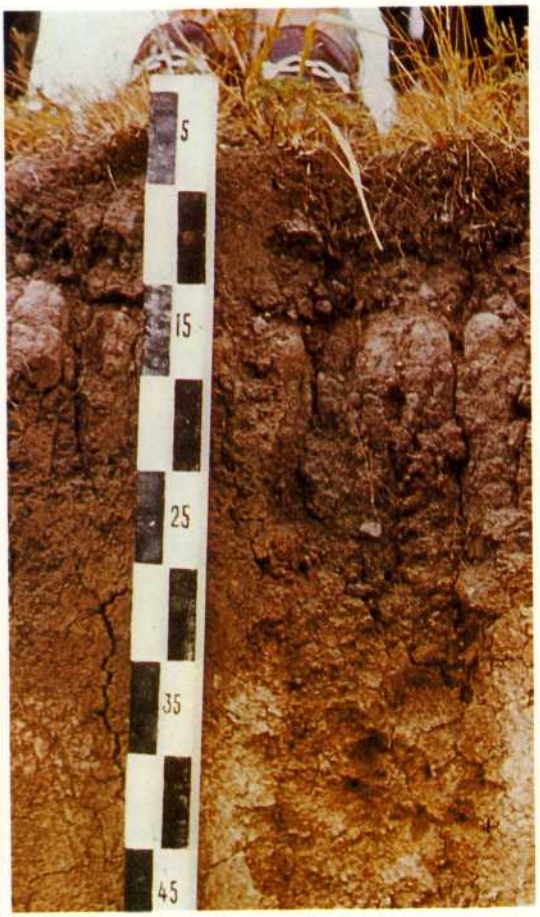
La FAO, en paraules de Dudal (1981), no ha proposat un sistema de classificació de sòls, sinó que únicament ha elaborat una llista d'*uni-*

48 *DENOMINACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS ORDRES DE SÒLS segons el Soil Taxonomy System (1975).*
[Font: dades elaborades pels autors]

ORDRES	CARACTERÍSTIQUES
ENTISÒLS (de recent)	Sòls sense endopedions de diagnòstic (sòls molt poc edafitzats).
INCEPTISÒLS (d'*inceptum*, incipient)	Sòls poc desenvolupats, amb horitzons edafogenètics d'alteració o concentració, però sense acumulacions o materials translocats que no siguin de carbonats o sílice.
ALFISÒLS (de *pedalfer*, alumini i ferro)	Sòls amb endopedió d'acumulació d'argila i saturació de bases de mitjana a alta.
ARIDISÒLS (d'*aridus*, àrid)	Sòls de zones àrides o bé salines, amb horitzons edafogenètics.
MOLLISÒLS (de *mollis, flonjo)*	Sòls amb un epipedió mòllic.
VERTISÒLS (de *vertere*, voltejar)	Sòls amb un contingut elevat d'argiles expandibles; durant els períodes secs es desenvolupen esquerdes profundes i àmplies.
ESPODOSÒLS (de *podzol*, sòl cendrós)	Sòls amb acumulació de materials amorfs a base de ferro, alumini i humus a l'endopedió (sòls àcids de clima humid).
ULTISÒLS (d'*ultimus*, últim)	Sòls de zones subtropicals amb endopedió d'acumulació d'argila i amb una saturació de bases inferior al 35%.
OXISÒLS (d'*òxid*)	Sòls de zones tropicals amb horitzons edafogenètics que són mescles principalment de caolinita, òxids hidratats i quars, i que tenen una feble quantitat de minerals meteoritzables.
HISTOSÒLS (d'*histos*, teixit)	Sòls orgànics.

49 *DENOMINACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS SÒLS segons les Unitats de Sòls de la FAO (1981). [Font: dades elaborades pels autors]*

UNITATS	CARACTERÍSTIQUES
HISTOSÒLS *èutrics, dístrics*	Sòls orgànics o torbosos.
LITOSÒLS *èutrics, calcàrics, dístrics*	Sòls prims amb presència d'una roca dura dintre dels 10 cm.
VERTISÒLS *pèllics, cròmics*	Sòls desenvolupats sobre argiles expandibles, amb esquerdes en els períodes secs.
FLUVISÒLS *èutrics, calcàrics, dístrics, tiònics*	Sòls joves, desenvolupats sobre materials alluvials.
SOLONTXACS *òrtics, mòllics, taquírics, glèics*	Sòls molt salins.
GLEÏSÒLS *èutrics, calcàrics, dístrics, mòllics, húmics, túndrics*	Sòls hidromorfs.
ANDOSÒLS *òcrics, mòllics, húmics, vítrics*	Sòls desenvolupats sobre materials i cendres volcàniques.
ARENOSÒLS *ferràllics, lamínics, càmbics, àlbics*	Sòls de textura arenosa grossa.
REGOSÒLS *èutrics, calcàrics, dístrics, túndrics*	Sòls amb un perfil de tipus *AC*, únicament amb un horitzó *A* òcric.
RÀNKERS	Sòls amb un perfil de tipus *AC*, únicament amb un horitzó *A* úmbric de menys de 25 cm de gruix.
RENDZINES	Sòls amb un perfil de tipus *AC*, únicament amb un horitzó *A* mòllic, desenvolupat a partir d'un material original calcari.
PODZOLS *òrtics, fèrrics, húmics, plàcics, glèics*	Sòls amb un horitzó *B* espòdic.
FERRALSÒLS *òrtics, xàntics, ròdics, húmics, àcrics, plíntics, glèics*	Sòls tropicals amb un horitzó òxic.
PLANOSÒLS *èutrics, dístrics, mòllics, húmics, solòdics*	Sòls amb un horitzó *A2* àlbic que té un límit abrupte amb un horitzó *B2t* argílic de baixa permeabilitat (*clay pansoils*).
SOLONETZS *òrtics, mòllics, glèics*	Sòls sòdics amb un horitzó *B2t* nàtric.
GREIZEMS	Sòls amb un horitzó *A* mòllic que és parcialment blanquinós.
TXERNOZEMS *hàplics, càlcics, lúvics*	Sòls d'estepa amb un horitzó *A* mòllic de color fosc i amb horitzons subsuperficials de tipus *Cca* o *Ccs*.
CASTANOZEMS *hàplics, càlcics, lúvics*	Sòls d'estepa amb un horitzó *A* mòllic de color fosc i amb horitzons subsuperficials de tipus *Cca* o *Ccs*.
FEOZEMS *hàplics, calcàrics, lúvics, glèics*	Sòls de prats amb un horitzó *A* mòllic, però sense horitzons subsuperficials de tipus *Cca* o *Ccs*.
PODZOLUVISÒLS *èutrics, dístrics, glèics*	Sòls amb un horitzó *A2* àlbic que forma llengües a dintre d'un horitzó *B2t* argílic.
XEROSÒLS *hàplics, càlcics, gípsics, lúvics*	Sòls semiàrids a àrids amb un horitzó *A* òcric feblement desenvolupat.
YERMOSÒLS *hàplics, càlcics, gípsics, lúvics*	Sòls àrids amb un horitzó *A* òcric molt feblement desenvolupat.
NITOSÒLS *èutrics, dístrics, húmics*	Sòls tropicals molt ben desenvolupats amb un horitzó argílic profund.
ACRISÒLS *òrtics, fèrrics, hùmics, plíntics, glèics*	Sòls tropicals i subtropicals amb un horitzó argílic i una baixa saturació de bases.
LUVISÒLS *òrtics, cròmics, fèrrics, àlbics, plíntics, glèics*	Sòls amb un horitzó argílic i una alta saturació de bases.
CAMBISÒLS *èutrics, calcàrics, dístrics, húmics, vèrtics, túndrics, glèics*	Sòls amb un horitzó càmbic.

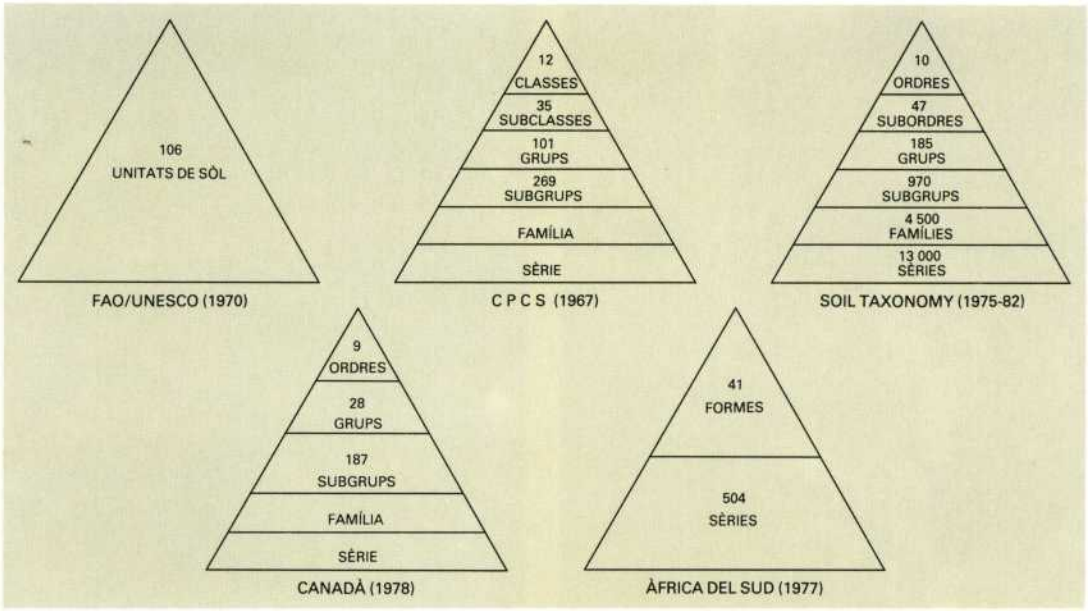








50 *MANQUEN ALS PAÏSOS CATALANS i a tota la resta de l'Estat algunes de les grans unitats de sòls establertes per la FAO en la llegenda del seu mapa 1:5 000 000 dels sòls del món. És el cas dels solonetzs òrtics (natriboralfs) del Kazakhstan, a l'URSS (a dalt, a l'esquerra), dels niosòls (palenstults) també de Tailàndia (a baix, a l'esquerra), i dels ferralsòls òrtics (haplortox tropèptic) de Malàsia (a baix, a la dreta).*
[Fotos: M. Teresa Felipó i Museum of Soils de Wageningen]



51 *NIVELLS I NOMBRE DE TÀXONS establerts pels principals sistemes de classificació dels sòls en vigència durant els anys 80. [Dibuix: Maber, original de J. Porta, 1985]*

tats de sòls que constitueixen la llegenda dels mapes que realitza aquest organisme internacional. La diferència bàsica entre una classificació de sòls i una llegenda d'un mapa consisteix en el fet que la primera cobreix un univers de pedions o polipedions, mentre que la segona afecta només un conjunt de cossos de sòl delineats en un mapa (Schelling, 1969). Les unitats de sòls de la FAO no són agrupades en categories jeràrquiques de diferent nivell de generalització.

La definició d'aquestes unitats de sòls s'ha fet tenint en compte propietats intrínseques del sòl perfectament observables i mesurables. Aquestes propietats es varen seleccionar prenent com

52 *EQUIVALÈNCIES DE DENOMINACIÓ DELS SÒLS entre el sistema clàssicament emprat als Països Catalans, el Soil Taxonomy System i les Unitats de Sòls de la FAO (les equivalències són aproximades i no poden ésser preses de manera taxativament biunívoca). [Font: dades elaborades pels autors]*

DENOMINACIÓ CLÀSSICA	SOILS TAXONOMY SYSTEM	UNITATS DE SÒL FAO
Sòls al·luvials	Fluvent (*Fluvent*)	Fluvisòls (*p.p.*)
Rendzines	Lític xerortent (*Lithic xerorthent*) Rendoll (*Rendoll*)	Litosòls Rendzines
Sòls sorrencs	Psamments (*Psamments*)	Arenosòls Regosòls
Sòls hidromorfs	Aqüents (*Aquents*) Aqüepts (*Aquets*) Aqualf (*Aqualf*)	Gleisòls Fluvisòls (*p.p.*) Luvisòls glèics
Sòls calcaris	Calcixeròl·lic xerocrept (*Calcixerollic xerochrept*)	Cambisòls càlcics
Sòls bruns	Ocrepts (*Ochrepts*) Umbrepts (*Umbrepts*)	Cambisòls (*p.p.*)
Ràpkers	Umbrepts (*Umbrepts*)	Ràpkers Cambisòls (*p.p.*)
Andosòls	Andept (*Andept*) Andisòls (*Andisols*)	Andosòls
Sòls bruns al·luvials	Xeralfs (*Xeralfs*) Ustalfs (*Ustalfs*)	Luvisòls (*p.p.*)
Sòls salins Solontxacs	Cambòrtids (*Camborthids*) Halaqüepts (*Halaquepts*)	Solontxacs Yermosòls (*p.p.*) Xerosòls
Sòls guixosos	Gipsiòrtids (*Gypsiorthids*) Gípsic cambòrtid (*Gypsic camborthid*)	Yermosòls (*p.p.*)
Torbes	Histosòls (*Histosols*)	Histosòls
Podzols	Òrtods (*Orthods*) Humods (*Humods*)	Podzols òrtics Podzols húmics
Sòls rojos	Rodoxeralfs (*Rhodoxeralfs*) Haploxeralfs (*Haploxeralfs*)	Luvisòl cròmic
Sòls de crosta	Petrocàlcic xerocrept (*Petrocalcic xerochrept*) Paleòrtid (*Paleorthid*) Palexeralf (*Palexeralf*)	Yermosòl càlcic

a base els principis de formació del sòl generalment acceptats i la seva influència en la utilització del sòl. Les característiques i els horitzons de diagnòstic emprats en la definició d'aquestes unitats són d'acord amb el Soil Taxonomy System. Pel que fa a la nomenclatura, es va procurar conservar alguns termes tradicionals (txernozems, podzols, planosòls, solontxacs, rendzines), d'altres provenen de sistemes de classificació anteriors (vertisòls, histosòls) i, finalment, en d'altres casos es varen crear noves denominacions (luvisòls, feozems, nitosòls, cambisòls).

SECCIONS, CLASSES I SUBCLASSES
I. SÒLS AMB HERETATGE DOMINANT
1. Sòls minerals
1.1 Litosòls
1.2 Arenosòls
1.3 Regosòls
1.4 Fluvisòls
1.5 Pierrosòls
2. Sòls poc evolucionats, climàtics
2.1 Criosòls
2.2 Yermosòls
2.3 Xerosòls
3. Sòls poc evolucionats, orgànics
3.1 Andosòls
3.2 Folisòls
II. SÒLS AMB CONFINAMENT DOMINANT
4. Sòls isoargilosos
4.1 Vertisòls
4.2 Argisòls
4.3 Pelosòls
5. Sòls càlcico-magnèsics
5.1 Calcosòls
5.2 Craisòls
5.3 Dolosòls
5.4 Marnosòls
6. Sòls isohúmics amb règims contrastats
6.1 Sombrosòls
6.2 Fersisòls
III. SÒLS AMB LIXIVIACIÓ DOMINANT
7. Sòls brunificats
7.1 Cambisòls
7.2 Luvisòls
7.3 Planosòls
7.4 Glossisòls
7.5 Acrisòls
8. Sòls podzolitzats
8.1 Podzols
8.2 Espodisòls
9. Sòls termofèrrics
9.1 Ferralsòls
9.2 Tropisòls
9.3 Nitosòls
IV. SÒLS AMB SATURACIÓ D'AIGUA PREDOMINANT
10. Sòls saturats d'aigua
10.1 Torbosòls
10.2 Gleïsòls
10.3 Ligasòls
11. Sòls salsòdics
11.1 Salisòls
11.2 Sodisòls
11.3 Salsodisòls
12. Sòls tiònics
12.1 Sulfisòls
12.2 Sulfosòls

L'acceptació que han tingut les unitats de sòls de la FAO resideix en diversos fets: es basa en els horitzons de diagnòstic, prescindeix dels règims d'humitat i de temperatura, utilitza una nomenclatura per a designar les unitats basada en termes clàssics, emprats en classificacions anteriors amb les quals els usuaris estan més familiaritzats, és un sistema més senzill i fàcil d'aplicar que el Soil Taxonomy System, i és el resultat d'un esforç internacional. Malgrat aquests avantatges evidents, cal remarcar com a greu inconvenient que les unitats de sòls han estat definides pel mapa de sòls del món a escala 1:5 000 000 i 1:1 000 000, és a dir, per treballs edafològics a petita escala. Això representa un inconvenient a l'hora de voler aplicar aquestes unitats a cartografies detallades de sòls, a causa que les unitats de classificació inferiors no han estat previstes, tot i essent les que més interès tenen per als usuaris de mapes de sòls.

Les correlacions taxonòmiques

La subjectivitat en l'establiment de límits entre els diferents sòls fa que no hi hagi una correlació precisa entre les categories de sòls que estableix cada sistema taxonòmic. Atès l'interès per poder, si no correlacionar, relacionar de la forma més correcta possible les denominacions clàssiques de sòls i les actuals, s'han buscat les equivalències per als sòls presents als Països Catalans que, no obstant això, caldrà utilitzar amb prudència.

3.3 La distribució edàfica mundial

Per a donar una pinzellada sobre els sòls del món cal referir-se en primer lloc al mapa realitzat per iniciativa de la FAO-UNESCO.

Els primers mapes de sòls de què es disposà a escala compresa entre 1:20 000 000 i 1:100 000 000, es basaven en informacions generals més que en una prospecció sistemàtica de camp. A començament dels anys 50, l'estudi i la prospecció de sòls es van expandir notablement a molts països i es van estendre, també, a les zones tropicals. Al 6è Congrés Internacional de la Ciència del Sòl celebrat a París el 1956, es recomanà dedicar una especial atenció a la classificació i la correlació de sòls de grans regions del món. Al 7è Congrés, que tingué lloc a Madison-Winconsin el 1960, es presentaren ja mapes de sòls d'Àfrica, Austràlia, Àsia, Europa, Amèrica del Nord i del Sud, a escales que variaven des d'1:5 000 000 a

53 *DENOMINACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DELS SÒLS segons la classificació de Boulaine (1983), que recull la tradició francesa i els criteris de les Unitats de Sòls de la FAO (1981). [Font: Boulaine, comunicació personal]*

54 *DISTRIBUCIÓ DE LES CATEGORIES DE SÒLS DEL MÓN, a nivell d'ordre, segons els criteris de les Unitats de Sòls de la FAO- UNESCO.*
[Font: dades elaborades pels autors]

ASSOCIACIONS DE SÒLS DOMINADES PER	hax10³	%
Fluvisòls	316 450	2,40
Gleïsòls	622 670	4,73
Regosòls i arenosòls	1 330 400	10,10
Andosòls	100 640	0,76
Vertisòls	311 460	2,36
Solontxacs i solonetzs	268 010	2,03
Yermosòls	1 175 980	8,93
Xerosòls i castanozems	895 550	6,79
Txernozems, greizems i feozems	407 760	3,08
Cambisòls	924 870	7,02
Luvisòls	922 360	7,00
Podzoluvisòls	264 120	2,00
Podzols	477 700	3,63
Planosòls	119 890	0,91
Acrisòls i nitosòls	1 049 890	7,97
Ferralsòls	1 068 450	8,11
Litosòls, rendzines i rànkers	2 263 760	17,17
Histosòls	240 200	1,82
Diferents unitats de sòls (gels permanents, afloraments rocosos, dunes, etc.)	420 230	3,19
	13 180 390	100,00

1:10 000 000. Es manifestà aleshores que la nomenclatura, el mètode de prospecció, la llegenda i els sistemes de classificació emprats, eren molt diversos, de tal manera que era molt difícil realitzar comparacions entre les diferents regions cartografiades.

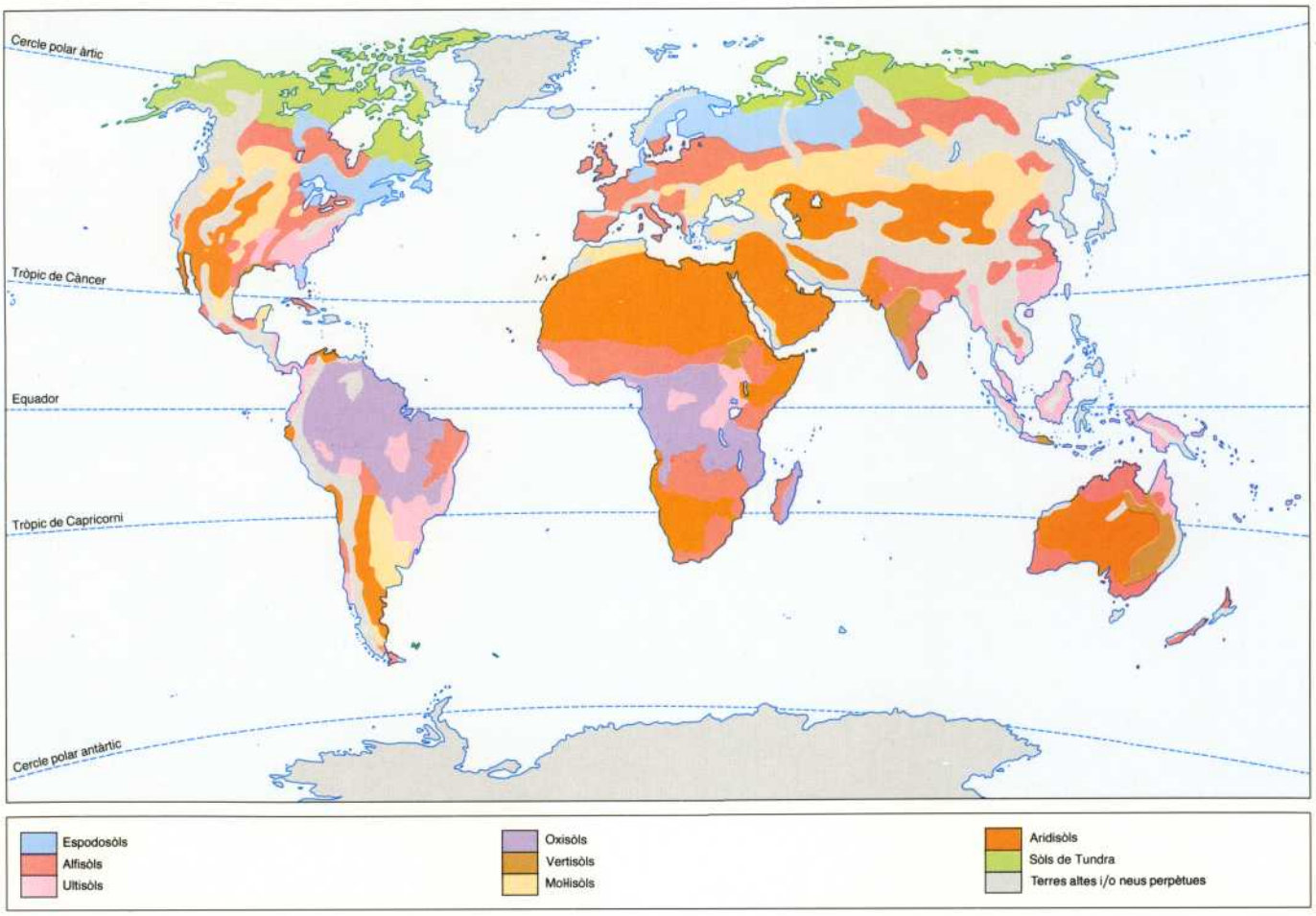
Com a resultat del 7è Congrés, la FAO i la UNESCO varen endegar la realització d'un mapa de sòls del món a escala 1:5 000 000, que es va encarregar a un grup d'especialistes a nivell internacional, per tal d'integrar els coneixements disponibles en una llegenda unificada. El principal problema que varen trobar aquest grup d'especialistes va ésser la manca d'un sistema de classificació de sòls que fos acceptat de forma general. Un element important, doncs, de la seva tasca, va ésser la realització de correlacions entre les diferents classificacions, per tal d'elaborar aquest sistema unificat. Les primeres propostes de mapes i llegendes es varen presentar al 8è Congrés, celebrat a Bucarest el 1964. L'acceptació internacional de la llegenda es va produir al 9è Congrés d'Adelaida, el 1968, i conté 106 unitats de sòls.

55 *DISTRIBUCIÓ DE LES CATEGORIES DE SÒLS DEL MÓN, a nivell d'ordre, d'acord amb la classificació del Soil Taxonomy System.*
[Font: dades elaborades pels autors]

CATEGORIES DE SÒLS	hax10³	%
Aridisòls	2 504 274	19
Alfisòls	1 713 450	13
Inceptisòls	1 186 235	9
Mollisòls	1 054 432	8
Oxisòls	1 054 432	8
Sòls de muntanya	2 636 078	20
Altres categories	3 031 489	23
	13 180 390	100

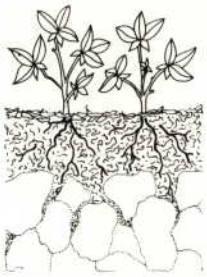
El mapa de sòls de la FAO-UNESCO dóna una idea de la distribució de les diferents categories de sòls, cosa que ha permès fer una estimació de la superfície ocupada per cadascuna d'elles i el percentatge respecte del total. Les zones tropicals són ocupades majorment per ferralsòls, acrisòls i nitrosòls i, en menor mesura, per vertisòls, andosòls, cambisòls, luvisòls, arenosòls i litosòls. És a dir, s'hi troben normalment sòls molt desenvolupats amb una alteració química important, fruit de l'agressivitat del clima, molt plujós i càlid. A les zones àrides desèrtiques, dominen els xerosòls i les yermosòls, i en general, sòls poc desenvolupats. A la part central d'Amèrica del Nord i Àsia es troben presents els greizems, txernozems, castanozems i feozems, sòls amb un horitzó superficial ric en matèria orgànica. A la part nord d'Europa es troben majorment luvisòls, podzols i podzoluvisòls, i a les regions mediterrànies, principalment regosòls, cambisòls, alfisòls i xerosòls.

En el mapa de sòls del món, l'elaborat pel Soil Conservation Service de l'USDA, es pot observar la distribució geogràfica de les categories de sòls, a nivell d'ordre i subordrel, del Soil Taxonomy System, mapa aproximatiu vàlid a nivell general, però no en el detall. Els aridisòls dominen a les regions àrides de l'Àfrica (desert del Sàhara, Sahel, Etiòpia, Somàlia), a la part central d'Amèrica del Nord (sud dels Estats Units i nord de Mèxic) i a la part central d'Àsia (Irak, Iran, Pakistan, Àsia Menor, península d'Aràbia). Els alfisòls tenen una distribució molt dispersa i es troben a nombrosos indrets del món; dominen principalment al nord d'Europa i Àsia, i a les regions mediterrànies en aquest últim cas, amb colors freqüentment molt rogencs, a causa del clima contrastat sota



el qual s'han desenvolupat. Els inceptisòls són també representats en nombrosos indrets del globus, i presenten característiques morfològiques molt diverses, fruit del desenvolupament sota condicions molt variades; es troben en extenses superfícies arreu del món. Els mollisòls són presents principalment a les praderies de la part central d'Amèrica del Nord (Great Plains), a les estepes del centre d'Àsia, i a la desembocadura del riu de la Plata. Els ultisòls i els oxisòls ocupen la major part de les zones tropicals i subtropicals.

56 *ELS GRANS DOMINIS EDÀFICS DEL MÓN, establerts a partir de les dades del Soil Conservation Service del Department of Agriculture (EUA), basats en els criteris del Soil Classification System.*
[Cartografia: Maber, a partir d'A. i A. Strahler, 1976]



2. Els factors i els processos edafogènics

1. Els factors edafogènics als Països Catalans

1.1 Consideracions generals

El sòl, com a sistema obert, és el resultat d'una sèrie de processos que poden interaccionar, reforçant-se o contrarestant-se. L'acció d'uns o d'altres depèn d'un conjunt de factors del medi que s'anomenen *factors formadors*. Clàssicament es consideren com a principals el clima, la vegetació o, en sentit més ampli, els organismes, el substrat a partir del qual es forma el sòl, la geomorfologia o posició que ocupa el pedió en el paisatge, i el temps que han actuat els processos edafogenètics. A més, pot haver-hi una sèrie de factors locals com poden ésser la salinitat, la hidromorfia o la modificació de les condicions naturals del sòl per explotar-lo agrícolament, etc. Tots aquests factors actuen simultàniament de tal manera que, de vegades, és difícil esbrinar-ne l'acció concreta de cadascun. Els diferents tipus de sòls són originats per la predominança d'un factor sobre els altres o per les diferents combinacions que es poden establir entre ells. En alguns casos és possible determinar l'ordre d'importància en la formació d'un sòl, així per exemple, la litologia i el clima condicionen fortament els tipus de sòls dels Països Catalans.

En plantejar l'estudi de la gènesi d'un sòl s'hi pot donar un enfocament ambiental, que consisteix a buscar les relacions entre els factors formadors i les propietats i característiques del sòl. Aquesta manera de fer té el seu origen en l'orientació que Dokutxaev donà a l'estudi del sòl, si bé fou Jenny (1941) qui s'interessà especialment per aquest planteig. Estudiar els factors formadors és més accessible que la investigació dels processos, cosa que explica que sigui un mètode que, malgrat el seu empirisme, ha estat emprat en moltes ocasions com una aproximació a la gènesi de sòls. L'estudi dels processos resulta molt més rigorós i serà considerat més endavant, però és bastant més complex que l'enfocament ambiental.

Els factors de medi són els responsables de la direcció, la velocitat i la durada dels processos genètics, així Schelling considera que són els "inputs" o entrades al sistema, essent les característiques del sòl els "outputs". La idea de Jenny (1941) era establir una relació matemàtica que lligués els "inputs" i els "outputs", aquest model conceptual s'expressava mitjançant l'equació fonamental

$$S = f(\text{clima, organismes, roca mare, relleu, temps, etc.}).$$

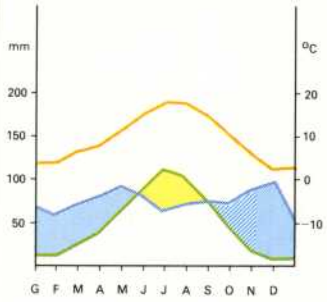
Les variables emprades en aquestes expressions haurien d'ésser independents, és a dir, que seria obligat trobar a la natura situacions en les quals es pugui estudiar la influència d'un factor sobre el sòl o bé sobre una de les seves propietats, amb constància dels altres factors, o que si canvien, la seva variació no influeixi sobre la propietat considerada. Aquestes exigències només es compleixen en determinades circumstàncies, com es farà palès en la descripció de cadascún dels factors. El nivell de coneixements a què s'ha arribat és únicament qualitatiu, i s'ha hagut d'oblidar l'ideal inicialment plantejat per Jenny. A la natura, però, el més freqüent és la interrelació entre factors, vegetació en relació al clima, vegetació en relació al substrat, etc. L'enfocament factorial fa difícil arribar a una quantificació i es queda a un nivell de *caixa negra*, en considerar el sistema globalment, sense entrar a estudiar la seva estructura interna.

1.2 El clima

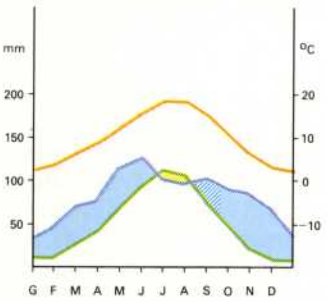
El clima és un dels principals factors que intervenen en la formació dels sòls, ja que d'ell depenen els fluxos d'aigua que circulen pel perfil i la temperatura del sòl. Condiciona el tipus i la velocitat d'alteració dels minerals, la descomposició de la matèria orgànica i les migracions de matèria en els pedions; juga també un paper indirecte sobre el desenvolupament del sòl, determinant el tipus de vegetació i fauna que viu en el sòl. A escala mundial la distribució dels sòls depèn sobretot del macroclima, que es pot considerar independent de la resta de factors. És a aquesta escala que són més evidents les relacions entre el clima i les característiques del sòl. A nivell mundial es reconeixen uns quinze climes zonals.

Els Països Catalans presenten una diversitat de climes considerable, encara que estiguin únicament inclosos dins l'àrea bioclimàtica mediterrània. Aquesta varietat es dóna sobretot per la presència d'un relleu diversificat que actua de barrera dels fronts nuvolosos i a les nombroses depressions existents entre les serralades. Hi ha, doncs, des de zones d'aridesa considerables al Segrià i les Garrigues, la Llitera o el Baix Cinca (Depressió de l'Ebre), o bé a la Plana d'Utiel i al Baix Segura; fins a zones molt humides de clima atlàntic com la Vall d'Aran, la Ribagorça, el Pallars Sobirà o el Ripollès. Aquestes circumstàncies fan que pesin més els mesoclimes i microclimes i, per tant, és més difícil esbrinar

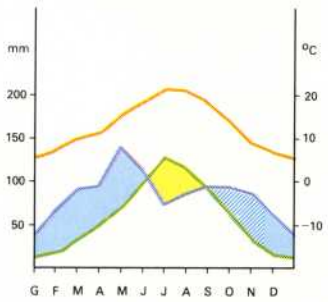
VIELLA (Vall d'Aran) 931 m
P 919 mm Tm 9,7 °C ETP 620 mm



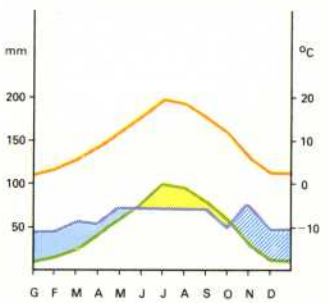
RIBES DE FRESER (Ripollès) 910 m
P 1011 mm Tm 10,0 °C ETP 624 mm



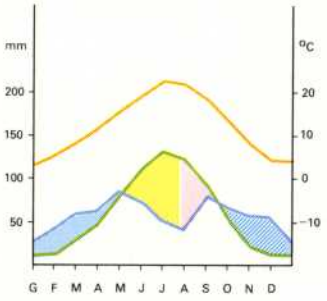
OLOT (Garrotxa) 440 m
P 1029 mm Tm 12,7 °C ETP 702 mm



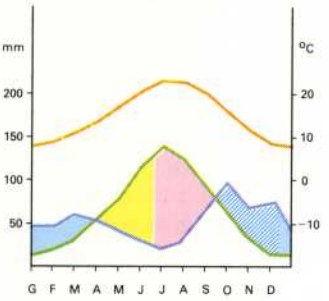
LLAVORSÍ (Pallars S.) 815 m
P 719 mm Tm 10,0 °C ETP 590 mm



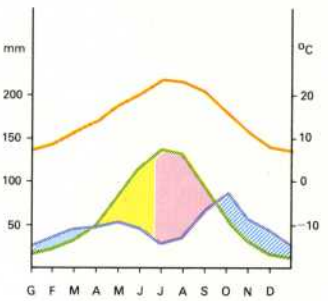
VIC (Osona) 496 m
P 703 mm Tm 12,3 °C ETP 715 mm



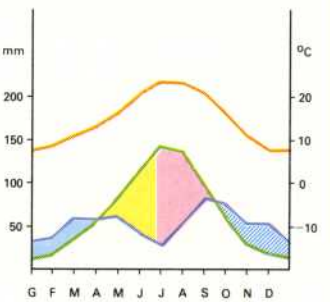
PERPINYÀ (Rosselló) 43 m
P 626 mm Tm 14,7 °C ETP 777 mm



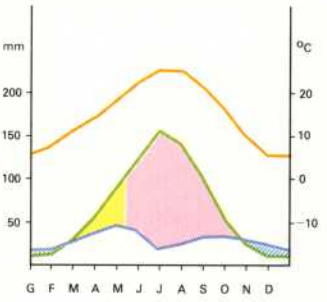
FIGUERES (Alt Empordà) 40 m
P 572 mm Tm 14,9 °C ETP 784 mm



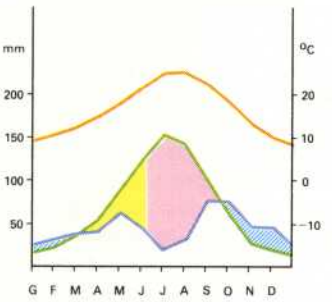
GRANOLLERS (Vallès Occ.) 140 m
P 626 mm Tm 14,7 °C ETP 793 mm



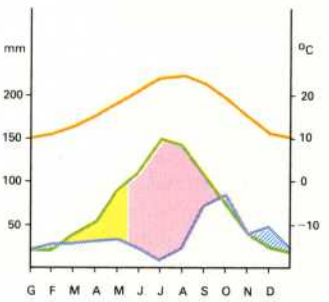
LLEIDA (Segrià) 203 m
P 352 mm Tm 14,8 °C ETP 813 mm



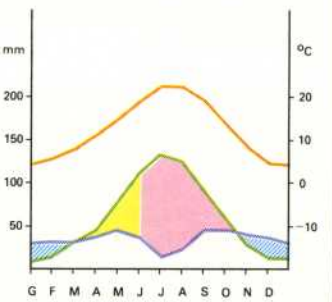
ROQUETES (Baix Ebre) 44 m
P 548 mm Tm 16,6 °C ETP 861 mm



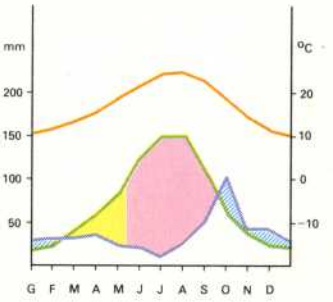
CASTELLÓ DE LA PLANA
(Plana Alta) 47 m
P 443 mm Tm 17,2 °C ETP 884 mm



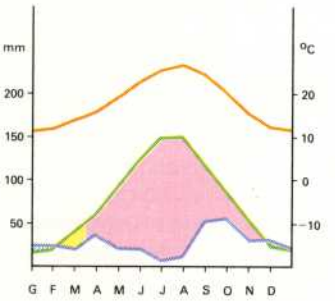
UTIEL (Plana d'Utiel) 732 m
P 425 mm Tm 12,5 °C ETP 721 mm



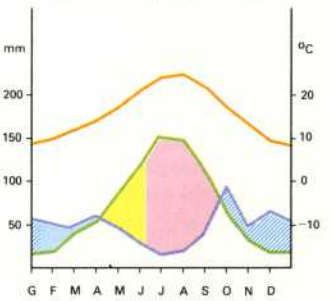
VALÈNCIA (Horta) 13 m
P 433 mm Tm 17,1 °C ETP 881 mm



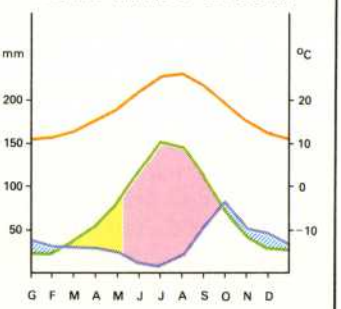
ALACANT (Alacantí) 81 m
P 336 mm Tm 18,1 °C ETP 915 mm



ONTINYENT (Vall d'Albaida) 359 m
P 560 mm Tm 16,0 °C ETP 825 mm



CIUTAT DE MALLORCA
(Mallorca Occ.) 10 m
P 416 mm Tm 17,2 °C ETP 873 mm



Recàrrega
Excés drenatge climàtic

Utilització de l'aigua de la reserva del sòl
Dèficit

Temperatures
Precipitacions
ETP

quina és l'acció individual del clima general.

A causa de la lentitud dels processos edàfics, en certs casos, el sòl no depèn únicament del clima actual, sinó tambe d'etapes climàtiques pretèrites, diferents de les actuals. És molt freqüent trobar als Països Catalans sòls rojos, alfisòls del grup dels rodoxeralfs i dels haploxeralfs que conserven un marcat caràcter relicte, tant pel que fa a la rubefacció dels òxids de ferro com a la illuviació d'argila. La formació d'aquests sòls és determinada per unes condicions més humides que les actuals, amb alternança de períodes secs i humits. En general, al Camp de Tarragona, al Barcelonès i en alguns indrets molt localitzats de les Garrigues, a Arbeca concretament, l'existència d'horitzons argílics d'antics alfisòls no es pot explicar en base al clima actual. En molts casos han quedat fosilitzats per un dipòsit posterior. En altres indrets, com a Caldes de Malavella, es troben palexeralfs, que són sòls de perfil $A_1\ A_2\ B_tC$ amb un A_2 de tipus àlbic i amb un canvi textural abrupte entre el A_2 i el B_t argílic, que impliquen també unes condicions climàtiques més humides que les actuals.

El caràcter policíclic dels sòls és tractat detalladament més endavant en parlar del factor temps.

Els índexs climàtics i el sòl

El clima defineix l'estat mitjà del temps atmosfèric en una determinada àrea geogràfica i permet una caracterització dintre d'un cert marge d'oscil·lació. No es pot parlar de clima d'un any; cal considerar períodes més amplis per a definir el clima d'una zona. A més, canvia paulatinament al llarg de mil·lennis; així durant el Quaternari, per exemple, hi ha hagut variacions climàtiques importants que han anat afectant de forma decisiva la formació dels sòls. Els sòls més vells dels Països Catalans són pliocens i plioceno-quaternaris, com les crostes calcàries més antigues.

Els sòls de períodes geològics més antics poden donar informació sobre condicions paleoclimàtiques sota les quals es formaren, però en molts casos no ocupen ja actualment una posició en superfície.

Tot això posa de manifest les limitacions de les dades climàtiques disponibles, amb sèries de cent anys com a màxim, insuficients per a explicar la diversitat en la tipologia dels sòls. Els sòls poden no ésser monogenètics o monocíclics; per tant, les característiques del clima actual poden tenir poca relació amb uns trets adquirits en climes del passat, o ésser-ne totalment independents. Per exemple, si un sòl s'ha decarbonatat en unes condicions de clima humit, un canvi a clima més sec no podrà fer tornar enrere el procés; hi haurà, doncs, una manca de relació entre el clima i la morfologia del perfil. Per contra, si un sòl s'ha format en un règim no percolant, és a dir, amb un predomini de l'evapo-transpiració sobre les precipitacions (Gerasimov, 1960), i el clima canvia a més humit, es desencadenaran una sèrie de processos que poden arribar a estar en equilibri amb el clima imperant i les relacions podran ésser posades en evidència.

Un altre aspecte a considerar referent a les dades climàtiques és la importància dels valors extrems enfront de les mitjanes, malgrat que en moltes ocasions s'ha buscat interpretar la influència del clima a partir de les dades mitjanes. Als Països Catalans, en especial a la zona d'influència mediterrània, és freqüent que les pluges tinguin una intensitat molt elevada i estiguin mal repartides al llarg de l'any. Els va-

57 *DIAGRAMES EDAFOCLIMÀTICS de diversos indrets dels Països Catalans. Per a cada diagrama hom consigna la identificació de la localitat (nom de la població, comarca i altitud), les dades climàtiques anuals (precipitació total, temperatura mitjana i evapotranspiració potencial), les corbes de distribució de temperatures, precipitacions i evapotranspiració potencial (línies taronja, blava i verda, respectivament) i els valors de reserva teòrica d'aigua en el sòl (excés o drenatge climàtic en blau ple, recàrrega en blau ratllat, utilització de la reserva edàfica en groc, i dèficit en vermell), tot plegat inscrit en un sistema de coordenades les abcisses del qual recullen els mesos de l'any (de gener a desembre) i les ordenades les temperatures (en °C) i les precipitacions (en mm).*
[Dibuixos: Maber, sobre dades elaborades pels autors segons els criteris del SSS, 1975]



58 *LA FORMACIÓ D'HORITZONS ARGÍLICS ha estat molt freqüent en èpoques pretèrites arreu dels Països Catalans. Actualment es presenten com horitzons vermells enterrats sota dipòsits que han sofert cicles edafogènics posteriors, tal com recull la present imatge corresponent a sòls de Camp-redó (Baix Ebre).*
[Foto: Jaume Porta]

lors mitjans de la pluja poden donar molta menys informació que l'estudi dels valors extrems de període de retorn superior a l'any, que són els que permeten d'explicar determinats processos erosius, de cumulització o de desalinització. Les pluges d'agost són especialment erosives i poc eficaces per a augmentar la reserva d'aigua del sòl; una pluja menys abundosa, però més prolongada, serà menys erosiva i tindrà més incidència en les translocacions.

Els índexs climàtics han estat emprats per a determinar el paper del clima com a factor formador. Si bé amb les limitacions abans esmentades, els més freqüentment utilitzats són el climograma de Gaussen-Bagnoults o diagrama ombrotèrmic, que permet una primera estimació del nombre de dies secs, els balanços hídrics, l'*índex d'Arkley o de rentat*, que calcula tots els guanys mensuals d'aigua, és a dir, la suma de les diferències entre la precipitació (P) i l'evapo-transpiració potencial (ETP),

$$I = \sum_{i=1}^{12} (Pi - ETPi)$$

per a tots els mesos en què P-ETP > O.

Els règims d'humitat percolants presenten uns valors elevats de l'índex, mentre que els no percolants tenen índexs baixos, cosa que correspon a una manca de rentat i a la presència d'argiles de tipus 2:1 i d'horitzons petrocàlcics i càlcics aprop de la superfície. Aquests caràcters es compleixen a la majoria dels sòls dels Països Catalans de l'àrea mediterrània, en els quals el valor de l'índex és del voltant de 100, mentre que a la zona més humida d'Olot (Garrotxa), al front oriental humit, pot arribar fins a 360. L'*índex d'energia climàtica* o *de Bryssine* es calcula com el producte entre la precipitació anual mitjana (P, mm) i la temperatura mitjana anual (T), I = PT. Com més elevat és el valor de l'índex, més actiu és el clima enfront de l'alteració de roques i minerals. Als Països Catalans els valors són baixos: a les Garrigues, per exemple, val 6000 i per tenir una referència es pot indicar que en zones tropicals pot anar de 30 000 a 80 000.

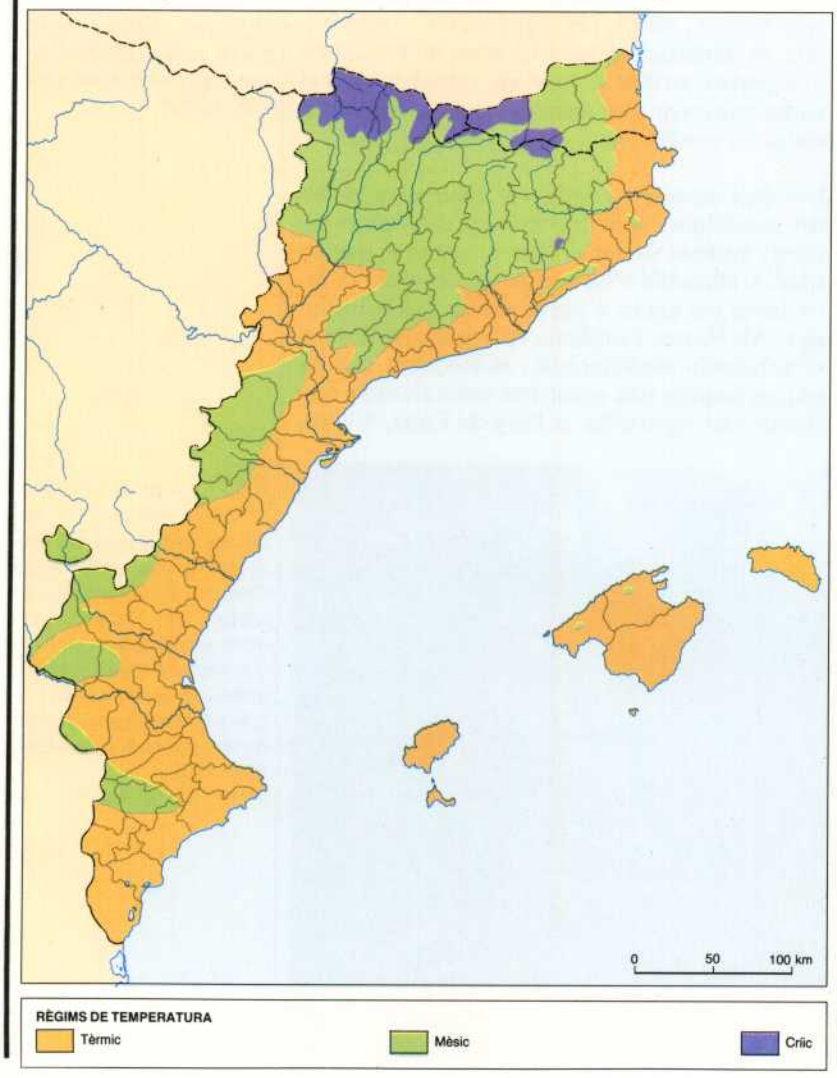
El clima i les propietats del sòl

La majoria de propietats del pedió són relacionades amb el clima. Així el tipus d'argila, oxihidròxids, contingut de matèria orgànica, presència o absència de carbonats, color, etc., depenen en major o menor grau del clima. Strakhov (1967) ha posat de manifest les relacions existents entre els macroclimes mundials, la meteorització i les característiques dels sòls, que permeten interpretar el que succeeix als sòls dels Països Catalans.

En el cas dels sòls monogenètics, hi ha una relació directa entre la pèrdua de carbonats del sòl i l'índex de rentat proposat per Arkley. Així, a molts indrets dels Pirineus i els Prepirineus, sobre materials calcaris, es troben sòls totalment decarbonatats a causa de l'acció del clima humit d'aquestes zones. Per contra, a Mallorca, per exemple, sobre el mateix tipus de roca, la pèrdua de carbonats queda restringida a la Serra de Tramuntana, per les seves precipitacions més elevades.

Les relacions entre la fondària d'aparició d'una crosta calcària i les condicions climàtiques proposades per alguns autors, han de considerar-se de molt poca validesa, ja que aquests horitzons són molt vells, és a dir, que han estat sotmesos a l'acció de diversos climes. D'altra banda, és molt corrent que el sòl actual que es troba al damunt de la costra hagi estat objecte de processos erosius i de dipòsit, complex conjunt de fets que falsegen les interpretacions precipitades.

La rubefacció provoca coloracions vermelles als sòls; pot ésser un caràcter de vellesa del sòl si bé també pot ésser deguda a condicions climàtiques contrastades.



59 *DISTRIBUCIÓ DELS REGIMS DE TEMPERATURA als Països Catalans, d'acord amb la tm anual de l'aire, més 1°C. [Cartografia: Maber, original dels autors]*

Els climes zonals i la taxonomia dels sòls

Les classificacions clàssiques de sòls donaven molta importància al clima. L'antic concepte de zonalitat aplicat a sòls ha estat abandonat a causa que era massa esquemàtic i la zonalitat i la intrazonalitat han estat revisades pels ecòlegs moderns que, en considerar el sòl com un sistema obert dins la teoria general de sistemes, han introduït els conceptes de clímax climàtic i de clímax estacional.

Els sòls *clímaxs climàtics* són aquells en què la seva gènesi depèn del macroclima i de la vegetació, mentre que la formació i l'evolució dels *clímaxs* estacionals són controlades per les condicions locals com roca mare i geomorfologia, entre d'altres. A partir de determinats umbrals ecològics, el clímax climàtic no té prou pes i deixa pas al clímax estacional. Als Països Catalans es pot afirmar que els sòls amb acumulacions de carbonats són clímax climàtic. Ara bé, la presència d'una crosta calcària a Prats (Cerdanya) no pot ésser interpretada de la mateixa manera que a Alacant, ja que és fora de la zona on les crostes són climàtiques. El fet que un mateix sòl sigui clímax estacional en uns indrets i clímax climàtic en d'altres, invalida la utilització d'aquests criteris en classificació de sòls. És per això que els esquemes taxonòmics moderns han deixat de basar-se en aquests conceptes, si bé inclouen el factor climàtic en algun nivell taxonòmic.

Els règims d'humitat i de temperatura

El clima del sòl es pot caracteritzar en base als règims de temperatura i d'humitat, tal com s'ha definit anteriorment. Atesa la manca de mesures directes, el *règim de temperatura* pot establir-se en base a la correlació entre la temperatura mitjana anual (tm) i la temperatura mitjana anual del sòl (tmas) a 50 cm, o bé a la profunditat d'aparició d'un contacte lític o paralític. L'expressió proposada és t mas = tm + 1°C, que caldrà modificar per a les zones muntanyoses en relació a l'exposició N o S i a la coberta vegetal. La distribució potencial dels règims de temperatura dels Països Catalans pot ésser establerta a petita escala de forma orientativa aplicant el criteri esmentat.

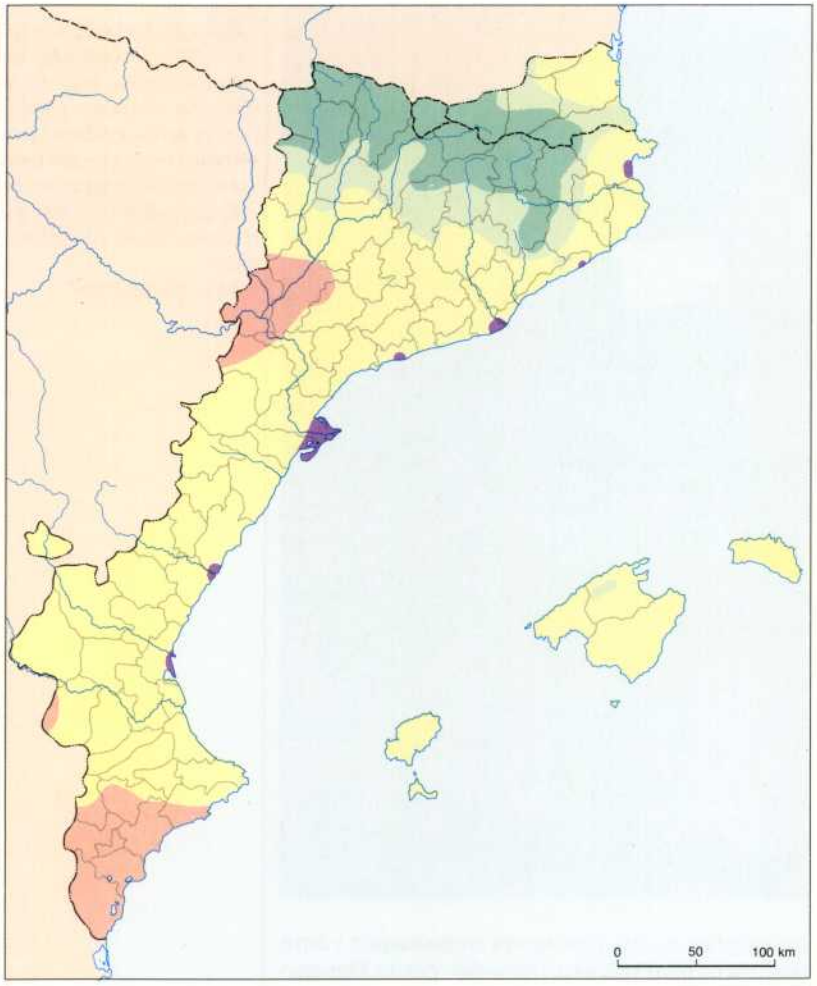
El *règim críic* es troba localitzat quasi exclusivament als Pirineus per sobre dels 1700 als 1800 metres d'altitud, és a dir, es correspon força bé als estatges alpí i subalpí; el sòl a l'hivern resta parcialment glaçat o amb coberta de neu. L'alteració de la roca mare és molt feble i dominen els processos de disgregació física de les roques: criotorbació i solifluxió. La descomposició de la matèria orgànica és baixa, encara que intensa a l'estiu. El *règim tèrmic* es distribueix al llarg de la franja costanera amb tendència a



60 *LA FORMACIÓ DE CROSTES CALCÀRIES en zones húmides, com és el cas de la il·lustrada, corresponent a Prats (Cerdanya), s'explica en funció de certes condicions litològiques locals i de les aportacions laterals d'aigües riques en bicarbonats.*
[Foto: Jaume Porta]

eixamplar-se cap a les terres meridionals i amb una clara penetració a l'interior per la Depressió de l'Ebre; comprèn també les Illes. El *règim mèsic* és el característic de la resta dels sòls dels Països Catalans, des dels Prepirineus, comarques interiors de Girona, Barcelona i Tarragona, s'estén per les serralades i arriba fins a les comarques de l'interior del País Valencià. Cal remarcar que els règims de temperatura tal com varen ésser definits pel SSS (1975) no matisen prou bé les característiques mediterrànies o de continentalitat del clima dels Països Catalans. El seu poder de resolució enfront dels processos genètics o del comportament del sòl resulta més aviat baix.

El nivell de coneixements sobre els *règims d'humitat* dels sòls dels Països Catalans és baix, a causa que no es disposa de mesures de camp. Cal conèixer els dies en què la secció control és humida o seca i la reserva d'aigua, és a dir, la quantitat teòrica d'aigua utilitzable per les plantes que pot emmagatzemar el sòl i que depèn sobretot de la textura i fondària. Aquest fet és important, ja que a les zones muntanyenques els sòls acostumen a ésser prims i per tant podran retenir poca aigua. Per contra, a les depressions els sòls són més profunds i de textures fines, cosa que suposa una reserva major. Això pot diversificar el règim d'humitat que seria d'esperar atenent només al paràmetre precipitació.



61 *DISTRIBUCIÓ DELS RÈGIMS D'HUMITAT als Països Catalans (assaig temptatiu), en funció de les dades disponibles actualment (1985), tanmateix escasses.*
[Cartografia: Maber, original dels autors]

Malgrat que el concepte de règim fou introduït als EUA per relacionar la resposta dels conreus amb temperatures i continguts d'humitat dels sòls, els règims també podran ésser emprats per a estudiar la gènesi dels sòls, atès que quan es disposi de dades mesurades al camp, aquestes seràn més reals que les referents al clima atmosfèric deduït a partir de dades d'observatori clàssic. La distribució potencial dels règims d'humitat dels sòls dels Països Catalans només es pot esquematitzar a petita escala i ésser utilitzada amb prudència, contrastant els resultats dels càlculs amb la realitat de l'ecologia, en especial les comunitats vegetals de les diferents contrades.

Cal tenir en compte que els règims d'humitat que es poden definir als Països Catalans segons els criteris del Soil Taxonomy System no diferencien bé els climes submediterranis del règim xèric, ni els climes de muntanya mitjana en transició a les zones de règim propiament údic. Catalunya queda, doncs, englobada potencialment dins del règim *xèric*, llevat d'una zona de règim *arídic* a la Depressió Central i de l'*údic* dels Prepirineus i dels Pirineus. Lázaro i col·laboradors (1978), en el seu mapa dels règims d'humitat de l'Espanya peninsular, diferencien subclasses dins de l'*ústic* i del *xèric* que matisen la manca de precisió d'aquests règims, però la proposta no resulta massa satisfactòria.

Tots els Pirineus axials i bona part dels Prepirineus són dominats pel règim údic associat a règims de temperatura críic i mèsic. A la muntanya mitjana i comarques de l'interior, com part de les comarques d'Osona, el Berguedà, la Garrotxa, entre d'altres, els sòls presenten règims d'humitat intermedis entre xèric i údic; es caracteritzen perquè tenen la secció control humida bona part de l'any (més de 45 dies consecutius) però amb un eixut estival que no arriba a mantenir-la seca 45 dies consecutius. Lázaro i collaboradors (1978) consideren aquesta situació com un règim d'humitat ústic (fals ústic). El règim arídic es localitza només a l'interior de la Depressió de l'Ebre, ocupant parcialment el Baix Cinca, les Garrigues i el Segrià, i tot l'extrem meridional dels Països Catalans, com per exemple el Vinalopó i el Baix Segura. La transformació en regadiu d'extenses zones del Segrià representa una modificació del règim arídic on l'aigua no és un factor limitant.

La major part del territori dels Països Catalans és ocupat per un règim d'humitat xèric, propi de l'àrea mediterrània. El règim *àqüic* es troba restringit a zones puntuals de maresmes i aiguamolls litorals i, al voltant dels estanys i els cursos dels rius. Es poden citar l'albufera de València, el delta de l'Ebre, els aiguamolls de l'Empordà, etc.

L'alteració dels minerals depèn del clima. A les zones de règim *arídic* l'aigua esdevé un factor limitant de l'alteració, malgrat les elevades temperatures. A causa de l'evapo-transpiració és molt més gran que la precipitació, es produeixen migracions de sals per ascensió capillar que es dipositen en superfície formant eflorescències de color gris blanquinós de sulfats i clorurs, com en indrets de la Llitera, el Baix Cinca o el Vinalopó. En aquestes condicions dominen els entisòls i els aridisòls.

El règim *xèric* típic dels sòls mediterranis es caracteritza per un contrast estacional molt acusat entre una època seca-càlida i una d'humida. En aquestes condicions l'alteració dels minerals és considerable però incompleta, poden neoformar-se petites quantitats d'esmectites, i són molt aparents els òxids de ferro rubefactats. No obstant això, dominen encara els minerals heretats de tipus il·lític en el complex d'alteració. Sobre substrat calcari la decarbonatació en règim xèric és lenta i requereix molt de temps, i dóna lloc a horitzons càlcics; aquest fet és molt aparent en sòls antics que acostumen a tenir concrecions calcàries en forma de



62 *EL RÈGIM AQÜIC caracteritza les zones humides dels Països Catalans, on la presència d'una capa freàtica prop de la superfície condiciona l'evolució dels sòls, com és el cas de la plana de Puçol (Horta).*
[Foto: C. Roquero]

nòduls, crostes i horitzons petrocàlcics. La matèria orgànica es mineralitza força bé però la humificació es veu frenada sobretot per l'excés de calci.

Sota règim *údic* els processos de decarbonatació són intensos amb eliminació completa del carbonat en la majoria de sòls. L'acidificació del sòl progressa amb rapidesa sobretot en aquells sòls formats sobre materials silícics pobres en argila. En aquestes condicions climàtiques pot produir-se la il·luviació d'argila. Als Països Catalans el règim údic va associat al de temperatures críic i mèsic. En règim perudicocríic i sobre materials prèviament acidificats pot produir-se la migració d'humus associat a ferro i alumini, fet que es dóna de forma molt restringida a Catalunya en certs indrets del Pirineus axials. L'alteració química dominant és la hidròlisi àcida parcial dels minerals primaris. El complex d'alteració és dominat per minerals poc transformats de tipus il·lita i clorita. En aquestes condicions és molt freqüent la formació d'un epipedió úmbric que reposa directament sobre el substrat, perfil *AC*, com per exemple en els criumbrepts lítics i èntics (ràNkers alpins); pot haver-hi endopedió càmbic (haplumbrepts) o més rarament argílic (udalfs) o espòdic (humods).

L'*associació údico-mèsic* en raó d'un règim de temperatures més suau permet una alteració lleugerament major que en el cas anterior. La humificació és bona, i es donen humus de tipus mull-àcid i/o mesotròfics. En aquestes condicions es poden trobar epipedions úmbrics, més rarament mol·lics i òcrics si la quantitat de matèria orgànica és insuficient per a enfosquir el sòl. Acostuma a haver-hi un endopedió càmbic: per tant es poden trobar haplumbrepts, distrocrepts, eutrocrepts i udolls. Més rara és la presència d'endopedió argílic, que portaria als hapludalfs. Són també molt freqüents els udortents.

Les condicions climàtiques generals es veuen modificades pel relleu, sobretot en les serralades d'eix E-W que determinen l'aparició de vessants solells més eixuts que les obagues. Aquest fet es reflecteix clarament en la vegetació i es manifesta també a nivell del sòl per un menor contingut orgànic en el solell, així com una major rubefacció a causa d'un contrast de temperatures més acusat en relació a les obagues.

El vent és un factor climàtic que pot modificar el règim d'humitat a les zones on bufa amb intensitat i de forma habitual com a l'Empordà, el delta de l'Ebre i les Illes. Produeix una dessecació elevada de la superfície i un cert refredament. El vent com a agent erosiu té importància en les àrees nues de vegetació.

1.3 Els materials originaris

Els Països Catalans presenten una diversitat litològica notable amb materials de naturalesa i grau de consolidació molt diferenciats. Així, hi ha roques més consolidades com el granit, el gneis, el basalt, etc., entre les de tipus silícic; o bé calcàries, dolomies i certs gresos, entre les carbonatades. Es pot trobar també tot un conjunt de materials poc consolidats, de natura molt variada, com són les arenes, els llims, les argiles, les lutites, els gresos, els guixos, les ar-

coses, etc. La major part dels Països Catalans són constituïts per materials sedimentaris carbonatats, fet que té una gran influència sobre els tipus de sòls.

El sòl es troba situat al damunt de roques i és el resultat de la transformació d'una o de diverses d'elles, que reben el nom de *roca mare* o *material originari*. A la bibliografia es reserva l'expressió *roca mare* per designar la roca a partir de la qual es forma el sòl, mentre que *material originari* és un concepte més ampli: és l'estat inicial del sòl, és a dir, l'estat del sistema al moment zero de la formació del sòl. D'acord amb això, el material originari tant pot ser un sòl anterior que comenci a evolucionar sota unes noves condicions del medi, com una roca dura prèviament meteoritzada, saprolita, o bé una regolita, roca no consolidada. En el camp, de vegades, serà difícil establir la diferència, per la qual cosa alguns autors utilitzen aquests termes com a sinònims.

En el cas d'una rendzina (xerortent) del Garraf, es pot parlar que la calcària subjacent és la roca mare. En el Camp de Tarragona, els sòls antics desenvolupats sobre glacis han servit de material originari dels sòls actuals. Els dipòsits al·luvials actuen com a material originari.

Per analitzar la influència d'un factor formador com és el material originari, en l'evolució i el tipus de sòl generat, es pot esquematitzar la litologia dels Països Catalans en tres tipus de materials tenint en compte la seva naturalesa química; el *silícic àcid*, amb un contingut de SiO_2 superior al 55%, com el granit, la diorita, el gneis, la pissarra, la quarsita, etc., que formen bàsicament els Pirineus axials, i les serralades Prelitoral i Litoral catalanes; el *silícic bàsic*, amb un contingut inferior de sílice, com és el basalt, el gabre, etc., i que es troba restringit a la Garrotxa i determinats indrets de la Selva o el Gironès; i el *calcari*, amb un contingut variable de carbonats, principalment calcita i dolomita, integren la major part del territori i particularment les serralades exteriors i inferiors dels Pirineus, les serralades de Penyagolosa, la Subbètica, i la de Tramuntana, i la pràctica totalitat de les depressions catalanes, valencianes i mallorquines; a aquest material es poden associar el guix i altres sals més solubles.

La composició mineralògica del material originari, les propietats físiques (cohesió, permeabilitat i porositat), les químico-físiques i les cristal·loquímiques, condicionen l'estabilitat i l'evolució o transformació dels propis materials i del sòl. La influència del material originari, en general, és gran quan el sòl és jove, i va disminuint a mesura que actuen els processos formadors.

FRACCIÓ LLEUGERA (d < 2,9) (% en pes)		FRACCIÓ PESANT (d > 2,9) (% en nombre)	
quars	*70-95*	*miques*	*0-70*
feldspats	*5-30*	*zircó*	*0-60*
		amfíbols	*0-60*
		piroxens	*0-50*
		turmalina	*0-50*
		granit	*0-30*
		olivina	*0-30*
		andalusita	*0-25*
		rutil	*0-15*
		brokita	*0-10*
		estaurolita	*0-8*
		epidota	*0-6*
		titanita	*0-3*
		distena	*0-2*

63 *COMPOSICIÓ MINERALÒGICA dels sòls de Catalunya, en termes percentuals orientatius. [Font: dades elaborades pels autors]*

Els materials i la mineralogia del sòl

Els sòls dels Països Catalans de textura arenosa o argilo-arenosa, mineralògicament són constituïts per una fracció arena on els minerals lleugers Pe < 2900 kg/m^3, fonamentalment quars i en menys quantitat feldspats i miques, són totalment dominants. Entre els minerals pesants es pot considerar que als sòls de Catalunya predomina l'associació zircó-turmalina-rútil-granat, derivats de la presència de roques silíciques àcides, com en el cas de les províncies de Tarragona, Barcelona i determinades zones de Girona, entre les quals es poden esmentar Banyoles i Figueres.

Els piroxens i l'olivina, amb alguns vidres volcànics, deriven de materials basàltics i són també característics d'una part important de les comarques gironines com la Garrotxa i la Selva. Finalment, a Lleida és considerable l'associació zircó-turmalina amb importants quantitats de miques, i també la zircó-granat-rútil, com en el cas de sòls de les Borges Blanques, Bellpuig, Sant Llorenç de Morunys etc. També cal remarcar dins la subfracció pesant la presència de minerals opacs alterats, amb predomini de goethita, hematites, etc.

En el cas de la fracció fina o argilosa, es manifesta en els Països Catalans un predomini d'il·lites o argiles micàcies, en presència de vermiculita i clorita resultants de les transformacions dels minerals micacis, i també de petites quantitats de caolinita i montmorillonita, si bé en determinats casos la montmorillonita pot ésser dominant tot presentant-se junt a la hal·loysita i com a conseqüència d'alteracions més profundes. Acompanyen sempre les argiles quantitats significatives d'òxids i hidròxids de ferro.

La presència en el sòl de materials d'alteració com els òxids de ferro, determinades argiles i minerals opacs alterats, així com la proporció en què es troben el quars i els feldspats, indiquen una alteració moderada dels minerals primaris, especialment dels ferromagnesians, com

l'augita, els piroxens, els amfíbols, l'olivina, la biotita, etc. Aquesta alteració i els tipus de sòl que s'han desenvolupat en els Països Catalans, no són, però, únicament dependents dels materials originaris, sinó també d'altres factors difícilment separables com el clima, la vegetació i el temps, ja que influeixen en les vies o els processos que actuaran sobre els materials.

• ***Sòls desenvolupats sobre material silícic àcid***

Aquests sòls són constituïts bàsicament per proporcions variables de quars, feldspats i miques, juntament amb altres minerals com l'hornblenda, l'hematies, etc., en menor quantitat, i l'acció predominant sota un clima de tipus mediterrani és l'alteració física que, en el cas particular del granit o similars, origina un material arenós poc consistent, el *sauló*, que possibilita la percolació i el rentat dels productes resultants d'una alteració química. Aquesta alteració és, però, moderada i afecta fonamentalment els feldspats, especialment els calco-sòdics, que són els més abundosos. Això possibilita la neoformació de petites quantitats d'argila de tipus caolinita i fins i tot de montmorillonita, i l'alliberament de calci, potassi, etc., que normalment són rentats, però que també poden carbonatarse per l'acció del CO_2 ambiental, originant en determinats indrets llur precipitació com a carbonats.

El procés d'alteració química més característic és, però, la transformació moderada de les miques i en particular la biotita, que genera argiles heretades de tipus illita i clorita, netament predominants, que poden evolucionar en part cap a vermiculita o fins i tot montmorillonita. Les miques, l'hornblenda i les argiles originades poden donar com a producte d'alteració quantitats moderades d'òxids de ferro més o menys rubefactats que donen tonalitats rogenques al sòl. Com a conseqüència, els sòls originats presenten en general caràcter moderadament àcid o neutre, textura de tipus arenosa, contingut d'argiles baix, predominantment heretades i de tipus illita, acompanyats de quantitats significatives però variables d'òxids i hidròxids de ferro.

L'activitat biològica és també moderada i la matèria orgànica és feblement incorporada a la fracció mineral, generant horitzons superficials poc estructurats i profunds. El complex de canvi té una activitat moderada i és poc saturat en bases. El color dominant és bru, amb tonalitats vermelloses més o menys intenses, a causa del baix contingut en matèria orgànica, de la presència variable d'òxids de ferro i de les condicions climàtiques de caràcter estacional contrastat.

L'evolució edàfica màxima d'aquests sòls és representada per un perfil de tipus *ABC*. L'horitzó *B*, però, pot ésser un horitzó d'acumulació de determinats constituents emigrats d'horitzons superiors, si la pluviometria és suficientment alta. En aquestes condicions poden generar-se alfisòls caracteritzats per la presència d'un B_t o horitzó d'acumulació d'argila, que es troben a la zona de la Selva i en altres indrets de la Depressió Prelitoral, serralades Prelitoral i Litoral catalanes; o bé poden formar-se sòls amb caràcter espòdic i espodosòls, molt localitzats a determinats punts de l'alta muntanya pirinenca, en els quals són la matèria orgànica i els òxids de ferro els que es mobilitzen en profunditat per donar horitzons B_h, B_{ir} o B_{hir} d'acumulació d'humus, sesquiòxids o ambdós respectivament. També el pendent pot ésser un factor determinant, ja que l'erosió, sobretot a l'alta muntanya, no permet més que una evolució de tipus *AC* o *AR*, la qual dóna lloc a entisòls o inceptisòls (humbrepts).



64 *A LES GRANODIORITES del Maresme es formen sòls com l'ilustrat en la present imatge. [Foto: M. Teresa Felipó]*

Per altra banda, el clima pot limitar o restringir el desenvolupament màxim del sòl. En determinats casos, tampoc no hi ha un *B* d'acumulació en haver-hi una pluviometria baixa, però sí un B_2 que mostra variacions texturals i estructurals conseqüència d'una moderada alteració, formant-se inceptisòls, concretament els ocrepts i els umbrepts, aquests darrers caracteritzats per una incorporació en profunditat de matèria orgànica humificada.

• ***Sòls desenvolupats sobre material silícic bàsic***

Quan el material originari és de tipus silícic bàsic com en el cas del basalt, s'ha de tenir en compte la important presència d'olivina, així com d'amfíbols i de piroxens. Aquest material de tipus ferromagnesià és, en condicions climàtiques mediterrànies, molt més alterable químicament, i allibera major quantitat de Ca^{2+} i

Mg^{2+}, així com d'òxids de ferro i de sílice. En aquestes condicions, per neoformació, es poden generar notables quantitats d'argiles d'alta *CIC*, tipus montmorillonita, que pot arribar a ésser dominat, i en menys quantitat, vermiculita. A més, en climes més humids, es formen materials amorfs com l'al·lofana, que pot evolucionar parcialment cap a la formació d'halloysita, argila de presència característica en aquests tipus de sòl.

Per altra banda, l'alt contingut en bases no permet en aquests casos un rentat de productes d'alteració, però sí l'acumulació i la rubefacció dels òxids de ferro que poden donar coloracions rogenques més intenses, a la vegada que impedeixen també les migracions en profunditat d'argiles. La matèria orgànica no pot mobilitzar-se, ja que la riquesa en bases genera un complex húmico-argilós força estable que repercuteix en una millor incorporació de la matèria orgànica en profunditat i una millor estructuració dels horitzons superficials.

L'activitat biològica és afavorida en aquestes condicions. Això pot conduir a la formació de sòls neutres o moderadament bàsics, amb horitzons superficials amb prou contingut en humus, profunditat i bona estructuració, identificables per llur coloració fosca, aireació i formació d'agregats estables, a conseqüència de la presència d'un humus mull de tipus evolucionat. A la vegada solen presentar horitzons intermedis d'alteració, amb canvis estructurals i texturals, rics en argiles montmorillonítiques i òxids de ferro, però no de tipus il·luvial. Aquesta acumulació moderada d'argila és generada per una alteració *in situ*, no pas per rentat dels horitzons superiors. Es pot també trobar una certa acumulació calcària, si paral·lelament a l'alteració és afavorida la carbonatació de les bases alliberades.



65 *ELS LAPIL·LIS VOLCÀNICS són materials fàcilment alterables que donen lloc, en climes de tipus húmid, a sòls fèrtils rics en aluminosilicats amorfs; per contra, en zones de clima contrastat, com és el cas de Sant Dalmai (Selva), generen sòls amb neoformacions d'argila.*
[Foto: Robert Cruañas]

El perfil en el grau de màxim desenvolupament pot ésser en aquests casos de tipus *ABC*, i si l'epipedió és mòllic el sòl serà un mol·lisòl. En cas que la pluviometria permeti un rentat de bases suficient per a la dessaturació parcial del complex ($V < 50\%$), es formaran els umbreps, que són, però, minoritaris enfront dels ocrepts, caracteritzats per no satisfer les exigències dels epipedions mòl·lics o úmbrics. Si el sòl presenta importants quantitats de material amorf fins al punt de tenir propietats especials com la tixotropia, baixa densitat aparent, etc., s'inclouran dins l'important subordre dels andepts, on es manté com en els casos anteriors el perfil AB_2C o bé *A* (úmbric) *C*. Finalment, i amb menor grau d'evolució, es poden trobar entisòls on la seqüència d'horitzons de tipus *AC* o *AR* i, fins i tot, amb absència d'horitzons edafogenètics ben diferenciats. Totes aquestes variants poden trobar-se en les zones volcàniques de la Garrotxa i en punts de la Selva i del Gironès.

- ***Sòls desenvolupats sobre material calcari***

La baixa estabilitat del material originari de naturalesa *calcària*, molt abundant als Països Catalans, afectarà el procés de meteorització. Les accions de l'aigua i de l'anhídrid carbònic són suficients per a solubilitzar-lo marcant la dinàmica i evolució dels sòls que s'hi desenvolupen.

L'alteració d'aquests materials proporciona una quantitat molt important de Ca^{2+} i Mg^{2+} al medi, que exerceix un extremat poder estabilitzador dels col·loides organominerals. Com a conseqüència, i considerant la presència d'altres minerals silicatats (feldspats, amfíbols, piroxens, etc.) alterables en grau moderat sota les nostres condicions climàtiques, es poden generar per neoformació petites quantitats de montmorillonita i vermiculita, sempre, però, minoritàries respecte de les argiles heretades de tipus il·lita procedents de l'alteració de les miques. Paral·lelament, aquesta presència massiva de bases afavoreix l'activitat biològica i la formació d'un humus poc evolucionat de tipus mull calcari que dóna lloc a horitzons superficials ben estructurats i de suficient profunditat. El complex de canvi està normalment saturat de bases, impedint la mobilització d'argiles, òxids i humus i, per tant, la formació d'horitzons d'il·luviació, però no del $CaCO_3$, que per formació de bicarbonat soluble pot ésser mobilitzat fora del perfil, si la pluviometria és suficient, o generant



66 *LA CARSTIFICACIÓ DE LES CALCÀRIES del massís de Garraf comporta abundants formes de dissolució. La composició i duresa de la roca condiciona el desenvolupament del sòl, el qual només es manté a les escletxes estàlvies d'erosió. [Foto: Josep M. Alcañiz]*

horitzons d'acumulació B_{ca} o bé K a una certa profunditat en zones no tan humides.

L'alteració química dels minerals silicatats de tipus primari i també de les argiles presents en el medi pot alliberar notables quantitats d'òxids de ferro que són bloquejats en el perfil, ateses les condicions de pH bàsic, tot afavorint així la fersialitització. Sota un clima de contrast estacional, els òxids alliberats es rubefacten i donen coloracions vermelloses als sòls, que poden arribar a ésser molt intenses en aquests casos.

Com a conseqüència de tot això, els sòls de naturalesa bàsica solen ésser de textura fina, argil·lollimosa, i presenten un gran domini d'il·lites heretades, enfront de la montmorillonita i la vermiculita originades per neoformació, així com quantitats variables d'òxids de ferro. La matèria orgànica ben incorporada facilita la formació d'horitzons superficials foscos ben estructurats i estables, a causa de la presència d'importants quantitats de calcària, especialment en zones de clima àrid o semiàrid; o també coloracions molt rogenques (*terra rossa*), com a conseqüència d'un alt contingut en òxids



67 *EXEMPLE DE RENDOLL (rendzina) desenvolupat sobre conglomerats calcaris, a Morella (Alt Maestrat). [Foto: C. Roquero]*

de ferro, generalment format en condicions climàtiques pretèrites.

El màxim grau d'evolució edàfica és representat també per un perfil de tipus *ABC*. Si l'horitzó de diagnòstic superficial reuneix les condicions esmentades per a ésser considerat mòllic, pertanyerà a l'ordre dels molHisòls, mentre que si la pluviometria permet una descarbonatació prèvia, poden generar-se els umbrepts (inceptisòls). En el cas que les condicions no fossin molt favorables, l'existència d'un *B* d'alteració permet classificar-los com ocrepts o *bruns calcaris*, segons la nomenclatura de la CPCS. Quan el grau d'alteració és minoritari per accions erosives o de pendent, es formaran sòls de perfil *AC* o *AR* sobre material calcari, que en el cas que l'epipedió mantingui les característiques de mòllic podran ésser considerats com a rendolls, correlacionables amb les rendzines, o com a ortents en el cas contrari.

Independentment del tipus de material mineral, en els Països Catalans es troben sòls orgànics (Histosòls) molt localitzats a mulleres dels Pirineus i aiguamolls litorals.

L'estratificació, la laminació i la formació del sòl

La relació entre la disposició de la roca, estratificació o laminació en roques sedimentàries, o esquistositat en metamòrfiques, i el pendent del terreny, condiciona el desenvolupament del sòl.

La penetració de l'aigua i de les arrels es veu afavorida en roques poc permeables si els plans d'estratificació o d'esquistositat són verticals o subverticals, la profunditat efectiva del sòl serà més gran que si hi ha una coincidència amb la inclinació del vessant. En aquest darrer cas, els materials que constitueixen la roca, a mesura que van essent alliberats per meteorització, són transportats vessant avall per l'aigua d'escolament superficial.



68 *LA COINCIDÈNCIA DELS PLANS D'ESQUISTOSITAT de la roca i la inclinació del pendent provoca el lliscament dels materials superficials, cosa que accelera els processos erosius fins a fer aflorar la roca nua, com el cas d'aquests talussos esquistosos del Montseny. [Foto: Jaume Porta]*



69 *EL LLISCAMENT DELS MATERIALS EDÀFICS a favor de vessant ("creep") provoca deformacions en les plantes llenyoses i dificulta les operacions de correlació entre els horitzons superiors i el material subjacent, com és el cas d'aquests pendissos de les fagedes del Montseny. [Foto: Josep M. Alcañiz]*

1.4 La geomorfologia

La varietat orogràfica dels Països Catalans dóna una gran diversitat a la distribució dels sòls en el paisatge, cosa que obliga a treballar a escales grans quan es vol arribar a una representació precisa. És possible establir relacions de dependència entre els elements del relleu o unitats geomorfològiques i les unitats edàfiques. Quan hi ha una correspondència total hom parla d'*unitats morfoedàfiques*, concepte introduït per Gaucher. Els elements del relleu a considerar són els definits pel microrelleu i el mesorelleu; amb un enfocament descriptiu les principals formes possibles són les divisòries d'aigües o interfluvis, ja siguin les crestes, les plataformes o les unitats en forma de cadira de montar; els vessants, que poden ésser rectilinis, còncaus, convexos, en glacis o afacetats; els canals o fons en *V*, en bressol, o bé planes i, finalment, els replans, com les terrasses, els bancals, les grades, etc.

En general, el pendent és un factor contrari al desenvolupament del sòl, atès que afavoreix el transport de material. És per això que la inclinació d'un vessant és un dels factors de control del desenvolupament del sòl; els altres, pel que fa a la geomorfologia, són l'orientació del vessant, la posició del pedió al llarg del vessant i la presència i les característiques d'una possible capa freàtica.



70 *LA GEOMORFOLOGIA CONDICIONA el tipus i les utilitzacions del sòl, tal com es desprèn de l'observació de la present il·lustració (terrasses del riu Magre, a la Plana d'Utiel), que mostra un sòl forestal desenvolupat en el vessant (xerocrepts calcixeròl·lic), i un sòl de plana conreat (xerocrept fluvèntic). [Foto: Juan Sánchez]*

Les catenes, les toposeqüències i les topofuncions

Milne (1935) introduí el concepte de *catena* per definir una seqüència de sòls desenvolupats a partir d'un material originari semblant, sota unes condiciones climàtiques semblants, però que, a causa que ocupen diferents posicions en el paisatge, presenten característiques variades. Atès que el terme catena és massa restrictiu, a nivell més general es parla de *toposeqüència*, que no fa esment que el material originari sigui el mateix.

La idea de la *topofunció*, que relacionaria el relleu i les propietats dels sòls, considerats constants la resta de factors, és difícilment sostenible, perquè la geomorfologia és un factor interdependent en la majoria dels casos, ja sigui amb el clima, el material originari, els organismes o el temps. Això explica que no hi hagi una dependència biunívoca entre les formes del territori i els sòls.

En un vessant desenvolupat sobre lutites o sobre dipòsits terrígens de granulometria fina a la Segarra o la Cerdanya, els sòls no seran idèntics a causa de la influència del clima. Si el que varia és la litologia, un vessant sobre calcària dura no permetrà sinó desenvoiupar sòls de poc gruix, mentre que sobre una lutita hi haurà sòls més profunds.

Els sòls i el paisatge geomorfològic

El sòl és un sistema dinàmic obert, és a dir, que pot tenir entrades i sortides d'energia i de materials. La geomorfologia condiciona aquests "inputs"-"outputs", per la qual cosa controla la gènesi, el comportament i la utilització del sòl. Alguns exemples de toposeqüències permetran evidenciar millor aquestes interdependències.

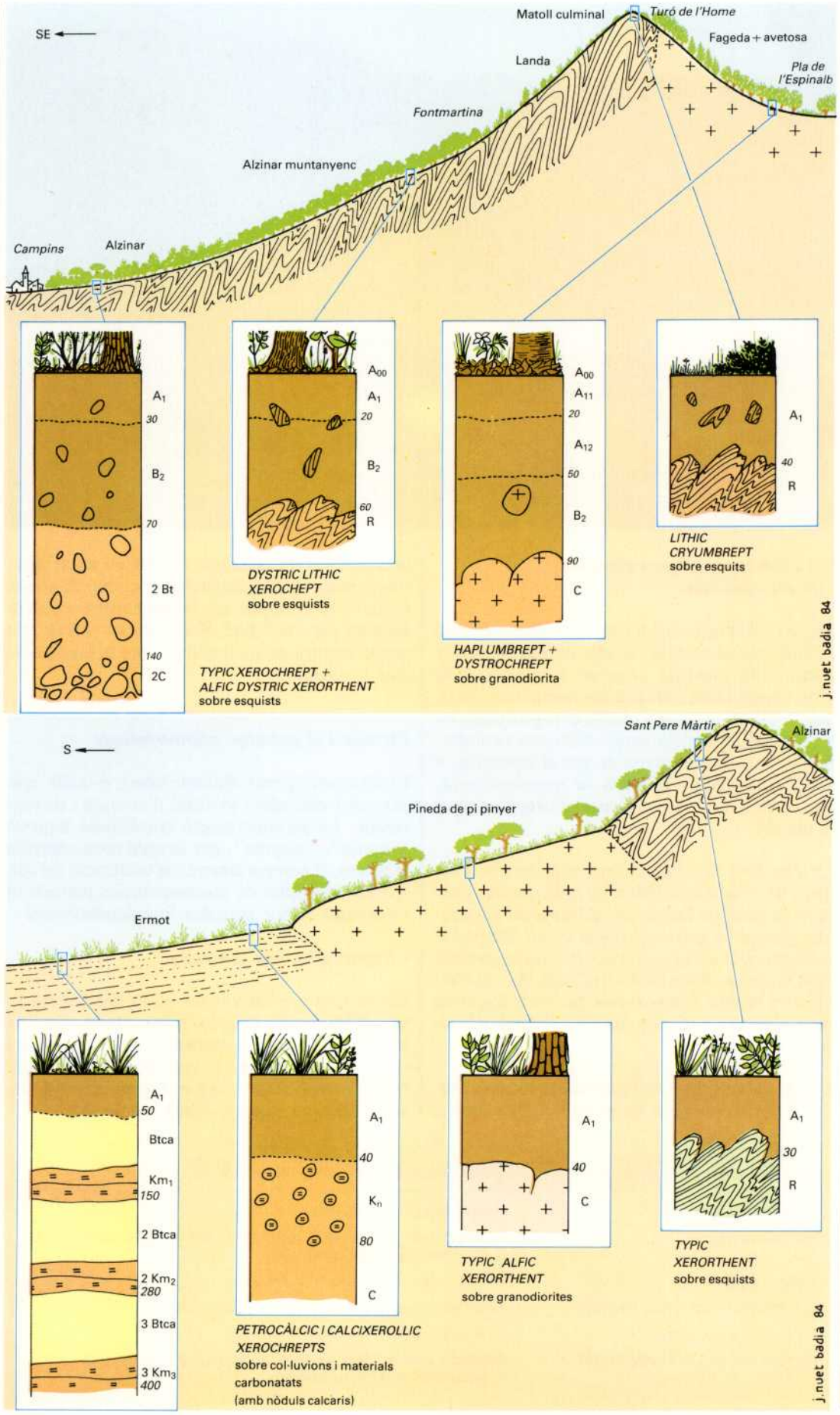
- ***Toposeqüència al Montseny***

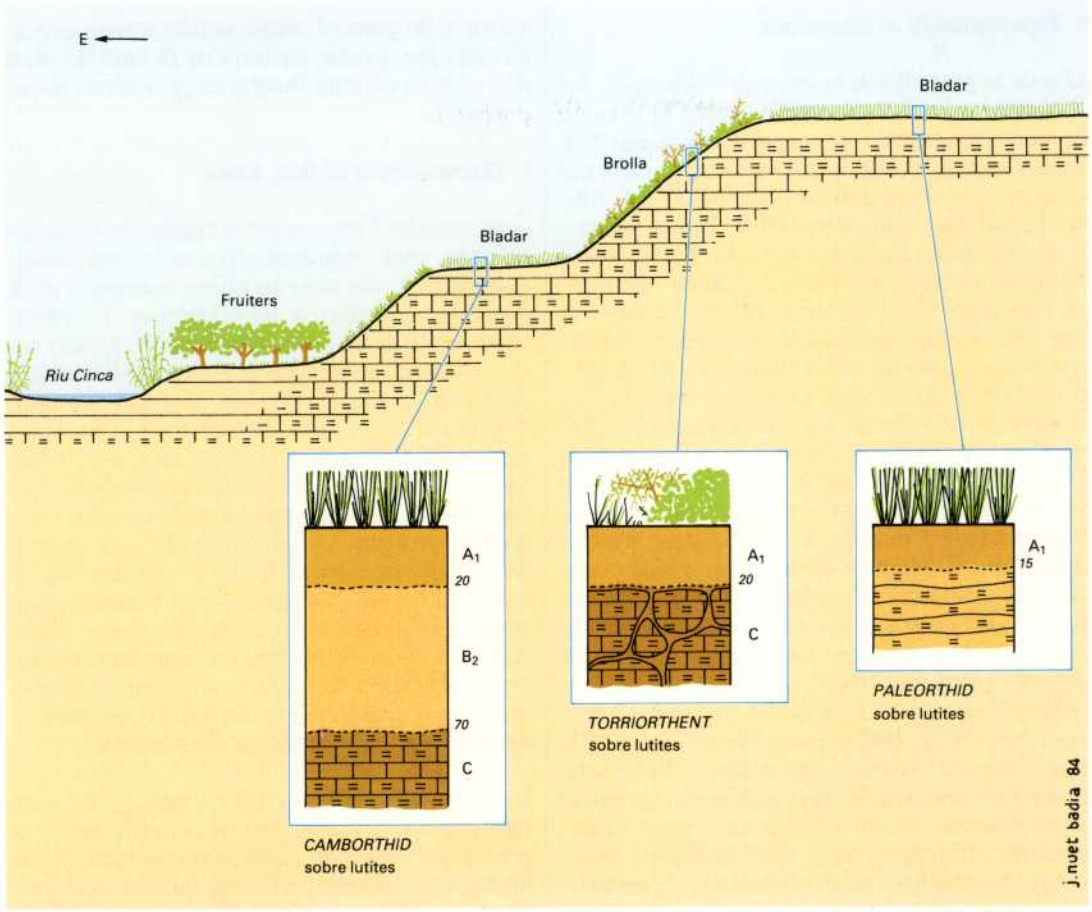
Els factors que intervenen en la distribució de sòls al Montseny (Vallès Oriental) són, per una banda, la posició geomorfològica i per l'altra el substrat, el clima i la vegetació. Una primera característica del relleu és l'orientació del vessant, amb un marcat efecte solell-obac.

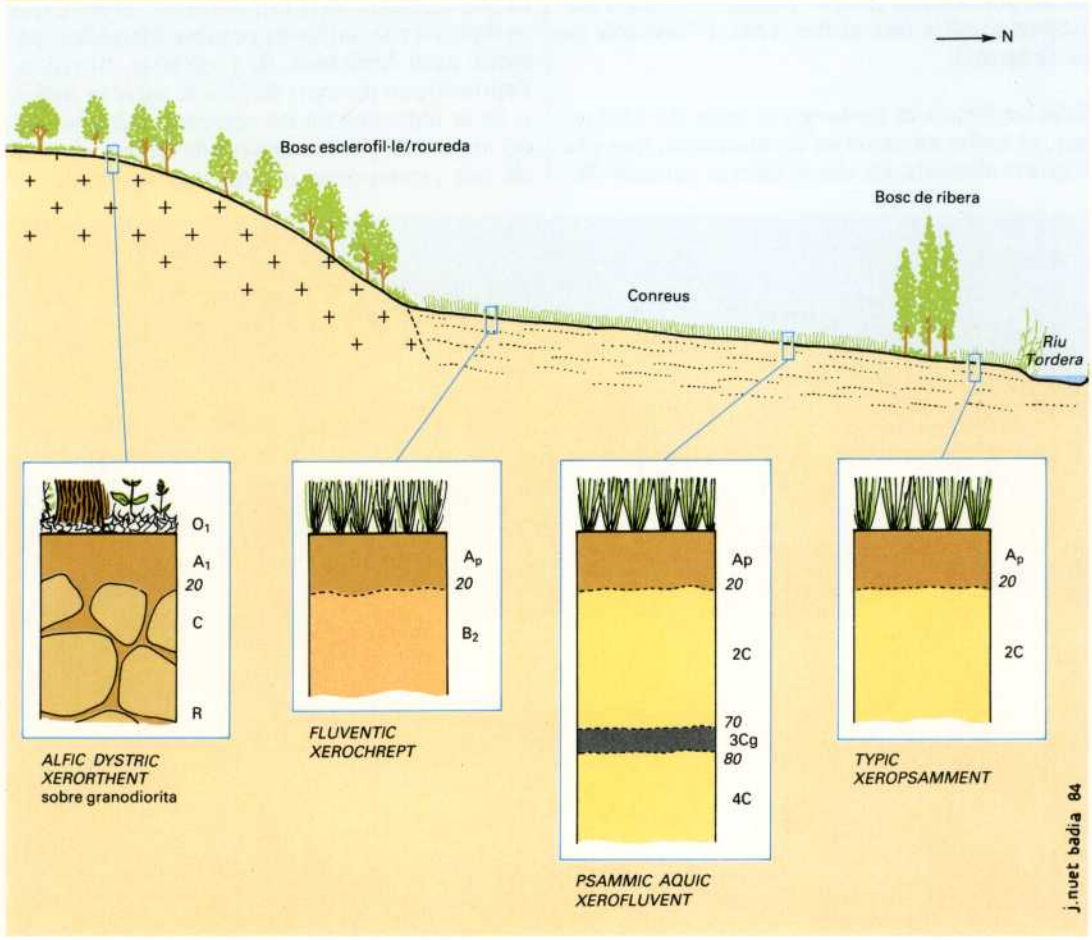
UNITATS GEOMORFOLÒGIQUES	CATEGORIES DE SÒLS PREDOMINANTS
Plataforma estructural	Entisòl: *ortent* (caràcter lític)
Plataforma residual	Endopedió *petrocàlcic* (amb règim d'humitat arídic: *paleòrtid*; amb règim d'humitat xèric: *xerocrept*)
Vessant rectilini	Entisòl: *ortent* (per salinitat: *torriortent*)
Vessant abancalat (antic i estable)	Inceptisòl: *ocrept* (amb endopedió càlcic o càmbic)
Fons de vall ben drenat	Endopedió *càmbic*; inceptisòls: *ocrepts*
Fons de vall amb drenatge limitat	Evidència de moviment de guix i conductivitat més gran de 2 mmho/cm; aridisòl: *cambòrtid*

71 *CORRELACIÓ ENTRE les unitats geomorfològiques i les categories de sòls a les Garrigues. [Font: dades dels autors]*

72 *TOPOSEQÜÈNCIES FITOEDÀFIQUES al Montseny (a dalt) i al Barcelonès (a baix); per a cada secció edàfica s'indiquen els horitzons i les profunditats (en cm).*
[Dibuixos: J. Nuet i Badia original dels autors]







73 *TOPOSEQÜÈNCIES FITOEDÀFIQUES al Baix Cinca (a dalt) i a la Selva (a baix); per a cada secció edàfica s'indiquen els horitzons i les profunditats (en cm). [Dibuixos: J. Nuet i Badia, original dels autors]*

• ***Toposeqüència al Barcelonès***

Des de la part alta de la serra de Collserola, del Tibidabo a Sant Pere Màrtir, fins a la mar, hi ha una seqüència de sòls condicionada pels processos geomorfològics del vessant, al llarg del qual afloren de la part somital a la distal; filites (Tibidabo), micacites (Observatori Fabra), i micacites que formen l'aureòla de metamorfisme de contacte del batòlit granític que aflora més avall (Solé Sabarís, 1964). En aquesta part del vessant dominen els processos erosius, per la qual cosa els sòls pertanyen a la categoria dels entisòls, ja sigui xerortents típics (*Typic Xerorthents*) o bé xerortents àlfics (*Alfic Xerorthents*), resultants aquests de l'erosió d'alfisòls anteriors. Des de la Bonanova hi ha un vessant en glacis format per dipòsits calcaris, la procedència dels quals pot ésser un dipòsit de vessant (l'alteració de les plagiòclasis explicaria la presència de carbonats), o bé ésser un dipòsit eòlic procedent de la plataforma costanera en períodes de regressió marina. En aquests glacis han tingut lloc processos de mobilització-acumulació de carbonats que, en forma de nòduls es poden observar en alguns talls a la Diagonal (palau de Pedralbes), o bé en acumulacions cimentades (per exemple a les pistes universitàries, on són visibles tres crostes superposades, són xerocrepts calcixeròlics i xerocrepts petrocàlcics respectivament). L'existència de paleocanals posa en evidència restes d'horitzons argílics més antics, com a l'entrada de la Diagonal.

Si la seqüència es prolonga al delta del Llobregat, es troba un canvi en els materials, que són dipòsits al·luvials, els sòls presenten caràcter fluvèntic i, en general, estan suficientment evolucionats per a tenir un horitzó B_2 càmbic, és a dir, són xerocrepts fluvèntics (*Fluventic Xerochrepts*).

• ***Toposeqüència al Baix Cinca***

A la zona de Fraga es pot estudiar una toposeqüència molt representativa dels sòls desenvolupats en una zona de clima semiàrid i molt repetida al Segrià i a les Garrigues. La plataforma de l'W de Fraga té sòls amb horitzó petrocàlcic que preserven la forma de l'erosió; a causa del règim arídic, són aridisòls del grup dels paleòrtids (*Typic Paleorthids*). El vessant és sotmès a processos erosius intensos, els sòls tenen un perfil *AC*, són torriortents (*Typic Torriorthents*), que han estat repoblats amb pins, amb un creixement molt lent a causa de les condicions extremadament desfavorables per la manca d'aigua. Als replans dels vessants complexos, és possible trobar pedions amb horitzons *Ap* òcric, B_2 càmbic i *C*; són aridisòls del grup dels cambòrtids (*Typic Camborthids*) que, localment, poden presentar problemes de salinitat (*Typic Camborthind* fase salina).

La plana al·luvial del Cinca té sòls joves, amb variacions morfològiques en el perfil segons la posició en relació al canal actual del riu. S'han identificat sòls amb un llitatge molt marcat, perfil *AC 2C3C...*, és a dir, fluvents, mentre que en dipòsits més antics és possible identificar pedions amb horitzons B_2 i caràcter fluvèntic. També hi són presents els sòls de caràcter àqüic, si bé la hidromorfia no representa una limitació important per als conreus de fruites, que són els que predominen a tota aquesta plana.



74 *ELS HORITZONS PETROCÀLCICS POTENTS (crostes calcàries) són indici de vellesa en el sòl, com és el cas dels ilustrats, procedents de Benissa (Marina Baixa).*
(Foto: C. Roquero)

• ***Posició topogràfica i nivells freàtics***

Independentment del tipus de material mineral, en els Països Catalans es troben sòls orgànics (histosòls o torbes), si bé molt localitzats a mulleres dels Pirineus i aiguamolls litorals (delta de l'Ebre, per exemple), on hi ha una capa freàtica permanent molt a prop de la superfície.

La posició geomorfològica condiciona també la formació de sòls hidromorfs minerals, glei, pseudo-glei, és a dir, el caràcter *àqüic*, típic de zones baixes mal drenades, si bé no exclusiu d'elles.

1.5 L'activitat biològica

En parlar de la influència dels organismes sobre la formació del sòl es fa referència a l'acció de la vegetació, la microflora, la fauna i l'home. Els organismes intervenen principalment aportant matèria orgànica al sòl, descomponent-la i participant en la formació d'humus. També influeixen sobre la mescla de materials, sobre les propietats físiques en millorar l'estructura i afavorir la porositat, i sobre el subministrament de nutrients disponibles al sòl.

Els organismes intervenen activament en la formació del sòl, com per exemple en la colonització de roques. Líquens, molses i plantes rupícoles en coixinets inicien la colonització, ocupen esquerdes buscant el lloc on agafar-se. Sobre les seves restes s'instal·len altres plantes, petits animals i microorganismes que continuen aportant matèria orgànica i permeten una meteorització més intensa del substrat. Quan es tracta de materials no consolidats, com sediments al·luvials o col·luvials la colonització és més ràpida fins a arribar a una situació de clímax. En general hi ha, però, un desfasament entre clímaxs edàfics i el de la vegetació. La vegetació arriba abans a una situació d'equilibri amb el medi que no pas el sòl, ja que els processos edafogènics solen ésser més lents que els biològics.

L'acció de la vegetació

Com acabem de comentar, la vegetació té un paper fonamental en els processos edafogènics. En efecte, les plantes intervenen com a agents directament formadors de sòl (humus), però també com a factors condicionadors de l'actuació d'altres agents (acció mecànica de les arrels, per exemple).

• ***Vegetació i morfologia del perfil***

La vegetació té una influència molt directa sobre el tipus i la distribució de la matèria orgànica del sòl; per tant afecta la seva morfologia. Les aportacions de matèria orgànica són directament relacionades amb la biomassa vegetal, per la qual cosa els sòls de les zones més humides dels Països Catalans contenen més matèria orgànica.



75 *ELS ÉSSERS VIUS, ESPECIALMENT ELS VEGETALS, actuen de pioners en la colonització de les roques, i són un punt de partida fonamental en la formació del sòl.*
[Foto: Josep M. Alcañiz]

La distribució de la matèria orgànica en el perfil depèn del tipus de formació vegetal. Els boscos caducifolis, per exemple les fagedes, formen horitzons O_1 i O_2 ben desenvolupats, com a la zona de Santa Fe del Montseny o a les obagues del Ripollès. També es formen sota formacions arbòries denses com les avetoses dels Pirineus, i en algunes reforestacions fetes amb *Pinus radiata* o amb pi roig (*P. sylvestris*), molt denses. En aquestes formacions forestals el contingut orgànic decreix ràpidament en passar l'horitzó A_1.

La presència d'horitzons O_2 als Països Catalans no és gaire generalitzada. Solen trobar-se als Pirineus, associats a zones de temperatura mitjana baixa que no permeten una degradació ràpida de les restes vegetals o que, per la seva composició, són poc descomponibles, com per exemple a les comunitats subalpines de pi negre amb neret i nabiu. També en alguns indrets molt localitzats dels Prepirineus, sobre calcàries dures i tarteres, on les restes vegetals es dipositen sobre la roca i es transformen en una massa negra que contrasta molt amb el color clar de les roques, constituint el que Kubiena anomenava *tangel*. Se'n poden citar exemples a la serra del Catllaràs i al Pedraforca, entre altres indrets. També es troben perfils amb horitzons orgànics de tipus O_2 gruixuts a indrets més meridionals i eixuts, com a les pinedes amb boixerola (*Arctostaphylos uva-ursi*), prop del Caro (ports de Beseit).

Les formacions vegetals esclerofil·les poc denses, com la garriga i les màquies mediterrànies, tenen tendència a originar distribucions irregulars de les restes vegetals a la superfície del sòl. La repartició dels arbres i arbusts en aquestes formacions fa que, només sota i al voltant d'ells, puguin formar-se horitzons O_1 de considerable gruix, mentre que les superfícies entre

arbres i arbusts siguin més pobres en horitzons orgànics i en nutrients.

Les formacions vegetals herbàcies es caracteritzen per una distribució més uniforme de la matèria orgànica que origina horitzons A_1 força gruixuts, amb absència d'O_1. Això és causat sobretot per la incorporació de matèria orgànica dins el sòl procedent de les arrels de les herbes que es renoven anualment. En aquests horitzons hi ha una intensa activitat biològica, afavorida per l'excreció de substàncies orgàniques de les arrels, cosa que s'anomena *efecte rizosfera*. L'humus resultant acostuma a tenir relacions C/N baixes a causa de la intensa activitat mineralitzadora i fixadora de nitrogen. Aquest tipus de pedió es troba en molts indrets dels Països Catalans, sobretot en prats mesòfils, de dall, i fenassars de zones més eixutes.

A l'alzinar mediterrani es passa d'un horitzó O_1 prim, d'1 a 3 cm, a un A_1 en el qual la matèria orgànica disminueix ràpidament a mesura que la profunditat va augmentant.

- ***Acció del sistema radicular***

Un altre aspecte important en les relacions vegetació-sòl és la distribució i el tipus d'arrels. Les plantes herbàcies, sobretot les gramínies, formen una xarxa molt densa, de petites arrels que ocupen sobretot l'horitzó A_1 donant lloc a allò que els pagesos denominen la gleva. Aquests tipus d'arrels afavoreixen la construcció d'una estructura granular ben desenvolupada. Els umbrepts dels Pirineus (rànkers alpins i subalpins) mostren exemples magnífics d'estructuració i retenció del sòl, fins i tot en pendents molt elevats.

Les formacions arbòries presenten diversos tipus de distribució de les arrels. Uns arbres, com el faig (*Fagus sylvatica*) i el pollancre (*Populus*), tenen les arrels força superficials i extenses que ocupen sobretot l'horitzó A_1. En uns casos (com el del faig, arbre de zones humides) la causa és de tipus nutricional, ja que en les fagedes la dinàmica dels nutrients va associada a la descomposició de la matèria orgànica i, per tant, les arrels se situen a la zona més favorable al respecte. En canvi, l'horitzó B és poc colonitzat per les arrels i és fàcilment erosionable quan aflora en un talús. És freqüent observar en talls de carretera com l'horitzó A_1 penja en el buit a causa de la desaparició del B, més fàcilment erosionat per la manca d'arrels suficients per a defensar-lo. La distribució superficial de les arrels de pollancre és causada principalment per problemes d'aireació, ja que solen estar en zones de capa freàtica superficial i aquest arbre no suporta condicions d'anòxia.

Els pins són arbres resistents adaptats a viure en condicions difícils, presenten una distribució d'arrels més irregular, en general són més fondes i penetren fins i tot per les esquerdes de les roques. En aquest sentit són arbres que fixen bé el terreny, sobretot quan la densitat de peus no és massa elevada; en canvi, si no hi ha un estrat herbaci que cobreixi la superfície del sòl, aquest es pot erosionar ràpidament i queden al descobert les arrels dels pins. Els boscos de pi roig, molt abundants als Prepirineus, sobretot al Berguedà i el Ripollès, presenten una bona combinació d'estrats: l'herbaci, que recobreix la superfície del sòl, i l'arbori, que amb les seves arrels més fondes fixa bé el terreny.

- ***Vegetació i tipus d'humus***

El tipus de vegetació influeix en la composició de la virosta, però no té un paper decisiu en la determinació del tipus d'humus, ja que aquest depèn fonamentalment de factors climàtics i del substrat. Aquest fet ha estat demostrat per les investigacions de Vallejo i Hereter sobre granodiorites al Montseny (Bech i col·laboradors, 1981). No obstant això, hi ha certs tipus de vegetació, sobretot resinoses i ericàcies com la bruguerola (*Calluna vulgaris*) i el neret (*Rhododendron ferrugineum*), que donen restes de difícil biodegradació. Contenen substàncies inhibidores del creixement dels microorganismes, i són pobres en N, és a dir, tenen una relació C/N elevada que en dificulta la descomposició. Aquest fet i les condicions climàtiques de la zona afavoreixen la formació d'un humus brut de tipus "mor" i "moder".

S'ha parlat molt dels efectes negatius sobre els sòls de les plantes d'eucaliptus a Catalunya; malgrat la dificultat de realitzar experiències que en un curt temps donin resultats clars, el que s'ha pogut demostrar en treballs de laboratori és el poder inhibidor dels lixiviats de fulles sobre el creixement d'alguns microorganismes edàfics i per a la germinació d'algunes plantes. Un altre aspecte negatiu és l'assecament del sòl produït pel fort consum d'aigua dels eucaliptus, cosa que els fa desfavorables per a altres plantes. En general no s'han realitzat investigacions sistemàtiques sobre aquests temes.

- ***Vegetació i protecció contra l'erosió***

La vegetació té un paper esmorteïdor de les oscil·lacions tèrmiques i d'humitat a causa de l'efecte pantalla que protegeix la superfície del terreny de l'acció directa de la radiació solar. La presència d'un estrat herbaci dens és una protecció immillorable contra l'erosió en zones de pluges intenses i en les zones muntanyoses de precipitacions elevades. La conservació d'un sòl significa mantenir tots els seus horitzons i es contraposa al concepte de rejoveniment, que succeeix quan es trenca el pedió per erosió.

En zones de bosc, a més de l'efecte protector de la pròpia vegetació, la presència d'una capa contínua de virosta i d'un horitzó O_2 ric en miceli fúngic té uns efectes molt positius com a coberta aïllant de fluctuacions tèrmiques i esmorteïdora de l'impacte provocat per les gotes de pluja: per tant, juga un paper molt important contra l'erosió. Aquest efecte, anomenat "mulching", actua també reduint les pèrdues d'aigua per evaporació i facilitant la distribució d'aigua durant el procés d'humectació.

L'eliminació de la fullaraca, del tapís herbaci o d'una part del sòl per a la construcció de carreteres i pistes d'esquí o per a tales, pot tenir greus repercussions sobre la conservació del sòl. En el cas que la pertorbació de l'ecosistema no hagi afectat excessivament el sòl, la recolonització és ràpida i el sòl pot arribar a la situació d'equilibri en un temps breu, ja que conserva l'herència de l'etapa anterior. Quan l'erosió ha estat molt intensa, la degradació del sòl pot esdevenir total e irreversiblement dins de l'escala de temps humana: aquesta és una situació força freqüent a la zona mediterrània.







La transformació de sòls naturals en conreu provoca un desequilibri per la desprotecció del sòl i per la disminució del contingut orgànic, amb clares implicacions sobre l'estructura, la porositat, la infiltració i, en definitiva, en la susceptibilitat del sòl a l'erosió, si no es prenen les mesures adients per a evitar-ho.

L'acció de la fauna

La fauna del sòl és molt diversa amb accions importants, tant pel que fa a la morfologia com al comportament del pedió.

El oligoquets, principalment els lumbrícids (cucs de terra) són molt beneficiosos per a la fertilitat del sòl i juguen un paper important en la seva formació. Intervenen en la descomposició de la matèria orgànica, la barregen amb la matèria mineral i contribueixen a formar estructures de tipus granular amb les seves excrecions o turrícules. Les galeries i les dejeccions, en forma de turrícules o altres, contribueixen a incrementar la porositat. Les turrícules contenen més N que el sòl que les envolta.

Els artròpodes edàfics, sobretot els àcars, col·lèmbols, aranèids, coleòpters i dípters formen una complicada xarxa tròfica que intervé en la descomposició de la matèria orgànica. Uns fragmenten les fulles i tiges que cauen a terra, excreten copròlits, faciliten l'atac dels microorganismes i contribueixen a l'estructura amb les galeries que obren i amb els seus excrements.

76 *L'ACTIVITAT DE LA FAUNA EDÀFICA amb les galeries que excava, la terra que remou, les seves deposicions, etc. (de les quals coses les ilꞏlustracions mostren alguns exemples) contribueix poderosament a l'estructuració i a l'increment de la porositat del sòl.*
[Foto: Jaume Porta i Josep M. Alcañiz]

1.6 El temps

Els sòls com a sistemes dinàmics estan en un canvi continu. Algunes propietats varien d'una forma observable al llarg d'un dia, com la temperatura, el contingut d'humitat, etc. Ara bé, els processos edafogènics requereixen temps, i si bé els canvis són imperceptibles a l'escala humana, hom pot afirmar que el sòl passa per una etapa de joventut, després de maduresa i, finalment, de vellesa. Els trets morfològics i les propietats del pedió permeten inferir en quina d'elles es troba un sòl determinat.

És per això que en l'enfocament ambiental de Jenny, el temps és un altre dels factors formadors si bé, a l'igual que amb els altres, les relacions amb les característiques d'un sòl han estat establertes únicament a nivell qualitatiu. És difícil donar xifres concretes del temps necessari per a la formació d'un sòl, car l'evolució depèn de la intensitat dels processos formadors.

La durada del procés edafogènic

Com a exemple de sòl molt recent es pot citar el que es comença a formar al damunt d'un dipòsit al·luvial, després d'una riuada i, per posar una fita superior orientativa, es poden indicar els límits del Quaternari o del Plio-quaternari per als sòls més vells dels Països Catalans. És a dir, en certa manera, l'escala de temps dels processos edafogènics es pot situar entre la dels fenòmens biològics i els geològics. L'evolució dels sòls més antics s'ha vist afectada pels canvis climàtics, que han tingut una influència decisiva sobre l'erosió i l'edafogènesi.

Els climes càlids i humits acceleren el desenvolupament dels sòls, a l'igual que si el material originari està poc consolidat o és pobre en carbonats; si el sòl es troba en una superfície geomorfològica estable els processos edafogènics es poden prolongar durant llargs períodes. Per contra, els climes freds i secs, la vegetació de prat, un material impermeable o dur o ric en carbonats o una posició en un vessant d'inclinació forta, són factors que frenen la formació del sòl.

A les zones muntanyenques dels Països Catalans de morfologia accidentada, es pot afirmar, amb caràcter general, que dominen els sòls joves, formats en el període climàtic actual, l'Holocè, ja sigui al Rosselló, al Berguedà, a Castelló de la Plana o a Mallorca sobre calcàries; o a la zona de Riudecols (Baix Camp) sobre esquists, etc. En canvi, a les plataformes residuals de les Garrigues, als glacis del Camp de Tarragona o de l'Horta de València, a les depressions del Vallès-Penedès, a la Conca de Barberà, al Baix Ebre (en general, en superfícies protegides de l'erosió, a més dels sòls actuals) és freqüent trobar-hi sòls molt antics, formats en períodes climàtics diferents de l'actual, generalment de perfil molt complex, reflectint diferents episodis edafogènics superposats, desenvolupats en materials dipositats sobre un sòl inicial enterrat, amb possibles discontinuïtats erosives entre ells.

Es pot establir una diferenciació en els sòls segons els temps que hagin durat els processos formadors; així, hi ha els *sòls actuals* o postglaciars que Duchaufour (1971) anomena *monocíclics* o *monogenètics*; i d'altra banda els *paleosòls* que poden haver-se conservat enterrats sense evolucionar sota un dipòsit (*sòls fòssils*), o bé poden haver anat evolucionant sota els successius climes; en aquest cas són sòls *policíclics* o *poligenètics*, el sòl anterior actua com a material originari del següent.

Als Països Catalans es poden citar nombrosos exemples de paleosòls, inclosos en formacions geològiques antigues. Així, les bauxites de la Llacuna (Anoia) són paleosòls formats en condicions de clima càlid i humit típic de les zones tropicals actuals. Hom ha dut a terme investigacions sobre paleosòls als materials de l'Estefanià, del Permià i del Buntsandstein dels Pirineus de Lleida (Gisbert, 1983 i Gascon, 1984). Aquests paleosòls poden ésser utilitzats com indicadors paleoclimàtics d'èpoques geològiques passades. Els principals paleosòls descrits per Gascon són ferralsòls, característics d'una edafogènesi en condicions tropicals humides, andosòls, gleisòls i vertisòls. Els processos identificadors són paleocarstificacions de calcàries i rubefaccions; a les unitats vermelles permianes hom ha descrit horitzons petrocàlcics, així com sòls amb caràcters vèrtics.

Als Països Catalans els rodoxeralfs (sòls rojos) han servit de material originari per a molts dels xerocrepts calcixeròl·lics i xerocrepts petrocàlcics actuals; se'n poden citar exemples des d'Alacant al Rosselló. Els sòls que tinguin més de 10 000 anys han evolucionat sota més d'un clima.

Es considera un *sòl enterrat* tot aquell que té al damunt un dipòsit de més de 50 cm, segons el SSS (1975), per la qual cosa el terme enterrat no indica necessàriament que es tracti d'un sòl vell. A totes les planes d'inundació poden haver-hi sòls enterrats a causa dels dipòsits de sediments sobre sòls que generalment són poc evolucionats: un perfil típic a la plana al·luvial del Llobregat a Abrera, és *Ap 2C 3C* ... com a conseqüència de les aportacions de materials per inundacions successives.

L'edat dels sòls

L'edat d'un sòl no és, evidentment, la dels materials geològics a partir dels quals es desenvolupa. El sòl ocupa una posició en el paisatge, i la seva edat vindrà condicionada per la de la forma en la qual es produeix l'edafogènesi.

De forma esquemàtica, els sòls dels Països Catalans es poden agrupar, en funció de l'edat, des dels materials no edafitzats als paleosòls. Els materials no edafitzats són formats per les roques més pedruscalls, tarteres, cingleres, etc., en superficies geomorfològiques molt inestables.

Un grau d'evolució més avançat és el presentat pels sòls amb endopedió argílic de perfil *A* B_t *C*. La formació d'un horitzó argílic, en les condicions climàtiques de la major part dels Països Catalans, requereix molt de temps, a més dels de la descarbonatació prèvia del perfil en el seu cas. Per tant, molts dels alfisòls que hi ha actualment tenen un marcat caràcter relicte i probablement s'han format sota unes condicions climàtiques més càlides i humides que les actuals. És molt freqüent que aquests sòls esti-

guin parcialment erosionats, havent perdut l'horitzó A; per tant l'horitzó B_t aflora en superfície. Són exemples d'aquests sòls els rodoxeralfs ("terra rossae") sobre calcàries dures, els haploxeralfs i, més típicament, els palexeralfs amb crosta calcària ben desenvolupada. Com ja s'ha indicat queden restes d'alfisòls a molts indrets dels Països Catalans sobre tot tipus de substrat. Els sòls antics i complexos presenten una superposició de diferents episodis edafogènics explicables per les fluctuacions climàtiques hagudes durant el Quaternari, són sòls policíclics, on per causa de la intensa erosió per pendent excessiu, desforestació, clima extrem, etc., no hi ha formació estable de sòls. També cal incloure en aquest grup els al·luvions i col·luvions molt recents, llits d'inundació dels rius, etc.

Un nivell més avançat d'evolució és el constituït pels sòls recents: quan les condicions climàtiques i geomorfològiques ho permeten, en vessants controlats pel transport, la velocitat del qual es inferior a la de meteorització, s'instal·la una vegetació que de mica en mica contribueix a la formació de sòls incipients en desenes o centenars d'anys. Els sòls formats en aquestes condicions pertanyen a l'ordre dels entisòls i en part al dels inceptisòls.

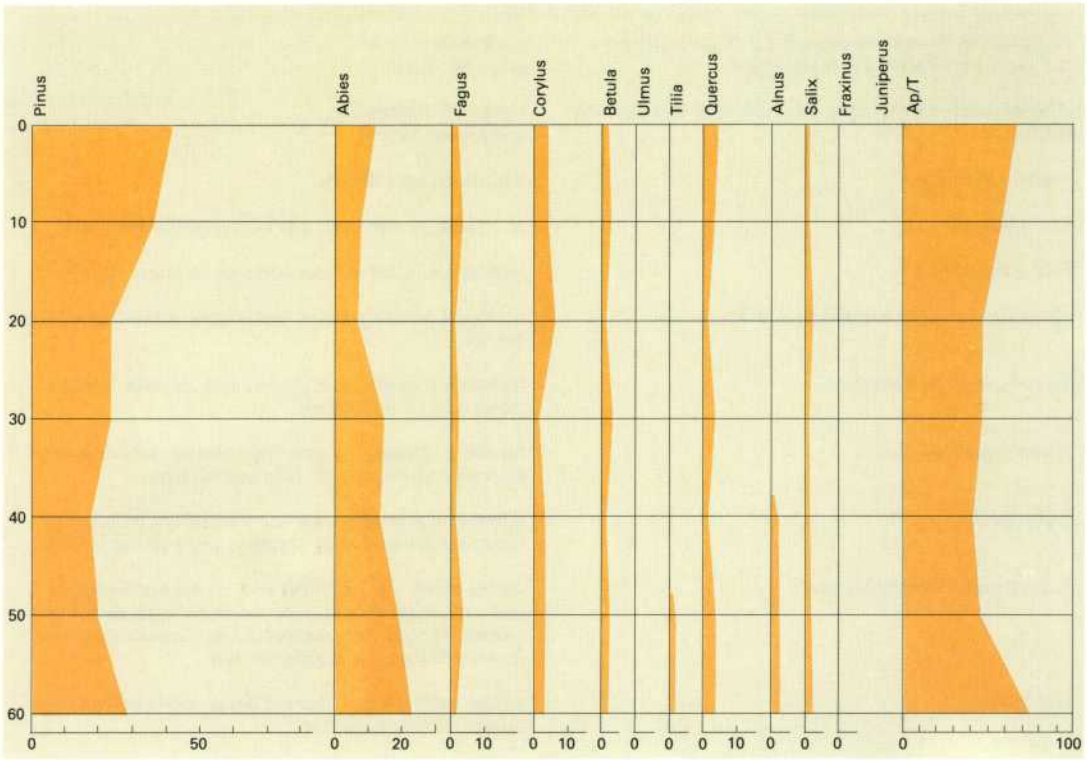
A la muntanya abunden els ortents: criortents, udortents, xerortents, segons que el que frena el desenvolupament del perfil sigui el clima, el pendent acusat, o les aportacions de col·luvions. Quan en posicions més estables hi ha una diferenciació clara d'un epipedió úmbric o òcric —més rarament als Països Catalans un mòl-lic—, és quan apareixen respectivamnt els umbrepts, els ocrepts o els rendolls. Aquests són sòls de perfil AC de vegades amb un B_2 càmbic. Sobre al·luvions i altres materials recentment dipositats es poden trobar fluvents, aqüents i psaments.

Els sòls de desenvolupament intermedi són aquells de perfil ABC amb endopedions de tipus càmbic; són molt abundants als Països Catalans i corresponen a bona part de les *terres brunes*, per exemple xerocrepts, eutrocrepts, distrocrepts i algun xeroll o hapludoll. Encara que molt rars als Països Catalans, podrien incloure-s'hi els sòls podzolitzats dels Pirineus, que tenen un horitzó espòdic poc aparent i que poden tenir edats de formació de pocs milers d'anys.

La lentitud de formació dels processos edàfics en comparació amb l'escala de temps humana ha de fer reflexionar seriosament sobre la necessitat de considerar el sòl com un recurs no renovable, que cal explotar amb criteri i protegir-lo de l'erosió, i del qual cal evitar la destrucció.

La datació dels sòls

Són evidents les dificultats d'atorgar una edat absoluta als sòls, especialment als més antics, i de relacionar-los amb períodes climàtics concrets. Existeixen molt poques dades de datació de sòls per radioisòtops als Països Catalans. Cal recórrer a mètodes indirectes. Els més generalitzats són els basats en les edats de restes his-



77 *DIAGRAMA POL·LÍNIC obtingut d'un sòl rankeriforme (criumbrept) de la vall d'Aiguamoix (Vall d'Aran), a 1760 m, desenvolupat a partir de la fase climàtica subatlàntica fa uns 1000-1500 anys. Hom hi indica la profunditat, en m, a què han estat preses les mostres, i el % de pol·len trobat per a cada una de les espècies consignades. L'anàlisi pol·línica permet estudiar els camins de vegetació que han tingut lloc durant el Quaternari i obtenir una datació relativa de sòls amb estudis comparatius de perfils pol·línics més profunds fets en indrets pròxims.*
[Dibuix: Maber, a partir de J. Roure, 1981]

tòriques o arqueològiques; en la utilització de dades geològiques tals com criteris geomorfològics sobre morrenes als Pirineus, o terrasses fluvials a altres indrets, o bé l'existència de fòssils. La tefrenologia, és a dir, l'estudi de cendres, seria aplicable a les proximitats de les zones volcàniques de la Garrotxa, del Gironès o dels Columbrets, sempre que prèviament s'hagin datat les erupcions. La pal·linologia és especialment útil en medis anaeròbics i àcids, mentre que en medis bàsics el pol·len es conserva malament i acaba per desaparèixer.

2. Els processos edafogènics als Països Catalans

2.1 Consideracions generals

L'acció interactiva dels diferents factors de formació, clima, vegetació, litologia, temps, etc., condiciona totalment l'evolució del sòl. Les formes o vies per les quals aquesta evolució es duu a terme s'anomenen *processos formadors* o *edafogènics* i poden ésser agrupats o classificats segons diversos criteris. Considerant la natura dels fenòmens i dels components implicats en els sòls dels Països Catalans, es poden agrupar en meteorització, transformacions orgàniques, solubilització, precipitació i intercanvi iònic, processos redox, transformació i neoformació d'argiles, transformacions fèrriques, migracions i translocacions, engruiximent d'epipedions i, finalment, els processos d'edafotorbació.

2.2 La meteorització

La meteorització tal vegada pugui ésser considerada com el procés inicial en la formació del sòl. Es defineix com el procés d'alteració de les roques i minerals que es troben a la superfície de la Terra perquè en aquests emplaçaments els materials estan sotmesos a unes condicions termodinàmiques molt diferents de les de formació i a l'acció dels agents externs. Aquest procés és condicionat per la natura del material (composició i estructura), les condicions climatològiques (temperatura i precipitació), i l'activitat biològica (espècies i nombre d'individus). En major o menor intensitat es dóna arreu i afecta de forma important determinats sòls dels Països Catalans.

78 *PROCESSOS FORMADORS DOMINANTS I TRETS PRINCIPALS dels sòls de les Garrigues. Alguns processos suposen una limitació important per a determinats usos edàfics, mentre que d'altres en milloren la potencialitat.*
[Font: dades dels autors]

PROCÉS FORMADOR	PROPIETATS QUE EN RESULTEN
Acumulació de matèria orgànica a la part superior del perfil per efectes de la vegetació	horitzó *A* epipedió òcric
Alteració del material original i formació d'estructura edàfica	horitzó *B* d'alteració endopedió càmbic
Erosió superficial	pèrdua de part del sòl
Cumulització	aportació de materials a la part superior del perfil
Biopediotorbació	Estructuració del sòl per acció de la fauna del sòl
Criotorbació (poca incidència a la zona)	acció del gel-desgel que repercuteix sobre l'estructura del sòl
Translocació de carbonats	formació d'horitzons d'acumulació calcària, endopedions càlcic i petrocàlcic
Translocació de guix	formació d'horitzons amb guix que no supera a la comarca la morfologia de guix vermiforme
Salinització	eflorescències salines en superfícies; naixement deficient, rendiments molt afectats, mort de les plantes
Salinització amb alcalinització	efecte alcalí; ocupació pel sodi d'una porció important dels llocs d'intercanvi; empitjorament de les propietats físiques amb destrucció de l'estructura; rendiments minvats per l'excés de sals
Gleïficació	asfíxia radicular per excés d'aigua; perfil del sòl amb taques d'hidromorfisme

La capa de roca alterada o meteoritzada es denomina *regolita*, si s'ha format a partir d'una roca tova, tal com una lutita, i *saprolita*, si procedeix d'una roca dura. En el cas del granit, com per exemple a Caldes de Montbui (Vallès) i determinats indrets del Maresme, la capa alteradada (sauló) té un gruix de metres i el pas a la roca fresca és gradual. Els basalts, en canvi, com pot apreciar-se a Castellfollit de la Roca (Garrotxa), originen un límit o front d'alteració totalment abrupte. En general es pot afirmar que, sobre materials durs, la meteorització precedeix a la formació del sòl.

Cal, però, diferenciar entre una meteorització o alteració de *tipus físic*, consistent en una disgregació o fragmentació mecànica que no comporta canvis en la composició química o mineralògica, i una meteorització o alteració de *tipus químic*, que provoca una transformació en la natura dels materials inicials. Ambdós processos, però, actuen d'una forma conjunta potenciant-se mútuament, si bé hi ha determinats condicionants que poden afavorir l'un o l'altre. Una característica comuna per a ambdós tipus de processos és la seva lentitud.

Els processos físics

Així, es pot dir que en les zones muntanyenques dels Països Catalans (Pirineus, serralades Litoral i Prelitoral catalanes, terminacions del Sistema Ibèric, Serralada Prebètica i Serra de Tramuntana) la meteorització física és més intensa, ja que la duresa del clima i la presència de roca compacta més o menys consolidada en una morfologia prou accidentada, provoca una ruptura en blocs en primer lloc i una més gran fragmentació després, fins a alliberar els minerals que són transformats o redistribuïts per l'acció de l'aigua aprofitant els desnivells topogràfics existents.

Aquesta acció és més intensa en augmentar l'altitud i l'agressivitat del paisatge, per tant es veu afavorida en l'alta muntanya pirinenca. És atribuïble bàsicament a l'acció de l'aigua, que s'infiltra aprofitant la porositat i la permeabilitat dels materials per minsa que sigui i l'existència de diàclasis. Les davallades de temperatura al voltant dels 0°C generen grans tensions internes que són suficients per a fragmentar les roques més consistents. El pas d'aigua a gel representa un increment de volum del 10%, cosa que provoca la fragmentació per gelada. L'acció és tan més eficaç com més vegades es repeteixi el procés gel-desgel, és a dir, que temperatures constantment més baixes tindran un efecte disgregador més petit. Això explica que l'efecte gel-desgel pugui ésser important als Països Catalans, encara que les temperatures no siguin massa baixes a l'hivern.



79 *L'ACCIÓ MECÀNICA DEL GLAÇ-DESGLAÇ provoca la fragmentació dels blocs de granit, sobretot als Pirineus, alhora que els processos de meteorització química actuen sobre els minerals; en la imatge, s'observa l'alliberament d'òxids de Fe^{3+} procedents de l'alteració de la biotita del granit (estany de Ratera, Pallars Sobirà). [Foto: Robert Cruañas]*

En zones de guixos, com per exemple a la Segarra o la Noguera, el pas d'anhidrita a guix per hidratació de la primera provoca un augment de volum que genera tensions a la roca encaixant, la qual pot arribar a fracturar-se o deformar-se.

A més a més d'aquests tipus d'alteració física lligada a forces generades dintre de la massa de la roca, *processos exocinètics*, n'hi ha d'altres que són causats per forces aplicades des de l'interior, *processos endocinètics*. Així doncs, a mesura que l'erosió elimina material de la superfície del terreny, les roques profundes van alliberant-se de la pressió de confinament a què estaven sotmeses, cosa que possibilita l'expansió de la roca. A les pedreres és un fet conegut que es produeixin esclats explosius, provocats per aquests fenòmens. La roca genera en dilatar-se un sistema de fractures per on podrà circular l'aigua, reforçant-se l'alteració per processos químics.

La idea que l'acció de la radiació solar podria provocar l'alteració de les roques, que durant el dia podrien expansionar-se i durant la nit retraure's, ha estat qüestionada per diversos autors i Rice (1978) en fa una revisió interessant. L'explicació clàssica suposa una expansió diferencial de la roca, causada per la diferent conductivitat tèrmica i el coeficient de dilatació dels seus minerals i, per altra banda, a tensions generals entre la superfície i l'interior de la roca, en no ésser bona conductora del calor. La *termoclàsia*, tal com s'anomena el procés, no ha estat directament estudiada als Països Catalans.



80 *ALTERACIÓ ESFEROÏDAL en bandes concèntriques semblants als tels de ceba que se superposen, freqüent en els materials basàltics (Canet d'Adri, Gironès). [Foto: Jaume Porta]*

Si es busca una explicació a la *disjunció esferoïdal,* o meteorització en capes concèntriques, que es pot observar a les basanites de Canet d'Adri (Girona), resulta difícil trobar-la en base a l'expansió tèrmica. L'alteració en roques que es troben a certa profunditat no sembla, doncs, explicable per termoclàsia. La meteorització serà provocada, principalment, per la humitat que actua afavorida pel sistema de diàclasis que presenten les certes roques ígnies.

Els processos anteriorment descrits es veuen reforçats per l'alteració biològica produïda, tant per les arrels dels vegetals que poden arribar a exercir pressions de 10 a 15 kg/cm², com per l'activitat de determinats animals que remouen gran quantitat de material. La meteorització física depèn també de la natura del material i de la seva resistència a l'alteració. Així, són més afectades les calcàries i el granit als Pirineus que els materials quarsítics del mateix massís.

Els processos químics

Cal insistir en què la divisió entre meteorització física i química és una simplificació i no un fet real. Ambdós processos són presents arreu i actuen de forma conjunta. Això no obstant, i en contraposició a allò comentat més amunt, en les zones més planeres i de menys altitud (depressions Central i Prelitoral catalanes, Depressió Valenciana i Depressió Mallorquina) on els materials són majoritàriament de tipus sedimentari (calcàries, guixos, lutites, llim, etc.) l'acció meteoritzadora predominant és de tipus químic. La benignitat del clima amb contrast estacional típicament mediterrani i la més gran superfície activa dels materials poc consolidats, fa que l'alteració química sigui potenciada, si bé no és molt intensa.

L'alteració química és conseqüència que les roques rarament són estables quan entren en contacte amb aigua. Aquest fet és causat per una sèrie de reaccions tendents a assolir un nou estat d'equilibri dels materials. Els principals processos de meteorització química són la dissolució, la hidratació, la hidròlisi, la carbonatació, el redox, etc., que poden actuar paral·lelament amb major o menor intensitat segons la zona considerada i depenen de la natura del material i de les condicions climàtiques. Els agents responsables són H_2O, CO_2, O_2 i originen tot una sèrie de productes d'alteració entre els quals cal esmentar les argiles, els òxids de ferro, els cations alcalins i alcalinoterris, etc., fonamentalment a conseqüència de la hidròlisi de materials primaris com els feldspats ferromagnesians o, en menor quantitat, per solubilització total o parcial d'altres materials com els carbonats, el guix, l'halita, etc.

- ***La dissolució***

Els processos de dissolució en aigua són importants a les zones de guixos de l'anticlinal Balaguer-Torà, on hi ha molts exemples de lenars sobre la superfície dels guixos aflorants. A les Garrigues els guixos dels vessants són dissolts, tot subministrant ions sulfat i calci que s'acumularan aigües avall. Aquest procés afecta també de forma generalitzada tots els materials calcaris dels Països Catalans.

- ***La hidratació***

La hidratació o procés de fixació d'aigua ha estat citat abans en el cas de l'anhidrita pel fet d'originar un increment de volum en passar a guix. El resultat de la hidratació és la formació de nous minerals. Els òxids de ferro són l'exemple més clàssic d'hidratació-deshidratació, procés totalment generalitzat als sòls dels Països Catalans. El pas de formes hidratades, goethita o limonita de color groguenc, a hematites alterada de color vermell té clares repercussions sobre el color del sòl. Malgrat la vistositat dels sòls vermells, la hidratació-deshidratació és un procés poc important en la meteorització química. En el cas d'alguns minerals d'argila, les esmectites concretament, la hidratació provoca que s'expandeixin de forma considerable.

- ***La hidròlisi***

La hidròlisi, que és una reacció química entre el mineral i l'aigua, provoca una desintegració molt completa dels minerals meteoritzables. És el procés de meteorització més important que afecta tots els silicats que es troben al sòl, però en graus molt diversos segons la seva estructura i composició química. Origina l'alliberament de bases que són substituïdes per hidrogenions, provocant la desestabilització de l'estructura. En un segon pas, aquesta pot arribar a ser destruïda totalment, si bé els productes finals de-



81 *LA MORFOLOGIA ASPRA DEL PAISATGE CÀRSTIC és deguda a la dissolució parcial de les calcàries: s'hi formen canals i cocons on s'acumulen residus, punt de partida de la formació de sòl (Garraf). [Foto: Josep M. Alcañiz]*

penen de les condicions del medi. Als Països Catalans la hidròlisi dels feldspats genera la neoformació de petites quantitats d'argiles. L'alteració de les miques es produeix també per processos d'hidròlisi.

Per a avaluar el grau de meteorització química d'un mineral, Grant (1969) proposà com a índex el *pH d'abrasió*, obtingut mesurant la concentració d'hidrogenions en una suspensió en aigua destil·lada del mineral un cop mòlt. Aquest o d'altres índexs tenen interès a més a més per estimar la fertilitat potencial dels sòls a causa de la reserva d'elements nodridors en els minerals primaris.

- ***La carbonatació***

La carbonatació és la reacció de l'anhídrid carbònic amb els minerals per donar els corresponents carbonats o bicarbonats. En aquest procés té una gran importància la dissolució del CO_2 en l'aigua. Les plagiòclasis, així com els feldspats i els mateixos carbonats, són els minerals més afectats. La carbonatació és un procés molt generalitzat als Països Catalans, on abunden aquests tipus de materials. La roca calcària es dissol en contacte amb l'aigua bicarbonatada, i en queda un residu insoluble format pels elements silicatats que contenia originalment, residu que s'anomena *resistat*.

- ***Els processos redox***

Els processos redox es produeixen quan entren en joc elements de valències múltiples. L'exemple més freqüent és el del ferro que es troba a la biotita, l'olivina, etc., ferro-ferròs o Fe^{2+}; aquest estat de valència no és estable en un medi oxidant com ho és en general el característic de la superfície terrestre, cosa que origina Fe^{3+}. El granit del Maresme, de les muntanyes de Prades o d'altres indrets, acostuma a tenir al damunt una capa d'alguns metres de material alterat o sauló. Això és causat, en part, per la disgregació mecànica produïda per les tensions generades per l'increment de volum del Fe^{2+} de la biotita en passar a Fe^{3+}, que pot arribar fins el 22% del volum inicial. En canvi, en el basalt, com és el cas de Fogars de Tordera o Hostalric (Selva), l'absència de biotita i la meteorització dominant de tipus químic, a més d'altres factors, fan que es presentin fronts d'alteració molt abruptes i capes meteoritzades de poc gruix.

2.3 Les transformacions orgàniques

El sòl es comporta com un complicat laboratori biològic on els organismes vius realitzen un conjunt de funcions de gran importància dins dels cicles biogeoquímics de molts elements. Un dels processos més importants és, indubtablement, la incorporació al sòl de matèria orgànica fresca i la seva transformació en humus. Gràcies a l'activitat biològica, la matèria orgànica sofreix tota una sèrie de transformacions.

La mineralització

La mineralització és un procés relativament ràpid que es basa en l'oxidació dels compostos orgànics i dóna com a productes finals components minerals senzills, com CO_2, H_2O, NH_4^+, NO_3^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, etc. Aquestes transformacions són portades a terme pels microorganismes heterotròfics que utilitzen l'energia per al seu metabolisme. És, doncs, el resultat d'una activitat biològica i, per tant, es pot veure condicionada per diversos factors ambientals.

En general, es pot afirmar que el *clima* de tipus mediterrani és favorable a aquests processos per les temperatures i pels contrasts estacionals d'humitat. Quan les condicions ambientals no són prou favorables a l'activitat dels microorganismes, la matèria orgànica tendeix a acumular-se i forma, al cap dels anys, horitzons holo-orgànics gruixuts. Presenten l'aspecte d'una catifa fibrosa de color negre formada per restes vegetals mig descompostes, horitzó O_2, que no s'ha de confondre amb la virosta o fullaraca, horitzó O_1. Aquest és el cas d'alguns sòls minerals dels Països Catalans on es troben acumulacions de matèria orgànica per manca de mineralització que pot atribuir-se a diverses causes.

En medis hidromorfs amb saturació hídrica quasi permanent, com a les mulleres d'alta muntanya, per exemple a l'estany de Ratera, Hospital de Viella (Vall d'Aran-Alta Ribagorça), la vall d'Aiguamoitx, etc., i als estanys litorals, ullals del delta de l'Ebre, llacuna de Torreblanca, etc., s'originen importants acumulaments orgànics de tipus torbós, a causa que les condicions anaeròbies creades per l'excés d'aigua no permeten la descomposició de les restes vegetals, horitzons *H*.

Per altra banda, climatològicament cal considerar que la baixa temperatura mitjana de les zones d'alta muntanya afavoreix també la formació d'horitzons orgànics en sòls minerals O_1 i O_2 gruixuts, sobretot sota vegetació arbòria (boscos subalpins, fagedes, etc.). No obstant això, la mineralització a l'època d'estiu és favorable i pot ésser molt intensa donada la temperatura i el grau d'humitat que es manté en aquests estatges, encara que no arriba a descompondre's totalment la matèria orgànica que es diposita en el sòl.

La manca d'humitat que pateixen molts dels nostres sòls, sobretot a l'estiu, és un altre factor limitant de la descomposició de la matèria

orgànica, com és el cas de les terres meridionals dels Països Catalans i la Depressió Central Catalana. No és, doncs, gens extranya l'acumulació de virosta que es troba fins i tot en zones arbòries d'escassa vegetació, de les Garrigues, el Segrià, el Baix Ebre, etc. El conreu accelera, no obstant això, la mineralització de la matèria orgànica, i els horitzons *O* desapareixen.

El *tipus de vegetació* influeix també en la fase de mineralització. Així, les restes de coníferes solen descompondre's més lentament que la fullaraca dels caducifolis, ja que els primers poden contenir substàncies inhibidores del creixement microbià.

Un altre factor que condiciona directament la major o menor activitat dels microorganismes descomponedors, és el *tipus de substrat* mineral. Els sòls sobre granits o gresos rics en quars solen ésser més àcids i més pobres en nutrients, atesa la seva composició mineralògica i la feble capacitat de retenció catiònica que és conseqüència de la textura arenosa, la qual cosa condiciona una baixa activitat biològica. Al contrari, els sòls desenvolupats sobre materials esquistosos, lutites amb carbonats o roques moderadament carbonatades, de medis neutres o lleugerament bàsics, són força propicis a l'activitat descomponedora.

Aquesta activitat es pot relacionar amb el contingut en calci i especialment en calci actiu; aquest darrer paràmetre té una influència directa en la mineralització de matèria orgànica, amb independència de la procedència de les restes vegetals. Així a Morella, sobre un sòl amb el 15 % de calcari actiu, la humificació és menys important que amb percentatges més baixos.

Les transformacions de les substàncies nitrogenades

Un dels processos més importants per a la fertilitat és el de la mineralització del nitrogen al sòl. El nitrogen, que és un dels elements essencials en la nutrició vegetal, es troba en el sòl majoritàriament a la matèria orgànica (al voltant del 97% del N total) i, mitjançant el procés de mineralització es transforma en nitrogen inorgànic. El N orgànic és només una reserva nitrogenada que no pot ésser directament utilitzada pels vegetals.

L'atmosfera que té el 79% de nitrogen en volum, és el principal proveïdor de nitrogen del sòl. La *fixació de nitrogen* atmosfèric, consisteix en la reducció del N_2 a formes utilitzables pels vegetals, pot ser simbiòntica (*Rhizobium* i lleguminoses) i no simbiòntica (bacteris aeròbics i anaeròbics). Tots aquests processos són conseqüència de l'activitat microbiana del sòl i són controlats per les condicions ambientals.

• *L'amonificació*

La mineralització del nitrogen inclou dos processos fonamentals: l'amonificació i la nitrificació. L'amonificació és la conversió del N orgànic en N amoniacal mitjançant l'acció enzimàtica d'una gran varietat de microorganismes heterotròfics, aeròbics o anaeròbics.

$$R\text{-}NH_2 \xrightarrow{\text{aerobiosi}} NH_4^+ + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$R\text{-}NH_2 \xrightarrow{\text{anaerobiosi}} NH_4^+ + CH_4\uparrow + \text{R-COOH} + \text{compostos aminats}$$

La intensitat d'aquest procés depèn de les condicions ambientals de temperatura i humitat. Així la proporció de nitrogen mineralitzat augmenta de dues a tres vegades per cada 10°C, entre els marges de 5 a 35°C. També és funció lineal del contingut d'aigua del sòl entre - 1/3 i - 15 bars. L'ió amoni, NH_4^+, que hi ha en la solució del sòl pot passar a l'atmosfera per volatilització, sobre tot a pH elevats; també pot ésser adsorbit per les argiles mitjançant l'intercanvi iònic, assimilat pels vegetals o bé oxidat a nitrat per altres microorganismes del sòl.

• *La nitrificació*

La nitrificació és el procés pel qual l'amoni és oxidat a nitrat. Té lloc en condicions aeròbiques mitjançant microorganismes autòtrofs molt específics i consta de dues etapes:

$$2\ NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow{Nitrosomonas} 2NO_2^- + 2\ H_2O + \text{energia}$$

$$2\ NO_2^- + O_2 \xrightarrow{Nitrobacter} 2NO_3^- + \text{energia}$$

Aquestes etapes són consecutives, de manera que no hi ha acumulació de nitrits, que són molt tòxics per a les plantes superiors. Les condicions òptimes per a aquest procés són: pH entre 7,5 i 8,5, temperatura entre 30 i 36°C, i una humitat corresponent a la retinguda pel sòl a un potencial entre -0,1 i -0,5 bars. La pèrdua a través del sòl dels nitrats és un procés condicionat per l'excés d'aigua i la textura del sòl.

• *La immobilització i la desnitrificació*

El procés invers a la mineralització és la immobilització, en el qual el N inorgànic s'incorpora a la biomassa microbiana en forma de N orgànic. La mineralització i la immobilització són dos processos simultanis i el fet que predomini l'un o l'altre depèn de la relació C/N del substrat i dels microorganismes que hi actuen.

El nitrat pot ser reduït i passar a formes gasoses (NO_2, N_2) que marxen a l'atmosfera mitjançant el procés de desnitrificació. En condicions

anaeròbies certs bacteris que normalment utilitzen l'oxigen atmosfèric són capaços d'utilitzar el que hi ha combinat en els nitrats, reduint-los. En sòls d'arrossars aquest procés pot provocar pèrdues importants d'adobs nitrogenats.

La humificació

Els productes de la mineralització de la matèria orgànica fresca, els compostos orgànics de difícil biodegradació i les substàncies excretades pels microorganismes, són incorporats a un procés d'humificació relativament lent, en el qual són transformats en altres de color negrós, de caràcter aromàtic i naturalesa polimèrica, que es denomina humus. Les vies d'humificació són, però, molt variades i complexes. La progressiva humificació de la matèria orgànica dels horitzons superiors del sòl provoca un enfosquiment molt característic, procés que és anomenat *melanització*.

La velocitat d'humificació i el tipus d'humus resultant en un sòl, depenen també de la natura de les restes vegetals, el tipus de substrat mineral i les condicions climàtiques. El contrast climàtic típic de la zona mediterrània afavoreix, en general, aquest procés, fomentant l'existència d'humus més madurs de tipus *mull*, excepte en el cas de medis molt àcids, pobres en bases.

En medis calcaris o d'elevada saturació en bases, molt freqüents als Països Catalans, la mineralització és molt afavorida en facilitar l'activitat biològica; però l'humificació és, en canvi, frenada, ja que els precursors húmics formats en la mineralització de la materia orgànica, fonamentalment àcids fúlvics (*AF*) i part dels àcids húmics (*AH*), són immobilitzats en forma càlcaria bloquejant la seva posterior evolució. La humina formada és de tipus heretat, i la presència de calci possibilita la formació d'un complex humico-argilós de gran estabilitat estructural, que dóna lloc a un humus de tipus *mull càlcic* o *mull calcari*.

També, però, en medis moderadament àcids parcialment dessaturats pot formar-se un humus de tipus *mull*. Aquest és el cas dels *mull* forestals presents als Països Catalans, on el ferro lliure juga un paper important. Efectivament, en aquests medis és el ferro el que actua com a agent immobilitzador dels precursors húmics, si bé *AF* i *AH* són en aquest cas minoritaris perquè la mineralització és poc afavorida, la qual cosa implica una presència majoritària d'humina d'insolubilització.

En alguns sòls molt àcids i pobres en argiles d'humus de tipus *mor* pot produir-se la migració parcial de la matèria orgànica dins el perfil del sòl, a causa d'un domini total de precursors



82 *LA PRESÈNCIA D'HUMUS es reconeix per l'enfosquiment dels horitzons superficials. En medis calcaris es formen complexos estables que contribueixen a l'estructuració del sòl, com en aquest* xerocrept calcixeròlic *de Garraf.*
[Foto: Josep M. Alcañiz]

húmics molt àcids, del tipus *AF*, i agressius, que alteren i complexen elements com el ferro i l'alumini, afavorint llur mobilització i acumulació en profunditat. El resultat és la formació de bandes d'acumulació d'humus illuviat, de color fosc, horitzó B_h, o vermelloses de ferro illuvial, B_{ir}, més o menys nítides. Aquest fenomen, característic de la podzolització és, però, molt limitat i poc freqüent a les nostres contrades, on només es presenta en boscos subalpins dels Pirineus axials.

Finalment, cal fer esment que als Països Catalans hi ha també humus de tipus *moder*, especialment a les zones pirinenques de vegetació forestal i en els estatges alpí i subalpí, on és un humus característic. També es troba humus de tipus *moder* càlcic a la zona mediterrània subàrida, allà on la manca de la humitat suficient és el factor limitant de la descomposició de la matèria orgànica.

2.4 Les transformacions inorgàniques

Les solubilitzacions, precipitacions i intercanvis iònics

Els processos de dissolució i precipitació, així com d'intercanvi iònic, tenen una importància gran en la gènesi dels sòls als Països Catalans. Si bé són essencials en la meteorització química, tal com ja s'ha indicat, interessa destacar aquí la seva importància no en l'alteració de roques i minerals, sinó en la diferenciació del perfil que origina la formació dels horitzons.



83 *ACUMULACIONS ESFEROÏDALS DE CARBONATS (pisòlits) associades a la presència d'arrels que penetren en un horitzó petrocàlcic.*
[Foto: Jaume Porta]

• ***Carbonatació i descarbonatació***

Per la seva importància en l'evolució de sòls que ocupen una gran extensió als Països Catalans, es consideren en primer lloc els processos de carbonatació-descarbonatació. El primer terme és emprat per a designar la formació de productes insolubles, els carbonats, que té com a conseqüència un augment o acumulació d'aquests minerals en el pedió. Per contra, la descarbonatació origina formes solubles, els bicarbonats, que poden ésser translocades dintre del propi perfil en zones semiàrides o bé transportades i eliminades del sòl, cosa que succeeix a les zones humides, on la precipitació supera l'evapo-transpiració i el règim d'humitat del sòl és de tipus percolant; els carbonats poden anar-se acumulant en altres posicions geomorfològiques més baixes transportats per l'aigua d'escolament subsuperficial o bé perdre's en les aigües subterrànies.

Els processos de carbonatació-descarbonatació depenen de dos factors importants, la concentració en anhídrid carbònic i el pH del medi. Si el contingut del primer és alt i el pH moderadament bàsic, el sistema evoluciona envers la formació de bicarbonats, mentre que si el medi té continguts baixos d'anhídrid carbònic o pH bàsics, tindrà lloc la formació de carbonats. Els paràmetres CO_2 - pH depenen molt de l'activitat biològica i dels constituents minerals, per la qual cosa és possible que dins d'un mateix pedió es produeixi una descarbonatació a la part superior i una carbonatació posterior als horitzons més profunds a partir dels bicarbonats translocats. Això s'explica perquè, en general, la part superior del perfil és una zona d'activitat biològica forta, cosa que origina concentracions de CO_2 de 10 a 100 vegades més grans que a l'atmosfera. El procés s'observa també al voltant d'arrels que aprofundeixen dins d'un horitzó petrocàlcic (crosta calcària), on tenen lloc cicles de descarbonatació-carbonatació que poden originar la formació de *pisòlits* de carbonat càlcic.



84 *NÒDULS CALCARIS en sòls de la mateixa ciutat de Barcelona, a la zona universitària de Pedralbes.*
[Foto: Jaume Porta]

Aquest esquema o model dinàmic general és adequat per a explicar els processos de descarbonatació parcial dels horitzons *A* de la zona limitant amb els Prepirineus o inclusivament la descarbonatació total del perfil en zones més humides dels Prepirineus i els Pirineus. En altres indrets, com al Montsià, les Garrigues, la Segarra, el Camp de Tarragona, etc., el règim hídric no percolant explica la permanència dels carbonats en tot el perfil, si bé hi poden haver hagut translocacions, i aportacions laterals principalment en els glacis. En determinades zones, com a la Cerdanya, la presència d'una crosta calcària s'ha d'explicar per la natura calcària del material originari i per l'abundància de bicarbonats a l'aigua d'escolament subsuperficial que, en passar a carbonats, formen l'horitzó petrocàlcic per cimentació.

Els processos de solubilització-translocació-precipitació donen per resultat formes típiques, tant a nivell macro com micromorfològic. Al camp es poden identificar les acumulacions secundaries de carbonats de tipus pulverulent: "pellets", oòlits, nòduls i crostes calcàries, en pseudo-micelis, o generalitzades i les acumulacions de carbonats cimentats.

Les textures i microestructures de les acumulacions de carbonats al Camp de Tarragona i el Penedès han estat objecte d'estudi (Julià i col·laboradors, 1982), així com les de les Garrigues (Porta, 1983). Les formes identificades a nivell macromorfològic són els *pseudo-micelis,* que ocupen els espais pels quals circula l'aigua al perfil, com són els canals d'arrels, porus, etc., corresponen als neocalcitans, i són formats per cristalls "whisker". Acumulacions d'aquest tipus han estat descrites en molts altres indrets (Segarra, Vallès, Camp de Tarragona, etc.).

Entre les acumulacions de tipus esferoïdal es poden citar els "pellets", que són grans de carbonat de diversos orígens i formes. Si tenen un nucli i un embolcall diferenciat passen a denominar-se *pisòlits* o *oòlits,* la mida dels quals

pot arribar fins i tot a uns 5 mm; les acumulacions esferoïdals de mida més gran, de 2 cm i més, es designen com a *nòduls*, que poden ésser friables o bé estar fortament cimentats. Aquesta morfologia és característica en els glacis d'acumulació amb llims de vessant, molt freqüents al País Valencià, essent molt important a la zona del Camp de Túria.

L'altre tipus d'acumulació de carbonats, molt freqüent des d'Alacant al Rosselló és la *crosta calcària* o *horitzó petrocàlcic,* anomenat "caliche" pels geòlegs i a nivell popular *tapàs*, en alguns indrets. A la comarca de les Garrigues s'han identificat horitzons petrocàlcics de diferents tipus, conglomeràtic, oolític, travertínic i amb inclusions. Aquestes morfologies són també identificables en les zones del Camp de Túria i Camp de Morvedre sobre glacis d'erosió, així com al Camp de Tarragona entre altres. En aquells casos en què la crosta està molt a prop de la superfície suposarà una limitació molt important per a l'ús agrícola del territori.

- ***Salinització i desalinització***

La salinització és un altre dels processos d'importància edafològica, tant per les repercussions que té sobre la producció agrícola, com pels milions d'hectàrees que en són afectades a les regions àrides i semiàrides del món. El procés implica un enriquiment excessiu del sòl, en sals més solubles que el guix. Com a conseqüència, el potencial osmòtic de l'aigua del sòl pot arribar a ésser tan baix ($\Psi_o < 0$) que les plantes no poden disposar-ne (efecte osmòtic), tot provocant una sequera fisiològica. Per altra banda, alguns dels ions presents a la solució del sòl poden resultar tòxics per a les plantes (efecte ió específic).

Als Països Catalans s'han identificat diversos cicles d'acumulació de sals dels descrits a nivell general per Kodva (1971). L'alteració de roques ígnies riques en albita o olivina, freqüents en zones volcàniques com la Garrotxa i el Gironès, no dóna lloc a l'acumulació *in situ* de sodi o de magnesi. Les elevades precipitacions d'aquests indrets asseguren el rentat dels elements solubles a mesura que van essent alliberats. Es pot, doncs, afirmar que no hi ha *cicle* d'acumulació *primària* de sals als Països Catalans; per contra, el *cicle* d'acumulació *secundària* és afavorit per la presència de materials sedimentaris del Terciari, que sovint contenen sals solubles que, en aflorar, seran dissoltes per l'aigua de la pluja i transportades per l'escolament superficial. Aquestes i d'altres roques actuen, doncs, com a *centres de redistribució* de la salinitat en el paisatge. És fàcilment comprensible que la repetició d'aquest mecanisme provocarà la salinització irregular de les zones baixes mal drenades on va a parar l'aigua amb les sals dissoltes. Aquest és l'origen de la salinitat que es presenta en alguns fons de vall del Segrià, les Garrigues, les comarques del Vinalopó i al Baix Segura, per citar alguns indrets.

Les planes costaneres més humides presenten un *cicle marí* d'acumulació de sals, principalment clorur sòdic procedent del mar. En són exemples els sòls del litoral de la plana del Ros-



85 *EFLORESCÈNCIES BLANQUINOSES que posen de manifest l'elevat grau de salinitat d'aquests sòls d'Albatera (Baix Segura), molt poc adequats per al conreu. (Foto: Jaume Porta)*

selló, els aiguamolls de l'Empordà, Moncofa (Plana Baixa), Canet de Berenguer (Camp de Morvedre), l'Horta de València, Dénia i Xàbia (Marina Alta), i les badies d'Alcúdia i Maó.

Els deltes del Llobregat i de l'Ebre són zones de gran potencialitat agrícola que reben sals transportades de terra endins pels corresponents rius. En determinades ocasions pot haver-hi una aportació d'aigua del mar i, a més, la circulació de l'aigua freàtica pot mobilitzar les sals. Es tracta en aquest cas del *cicle deltaic*, caracteritzat per una acció combinada del riu, el mar i la capa freàtica. La intervenció de l'home amb el reg i el drenatge pot fer que el procés quedi limitat a petites zones o bé que es generalitzi.

L'altre *cicle* esmentat per Kovda és l'*antròpic*. L'actuació de l'home sobreexplotant els aqüífers de les zones costaneres o de delta possibilita la intrusió d'aigua de mar amb la conseqüent salinització dels pous. El reg ha estat una de les principals causes de salinització per intervenció de l'home. Si es rega amb poca aigua o amb aigua de mala qualitat, les sals s'aniran acumulant al sòl, cosa que en farà disminuir progressivament la potencialitat agrícola.

Finalment, cal indicar que la *desalinització* pot donar-se d'una forma natural, si existeix una precipitació hídrica suficient i el contrast estacional d'humitat no és fort, ja que llavors no hi ha condicions que afavoreixin el reciclatge de les sals solubles cap a la superfície del sòl. Les sals seran rentades i eliminades en profunditat. L'home pot intervenir per provocar la desalinització de terres que pretén conrear, utilitzant pràctiques especials de reg i xarxes de drenatge adequades.

- ***Sodificació i alcalinització***

Els sòls sòdics es caracteritzen per tenir un endopedió nàtric, amb un percentatge de sodi intercanviable, *ESP*, superior al 15%. Els sòls que a més a més tenen sals solubles i la conductivitat elèctrica de l'extracte de pasta saturada superior a 4 mS/cm a 25°C, són ja sòls salins-sòdics. El procés de *sodificació* consisteix en un augment de la proporció de sodi a les posicions actives del complex de canvi; en el cas que el procés vagi acompanyat per un increment de pH per damunt de 8,5 es parla d'*alcalinització*.

Un percentatge elevat de sodi intercanviable dona al sòl unes propietats físico-químiques molt particulars, degradació de l'estructura, conductivitat hidràulica baixa, mal aireig, etc., que es coneixen com *efecte alcalí*. La presència de sals solubles minora aquestes propietats tan desfavorables, atès que fa que els colloides del sòl es mantinguin floculats i l'estructura sigui una mica millor, com és el cas dels sòls salino-sòdics. Les condicions climàtiques dels Països Catalans no són adequades perquè hi hagi sodificació sense que simultàniament es presenti salinització: la pluja anual no és suficient per a rentar les sals solubles.

- ***Gipsificació***

El guix és moderadament soluble, per la qual cosa el seu comportament es pot considerar intermedi entre els carbonats càlcic, magnèsic o càlcic i magnèsic d'un cantó, i els clorurs i altres sulfats de l'altre. Ara bé, hi ha una diferència important per a no incloure el sòls guixosos dintre de la categoria dels sòls afectats per la salinitat: el guix és fisiològicament indiferent per a la majoria de plantes. No crea problemes pel que fa al potencial osmòtic, és a dir, els sòls amb guix, si bé amb peculiaritats específiques, tenen en general una potencialitat agrícola adequada. Es pot destacar l'existència de comunitats vegetals gipsòfiles indicadores d'aquests sòls.

El clima dels Països Catalans, en especial de les zones semiàrides i àrides, és favorable per a la mobilització del guix i la seva posterior acumulació; aquest procés es pot anomenar *gipsificació*.

Els vessants amb afloraments de guix poden ésser la font de subministrament per als sòls dels fons de vall que, en aquest cas, presentaran acumulacions de guix vermiforme i fins i tot endopedions gípsics (*gypsic*). A la Segarra, a les Garrigues o al Segrià és un procés fàcil d'identificar. El guix recristallitzat es presenta en forma de cristalls lenticulars.

Les gleïficacions

L'aireig del sòl és necessari per al creixement de la majoria de les plantes terrestres. La manca de renovació d'aire en el sòl fa que, a causa de la respiració de les arrels i dels microorganismes, baixi la concentració d'oxigen. Els microorganismes anaeròbics es veuen afavorits i aquells elements com el ferro, el manganès, el nitrogen, el sofre entre d'altres, que poden actuar amb més d'una valència, passen a les formes reduïdes. Les condicions hidromorfes donen lloc, doncs, a un canvi de valència en determinats elements, és a dir, a processos redox o de gleïficació*, i en particular a reducció o anaerobiosi. Aquests processos originen sòls hidromorfs, és a dir, amb caràcter *àqüic*.

La difusió de l'oxigen a través de l'aigua és unes deu mil vegades més petita que a l'aire. És per això que el subministrament d'oxigen pot arribar a ésser insuficient quan un sòl té el volum de porus ocupat per aigua. La presència d'una

* *Glei*, del celta, viscós.

capa freàtica, no obstant això, no implica necessàriament condicions d'anòxia. Hi ha capes freàtiques que circulen, és a dir, que es van renovant, cosa que fa que el seu contingut d'oxigen sigui elevat. Això explica l'existència de pollancres, arbres que no suporten l'anaerobiosi, a les vores dels rius amb una capa freàtica prop de la superfície.

D'altres capes freàtiques són oscil·lants, és a dir, el seu nivell lliure té una important fluctuació al llarg de l'any. El ferro, que en condicions reductores passa a Fe^{2+}, és transportat en solució, i allà on el sòl s'asseca es possibilita el pas a Fe^{3+}, que precipita. Aquesta forma insoluble es va acumulant i origina un clapeig i unes concrecions de coloracions característiques. Es parla d'un sòl amb pseudo-glei.

En els pseudo-gleis l'hidromorfisme temporal s'acostuma a produir per una capa freàtica penjada, és a dir, l'aigua s'infiltra desde la superfície, percola i a causa de l'existència d'un nivell més impermeable en profunditat, els porus es van omplint d'aigua i s'arriben a saturar. A les zones més fredes dels Pirineus, estatges alpí, subalpí o d'alta muntanya, hi pot haver hidromorfisme temporal en desgelar-se la capa superficial de sòl, que queda saturada d'aigua, mentre la capa més profunda encara no s'ha desgelat i, per tant, actua com a material impermeable.

El procés d'hidromorfisme s'accentua allà on la capa freàtica és quasi permanent i confinada, o circula molt lentament, com és el cas dels aiguamolls del delta de l'Ebre i de l'Empordà, l'albufera de València, etc. En aquest cas el potencial redox *Eh*, té valors negatius baixos, cosa que reflecteix unes condicions altament reductores. El Fe^{3+} és, doncs, reduït a Fe^{2+} que, a pH neutre o bàsic, es queda bloquejat en forma de sals complexes i fins i tot com a carbonat ferrós, i origina extenses zones de color verd-blau típiques dels sòls amb glei.

Un procés d'hidromorfisme és relativament ràpid i pot manifestar-se en menys de deu anys. En els sòls joves, els compostos de ferro Fe^{2+} seran encara presents al perfil, i si s'agafa una mostra i es deixa a l'aire, al cap d'unes hores canviarà el seu color gris-verd per un to bruvermell, a causa de la seva oxidació. Per contra, si l'hidromorfisme fa molt de temps que dura, la circulació de l'aigua, per lenta que sigui, pot haver eliminat progressivament el ferro del perfil, i els colors grisos són produïts per la decoloració per manca de ferro. Alguns sòls poden presentar *llengües d'albic* provocades per descoloració de les zones que tenen una circulació vertical preferent d'aigua.

Malgrat que les mobilitzacions de Fe^{2+} més freqüents causades per hidromorfia són en profunditat, en condicions climàtiques de contrast, com les mediterrànies, poden ésser ascendents en forma de complex o de bicarbonat ferrós, atesa la gran evapo-transpiració del medi en l'estació seca. Cal esmentar que en condicions d'hidromorfia, el manganès té un comportament semblant al del ferro i experimenta transformacions de tipus redox. Així, la forma normalment oxidada Mn^{4+} de color negre i insoluble present en el sòl és mobilitzada com a Mn^{2+} que pot concentrar-se i precipitar en determinats llocs del perfil més airejats, formant concrecions esfèriques com els anomenats *pisòlits*. A la plana al·luvial de la Tordera, i també en d'altres indrets afectats per hidromorfia, poden trobar-se pisòlits de mida considerable.



86 *HORITZÓ GLEI d'aspecte característic, amb la típica coloració grisenca del Fe^{2+} resultat de les condicions reductores produïdes per una capa freàtica estancada, al delta de l'Ebre; el contrast amb la part superior, ben airejada, és ben patent. [Foto: Josep M. Alcañiz]*

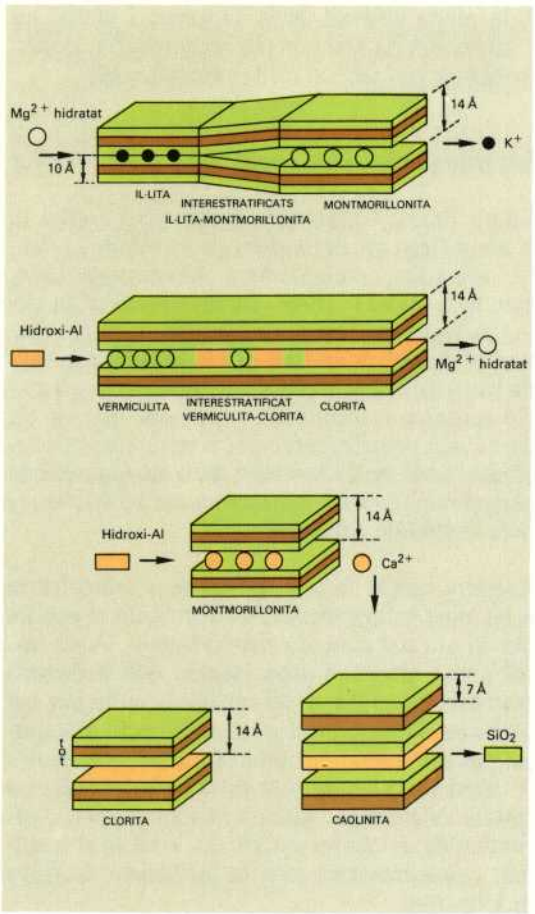
Les transformacions i neoformacions d'argiles

En els Països Catalans la formació d'argiles té el seu origen en l'alteració de minerals primaris silicatats, especialment ferromagnesians, com la biotita i d'altres. La influència d'un clima de tipus mediterrani condiciona, però, que llur formació es realitzi per la via anomenada de transformació, terme que indica una alteració química estructural moderada, que en els casos més senzills condueix a uns materials argilosos anomenats *heretats,* amb estructures que conserven en bona mesura les característiques dels materials originaris.

Existeix també la possibilitat més minoritaria a les nostres contrades, de formació d'argiles per la via anomenada *neoformació*. Això implica una alteració molt intensa dels materials primaris per alliberar les espècies químiques necessàries, i una posterior recombinació d'aquestes per generar nous materials argilosos, de naturalesa i propietats molt diferenciades dels materials de partida. Aquest procés és, però, característic de climes extremats, com és el tropical, i és minoritari sota la influència de tipus mediterrani.

El procés implicat i el tipus d'argila generada, no solament és funció del factor climàtic, encara que sigui un factor determinant, sinó que depenen, també, de les condicions de drenatge del medi i dels materials originaris del sòl. En els Països Catalans, el tipus d'argila predominant és la illita, amb certa presència de vermiculita, i petites quantitats de caolinita i clorita. En determinades zones on predominen els materials de tipus silícic bàsic, poden trobar-se halloysita i montmorillonita que, en situacions molt particulars, arriben a ésser dominants. La presència d'aquestes darreres argiles pot explicar-se per una predominància de materials primaris rics en silicats ferromagnèsics i altres silicats força alterables, com miques, augita, hornblenda, olivina, granat i andalusita.

Així, doncs, sota l'acció d'un clima mediterrani, si el medi és bàsic o neutre en presència de bases, com pot ésser el de la majoria dels sòls desenvolupats sobre material calcari, es formen les argiles micàcies o illites, de tipus heretat. La transformació afecta el potassi interlaminar de les miques, que és substituït parcialment per altres ions; posteriorment es pot produir un augment de la substitució isomorfa octaèdrica. També existeix la possibilitat, si el sistema és ric en silici, que es produeixi una pèrdua important d'alumini tetraèdric; això permet l'obertura de l'espaiat interlaminar, així com



87 *VARIACIONS CRISTAL·LOQUÍMIQUES implicades en la transformació dels diferents tipus d'argila. [Dibuix: Maber, original dels autors]*

l'intercanvi del K^+, i es generen montmorillonites per una transformació molt més profunda de les estructures inicials. Quan el pH és prou elevat, pot donar-se també la cloritització de les miques, ja que és possible la formació de capes de brucita, $Mg(OH)_2$, que pot entrar com a material interlaminar originant les clorites anomenades primàries.

En sòls dels Països Catalans desenvolupats en un medi moderadament àcid i ben drenat, com són els de roca silícia àcida (granit, diorites, etc.) de la Serralada Litoral catalana, el K^+ interlaminar de les miques pot ésser desplaçat directament donant argiles tipus illita, que en part poden presentar un intercanvi total del potassi i l'obertura de l'espaiat reticular, generant les vermiculites. També poden formar-se en aquestes condicions les vermiculites alumíniques i clorites alumíniques, si el medi és poc rentat i enriquit en alumini procedent de l'alteració moderada de feldspats i altres silicats. En qualsevol cas, les transformacions experimentades generen argiles de tipus 2:1, és a dir, argiles característiques d'un *procés de bisialitització*.

Cal, però, tenir en compte que la neoformació, si bé no és propia d'aquest clima, pot donar-se en petita extensió. Efectivament, sota clima mediterrani és possible l'alteració total d'una part dels minerals presents en determinats sòls, cosa que origina l'alliberament de sílice, alumini, cations alcalins i alcalinoterris, etc. A pH superior a 5 es forma l'hidròxid d'alumini, capaç de recombinar-se amb la sílice per a donar noves estructures argiloses.

Si el medi és moderadament àcid i ben drenat, les argiles originades són pobres en silici i en bases, la qual cosa fa possible la formació de caolinita. En els medis poc drenats i més rics en bases augmenta la presència de sílice i de Ca^{2+} i Mg^{2+}, cosa que afavoreix la gènesi d'argiles tipus montmorillonita.

Aquest procés de neoformació no sols justifica la presència de caolinita en terrenys moderadament àcids dels Països Catalans, com en la zona granítica del Maresme, sinó de quantitats importants de montmorillonita en els sòls derivats de materials volcànics de natura silícica bàsica, com en els basalts de la Selva i de la Garrotxa. La forta alteració de minerals primaris com l'olivina, l'hornblenda, etc., dóna lloc a la neoformació de montmorillonita, òxids de ferro i materials amorfs de tipus allofana, que poden evolucionar cap a graus de cristallinitat superiors, cosa que justifica la presència de halloysita.

Les transformacions fèrriques

En l'àrea mediterrània és freqüent veure sòls de colors vius, entre ocre i vermell fort. Aquesta

coloració és controlada per la natura i quantitat dels compostos de ferro que hi són presents. Les formes amorfes i les cristal·lines hidratades d'òxids de ferro, com per exemple la limonita, són responsables dels colors bruno-groguencs, mentre que les formes cristal·lines, com l'hematites o l'oligist, donen coloracions vermelles.

Hi ha diversos processos relacionats amb les transformacions fèrriques en les quals no hi ha un canvi de valència del Fe^{3+} i que tenen repercusions directes sobre el color del sòl: la rubefacció, la brunificació, la fersialitització, etc.

• *La rubefacció i la brunificació*

La *rubefacció* és un procés que provoca coloracions vermelles al sòl, i és conseqüència de la deshidratació o, fins i tot, deshidroxilació dels òxids i hidròxids de ferro. En les zones mediterrànies, el contrast estacional amb humectació i dessecacions alternants afavoreix la rubefacció. Pedro (1968) assenyala com a condicions òptimes per a la rubefacció, temperatures superiors a 20°C i pluviometries anuals superiors a 500 mm.

Com a resultat d'aquest procés, molts sòls dels Països Catalans presenten coloració vermella amb un grau d'intensitat força variable. Així, en els sòls desenvolupats sobre el granit del Maresme només es pot apreciar un estat inicial de rubefacció que amb caràcter puntual tenyeix de vermell el granit, a causa dels òxids de ferro alliberats per alteració de la biotita. En altres sòls desenvolupats sobre materials sedimentaris, com en el Vallès, el grau de rubefacció és notable.

Els sòls formats sobre roques calcàries, anomenats clàssicament *terra rossa*, presents en determinats punts del sector sud de la Serralada i Depressió Prelitorals catalanes, Garraf, Penedès, Anoia, Alt Camp, etc., així com al massís de Mondúver (Safor), al cap de Sant Antoni (Marina Septentrional) i a Mallorca, l'alliberament, la immobilització, i la rubefacció dels òxids de ferro són extrems. En aquests casos, el procés no es correspon amb el clima actual, sinó amb paleoclimes molt més contrastats. Són sòls vells en els quals la rubefacció ha estat precedida d'una descarbonatació, cosa que ha retardat considerablement el procés.

Cal remarcar que, mentre que en la rubefacció els òxids de ferro lliures són els implicats, en el procés de *brunificació*, que genera les tonalitats brunes predominants en els sòls dels Països Catalans, ho són els òxids de ferro lligats a les argiles i, sobretot, a la matèria orgànica, en forma de complexos insolubles.

• *La fersialitització*

Un dels processos que implica transformacions fèrriques més profundes és el de la *fersialititització*, particularment important en la zona mediterrània. Es caracteritza per una alteració moderada de minerals primaris rics en ferromagnesians, que allibera, a més a més del ferro, certes quantitats de sílice i cations alcalins o alcalinoterris. Els òxids de ferro alliberats en un medi ric en bases són immobilitzats i poden donar lloc a processos de rubefacció més o menys intensos.

Les argiles heretades són majoritàriament de tipus il·lític i, juntament amb les neoformadores, poden ésser mobilitzades en època húmida, en medi parcialment dessaturat, i transportades en suspensió dintre del perfil (*il·luviació*), cosa que dóna lloc a la formació d'endopedions de tipus argílic.

La fersialització origina, doncs, la presència d'òxids de ferro en el sòl a conseqüència d'una alteració. Cal tenir en compte, però, que el fet que els òxids estiguin fortament rubefactats no depèn de llur estat, natura i quantitat, i que no és un caràcter necessari perquè un sòl sigui fersialític. D'altres sòls de coloracions brunes poden presentar processos de fersialititització, com els sòls bruns fersialítics (CPCS, 1967) identificats sobre zones del Buntsandstein a la serra d'Espadà (Alt Millars), serra de la Calderona (Camp de Morvedre/Horta) i les Rodanes de Vilamarxant (Camp de Túria).



88 *L'ALTERACIÓ DE LA BASANITA mostra clarament la formació d'òxids de ferro que són immobilitzats en el perfil a causa de la riquesa en bases del medi, condicions característiques del procés de fersialitització (Maçanet de la Selva). [Foto: Robert Cruañas]*

Els sòls de la zona de Maçanet de la Selva, desenvolupats sobre basalt, són també exemple de sòls amb processos de fersialititització, alliberament d'òxids de ferro i immobilització per les bases, malgrat que no presentin un grau important de rubefacció. Així mateix, poden considerar-se com a fersialítics els sòls de Canet d'Adri (Gironès), desenvolupats sobre materials de natura volcànica.

• ***La ferrugeïnització***

La ferrugeïnització és un procés edafogenètic directament implicat amb les transformacions fèrriques. Es caracteritza per una major alteració amb alliberament d'òxids de ferro i una desilicatització capaç de generar argiles de tipus caolinític. Això necessita unes condicions del medi que no es donen als Països Catalans i que són característiques dels sòls de les zones tropical i subtropical húmida.

• ***La ferralititització***

La ferralititització, que representa una alteració fèrrica extrema, tampoc no es dóna als Països Catalans en l'actualitat, bé que poden citar-se com a exemple de materials resultants d'aquest tipus d'alteració, les bauxites de la Llacuna (Anoia) dipositades en uns nivells de calcàries entre el Keuper i l'Eocè. Evidentment, no es tracta de cap procés actual.

Les migracions i translocacions

S'anomena *migració* tot aquell procés que comporta una mobilització i un transport de materials del sòl a través del perfil. A vegades els materials mobilitzats un cop transportats són dipositats en altres indrets del mateix perfil (procés de *translocació*), i en d'altres resulten eliminats per l'aigua de drenatge.

Les migracions poden ésser el resultat de l'acció més o menys continuada d'un determinat agent químic, és a dir, d'una *lixiviació*. Aquest és el cas de la migració de sals solubles o hidrolitzables provocada per l'aigua, les migracions de carbonats per l'acció del CO_2 en medi aquós, les de Fe^{2+} en medi hidromorf, etc. En el cas particular que les migracions de sals solubles o hidrolitzables siguin provocades per l'aigua, es parla de *rentat*. Si la mobilització és causada pel poder complexant o quelant de la matèria orgànica del sòl sobre determinats elements metàl·lics com el ferro, per donar complexos organometàl·lics solubles o pseudo-solubles, es parla de migracions per *complexació* o *queluviació*.

Però també és possible que les migracions no siguin provocades per una acció química lixiviant, sinó per una acció purament física o mecànica exercida sobre partícules en suspensió. Aquest procés migratori, anomenat "lessivage", normalment portat a terme per l'aigua infiltrada en el perfil, actua sobre la fracció col·loïdal dels sòls, concretament les argiles*.

Les migracions poden produir-se en sentit vertical descendent, que és el més freqüent, lateral o bé vertical ascendent. En determinades posicions geomorfològiques, tals com en els glacis, és possible una mobilització lateral, a causa de l'escolament subsuperficial. Les acumulacions de carbonats del Camp de Tarragona i el pla de Barcelona, entre d'altres, tenen sens dubte un component d'aportació lateral, lligada a moviments verticals descendents. Si bé les migracions acostumen a produir-se en sentit vertical descendent, en el cas de zones amb flux hídric de tipus ascendent originat per una forta evapo-transpiració amb presència d'una capa freàtica prop de la superfície, en determinades èpoques de l'any poden provocar-se mobilitzacions de sals solubles (halita, mirabilita, epsomita, etc.) vers la superfície del sòl. Això dóna lloc a eflorescències blanques superficials que són típiques de sòls salins, com els d'Albatera i Catral (Baix Segura), delta de l'Ebre, les Mallaes del Saler (Horta), el Segrià o el litoral rossellonès, entre d'altres indrets.

En qualsevol cas, a resultes dels processos migratoris, determinats horitzons poden empobrir-se per pèrdua de constituents mobilitzables dintre del propi perfil. El procés s'anomena d'*eluviació* i quan és molt intens dóna lloc a horitzons eluvials, designats per *E* (FAO, 1974), A_2 (CPCS, 1968), etc. o horitzó àlbic (SSS, 1975). Per contra, d'altres hortizons on les condicions edàfiques permeten frenar la migració, es veuran enriquits, a causa d'un procés anomenat d'*iluviació*. En són resultants els hortizonts *Bt* d'acumulació d'argila, B_h d'humus, etc., anomenats *iluvials*.

Als Països Catalans, les migracions que tenen una major representativitat són les lixiviants, les més importants de les quals, per estar implicades d'una forma directa en processos més complexos, com la carbonatació-descarbonatació, salinització-dessalinització i, fins i tot, la gleïficació, han estat tractades anteriorment de forma individual. Cal, no obstant això, considerar altres migracions, lixiviants o no, que no han estat tractades i que també tenen una certa importància en els sòls dels Països Catalans. Per una banda, en la *iluviació d'argila* o *lessivatge*, on les partícules migren en suspensió, hi ha un

* Existeix una confusió considerable en la terminologia emprada per a designar els diferents tipus de processos de migració de matèria dins el sòl. Així, per exemple, el terme francès "lessivage", que vol expressar la iluviació d'argila, ha estat mal traduït al castellà per "lavado". El mot rentat cal reservar-lo per a expressar les migracions de matèria soluble en aigua.

procés de translocació que s'interromp per immobilització del material a una certa profunditat dintre del perfil. Per altra banda, amb representació geogràfica molt minsa es presenten processos de *queluviació*.

El lessivatge és típic dels alfisòls que es troben representats a la Selva, al Gironès, etc., i de paleosòls del Camp de Tarragona, entre d'altres indrets. L'acumulació d'argila es produeix per translocació des dels horitzons superiors cap als subsuperficials i el resultat és la formació d'un B_t, que quan és totalment desenvolupat constitueix un endopedió argílic. No tots els horitzons que presenten un contingut d'argila més elevat que els horitzons superior i inferior poden ésser considerats horitzons d'illuviació. L'augment d'argila pot ésser causat per una alteració amb alliberament o neoformació d'argila *in situ*. És per això que cal identificar en l'horitzó d'acumulació, i mitjançant la tècnica de micromorfologia, la presència de pellícules o revestiments orientats d'argila anomenats *cutans* o *argilans* que recobreixen part del material ja existent.

El procés de lessivatge resulta impedit en medi calcari a causa que el poder floculant del Ca^{2+} en sòls neutres biològicament actius, per la capacitat de formar complexos húmico-argilosos estables, no permet la migració del col·loide argilós. Les montmorillonites en són una excepció, ja que per la seva mida petita poden ferho fins i tot en medi neutre, arrossegant òxids de ferro i donant ferroargilans de color ocre. En els sòls àcids són el Fe^{3+} o el Al^{3+} els que poden bloquejar l'argila mitjantçant la seva actuació com a ponts entre aquesta i la matèria orgànica. És per això que la il·luviació d'argiles requereix unes condicions molt concretes, un medi mitjanament àcid, baixa saturació en bases, poca matèria orgànica i suficient pluviometria, o bé sòls molt àcids amb fort rentat, pobres en matèria orgànica i mal airejats. En el cas dels Països Catalans, són les primeres condicions les que solen presentar-se.

Un altre dels processos implicats en la gènesi de sòls als Països Catalans, basat en les migracions i concretament en la queluviació, és el de la *podzolització*, que és característic dels espodosòls, podzols o sòls podzolitzats. Aquest procés es presenta només d'una forma molt localitzada, en els estatges alpí i subalpí de l'alta muntanya pirinenca, com és el cas de la vall de l'Artiga de Lin (Vall d'Aran), Aiguamoix, llac de Sant Maurici, etc. i, de forma molt puntual, en altres indrets com el Montseny, on apareixen bandes d'il·luviació de matèria orgànica no generalitzades, associades a zones de circulació preferencial d'aigua.

En el procés de podzolització, la migració afecta la matèria orgànica i també el Fe^{3+} i Al^{3+}. Les condicions per a iniciar el procés han d'ésser fortament àcides, pH < 4, la vegetació acidòfila i la precipitació elevada. Factors que frenen la descomposició i evolució de la matèria orgànica o que donen lloc a un humus tipus *mor*, amb predomini de grups funcionals carboxílics i fenòlics, molt agressius i amb elevat poder complexant. Aquesta matèria orgànica d'alta mobilitat és translocada de l'horitzó superficial, i en la seva migració altera el material originari alliberant entre d'altres Fe^{3+} i Al^{3+} per hidròlisi complexant. Els productes d'alteració són rentats, mentre que el Fe^{3+} i l'Al^{3+} migren en forma de quelats, atesa l'estabilitat d'aquests complexos organometàl·lics.

El resultat és una migració de quelats de ferro o alumini que pot generar un horitzó el·luvial de color blanquinós o cendrós A_2, per sota de l'A_1, constituït tan sols per quars no alterat de textura fina. Posteriorment, en profunditat es produeix la precipitació dels complexos organometàl·lics i es genera un horitzó d'il·luviació de tipus B_h o B_{hir}, anomenat espòdic, caracteritzat per una forta coloració negra a causa de la matèria orgànica B_h, i també ric en òxids de ferro i alumini i aluminosilicats amorfs B_{hir}. La precipitació es produeix a causa de l'augment en profunditat de ferro i alumini alliberat i la disminució de la relació anió complexant/metall que inestabilitza el complex soluble, tot precipitant-lo. Posteriorment, la matèria orgànica desapareix per degradació, mentre que el Fe^{3+} i l'Al^{3+} formen els òxids corresponents. A vegades existeix una diferenciació entre les zones d'acumulació de matèria orgànica i d'òxids metàl·lics, que dóna horitzons il·luvials B_h i B_{ir} amb límits netament diferenciats.

2.5 *D'altres transformacions*

L'engruiximent d'epipedions

D'entre els processos que poden donar-se en la formació i l'evolució d'un sòl, uns tenen un àmbit d'actuació limitat al perfil, mentre que d'altres poden representar una acció provinent de l'exterior amb repercussions posteriors de tipus intern. Poden considerar-se d'aquest darrer tipus els processos d'acumulació de materials sobre la superfície del sòl, el que pot provocar l'engruiximent de l'horitzo A, per aportacions per gravetat, per acció hídrica o eòlica. El procés es manifesta principalment en sòls situats a zones baixes o deprimides. L'aportació de materials amb matèria orgànica, procedents de l'erosió de sòls situats més amunt i que s'incorporen a la part superficial del perfil, farà augmentar el gruix de l'horitzó A i donarà com a resultat el caràcter morfològic anomenat *cumúlic*. El procés es coneix com *cumulització*.

L'engruiximent d'un horitzó *A* pot tenir altres causes, com és la incorporació en profunditat de matèria orgànica per la descomposició de les arrels de gramínies per exemple. La morfologia del perfil serà semblant, però en aquest cas el sòl presenta un caràcter pàquic (*pachic*). La posició geomorfològica serà la que en molts casos ajudarà a interpretar si es tracta d'un sòl amb caràcter cumúlic o pàquic.

L'edafotorbació

L'edafotorbació expressa l'acció de mescla o barreja dels constituents del sòl realitzada pels agents biòtics, *biotorbació*, i per mecanismes físics de natura molt variada, normalment la glaçada seguida de desglaçada, *criotorbació*, expansió-retracció causada per l'argila (*argilotorbació*), per creixement de cristalls (*cristal·lotorbació*), o per vibracions, principalment terratrèmols, (*sismotorbació*). Són processos que en major o menor intensitat tenen lloc en els sòls i que, si assoleixen una importància gran, poden provocar una homogeneïtzació del perfil.

L'acció biòtica (fauna i flora del sòl) és concretament portada a terme per determinades espècies, com els cucs de terra, capaços d'obrir galeries suficientment profundes per a establir una barreja de materials entre horitzons diferents, i particularment de remuntar argiles que poden incorporar-se als horitzons superficials o de destruir argilans barrejant-los amb la matriu del sòl. També hi contribueixen els formícids i d'altres microartròpodes amb les seves boletes fecals o mitjançant la granulació del material, etc.

A diversos indrets dels Països Catalans, a Camp-redó (Baix Ebre) i a Arbeca (Garrigues), entre d'altres, s'han observat horitzons amb estructura originada per l'acció de la fauna. La part superior del perfil s'asseca intensament durant l'estiu i, per tant, la fauna troba en profunditat unes millors condicions de vida i és allà on manifesta més clarament el seu treball. El resultat del procés en aquests casos, és la formació d'un horitzó *B* estructural o endopedió *càmbic*.

Les accions d'edafotorbació poden, també, ser originades per una acció física de natura molt variada. Entre aquestes cal esmentar l'acció dels corrents preferencials d'aigua en infiltrar-se en el sòl; l'acció de les baixes temperatures sobre l'aigua retinguda que, per congelació, augmenta de volum causant una criotorbació, especialment important en zones d'alta muntanya; l'acció d'argiles expandibles pot provocar una acció semblant durant l'expansió o facilitar el moviment de materials per les fissures quan es produeix la retracció. Aquestes fluctuacions del perfil, només són importants en sòls de caràcter vèrtic i depenen de les variacions en el contingut hídric.

3. *Els processos erosius i la conservació dels sòls*

3.1 Consideracions generals

És freqüent que després d'unes pluges els rierols i les rieres portin aigua marronosa, color que és causat per la càrrega sòlida transportada. L'aigua arrossega les partícules que es troben lliures a la superfície del terreny, que seran més susceptibles a l'erosió com menys coberta vegetal tingui el sòl i com més intensa sigui la pluja. En conservació de sòls es fan servir els conceptes d'*erosionabilitat* o *erodibilitat* del sòl i d'*erosivitat* de la pluja per a significar la susceptibilitat del sòl a ésser erosionat i l'activitat erosiva de la pluja, respectivament.

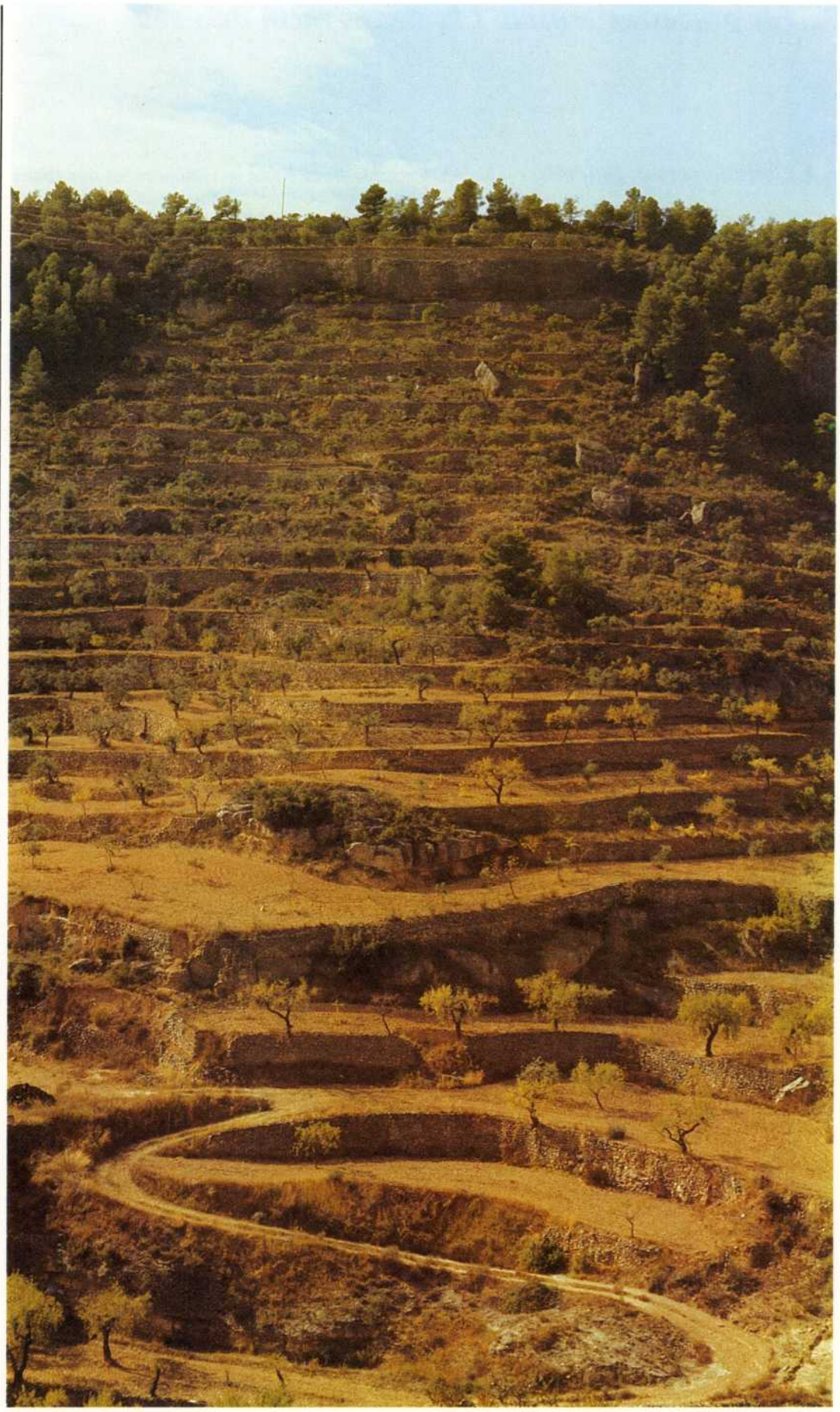
Malauradament, malgrat la importància dels processos erosius, als Països Catalans no s'hi para gaire atenció. Hi ha molt poques estacions pluviogràfiques que permetin conèixer la intensitat de les pluges i encara n'hi ha menys que mesurin les pèrdues reals de sòls. Cal destacar els treballs de Marqués i Julià (1983) i de Boixadera (1983), com els més recents, però, en general la manca de dades quantitatives fa que s'hagi de recórrer a avaluacions qualitatives, que en molts casos només són possibles allà on l'erosió es troba en un estat molt avançat.

L'interès d'estudiar l'erosió del sòl ha quedat palesa des de la dècada dels 30, en què als Estats Units es varen produir fenòmens d'erosió accelerada en posar en conreu zones que abans estaven protegides per una vegetació de pastures. En d'altres casos més propers l'erosió pot no ésser tan evident ni tan ràpida, però això no vol dir que no existeixi. El 1933 es creà als Estats Units el Soil Erosion Service, anomenat a partir del 1935 Soil Conservation Service. La preocupació pel tema i les recerques es generalitzen a molts estats, i a Espanya fou la llei de 20 de juliol de 1955 la que declarà d'utilitat pública i d'interès nacional la realització d'obres, plantacions, etc., per conservar els sòls i, al mateix temps, creà el Servicio de Conservación y Mejora de Suelos Agrícolas, que anys després s'integrà dintre de l'ICONA com a Sección de Conservación de Suelos (1971). En el moment en què es produí la transferència de l'ICONA a la Generalitat de Catalunya, la Conservació de Sòls queda a càrrec de la Direcció General del Medi Rural del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca (1980). No obstant això, l'antiga Sección de Conservación de Suelos ha estat mantinguda dintre del marc de l'Estat, en espera que la integració a la Comunitat Econòmica Europea porti una homologació de les polítiques de subvenció, que són la base de les obres de conservació de sòls.

Per si no és prou clara la importància de l'erosió, uns exemples poden ajudar a fer més evident el problema. Fora dels Països Catalans, es pot citar el fet que l'antic estuari on es tro-



89 *EL REBLIMENT D'EMBASSAMENTS, com aquest que quedà (1956) pràcticament ple per les aportacions sòlides del Vinalopó (Baix Vinalopó) és una de les conseqüències negatives dels fenòmens erosius.*
(Foto: C. Roquero)



90 *L'AFEIXAMENT DELS VESSANTS mitjançant marges que retenen el sòl dels bancals i permeten l'escorriment hídric regular són obres tradicionals de bona gestió edàfica, corrents a tota la Mediterrània (la Bisbal de Falset, al Priorat). [Foto: Josep M. Villar]*

ben les maresmes del Guadalquivir s'ha reblert a causa de les desforestacions fetes el segle XVIII; per manca de mesures de control de l'erosió a la conca, el pantà d'Isabel II o pantà de Níjar va quedar totalment ple de terra en uns onze anys. Si es vol un exemple més proper, l'embassament de Tremp, amb una capacitat inicial de 232 milions de metres cúbics, s'ha vist disminuït considerablement per les aportacions sòlides que ha rebut. En tots aquests i a molts altres exemples, el material que ha emplenat estuaris o embassaments procedia de l'erosió dels sòls de les corresponents conques, és a dir, que s'ha produït una pèrdua d'un recurs no renovable a curt termini (el sòl), o com a mínim haurà disminuït la seva capacitat productiva.

Els pagesos han intuït el problema des de fa ja molts anys, i empíricament han realitzat obres realment admirables. De cap a cap dels Països Catalans es troben marges i feixes que no són sinó un mitjà de lluita contra l'erosió. Fou una tasca pacient, que feren els nostres avantpassats i que ara ni es valora suficientment ni se sap conservar, sinó que per un afany de mecanització es destrueix sense avaluar-ne les conseqüències.

3.2 La pèrdua de sòls

L'erosió és la principal responsable dels processos que menen a la pèrdua irreparable de sòl. Per a poder disminuir els efectes devastadors de l'erosió cal conèixer els processos que l'originen i els factors que en controlen el desenvolupament. Clàssicament l'erosió s'estudia atenent a l'agent erosiu principal. Així, es diferencien l'erosió hídrica, la glacial, la de la neu durant l'època del desglaç, l'eòlica, la dels moviments en massa, la biològica i l'antròpica. A la natura, aquests tipus d'erosió es poden presentar aïlladament o no i, de tots ells, els que tenen més importància sobre l'economia són l'erosió hídrica i l'èolica. Als Països Catalans, és la primera d'elles la que més repercusió té per la gran superfície afectada, si bé no cal oblidar l'acció del vent (per exemple, les ruïnes d'Empúries van quedar colgades a causa d'aquesta acció).

L'erosió hídrica

L'aigua, com a agent erosiu, pot actuar des del moment en què arriba a la superfície del sòl en forma de gotes de pluja; pot, a més, transportar partícules d'un lloc a un altre en desplaçarse al llarg d'un vessant, formant l'*escolament superficial difús* o originant cursos que s'aniran aprofundint, si el procés es continua (*escolament superficial concentrat*). A més d'aquesta erosió hídrica superficial, el fet d'infiltrar-se l'aigua en el sòl pot provocar una erosió subsuperficial.

UNITAT	TM/HA I ANY	GRAU D'EROSIÓ
1	1 - 10	Molt dèbil
2	10 - 20	Dèbil
3	20 - 100	Moderat
4	100 - 300	Alt
5	300	Molt alt
0	No quantificable	Irreversible

91 *AVALUACIÓ DE LES PÈRDUES DEL SÒL en funció de les unitats cartogràfiques (criteris aplicats al País Valencià). [Font: Sánchez/Rubio, 1984]*

- ***Erosió per esquitx***

Quan comença la pluja, el sòl està sec i les gotes colpegen directament el terreny. En el cas que la superfície no estigui protegida per vegetació, l'impacte de les gotes de pluja pot anar trencant els terrossos poc estables que, en desfer-se, alliberen les partícules que els formen i, per tant, hi ha una degradació del sòl per destrucció de l'estructura superficial.

Les gotes de pluja poden arribar al sòl a una velocitat d'uns 900 cm/s^{-1}, cosa que explica que les partícules no tan sols siguin alliberades, sinó que, a més, siguin espargides a una certa distància, que pot arribar a ésser de 150 cm. Si es tracta d'un sòl de vessant, s'hi desencadena un moviment lent cap avall de partícules, anomenat "creep". Aquest procés es podria considerar poc important, si no fos perquè les partícules, un cop alliberades, poden ésser fàcilment transportades per l'aigua d'escolament superficial.

L'erosió per esquitx es produeix amb més intensitat a les parts culminants dels camps de conreu situats en vessants, principalment en sòls amb sorra fina, ja que la sorra grossa és més difícil de moure i els sòls de textura argilosa o franco-argilosa acostumen a tenir més bona estructura, cosa que fa més difícil l'alliberament de les partícules.

L'erosió per esquitx és molt poc aparent, si bé l'efecte més conegut pels pagesos és la formació de la *crosta superficial*. Les partícules poden ésser transportades dintre del propi sòl per l'aigua que s'infiltra i obturar els porus, donant lloc a una capa superficial molt poc porosa que, en assecar-se, forma una crosta superficial, tan típica a molts sòls pobres en matèria orgànica. La nascència es veurà dificultada, i així mateix disminuirà la velocitat d'infiltració, que pot arribar a ésser unes 2000 vegades menor que la inicial: per tant, a les properes pluges, l'escolament superficial augmentarà.

A la zona de Piera-Masquefa s'ha calculat que el sòl remogut per aquest tipus d'erosió pot arribar a ésser d'unes 300 t/ha i any, que si bé no es perden directament, són susceptibles d'és-



92 *LA MESURA DE LA INTENSITAT DE LA PLUJA és enregistrada mitjançant pluviòmetres, algun dels quals (com aquest instal·lat al Montseny per la Universitat Autònoma de Barcelona) n'indica la distribució al llarg del temps. Les dades d'intensitat són imprescindibles a l'hora de prendre mesures de conservació de sòls. (Foto: Jaume Porta)*

ser arrossegades posteriorment per l'aigua d'escolament superficial.

• ***Erosió per escolament superficial difús***

A mesura que el sòl es va amarant d'aigua, si la pluja continua, arriba un moment en què la velocitat d'infiltració no és suficient i apareix una làmina d'aigua al damunt de la superfície. En terreny pla es formaran tolls, mentre que en un vessant, l'aigua es posarà en moviment originant l'escolament superficial difús. La poca capacitat del sòl per a engolir l'aigua pot ésser causada per les característiques de la seva superfície: impermeabilització produïda per la compactació o per la formació d'una crosta superficial; o per la baixa conductivitat hidràulica del horitzons, etc. Per altra banda, el poder erosiu o erosivitat d'una pluja és funció de les seves característiques físiques (quantitat i durada, és a dir, la intensitat màxima) de la massa, diàmetre i velocitat de les gotes de pluja. Una pluja es considera erosiva quan la seva intensitat és superior a 50 mm/h, si bé alguns autors consideren que ja ho és a partir de 30 mm/h.

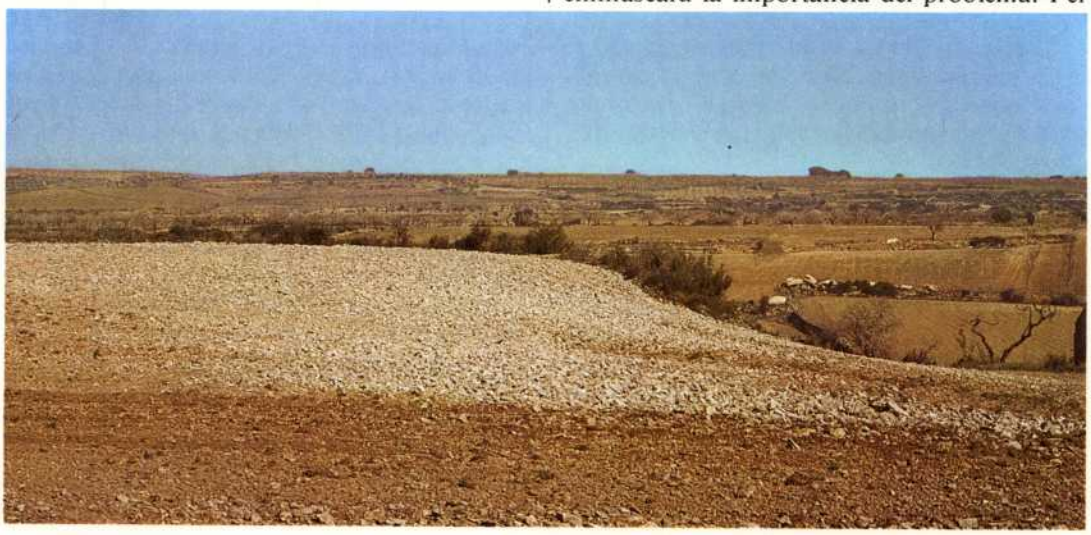
La escassesa d'observatoris amb pluviògraf de sèries llargues dificulta poder conèixer amb precisió la intensitat de les pluges; no obstant això, es pot afirmar en base a les dades existents que els ruixats d'intensitat superior als 50 mm/h són habituals cada any a la zona mediterrània. Com a exemple es poden citar intensitats de 90 mm/30 min a Masquefa, 180 mm/h a Igualada, etc. La combinació durada-intensitat fa que pluges menys intenses, però de més durada, puguin arribar a ésser erosives.

Sortosament, l'àrea afectada per una pluja determinada és inversament proporcional a la seva intensitat. Així, segons l'expressió proposada per Hofbauer, una pluja de 66 mm/h, que es pot presentar a l'àrea Piera-Masquefa, afecta una superfície de 1000 ha, mentre que un ruixat de 4,7 mm/h afectaria més de 2000 ha, encara que en ambdós casos la quantitat final de pluja sigui la mateixa. Aquests fets expliquen la gran variabilitat de la pluja d'unes contrades a d'altres i, per consegüent, dels processos erosius. L'erosió laminar es considera intensa, si la pèrdua de sòl és de l'ordre de 15 a 30 m^3 per ha i any; pel damunt d'aquests valors l'erosió és molt intensa i pot arribar a ésser fins i tot catastròfica.

• ***Erosió per escolament superficial concentrat***

L'aigua que circula pel damunt dels camps de forma difusa pot embassar-se a causa de les irregularitats de la superfície del terreny. En trencar-se una d'aquestes micropreses, la petita concentració de flux superficial origina un rierol que anirà augmentant de cabal vessant avall. Aquest escolament superficial concentrat és molt eficaç per a erosionar el sòl, a causa de la seva elevada capacitat de transport.

La pèrdua de materials es produeix d'una manera localitzada i origina *solcs* molt visibles després d'una pluja intensa. En els camps conreats, el pagès en llaurar esborra els solcs, cosa que emmascara la importància del problema. Per



93 *L'ESCOLAMENT SUPERFICIAL DIFÚS s'enduu lentament el sòl fins a fer aflorar la roca subjacent, com és el cas d'aquestes calcàries fragmentades, a Arbeca (Garrigues). (Foto: Jaume Porta)*

contra, quan es tracta de terrenys no conreats, els solcs s'aniran fent més i més profunds, es transformaran en *xaragalls* i, finalment, en *barrancs*. Els xaragalls són ja cursos d'aigua que suporten fluxos fulgurants i intermitents. Aquests xaragalls creixen ràpidament quan augmenta la quantitat d'aigua a transportar, per exemple perquè canvia l'ús del sòl o bé perquè es concentren aigües en construir una carretera que modifica el model de drenatge natural de la zona.

El resultat del procés és la dissecció del terreny afectat; l'accés als camps es va fent cada cop més difícil i fins i tot perillós, les parcel·les van quedant aïllades, deixen d'ésser conreables i la morfologia final és la de "bad-lands". Com exemples d'aquest procés amb diferents intensitats es poden citar les zones de Piera-Masquefa, Igualada, Sant Martí de Tous (Anoia), els vessants d'All (Baixa Cerdanya), la plana de Vic, entre altres indrets, on coincideix amb la presència de roques no consolidades de tipus lutites i argiles, principalment.

D'acord amb els treballs de Boon i col·laboradors (1980) es pot produir erosió en solcs amb pluges d'intensitats entre 5 i 10 mm/h, amb

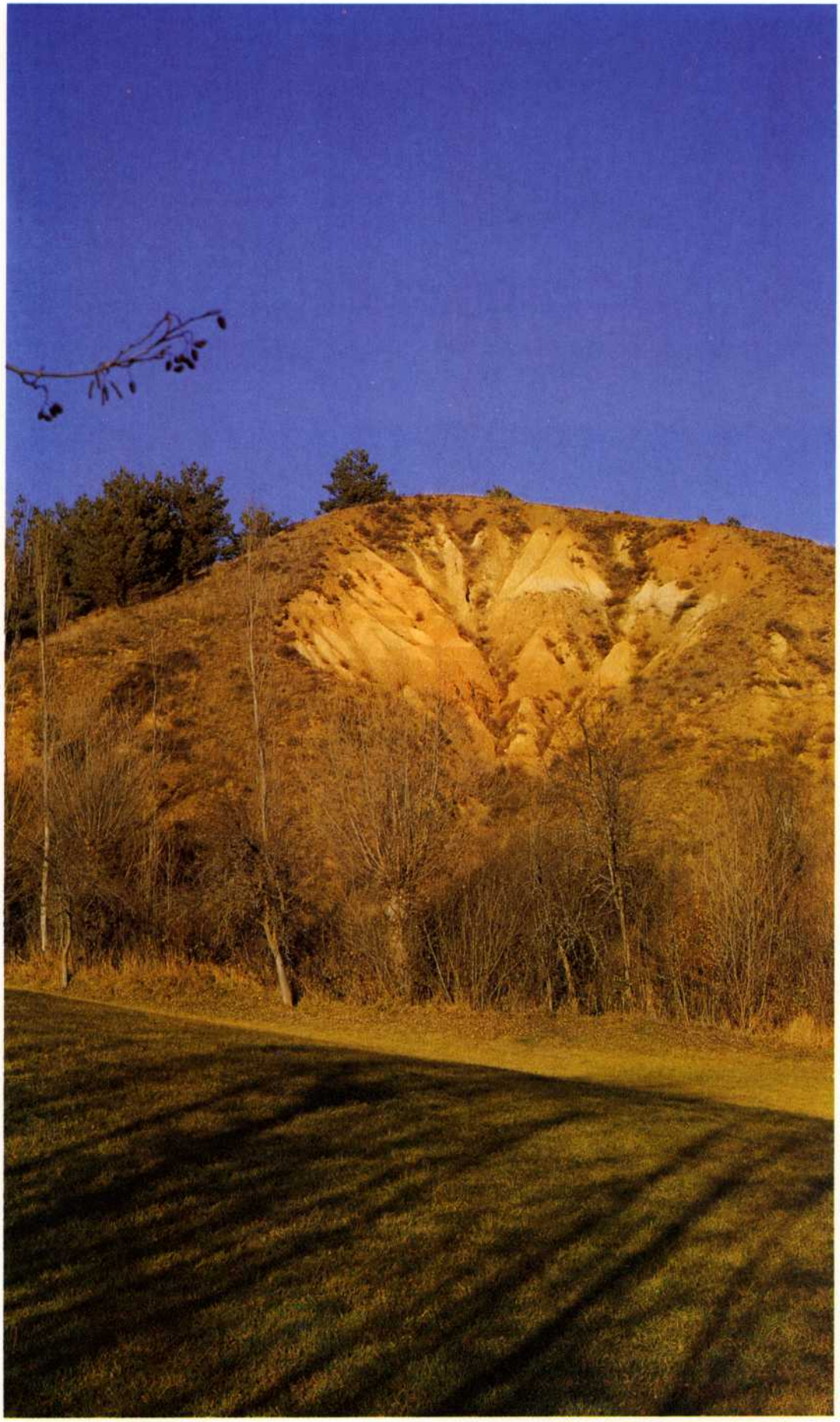




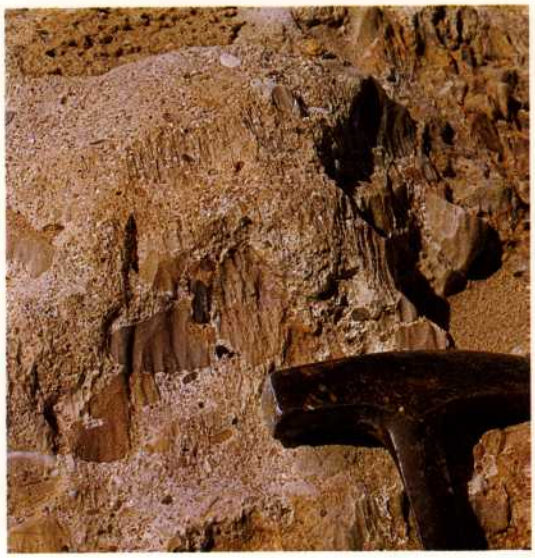
94 *L'ESCOLAMENT SUPERFICIAL CONCENTRAT pot iniciar-se a partir de "microembassaments", com aquest toll pluvial d'un camp (a l'esquerra), a partir del qual poden excavar-se petits canals de desguàs, importants si no hi ha vegetació (a la dreta).*
[Fotos: Jaume Porta]



95 *GRANS XARAGALLS produïts com a resultat final de l'evolució del procés d'escolament descrit en la figura precedent, capaços d'acabar destruint una àrea de conreu (Masquefa, Anoia).*
[Foto: Jaume Porta]



96 *LA FORMACIÓ DE "BAD-LANDS", resultat del creixement i imbricació de xaragalls, arriba a ser un problema seriós en zones on dominen els materials poc compactes, com les lutites o les argiles (All, Baixa Cerdanya). [Foto: Jaume Porta]*





97 *ELS EFECTES DE L'EROSIÓ EÒLICA poden ésser de transport de partícules o bé d'abrasió sobre els materials fixs, fet aquest darrer que generava superfícies estriades (a l'esquerra) o còdols eolitzats (a la dreta), com aquests de l'Almadrava (Baix Ebre).*
[Fotos: Jaume Porta]

pendents inferiors al 20%, si el vessant té una longitud de 60 a 100 m, circumstàncies que es donen a molts indrets dels Països Catalans. Quan els xaragalls són visibles es pot afirmar que l'erosió ha estat molt intensa, que el procés està molt avançat, i que és pràcticament irreversible.

• ***Subfusió***

Les parcelles limitades per un desnivell poden presentar un tipus especial d'erosió anomenat subfusió. Es caracteritza per un arrossegament de partícules de la superfície cap a la part inferior, generalment amb sortida per una cavitat del talús. L'existència de caus o galeries que afavoreixen la circulació de l'aigua fa que els forats es vagin engrandint i que, finalment, la paret del talús acabi per caure. A la zona de Masquefa-Piera n'hi ha exemples molt clars.

L'erosió eòlica

L'erosió eòlica està localitzada al litoral dels Països Catalans. L'existència de vents d'elevada intensitat, per exemple a l'Empordà, explica el moviment de les partícules de sorra i la formació de dunes, a l'igual que a altres indrets com al delta de l'Ebre, Canet (Plana Baixa), el Saler (Horta de València), i Guardamar (Baix Vinalopó). L'acció del vent sobre els materials consolidats produeix una abrasió, a causa que les partícules que transporta van llimant les superfícies amb les quals entren en contacte. A les roques de la costa hi ha molts exemples d'aquest treball del vent, entre els quals es poden esmentar els del litoral a l'Ampolla (Baix Ebre).

A les terres de l'interior hi ha arrossegament de partícules per l'acció del vent, però no es disposa de dades per a avaluar-ne la importància que, no obstant això, no es considera gran.

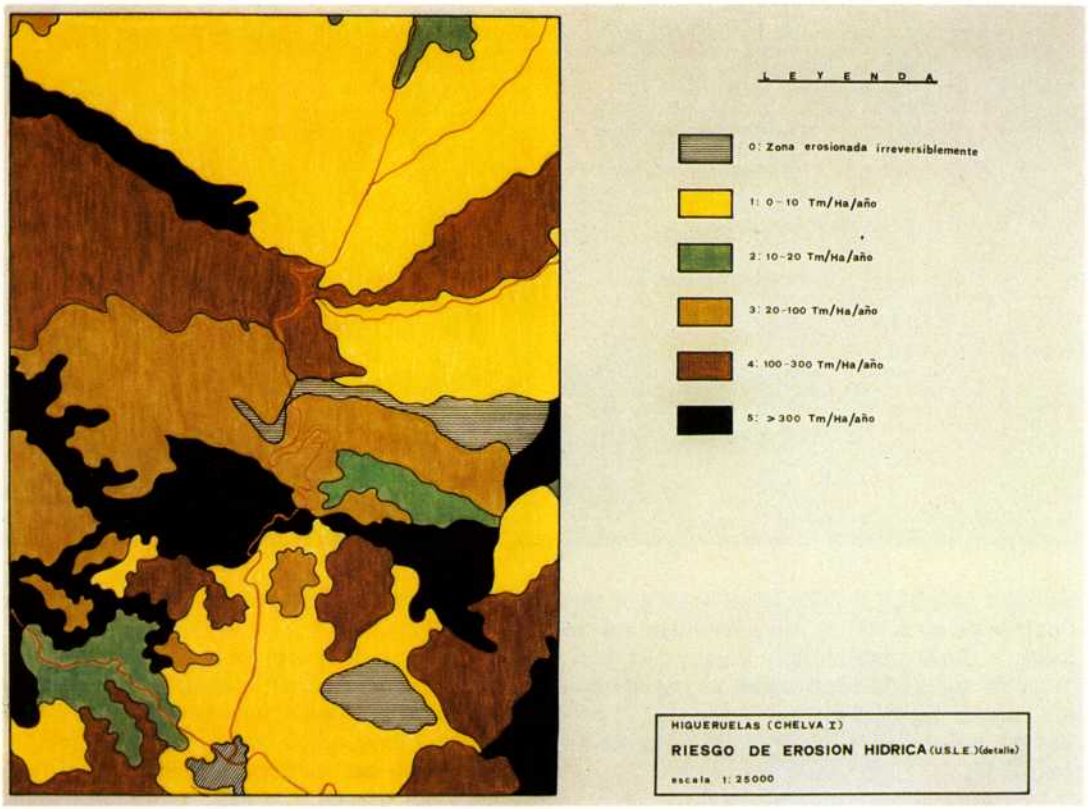
Els moviments en massa

Un altre grup de processos modelen les formes del paisatge als Països Catalans: es denominen moviments en massa. En aquest cas els materials són transportats per moviments descendents induïts per la força de la gravetat. El volum de sòl afectat pot ésser molt important, com és el cas de les *esllavissades*, que tenen lloc d'una manera ràpida i catastròfica. En d'altres casos, el mantell edàfic d'un vessant es mou len-





98 *ELS MOVIMENTS EN MASSA porten a l'esllavissada de vessants, com (a dalt) aquests talussos d'autopista (el Papiol, Baix Llobregat); en detall (a baix), hom aprecia la cicatriu de l'esllavissada (Gironès).*
[Foto: Jaume Porta]



99 *EL RISC D'EROSIÓ d'un sòl pot ésser cartografiat en mapes com aquest, a escala original d'1:25 000, corresponent a Figueroles de Domenyo (Serrans). [Foto: J. Sánchez]*

tament quan es satura d'aigua i origina arrugues a la superfície del terreny: és el procés anomenat *solifluxió*.

Els *corrents de fang* circulen per línies de drenatge preexistents en vessants de materials no consolidats, mentre que en vessants amb roques dures poden produir-se *caigudes de blocs*. Aquests processos expliquen perquè en vessants molt actius hi ha sòls joves de poc gruix. Així, els processos de meteorització poden no ésser suficientment ràpids per a compensar les pèrdues per transport en massa i els sòls queden en un estadi d'entisòls. Com exemple es poden citar els vessants formats per roques calcàries. En canvi, en vessants controlats per transport i amb meteorització ràpida, es poden desenvolupar sòls més profunds: és el cas de vessants sobre roques no coherents. Per tant, la forma del vessant serà el resultat de la velocitat de meteorització i de transport a cada un dels seus punts.

Segons el tipus de procés, doncs, les pèrdues de sòl seran tan intenses que afectaran l'agricultura, els espais naturals o les obres públiques.

L'avaluació de les pèrdues

Les pèrdues de sòl (*Ps*) es poden mesurar mitjançant la utilització de trampes que recullin els materials transportats per l'escolament. Alguns treballs han estat encetats l'any 1981 per obtenir dades reals (Marqués, 1985).

En aquells indrets en els quals no es disposi de mesures, les pèrdues de sòl es poden avaluar d'una forma orientativa aplicant l'equació universal de pèrdua de sòl (*USLE*) assajada per Wischmeier i col·laboradors (1965). L'expressió és de tipus factorial i ha estat proposada per avaluar l'erosió per esquitx, la laminar difusa i l'erosió per solcs. Els factors que té en compte són l'agressivitat de la pluja (*R*), l'erosionabilitat del sòl (*K*), la longitud del pendent (*L*), el pendent (*S*), el conreu (*C*) i les pràctiques de conservació (*P*). Les pèrdues de sòl en t/ha i any resulten de multiplicar el valor de cadascun dels factors. L'expressió és factorial:

$$Ps = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P.$$

La dificultat en l'aplicació de l'equació es troba en la quantificació real dels factors per a cada àrea geogràfica concreta. Alguns treballs han estat endegats per poder-hi arribar (Aguiló, 1982), i l'aplicació de la *USLE* a la zona de Piera-Masquefa ha donat valors entre 50 i 90 t/ha^{-1} i any de sòl perdut per erosió (Boixadera, 1983).

Aquest mètode s'aplica al País Valencià perquè l'erosió és un factor del codi de la "*Cartografía Básica*" (Sánchez i col·laboradors, 1984), modificat per Rubio i col·laboradors (1984). Aquests autors estableixen sis graus d'erosió. S'introdueix el valor 0 de grau d'erosió en les unitats les característiques de les quals no permeten l'aplicació de la *USLE* (litosòls). A més a més, en cadascuna de les unitats cartogràfi-





100 *ELS PROCESSOS EROSIUS PER ESCOLAMENT SUPERFICIAL desencadenats pels incendis forestals en privar el sòl del mantell vegetal protector poden ésser importants; els materials de les parts altes dels vessants són arrossegats i dipositats a les baixes o enduts pels rius (Taradell, Osona, 1983).*
[Fotos: Josep M. Alcañiz]

ques bàsiques s'assenyala qualitativament el tipus d'erosió: laminar (*L*), solcs (*S*), xaragalls (*C*), abancalaments (*B*) i moviments en massa (*D*), en una escala d'*1* (part), *2* (freqüent) i *3* (general) de l'àrea que ocupa cadascun dels processos. Així, la unitat assenyalada amb *L3 C1* indica que existeix erosió laminar generalitzada i aixaragallament localitzat. Un problema que presenta la utilització de la *USLE* és el baix valor que dóna al factor *K* (erosionabilitat del sòl). Rubio i collaboradors (1984) varen idear un simulador de pluges i estudiaren el comportament dels diferents sòls, on observaren una gran correlació entre la tipologia i la seva erosionabilitat.

3.3 Les pràctiques de conservació de sòls

La susceptibilitat del sòl a l'erosió és el que s'anomena erosionabilitat; com més gran és aquesta més ho seran els efectes de les pluges, la desagregació i el transport de partícules. La *USLE* permet avaluar les pèrdues de sòl en funció d'un conjunt de factors, sobre els quals s'haurà d'actuar quan es plantegin pràctiques per conservar el sòl. L'acció sobre alguns d'ells serà tècnicament possible, sobre d'altres serà a més a més econòmicament interessant, i sobre d'altres ni una cosa ni l'altra.

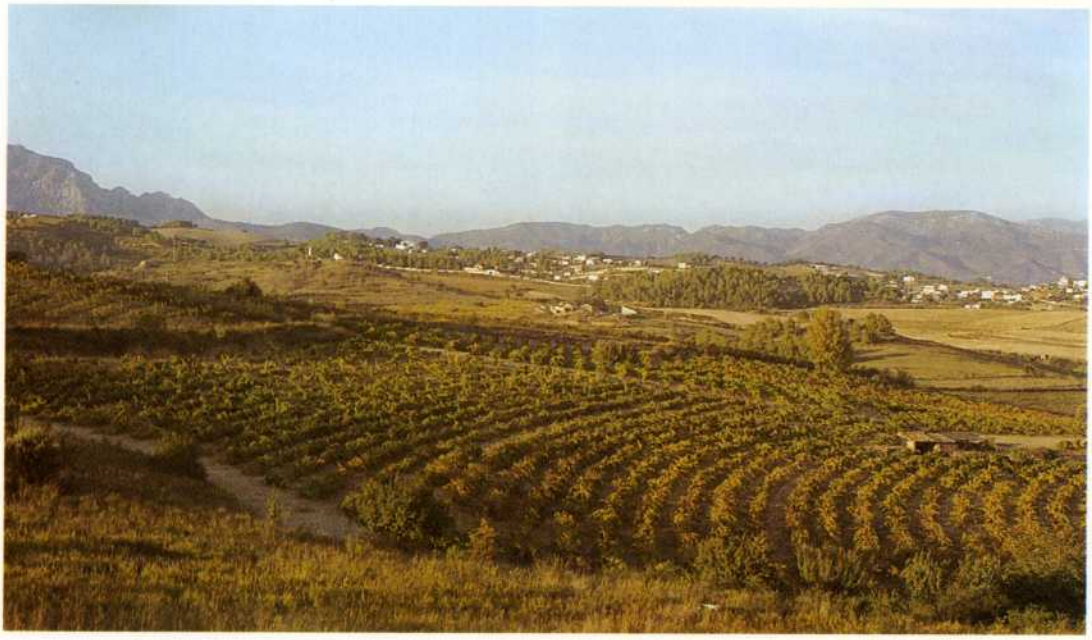
Les possibilitats d'actuar sobre la pluja per disminuir-ne l'erosivitat són mínimes; en tots els casos, les pràctiques de conservació van encaminades a modificar les característiques del sòl o la forma del territori. Es pot modificar la superfície del terreny perquè els efectes dels impactes de les gotes de pluja siguin més petits. La millora de l'estructura de l'epipedió, la presència d'una massa vegetal o d'un "mulch", esmorteiran aquest efecte desagregador. La desforestació provocada per l'home o pels incendis forestals accelera els processos erosius; per contra, mantenir el sòl amb vegetació els frena: cal, doncs, escollir conreus que donin un elevat recobriment, si el risc d'erosió és alt.



101 *LA LLAURADA SEGONS EL MÀXIM PENDENT crea línies de circulació accelerada de l'aigua, fet que afavoreix els processos; les roderes deixades per la maquinària agrícola poden tenir els mateixos efectes (Anoia).*
[Foto: Jaume Porta]



102 *EL CONREU EN VESSANTS EROSIONABLES obliga a prendre mesures de retenció edàfica, com tradicionalment s'ha fet en els vinyets edificats sobre rosts esquistosos a les Alberes (Vallespir).*
[Foto: C. Roquero]



103 *LA COINCIDÈNCIA DE LES CORBES DE NIVELL amb el sentit de les plantacions, com passa en aquesta vinya de Masquefa (Anoia), és una pràctica agrícola respectuosa amb el sòl i en absolut renyida amb la productivitat.*
[Foto: Jaume Porta]



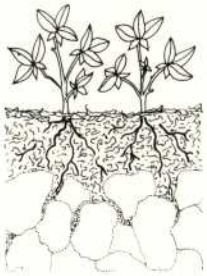
104 *CONTRAST ENTRE FEIXES I XARAGALLS en curs d'esdevenir "badlands" en una zona immediatament al coll d'Àger (Noguera), que mostra la diferent incidència dels processos erosius segons les pràctiques culturals.*
[Foto: Jaume Porta]

Com més aigua s'infiltri, menor serà l'escolament; per consegüent, millorar la infiltració i la permeabilitat disminuirà el risc d'erosió. Per fer més gran la infiltració es pot augmentar el temps de contacte entre l'aigua i la superfície del sòl; això s'aconsegueix llaurant segons les corbes de nivell, en comptes de fer-ho segons el màxim pendent. Malauradament no hi ha una conscienciació suficient sobre la transcendència d'aquesta manera de fer.

Actuar sobre la forma del territori té per objecte disminuir el pendent dels vessants o la longitud del camí que pot recórrer l'aigua. Aquesta ha estat la pràctica de conservació més seguida arreu dels Països Catalans des de molt antic. Es poden observar feixes i marges amb parets de pedra seca que han fet possible el que es podria anomenar l'agricultura de vessants, que tanta importància ha tingut als Països Catalans en conservar el sòl i augmentar la capacitat de retenció d'humitat. L'únic inconvenient d'aquestes estructures de defensa contra l'erosió és que poden suposar un obstacle a l'hora de llaurar o de mecanitzar la collita. Això fa que en molts casos s'eliminin els marges, sense avaluar-ne massa les conseqüències.

Una agricultura tecnificada, però que rebi un assessorament adequat, i que els qui la practiquin sàpiguen valorar la capacitat productiva dels sòls poc erosionats, buscarà solucions que evitin que l'ús del sòl es converteixi en una pràctica destructiva. La construcció de *terrasses* és aconsellable allà on el pendent es superior al 15% i els sòls profunds. Són estructures de defensa que consisteixen en un solc i el seu llom. Actuen com a cursos superficials o com a drens que serveixen per a canalitzar l'aigua d'escolament. Segons quina sigui la seva funció es poden diferenciar les *terrasses d'absorció i les de desguàs*. Un altre criteri per a agrupar-les és segons el seu perfil transversal; així poden ésser de *perfil suau* o americanes, de *perfil triangular* o granadines i de *perfil trapezial* o algerianes. La construcció de qualssevol d'aquestes estructures eixigeix un estudi previ del sòl, de la pluviometria, i els càlculs adients per a determinar l'espaiament i la separació entre terrasses, la capacitat i el pendent dels canals de desguàs, etc.

La lluita contra els xaragalls és una batalla bastant perduda. El que cal és evitar que es formin solcs i que aquests es converteixin en xaragalls. Ja s'ha indicat la manera de controlar la circulació de l'aigua al damunt dels camps: si es deixa que els processos avancin, s'arriba a un estat irreversible, el de xaragalls i barrancs. Es podrà intentar que aquests no avancin més, però el terreny perdut pel conreu és ja irrecuperable.



3. Els tipus i els usos del sòl

1. Els sòls dels Països Catalans

1.1 Consideracions generals

Els inventaris i la cartografia

Els inventaris i l'estudi de la distribució dels sòls en el paisatge són treballs encaminats a un millor coneixement del medi natural, els quals permeten determinar la seva potencialitat i serveixen de base per a la planificació del desenvolupament i l'ordenació del territori en general.

Els mapes edàfics són representacions en una superfície plana de la distribució en el paisatge dels diferents sòls i ofereixen unes possibilitats molt variades d'utilització. Això depèn del *grau* a què es realitzi el treball, establert en base a l'aproximació al tema. Un primer grau, anomenat fonamental, proporciona només les grans línies, un esquema de la distribució dels diferents sòls; un segon grau és informatiu; i el tercer permet arribar a l'execució de plans concrets d'utilització del sòl. Els *nivells d'intensitat* d'aixecament es diferencien uns dels altres sobre la base de com es fa el treball, i només secundàriament sobre l'escala; així, el nivell esquemàtic no requereix una prospecció de camp i es basa en informació indirecta preexistent; a mesura que es va fent més i més necessària la prospecció es passa als nivells exploratori, generalitzat, de reconeixement, semidetallat, detallat i molt detallat.

El *grau i el nivell d'intensitat* a què es treballi en cada ocasió dependrà de la finalitat de l'estudi i condicionarà la densitat d'observació, la relació entre el temps emprat en la prospecció de camp i en la fotointerpretació, el nombre de mostres i tipus d'anàlisi, etc. Tot això és en relació amb l'escala de treball i de publicació del mapa; com més petita és l'escala, menor serà la puresa de les unitats representades i la precisió amb la qual es podrà predir una propietat a partir d'aquest mapa.

L'*escala del mapa* condiciona el mètode de treball, la homogeneïtat de les unitats i, per tant, les possibilitats d'utilització. El mapa pot proporcionar informació sobre el sòl en ell mateix i sobre el seu ús actual o potencial, i permet d'avaluar el capital sòl de què disposa el país. Aquest capital podrà ésser respectat, ordenant adequadament el territori, o bé destruït, si se'n fa un mal ús.

En cartografia de sòls hi ha tres axiomes d'acceptació general (Young, 1976): les unitats cartogràfiques homogènies són més útils que les heterogènies; les unitats amb variació regular i especificada són més útils que les que presenten variacions a l'atzar o no especificades; i en tercer lloc, les unitats dintre de les quals s'especifiquen les proporcions relatives del tipus de sòls continguts en elles són més útils que aquelles en les quals això no s'indica.

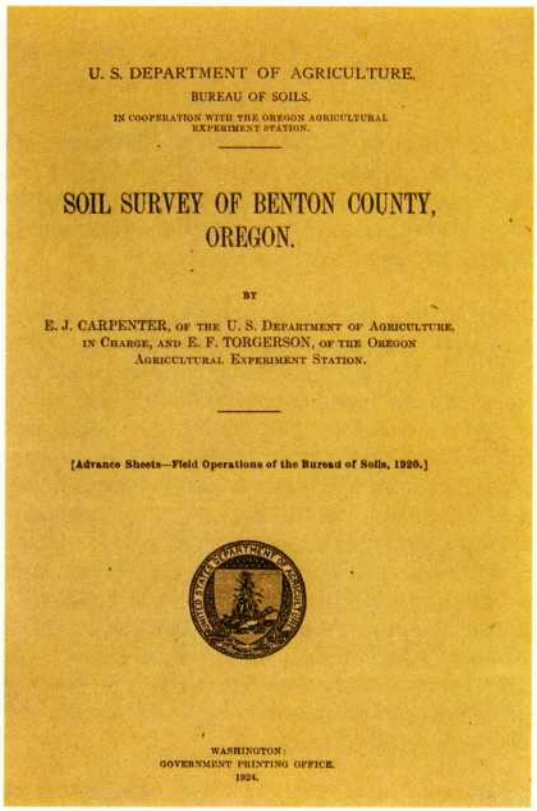
La superfície més petita representable en un mapa perquè pugui ésser llegida facilment és, com a mínim, de 4 mm², cosa que representa 400 ha, si l'escala del mapa és 1:1 000 000, i 400 m² en mapes a escala 1:10 000; en el primer cas es parla d'un mapa a petita escala i en el segon a gran escala. Per la dificultat de poder dibuixar superfícies massa petites, els mapes a escala petita o mitjana tindran representades unes unitats complexes, resultat d'associar unitats senzilles no cartografiables. Les unitats complexes són, per tant, unitats heterogènies, dintre de les quals s'han eliminat alguns límits entre unitats. La precisió amb la qual es pot predir una propietat a partir d'un mapa varia amb l'escala i el nivell de generalització.

El nivell inferior de classificació, és a dir, el de més detall, en els principals sistemes taxonòmics, és la *sèrie*, que és una unitat que agrupa sòls amb la mateixa seqüència d'horitzons, desenvolupats sobre material originar similar, que es troben en unes condicions externes semblants (Dent i col·laboradors, 1981). Els mapes de sèries són taxonòmicament detallats.

A mesura que augmenta la generalització, augmenta el coeficient de variació dels paràmetres considerats, cosa que fa que el mapa no sigui tan útil als usuaris. La informació realment continguda en els mapes de sòls a escala mitjana i petita és francament baixa. La generalització cartogràfica resulta d'eliminar límits entre sòls per disminuir el detall del mapa en definir i descriure les unitats repesentades. La simplificació pot afectar el nivell taxonòmic utilitzat en identificar i descriure les unitats del mapa. Si hom empra sèries, el nivell és *detallat,* mentre que, de família a ordre, el nivell taxonòmic és *generalitzat*, segons Buol i col·laboradors (1973). En els mapes detallats, la puresa de les taques representades és gran; en general s'accepta que en un mapa d'aquest tipus les àrees representades ocupin com a mínim de l'ordre del 85% de la superfície.

Els mapes de sòls

Els sòls dels Països Catalans han estat cartografiats per diversos autors per encàrrec de l'administració pública o d'organismes internacionals. Els mapes elaborats han estat en diversos casos publicats. Aquest és el cas del mapa de



U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE.
BUREAU OF SOILS.
IN COOPERATION WITH THE OREGON AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION.

SOIL SURVEY OF BENTON COUNTY, OREGON.

BY

E. J. CARPENTER, OF THE U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, IN CHARGE, AND E. F. TORGERSON, OF THE OREGON AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION.

[Advance Sheets—Field Operations of the Bureau of Soils, 1920.]

WASHINGTON:
GOVERNMENT PRINTING OFFICE.
1924.

105 *LA IMPORTÀNCIA ATORGADA PER ALGUNS PAÏSOS als mapes de sòls és elevada i ve d'antic. Així, la memòria que s'il·lustra (1924) duu un exordi que diu: "D'aquesta memòria se n'imprimiran 10 500 còpies, de les quals 1500 seran per al Senat, 3000 per al Congrés i 6000 per al Departament d'Agricultura; dels mapes se'n distribuiran 500, un per a cada Senador de l'Estat, 200 per als Congressistes del Districte, i 2000 per a l'ús del Departament d'Agricultura". [Foto: Jordi Vidal]*

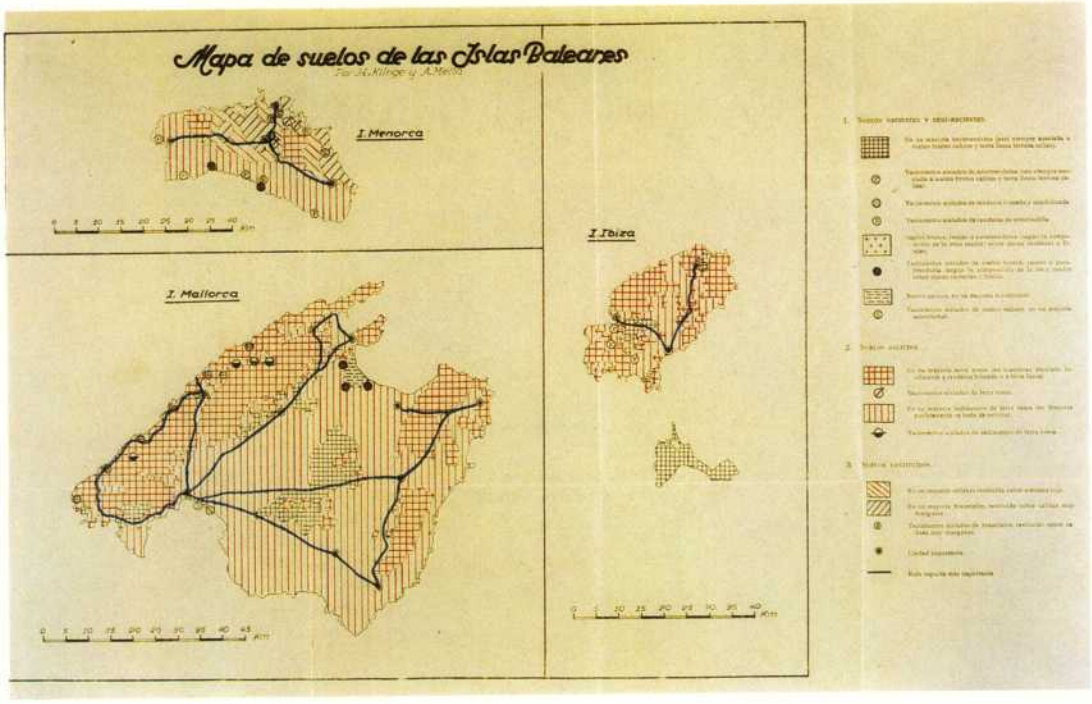
sòls de la península luso-ibèrica, a escala 1:1 000 000, aixecat per Huguet del Villar i publicat l'any 1937. Anys més tard, el Ministerio de Agricultura espanyol publicà el mapa de l'Espanya peninsular, elaborat per Tamés, primer en edició monocolor, a escala 1:1 250 000 (1956), i a l'any següent en colors i a escala 1:1 000 000; ambdues edicions utilitzen el sistema de classificació de Baldwin-Thorp (1938-1949). Per encàrrec de la FAO s'elaborà el mapa de sòls d'Europa, a escala 1:5 000 000, publicat l'any 1974. El mapa d'Espanya establert per Guerra i col·laboradors (1968), a escala 1:1 000 000, utilitza un sistema de classificació que es basa en el de Kubiena i recull les propostes de la classificació d'Aubert i Duchaufour (1956).

Les Illes foren cartografiades per Klinge i Mella; la Catalunya Nord ha estat cartografiada, a escala 1:1 000 000, dintre del mapa de sòls de França, pel Service d'Étude des Sols et de la Carte Pédologique de la France. La resta de mapes publicats són fragmentaris, si bé l'escala és més mitjana; així, els mapes de sòls d'Argelers-Perpinyà i el del Rosselló en són exemples.

Al País Valencià, l'any 1982 s'encetà, per encàrrec de la Diputació Provincial de València, el projecte "*Estudi dels sòls de la província de València. Avaluació com a recurs natural*", amb una durada de quatre anys, encarregat al Departament d'Edafologia de la Facultat de Farmàcia de la Universitat de València i a l'Unitat de Fertilitat de Sòls i Nutrició Vegetal de l'Institut d'Agroquímica i Tecnologia d'Aliments del CSIC. La cartografia es realitza a escala 1:25 000, i la documentació consta d'un mapa de cartografia bàsica amb informació sobre sòls, litologia, erosió i capacitat d'ús i mapes temàtics que se'n deriven. La denominació dels sòls emprada és la de les Unitats de Sòls de la FAO (1974). S'han estudiat (1985) les co-



106 *EL MAPA SOBRE ELS PRINCIPALS GRUPS DE SÒLS de l'Estat espanyol peninsular ("Mapa de los Suelos de España Peninsular") publicat (1957) per Tamés a escala 1:1000 000 representa una nova aportació cartogràfica en la línia iniciada per Huguet del Villar (vegeu figura 200). [Foto: Jordi Vidal]*



107 *PER A LES ILLES, H. Klinge i A. Mella publicaren (1958), un "Mapa de los suelos de las Islas Baleares" a escala aproximada d'1:600 000, territori no cobert pel mapa de Tamés (1957).*
[Foto: Jordi Vidal]

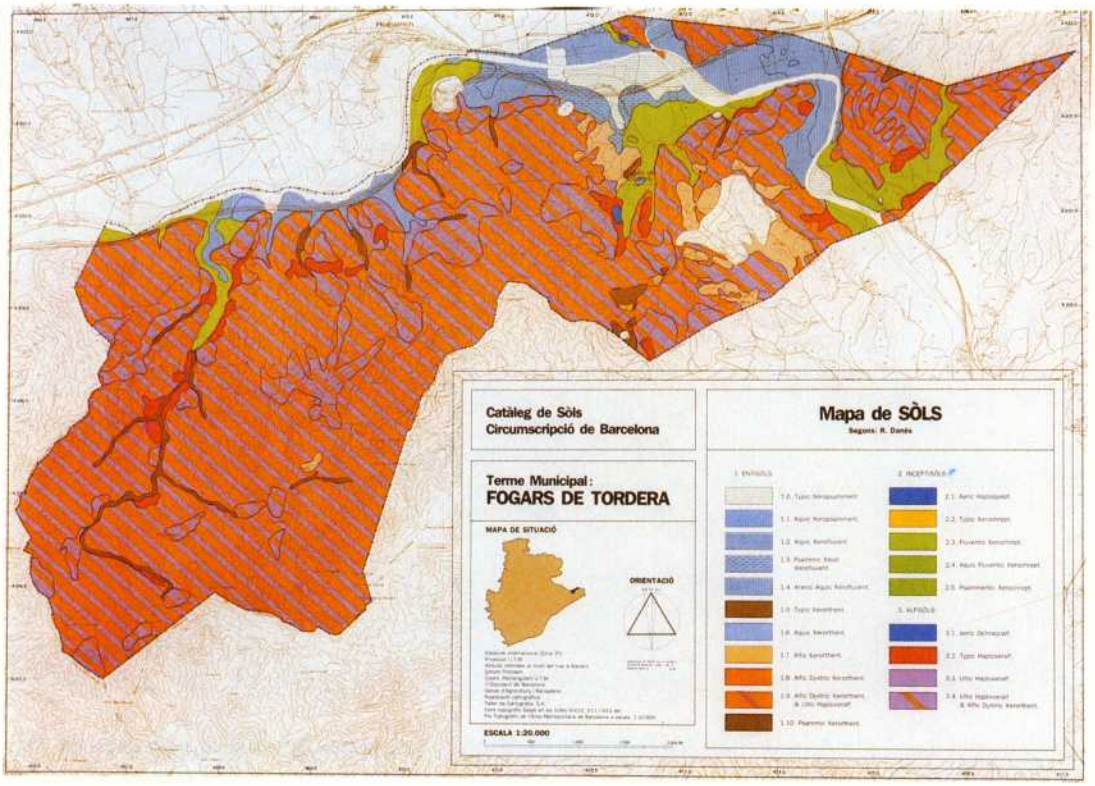
marques del Racó d'Ademús, dels Serrans, del Camp de Túria, del Camp de Morvedre, de la Foia de Bunyol, de Requena-Utiel i la Vall d'Aiora-Cofrents. La utilització de les Unitats de Sòls de la FAO es justifica perquè el sòl en aquest tipus d'estudis és un factor més del codi bàsic, per la qual cosa els mapes edafològics elaborats han de considerar-se com orientatius. Els sòls de la província de Castelló han estat estudiats per Jimenez Ballesta (1976), que ha preparat una cartografia a escala 1:200 000, utilitzant el Soil Taxonomy Sistem com a classificació. Aquests mapes han estat publicats a l'"*Atlas de la Provincia de Castelló de la Plana*" (Sancho, 1982).

Les comarques de la Ribagorça, la Llitera, el Baix Cinca i el Matarranya han estat cartografiades dintre dels mapes de sòls generals d'Espanya, a petita escala. L'any 1985 la Comunitat Econòmica Europea va publicar un mapa de sòls a escala 1:1 000 000. Els treballs de camp varen ésser encomanats a la Unitat Estructural d'Investigació d'Aula Dei, del CSIC a Saragossa.

A Catalunya, deixant de banda els mapes a petita escala ja citats, es poden esmentar com històrics els realitzats a escala 1:250 000, a nivell provincial, per Albareda i col·laboradors. Són mapes detallats a nivell taxonòmic, ja que es presenten com a mapes de sèries, si bé a nivell cartogràfic són generalitzats. La Diputació de Barcelona, l'any 1981, a través de la seva Àrea d'Agricultura i Medi Natural, inicià un *"Catàleg de sòls d'interès agrícola de la circumscripció de Barcelona"*. L'objecte és disposar d'una documentació cartogràfica en la qual es determini la ubicació dels millors sòls agrícoles. El treball té una projecció que va més enllà de l'interès purament agrícola i és orientat a la creació d'una infrastructura d'informació del medi físic per a l'ordenació territorial. El primer volum publicat i que té un caràcter pilot, correspon al terme municipal de Fogars de Tordera. L'estudi climàtic i de sòls ha estat realitzat pel Departament d'Edafologia de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers Agrònoms de Lleida de la Universitat Politècnica de Catalunya. Les anàlisis han estat a cura del Laboratori Agrari de Cabrils i del de la Diputació de Barcelona. L'estudi geològic, a càrrec de l'Institut Jaume Almera d'Investigacions Geològiques del CSIC a Barcelona. Finalment, l'estudi de vegetació l'ha dut a terme el Departament de Botànica de la Facultat de Biologia de la Univer-



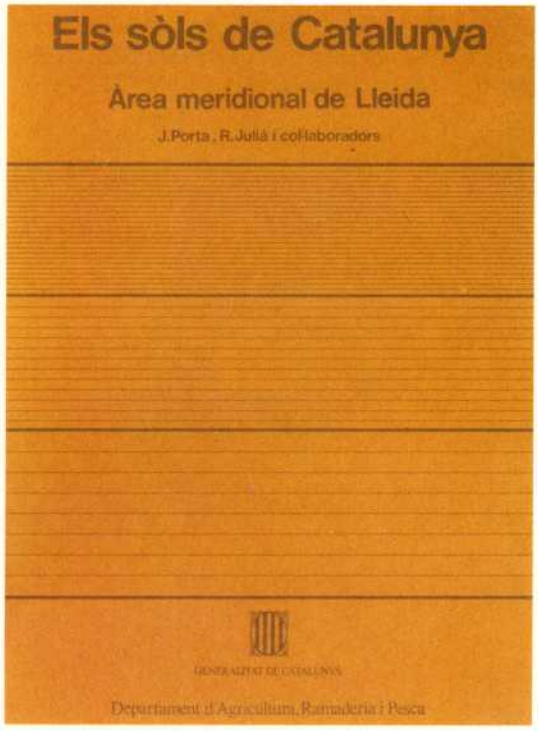
108 *LA "PROVÍNCIA" DE BARCELONA, a son torn, disposà (1962) d'un "Mapa de Suelos" a escala 1:250 000 establert per Albareda i col·laboradors.*
[Foto: Jordi Vidal / Facultat de Farmàcia de Barcelona]



109 *A NIVELL SEMIDETALLAT, a una escala 1:20 000, hom ha iniciat (1984) l'edició dels mapes del sòl de la "província" de Barcelona.*
[Foto: Jordi Vidal]

sitat de Barcelona. La col·lecció és plantejada per posar a l'abast els mapes litològic, geomorfològic, de vegetació, de pendents, de classificació i d'avaluació de sòls, tots ells a escala 1:20 000, que és suficientment detallada, tant per a arribar a un coneixement del medi com per a l'ús de la informació subministrada.

Els estudis a nivell comarcal s'han encetat amb la col·lecció "*Els sòls de Catalunya*" de la qual ha aparegut un primer volum dedicat a l'estudi dels sòls de l'Àrea Meridional de Lleida (Porta i collaboradors, 1983), treball que inclou els aspectes climàtics, litològics, geomorfològics i edàfics. A més, cal citar l'existència de mapes realitzats per consultors, encarregats per organismes de l'administració, no publicats, de difícil accés i dels quals no existeix un inventari.

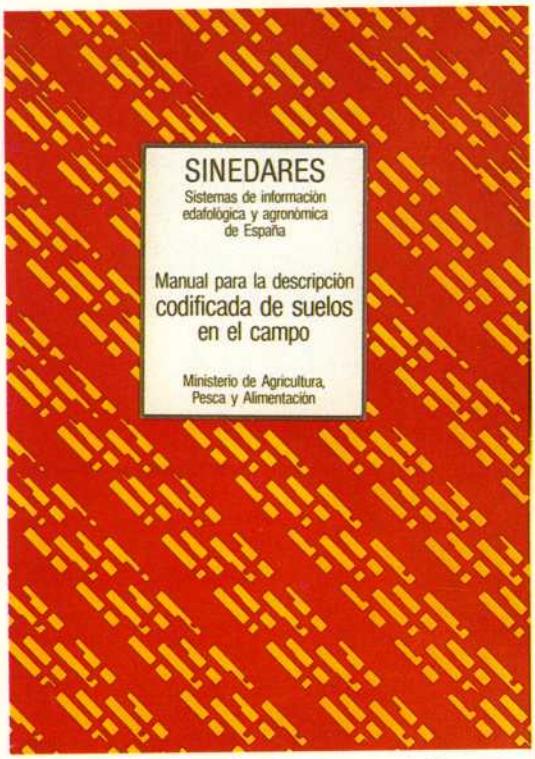


110 *L'INVENTARI DELS SÒLS A NIVELL COMARCAL, a escales de l'ordre 1:100 000, bé que no és directament aplicable per al planificador, permet de conèixer amb rapidesa la tipologia dels sòls i endegar recerques conduents a la cartografia detallada.*
[Foto: Jordi Vidal]

Els sistemes d'informació de sòls

La utilització dels mapes de sòls canvia amb el tombant a la dècada dels 80, de manera que és possible preveure que el tractament amb ordinador ha de permetre treure'n més partit. La informació sobre els sòls és més accessible, si en lloc d'estar en forma de mapes és en una base de dades. Els *Sistemes d'Informació de Sòls (SIS)* permeten emmagatzemar informació i afegir-ne de nova a mesura que es fan noves mesures sobre les propietats dels sòls; posteriorment, la informació pot tractar-se automàticament i es poden comparar les qualitats dels sòls d'una determinada zona amb les exigències dels diferents usos, a fi i efecte de planificar millor l'ús del territori.

El Sistema de Información Edafológica y Agronómica de España (SINEDARES) es va desenvolupar a partir de 1981, amb l'objectiu primordial d'arribar a una normalització en l'obtenció de dades. Una Comissió creada pel Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ha dut a terme la tasca de normalització. El SINEDARES s'organitza com una xarxa de bancs de



dades territorials. A Catalunya, el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca ha fet possible el desenvolupament del sistema, creant un Banc de Dades de Sòls, Aigües i Clima, dins la Unitat per l'Estudi dels Sòls de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària (IRTA), de l'Institut d'Investigació i Desenvolupament Agrari de Lleida.

1.2 La tipologia edàfica

Criteris i fonts d'informació

Els mapes de sòls de què hom disposa als Països Catalans són cartogràficament i taxonòmicament generalitzats. Treballar a nivell detallat és molt car per la densitat d'observacions i anàlisis necessàries, però és l'única manera de donar una informació útil, base d'interpretació per als diferents usos dels sòls que és la que interessa els usuaris potencials de mapes de sòls (agricultors, servei d'extensió agrària, investigadors, tècnics forestals, etc.).

La informació de sòls més detallada és la que s'ha començat a produir per iniciativa de la Diputació de València, treballs dirigits per Sánchez i Rubio (1983), de la Diputació de Barcelona, fets per Danès i col·laboradors (1983), i del Service d'Étude des Sols et de la Carte Pédologique de la France, a càrrec de Servant i col·laboradors (1970), valuosa, però fragmentària. La manca de l'antic Institut de Sòls de la Generalitat de Catalunya, fundat el 1932, ha deixat una llacuna important.

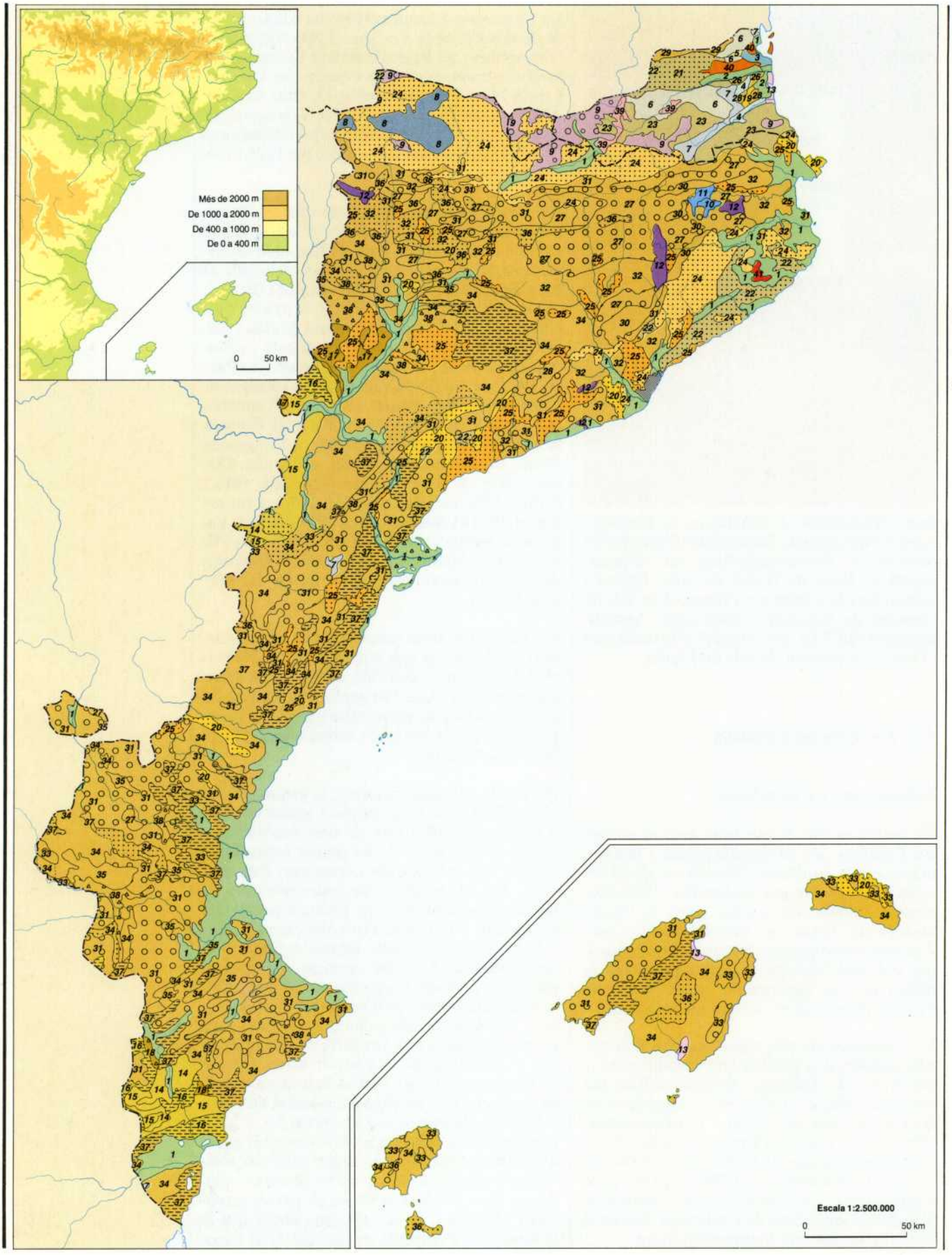
La Comunitat Europea (1984) ha editat el mapa de sòls d'Europa a escala 1:1 000 000; la part corresponent als Països Catalans ha estat a cura de diversos autors, coordinats per Guerra. Lleida i la Franja de Ponent ha estat feta per Alberto i collaboradors (1976); Tarragona ha estat cartografiada per Montoriol i col·laboradors (1976); Girona i Barcelona, per Bech i collaboradors (1976).

Per descriure la distribució de sòls als Països Catalans, baldament s'aporta el mapa a què s'acaba de fer esment, s'ha preferit utilitzar fonamentalment informació pròpia, generada al llarg dels nostres treballs al Maresme (Felipó, 1973), a l'Urgell (Danés, 1983), a Prades (Alcañiz, 1982), a Fogars de Tordera (Danés i collaboradors, 1983), a la Segarra (Porta i col·laboradors, 1983), al Camp de Tarragona (Porta, 1982), a Valls (Danés, 1982), a l'Empordà (Teixidor, 1980 i Danés, 1981), a la Garrotxa (Roquero i col·laboradors, 1978), al Gironès (Castells, 1983), als aiguamolls de l'Empordà (Porta i col·laboradors, 1982), a l'Anoia (Danés, 1982), al delta de l'Ebre (Alcañiz, 1982 i Porta, 1979), al Vallès (Alcañiz, 1980), a la Cerdanya (Porta i col·laboradors, 1984), al País Valencià (Sánchez i col·laboradors, 1984), etc. Per no sobrecarregar el text s'ometran les citacions dels autors, quan aquests ho siguin del present treball.

Els Països Catalans presenten una gran diversitat en els factors que intervenen en la formació i diferenciació dels sòls. Així, tant en el clima com en els materials geològics, com en les diferents posicions geomorfològiques i en la vegetació es presenten grans diferències arreu de la seva geografia.

Pel que fa referència al clima, la gamma va des dels ambients marítims més secs i càlids del País Valencià i les Illes fins als més continentals, també secs i càlids, de les planes interiors de Lleida, i als més húmids i temperats dels Pirineus. Ara bé, la manca de dades referents als règims d'humitat dels sòls planteja problemes importants d'imprecisió en voler classificar els sòls d'algunes contrades segons el Soil Taxonomy System. Així, per exemple, a l'hora de definir un mollisòl, l'epipedió mòl·lic que caracteritza aquest ordre ha d'estar humit en alguna part, tres mesos o més a l'any, acumulats, quan la temperatura a una fondària de 50 cm és de 5°C o més, és a dir, al període de creixement de les plantes. Als anys 80 no es disposa encara de mesures sobre els règims d'humitat dels sòls, si bé hi ha algunes recerques encetades. L'altre problema és la delimitació de l'àrea amb règim d'humitat arídic, problema que afecta la classificació dels possibles aridisòls climàtics. Cal, doncs, ésser prudents a l'hora de definir mol·lisòls i aridisòls i, en tot cas, no oblidar que la definició de l'epipedió mòl·lic del Soil Taxo-

111 *LA NORMALITZACIÓ EN LA DESCRIPCIÓ DELS SÒLS és imprescindible per a un posterior tractament informàtic i per a la creació de bancs de dades edàfiques.*
[Foto: Jordi Vidal]


Més de 2000 m
De 1000 a 2000 m
De 400 a 1000 m
De 0 a 400 m
0 50 km
Escala 1:2.500.000
0 50 km

UNITATS EDÀFIQUES	SÒLS ASSOCIATS	INCLUSIONS
FLUVISÒLS		
Je: ÈUTRICS		
1 Je-2a	gleisòls	
Jeg: GLEIO-ÈUTRICS		
2 Jeg-¼ a	fluvisòls èutrics gleisòls èutrics o gleisòls mòl·lics	histosòls cambisòls èutrics
Jc: CALCÀRICS		
3 Jcf-¼ a	fluvisòls gleio-calcàrics	cambisòls èutrics o gleisòls èutrics
Jd: DÍSTRICS		
4 Jd-⅖ a	fluvisòls gleio-dístrics	gleisòls dístrics, histosòls dístrics
REGOSÒLS		
Re: DÍSTRICS		
5 Re-4c	litosòls èutrics	
LITOSÒLS		
Ie: ÈUTRICS		
6 Ie-½ bc	cambisòls èutrics cambisòls cròmics	rendzines cambisòls càlcics
Ic: CALCÀRICS		
7 Ic-3c	cambisòls càlcics cambisòls cròmics	cambisòls èutrics cambisòls dístrics
Id: DÍSTRICS		
8 Id-½ cd	litosòls èutrics litosòls calcàrics	rànkers
RÀNKERS		
9 U-2 cd	cambisòls húmics o cambisòls espodo-dístrics litosòls	
ANDOSÒLS		
To: ÒCRICS		
10 To-2 cd	andosòls húmics	
11 To-⅔ d	cambisòls èutrics luvisòls cròmics	litosòls
VERTISÒLS		
Vc: CRÒMICS		
12 Vc-4b	regosòls èutrics	
SOLONTXACS		
Zg: GLÈICS		
13 Zg-⅔ a		
XEROSÒLS		
Xk: CÀLCICS		
14 Xk-3bc	litosòls calcàrics rendzines	luvisòls cròmics

UNITATS EDÀFIQUES	SÒLS ASSOCIATS	INCLUSIONS
15 Xk-4b	xerosòls gípsics regosòls calcàrics	solontxacs òrtics
16 Xk-3a	luvisòls rodo-cròmics	
Xy: GÍPSICS		
17 Xy-4b	solontxacs òrtics solontxacs glèics	
18 Xy-3bc	regosòls calcàrics solontxacs glèics	
CAMBISÒLS		
Be: ÈUTRICS		
19 Be-2b	cambisòls dístrics	
20 Be-⅓ bd	rànkers, litosòls	
Bd: DÍSTRICS		
21 Bd-½ cd	podzols lèptics	rànkers, litosòls (andosòls)
22 Bd-⅔ bd	litosòls dístrics (rànkers)	
23 Bd-2cd	cambisòls húmics podzols lèptics	
Bh: HÚMICS		
24 Bh-½ bd	cambisòls dístrics rànkers, litosòls	
Bg: GLÈICS		
25 Bg-2a	cambisòls càlcics	luvisòls cròmics
Bk: CÀLCICS		
26 Bk-3ab	cambisòls cròmics litosòls calcàrics	
27 Bk-3cb	rendzines litosòls calcàrics	luvisòls cròmics
28 Bk-4b	cambisòls èutrics	rendzines
29 Bk-4bc	regosòls èutrics	cambisòls èutrics
30 Bk-2cd	feozems calcàrics, rendzines	
31 Bk-3bc	feozems calcàrics, rendzines, litosòls	luvisòls cròmics
32 Bk-3bc	rendzines, regosòls calcàrics	
33 Bk-3bc	rendzines, litosòls èutrics	luvisòls cròmics
34 Bk-4b	regosòls calcàrics	solontxacs òrtics
35 Bk-3bc	regosòls calcàrics	
36 Bk-3cd	litosòls, luvisòls cròmics	
37 Bk-3a	luvisòls rodocròmics	
38 Bk-¾ bc	regosòls calcàrics, solontxacs	
LUVISÒLS		
Lo: ÒRTICS		
39 Lo-⅔ ab	cambisòls èutrics cambisòls calcaro-èutrics	luvisòls glèics rendzines o regosòls èutrics
Lc: CRÒMICS		
40 Lc-2a	cambisòls cròmics	
Lv: VÈRTICS		
41 Lv-¾ ab	cambisòls èutrics	regosòls èutrics o luvisòls, vertisòls pèl·lics

FASES EDÀFIQUES

gravosa · rocosa · lítica · petrocàlcica · salina

112 *DISTRIBUCIÓ DELS SÒLS als Països Catalans, segons el mapa de sòls d'Europa publicat (1985) per la CEE, a escala inicial 1:1 000 000, d'acord amb els criteris de classificació de la FAO-UNESCO. Entre altres, la informació relativa als Països Catalans ha estat aportada per Bech, Monturiol i Alberto.*
[Cartografia: Maber, redibuixat de Tavernier i Lonis, 1985).]

- ▲ • *Entisols*
  - ▲ • *Aquents*
    - *Cryaquents*
    - • *Fluvaquents*
    - • *Haplaquents*
    - *Hydraquents*
    - • *Psammaquents*
    - ° *Sulfaquents*
    - *Tropaquents*
  - ▲ • *Arents*
    - • *Arents*
  - ▲ • *Fluvents*
    - ° *Cryofluvents*
    - ° *Torrifluvents*
    - *Tropofluvents*
    - • *Udifluvents*
    - *Ustifluvents*
    - • *Xerofluvents*
  - ▲ • *Orthents*
    - • *Cryorthents*
    - • *Torriorthents*
    - *Troporthents*
    - ° *Udorthents*
    - *Ustorthents*
    - • *Xerorthents*
  - ▲ • *Psamments*
    - *Cryopsamments*
    - • *Quartzipsamments*
    - • *Torripsamments*
    - *Tropopsamments*
    - ° *Udipsamments*
    - *Ustipsamments*
    - • *Xeropsamments*
- ▲ • *Inceptisols*
  - △ • *Andepts*
    - *Cryandepts*
    - ° *Durandepts*
    - ° *Dystrandepts*
    - ° *Eutrandepts*
    - *Hydrandepts*
    - *Placandepts*
    - • *Vitrandepts*
  - △ • *Aquepts*
    - *Andaquepts*
    - *Cryaquepts*
    - *Fragiaquepts*
    - ° *Halaquepts*
    - • *Haplaquepts*
    - ° *Humaquepts*
    - *Placaquepts*
    - *Plinthaquepts*
    - *Sulfaquepts*
    - *Tropaquepts*
  - ▲ • *Ochrepts*
    - • *Cryochrepts*
    - *Durochrepts*
    - • *Dystrochrepts*
    - • *Eutrochrepts*
    - ° *Fragiochrepts*
    - *Ustochrepts*
    - • *Xerochrepts*
  - *Plaggepts*
    - *Plaggepts*
  - ° *Troppets*
    - *Dystropepts*
    - ° *Eutropepts*
    - *Humitropepts*
    - *Sombritropepts*
    - *Ustropepts*
  - △ • *Umbrepts*
    - • *Cryumbrepts*
    - *Fragiumbrepts*
    - • *Haplumbrepts*
    - • *Xerumbrepts*
- △ • *Mollisols*
  - *Albolls*
    - *Argialbolls*
    - *Natralbolls*
  - • *Aquolls*
    - *Argiaquolls*
    - *Calciaquolls*
    - ° *Cryaquolls*
    - *Duraquolls*
    - • *Haplaquolls*
    - *Natraquolls*
  - • *Borolls*
    - *Argiborolls*
    - *Calciborolls*
    - *Cryciborolls*
    - • *Haploborolls*
    - *Natriborolls*
    - *Paleborolls*
    - *Vermiborolls*
  - △ • *Rendolls*
    - • *Rendolls*
  - △ • *Udolls*
    - ° *Argiudolls*
    - • *Hapludolls*
    - *Paleudolls*
    - *Vermudolls*
  - *Ustolls*
    - *Argiustolls*
    - *Calciustolls*
    - *Durustolls*
    - *Haplustolls*
    - *Natrustolls*
    - *Paleustolls*
    - *Vermustolls*
  - △ • *Xerolls*
    - *Argixerolls*
    - • *Calcixerolls*
    - *Durixerolls*
    - • *Haploxerolls*
    - *Natrixerolls*
    - *Palexerolls*
- △ • *Alfisols*
  - • *Aqualfs*
    - ° *Albaqualfs*
    - *Duraqualfs*
    - *Fragiaqualfs*
    - *Glossaqualfs*
    - ° *Natraqualfs*
    - • *Ochraqualfs*
    - *Plinthaqualfs*
    - *Tropaqualfs*
    - ° *Umbraqualfs*
  - ° *Boralfs*
    - *Cryboralfs*
    - ° *Eutroboralfs*
    - *Fragiboralfs*
    - *Glossoboralfs*
    - *Natriboralfs*
    - *Paleboralfs*
  - △ • *Udalfs*
    - *Agrudalfs*
    - *Ferrudalfs*
    - *Fragiudalfs*
    - *Fraglossudalfs*
    - *Glossudalfs*
    - • *Hapludalfs*
    - *Natrudalfs*
    - ° *Paleudalfs*
    - *Rhodudalfs*
    - *Tropudalfs*
  - *Ustalfs*
    - *Durustalfs*
    - *Haplustalfs*
    - *Natrustalfs*
    - *Paleustralfs*
    - *Plinthustalfs*
    - *Rhodustalfs*
  - △ • *Xeralfs*
    - *Durixeralfs*
    - • *Haploxeralfs*
    - • *Natrixeralfs*
    - • *Palexeralfs*
    - *Plinthoxeralfs*
    - • *Rhodoxeralfs*
- △ • *Spodosols*
  - *Aquods*
    - *Cryaquods*
    - *Duraquods*
    - *Fragiaquods*
    - *Haploquods*
    - *Placaquods*
    - *Sideraquods*
  - ° *Ferrods*
    - ° *Ferrods*
  - △ ° *Humods*
    - ° *Cryohumods*
    - *Fragihumods*
    - *Haplohumods*
    - *Placohumods*
    - *Tropohumods*
  - △ • *Orthods*
    - • *Cryorthods*
    - *Fragiorthods*
    - • *Haplorthods*
    - *Placorthods*
    - *Troporthods*
- ▲ • *Aridisols*
  - ° *Argids*
    - *Durargids*
    - ° *Haplargids*
    - *Nadurargids*
    - *Natrargids*
    - ° *Paleargids*
  - △ • *Orthids*
    - • *Calciorthids*
    - • *Camborthids*
    - *Durorthids*
    - • *Gypsiorthids*
    - • *Paleorthids*
    - • *Salorthids*
- △ ° *Histosols*
  - △ ° *Fibrists*
    - ° *Borofibrists*
    - *Cryofibrists*
    - *Luvifibrists*
    - ° *Medifibrists*
    - *Sphagnofibrist*
    - *Tropofibrists*
  - △ *Folists*
    - *Borofolists*
    - *Cryofolists*
    - *Tropofolists*
  - ° *Hemists*
    - *Borohemists*
    - *Cryohemists*
    - *Luvihemists*
    - ° *Medihemists*
    - *Sulfihemists*
    - *Sulfohemists*
    - *Tropohemists*
  - △ *Saprists*
    - *Borosaprists*
    - *Cryosaprists*
    - *Medisaprists*
    - *Troposaprists*
- • *Vertisols*
  - ° *Torrerts*
    - ° *Torrerts*
  - *Uderts*
    - *Chromuderts*
    - *Pelluderts*
  - *Usterts*
    - *Chromusterts*
    - *Pellusterts*
  - • *Xererts*
    - • *Chromoxerets*
    - ° *Polloxererts*
- ° *Ultisols*
  - *Aquults*
    - *Albaquults*
    - *Fragiaquults*
    - *Ochraquults*
    - *Paleaquults*
    - *Plinthaquults*
    - *Tropaquults*
    - *Umbraquults*
  - ° *Humults*
    - *Haplohumults*
    - ° *Palehumults*
    - *Plinthohumults*
    - *Sombrihumults*
    - *Tropohumults*
  - *Udults*
    - *Fragiudults*
    - *Hapludults*
    - *Paleudults*
    - *Plinthudults*
    - *Rhodudults*
    - *Tropudults*
  - *Ustults*
    - *Haplustults*
    - *Paleustults*
    - *Plinthustults*
    - *Rhodustults*
  - ° *Xerults*
    - ° *Haploxerults*
    - ° *Palexerults*
- *Oxisols*
  - *Aquox*
    - *Gibbsiquox*
    - *Ochraquox*
    - *Plinthaquox*
    - *Umbraquox*
  - *Humox*
    - *Acrohumox*
    - *Gibbsihumox*
    - *Haplohumox*
    - *Sombrihumox*
  - *Orthox*
    - *Acrorthox*
    - *Eutrorthox*
    - *Gibbsiorthox*
    - *Haplorthox*
    - *Sombriorthox*
    - *Umbriorthox*
  - *Torrox*
    - *Torrox*
  - *Ustox*
    - *Acrustox*
    - *Eutrustox*
    - *Sombriustox*
    - *Haplustox*

nomy System no és coincident amb la donada per la FAO, precisament en el fet que el Soil Taxonomy System exigeix unes condicions d'humitat i la FAO no.

Quant al material geològic també hi ha una gran varietat, des dels materials silícics de certes zones dels Pirineus i el Sistema Litoral català, fins els bàsics carbonatats, que dominen la major part dels Països Catalans, a més dels que són producte de l'activitat volcànica, així com els dipòsits recents de granulometria molt heterogènia. La posició geomorfològica també és molt diversa, des dels pendents més abruptes dels sistemes muntanyosos, fins als més suaus de les planes (Segrià, Urgell, Empordà, l'Horta del País Valencià, plana central a l'illa de Mallorca, etc.), les valls dels rius i les formacions deltaiques (Llobregat, Ebre, etc.), etc.

La vegetació també és molt variada. Hom pot trobar des d'associacions d'espècies eurosiberianes i bòreo-alpines fins a subdesèrtiques, passant per la diversitat de comunitats mediterrànies.

És per això que els sòls que es desenvolupen als Països Catalans presenten una gran diversitat, i s'hi troben representats quasi bé tots els ordres del Soil Taxonomy System (1975). Els ultisòls i els oxisòls, per raó del clima, no hi són presents, i els vertisòls, si hi són, és d'una forma molt localitzada.

A continuació es donaran exemples corrents dels diferents tipus de sòls presents als Països Catalans, fent un repàs dels ordres del Soil Taxonomy System que tenen una representació significativa, tot indicant així mateix algunes condicions de l'entorn.

Els entisòls

L'ordre dels entisòls (*Entisols*) agrupa sòls que no tenen un perfil diferenciat, bé de tipus *AR* o *AC* i variants. Aquest lleuger o nul desenvolupament d'hortizons pot explicar-se, bé perquè el temps de formació del sòl ha estat massa curt, bé perquè el sòl es troba en posicions geomorfològiques que afavoreixen l'erosió i el rejoveniment continuat del perfil per pèrdua de materials, bé perquè la posició permet el dipòsit d'aportacions freqüents de materials al·luvials o col·luvials, que enterren els materials preexistents en fase d'edafització; o en altres casos, perquè el material és inert i no té possibilitat d'alterar-se per a originar productes que provoquin una diferenciació del perfil.

Els entisòls més freqüents als Països Catalans són sòls de vessant on predominen els processos erosius. Pertanyen al subordre dels ortents (*Orthents*). També hi ha els que es caracteritzen per un règim d'humitat àqüic, els aqüents (*Aquents*), els que presenten textures sorrenques, els psamments (*Psamments*), i els que tenen una distribució irregular de la matèria orgànica en profunditat, els fluvents (*Fluvents*), sòls formats al damunt d'aportacions al·luvials recents.

Els entisòls es presenten a nombrosos indrets dels Països Catalans, sota condicions de l'entorn molt diverses, atès que es tracta de sòls clímax estacionals.

- ***Els aqüents***

Els aqüents (*Aquents*) són els entisòls que, o bé estan saturats d'aigua permanentment al llarg de l'any, o presenten símptomes d'anòxia que es tradueixen en color gris verdós, clapejat de color de rovell, pisòlits de ferro i manganès, etc. Corresponen a la unitat dels gleïsòls de la FAO. Són sòls de perfil *ACg* o, fins i tot, *AgCg*.

Els aqüents es troben a les zones humides, a prop dels cursos dels rius, per exemple, a les zones d'aiguamolls com a l'Empordà o a la franja litoral de la plana del Rosselló, i també al delta de l'Ebre, a les zones més properes a la mar, on hi ha reducció dels sulfats a sulfurs que tenyeixen de color negrós una part del perfil, cosa que pot fer pensar erròniament en la presència d'humus; aquests sòls poden pertànyer al grup dels psammaqüents típics (*Typic Psammaquents*).

En planes al·luvials i deltes es presenten sòls que s'inclouen en el grup dels fluvaqüents (*Fluvaquents*), que són aqüents que, a més de l'hidromorfisme, presenten un caràcter fluvèntic, atès que han sofert aportacions de materials al llarg del temps, per exemple per successives inundacions. Aquest és el cas dels sòls que es troben a Abrera, a la plana d'inundació del riu Llobregat, als aiguamolls de l'Empordà, prop de l'Ebre i al seu delta, i a l'albufera de València, entre altres indrets.

- ***Els psamments***

Els psamments (*Psamments*) són els entisòls típics de les zones litorals on la granulometria dels materials és sorrenca. La textura dels sòls és franco-arenosa grossa o més grossa, la mineralogia pot ésser quarsosa, com a la plana al·luvial de la Tordera (Vallès Oriental), on s'han cartografiat xeropsamments (*Xeropsamments*), o bé calcària i quarsosa, com al delta de l'Ebre o als aiguamolls de l'Empordà. Aquest subordre es correlaciona amb els arenosòls de la FAO i amb els regosòls d'altres classificacions; són els sòls que s'utilitzen per a conrear espàrrecs a l'àrea de Gavà i Castelldefels. Si hi ha un cert període en el qual el pedió està saturat, es pot trobar el subgrup dels xeropsamments àqüics

113 *NIVELLS DE PRESÈNCIA dels principals grups de sòls contemplats en el Soil Taxonomy System a Espanya (° presents, • freqüents) i als Països Catalans (△ presents, ▲ freqüents). [Font: Roquero i col·laboradors, 1981]*



114 *ELS PSAMMAQÜENTS ES CARACTERITZEN per llur textura sorrenca i llurs colors grisos o clapats de gris, alhora que tenen una capa freàtica prop de la superfície durant llargs períodes de l'any, com és el cas de l'exemple (delta de l'Ebre).*
[Foto: Josep M. Alcañiz]

(*Aquic xeropsamments*), en els quals l'hidromorfisme és molt menys intens que en els aqüents.

A la zona de l'interior, els psamments són presents allà on hi ha dipòsits sorrencs, com és el cas d'origen fluvial del riu Llobregós a Biosca (Segarra), o de la Tordera, a Fogars (Vallès Oriental), o bé allà on afloren materials de textura grossa, com és el cas de les sorres de l'Albens, a Villar del Arzobispo, dels gresos del Buntsandstein a Alcublas, a la serra de la Calderona, etc. En alguns casos la riquesa en elements quarsítics d'aquests materials fa que la saturació en bases sigui molt baixa en aquests sòls.

Al delta de l'Ebre i a molts altres indrets del litoral també se'n poden trobar, com per exemple a Borriana (Plana Baixa). Els psamments són sòls que ocupen poca extensió als Països Catalans.

• ***Els fluvents***

Els fluvents (*Fluvents*), a causa de la seva posició geomorfològica, han rebut successivament aportacions de materials al·luvials o col·luvials. Això pot donar lloc a la presència de capes ben diferenciades, les quals capes, però no són pròpiament horitzons. Cada una d'aquestes capes pot correspondre a un dipòsit en el qual la laminació pot ésser molt patent. Els materials dipositats provenen, en la majoria dels casos, de l'erosió dels horitzons *A* d'altres sòls d'aigües amunt, per la qual cosa els fluvents contenen una certa quantitat de matèria orgànica tot al llarg del seu perfil, amb continguts alts en profunditat, o bé amb una distribució irregular (caràcter fulvèntic).

Aquests sòls de perfils *A 2C 3C* o bé *A 2C Ab 3C* ..., corresponen als fluvisòls de la FAO, i es presenten a les planes al·luvials i fons de vall, per la qual cosa, si bé la seva superfície total no és gran, se'n troben a moltes voreres de rius, concretament en zones inundables. Ocupen una gran extensió al País Valencià. Així, per exemple, a les hortes baixes del Segura, a les planes del Xúquer i del Túria, a l'Horta, a la Ribera, etc.; a Catalunya, n'hi ha al delta de l'Ebre, a la plana al·luvial de diversos rius, com la Tordera, i als aiguamolls de l'Empordà o del Rosselló, etc.

Les característiques morfològiques, físiques i químiques són molt favorables per al creixement de les plantes, per la qual cosa són sòls d'ús agrícola intensiu, i de gran importància econòmica. Alguns presenten símptomes d'hidromorfisme i pertanyen al subgrup dels xerofluvents àqüics (*Aquic Xerofluvents*), per la qual cosa són menys favorables per a l'agricultura.



115 *HOM POT TROBAR FLUVENTS a la plana al·luvial de la Noguera Pallaresa, com l'ilustrat (rodalia de Rialb), on la capa de graves és a més de 25 cm de fondària, sòls ben favorables a l'activitat agrícola; als vessants, es desenvolupen* xerortents lítics, *a causa dels processos erosius.*
[Foto: Jaume Porta]



116 *ELS XERORTENTS formats sobre roca calcària dura o rendzines no tenen interès agrícola a causa de llur poca fondària i elevada pedregositat, baldament les arrels de les plantes puguin penetrar a fons aprofitant les fissures de la roca; si la roca mare és a menys de 50 cm, hom parla de xerortents lítics (cas de la il·lustració, corresponent a uns sòls de Tarrés, a les Garrigues). [Foto: Jaume Porta]*

Al delta del Llobregat, a Sant Boi (Baix Llobregat), concretament, els fluvents inicials han evolucionat, tot originant-se horitzons *B* de tipus càmbic, per la qual cosa actualment hom hi troba inceptisòls, si bé amb caràcter fluvèntic, però no fluvents, és a dir que, dipòsit al·luvial no és sinònim de fluvent. Aquesta circumstància es repeteix en altres indrets, a Sagunt, a l'Horta i la Ribera Baixa, dominats per aportacions al·luvials evolucionades a cambisòls cròmics i càlcics, és a dir, inceptisòls amb caràcter fluvèntic. A la classificació de la CPCS (1965) els fluvents són els sòls al·luvials, mentre que els més evolucionats, els inceptisòls amb caràcter fluvèntic, són els sòls bruns al·luvials.

• ***Els ortents***

Els ortents (*Orthents*) són els sòls de vessants de pendent accentuat, on predominen els processos erosius. En part corresponen als regosòls de la FAO, als rànkers d'erosió o a les rendzines menys desenvolupades. Als Pirineus són freqüents, sobre diferents tipus de roques, al igual que a les altres zones accidentades, ja sigui al Garraf sobre roca calcària, o a Prades sobre esquists o granit.

Sobre material consolidat càlcico-magnèsic i en vessants de pendents accentuats que afavoreixen els processos erosius, com és freqüent a la zona interior del País Valencià, es presenten rendzines, és a dir, xerortents (*Xerorthents*). Els factors altitud i orientació afavoreixen la formació de sòls d'aquesta categoria, amb epipedions que tenen una certa tendència a mòllic. En general, es tracta de xerortents a les contrades amb règim d'humitat xèric, com al Garraf, a l'Alt Camp, a la Terra Alta, al Garbí (Camp de Morvedre), a Serra Grossa, etc. Als llocs més freds, com a la part alta de la vall Ferrera, per exemple, hi ha criortents (*Cryorthents*); en condicions més favorables i règim údic es poden trobar udortents (*Udorthents*), com a la Cerdanya.

A la Noguera i a la Segarra, sobre guixos, hi ha torriortents (*Torriorthents*), que són els ortents amb una conductivitat elèctrica de l'extracte de pasta saturada superior a 2 mS/cm a 25°C, la qual cosa, juntament amb la presència de guix, afavoreix la presència de comunitats vegetals de tipus gipsòfil. A la zona climàtica de règim arídic (tòrric) els sòls de perfil *AC* són torriortents.





117 *LITOSÒLS O ENTISÒLS (UDORTENTS) formats sobre vessants esquistosos a les proximitats d'Alp (Baixa Cerdanya). [Fotos: Jaume Porta]*

119 *XEROCREPT PETROCÀLCIC de perfil* Ap K Km, *prop de Sant Ramon (Segarra), format sota un règim xèric; la presència d'un endopedió petrocàlcic condiciona l'ús agrícola del sòl. (Foto: Jaume Porta)*

En unes altres condicions, com a conseqüència d'explotacions fetes per l'home, es troben ortents, com en zones properes a poblacions industrials, com per exemple el Vallès Occidental. El mateix pot succeir, a causa d'una forta antropització sobre materials calcaris consolidats, cretacis i terciaris, com es el cas de la zona de contacte amb els ventalls al·luvials del Túria i del Xúquer.

Els ortents són el subordre dels entisòls que té una representació més extensa als Països Catalans.

Els inceptisòls

Els inceptisòls (*Inceptisols*) són àmpliament representats als Països Catalans, bé que amb una gran monotonia pel que fa a les categories presents. En un percentatge molt elevat es tracta de xerocrepts calcixeròl·lics (*Calcixerollic Xerochrepts*); són els sòls amb endopedió càlcic o bé petrocàlcic (*Petrocalcic Xerocherepts*) que es troben des del migjorn valencià fins al Rosselló, prop de la costa o a l'interior, així com a les Illes. Els inceptisòls són més desenvolupats que els entisòls, de perfil AB_2C, o bé *A* úmbric *C*.

- ***Els ocrepts***

Els ocrepts (*Ochrepts*) són sòls de colors clars, amb un epipedió òcric o, fins i tot, amb un epipedió úmbric, o un de tendència mòl·lica insuficientment desenvolupat. Són sòls ben drenats, que es troben en posicions geomorfològiques diverses. Corresponen als cambisòls de la FAO.

Aquest tipus de sòls es presenten amb molta freqüència a comarques com les Garrigues, la Segarra, el Camp de Tarragona, el Baix Ebre i, en dominància, a l'interior del País Valencià, en posicions geomorfològiques de vessants i fons de vall, sobre materials carbonatats, lutites i calcàries, fonamentalment sota règim d'humitat xèric.

118 *XEROCREPT CALCIXERÒL·LIC a les proximitats de Cinctorres (Ports); aquests sòls amb acumulació de carbonats són molt freqüents arreu dels Països Catalans. (Foto: C. Roquero)*





En uns casos, sota un epipedió pobre en matèria orgànica de color clar i de tipus òcric, es forma un horitzó d'alteració de tipus càmbic més o menys ben desenvolupat (xerocrepts típics). En d'altres, es troben acumulacions de carbonats que presenten formes diverses, des de pseudo-micelis i nòduls (xerocrepts calcixeròl·lic) fins a crostes calcàries fortament cementades (xerocrepts petrocàlcic) que són els més abundants a les comarques esmentades. A la Plana Baixa també s'han descrit xerocrepts calcixeròl·lics a Xilxes, sobre sediments terciario-quaternaris carbonatats, i xerocrepts petrocàlcics amb crosta calcària, a l'Alcora (Alcalatèn). A vegades, l'epipedió és més fosc, però no té suficient gruix per a ésser un mòl·lic, classificant-se el sòl aleshores com xerocrepts mòl·lic lític, com per exemple a les Alcubles (Alt Palància). Aquests sòls també es desenvolupen sobre els materials granítics i granodiorítics de la comarca del Maresme. És el cas d'alguns sòls descrits a Cabrils, classificats com a xerocrepts. Són presents, així mateix, a altres comarques, com al Penedès i l'Anoia, sobre dipòsits col·luvials, amb horitzons càlcics.

Els ocrepts desenvolupats sobre materials d'aportació a les planes al·luvials dels rius presenten característiques especials, a causa de la seva dinàmica. A vegades presenten un caràcter fluvèntic (xerocrepts fluvèntics); en són exemples alguns sòls desenvolupats a la plana alluvial de la Tordera, als aiguamolls de l'Empordà, al delta de l'Ebre, i a petits fons de vall a la Segarra i al Baix Camp. En d'altres ocasions presenten un caràcter àqüic, a causa de l'existència d'una capa freàtica subsuperficial (xerocrepts àqüics).



120 *XEROCREPT LÍTIC format sobre calcàries, a les Alcubles (Alt Palància), a partir d'un epipedió gairebé mòllic, en zona més humida que l'anterior. [Foto: J. Sánchez]]*

D'altres ocrepts situats a climes més humits, amb un règim d'humitat údic, presenten un perfil sense carbonats i amb un percentatge de saturació de bases del complex d'intercanvi catiònic, inferior al 60 %. Es el cas dels distrocrepts (*Dystrochrepts*) descrits a la part alta de Montseny, sota alzinars i a alguns indrets del Cabrerès, sota rouredes, i a pinedes de pi roig, a la serra de Prades.

• ***Els umbrepts***

A les zones humides, es poden desenvolupar sòls amb epipedió úmbric, amb o sense horitzó *B* d'alteració de tipus càmbic. Són els umbrepts (*Umbrepts*). Se'n troben a les muntanyes de Prades, desenvolupats sobre roques granítiques i sota una roureda de roure reboll (xerumbrepts), al Turó de l'Home (Montseny) sobre esquists i sota un prat mesòfil (haplumbrepts èntico-lítics), a Santa Fe (Montseny) sobre granit, amb règim d'humitat údic i sota una fageda (haplumbretps típics). També se'n troben als Pirineus. En són exemples els de Sant Joan de Toran, terme municipal de Canejan, sobre esquists amb règim d'humitat údic i sota vegetació de prat de dall, i el del bosc de la Baricauba (Vall d'Aran), en les mateixes condicions que abans, però sota una avetosa; en ambdós casos són classificats com a haplumbrepts (*Haplumbrepts*).

Amb un règim de temperatura críic, aquests sòls es classifiquen com a criumbrepts (*Cryumbrepts*). Se'n troben als voltants dels 2000 m d'altitud en l'estatge alpí, al coll de Varradòs (Vall d'Aran), constituïts per un epipedió úmbric que reposa directament sobre esquists (ránker alpí, criumbrepts lítics). També al voltant dels 2000 m se'n troben a Andorra, concretament al coll d'Envalira i al camí del Grau Roig, en ambdós casos sobre esquists (criumbrepts lítics). Son molt freqüents a l'estatge alpí, arreu dels Pirineus.

Sobre materials silícics o en zones de pluviometria abundant es troben sòls desaturats, en general de textures grolleres i sota vegetació forestal, que responen a les característiques de distrocrepts com per exemple a la Vall d'Aran i a la vall de Toses, entre altres indrets. Als Prepirineus la dessaturació del sòl no és tan intensa i poden trobar-se eutrocrepts sota pinedes de pi roig o rouredes de roure martinenc.

• ***Els aqüepts***

Els aqüepts (*Aquepts*) són sòls desfavorables des d'un punt de vista d'ús agrícola del territori, car, o bé estan saturats d'aigua durant un llarg període de l'any, cosa que fa que tinguin caràcter àqüic, o bé han d'ésser drenats artificialment.

Els aqüepts i els aqüents poden ésser propers en el seu emplaçament i són semblants en la morfologia del seu perfil. Cal buscar les diferències en què els aqüepts tenen un horitzó *Bg* hidromorf, i en què els colors verds grisosos dels aqüents són causats pel ferro Fe^{2+}, mentre que en els aqüepts es tracta, en molts casos, d'una descoloració per migració del ferro Fe^{2+} en condicions reductores.

És a les planes al·luvials, com a la de la Tordera o a la Sèquia de la Raia (Plana Baixa), entre





121 *ELS SÒLS RANKERIFORMES són característics dels estatges alpins i zones culminals als Països Catalans, com aquest (a dalt)* criumbrept litico-èntic *del Pla de Beret (Vall d'Aran); com a conseqüència de la transformació del bosc primitiu en prats de dall o de pastura, als estatges subalpí o altimontà, antics sòls bruns poden esdevenir* distrocrepts úmbrics, *com els d'aquests rasos del Pla Guillem (Canigó). [Fotos: Josep M. Alcañiz]*



122 *ELS ANDOSÒLS arriben a aparèixer en les escasses àrees volcàniques dels Països Catalans, com aquest* distrandept, *format sobre basanites i en condicions microclimàtiques d'humitat molt elevada, a la Fageda d'en Jordà (Garrotxa). [Foto: Jaume Porta]*

d'altres, on s'han descrit aquests sòls. Al delta de l'Ebre, concretament als arrossars, són ben representats. No obstant això, són sòls que a nivell dels Països Catalans ocupen poca superfície.

- ***Els andepts***

La presència de materials volcànics i la humitat que caracteritza zones com la cubeta d'Olot (Garrotxa), permeten la formació d'andepts (*Andepts*), inceptisòls que equivalen als andosòls d'altres classificacions. A causa de les peculiaritats d'aquests sòls, Smith (1978) proposà la creació d'un ordre per agrupar-los independentment dels inceptisòls. Com a localització més coneguda cal citar els de la fageda d'en Jordà a Olot, estudiats per diversos autors (Bech, 1978), (Roquero i col·laboradors, 1980), entre altres.

Els aridisòls

Als Països Catalans hi ha diverses raons per les quals es pot explicar la presència d'aridisòls (*Aridisols*). D'una banda, el règim d'humitat arídic, característic dels sòls del migjorn valencià, d'una part de les Garrigues, del Segrià i de la seva prolongació cap a les terres del Baix Cinca. Els límits de l'àrea de règim arídic no han estat establerts amb precisió, tal com s'ha comentat en tractar dels règims d'humitat. Per altra banda, l'existència d'aquest ordre és també justificada per la presència de sals solubles, que origina els aridisòls afectats per salinitat. Els afloraments de guixos i la redistribució del guix en el paisatge també permeten la formació d'aridisòls i, en ambdós casos, salinitat o guix, es tracta de sòls clímax estacionals.

El fet genèric de tots els aridisòls és que no tenen aigua disponible per a les plantes mesofítiques durant llargs períodes de l'any. Això pot ésser causat per l'absència real d'aigua, o bé pel fet que la que hi ha es troba a uns nivells energètics tals que les plantes no tenen capacitat per a absorbir-la, cosa que provoca una sequera fisiològica, com en el cas dels aridisòls amb salinitat.

Dintre de l'ordre dels aridisòls s'estableixen dos subordres, segons que el perfil presenti un endopedió argílic o un nàtric: el dels àrgids, o si té altres endopedions, el dels òrtids.

- ***Els àrgids***

Els àrgids (*Argids*) tenen una escassa representació als Països Catalans. Són sòls amb règim arídic i amb un endopedió d'acumulació d'argila, segurament format en un període climàtic anterior, més humit. Sota de l'argílic pot haver-hi un horitzó càlcic, *K*, o un petrocàlcic, *Km*.



123 *ELS SALÒRTIDS són sòls extremament desfavorables per al conreu; en superfície presenten eflorescències blanques i llur estructura és destruïda, com mostren aquests d'Albatera (Baix Segura).*
[Foto: C. Roquero]

Han estat inventariats, a la zona que va de Càlig a Alcalà de Xivert (Baix Maestrat), sòls que es classifiquen com a paleàrgids, si presenten crosta calcària, o com a haplàrgids, en el cas contrari.

Els solonetzs, que corresponen al grup dels natràrgids del Soil Taxonomy System, han estat descrits per alguns autors que els han citat a Maials (les Garrigues, administrativament el Segrià), si bé no els hem pogut localitzar sobre el terreny; no sembla que els factors de medi d'aquells indrets siguin els favorables per a la formació de l'horitzó nàtric que s'exigeix per a definir-los. El nivell a què es troba la prospecció de sòls l'any 1984 permet d'afirmar que no hi ha solonetzs als Països Catalans.

- ***Els òrtids***

Els òrtids (*Orthids*) són sòls molt més freqüents als Països Catalans. Són sòls amb endopedió de diagnòstic que pot ésser un càmbic (cambòr-



124 *LA SALINITZACIÓ EDÀFICA afecta extenses zones del migjorn valencià, combatuda agronòmicament mitjançant irrigació amb aigua de bona qualitat i l'establiment de drenatges; les palmeres, tanmateix, suporten prou bé aquestes condicions.*
[Foto: Jaume Porta]

tids), un càlcic (calciòrtids), un petrocàlcic (paleòrtids), un gípsic (gipsiòrtids), o un sàlic (salòrtids). Ordenant-los amb un criteri d'ús agrícola, hom considera que els més desfavorables són els salòrtids; a continuació vénen els paleòrtids, gipsiòrtids, calciòrtids, i els més favorables són els cambòrtids, ja que són els que menys factors condicionants tenen, si no són fases salines.

La presència de sals solubles en grans quantitats condiciona el comportament del sòl i la resposta de les plantes que intenten installar-s'hi. Un contingut del 2% o més de sals, i el producte del gruix pel percentatge de sal superior a 60, fan que l'horitzó es denomini sàlic i el sòl sigui un salòrtid (*Salorthid*). Als Països Catalans aquests sòls es localitzen gairebé exclusivament a les plantes litorals, a proximitat de la mar. Ocupen antics aiguamolls salats, reblerts per dipòsits fluvials o fluviolagunars: litoral del Rosselló, entre les Corberes i els Pirineus, i a molts altres indrets, fins a Alacant, i a la badia d'Alcúdia, a Mallorca. En general aquests sòls presenten una capa freàtica hipersalina prop de la superfície, i estan mal drenats. La inundació per aigua salada accentua el procés de salinització. que pot incloure's en el cicle marí dels establerts per Kovda. Els salòrtids es corresponen a una part dels solontxacs de la FAO o altres sistemes taxonòmics clàssics, o als sòls saltsòdics salins blancs de la CPCS (1967). Els termes "sòl halomorf", "sòl salí" o "solontxac" són menys precisos i inclouen també altres sòls afectats per salinitat, però que no tenen un horitzó sàlic.

A les zones de l'interior, la salinitat pot ésser menys accentuada, si bé una conductivitat elèctrica de l'extracte de pasta saturada superior a 2 mS/cm a 25°C fa que el sòl sigui un aridisòl, un cambòrtid (*Camborthid*), si té un endopedió càmbic, com és el cas d'alguns pedions de les Garrigues, la Segarra o molts indrets d'Alacant. Si hi ha un altre endopedió de diagnòstic, la salinitat pot expresar-se com una "fase salina"; per contra, si el perfil no presenta cap endopedió, el sòl salí passa a ésser un torriortent (entisòl).

Els calciòrtids (*Calciorthids*) i els paleòrtids (*Paleorthids*) són sòls que a menys d'un metre de profunditat presenten un horitzó d'acumulació de carbonats, un càlcic en el primer cas, i un petrocàlcic o crosta calcària en el segon. No poden tenir un règim xèric, ja que en aquest cas serien inceptisòls, xerocrepts calcixeròl·lics o xerocrepts petrocàlcics, respectivament, que són més favorables pel que fa al subministrament d'aigua per a les plantes.

A les comarques del Baix Ebre i el Montsià s'han descrit paleòrtids que es situen als glacis, i calciòrtids (Santolaya, 1977). En molts casos es tracta de sòls policíclics amb superposició de diversos nivells de crosta junt amb antics horitzons argílics recalcificats. Al S de Tàrrega s'han descrit calciòrtids (Ontañon i col·laboradors, 1978) seguint la classificació teòrica indicada a la publicació "*Regímenes de humedad de los Suelos de España Peninsular*" (Lazaro i col·laboradors, 1978), que és una publicació objecte actualment de revisió que més aviat ha d'ésser emprada com a orientativa. Ontañón i col·laboradors (1978) assenyalen ja aquesta circumstància, parlant d'un predomini del règim arídic, molt proper al seu límit amb el xèric.

Es poden citar calciòrtids i paleòrtids a molts altres indrets, com a les Garrigues, al Baix Cinca, al Montsià i a Alacant, però una classificació rigorosa no serà possible fins que no es disposarà de dades sobre els règims d'humitat. No es tracta d'una disquisició acadèmica, sinó que té transcendència pel que fa a l'ús del sòl. Així, per exemple, sòls del Tarragonès, del Baix Camp o del Baix Ebre poden ésser conreats o no en funció de la profunditat a la qual aparegui una crosta calcària. Si aquesta està molt a





125 *LA CROSTA CALCÀRIA pot constituir una massa cimentada molt dura (a dalt) que impedeix el conreu (Benijòfar, Baix Segura), i és per això que, a vegades (a baix), hom procedeix a retirar-la, operació de rendibilitat dubtosa (Iecla, Múrcia).*
[Fotos: C. Roquero]



126 *GRANS EXTENSIONS amb pendent suau no poden ésser conreades al Baix Ebre a causa de l'existència d'una crosta calcària molt superficial.*
[Foto: Jaume Porta]

prop de la superfície, els camps no es conreen o tenen garrofers, arbres que en viuen molts anys, i les seves arrels aconsegueixen de travessar la crosta, aprofitant punts de debilitat i fractures. Aquests sòls, que en molts casos ocupen glacis de pendent suau, no tenen altre ús agrícola possible, són paleòrtids típics. Si fossin inceptisòls amb crosta, xerocrepts petrocàlcics, podrien suportar conreus més productius que el garrofer. Aquesta problemàtica taxonòmica també es presenta en d'altres classificacions: així, el límit entre els sòls bruns amb crosta calcària i els sòls marrons amb crosta calcària resulta més fàcil d'establir teòricament que sobre el terreny.

Els gipsiòrtids (*Gypsiorthids*) es formen pel procés que s'ha anomenat de gipsificació, que origina l'acumulació de guix en el perfil. En les etapes inicials, l'endopedió pot ésser un càmbic amb presència de petites quantitats de guix vermiforme, petits cilindres que s'assemblen a petits cucs de color blanc, per la qual cosa al camp són molt aparents per contrast amb el color marró del conjunt de l'horitzó. Aquests sòls són els cambòrtids gípsics. Si el procés s'accentua, l'acumulació es fa més important, l'enriquiment secundari de guix pot assolir un gruix de 15 cm o més, i si el gruix pel percentatge de guix és de com a mínim 150, l'endopedió es gípsic: el sòl es ja un gipsiòrtid típic (*Typic Gypsiorthid*), si el producte del percentatge de guix pel gruix en cm fins a 1,5 m és de, com a mínim, 3000; si no s'hi arriba, es tracta d'un gipsiòrtid càmbic (*Cambic Gypsiorthid*). La zona de predomini dels gipsiòrtids als Països Catalans és la de l'anticlinal que va de Sanaüja-Torà cap a l'W, passant per Balaguer i el Campell, tot prolongant-se cap a Barbastre fins a Peraltilla, zona estudiada per Porta i Herrero (1982, 1985). També han estat descrits a les Garrigues i al migjorn valencià.

Els cambòrtids (*Camborthids*) són aquells sòls que presenten un endopedió càmbric i tenen una conductivitat elèctrica de l'extracte de pasta saturada de, com a mínim, 2 mS/cm a 25°C, o tenen règim arídic. Els cambòrtids salins són identificables sense problemes. Han estat citats a les Garrigues i a la Segarra. Reuneixen des dels sòls lleugerament afectats per salinitat, fins a aquells que tenen un endopedió sàlic, que ja són salòrtids (*Salorthids*). La identificació de cambòrtids pel règim arídic presenta les dificultats ja esmentades. Les àrees més representatives són la del migjorn valencià i la de la Franja de Ponent.



127 *GUIX VERMIFORME, en una visió de detall d'un horitzó d'un sòl amb horitzó gípsic, a Ivorra (Segarra).*
[Foto: Jaume Porta]



128 *ANTIC ENDOPEDIÓ ARGÍLIC RECALCIFICAT, horitzó* Bt *amb nòduls calcaris, sota una crosta també calcària, al Baix Segura.*
[Foto: C. Roquero]

Els alfisòls

Els alfisòls (*Alfisols*) són aquells sòls que presenten un horitzó B_t d'acumulació d'argila, és a dir, un endopedió argílic. Es troben en una area geografica més humida que els àrgids, que són els aridisòls amb argílic. Són, en general, sòls més vells, o si més no més evolucionats, que els inceptisòls. No seria massa exageració afirmar que una gran part dels Països Catalans fou un immens alfisòl que en alguns indrets va quedar enterrat per dipòsits posteriors i va ésser re-



129 *BOSQUINA SOBRE UN HAPLOXERALF a les muntanyes de la rodalia de Lliria (Camp de Túria).*
[Foto: J. Sánchez]

carbonatat, que en d'altres va ésser erosionat i va desaparèixer, i que en d'altres va servir de material originari de sòls posteriors.

Els emplaçaments que actualment encara conserven, o els que presenten formació d'alfisòls, es caracteritzen per tenir règim d'humitat xèric (xeralfs) o údic (udalfs). Es corresponen als luvisòls de la FAO (1974), als sòls fersialítics i sòls bruns iHuviats de la CPCS (1967) i als sòls vermells mediterranis d'altres classificacions. El subordre dels udalfs es correspon, en part, als luvisòls òrtics de la FAO. Són presents a indrets humits com a la Garrotxa i la Serralada Transversal i, d'una forma molt localitzada, a la Cerdanya.

Per a identificar un alfisòl rigorosament, cal realitzar estudis micromorfològics: els diagnòstics de camp són poc fiables a l'hora de reconéixer els "clayskins" o recobriments d'argila iHuviada.

- ***Els xeralfs***

Els xeralfs (*Xeralfs*) són els luvisòls cròmics de la FAO i una part dels luvisòls òrtics; els antigament anomenats sòls vermells mediterranis s'inclouen en el grup dels rodoxeralfs (*Rhodoxeralfs*).

Sobre els alluvions antics que formen les terrasses situades al N de la Tet, a una i altra banda de l'Aglí, es troben haploxeralfs (*Haploxeralfs*), sòls fersialítics iHuviats (Servant, 1970). El color de l'horitzó B_t té un matís de 2,5 YR. és a dir, no és prou vermell per a tenir el caràcter ròdic típic dels rodoxeralfs. Al S de la Tet, a la regió de Cabestany o al sector d'Ortafà, es troben palexeralfs (*Palexeralf*), que són sòls fersialítics iHuviats, àcids, de terrasses altes, formats sobre capes de graves sovint de poc gruix, sobre Pliocè (Servant, 1970). Els palexeralfs presenten un contacte textural abrupte entre l'horitzó argílic i l'horitzó superior. Sòls d'aquesta categoria han estat estudiats a la Selva (Bech i coHaboradors, 1982), on presenten un horitzó *A2* eHuvial molt evident. És possible que siguin sòls relictes heretats d'unes condicions paleoclimàtiques. A la serra de les Gavarres i altres indrets es poden identificar xeralfs sobre granodiorites, arcoses o esquists. En alguns casos es troben en vessants que han estat erosionats i una part del perfil ha desaparegut. Altrament, també s'esdevé que en indrets d'erosió molt accentuada, el sòl passa a ésser un xerortent àlfic (*Alfic Xerorthent*) en el qual l'horitzó de superfície, o bé el *C*, presenta restes d'un antic argílic de colors vermells. Sòls d'aquestes característiques han estat descrits a Fogars de Tordera (Danés i coHaboradors, 1984).

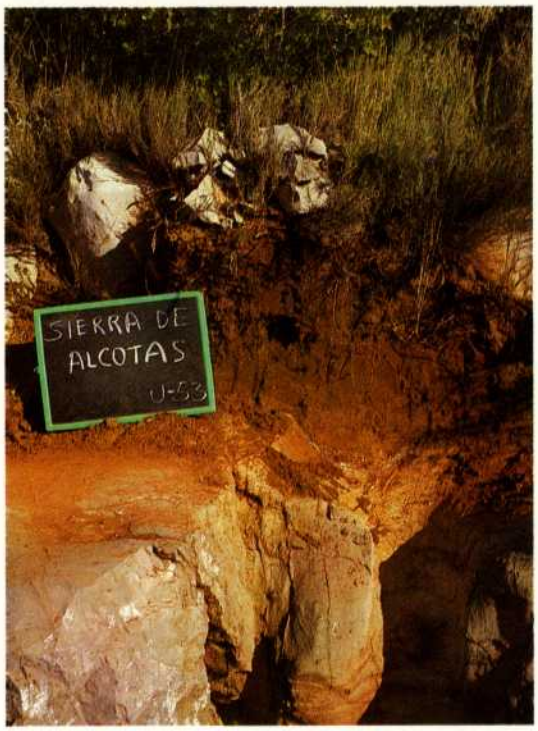
Sobre calcàries, com per exemple les del Garraf o les de les Illes, la descarbonatació i posterior iŀluviació de l'argila han originat les denominades clàssicament *terra rossa*. Aquests sòls vermells no acostumen a formar un tapís continu, sinó que es troben reblint esquerdes i forats de la roca carstificada. El color és causat per un procés de rubefacció, i si el matís és més vermell que 5 YR, es poden classificar com a rodoxeralfs. Al País Valencià, sobre materials calcimagnèsics, calcàries i dolomies consolidades, i en zones amb poc pendent, es desenvolupen rodoxeralfs i haploxeralfs que, en alguns indrets, han sofert processos de recarbonatació secundària que han originat un horitzó càlcic.

A la serra d'Espadà, en posició de plataforma, es troben haploxeralfs. Es poden destacar també els xeralfs desenvolupats sobre argiles terciàries en posició de plataforma a la comarca de Requena-Utiel. Són sòls majoritariament poligenètics, haploxeralfs i palexeralfs. Altres emplaçaments típics de xeralfs són Boqueres (Alacantí), Requena, Mondúver (Safor), Montgó (Marina Alta) i Serra de Bèrnia. També han estat descrits rodoxeralfs a Dénia (Pons i col·laboradors, 1984).

En el cas dels sòls desenvolupats sobre material silicatat, gresos del Buntsandstein i sorres de l'Albià, es pot desenvolupar un horitzó argílic. La classificació d'aquests sòls presenta problemes. La pobresa en bases del material originari es manifesta en els sòls; l'horitzó argílic pot presentar saturacions de bases del 35%, límit entre els alfisòls i els ultisòls. Classificar aquests sòls com a alfisòls pot no resultar correcte, però associar-los a una edafogenèsi de tipus subtropical i dir que són ultisòls, quan el caràcter és heretat del material originari, tampoc no resulta massa ortodox per a uns sòls situats al País Valencià.







131 *EXEMPLES DE TERRA ROSSA desenvolupats sobre calcàries dures, l'un (a dalt) a les muntanyes de Prades (Conca de Barberà/Baix Camp) i l'altre (a baix) a Figueroles de Domenyo (Serrans). [Fotos: Josep M. Alcañiz i J. Sánchez]*

Els mollisòls

La classificació de sòls de determinats indrets dels Països Catalans com a mollisòls (*Mollisols*) ha d'ésser realitzada amb cautela i rigor, guiant-se per dades de mesures realitzades i no pas per correlacions amb d'altres sistemes taxonòmics, o bé en hipòtesis de treball. Si aquestes són necessàries, caldrà fer-ho constar i no perdre-ho de vista. Els problemes provenen de la manca de la informació requerida per a definir l'epipedió mòl·lic, cosa que ja ha estat comentada anteriorment.

La definició de mollisòl (SSS, 1975) diu que principalment són els sòls molt foscos de les estepes i que gairebé tots ells tenen un epipedió mòl·lic. En general es formen sota una vegetació perenne de gramínies, bé que alguns es poden trobar sota una vegetació de bosc caducifoli i sobre una roca calcària.

130 *PALEXERALF RÒDIC de la Selva, amb un horitzó* A_1 *pràcticament inexistent i amb un* A_2 *àlbic, en contacte textural abrupte amb l'argila de color vermell. [Foto: C. Roquero]*



132 *SÒL FORMAT SOBRE UN COLLUVI CALCARI, amb una incorporació de matèria orgànica en profunditat (isohumisme); presenta un horitzó* A_1 *mòllic, un* K *càlcic i un* Km *petrocàlcic* (Vallibona, Ports). [Foto: J. Sánchez]

• ***Els borolls i els ustolls***

La zona de possibles borolls (*Borolls*) que correspon parcialment als txernozems d'altres classificacions, només es podria localitzar allà on la temperatura mitjana anual del sòl (tmas), és inferior a 8°C, per la qual cosa és molt poc probable que als Països Catalans n'hi hagi. A més, cal que el règim d'humitat no sigui xèric, excepte si el règim de temperatura és críic, és a dir, la tmas es trobi entre 0 i 8°C. En el cas dels txernozems correlacionables amb els ustolls (*Ustolls*), el règim de temperatura ha d'ésser més càlid que el frígid, és a dir, la tmas superior a 8°C, i no poden tenir un règim d'humitat xèric. Aquestes exigències fan difícil que hom pugui trobar txernozems als Països Catalans.

La presència de sòls amb epipedió mòllic als Països Catalans resta limitada a determinats emplaçaments que constitueixen clímaxs estacionals, amb clima que va des de l'húmid al xèric.

• ***Els rendolls i els xerolls***

Les rendzines poden distribuir-se en dos ordres del Soil Taxonomy System, segons el desenvolupament del pedió. Els ortents, dels quals ja s'ha parlat al tractar dels entisòls, i una part dels rendolls (*Rendolls*) i xerolls (*Xerolls*) que pertanyen als mollisòls. En tots els casos, la roca mare és una calcària i el pedió conté carbonat càlcic.

El nivell actual de coneixement dels sòls dels Països Catalans permet indicar que sobre materials càlcico-magnèsics dels Prepirineus es poden trobar rendolls i xerolls; cal destacar la importància de l'altitud i de l'orientació sobre la formació d'aquests sòls. En efecte, en contrades de règim xèric no massa extrem, és possible trobar xerolls; a Maçanet de la Selva, sota alzinars, s'han inventariat haploxerolls (*Haploxerolls*). A vegades aquests sòls poden presentar un horitzó d'acumulació de carbonats, cosa que dóna lloc a un endopedió càlcic; són els calcixerolls (*Calcixerolls*) de l'Anoia. A Morella, sobre lutites i calcàries s'han inventariat haploxerolls típics, i a Peníscola, sobre calcàries cretàcies dolomititzades, hi ha haploxerolls lítics.

• ***Els udolls***

Els subordre dels udolls (*Udolls*) és també present als Països Catalans. Es caracteritza per tenir un règim d'humitat údic. Hi ha exemples d'aquests sòls als Pirineus. Presenten un horitzó càmbic sota l'epipedió mòllic (hapludolls), i es desenvolupen sobre calcàries paleozoiques en una fageda a l'Artiga de Lin (Vall d'Aran), o sota un bosc mixt d'avets i pi roig, com és el cas dels voltants d'Espot (Pallars Sobirà), el Pla de l'Orri a la serra de Catllaràs (Berguedà), així com a altres indrets dels Prepirineus calcaris. A Vistavella del Maestrat, també han estat inventariats a 1100 m, sota condicions humides i amb una vegetació de gramínies. A Torre Miró (Ports de Morella) s'han descrit hapludolls sobre materials tipus *terra fusca* procedents de la descarbonatació de calcàries.



133 *HAPLOXEROLL ÀNDIC, a la Selva, amb una patent presència d'un epipedió mòllic, fosc i ric en matèria orgànica.* [Foto: Robert Cruañas]

Els espodosòls

Els espodosòls (*Spodosols*) corresponen a la gran part dels sòls anomenats podzols a d'altres sistemes taxonòmics (*pod* en rus significa a sota, i *zola* vol dir cendra). Muir (1961) assenyala que "pod" podria interpretar-se com un nom rus antic equivalent a πεδιος en grec, és a dir, sòl. Presenten un horitzó diagnòstic espòdic, que és un horitzó en el qual s'ha produït una acumulació de materials amorfs de matèria orgànica i alumini, amb o sense ferro. En sòls no pertorbats, sobre l'endopedió espòdic pot existir un horitzó illuvial de color generalment gris clar; en alguns espodosòls aquest horitzó és molt prim o ni tan sols no existeix, que és el cas més freqüent en els espodosòls dels Països Catalans. A les zones boreals, aquests sòls són clímaxs climàtics, mentre que als Pirineus, únic indret dels Països Catalans on es poden formar, són clímaxs estacionals. Les condicions de clima molt humit i vegetació acidificant, generalment de coníferes, són factors favorables, però seran les roques molt permeables, pobres en minerals molt alterables i en argila, així com en bases, les que acceleraran el procés de podzolització. Aquestes circumstàncies es donen en pocs indrets als Països Catalans, per la qual cosa els espodosòls són sòls molt poc freqüents. Acostumen a tenir un epipedió úmbric.

Els subordres presents als Països Catalans es caracteritzen per la presència d'un horitzó espòdic ric en carboni orgànic (humods) o per tenir un horitzó espòdic en el qual no domina el contingut de carboni orgànic, de ferro o d'alumini (ortods).

- ***Els humods***

Els humods (*Humods*) tenen un horitzó espòdic en el qual la relació ferro a carboni orgànic és inferior a 0,2 en alguns subhoritzons, els quals han de presentar més de la meitat de l'horitzó. Es corresponen als podzols húmics.

S'han descrit humods a les immediacions del llac de Sant Maurici (Pallars Sobirà), desenvolupats sota unes condicions climàtiques caracteritzades per un règim d'humitat perúdic i un règim de temperatura críic o frígid. La vegetació és una pineda de pi negre (*Rhododendro - Pinetum uncinatae*) o un gespet (*Carici - Festucetum eskiae*), sobre material de natura granodiorítica. Es tracta de criohumods (*Cryohumods*) i d'haplohumods (*Haplohumods*) (Alias i collaboradors, 1983).

- ***Els ortods***

L'equilibri entre els continguts de ferro, alumini i carboni orgànic en l'horitzó on s'acumulen dóna lloc al subordre dels ortods (*Orthods*) o podzols òrtics de la FAO.



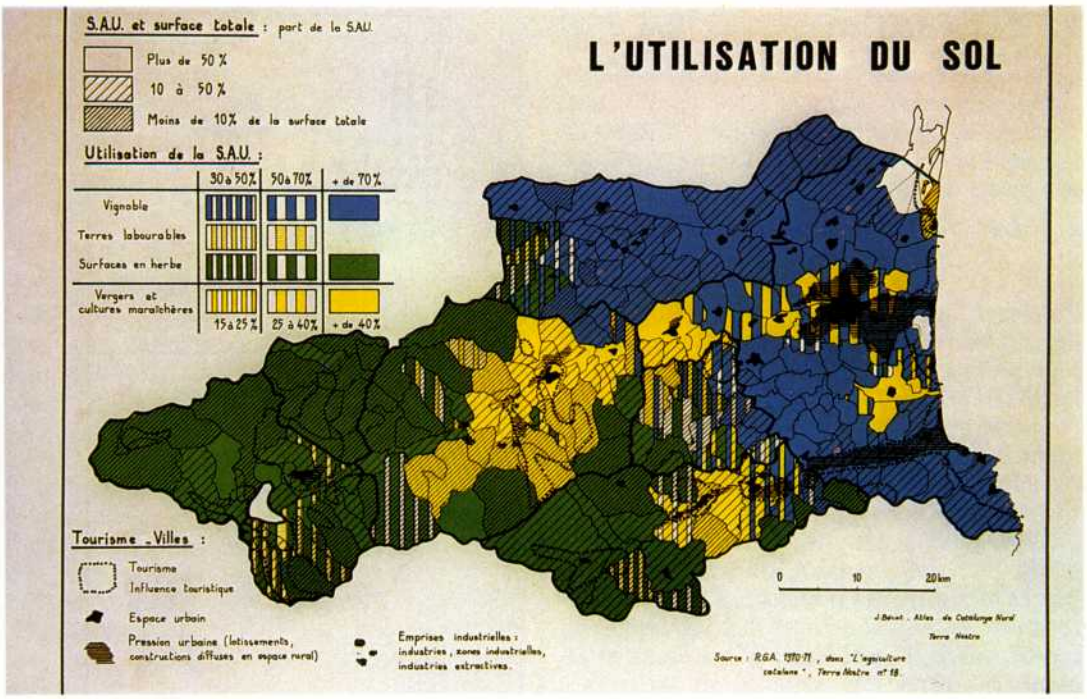
134 *EXEMPLE D'ESPODOSÒL, concretament de* podzol, *a Ratera (Vall d'Aran), grup edàfic que, als Països Catalans, resta confinat als Pirineus. [Foto: Robert Cruañas]*

S'han inventariat aquests sòls al Serrat d'Andorra, a l'estatge subalpí, sota una vegetació de resinoses i ericàcies, amb pluviometria elevada i sobre dipòsits morrènics de materials esquistosos, granítics o de pissarres quarsítiques. Es tracta de criortods (*Cryorthods*), a causa del règim de temperatura del sòl. També han estat descrits a Ratera (Vall d'Aran) (Cardús i collaboradors, 1984), així com a d'altres contrades dels Pirineus, com a Prats de Molló i Montlluís. A la cresta del massís de les Alberes centrals, sota una vegetació de *Calluna vulgaris, Daphne cneorum, Deschampia flexuosa, Festuca ovina*, etc., i sobre esquists, s'han descrit sòls cripto-podzòlics humífers (Servant, 1970).

Els histosòls

L'ordre dels histosòls (*Histosols*) inclou les torbes o sòls hidromorfs orgànics de la classificació de la CPCS, i els sòls orgànics en general.

En el cas dels histosòls saturats d'aigua, els materials orgànics tenen entre el 12 i el 18% (en pes) de carboni orgànic, segons quin sigui el contingut d'argila de la fracció mineral. Els histosòls no saturats han de presentar un contingut mínim de carboni orgànic del 20%. En ambdós casos els percentatges indicats s'han de complir en més del 50% dels 80 cm superiors del perfil, sempre que els materials orgànics no reposin directament sobre la roca dura.



137 *MAPES D'ÚS DEL SÒL han estat establerts per a algunes àrees dels Països Catalans, com aquest corresponent a la Catalunya Nord, incorporat a l'*"Atlas de la Catalunya Nord", *de Joan Becat i col·laboradors. [Foto Jordi Vidal]*

ral, comarques de muntanya, la superfície agrícola de les quals és ocupada fonamentalment per prats, pastures i boscos. Si es té en compte únicament la superfície cultivada, les comarques més importants són el Segrià, la Noguera, el Baix Ebre, l'Urgell, les Garrigues, l'Alt Empordà, la Segarra i el Montsià.

A Catalunya s'observen, doncs, dos nuclis importants quant a la superfície cultivada; un que comprèn la Depressió Central (Segrià, Noguera, Urgell, Garrigues, Segarra i Anoia) i comarques adjacents (Alt Penedès, Alt i Baix Camp, Baix Ebre i Montsià) i un altre que inclou les planes de l'Empordà (Alt i Baix Empordà), el Rosselló, el Gironès i la plana de Vic (Osona).

- ***Tipus de conreu***

Tal com hem indicat, aproximadament un terç de la superfície total de Catalunya està conreada. El grup de conreus que ocupa una superfície més extensa són els cereals, que representen, aproximadament, el 40% de la superfície total conreada. Els cereals que predominen a Catalunya són el blat i l'ordi. Menor importància tenen el blat de moro, la civada i l'arròs.

Les comarques cerealistes més importants són la Noguera, el Segrià, la Segarra, l'Urgell i l'Anoia, que concentren un total del 62% de la superfície total de cereals. L'arròs, per les seves especials característiques de conreu, es localitza fonamentalment al Baix Ebre i al Montsià. El blat de moro, en la seva major part de regadiu, presenta les màximes extensions al Segrià i a l'Urgell.

En segon lloc es troben els fruiters, que ocupen aproximadament el 15% de la superfície conreada. Quant a la seva extensió, els fruiters més importants són la pomera, la perera, el presseguer, l'ametller, l'avellaner i el garrofer. Les comarques fruiteres més importants són el Segrià, el Baix Camp, l'Alt Camp i les Garrigues, que reuneixen el 48% de la superfície fruitera. La importància dels fruits secs a Catalunya portà la Diputació de Tarragona a crear l'any 1974 el Centre Agropecuari de Mas Bové (CAMB), únic a l'estat espanyol amb la finalitat principal de dedicar-se a l'estudi de l'avellaner i l'ametller, objectius que posteriorment foren ampliats. En relació amb el sòl es realitzen investigacions sobre la fertilització de l'avellaner, la diagnosi mitjançant l'anàlisi foliar, el reg i la fertirrigació. Actualment a més dels fruits secs clàssics, avellaner i ametller, han introduït el cultiu del noguer, el pistatxer o festuc i el pacaner, com a noves possibilitats de fruits secs a l'estat espanyol en general i a Catalunya en particular. A partir de l'any 1984 el Centre funciona en conveni entre la Generalitat de Catalunya i l'esmentada Diputació.

L'olivera és el tercer conreu en importància a Catalunya i representa el 14% de la superfície, aproximadament. Es concentra principalment al Baix Ebre, a les Garrigues, al Montsià i a la Ribera d'Ebre, que suposen el 63% de la superfície total d'oliveres. La varietat arbequina és especialment apreciada per la qualitat del seu oli.

Els conreus farratgers són els que ocupen el quart lloc, amb el 12% aproximadament de la superfície total conreada. El principal a Catalunya és el de la userda i després, ja amb molta

menys importància, els de cereals d'hivern per a farratge, la trepadella, el blat de moro farratger i els naps farratgers. Les comarques farratgeres més importants són l'Alt Empordà, el Gironès, Osona, el Baix Empordà i el Segrià, que representen el 51% de la superfície total farratgera.

En cinquè lloc trobem la vinya, que representa l'11% de la superfície total conreada i que es localitza, fonamentalment, a la Terra Alta, l'Alt Penedès, l'Alt Camp, la Conca de Barberà i el Priorat, comarques que reuneixen el 52% de la superfície vitícola, així com a la Catalunya Nord.

Amb una extensió ja molt més reduïda, i representant el 3,5% de la superfície, es troben les hortalisses, entre les quals ocupa el primer lloc el tomàquet. Les comarques amb més superfície total d'horta són el Baix Ebre, el Maresme, el Segrià, el Montsià, el Baix Llobregat i el Baix Camp, que comprenen el 58% de la superfície total.

Segueixen els tubercles, amb el 2,5% aproximadament de la superfície conreada, la qual és pràcticament dedicada en la seva totalitat a la patata. Les comarques principals, quant a la superfície destinada a tubercles, són Osona, el Baix Camp, el Gironès, el Solsonès i el Baix Empordà, que representen el 33% de la superfície total. Com es pot deduir d'aquesta dada, es tracta d'un conreu més repartit que en els casos anteriors.

Les lleguminoses ocupen aproximadament l'1,2% de la superfície total cultivada. Les principals lleguminoses a Catalunya són les faves, la mongeta seca, la veça, el cigró i el pèsol sec. Destaquen dintre de les comarques més importants el Vallès Oriental, el Gironès, el Baix Empordà i el Bages, que suposen el 31% de la superfície total. També es tracta d'un grup de conreus, la superfície del qual es troba molt repartida per tot Catalunya.

Els cítrics representen el 0,3% de la superfície cultivada i els principals són el taronger i la mandarina. Pràcticament tota la superfície, el 94%, es localitza al Baix Ebre i al Montsià.

Els conreus industrials ocupen també el 0,3% de la superfície cultivada. Els més importants són els de la soia i el gira-sol. Les comarques més importants són el Baix Ebre, el Segrià i el Pallars Jussà, que reuneixen el 75% de la superfície dedicada a aquest grup de conreu.

Finalment cal citar les flors i les plantes ornamentals, entre les quals destaquen el clavell i la rosa. El seu conreu es localitza fonamentalment al Maresme, que suposa el 80% de la superfície total. La importància econòmica d'aquests conreus va fer que s'emplacés a Cabrils l'antic Centro Regional de Investigación y Desarrollo Agrario (CRIDA) clarament polaritzat a la recerca en flor i planta ornamental. En ésser transferit a la Generalitat ha passat a formar part del Servei d'Investigació Agrària.

Un comentari singularitzat mereix la Catalunya Nord, les estadístiques relatives a la qual, per raons polític-administratives òbvies, provenen de fonts diferents a les de la Catalunya cispirinenca. La vinya hi ocupa fonamentalment tota la plana del Rosselló, les Corberes i les Alberes. En aquestes zones es troba sobre més del 70% de la superfície agrícola útil. Les superfícies ocupades per herba, prats i pastures es troben fonamentalment a la part occidental i al S de la Catalunya Nord, als massisos del Canigó, de Carançà, del Puigmal, del Madres i part del de Roc de França, es destinen fonamentalment a aquest tipus d'aprofitament, el qual ocupa més del 70% de la superfície agrícola útil. L'horta es localitza principalment a la vall de la Tet, des d'Oleta i Prada fins a Vinçà i Illa. També als voltants de Perpinyà i d'Elna, de Ceret i d'Arles hi ha superfícies importants dedicades als conreus hortícoles. En aquestes zones ocupa més del 40% de la superfície agrícola útil. Les terres de conreu ocupen petites extensions i es localitzen a les proximitats de Prada, a la vall de la Castellana. D'aquesta síntesi dels conreus que es troben a la Catalunya Nord es dedueix una especialització molt acusada d'aquesta part dels Països Catalans vers dos aprofitaments principals: la vinya i l'horta.

L'ús del sòl al País Valencià

La superfície total del País Valencià és d'uns 2,3 milions d'hectàrees. Aproximadament el 40% de la superfície total correspon a terreny forestal, un altre 40% es dedica a camps de conreu, el 18% es destina a usos no agrícoles o és improductiva, i la resta és ocupada per prats i pastius.

- *Ús agrícola*

De la mateixa manera que en el cas de Catalunya, es considera com superfície no agrícola la suma de les superfícies corresponents als terrenys improductius, la superfície no agrícola i la de rius i llacs.

En considerar els diferents percentatges sobre la superfície total del País Valencià, cal destacar el percentatge corresponent al regadiu, notablement més elevat que en els casos de Catalunya i les Illes. La superfície regada és majorment ocupada per conreus llenyosos, principalment els cítrics i altres fruiters i, en menor mesura, per vinya i olivera. En els casos de Catalunya i les Illes, la superfície regada és majorment ocupada per conreus herbacis.

• *Tipus de conreu*

Tal com hem dit anteriorment, aproximadament el 40% de la superfície total del País Valencià correspon a terres de conreu. La vinya és el conreu que ocupa una extensió més gran i representa el 21,3% de la superfície conreada. La producció de raïm de taula és de considerable importància, el 4,9% de la superfície conreada. En segon lloc trobem els cítrics, que ocupen el 19,3% de la superfície conreada. Els més importants són el taronger i el mandariner.

Segueix el grup de fruiters no cítrics, que considerats globalment ocupen el 21% de la superfície total conreada. Els fruiters més importants, quant a la seva extensió, són l'ametller, la pomera, la prunera i el presseguer. L'olivera és el quart conreu en importància al País Valencià i representa l'11,3% de la superfície conreada.

En cinquè lloc es pot citar el grup de cultius que corresponen a altres tipus de conreus llenyosos, entre els quals el que té més importància és el garrofer, i que representen el 8,7% de la superfície conreada. Segueixen les hortalisses, entre les quals destaquen la carxofera i la ceba; el total representa el 7,5% de la superfície conreada.

Els cereals representen el 5,9% de la superfície conreada. Els més importants al País Valencià són, en primer lloc, l'arròs, i després l'ordi, el blat i el blat de moro. Dintre del grup de conreus industrials, que representen l'1,6% de la superfície conreada, destaquen el gira-sol i el cotó, que es localitza a Alacant.

Segueixen els tubercles per a consum humà, que suposen l'1,5% de la superfície conreada. El més important és, de bon tros, la patata. Al País Valencià hi ha conreus de tubercles que no tenen gaire importància a Catalunya ni a les Illes, com són el moniato, que ocupa unes 500 ha, i la xufla, amb prop de 1200 ha.

Els conreus farratgers representen l'1,4% de la superfície conreada. El que té més importància, quant a extensió, és l'alfals. Segueixen les lleguminoses de gra, que representen el 0,3% de la superfície conreada, amb una producció molt diversificada, entre les quals la més important és la mongeta.

En darrer lloc, pel que fa a superfície, cal citar les flors, entre les quals destaquen el clavell i la rosa, que ocupen una extensió que representa el 0,06% de la superfície conreada.

L'ús del sòl a les Illes

La superfície total de les Illes és d'un mig milió d'hectàrees. La zona forestal ocupa aproximadament un terç de la superfície total, una mica més de la meitat de la superfície es dedica a terres de conreu, i la resta correspon a usos no agrícoles o és improductiva. No s'han censat superfícies ocupades per prats naturals o pastius.

• *Ús agrícola*

Aproximadament el 90% de la superfície total es considerada superfície agrícola. Més de la meitat de la superfície total correspon a usos agrícoles de conreu, que es distribueixen per parts iguals entre herbacis i llenyosos. La superfície regada, en termes percentuals, és més baixa que en el cas de Catalunya o el País Valencià i és ocupada quasi exclusivament per conreus herbacis. A les terres de conreu, els herbacis més importants, quant a extensió, són els cereals i els farratges, i els llenyosos, l'ametller i l'olivera.

• *Tipus de conreus*

Tal com s'ha indicat abans, més de la meitat de la superfície total de les Illes és ocupada per terres de conreu. El grup de conreus que presenta una superfície més extensa són els fruiters no cítrics, que ocupen el 33,5% de la superfície conreada. Dintre d'aquest grup, els fruiters més importants quant a extensió són l'ametller, 28,1% de la superfície conreada, i la figuera, 3,5% de la superfície conreada.

En segon lloc en importància trobem els conreus farratgers, que ocupen el 27,1% de la superfície conreada. Dintre d'aquest grup de conreus, els que tenen més extensió són els cereals d'hivern per a farratge, el 18% de la superfície conreada.

Segueixen els cereals, els quals ocupen el 17,9% de la superfície conreada. Els cereals més importants quant a extensió són l'ordi, la civada i, en tercer lloc, el blat. Després ve el grup de conreus corresponent a altres cultius llenyosos, que ocupen el 6,8% de la superfície conreada. Dintre d'aquest grup el que té més importància, quant a extensió, és el garrofer (6,5% de la superfície conreada), i ja amb molta menys importància la taperera, el 0,2% de la superfície conreada.

En cinquè lloc es troba l'olivera, que representa el 5% de la superfície conreada. Segueix el grup de conreus integrat per les lleguminoses de gra, que ocupen el 3,6% de la superfície conreada, les més importants de les quals són les faves (2%) i les mongetes (0,5%). Les hortalisses són el grup de conreus que ocupa el setè lloc en importància i representen el 2,4% de la superfície conreada. La producció és molt diversificada, i es destaquen el meló (0,3%) i el tomàquet (0,3%). Després es troben els tubercles per a consum humà, els quals representen

l'1,8% de la superfície conreada. El tubercle més important és la patata, amb molta diferència respecte als altres conreus. S'han censat unes 100 ha de moniatos i 1 ha de xufla.

La vinya representa l'1,1% de la superfície conreada. Segueixen en importància els cítrics, que ocupen el 0,7% de la superfície conreada, dels quals el més important es el taronger. Després cal citar els conreus industrials, que representen el 0,04% de la superfície conreada, els més importants dels quals són el conreu per a llavor i el pebrot per a pebre. En darrer lloc es troben els conreus de flors, que representen únicament el 0,02% de la superfície conreada, i que són de clavell i de rosa, fonamentalment.

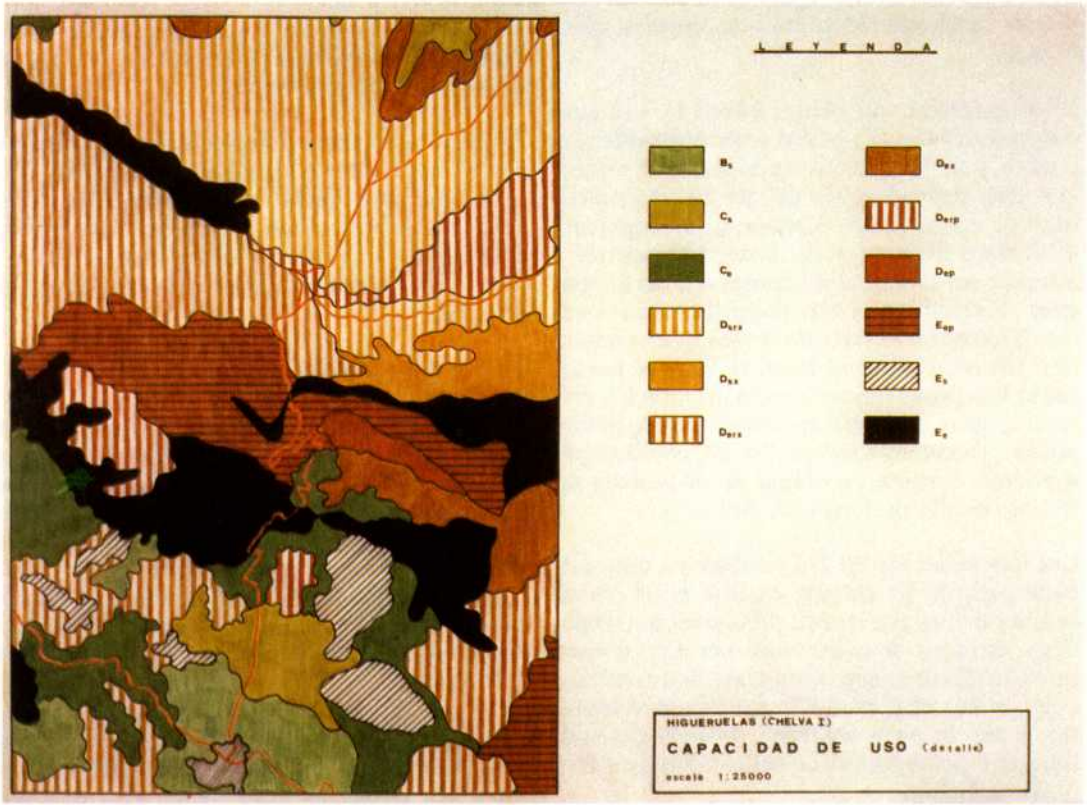
2.2 Les característiques dels sòls i la planificació territorial

Els mètodes d'avaluació

L'avaluació de sòls hauria d'ésser sempre una etapa prèvia per a qualsevol planificació de l'ús del territori, per tal que la localització d'activitats es realitzés d'una forma correcta. Això vol dir sense produir destrosses innecessàries sobre el capital sòl que, com ja hem dit, és un recurs natural no renovable a curt termini. L'avaluació és el procés que permet valorar el potencial del territori per a un ús concret o per a usos alternatius. L'informació que es genera en aquest procés convé que quedi reflectida en una cartografia, ja sigui clàssica, o bé digitalitzada i emmagatzemada en un suport informàtic per ésser fàcilment accessible. En avaluació de sòls interessen mapes a escales grans, un 1:20 000 és un mínim molt acceptable. L'avaluació pot tenir diferents finalitats, d'acord amb el tipus de planificació que es pretengui portar a terme, per la qual cosa n'hi ha de diversos tipus. Així, amb finalitat única, múltiple o bé tenir uns objectius generals; que contemplin l'aptitud actual o la potencial; poden ésser avaluacions qualitatives o quantitatives; de tipus físic o bé econòmic, etc.

Els sistemes més emprats amb finalitat agrícola avaluen l'aptitud del sòl pel seu ús agrícola permanent, per orientar les pràctiques agrícoles i evitar la degradació o la pèrdua per erosió; d'altres consideren la productivitat actual o la productivitat potencial, que és la que resultaria de l'aplicació de millores; d'altres determinen l'aptitud per a regatge; n'hi ha que defineixen tipus d'utilitzacions i classifiquen el sòl per a usos específics, etc. Les classes de sòl menys favorables per a l'agricultura haurien d'ésser les dedicades a instal·lació d'activitats no agrícoles; malhauradament, en molts casos aquest no ha estat l'enfocament, cosa que ha fet perdre sòls agrícoles de molt bona qualitat.

S'han desenvolupat diferents sistemes per tal de realitzar l'avaluació del sòls. Tot seguit explicarem breument els principis en què es fonamenten alguns dels emprats en els Països Cata-



138 *LA CAPACITAT D'ÚS d'un sòl pot ésser cartografiada en mapes com aquest, a escala original d'1:25 000, corresponent a Figueroles de Domenyo (Serrans).*
[Foto: J. Sánchez]

139 *NIVELLS DE CORRELACIÓ entre les classes agronòmiques i les mesures de conservació edàfica recomanades.*
[Font: dades elaborades pels autors]

CLASSE	ÚS	MESURES DE CONSERVACIÓ RECOMANADES
I	*Conreu permanent*	No són necessàries mesures especials.
II	*Conreu permanent*	Llaurar a nivell o en feixes. Terrasses americanes.
III	*Conreu permanent*	Terrasses granadines; drenatge. Feixes senzilles. Tractors petits; motocultors.
IVa	*Conreu ocasional*	Solcs amples a nivell, terrasses d'absorció, conreu en franges a nivell; barreres vegetals; afeixat progressiu.
IVb	*a*	Terrasses o feixes; conreu en feixes dintre de terrasses.
IVc	*reserva natural*	"Mulching"; terrasses.
V	*Pastura*	Vigilància de la vegetació i control de la pastura.
VI	*Producció forestal*	Restriccions pel que fa a tales i pastura.
VII	*Reserva natural*	Restriccions molt altes pel que fa a tales i pastura.
VIII	*Reserva natural*	

lans, el del Soil Conservation Service de l'USDA, el de Riquier i Bramao de la FAO, les Normes de l'United States Bureau of Reclamation (USBR) per a reg, i l'antic índex d'Storie.

• ***Capacitat agrològica***

El sistema del Soil Conservation Service (Klingebiel i col·laboradors, 1961) fou proposat inicialment com un instrument per a frenar l'avanç de l'erosió del sòl. Ha estat aplicat posteriorment amb una finalitat més àmplia i el seu ús s'ha generalitzat a diversos països. Es defineixen tres nivells de manejament de sòl: les classes, les subclasses i les unitats de capacitat agrològica.

S'han establert vuit *classes* (nivell 1). Les quatre primeres (I a IV) poden ésser utilitzades pel conreu, amb limitacions creixents i amb exigències cada cop més grans pel que fa a les pràctiques de conservació. A mesura que augmenta el número assignat a la classe, les mesures a adoptar per tal que el sòl conservi la seva capacitat productiva són més importants. Les quatre darreres (V a VIII) no poden ésser conreades. Els criteris que es tenen en compte per establir les classes fan referència al clima (termometria, pluviometria), pendent, erosió, pedregositat, rocositat, fondària del sòl, entollament, drenatge, textura, contingut de carbonats, salinitat, nivells de fertilitat, etc.

Les *subclasses* (nivell 2) s'estableixen dintre de cadascuna de les classes, excepte en el cas de la I. Es defineixen quatre subclasses que expliciten les raons de la limitació per a un conreu intensiu. Es designen mitjançant lletres minúscules, *e* pel risc d'erosió, *w* per l'excés d'humitat, *s* per la poca fondària, textura desequilibrada o pedregositat i *c* pel clima massa fred o massa humit.

Les *unitats de capacitat agrològica* (nivell 3) són subdivisions de les subclasses. Agrupen sòls que responen d'una forma similar quan s'hi apliquen pràctiques de conreu semblants sota una mateixa tecnologia de sòls. Es designen amb una xifra aràbiga que s'afegeix darrere la lletra de la subclasse. Les unitats definides són: 0 per la sorra i grava en el substrat; *1* pel risc d'erosió; *2* per la humitat causada per un drenatge intern deficient o per inundació; *3* per permeabilitat lenta o molt lenta dels horitzons subsuperficials o del substrat; *4* per la textura grollera o excés de graves; *5* per la textura fina o molt fina; *6* per la salinitat o alcalinitat; *7* per còdols, pedres o roques; *8* per una capa dura impenetrable pròxima a la superfície; *9* per una baixa fertilitat o toxicitat.

El sistema ha rebut diverses crítiques, algunes justificades, però d'altres causades pel fet que s'ha intentat utilitzar amb finalitats per a les quals no va ésser proposat. Cal destacar, doncs, que són el risc d'erosió i les mesures de conservació els aspectes centrals dels quals s'ocupa el sistema.

• ***Índex de Storie***

L'índex de Storie es va desenvolupar per ésser utilitzat a les regions meridionals de Califòrnia (Storie, 1932) i, es va aplicar a d'altres regions àrides o semiàrides. Com tots els sistemes d'avaluació es proposava establir la relació entre la classificació taxonòmica dels sòls i l'aplicació. Expressa la productivitat com el resultat de diversos factors, per la qual cosa pot ésser considerat com un antecedent del mètode de Riquier i Bramao.

A cadascun dels factors s'asigna un valor dins d'una escala, amb un màxim de 100. L'índex de Storie es calcula multiplicant els valors ob-



140 *L'EXISTÈNCIA D'UN HORITZÓ PETROCÀLCIC fa que el sòl sigui de classe IV (regable restringida) o de classe V (no regable provisional), però en qualsevol cas arrencar la crosta pot resultar antieconòmic (glacis al peu de la serra de Salines, al Baix Segura).*
[Foto: C. Roquero]

tinguts pels diferents factors, expressats en fraccions decimals. El resultat obtingut s'expressa en percentatge i s'interpreta en una escala en la qual es distingeixen sis classes o graus d'aptitud del sòl per a l'agricultura intensiva.

Storie treballà a Espanya durant un cert temps, al Centro de Estudios Hidrográficos, on s'han realitzat diversos treballs d'avaluació de sòls emprant el seu índex. Als Països Catalans cal citar la classificació i avaluació de sòls per al reg a la comarca de les Garrigues (Domínguez, 1965), l'estudi de viabilitat de la vora dreta del Baix Ebre (Toran-Tams, 1962), entre altres, i que utilitzen la metodologia de Storie.

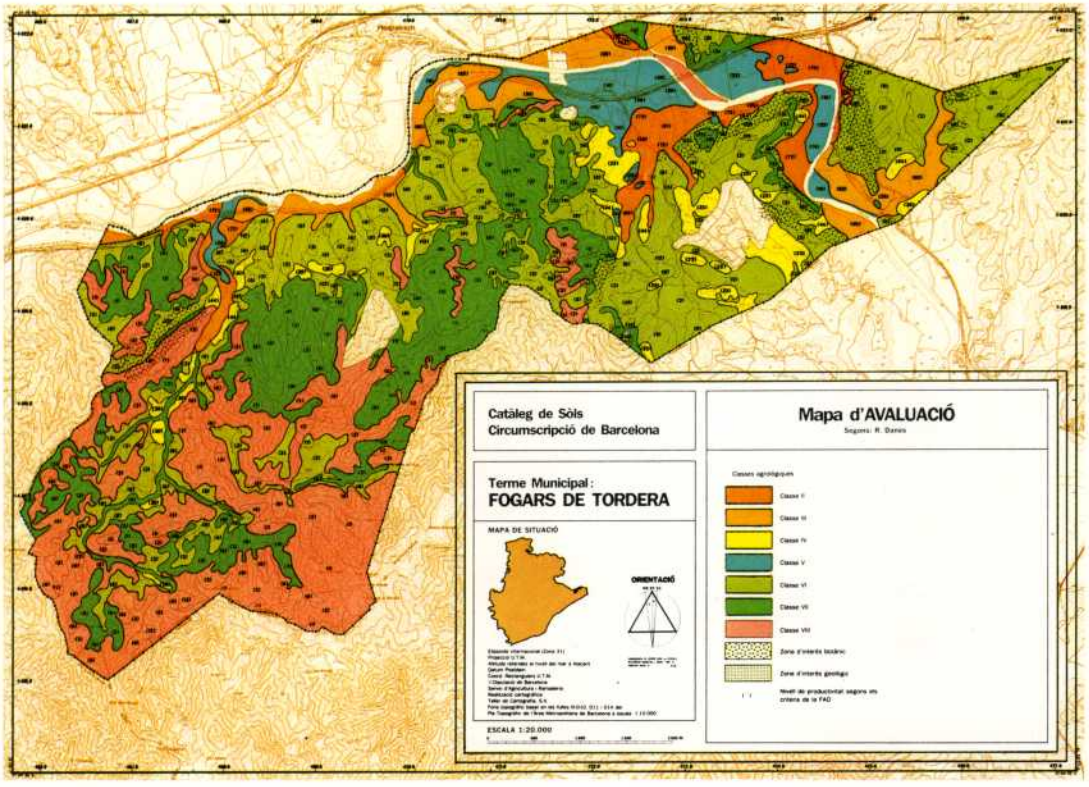
• ***Sistema de Riquier i Bramao (FAO)***

En aquest sistema es defineix un índex de productivitat i un índex de potencialitat. L'*índex de productivitat* és la capacitat del sòl per a donar un cert rendiment expressat per la quantitat per ha i any d'un determinat conreu. S'expressa com un percentatge del rendiment òptim del mateix conreu col·locat sobre el millor sòl. L'*índex de potencialitat* és la productivitat d'un sòl quan s'han portat a terme totes les millores possibles, fins i tot les més difícils i costoses. La productivitat és una funció de les propietats intrínseques del sòl, determinades durant la prospecció de camp i per les anàlisis de laboratori. Entre les propietats considerades s'inclouen els règims de temperatura i humitat del sòl. S'utilitzen factors extrínsecs tals com el pendent, la vegetació i el clima, únicament per a determinar quines millores cal portar a terme.

Es consideren nou factors per calcular l'*índex de productivitat:* la humitat (*H*), el drenatge (*D*), la profunditat efectiva (*P*), la textura-estructura (*T*), el percentatge de saturació de bases (*N*), la concentració de sals solubles (*S*), el contingut de matèria orgànica (*O*), la capacitat d'intercanvi catiònic-naturalesa de l'argila (*A*) i les reserves minerals (*M*). A cada factor s'assigna un valor de 0 a 100. L'índex de productivitat varia de 0 a 100 i s'obté multiplicant tots els factors:

$$I_p = H \cdot D \cdot P \cdot T \cdot N \cdot S \cdot O \cdot A \cdot M$$

Els valors obtinguts permeten classificar el sòl dintre d'una de les 5 categories de productivi-



141 *MAPA D'AVALUACIÓ EDÀFICA del terme de Fogars de Tordera (Selva) establert per Danés i col·laboradors (1984) segons els criteris de Riquier-Bramao, a una escala original d'1:20 000.*
[Foto: Jordi Vidal]

tat establertes. L'anàlisi dels valors de cadascun dels factors permet determinar quin és el que més condiciona la productivitat. Alguns factors són susceptibles d'ésser modificats, per exemple, el contingut de matèria orgànica o l'acidesa, mentre que n'hi ha d'altres que no permeten una actuació dintre del marc d'una agricultura extensiva, així els afloraments rocosos, la textura, etc.

L'índex de potencialitat es calcula de la mateixa manera que el de productivitat, però assignant als factors els valors que poden assolir després d'una millora. Els mapes que en resulten presenten una sèrie d'unitats, que constitueixen les diferents classes de productivitat o potencialitat.

Als Països Catalans aquesta metodologia ha estat emprada per a l'establiment d'unitats cartogràfiques homogènies respecte al seu nivell de productivitat agrícola al Camp de Tarragona, treballant a dues àrees model, una a Riudecols i l'altra a la Selva del Camp (Porta i collaboradors). També s'ha utilitzat en l'estudi dels sòls del terme municipal de Fogars de Tordera (Danés i collaboradors, 1984) on s'ha elaborat el mapa corresponent. El sistema resulta útil, atès que permet treballar a escales grans de mapa, avaluar més objectivament els impactes i determinar les àrees de menor potencialitat, que serien les que s'haurien de destinar a usos no agrícoles.

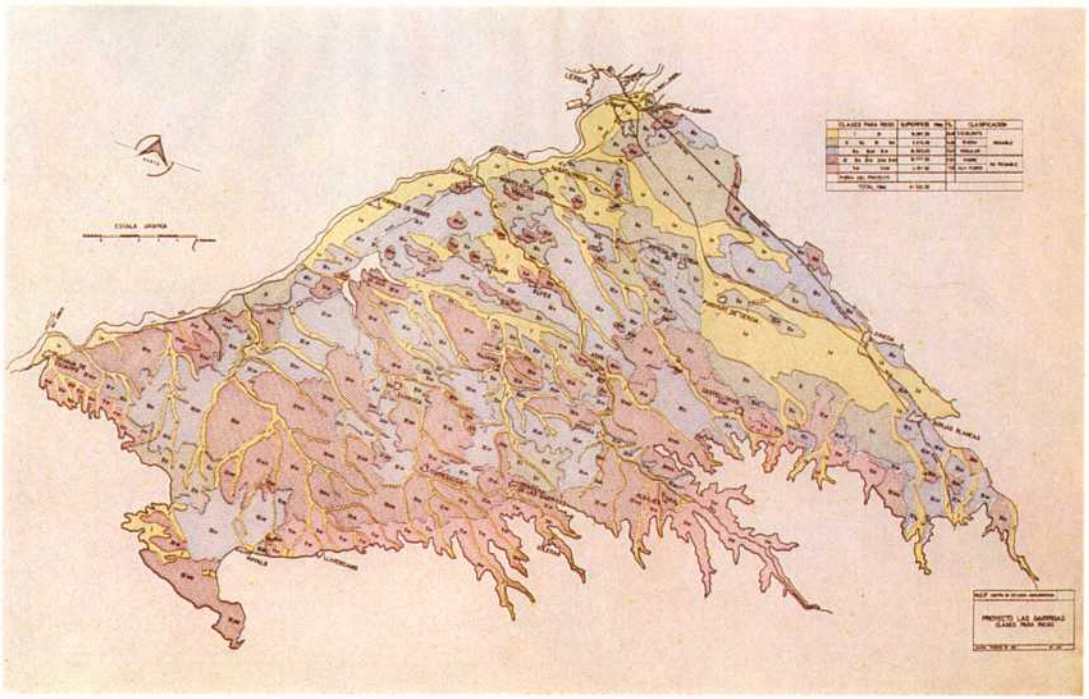
La generalització de l'ús de mètodes paramètrics per a l'avaluació de sòls permet basar la planificació territorial en cartografies temàtiques. La major objectivitat d'aquests treballs possibilitarà quantificar millor els possibles efectes que els plans d'ordenació poden provocar sobre el medi rural.

- ***Normes USBR per al reg***

Les normes del Bureau of Reclamation dels EUA (USBR) s'han desenvolupat per tal de determinar l'aptitud dels sòls per a ésser regats. Es distingeixen sis classes: les tres primeres es consideren regables; la quarta presenta deficiències importants, com pot ésser, en certs casos, la presència d'una crosta calcària a una determinada profunditat; la cinquena no és regable provisionalment, fins que no s'hagin realitzat els estudis econòmics i d'enginyeria complementaris; la sisena és la classe dels sòls que no compleixen els requisits mínims per a ésser regats, com les graveres, 'bad-lands', sòls en vessants de pendent excessiu, etc.

Els criteris que es tenen en compte per incloure un sòl dintre d'una de les sis classes esmentades són la textura, la fondaria del sòl, l'alcalinitat, la salinitat, el pendent, la uniformitat de la superfície, la cobertura del sòl (pedregositat, vegetació), la necessitat d'efectuar un drenatge, etc. Les classes es divideixen en subclasses segons els factors condicionants, i aquestes en unitats.

La classificació USBR és la correntment emprada per l'IRYDA i el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) quan es planteja una transformació en regadiu, per la qual cosa ha estat emprada en molts indrets als Països Catalans. Entre els treballs es poden citar l'"Estudio de Viabilidad del Plan Margen Derecha del Ebro" (IRYDA-Toran, 1962); l'"Evaluación de terrenos con fines de riego en la zona del bajo Ebro



142 *MAPA DE CLASSES PER A REG establert (1965) en el marc del projecte per a la possible irrigació de les Garrigues. [Foto Jordi Vidal]*

y Mijares" (CEH, 1967); l'"Estudio semidetallado de suelos en la zona regable del Urgell-Tàrrega" (IRYDA-Alcion, 1977); l'"Estudio de los suelos de la Cerdaña con fines de riego" (IRYDA-ETSEALL, 1984); l'avaluació de sòls de la vora dreta de l'Ebre, zona de Torre de l'Espanyol (IRYDA, 1980), etc. Tots són estudis realitzats a nivell semidetallat o detallat que, a més a més de l'avaluació USBR, inclouen estudis dels tipus de sòls de cadascuna de les zones.

- ***Predicció del comportament***

El coneixement de les característiques i qualitats dels sòls ha de conduir a poder realitzar prediccions sobre el comportament del sòl quan s'aplica una determinada tecnologia; determinar quines pràctiques de conreus són necessaries per a assolir objectius concrets. L'estudi dels factors condicionants haurà posat en evidencia si hi ha possibilitats de millorar la resposta del sòl; la tecnologia de sòls marcarà la manera de fer-ho.

Perquè la informació de sòls sigui plenament utilitzable, cal disposar de dades sobre els factors que poden limitar els usos del territori i arribar sempre que sigui possible fins a una quantificació o, al menys, a una acotació. Als anys 80 es comença a trobar ja força informació, principalment de procedència dels EUA, pel que fa a usos del sòl en enginyeria civil. Així, es pot determinar quin és el risc de corrosió potencial d'un formigó, segons les característiques del sòl en el qual s'instal·li o es construeixi; els factors de control més importants són la textura, la reacció i la salinitat. Un altre cas és el que es planteja en voler restaurar una zona fortament alterada: cal conèixer quines característiques ha de tenir el material per a reconstruir el sòl, de manera que la zona sigui finalment reaprofitable. També hi ha dades sobre els paràmetres edàfics que determinen la idoneïtat d'una zona com àrea de fontada, etc.

La interpretació de les característiques i propietats del sòl també és possible per a usos en enginyeria agronòmica, ara bé, és molt més difícil que en el cas de l'enginyeria civil. En primer lloc, no són ben conegudes les exigències dels diferents conreus a nivell de varietat per arribar a una quantificació de cada factor. Per altra banda, la planta té una capacitat d'adaptació que esmorteeix fins un cert límit una acció desfavorable. D'altres factors són molt imprevisibles i incontrolables, com són les condicions meteorològiques.

A mesura que es disposarà d'una informació més precisa es podrà arribar a una millor utilització del territori. Com a exemple d'aquesta manera de fer es donen els intervals de variació dels principals factors limitants per al conreu del blat (SYS, 1976). Els paràmetres considerats són la topografia, el drenatge, les característiques referents a les condicions físiques, de fertilitat i de salinitat. En funció de les característiques d'un sòl concret es pot determinar la resposta esperable.

PROPIETATS	LIMITACIÓ BAIXA	LIMITACIÓ MITJANA	LIMITACIÓ ALTA	MOTIUS DE RESTRICCIÓ
1. Textura (USDA)	—	—	Gel	Permafrost
2. Pendent %	< 8	8-15	> 15	Pendent
3. Inundació	Sense Ocasional	Freqüent	—	Inundació
4. Profunditat del nivell freàtic (cm)	> 0,70	30-70	< 70	Entollat, humit
5. Modificadors textura superficial	—	STV, BYV, CB, FL	STX, BYX, CBX, FLX, CBV, FLV, CNX, CRX, SHX, SYX	Pedres grans
6. Textura epipedió	—	—	SC, SIC, C	Massa argilós
7. Textura epipedió	—	—	COS, S, FS	Massa sorrenc
8. Horitzó de superfície	—	—	Torba	Massa orgànic
9. Pedregositat superficial (%)	< 25	25-50	> 50	Pedres petites
10. Salinitat epipedió mS/cm a 25°C	< 4	4-8	> 8	Excés de sals
11. Alcalinitat (ESP)	—	—	< 12	Excés de sodi
12. Reacció del sòl	—	—	< 3,6	Massa àcid
13. Permeabilitat (0-100 cm) en cm/h	> 1,54	0,154—1,54	< 0,154	Insuficiència permeabilitat
14. Profunditat a una capa de roca	—	—	< 50	Excés profunditat
15. Profunditat a un horitzó cimentat	—	—	< 50	Capa cimentada

143 *CRITERIS D'ESTABLIMENT D'ÀREES DE FONTADA en funció de les característiques del sòl. [Font: SCS, 1983]*

La fertilitat

La fertilitat d'un sòl es pot definir com el potencial per a subministrar elements nutrients en quantitats, formes i proporcions adients per al creixement òptim de les plantes. Els estudis de fertilitat química han estat sempre capdavanters dintre de la ciència del sòl; no obstant això, han d'ésser complementats en considerar el sòl com a suport per a les plantes que alhora els subministra aigua. El desenvolupament de les arrels és condicionat per les condicions físiques del medi, cosa que ha fet introduir el concepte de fertilitat física, aspecte que fins els anys 80 ha estat poc estudiat, en comparació amb la fertilitat química.

• *Nutrients i fertilitat química*

Els elements nodridors que tradicionalment han estat objecte d'estudi i que entren en els programes de fertilització són el nitrogen, el fòsfor i el potassi, cosa que no vol dir que siguin els únics que necessita la planta, si bé la resta acostumen a trobar-se en el sòl en quantitats suficients. Els nutrients esmentats, junt amb l'hidrogen, el carboni, l'oxigen, el calci, el magnesi i el sofre, els necessita la planta en grans quantitats, i són els anomenats macronutrients. Per contra, n'hi ha d'altres, els micronutrients, dels quals la planta no requereix més que quantitats petites, però són igualment essencials, tenen una funció específica i són directament implicats en la nutrició. Per a les plantes verdes es consideren habitualment micronutrients el ferro, el manganès, el coure, el zinc, el cobalt, el molibdè, el fluor i el brom. El bor és necessari per a les plantes superiors, però no per als fongs i bacteris.

La fertilitat química es preocupa de la mobilitat i disponibilitat de nutrients i de l'existència d'elements tòxics. L'enfocament és clàssic i es remunta als treballs de Liebig, que fou el qui va establir les bases de la Química Agrícola. Ben aviat prosperaren a nivell mundial els laboratoris d'anàlisi, fins i tot abans que l'Edafologia prengués cos com a disciplina independent. Cal esmentar l'obra de Boussingault (1802-1887), titulada "*Agronomie, Chimie Agricole et Physiologie*" en vuit volums; la de Schloesing (1824-1919), "*Contribution à l'étude de la Chimie Agricole*"; la de Muntz (1846-1917), "*Méthodes analytiques appliquées aux substances agricoles*"; la de Mitscherlich (que fou el qui expressà en forma matemàtica els factors de rendiment) (1874-1956), "*Bodenkunde Fur Land und Forstwirte*"; i la de Russell (1872-1965), "*Soil conditions and plant Growth*". Se'n podrien citar moltes d'altres, però cal limitar-se als qui són considerats com a més clàssics en el tema.



144 *LA CLOROSI FÈRRICA (bloqueig del ferro que provoca un esgrogueïment de la fulla, evidenciador del mal estat nutricional de la planta) és prou generalitzada als Països Catalans, com posa de manifest la comparació d'aquest branquilló de llimoner de fulles cloròtiques amb una fulla sana, més grossa (Guardamar, Baix Segura).*
[Foto: C. Roquero]

L'augment de la demanda de productes alimentaris justifica l'interès per planificar millor la fertilitat del sòl. Als Països Catalans, les recerques sobre el tema s'enceten als anys 50 amb els treballs d'Arturo Caballero a la Universitat de Barcelona; posteriorment s'ocupà del tema la Unitat de Fertilitat de Sòls del CSIC, inicialment a la Facultat de Farmàcia i després al Centre d'Investigació Agrària de Cabrils, on desenvolupà una part de la seva tasca investigadora el professor Josep Cardús. També es creà l'Institut de Biologia de Barcelona, amb una Unitat Estructural d'Investigació de Fertilitat de Sòl. Al País Valencià s'ocupa d'aquests temes l'Institut d'Agroquímica i Tecnologia d'Aliments, fundat per Primo Yufera.

• *Diagnòstic de la fertilitat*

El primer problema que es presenta en el diagnòstic de la fertilitat és com avaluar els nivells de cada element en el sòl, en relació amb la seva disponibilitat per a les plantes. La utilització dels extractants lleugerament àcids es basava a suposar que les arrels excretaven líquids rics en àcid carbònic. Aviat es constatà la poca relació entre la quantitat de nutrients mesurada amb extractants químics i la realment assimilable per les plantes. Això conduí a introduir el concepte d'*índex de fertilitat*.

Per poder arribar a resultats comparables s'han realitzat esforços per assolir una normalització en els mètodes d'anàlisi. Una vegada coneguts els mètodes millor correlacionats amb l'extracció realitzada per les plantes, es calibren, és a dir, s'estableixen classes per poder interpretar els resultats. La Comisión de Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), té encomanada la tasca de proposar els mètodes de referència. Aquesta manera de fer té l'avantatge que els resultats obtinguts en diferents indrets i per diversos laboratoris poden ésser contrastats.

A partir dels anys 70, d'acord amb els mètodes oficials d'anàlisi aprovats pel MAPA, es gene-

ralitza el mètode Olsen-Watanabe per a determinar el fòsfor assimilable i el mètode de l'acetat amònic per al potassi, el calci i el magnesi assimilables. La resta de mètodes són més específics i dependran de les característiques del sòl a analitzar i el seu interés és funció del tipus de conreu.

Els mètodes biològics intenten evitar els defectes dels mètodes basats en els extractants químics. Empren plantes o microorganismes al laboratori per a correlacionar la capacitat d'assimilació dels elements i l'absorció efectiva per les plantes al camp. Els mètodes més clàssics són el de Chaminade i el de Neubauer, entre d'altres, si bé el seu ús no s'ha generalitzat.

Realment, el que interessa no és la quantitat global de nutrients que hi ha al sòl, sinó els que la planta absorbeix, per la qual cosa sembla que l'anàlisi dels teixits vegetals, ja sigui del seu contingut o bé dels processos bioquímics que els originen, pugui donar una informació més acurada. El diagnòstic mitjançant l'anàlisi de la planta o, més concretament, l'anàlisi foliar o de sava, resulta especialment interessant i assequible a molts laboratoris, cosa que explica que el seu ús s'hagi estès. Això no obstant, no deixa d'ésser una anàlisi delicada en la qual l'adequada presa de mostra i els estudis de correlacions ben establerts seran els que permetran fer una diagnosi encertada. No entendre-ho així pot conduir a marrades molt importants.

Els mètodes físico-químics, tals com l'electro-ultrafiltració, són útils per a estudiar la dinàmica de l'alliberament de nutrients per part del sòl. Hi ha especialistes que consideren que aquests mètodes, en usar l'aigua com a dissolvent que es troba al sòl de manera natural, són els menys artificials.

A grans trets es pot afirmar que, en una gran part del territori dels Països Catalans, els sòls tenen un comportament pel que fa a la fertilitat que es veu condicionat per la presència de carbonats i, concretament, de calcari actiu, cosa que crea importants problemes de *clorosi fèrrica*. Els carbonats condicionen també la nutrició fosforada provocant retrogradacions apatítiques. Les dades disponibles pel que fa al fòsfor són molt variables, però, en general, a les zones de reg els nivells tendeixen a ésser adequats. A causa que els nivells de potassi són més aviat alts, malgrat que no hi hagi un contingut uniforme en tot el territori, no es solen produir mancances d'aquest element per l'acció competitiva del calci (antagonisme).

Pel que fa a la resta d'elements no es poden donar orientacions generals i, en tots els casos, seran les anàlisis les que permetran d'arribar a un coneixement i a una diagnosi de la fertilitat en cada finca. Els estudis de fertilitat han d'ésser sempre a nivell detallat per a poder arribar a donar una recomanació al pagès i, en general, serà necessari complementar-los amb un estudi del pedió, per a determinar si hi ha altres factors condicionants de la producció agrícola, a més dels nivells de nutrients al sòl.

- ***Plans d'adobatge***

Els estudis per a caracteritzar els nivells de fertilitat d'un sòl s'han de considerar com a una fotografia d'un sistema dinàmic en un moment determinat, el del mostreig. L'elecció de l'època de mostreig és molt important per a obtenir una adequada representativitat del nivell de nutrients del sòl.

Com a resultat de la presa de mostra i l'anàlisi de la fertilitat, es pot recomanar un pla d'ado-



145 *LA UTILITZACIÓ DELS SÒLS es veu molt limitada per la salinitat, com demostra l'irregular creixement del cereal en aquest camp de la Llitera. [Foto: Jaume Porta]*

batge. Consisteix a establir un programa de dosi, forma i distribució temporal dels nutrients necessaris per a assolir un determinat nivell de producció i qualitat. Així, tradicionalment, es contemplava un adobatge de fons abans de llaurar, per proporcionar al sòl unes reserves nutritives, i un adobatge de cobertora per facilitar determinades funcions vegetatives durant les etapes crítiques del desenvolupament. Actualment, però, a causa de la introducció de nous sistemes combinats de reg i fertilització, *fertirrigació,* dins d'una agricultura més industrialitzada, ha canviat la filosofia dels plans d'adobatge, i ha variat l'esquema ans esmentat.

En general, es recomana fer un estudi inicial i repetir-lo al cap de tres a cinc anys, per avaluar l'encert del pla de fertilització recomanat i anar-lo ajustant per aproximacions successives. L'existència de programes d'ordinador permet crear arxius on conservar la informació sobre una determinada zona, establir comparacions al llarg del temps i contrastar els plans d'adobatge. En aquest sentit, al Departament d'Edafologia de l'ETSEA de Lleida s'han realitzat alguns treballs emprant el Map Analysis Package, programa MAP del Yale School of Forestry and Environmental Studies dels EUA, modificat per la Conselleria de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya.

146 *LA INFORMATITZACIÓ DE LES DADES EDÀFIQUES permetrà millorar els plans de fertilització en fer més fàcil la manipulació de la informació, tal com mostra aquest mapa de nivells de potassi assimilable, elaborat emprant el programa MAP, per al terme municipal del Poal (Noguera), per R. Espinet i M. López-Acevedo (1984). [Foto: Jordi Vidal]*

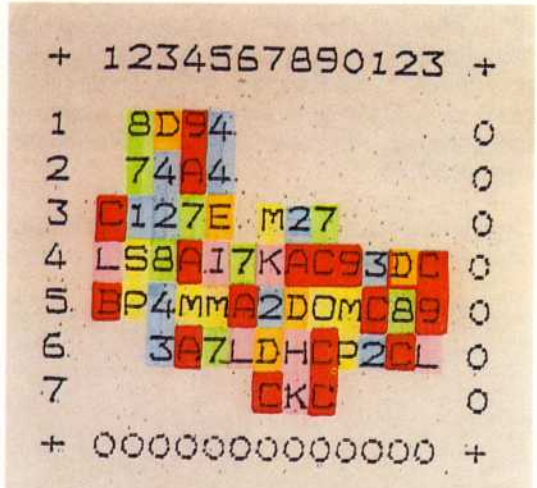


Fig. núm. 12 - Mapa de nivells de potassi assimilable ($AcONH_4$) de 0 a 20 cm. de El Poal (Lleida) segons els criteris de LOPEZ RITAS, J. (1972).

Símbol		K(ppm)	Interpretació
111		110	Molt baix
222		120	"
333		130	"
AAA		140	"
999		170	Molt
888		180	"
999		190	Molt alt
AAA		200	"
BBB		210	"
CCC		220	"
DDD		230	Moderat alt
EEE		240	"
MMM		270	Alt
111		280	"
NNN		300	"
444		310	"
MMM		320	Molt alt
DDD		340	"
BBB		350	"
555		380	"

Quadre núm. 18 - Criteris d'interpretació dels resultats de l'anàlisi de potassi assimilable (acetat amònic segons LOPEZ RITAS, J. (1972).

Hi ha força treballs endegats en qüestió de fertilitat de sòls. De temps ençà caldria parlar dels realitzats per l'equip del professor Cardús a la comarca del Maresme. Darrerament, el Laboratori Agrari de Cabrils, juntament amb diverses agències del Servei d'Extensió Agrària, també ha col·laborat en aquesta tasca, i també s'han desenvolupat estudis de fertilitat a l'ETSEA de Lleida sobre les Garrigues, el Camp de Tarragona i la Noguera, entre d'altres.

- ***Fertilitat física***

L'enfocament inicial dels estudis de fertilitat era únicament químic. Posteriorment s'ha anat donant més importància a les propietats físiques del sòl en relació amb el desenvolupament del sistema radicular. La compactació del sòl pot arribar a impedir el pas de les arrels, que veuran limitat el volum del sòl que poden explorar. Els treballs sobre l'estructura del sòl i la seva influència sobre la producció dels conreus no estan més que encetats als anys 80. Tècniques com la micromorfologia, la microscòpia electrònica i el tractament d'imatge han permès avançar en aquest camp, en fer més accessible l'estudi del sistema de porus, de la disposició de les partícules sòlides, etc.

Per altra banda, les necessitats de les arrels, pel que fa a les condicions físiques, no sempre han estat perfectament establertes ni són prou conegudes. Així com les tècniques de diagnòstic de la fertilitat química són relativament senzilles, l'estudi de les propietats físiques és complex i les possibilitats d'actuació limitades i d'efectes lents. Una bona part de les deficiències químiques poden ésser corregides amb la utilització de fems o adobs, mentre que si el problema és físic és la tecnologia de sòls la que haurà d'haver arribat a solucions: per exemple, un drenatge per eliminar un problema d'anòxia radicular.

Al Camp de Tarragona s'ha estudiat la influència negativa de la compactació del sòl per al desenvolupament de les arrels de l'avellaner. Les solucions no són fàcils ni ràpides, i si bé la incorporació de matèria orgànica millora les condicions, de vegades la incorporació no és possible a suficient profunditat.

Des de sempre, l'agricultor llaura cada any la terra, però es coneix molt poc sobre la influència i les repercussions d'un tipus d'estris o altre en la fertilitat física. Aquesta informació és molt necessària en un moment en què es comença a plantejar no llaurar i fer ús d'herbicides per a eliminar les males herbes. En aquests casos hi pot haver una compactació del sòl, però això no sempre és així, dependrà de les característiques de cada sòl. Un altre aspecte a tenir ben present és el de la fondària a la qual s'ha de llaurar.



Voltejar la part superficial del sòl crea realment un desequilibri en els éssers que hi viuen? Aquesta pregunta i moltes d'altres no poden ésser contestades de forma general. A les Garrigues s'ha observat que els pedions poden presentar una estructura lligada a la activitat de la fauna, principalment als horitzons subsuperficials. Això es pot interpretar en el sentit que, en unes condicions de sequera, com les de la comarca esmentada, la fauna edàfica troba un hàbitat més favorable a l'interior del sòl, on pot haver-hi més humitat. En aquests casos les actuacions sobre l'horitzó superficial afectaran poc la fauna del sòl, però en d'altres condicions ambientals exteriors el comportament pot no ésser el mateix.

El pes de la maquinària obliga a utilitzar-la quan el sòl no està gaire humit, ja que si es fes es destruiria l'estructura i el sòl es compactaria. El subministrament d'aigua i d'oxigen a les arrels és controlat per característiques físiques com estructura, porositat, textura, capacitat de retenció d'humitat, etc. Així cal tenir en compte, per exemple, que els sòls argilosos poden tenir una aireació insuficient si estan molt humits, la infiltració i la permeabilitat poden ésser lentes, són difícils de llaurar, si estan massa secs, o no poden llaurar-se, si estan massa humits. Si l'argila és expandible, poden existir esquerdes que acceleren l'assecat del sòl i moviments d'expansió-retracció que provoquen que les arrels es trenquin. En canvi, els sòls arenosos presenten una capacitat petita de retenció d'humitat, un grau d'agregació baix, són susceptibles a l'erosió eòlica i, si la sorra és quarsosa, el sòl s'escalfarà menys que d'altres de colors més foscos.

Finalment cal esmentar que el reg i el drenatge són dos aspectes que han estat molt més estudiats que la resta d'accions sobre les característiques físiques del sòl. Als Països Catalans, els règims xèric i arídic d'una gran part dels sòls han obligat a realitzar transformacions importants de secà en reg. El maneig de l'aigua va lligat a la seva qualitat i a les característiques dels sòls a regar. Els problemes de salinització de les terres són causats, en moltes ocasions, per un mal ús de l'aigua de reg.

La contaminació

La contaminació és una alteració perjudicial de les característiques físiques, químiques i biològiques del medi. Pot tenir conseqüències desfavorables tant per a la vida humana com per a altres espècies beneficioses, ja que provoca un desequilibri entre les aportacions i les pèrdues de certes substàncies en un ecosistema determinat.

En considerar la contaminació del sòl, és difícil i gairebé impossible aïllar-lo de la resta del medi, ja que, com s'ha vist, són molts els factors que incideixen en la seva evolució i el seu desenvolupament. Per tant, en parlar de la contaminació del sòl no poden oblidar-se els altres components de la biosfera —aire i aigua— que indirectament incideixen sobre la contaminació d'aquest.

A mesura que la població ha anat augmentant, concentrant-se en nuclis urbans, i s'ha incre-



147 *PROBLEMES D'ANÒXIA per a les plantes poden ésser causats per l'existència d'un horitzó subsuperficial molt compacte, com fóra el cas d'aquests sòls del Maresme dedicats a la floricultura. [Foto: Jaume Porta / Narcís Teixidor]*

148 *LA CIRCULACIÓ DE MAQUINÀRIA PESANT provoca compactacions nocives per al bon rendiment agronòmic del sòl (Segarra). [Foto: Jaume Porta]*

mentat el desenvolupament industrial, la contaminació s'ha convertit en una greu amenaça que en certs llocs és ja una realitat. Per això, si no s'hi posa remei, en un futur no llunyà hi haura seriosos problemes. L'eliminació de residus, per exemple, és ja un fet problemàtic tant en zones industrials com en llocs densament poblats.

L'activitat humana, doncs, intensifica i afavoreix la contaminació del medi, peró no n'és l'única responsable, perquè substàncies que es troben de forma natural en els ecosistemes poden també provocar-la. En qualsevol cas, hi ha sempre una relació directa entre la intensitat de contaminació i la capacitat de transport del contaminant.

Hom parla de contaminació real i potencial, però la diferència entre ambdós termes no és clara ni ben definida. Quan una substància tòxica es troba en una concentració tal que pot causar efectes aguts en general sobre el medi ambient i en particular sobre els organismes vius, s'és davant d'un cas de contaminació real. És més difícil, però, saber si una concentració inferior no tindrà efectes perjudicials, ja que hi ha substàncies que s'acumulen en determinats organismes i la suma d'efectes pot tenir conseqüències greus i irreversibles.

Pel que fa a la dinàmica dels agents contaminants, cal considerar dos aspectes de capital importància. Per una banda els contaminants es dispersen en el medi fins a llocs distants del punt d'emissió, i per l'altra, encara que es dilueixin en el medi, molts d'ells no resten immòbils ni innocus, sinó que circulen d'un ecosistema a un altre transformant-se i acumulant-se.

Hi ha substàncies tòxiques que, mitjançant processos químico-físics o bé microbiològics, es transformen en productes innocus; en aquest cas, la millor manera de controlar la contaminació és dispersar-los en el medi, la seva dilució farà que es trobin a concentracions inferiors a la tòxica i s'aniran degradant gradualment. Hi ha altres substàncies, però, que són persistents, és a dir, no biodegradables, i encara que es dilueixin es concentren en els organismes vius. En aquest cas la solució és més complexa, ja que aquest tipus de contaminants no són reciclables en els ecosistemes naturals, i el desenvolupament industrial tendeix a augmentar la seva producció i a acumular-los en el medi.

Els contaminants circulen fàcilment per l'atmosfera i la hidrosfera. El sòl, com a component de la litosfera, és en contacte directe amb aquests medis i, per tant, amb els contaminants que circulen per la biosfera. El sòl pot ésser considerat com una conseqüència del medi o bé com una part d'ell, tot depèn de si s'analitza edafològicament o bé ecològicament. Per tant, en el sòl intervenen gran nombre de processos biogeoquímics que l'activitat humana pot modificar alterant l'evolució normal del sòl; en aquest cas es pot parlar de la contaminació d'aquest, ja que s'ha modificat la seva evolució.

El sòl però, que és un sistema obert a l'espai i que es transforma en el temps, pot considerar-se també com un sistema depurador natural perquè mitjançant ell els contaminants poden ésser degradats o bé immobilitzats segons la natura del contaminant i les característiques del sòl. La capacitat depuradora del sòl depèn sobretot de les característiques de la capa superficial d'aquest i és basada en l'activitat biològica, que fa possible la descomposició i la mineralització dels productes orgànics; en reaccions químiques tals com la dissolució, la precipitació, l'oxidoreducció, la formació de complexos organominerals i l'intercanvi iònic; i finalment en la filtració de partícules sòlides en suspensió i microorganismes. El sòl és, doncs, un sistema depurador perquè degrada i mineralitza la matèria orgànica; immobilitza determinats ions en precipitar-los mentre que altres formen complexos més o menys estables amb els diferents colloides orgànics i minerals, o bé són adsorbits per intercanvi iònic i actuen també com a filtre que pot retenir des de bacteris fins a partícules en suspensió de mida gran.

Darrerament s'ha considerat el sòl com l'emplaçament ideal per a desfer-se de tota mena de residus. Això tan sols pot dur-se a terme si es fa de forma controlada, per diverses raons: la capacitat depuradora i d'absorció del sòl és limitada; determinades substàncies tòxiques poden passar mitjançant el sòl als éssers vius; el sòl és un recurs no renovable a curt termini i, per tant, cal protegir-lo.

Fer una classificació de les possibles substàncies contaminants del sòl és gairebé impossible, ja que poden agrupar-se sota criteris molt diferents. Així, en funció de la seva natura, podria establir-se una diferenciació entre contaminants físics, químics i biològics. Des del punt de vista ecològic, podrien considerar-se els seus efectes, avaluats mitjançant el grau de toxicitat o bé per la seva presència en els diferents nivells ecològics. Però així i tot, atès que hi ha una forta interrelació entre els diferents ecosistemes de la biosfera, que els contaminants es dispersen en la majoria dels casos, i que les fonts emissores són diverses, qualsevol tipus de classificació seria sempre incomplet.

El sòl es pot contaminar directament quan l'objectiu és augmentar la producció vegetal mitjançant altes concentracions de fertilitzants i pesticides. Per altra banda, les necessitats energètiques del món actual, l'activitat industrial i l'eliminació de residus són les causes d'una contaminació induïda o indirecta del sòl.

A continuació analitzarem a grans trets les principals fonts de contaminació de la biosfera, incidint especialment en aquelles que generen una contaminació específica del sòl, ja sigui directament o indirectament.

• ***Contaminació directa***

Les activitats agrícoles que més repercussió tenen sobre la contaminació del sòl són l'ús abusiu de fertilitzants i de pesticides, si bé mitjançant ells s'ha pogut incrementar la producció alimentària en el curs dels darrers anys. S'hauria de contemplar també que certes pràctiques agrícoles, que no suposen l'addició de cap mena de substàncies al sòl, poden contaminar-lo. Aquesta contaminació sol ésser de tipus físic: així, maquinària excessivament pesada pot destruir l'estructura del sòl i tornar-lo improductiu.

Per tal d'evitar la contaminació de sòls agrícoles convé no aplicar dosis de fertilitzants inorgànics superiors a les necessitats nutricionals dels conreus, fer els tractaments amb pesticides en el moment adient, en la forma i quantitats necessàries, així com un adequat maneig de les pràctiques agrícoles. Cal tenir en compte també que els sòls s'empobreixen amb el temps en matèria orgànica, i per tant, caldria considerar periòdicament la conveniència de fer una fertilització orgànica que milloraria també les propietats físiques i biològiques del sòl, tot contribuint indirectament a augmentar la seva fertilitat.

L'ús de *fertilitzants minerals* ha fet incrementar el rendiment dels conreus, però la seva aplicació ha augmentat de forma desmesurada, ja que si el 1945 no arribaven a 7 milions de tones emprades arreu del món, el 1953 es sobrepassaren ja els 53 milions de tones, i el 1974 varen ésser 70 milions. La majoria dels sòls no tenen quantitats suficients en nitrogen, fòsfor i potassi; per això la fertilització mineral s'ha fet imprescindible a l'hora d'assegurar la producció vegetal. Hi ha d'altres nutrients essencials que es necessiten en molt poca quantitat, però ja que generalment es troben com impureses dels fertilitzants majoritaris, no cal afegir-los al sòl si no presenta problemes nutricionals molt concrets.

La majoria d'adobs minerals són solubles i, per tant, una dosi excessiva fa que una bona part no sigui aprofitada pels conreus i que es desplacin a traves del sòl en solució i s'incorporin a les aigües subterrànies, o bé circulin amb l'aigua superficial d'escorriment. Fins i tot els poc solubles poden perdre's per l'erosió del sòl. En qualsevol cas, i sobretot pel que fa als fertilitzants nitrogenats i fosfatats, hi ha un enriquiment en nutrients de les aigües continentals, i la presència de més de 0,3 ppm de nitrogen inorgànic i més de 0,05 ppm de fòsfor inorgànic provoca la seva eutrofització.

La forma nitrogenada més tòxica per a l'home i els animals són els nitrits, que es troben en baixa concentració en la solució del sòl, mentre que els nitrats hi són molt abundants i, posteriorment, poden ser reduïts a nitrits en el tracte intestinal. Per evitar, doncs, les serioses conseqüències que poden ocasionar els nitrats, la comissió FAO-OMS ha fixat en 10 ppm de nitrogen nítric el contingut màxim de les aigües per a beure i en 75 ppm el dels aliments.

Per raons econòmiques, els fertilitzants superfosfatats no es purifiquen i poden contaminar el sòl en metalls tòxics, sobretot en cadmi. El mateix passa amb els fertilitzants complexos i els fosfatats, encara que en aquests casos el seu contingut en metalls és inferior. Els potàssics també porten impureses; així el clorur potàssic va acompanyat moltes vegades de clorur sòdic, que a la llarga pot provocar la destrucció de l'estructura del sòl.

Per a evitar una excessiva fertilització cal mesurar les necessitats dels conreus en substàncies nutritives i aconseguir la concentració adequada en el sòl. El rendiment d'un conreu no augmenta proporcionalment amb la quantitat de nutrients que se li apliquen, sinó que es manté pràcticament constant a partir d'una determinada concentració. La resposta a la fertilització depèn, a més, del tipus de sòl, del seu maneig, del conreu i del clima.

A causa de l'increment que ha sofert el cost dels adobs minerals com a conseqüència de la crisi energètica actual, l'especulació futura del seu ús és problemàtica. Aquest fet, junt amb la necessitat d'emprar altres fonts energètiques més econòmiques, ha portat a reconsiderar la capacitat fertilitzant dels residus d'origen animal i d'altres residus orgànics. A més a més, l'ús excessiu i exclusiu de fertilitzants minerals durant els darrers anys ha contribuït a deteriorar algunes propietats físiques i químico-físiques del sòl, augmentant així l'erosió i la contaminació dels ecosistemes agrícoles. L'aportació de fertilitzants orgànics al sòl fa millorar a llarg termini les seves propietats, augmentant l'estabilitat estructural, afavorint la formació de complexos húmico-argilosos, i incrementant també la infiltració, cosa que redueix l'escorrentia superficial i, per tant, l'erosió.

Els fertilitzants orgànics d'ús corrent, o bé són insuficients per a cobrir les necessitats en matèria orgànica dels sòls de conreu intensiu, com passa amb els fems, o bé són econòmicament poc rendibles, com és el cas de les torbes emprades en cultius protegits, perquè el nostre país se n'ha de fornir en el mercat exterior i, a més a més, en aquest cas es necessita naturalment una fertilització mineral addicional.

Els *fems* i les *purines* són una altra font impor-

150 *EFECTES DE LA REDUCCIÓ DEL VOLUM D'ESCORRIMENT I D'EROSIÓ sobre les pèrdues potencials de contaminants presents al sòl. [Font: Walter i col·laboradors, 1979]*

CONTAMINANTS FORTAMENT ADSORBITS	CONTAMINANTS MODERADAMENT ADSORBITS	CONTAMINANTS SOLUBLES O NO ADSORBITS
No els afecta la reducció de l'escorriment.	Disminueixen proporcionalment a la disminució de l'escorriment.	Augmenten en fer-ho el cabal d'aigua superficial i subterrània.
Disminueixen segons el contingut d'argila i matèria orgànica erosionades.	Disminueixen feblement en minvar l'erosió.	No els afecta la reducció de l'erosió.

mula en la superfície del sòl i no es desplaça a través d'ell. Aquesta acumulació en plom es reflecteix, també, en les fulles dels vegetals, quan aquest metall és transportat per via atmosfèrica.

A més a més de la contaminació urbana, la principal font de contaminació de l'atmosfera en SO_2 és la combustió de combustibles fòssils, mentre que l'activitat volcànica n'és la font espontània natural. El SO_2 per si mateix produeix necrosi i clorosi als vegetals, però no es manté molt de temps en l'atmosfera, sinó que es transforma en triòxid de sofre (SO_3); ambdós són dissolts per l'aigua de pluja, donant l'àcid sulfurós i l'àcid sulfúric causants de les precipitacions àcides que acidifiquen el sòl. La descàrrega de la pluja àcida pot ésser llunyana al lloc d'emissió dels gasos i és sotmesa a la força i a la direcció del vent i a les condicions meteorològiques. Així, les pluges àcides dels països escandinaus tenen el seu origen en els complexos industrials anglesos.

Els pagesos del Berguedà es queixen de la incidència que té la central tèrmica de Cercs sobre els boscos i la vida del bestiar. Una problemàtica similar tenen els agricultors de la Plana Baixa amb les plantacions de tarongers propers a la central tèrmica de la platja de Serralló, prop de Castelló de la Plana. A la comarca dels Ports, també sembla que els pinars sofreixen les conseqüències de la pluja àcida, en aquest cas originària de la central d'Andorra a la província de Terol. Si bé aquests tres casos són possibles conseqüències de la contaminació atmosfèrica per SO_2, no es disposa de dades analítiques ni d'estudis que permetin demostrar-ho.

El monòxid i el diòxid de nitrogen són constituents normals de l'atmosfera. El NO es transforma espontàniament en NO_2 i aquest, en presència d'aigua i cations, es transforma en àcid nítric i nitrats, que també són incorporats al sòl mitjançant la pluja. La seva concentració és més alta a les zones urbanes i, especialment, als voltants de centrals elèctriques i en zones de trànsit dens. El NO_2, però, també pot dissociar-se fotoquímicament alliberant oxigen atòmic, que en presència de l'oxigen molecular atmosfèric es transforma en ozó, que és un dels constituents més tòxics dels "smogs" fotoquímics.

Com a conseqüència de l'emissió de gasos a l'atmosfera, sobretot d'una excessiva concentració de CO_2, es poden produir gradualment modificacions climàtiques. Hom parla de la tendència a la desertització; això seria causa de contaminació indirecta del sòl, ja que en condicionarà l'evolució. Aquest mateix fet pot ésser originat en utilitzar l'aire com a refrigerant en determinats processos industrials, cosa que provocarà l'escalfament de l'aire i pertorbarà les condicions meteorològiques. El rendiment termodinàmic d'una màquina rarament és superior al 40% i, per tant, el 60% de l'energia calorífica es perd en el medi ambient.

L'*expansió industrial* de les últimes dècades ha posat en circulació en la biosfera gran quantitat de substàncies minerals i orgàniques, moltes d'elles tòxiques. Les indústries metal·lúrgiques i electròniques fan servir metalls i metal·loides que tan sols es troben com a elements traça en els éssers vius i en el sòl, dispersant-los a l'atmosfera en forma gasosa o bé com a partícules sòlides. La siderúrgia i les indústries del ciment són les principals productores de núvols carregats de pols de composició mineral molt variada que també incideix en el sòl.

Els sòls propers a mines o a fundicions estan generalment contaminats per dos o més dels següents metalls: plom, zinc, cadmi, urani, estany i arsènic. És possible que com a conseqüència de l'augment de concentració d'aquests metalls en el sòl, apareguin efectes sinèrgics o antagònics entre ells, que tindran repercussions sobre els vegetals que es desenvolupin en aquests sòls i provocaran desequilibris nutricionals.

Altres indústries alliberen substàncies que els organismes vius no són capaços de metabolitzar i que, per tant, acumulen en els seus teixits. Aquest és el cas del fluor i dels seus derivats, que es posen en circulació en el medi ambient com a resultat de l'activitat de les indústries electroquímiques de materials per a la construcció o de la síntesi de fertilitzants superfosfatats, entre d'altres.

Els materials plàstics són un altre focus de contaminació. Els plàstics, a més d'ésser poc biodegradables o no gens, tenen agents estabilitzants o polimeritzants de toxicitat desconeguda. La combustió incompleta d'aquest material

contamina el medi amb substàncies del tipus bifenols policlorats o polibromats, que són altament tòxiques per als organismes vius; el sòl actua com a vehicle de difussió, ja que no els pot degradar.

La indústria nuclear pot posar en circulació substàncies radioactives de natura diversa. La seva perillositat depèn de l'element radioactiu, la concentració, la font emissora, la mitjana de vida i llur assimilabilitat per la cadena alimentària. La presència d'aquestes substàncies als ecosistemes agrícoles és perillosa, ja que poden ésser fortament retingudes pel sòl. S'ha demostrat, per exemple, que un gram d'esmectita pot retenir 6,3 curies de Cs^{137}.

Indirectament, els *residus sòlids i líquids* de l'activitat industrial i urbana també afecten el sòl. Els materials que presenten una problemàtica més complexa, tant per la seva qualitat com per la quantitat en què es produeixen, són les aigües residuals urbanes i industrials, els residus sòlids d'origen industrial-alimentari (papereres, adoberies, tints, escorxadors, etc.), agrari (fems, purines) i domèstic, com les escombraries i els fangs residuals procedents de la depuració d'aigües residuals.

A molts nuclis urbans i industrials les aigües residuals sofreixen un tractament depurador que permet tornar al medi ambient productes més fàcilment reciclables, com són l'aigua residual depurada i el fang. La primera es pot utilitzar per a fins industrials diversos i també, quan la seva qualitat ho permeti, com a aigua de reg. A vegades, després del tractament primari i secundari de les aigües residuals, es realitza un tractament terciari aprofitant la capacitat depuradora del sòl.

Els diferents residus sòlids no es poden acumular en el medi, ja que el contaminen; per tant, la problemàtica està en la seva eliminació. Dintre de les diferents alternatives que es fan servir per a eliminar-los n'hi ha dues en les quals el sòl hi és directament involucrat: l'una és la descàrrega controlada i l'altra és la reutilització com a fertilitzants organominerals.

Quant a la primera, cal dir que si es fa de forma realment controlada no contamina i, en certs casos, pot permetre, a més, recuperar zones marginals improductives. Per a dur-la a terme cal escollir bé l'emplaçament de l'abocador, de tal manera que estigui allunyat de qualsevol corrent d'aigua i que no suposi una desfeta ecològica. S'ha de dimensionar de tal manera que s'hi produeixi sempre una bona fermentació aeròbia.

La segona alternativa és àmpliament documentada bibliogràficament i es va fent arreu del món. Perquè tingui èxit, però, cal dur-la a terme de forma controlada; això vol dir conèixer la composició dels residus, la naturalesa del sòl, i aplicar sols les quantitats necessàries per a fertilitzar la terra per a un determinat conreu. Les dosis d'aplicació es calculen com a base de la riquesa nitrogenada del residu, la taxa de mineralització i la quantitat de nitrogen necessari per al conreu escollit. En cas que el residu tingui molt fòsfor s'aconsella no superar aportacions de 100 kg/ha^{-1} de fòsfor. Tenint en compte aquest concepte, és previsible que no es contaminarà el sòl i, per tant, que tampoc no es produiran efectes nocius en la cadena alimentària i el medi.

En experiències realitzades a Catalunya en sòls de característiques diverses, amb fang residual municipal obtingut per digestió aeròbica, s'ha observat que la mineralització del nitrogen orgànic és al voltant del 30% durant el primer any (Garau, 1983) i que l'eficàcia nitrogenada del fang residual és superior a la d'un fertilitzant inorgànic. Cal tenir en compte que la dosi de fang adient per a un conreu d'ordi va ésser de 20 t/ha. Pel que fa als metalls pesants (Pascal, 1984) es va observar que aquesta dosi de fang va incrementar també el contingut de cadmi, coure i zinc assimilable pel sòl, com el de l'ordi, encara que la concentració en aquest va ésser molt inferior a la considerada com a tòxica.

La composició dels residus orgànics és molt variada i depèn tant del seu origen com del tractament depurador a què ha estat sotmès. Soliva i col·laboradors, 1982 han realitzat estudis sobre la composició de diferents fangs residuals als Països Catalans.

La reutilització de residus orgànics com a fertilitzants organominerals en qualsevol cas és limitada pel seu contingut en matèria orgànica, elements nutritius —N, P sobretot— substàncies potencialment tòxiques —metalls pesants i pesticides— i organismes patògens, a fi d'evitar la possible contaminació del sòl i la seva transcendència en la producció d'aliments.

- ***Capacitat d'adsorció del sòl***

Atès que cada vegada és més important el volum de residus orgànics que s'han d'eliminar o destruir, i que molts d'ells tenen efectes beneficiosos per al sòl, cal treure el màxim de profit de la seva reutilització agrícola, i per això és necessari conèixer la capacitat del sòl per a aquests productes. Aquesta capacitat es pot referir a diversos paràmetres.

Si bé una aportació de *matèria orgànica* al sòl millora les seves propietats físiques a llarg termini, una aportació excessiva pot dificultar la descomposició i la mineralització. Perquè la descomposició de la matèria orgànica es porti a terme és necessari un consum elevat d'oxigen

—*DBO*, demanda biològica d'oxigen—, i un excés de matèria orgànica podria provocar condicions anaeròbies al sòl que perjudicarien el desenvolupament vegetal, a més a més que la descomposició en condicions anaeròbies és més lenta i allibera substàncies tòxiques al medi.

Es considera que un sòl amb una porositat mitjana del 45% pot emmagatzemar teòricament 610 kg d'oxigen en un gruix de 30 cm quan el sòl és sec, de l'ordre de 260 kg quan té una humitat corresponent al 50% de la seva capacitat de retenció, i 95 kg quan està a la capacitat de camp. La difusió d'oxigen a través del sòl és més lenta que en l'aire, es considera que per a renovar tota l'atmosfera d'un sòl en una fondària de 20 cm són necessaris 75 min, temps que augmenta amb la humitat. Una estimació teòrica indica que la quantitat d'oxigen absorbit potencialment per un sòl és de l'ordre d'1,3 a 9 t/ha i dia, segons la humitat.

En funció d'aquestes dades, la capacitat de descomposició de matèria orgànica del sòl és molt alta i permet fer aportacions elevades, però l'alliberament de substàncies solubles en el decurs de la mineralització fa que aquestes circulin a través del sòl i contaminin altres medis. Es considera que aportacions de 25 t/ha i any, de residus que tenen el 50% de matèria orgànica, són suficients per a un sòl. Quan un residu s'aplica al sòl cal, però, que estigui estabilitzat, és a dir, que sigui resistent a la mineralització, per a evitar contaminacions i molèsties.

La *mineralització* dels residus orgànics al sòl fa que els elements nutritius s'alliberin en formes inorgàniques que poden precipitar, quedar en suspensió o ésser reingudes per intercanvi iònic. Així, l'amoni pot ésser retingut temporalment per intercanvi iònic, però gradualment es va transformant en nitrats que és soluble i pot percolar fàcilment juntament amb els sulfats i clorurs que també ho són. El calci, el magnesi, el potassi i el sodi són retinguts per intercanvi en el complex d'adsorció. El fòsfor precipita en sòls àcids en forma de fosfats de ferro i d'alumini, mentre que en sòls bàsics ho pot fer com a fosfat càlcic.

Hi ha 16 elements que es troben en les roques i el sòl, que són essencials per a la nutrició de plantes i animals. S'han observat deficiències en els animals de coure, cobalt, iode, ferro, manganès i seleni, i en els conreus de bor, coure, ferro, manganès, molibdè i zinc. Excessives quantitats en el sòl d'aquests elements poden afectar indirectament la qualitat dels aliments i de les aigües per a beure; entre els *elements potencialment tòxics* podem considerar l'arseni, el cadmi, el coure, el crom, el ferro, el plom, el mercuri, el molibdè, el níquel, el seleni i el zinc. Una excessiva concentració d'algun d'aquests elements en residus orgànics impossibilita la seva rendibilitat agrícola.

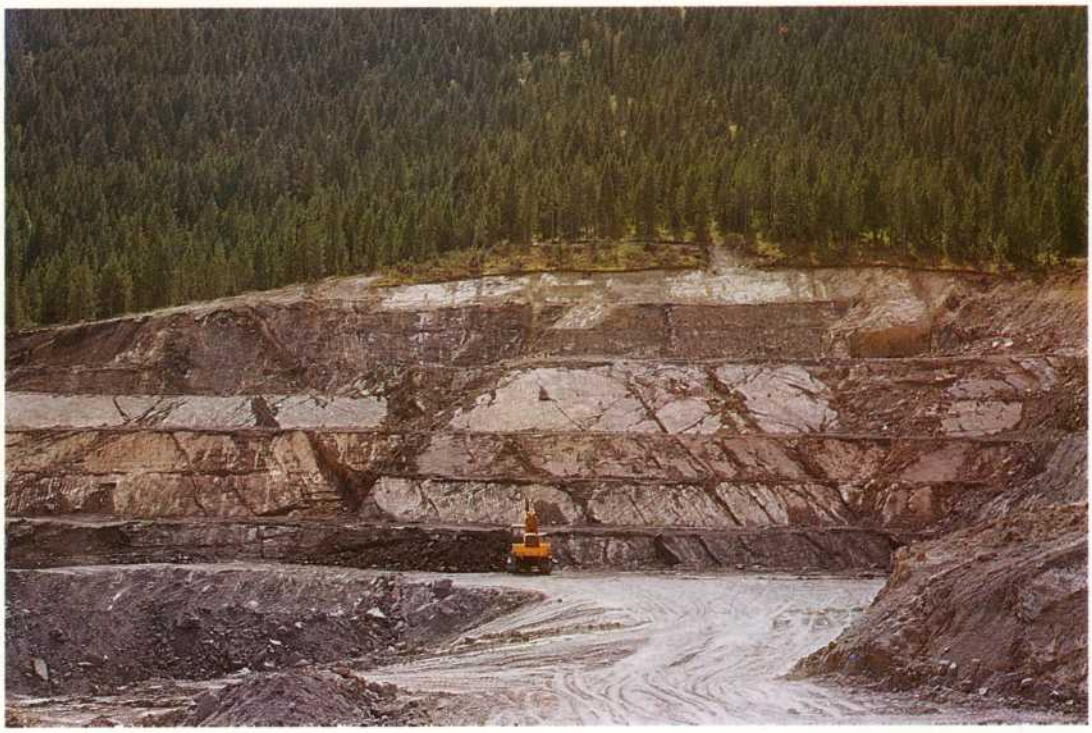
En els sòls, la retenció i l'alliberament de metalls es realitzen mitjançant els processos de precipitació —solubilització, adsorció— dessorció per part del complex de canvi, així com formació-dissociació dels complexos organominerals.

Els mecanismes que regulen els fenòmens de retenció i alliberament de metalls en el sòl són nombrosos, complexos i interrelacionats. Depenen de característiques del sòl com el pH, el potencial redox, la capacitat d'intercanvi iònic, la textura, l'activitat biològica, així com de condicions meteorològiques i de cada element en particular. En general, però, són solubilitzats a pH inferior a 6,5; per això no s'han d'aplicar residus als sòls àcids, ja que afavoreixen la solubilització de metalls.

L'aportació de certs residus al sòl pot contaminar-lo amb *organismes patògens* per als animals i l'home. La supervivència d'aquests organismes generalment no és superior a un any, a excepció dels ous d'àscaris, i depèn de la humitat, la temperatura, el pH, la radiació solar, la matèria orgànica i l'acció competitiva de la microflora del propi sòl. La mobilitat d'aquests organismes és en funció de la textura i del grau de saturació del sòl. Tanmateix, però, és molt reduïda, ja que les partícules del sòl retenen els bacteris per filtració i els virus per adsorció. A fi de no pertorbar l'evolució del sòl ni desplaçar el seu equilibri per aportacions excessives que no poden ésser assimilades per cicles biogeoquímics i, per tant, anulen la capacitat depuradora del sòl, cal estudiar prèviament la composició dels residus i les propietats del sòl on han d'anar destinats.

La restauració

En determinades ocasions, les activitats de l'home impliquen una ocupació de terrenys, com en el cas de les poblacions que envaeixen els sòls agrícoles que les envolten, en els polígons industrials, a les autopistes o en altres vies de comunicació. Als Països Catalans es poden citar molts exemples on sòls agrícoles de primera qualitat s'han perdut per sempre més. En d'altres casos, la pèrdua de sòl es produeix per erosió; aquesta degradació física ja és ben coneguda, però potser no n'és tant la que produeixen les màquines pesants en circular per un camp, tot destruint-ne l'estructura. Les degradacions químiques s'han començat a produir amb l'abús de productes agroquímics, purines, fems, etc., en agricultura. També hi ha d'altres activitats que es veuen obligades a actuar d'una manera dràstica sobre el mantell edàfic; aquest és el cas de *la mineria a cel obert* i les *activitats extractives* de qualsevol tipus. Un cop acabada



151 *LA MINERIA A CEL OBERT provoca la destrucció del medi edàfic, però la seva restauració és contemplable, si hom pren mesures prèvies a l'inici de l'explotació (extracció de carbó al coll de Pradell, Berguedà). [Foto: Jaume Porta]*

l'explotació es planteja el problema de retornar l'àrea integrada al seu entorn.

Els conceptes de *restauració* i *rehabilitació* de sòls sorgeixen quan la opinió pública pren consciència de les destrosses fetes en alguns indrets, i es fa necessària una planificació per a corregir l'estat d'alguns espais naturals o per a evitar que la degradació n'afecti de nous. Actualment, però, la restauració és més un ideal que quelcom realitzable, expressa el fet de voler aconseguir retornar un sòl o una àrea a l'estat que tenia abans de l'activitat extractiva.

Entre la restauració ideal i l'abandonament es pot plantejar un retorn de la zona explotada a un estat tal que permeti que pugui ésser emprada per a altres usos que els miners. El fet d'assolir un determinat grau de productivitat, d'acord amb un pla preestablert, condueix al que hom anomena rehabilitació. Si el procés té lloc d'una forma espontània, es tracta d'una rehabilitació natural; si, per contra, es fa necessària la intervenció de l'home per a escurçar els terminis, és una rehabilitació artificial.

Als Països Catalans es produeixen efectes nocius sobre el medi i sobre els sòls en concret, a causa d'explotacions a cel obert de materials no consolidats, tals com les argiles a Papiol, les graveres al delta del Llobregat, el sauló a la Garriga, així com de materials consolidats tals com les calcàries a Vallirana i Iborra, el marbre a Sant Vicenç de Castellet, el guix a Corbera, el gres a la Floresta (Garrigues), el granit a Argentona, les gredes a la zona volcànica d'Olot, els lignits a Mequinensa (Baix Cinca), Almatret (Segrià), el Berguedà, la Cerdanya, etc.

Els runams de mines també plantegen problemes de restauració o de rehabilitació. Així, tenim els de la conca potàssica de Súria, Sallent i Cardona; de fluorita a Viladrau; de plom i zinc a Vilaller (Alta Ribagorça); de baritina a Poblet i de talc a la Vajol (Alt Empordà) entre altres.

- ***Tipus d'explotacions i rehabilitació***

Les explotacions a cel obert existents als Països Catalans plantegen una problemàtica variada cara a la rehabilitació posterior a l'extracció del recurs. El principal factor d'explotació que condiciona la restauració és la *velocitat d'avanç*; així hi ha les explotacions anomenades estàtiques o fixes, com les pedreres, que produeixen efectes en el paisatge durant molts anys; per contra, les explotacions dinàmiques, com les graveres, les de carbó o d'argila, generen zones que ràpidament, entre dos i sis anys, poden ésser reintegrades al seu entorn.

Un altre criteri a tenir en compte en les explotacions és si generen *dèficits de volum* importants o no. El rebliment de les foses per recuperar una morfologia semblant a la inicial, pot crear problemes segons quines siguin les característiques dels materials sobre els quals es dipositaran les runes i la natura d'aquestes.

La *procedència dels materials* per al rebliment depèn de la zona on es trobi l'explotació; així ha estat freqüent utilitzar runes de construcció, deixalles urbanes i fins i tot industrials que, en el cas de planes al·luvials i deltes poden provocar contaminacions de difícil control. El que cal és no utilitzar runes tòxiques o contaminants



152 *LA RESTAURACIÓ EDÀFICA no és mai senzilla, tanmateix, després d'haver estat practicada una extracció a cel obert (pedrera de calcàries a Garraf). [Foto: C. Roquero]*

sobre materials molt permeables, pel risc de contaminar una capa freàtica, com és el cas del delta del Llobregat, per exemple.

L'*ús inicial i el final* de la zona també condicionen les exigències pel que fa a la rehabilitació. Per exemple, un terreny que ha d'ésser utilitzat com a sòl agrícola exigeix una fondària explorable per les arrels més gran que per a una reutilització forestal o com a espai natural. La granulometria, la pedregositat, la capacitat de retenció d'humitat, la salinitat o la fitotoxicitat són característiques molt importants que hauran de tenir uns valors o altres en funció de l'ús final de la zona.

En períodes en els quals hi ha hagut una activitat constructiva important, les dècades dels anys 60 i 70, zones com el delta del Llobregat han hagut de suportar una activitat extractiva de graves molt intensa. La importància dels sòls agrícoles d'aquesta zona ha estat menyspreada, i en cap cas no s'ha utilitzat la filosofia de les "prime farmlands" aplicada als Estats Units.

Una "prime farmland" és un territori que presenta la millor combinació de característiques físiques i químiques per a produir aliments, farratge o matèries primeres i és disponible per aquests usos. Té la qualitat de sòl, estació de creixement i suministrament d'aigua necessaris per a produir econòmicament elevats rendiments sostinguts dels cultius quan s'hi apliquen les pràctiques de conreu adients. Les "prime farmlands" o finques de classe han d'ésser inventariades de manera que es reservin per a l'agricultura aquells sòls de millor qualitat, sense que una altra activitat, extractiva, constructiva o industrial, pugui ésser considerada preferent.

L'extracció d'un recurs no ha d'associar-se, no obstant això, a efectes desfavorables. Un canvi respecte a la morfologia inicial pot millorar l'ús agrícola, com pot ésser el cas de les explotacions de lignit, per exemple. Un reompliment dels terrenys amb materials d'elevada capacitat de retenció d'humitat millorarà les condicions de cara al reg, cosa que de fet ha succeït en alguns camps inicialment molt sorrencs del delta del Llobregat. Per altra banda, la durada dels efectes pot ésser molt variada. La recuperació d'un bosc de pi roig o de pi negre al Berguedà pot necessitar uns cinquanta anys, si bé després dels vint primers ja hi pot haver una massa forestal important. Els efectes també poden ésser contemplats des d'altres punts de vista; així, segons la seva reversibilitat, segons siguin directes o indirectes, etc.

- ***Restauració integrada***

La sensibilització de l'opinió pública i la legislació apareguda als anys 80 han fet que tota activitat extractiva hagi de preveure un pla o projecte de restauració o de rehabilitació. Els costos econòmics que això implica són considerablement superiors si es planifica una extrac-



153 *L'EXTRACCIÓ DE GREDES a la zona volcànica de la Garrotxa, com aquesta del volcà Cruscat, provoca importants pèrdues de volum. [Foto: Jaume Porta]*

ció amb independència de la restauració o rehabilitació, per la qual cosa la integració de totes dues accions es pràcticament imprescindible. D'aquesta manera els efectes poden tenir una durada més curta i la zona afectada en cada moment pot ésser més petita.

Als Països Catalans les explotacions de carbó antigues, com les d'Almatret o de Mequinensa, en no haver parat gaire atenció a la restauració de sòls, han deixat les zones bastant malmeses, i no han sofert una rehabilitació natural a causa de l'aridesa de la zona. Per contra, en una comarca com el Berguedà, els runams antics abandonats s'han anat integrant més fàcilment en el paisatge, a causa que el clima d'aquesta zona és molt més favorable per a la rehabilitació natural. Les explotacions a cel obert de Cercs i Saldes, des dels anys 80 es porten a terme amb rehabilitació artificial integrada. Això obliga a ésser respectuosos amb el mantell edàfic que, necessàriament, s'ha de retirar del seu lloc en iniciar l'explotació. En comptes de barrejar el sòl amb els materials que actuen de substrat, cal realitzar un decapatge i emmagatzemar separadament el material edàfic i les runes. D'aquesta manera, un cop s'han extret els recursos, s'han emplenat les fosses





154 *LA RESTAURACIÓ INTEGRADA d'una explotació a cel obert és, tanmateix, possible, i permet la reforestació ulterior o la recuperació de les àrees agrícoles, com mostra aquest runam (a dalt) preparat per a la replantació, al Berguedà; l'aspecte d'un antic runam recuperat, vint anys després de replantat (a baix), mostra què pot fer un bon sòl recollocat sobre un perfil adaptat, en una àrea humida com la berguedana.*
[Fotos: Jaume Porta]

DANÉS, R. (1981). «Estudi de sòls al terme municipal de Llagostera», *in* «Normes subsidiàries de planejament». Document de difusió restringida.

DANÉS, R. (1981). "Estudi de sòls al terme municipal de Begur" *in* "Pla General d'Ordenació". Document de difusió restringida.

DANÉS, R. i PORTA, J. (1980). «Estudi de sòls del terme municipal de Centelles», *in* «Normes subsidiàries de planejament». Document de difusió restringida.

DANÉS, R. (1982). «Informe dels possibles efectes d'una explotació de carbó a cel obert sobre l'agricultura a la zona de Calaf». Diputació de Barcelona.

DANÉS, R. (1982). «Estudi de sòls al terme municipal de Valls», *in* «Avaluació i classificació dels recursos naturals objecte de planejament al terme municipal de Valls (Alt Camp)». Ajuntament de Valls.

DANÉS, R. (1983). «Estudi sobre potencialitat agrícola dels sòls i llur ús en els termes municipals de Tiana i Mongat (Maresme)». Corporació Metropolitana de Barcelona. Barcelona.

DOMÍNGUEZ, J. (1965). «Clasificación y evaluación de suelos con fines de riego en la zona de las Garrigas». Ministerio de Obras Públicas. Madrid.

ESCUREDO, A.; VALLEJO, V.R.; BECH, J. (1982). «Estudio de los suelos forestales de la Cordillera costero-catalana (Sectores Baix Llobregat y Maresme Meridional)». *Anal. Edaf. Agrob.*, XLI (9-10): 1827-1846;

FELIPÓ, M.T. (1973). «Estudio de los suelos de el Maresme en las vertientes noroeste y sureste de la Cordillera Litoral». Tesi doctoral. Facultat de Farmàcia. Universitat de Barcelona.

GARAU, M.A. (1983). «Estudio de la mineralización en el suelo del nitrógeno de lodos procedentes de plantas depuradoras de aguas residuales». Tesi doctoral. Facultat de Farmàcia. Universitat de Barcelona.

GASCON, F. (1984). «Influencia de la edafogénesis en la diagénesis temprana de materiales del Stephaniense, Pérmico y Buntsandstein del Pirineo Catalán». Tesi de llicenciatura. Departamento de Petrología. Universidad de Zaragoza.

GISBERT, J.M. (1978). «Estudio de suelos de la zona del bajo Ebro. Margen derecha. Tramo Calig-Alcalá de Chivert». Prointec.

GISBERT, J. y ROQUERO, C. (1968). «El cultivo del peral en suelos con capa freática alta». Congreso de Pomología: 203-216.

GISBERT, J. y ROQUERO, C. (1974). «Utilisation irrigation et drainage des sols hidromorphes du littoral de Valence». X Jornadas Europeas de Riego y Drenaje. Sevilla.

GUMUZZIO, J. y MATARREDONA, E. (1983). «Formaciones edáficas del Campo de Alicante». Universitat d'Alacant.

IGME. (1974). «Estudio previo para la investigación de bauxita en el Subsector I. La Llacuna (Barcelona y Tarragona)». Col. Informe. Min. Industria. Madrid.

JIMÉNEZ BALLESTA, R.; GUERRA, A. (1980). «Inceptisoles sobre materias carbonatadas en clima mediterraneo de la provincia de Castellón de la Plana». *Anal. Edaf. Agrob.*, XXXIX (1-2): 19-35.

JIMENEZ BALLESTA, R.; GUERRA, A. (1980). «Entisoles sobre materiales carbonatados en clima mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana». *Anal. Edaf. Agrob.*, XXXIX (1-2): 1-18.

JIMENEZ BALLESTA, R.; GUERRA, A. (1980). «Mollisoles sobre materiales carbonatados en clima mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana». *Anal. Edaf. Agrob.*, XXXIX (3-4): 451-463.

JIMENEZ BALLESTA, R.; GUERRA, A. (1980). «Alfisoles sobre materiales carbonatados en clima mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana». *Anal. Edaf. Agrob.*, XXXIX (3-4): 465-475.

JUNTA DE CIÈNCIES NATURALS. (1935). «Institut dels sòls de Catalunya». Departament de Cultura. Generalitat de Catalunya.

MARTI, J. (1984). «Emilio Huguet del Villar (1871-1951)». Edicions de la Universitat de Barcelona.

MOLINA, Mª J.; BOLUDA, R.; y SANCHEZ, J. (1984). «Patrones y unidades de paisaje en los sistemas Sierra Marte y Palomeras - Montemayor de Ayora (Valencia)». I Congreso Español de Geología, I: 667-677.

MOLINA, Mª J.; MORALEDA, M.; SANCHEZ, J.; y RUBIO, J.L. (1984). «Prescripción de uso en la Comarca del Rincón de Ademuz (Valencia)». I Congreso Español de Geología, I: 679-689.

ONTAÑON, M. et *al.* (1976). «Estudio semidetallado de suelos de los sectores F. I y J. de la zona regable del Alto Urgel Tárrega (Lérida)». IRYDA.

ORTIZ SILLA, R.; CASELLES VERGARA, E. (1982). «Estudio de los suelos salinos saturados al norte de San Felipe de Neri (Alicante). *An. Edaf. Agrob.*, XLI (5-6): 833-850.

PASCAL, M.D. (1984). «Reutilización a través del suelo de lodos procedentes de estaciones depuradoras de aguas residuales: elementos potencialmente tóxicos». Tesi doctoral. Facultat de Farmàcia. Universitat de Barcelona.

PONS, V.; SANCHEZ, J.; y ANTOLIN, Mª C. (1984). «Estudio edafológico y capacidad de uso del municipio de Denia». I Congreso Español de Geología, I: 403-408.

PORTA, J. et al. (1983). «Los Suelos de Cataluña: I, Area Meridional de Lérida». Generalitat de Catalunya.

PORTA, J. et al. (en prensa). «Los Suelos de Cataluña: II, La Segarra». Generalitat de Catalunya.

PORTA, J.; VALENCOSO, S. (1983). «Banco de Datos y Sistema de Información de Suelos de Cataluña». *Quaderns Agraris de l'Institució Catalana d'Estudis Agraris.*

PORTA, J.; VALENCOSO, S. (1982). «Sistema de Información Edafológica y Agronómica de España». IX Reunión de Suelos. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.

PORTA, J. (1981). «Síntesis del estudio de los suelos de La Segarra». Cámara Agraria. Lleida.

PORTA, J. (1981), «Síntesis del estudio de los suelos de Las Garrigas (Lérida)». Cámara Agraria. Lleida.

PORTA, J.; MARQUES, N.A. y LOPEZ ACEVEDO, M. (1980). «Aportaciones del sistema Riquier-FAO a la ordenación territorial: Aplicación al caso de dos áreas de modelo del Campo de Tarragona». 1ª Reunión Nacional del Grupo Español de Geología Ambiental y Ordenación de Territorio.

PORTA, J. (1977). «Morfometría y clasificación de algunos Gypsiorthids en España». Anales INIA.

RODRIGUEZ, J. y MONTURIOL, F. (1973). «Andosuelos de la provincia de Gerona: I, Estudio de sustancias minerales amorfas». *An. Edaf. Agrob.:* 833-863.

ROHDENBURG, H. and SABELBERG. (1973). «Quartaere Klymazylen in westlichen Mediterran-gebiet und ihre auswirkungen auf die relief-und bodenentwicklong». *Catena*, 1: 71-179.

ROHDENBURG, H. y SABELBERG, U. (1969). «La posición del Mediterráneo occidental en el paisaje ecológico, en la geografía de los suelos y en el desarrollo de la geomorfología climática». *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 7: 27-47.

ROQUERO, C.; PORTA, J. y GARCIA CASAL. (1971). «Estudio edafológico de la Vega Baja del Segura, entre Murcia y Guardamar». Cartografía 1:25.000 suelos y capacidad de riego. OTI-IRYDA.

ROQUERO, C. y GOMEZ, V. (1982). «Estudio edafológico para transformación de riego en Pinoso (Alicante)». EPTASA-IRYDA.

ROQUERO, C.; GOMEZ, V. y FERNANDEZ BOLON. (1983). "Estudio de suelos regables con aguas depuradas en el campo de Reus-Salou (Tarragona). EPTASA-IRYDA.

ROQUERO, C.; PORTA, J. y TEIXIDOR, N. (1976). "Perfil tipo Humic Andosol (Typic Dystrandept) de la Fageda d'en Jordà (Olot)». Soil Map of the Wold: Europa. Comunidad Económica Europea.

ROURE, J. (1981). «El análisis polínico; su aplicación en la historia reciente del paisaje vegetal». Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

SANCHEZ, J.V; MARTINEZ y RUBIO J.L. (1984). «Metodología de prescripción de uso. Su aplicación en Benegeber (Valencia)». I Congreso Español de Geologia, I: 761-769.

SAÑA, J.; SORIANO, M.A. (1983). «Composición húmica de los suelos agrícolas de Catalunya». T.F.C. Escola Universitària Enginyeria Tècnica Agrícola. Barcelona.

SANTOLAYA, F. (1977). «Los suelos de costra caliza en ambos márgenes del tramo final del río Ebro». Sociedad Española de la Ciencia del Suelo.

SOLIVA, M.; FELIPÓ, M.T.; GARAU, M.A.; SAÑA, J. (1982). «Com aprofitar per a l'agricultura els fangs residuals derivats de la contaminació?». *Ciència*, 2. Barcelona.

THOMPSON, H.S. (1850). «On the absorbent power soils». *Jour. Roy. Agric. Soc. Engl.*, 11-68.

Índex terminològic i d'autors

abrasió, 107
àcid fúlvic, 33
àcid húmic, 33
acrisol, 56, 59, 60
adsorció, 46
agregat, 36
àgric, 14
Albareda J.Ma., 18
albedo, 44
àlbic, 14, 98
albita,
alcalinització, 94, 48
Alfic Xerorthent, 132
alfisòl, 60, 132
Alfisol, 132
al·lofana, 26, 46, 74, 96
amfibol, 73
amonificació, 90
anàlisi foliar, 147
anàlisi de fertilitat, 147
andept, 58, 128
andisòl, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 128
anmoor, 52
antròpic, 114
apatita, 129
aqualf, 58
aqüent, 58, 123
Aqüent, 123
aqüept, 58, 127
Aqüent, 127
àqüic, 42, 94
Aqüic Xerofluvent, 124
Aqüic Xeropsamment, 124
arees de fontada, 145
arenosòl, 56, 58, 59, 123
àrgid, 129
Argid, 129
argila, 19, 23, 24, 36
argila, 99
argila interstraficada, 25
argila micàcia, 25
argílic, 14, 84, 132
argil·lotorbació, 100
argisòl, 59
arídic, 42
aridisòl, 60, 129
Aridisol, 129
atapulgita, 26
atmósfera edàfica, 42
avaluació de sòls, 141

bad-lands, 105
barrancs, 105
basalts, 73
beidellita, 25
biotita, 23, 75
biotorbació, 100
bisialització, 96
bisialsòl, 55
bohemita, 27
boroll, 134
Boroll, 134
braunerde, 52
braunlehm, 52
brunificació, 97
brunizem, 54
bru-calcari, 76
burozem, 52

càlcic, 14
calciortid, 130
Calciorthid, 130
calcixeroll, 134
Calcixeroll, 134
calcixeròllic, 58
Calcixerollic Xerochrept, 126
calcosòl, 59
calicata, 12
caliche, 93
càmbic, 14, 100
Cambic Gypsiorthid, 131
cambisòl, 56, 58, 59, 60
cambisòl càlcic, 58
Camborthid, 80, 130, 131
cambòrtid, 58, 130, 131
caolinita, 23, 27, 96
capacitat intercanvi ionic, 23, 26
capacitat de camp, 40
capacitat agrològica, 142
carbonatació, 89, 92
carbonats, 27
càrrega permanent, 47
cartografia, 115
castanozem, 52, 56, 60
catena, 77
cel·lulosa, 32
cereals, 138, 140
ciclosilicat, 21
cicle marí, 93
cicle deltaic, 94
cicle antròpic, 94
Ciència del Sòl, 16
cítrics, 140
classificacions edàfiques, 50
classificació Kubiena, 53
classificació C.P.C.S., 53, 54
classificació Soil Taxonomy System, 122
clima del sòl, 43
climax, 69
clorita, 25, 73, 96
clorosi fèrrica, 146, 147
clorurs, 29
coloidal, 46
color del sòl, 44
complexació, 98
complexe argilo-húmic, 35
complexe organo-mineral, 34-35
conductivitat hidràulica, 38
conductivitat elèctrica, 48
conductivitat tèrmica, 43
conreus, 138
conservació de sòls, 109
contacte lític, 45
contaminació, 149
coprolits, 83
corrents de fang, 108
críic, 49
criofolist, 136
criohemist, 136
criohumod, 135
criortent, 125
criortod, 135
criosaprist, 136
criosòl, 59
criotorbació, 100
cristal·lotorbació, 100
criumbrept, 127, 128
croma, 45
crosta calcària, 69, 93
crosta superficial, 103
Cryofolist, 136
Cryohemist, 136
Cryohumod, 135
Cryorthent, 125
Cryorthod, 135
Cryosaprist, 136
Cyumbrept, 127
cumulització, 99
cutà, 37, 99

densitat del sòl, 37, 38
desalinització, 94
descarbonatació, 92
desnitrificació, 90
diagrama difracció R-X, 20
diagrama edafoclimàtic, 66
dioctaedric, 21
disjunció esforoïdal, 88
dissolució, 88
distrocrept, 127
distrandepts, 128
distribució de sòls, 61
distrocrept úmbric, 128
duripan, 14
dy, 52
Dystrochrept, 127

edad del sòl, 84
edafografia, 16
edafologia, 16

edafotorbació, 86, 100
efecte rizosfera, 82
electroultrafiltració, 147
el·luviació, 98
endopedió, 14
elements potencialment tòxics, 156
entisòl, 123, 125
Entisol, 123
equivalències denominació sòls, 58
epipedió, 14
Equació Wischmeier, 108
erosió per esquitx, 103
erosió eólica, 107
erosió, 103
erosionabilitat, 101, 108
erosivitat, 101
escandall, 12
escolament superficial concentrat, 103
escolament superficial difús, 103
esllavissada, 107
esmectita, 23
espòdic, 14
espodisòl, 59
espodosòl, 135
esquelet, 37
estagnoglei, 54
estructura del sòl, 11, 83

fases del sòl, 11, 83
farratges, 138, 140
factors edafogènics, 65
factor climàtic, 65
fems, 152
fen, 52
feozem, 56, 60
ferbisialsòl, 55
ferralititització, 97
ferralsòl, 56, 59, 60, 84
ferrugeïnització, 98
fersialització, 97
fersisòl, 59
fertilitat, 146, 148
fertilitzants minerals, 151
fertilitzants orgànics, 151
fertirrigació, 148
fibrist, 136
Fibrist, 136
filosilicat, 21
fixació nitrògen, 90
fluvaqüent, 123
Fluvaqüent, 123
fluvent, 58, 124
Fluvent, 124
fluvisòl, 56, 58, 59, 60
folisòl, 59
fosfats, 29
fracció granulomètrica, 20
fragipan, 13
frígid, 44
fruits secs, 138

geomorfologia, 340
gibbsita, 27
gípsic, 14
gípsic cambòrtid, 58
gipsificació, 94
gipsiortid, 58, 130, 131
gipsiòrtid càmbic, 131
gipsiòrtid típic, 131
gittja, 52
glacis, 76
glebula, 37
glei, 38, 52, 54, 94
gleïficació, 94
gleïsol, 56, 58, 59, 60, 123
gleva, 82
glossisòl, 59
goethita, 27
granulometria, 35
granit, 73
greizem, 56, 60
guix, 28, 94
Gysiorthid, 131

halaqüept, 58
hal·loysita, 23, 26
haplohumod, 135
Haplohumod, 135
haploxeralf, 58, 132
Haploxeralf, 132, 85
Haploxeroll, 134
haploxeroll, 134
haploxeroll àndic, 134
haplumbrept, 127
Haplumbrept, 127
hectorita, 24
hematita, 21, 97
hemicel·lulosa, 32
hemist, 136
Hemist, 136
hidratació, 88
hidrolisi, 88
hidromorf, 54
hidròxids, 26, 46
hipertèrmic, 44
hístic, 14
histosòl, 56, 58, 60, 135, 136
Histosòl, 135
horitzó, 12
horitzó diagnòstic, 13, 14, 15, 55
horitzó genètic, 12
horitzó petrocàlcic, 93
Huguet del Villar E., 17, 51
humificació, 30, 91
humina, 33, 34
humina d'insolubilització, 34
humina evolucionada de maduració
humina heretada, 34
humina microbiana, 34
humod, 58, 135
Humod, 135
humus, 30, 32

il·lita, 73, 96
il·luviació, 98
ilmenita, 27
inceptisòl, 60, 126
Inceptisol, 126
índex d'Arkley, 68
índex de Bryssine, 68
índex de fertilitat, 146
índex d'energia climàtica, 68
índex de potencialitat, 147
índex de productivitat, 147
índex de rentat, 68
índex de Storie, 142
infiltració, 38
infiltrometre, 40
inosilicat, 21
intercanvi iònic, 45, 86
isopedió, 12

làmina prima, 37
laterita, 27
lessivatge, 98
lignina, 27, 97
lític xerortent, 58
litomorf, 54
litosòl, 54, 56, 58, 59, 60, 125
lixiviació, 98
llengua d'albic, 95
llim, 36
Lley de Darcy, 41
lluisor, 45
luvisòl, 56, 58, 59, 60, 132
luvisòl cròmic, 58
luvisòl glèic, 58

mapes de sòls, 379
magnetita, 27
matèria orgànica, 30
material originari, 11, 71
material primari, 19
material secondari, 19
material calcari, 72, 73
matis, 45
melanització, 91
medisaprist, 136
mesic, 44
metaha·loysita, 23
meteorització, 86
meteorització física, 19, 87
meteorització química, 19, 87
mètodes oficials anàlisi, 146
mica, 21
microestructura, 37
migració, 86, 98
mineralogia, 72
mineralització, 30, 89
minerals argilosos, 23, 24
minerals fibrosos, 26
mineria a cel obert
moder, 35, 82, 91
mòl·lic, 14, 133
mollisòl, 60, 74, 133
Mollisol, 133
monisialsòl, 55
montmorillonita, 24, 73, 96
mor, 82, 91, 99
moscovita, 21
mulching, 83
mull, 35, 91
mull calcari, 91
Munsell, 44

nàtric, 14
neoformació argiles, 86, 95
nesosilicat, 21
nitosòl, 56, 59, 60
nitrificació, 90
normas U.S.B.R., 144
nutrients vegetals, 146

Ochrept, 126
ocrept, 58, 126
òcric, 14
olivera, 138, 140
olivina, 73
oòlit, 92
ordenació territori, 160
organosòl, 55
Oriol, A., 17
ortosa
ortent, 125

Orthent, 123, 125
Orthid, 129
Orthod, 135
òrtid, 129
ortod, 58, 135
òxic, 4
òxids, 26, 46
oxidisòl, 55

Paleorthid, 130
paleòrtid, 58, 80, 130
paleosòl, 84
Palexeralf, 132
palexeralf, 132
palexeralf ròdic, 133
pal·linologia, 87
paquic, 100
pararendzina, 52
pedió, 12
pedologia, 16
pelosòl, 65, 59
perfil, 12
pèrdues de sòl, 103
pergèlic, 54
permagel, 54
petrocàlcic, 14, 58, 84, 93
Petrocàlcic Xerochrept, 126
pesticides, 152
petrogipsic, 14
pF, 39
pH, 47
pH actual, 47
pH potencial, 47
pierrosòl, 59
piezometre, 40
piroxens, 73
pirofilita, 26
pisòlit, 92, 95
plàcic, 14
plaggen, 14
planosòl, 56, 59, 60
plasma, 37
plataforma, 76
plans d'adobatge, 147
pluja àcida
poder d'amortiment, 47
podzol, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 135
podzol húmic, 58
podzol òrtic, 58
podzolització, 91, 99
podzoluvisòl, 56, 60
polipedió, 12
porositat del sòl, 37
porus, 37
potencial calcari, 47
potencial de l'aigua del sòl, 38
potencial matricial, 39
potencial redox, 48
potencia osmòtic, 39
precipitació, 86
primarosòl, 55
procés de bisialització, 96
procés endocinètic, 87
procés exocinètic, 86
procés edafogenètic, 86
procés formador, 86
procés redox, 89
psammaquent, 124
psammaqüent típic, 123
psamment, 58, 123
pseudo-glei, 38, 52, 54, 95
pseudo-miceli, 92
psicometre, 40
punt marciment, 40
purins, 153

queluviació, 98, 99
química agrícola, 146

rambla, 52
rànker, 52, 56, 58, 60, 125
reacció àcido-bàsica, 47
régim aqüic, 42, 70, 81
régim, 44
régim arídic, 42, 70
régin críic, 44, 69
régim d'humitat, 42, 70
régim mèsic, 69, 44
régim temperatura, 43, 68
régim tèrmic, 44, 69
régim údic, 42, 70
régim ústic, 42, 70
régim xéric, 42, 70
regolita, 72, 87
regosòl, 54, 56, 58, 59, 60, 125
rendoll, 58, 75, 134
Rendoll, 134
rendzina, 52, 54, 56, 58, 60, 75, 76, 124, 134
residus sòlids, 154
resistat, 89
restauració de sòls, 156
Rhodoxeralf, 132
roca mare, 72
rodoxeralf, 53, 58, 132
roterder, 52
rotlehm, 52
rubefacció, 27, 45, 97
rutil, 27

sàlic, 14
salinitat, 47
salinització, 93
salisòl, 59
Salorthid, 130, 131
salòrtid, 130, 131
salsodisol, 59
saponita, 24
saprist, 136
saprolita, 72, 87
sapropèl, 52
saturació de bases, 46
sauló, 73
secció control, 12
selsòl, 55
sepiolita, 26
serozem, 52, 54
sèrie de sòl, 115
sierozem, 52
silicats, 20, 22
silícic àcid, 72
silícic bàsic, 72
SINEDARES, 118
sistemes d'informació, 118
sodificació, 48, 94
sodisòl, 59
Soil Taxonomy System, 53
sòl, 11
sòl actual, 84
sòl al·luvial, 58, 124
sòl brunificat, 54
sòl calcari, 58
sòl càlcico-magnèsic, 54
sòl castany, 54
sòl de crosta, 58
sòl de muntanya, 60
sòl enterrat, 84
sòl ferralític, 54
sòl fersial·lític, 133
sòl fòssil, 84
sòl gris, 54
sòl guixós, 58, 131
sòl hidromorf, 54, 58, 123
solifluxió, 108
sòl isohúmic, 54
sòl marró, 54
sòl mineral, 54
solod, 52, 54
solonetz, 52, 54, 58, 60, 129
solontxac, 52, 54, 56, 58, 60
sòl podzolitat, 54
sòl policíclic, 84
sòl poligenètic, 85
sòl roig, 58
sòl salí, 54, 58, 130
sòl salsòdic o salsodimorf, 54
sòl sorrenc, 58
solubilització, 88
solcs, 104
sòmbric, 14
sombrosòl, 59
sorosilicat, 21
sorra, 36
Spodosol, 135
subfusió, 107
substitució isomorfa
subsòl, 11
sulfats, 28
sulfisol, 59
sulfosòl, 59
sulfúric, 14
sulfurs, 29

tangel, 81
tapas, 93
taxa de respiració, 49
tectosilicat, 21
tefrenologia
temperatura del sòl
tensiòmetre
teoria de l'humus, 15
tèrmic, 44
termoclasia, 87
terra bruna, 85
terrasses, 111
terra fusca, 134
terra rossa, 75, 85, 133, 97
textura, 11, 35
tixotropia, 26
topofunció, 77
toposeqüència, 77
torba, 54, 58
torbosòl, 59
tòrric, 42
torriortent, 125
Torriorthent, 80, 125
transformació argila, 86
translocació, 86, 98
trioctaèdric, 21
tropisòl, 59
turricula, 83
tubercles, 139
txernozem, 52, 54, 56, 60
Typic Gypsiorthid, 131
Typic Psammaquent, 123

údic, 42
udoll, 132
Udoll, 132
udortent, 125
Udorthent, 125
umbrept, 58, 127
Umbrept, 74, 127
úmbric, 14
Unitats Sòls F.A.O., 56
Unitat morfoedàfica, 76
ús del sòl, 137, 139, 141
ustalf, 58
ústic, 42
ustoll, 134
Ustoll, 134

Valle, J., 17
variscita, 9
vega, 52
vermiculites, 24, 73
vèrtic, 19, 84, 100
vertisòl, 54, 56, 59, 60
vessants, 76
virosta, 30
vinya, 139, 40
vivianita, 29

xaragalls, 105
xeralf, 58, 132
Xeralf, 132
xèric, 42
xerocrept calcixeròllic, 77, 91, 126
xerocrept fluvèntic, 77, 80
xerocrept lític, 127
xerocrept petrocàlcic, 126
xerofluvent àqüic, 124
xeroll, 134
Xeroll, 134
xeropsamment, 123
Xeropsamment, 123
xeropsamment àqüic, 123
xeroràNker, 54
xerortent, 125, 80
xerortent àlfic, 132
xerortent lític, 124
Xerorthent, 125
xerosòl, 56, 58, 59

yerma, 52
yermosol, 56, 58, 59, 60
yermosòl càlcic, 58