

CARACTERITZACIÓ DE SÒLS

per

AMPARO CORTÉS LUCAS

Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona

El terme caracterització aplicat als sòls engloba moltes coses. Una caracterització completa ha d'incloure aspectes morfològics, fisico-químics, químics, mineralògics i micromorfològics; els biològics estan inclosos dins els morfològics i micromorfològics.

La caracterització dels sòls es pot assolir des de diferents punts de vista o d'interès. Per exemple, es pot necessitar per a classificar els sòls, per a establir el seu nivell de fertilitat, per a estudiar la seva genesi, o per veure si poden servir per a reciclar diferents tipus de residus industrials.

Cal diferenciar dos nivells de caracterització: un primer que persegueix un millor coneixement general dels sòls, un segon que té com a objectiu la recerca d'aspectes més concrets.

Per a la caracterització dels sòls s'utilitza el denominat mètode edafològic que té diverses modalitats. La principal és la coneguda com mètode dels emplaçaments, consistent en l'observació d'uns fets, l'elaboració d'unes hipòtesis i a comparació de tot això tenint sempre molt en compte les condicions naturals. Una altra modalitat és la dels balanços, que a més a més té un valor dinàmic car no es limita a la determinació de xifres aïllades.

La caracterització dels sòls implica, d'una banda, un treball de despatx previ, d'altra un treball de camp i finalment un treball de laboratori. Totes tres etapes són molt importants i en conjunt poden resultar costoses en temps i en mitjans. És per això que cal ser molt exigent i pràctic a l'hora de portar-les a bon terme.

La importància de la fase de treball de despatx està en:

- l'elecció dels objectius a assolir a través de la caracterització,
- la planificació del treball a realitzar, i
- la recopilació de tota l'informació disponible sobre el/s sòl/s a estudiar i, quan calgui, sobre els factors que condicionen o han condicionat la seva formació (a saber: material originari, ésser vius, clima, posició fisiogràfica, temps).

Durant el treball de camp el que es fa és:

- escollir zones representatives del/s tipus de sòls o de les condicions en que es troben els sòls que es volen estudiar,
- identificar en que es troben els sòls que es volen estudiar,
- identificar el material originari,
- examinar els horitzons, i descriure el/s pedió/s,
- identificar els processos principals que tenen lloc en el sòl.
- pendre les mostres.

La descripció del pedió i els seus horitzons és una part molt important del treball d'identificació i classificació dels sòls i ha de ser feta amb molt de detall. La guia per a la descripció de perfils de sòls editada per la FAO pot ser d'utilitat per a qui no sàpiga com fer-ho.

Les observacions de camp donen informació sobre propietats dimensionals com són la profunditat del sòl, la homogeneïtat dels diferents horitzons que componen el sòl, la profunditat i gruix dels mateixos, o la distribució de pedres i arrels. Les característiques morfològiques vénen estudiades també al camp.

In situ s'obté informació sobre el moviment de l'aigua en el sòl o la seva retenció. Amb una simple ullada es pot veure si hi han obstacles per a la penetració de les arrels, o bé si hi han fenòmens de expansió i contracció. Amb l'ajut d'una lent es poden arribar a determinar algunes característiques micromorfològiques.

La presa de mostres és, en un cert sentit, el punt més delicat. S'ha d'efectuar amb totes les garanties donat que el valor de les dades analítiques posteriors depèn de com s'hagi efectuat el mostreig. A l'hora de planificar la campanya de presa de mostres s'ha de tenir en compte que els sòls tenen propietats que varien al llarg del temps. Temperatura, humitat i pH, en són exemples.

Es poden diferenciar diversos tipus de mostres: alterades i no alterades, simples i compostes, de sòls agrícoles o d'horitzons profunds. Per a la caracterització completa és necessari recol·lectar mostres alterades, es a dir preses amb l'ajut d'eines que destrueixen caixes de Kubiena, al anterior de les quals el sòl conserva, per exemple, la mateixa porositat que tenia avans de realitzar-se el mostreig. La quantitat de mostra a agafar dependrà del tipus de granulometria i del tipus d'estudi a realitzar. El que és una condició "sine qua non" és que les mostres que es prenguin siguin representatives (i homogènies).

CARACTERITZACIÓ DELS PRINCIPALS COMPONENTS INORGÀNICS DEL SÒL

Si es tractessin tots els aspectes de la caracterització de sòls, l'extensió que podria adquirir aquesta xerrada seria molt gran. És per això que a

partir d'aquest moment ens centrarem només en la caracterització dels principals components inorgànics del sòl.

Per a aquesta caracterització es fan servir mostres alterades.

L'anàlisi de sòls treballa amb més de seixanta dels elements que es presenten normalment a la natura. Això dóna ja una idea de la complexitat que pot tenir la caracterització.

La química de sòls s'ocupa de totes les reaccions que tenen lloc en el sòl però s'ocupa especialment de les que afecten a la solució del sòl i a la capa pel·licular que envolta les partícules de sòl. Aquestes reaccions estan protagonitzades pels ions.

Els ions més interessants són d'entrada aquells essencials o tòxics per a la vida i després aquells que juguen un paper important en el desenvolupament dels sòls. Es tracte d'elements amb un pes atòmic baix i que es troben sempre entre els més volàtils de la taula periòdica (Fig. 1).

Els ions entren a formar part de la solució del sòl per: (1) meteorització, (2) descomposició de la matèria orgànica, (3) deposició amb la pluja, (4) reg amb aigües que contenen ions, (5) fertilització, i (6) per lliberació dels ions retinguts per els col·loids dels sòls.

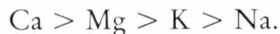
Els ions i les molècules són retinguts en el sòl per: (1) intercanvi catiònic i aniònic, (2) precipitació, (3) atraccions electrostàtiques, (4) formació de complexos amb la matèria orgànica i (5) per retenció dintre de les cèl·lules microbianes.

Aquests ions més importants els podem reunir en sis grups (Taula 1). **Cations de bescanvi:** els cations de canvi o bescanvi s'han definit com aquells cations que poden ser extrets del sòl per solucions salines neutres. Els ions de canvi es troben surant en la doble capa existent al voltant de les partícules col·loïdals del sòl. Aquests cations neutralitzen i són retinguts per les càrregues negatives dels col·loïdes del sòl (minerals de l'argila i matèria orgànica presents en els sòls); són fàcilment "manipulables" a través del enllocat, el reg o l'acidificació.

Els principals cations de canvi en els sòls agrícoles són, per ordre decreixent:



En la fase líquida dels mateixos sòls la presència de cations és



El NH_4 pot estar present ocasionalment degut a fertilitzacions amòniques. En lixiviats de sòls de zones àrides sotmesos a regadiu el Na pot arribar a superar al K.

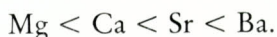
Altres cations alcalins i alcalinoterris són presents en el sòl a nivell de traça. La seva concentració varia entre els següents límits:

Li	10	–	300	mg/Kg
Rb	20	–	500	"
Be	0.5	–	10	"
Sr	600	–	1000	"
Ba	100	–	3000	"
Ra	10^{-7}			"

El nivell d'adsorció dels cations augmenta generalment quan augmenta la càrrega iònica i quan disminueix la mida de l'ió hidratat. Per a cations monovalents l'ordre de retenció és



En el cas de cations divalents l'ordre és:



I finalment pels cations trivalents trobem:



Anions solubles: són presents en els sòls a concentracions molt més baixes que els anteriors, excepte en els sòls de textura grollera i en els sòls salins. Els anions són rebutjats per la doble capa carregada elèctricament que hi ha al voltant dels col·loïds.

La presència d'aquests anions varia amb les pràctiques de fertilització, la mineralogia, l'activitat microbiana, la composició de l'aigua de reg i de la pluja.

Anions poc solubles: són retinguts fortament pel sòl; la retenció o fixació depenen del pH del sòl; el molibdat i la sílice són més solubles a pH elevats; el fosfat és més soluble a pH propers a la neutralitat o lleugerament àcids.

Es tracta d'oxianions i d'ions complexos que resten associats en solució.

Metalls de transició: s'acumulen en els sòls en forma de hidròxids. El comportament químic d'aquests elements varia d'un element a l'altre. Són comuns diversos estats d'oxidació. S'associen amb O^{2-} i OH^- precipitant en forma d'hidròxids, es a dir inmobilitzant-se. La solubilitat del ferro i el manganès és més gran en sòls estanyats i en sòls amb atmosferes reductores.

Ions tòxics: metalls pesants, Be i Al en són els representants.

Elements actius en les reaccions redox: les propietats d'aquests elements canvien dràsticament amb l'estat d'oxidació. Els estats d'oxidació més forts corresponen a les solucions del sòl i als minerals secundaris. Els estats més baixos corresponen a la matèria orgànica, sòls anaerobics i minerals ignis.

Alguns estats d'oxidació produeixen compostos volàtils.

L'estudi aïllat de qualsevol dels ions citats no és suficient per a conèixer la química del sòl. Com ja s'ha dit l'estat dels ions depèn del pH, la propietat química més important dels sòls. Cal doncs estudiar paral·lelament el pH.

Tradicionalment es fan dues mesures del pH, una amb aigua i l'altra amb clorur potàssic, el que permet conèixer l'estat del complex de canvi.

La capacitat de bescanvi catiònic és una altra de les determinacions de caracterització fonamentals. La seva determinació va lligada a la determinació de la quantitat total de cations de bescanvi (Ca, Mg, Na i K). Totes dues mesures permeten de calcular el percentatge de saturació del sòl.

La capacitat de bescanvi vé expressada en meq/100 g de sòl, i representa els mil·ligrams d'hidrogenions o el seu equivalent en altres cations, que poden ser magatzemats en 100 g de sòl.

Coneixent el contingut de la mostra en matèria orgànica i la quantitat i el tipus d'argila, es pot calcular aproximadament quina és la capacitat de bescanvi.

La determinació analítica de tots aquests ions i paràmetres constitueix la que hem denominat amb anterioritat fase de treball de laboratori, que inclou:

- preparació de les mostres,
- elecció dels mètodes d'anàlisi en funció de les característiques de les mostres,
- analítica propiament dita (extracció i determinació),
- càlcul de resultats,
- interpretació dels mateixos.

L'analítica de sòls implica una preparació prèvia que inclou l'assecat de les mostres en habitacions ventilades on no s'ultrapassin els 30° C de temperatura i la tamització per sedàs de 2mm de llum per a obtenir l'anomenada fracció fina del sòl, procurant desfer els agregats sense modificar la granulometria de les partícules elementals de la mostra.

En les determinacions de nitrògen, carbonat càlcic i carboni orgànic cal, a més a més, pulveritzar la mostra fins a un tamany de 500 µm.

Per a poguer expressar tots els resultats en pes de mostra seca, cal determinar la humitat a 105 °C. D'aquesta manera és possible comparar

resultats encara que hagin estat obtinguts en laboratoris amb atmosferes a diferents graus d'humitat.

Els mètodes aplicables a l'anàlisi química dels sòls són tan nombrosos i variats com ho és la química analítica. És per això que no entrarem a citar-les totes.

Cal recordar, això sí, que l'extracció, la primera fase de l'anàlisi, és un procés que té a veure amb la química del sòl. L'elecció de l'extractant depèn de la forma del constituent que es vulgui analitzar.

Els extractants més utilitzats són:

- (1) aigua (formes solubles),
- (2) acetat amònic a pH 7 o 8,2 (formes assimilables),
- (3) acetat sòdic (alumini),
- (4) pirofosfat sòdic (alumini),
- (5) ditionit sòdic (ferro),
- (6) ditionit-citrat sòdic (ferro lliure),
- (7) oxalat amònic (ferro amorf),
- (8) bicarbonat sòdic (fòsfor assimilable),
- (9) àcid clorhídric més fluorur amònic (fòsfor assimilable).

En ocasions l'extracció ha de ser enèrgica i aleshores es practica un atac de la mostra amb àcids forts (clorhídric, nítric, sulfúric, o mescles dels mateixos).

La determinació propiament dita és un procés analític en el que cal triar el mètode o la tècnica instrumental segons la concentració del constituent a determinar i les possibles interferències que puguin haver-hi en la mostra.

De vegades, els problemes arriben per via de la variabilitat de les característiques de la mostra. Així, la mesura del pH està afectada per el grau d'humitat de la mostra, el contingut en sals solubles, i el contingut de CO₂. La determinació es realitza en mostres assecades a l'aire, per trobar-se més properes a una situació d'equilibri, però la mesura més vàlida des d'un punt de vista edàfic hauria d'efectuarse en mostres amb la seva humitat natural.

En d'altres ocasions, és la preparació prèvia de la mostra la que pot dur a resultats no utilitzables. Així, la molturació de les mostres a un tamany de gra molt petit dona valors de pH superiors als normals.

Les següents taules mostren les característiques d'algunes de les principals tècniques emprades avui en els laboratoris de sòls.

Sovint es diu que hi han mètodes més adients i mètodes més simples o senzills per cada una de les característiques o propietats del sòl a examinar. Moltes vegades és millor utilitzar mètodes i més aviat clàssics encara que no siguin els més adients.

És impossible fer anàlisis completes o assaigs de fertilitat en tots els

Taula 3. Contingut d'elements en el sòl i límits de detecció per AAS.

Element	Total content		Extractable content ^c (normal range; $\mu\text{g ml}^{-1}$ in extract)		Detectio ($\mu\text{g ml}^{-1}$ in Flame ^d)
	Soil: typical conc. ^a ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Analysis solution ^b ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	0.05 M EDTA	0.5 M acetic acid	
Ag	0.1	0.0001			0.002
As	6	0.006			0.11
B	10	0.01			2.0
B	g			0.005-5 ^f	2.0
Ba	1000	1			0.02
Be	6	0.006			0.0007
Cd	0.5	0.0005			0.0007
Cd			<0.002-0.06	<0.0003-0.008	
Co	15	0.015			0.007
Co			<0.01-0.8	<0.001-0.05	
Cr	100	0.1			0.005
Cr			0.02-0.8	<0.0003-0.03	
Cu	20	0.02			0.002
Cu			0.06-2	<0.001-0.08	
Ga	25	0.025			0.038
Ge	1	0.001			0.038
Hg	0.1	0.0001			0.16
Li	50	0.05			0.0015
Mn	800	0.8			0.002
Mn			1-20	0.1-2.5	
Mo	2	0.002			0.03
Mo			<0.006-0.2	<0.0001-0.0008	
Ni	50	0.05			0.008
Ni			0.04-1.0	0.003-0.1	
Pb	20	0.02			0.15
Pb			0.2-2	<0.00005-0.1	
Rb	100	0.1			0.002
Sc	8	0.008			0.025
Se	0.5	0.0005			0.25
Sn	3	0.003			0.031
Sn			<0.004-0.2	<0.0005-0.005	
Sr	300	0.3			0.002
Sr				0.005-0.25	
Ti	4000	4			0.05
Ti			0.1-2	<0.003-0.03	
V	100	0.1			0.05
V			0.04-1	<0.001-0.03	
Y	40	0.04			0.11
Zn	50	0.05			0.001
Zn			<0.6-4	<0.05-0.75	
Zr	400	0.4			1.0

^aRef. 59.
^b LiBO_2 fusion, HNO_3 dissolution, 100 mg soil per 100 ml solution, i.e., 1000 × dilution.
^cCalculated from data in Ref. 59, EDTA extract, 15 g soil per 75 ml extract, i.e., 5 × dilution; acetic extract, 20 g soil per 800 ml extract, i.e., 40 × dilution.
^dVarian Techtron AA6. Manufacturer's data.
^eInstrumentation Laboratory 555 Furnace atomizer. Manufacturer's data.
^fWater extraction.

SMITH, 1983

Conductivitat elèctrica: Mètode de la pasta saturada.

Fòsfor assimilable: Mètode de Osmond-Bray, Mètode Olsen, Mètode Burriel-Hernando.

Taula 4. Electrods selectius per anions i les seves característiques.

Electrode	Manufacturer (see Table 4)	Membrane composition	Range (M) ^a	Sensitivity (mV per decade molarity change)	Response time (sec)	Operational life (months)	pH range	Temperature range (°C)
Br ⁻	B	AgBr/Ag ₂ S	>10 ⁻⁷	—	—	—	0-14	—
	C	AgBr/Ag ₂ S	5 × 10 ⁻⁶ -1	—	<90	<36	2-12	—
	O	—	5 × 10 ⁻⁶ -1	57	—	—	2-12	0-80
	P	—	10 ⁻⁶ -1	56 ± 3	<30	12	1-11	0-50
Cl ⁻	B	AgCl/Ag ₂ S	>5 × 10 ⁻⁵	—	—	—	0-14	—
	C	AgCl/Ag ₂ S	>5 × 10 ⁻⁵	—	<90	<36	3-10	—
	E	—	10 ⁻⁶ -1	—	40	—	1-12	0-100
	O	—	>8 × 10 ⁶ (liquid); >10 ⁻⁵ (solid)	57	—	—	2-11	0-80
	P	—	10 ⁻⁵ -10 ⁻¹	56 ± 3	<60	12	1-10	0-50
CN ⁻	C	AgI	>10 ⁻⁶	—	<90	<36	—	—
	O	—	10 ⁻⁶ -10 ⁻²	54	—	—	11-13	0-80
	P	—	10 ⁻⁷ -10 ⁻¹	56 ± 3	<30	12	1-12	0-50
F ⁻	B	—	>10 ⁻⁶	—	—	—	4-13	—
	C	LaF ₃	>5 × 10 ⁻⁷	—	<90	<36	5-8	—
	O	—	10 ⁻⁶ -satd.	56	—	—	5-8	0-80
	P	—	10 ⁻⁶ -10 ⁻¹	56 ± 3	<60	12	4-8	0-50
BF ₄ ⁻	O	—	3 × 10 ⁻⁶ -satd.	56	—	—	3-10	0-50
I ⁻	B	AgI	>10 ⁻⁸	—	—	—	0-14	—
	C	AgI	>10 ⁻⁵	—	<90	<36	3-12	—
	O	—	7 × 10 ⁻⁶ -1	55	—	—	2.5-11	0-40
	P	—	10 ⁻⁷ -1	56 ± 3	<20	12	1-12	0-50
NO ₃ ⁻	C	(C ₈ H ₁₇) ₄ NNO ₃	>10 ⁻⁵	—	<90	6	4-11	5-40
	E	—	10 ⁻⁵ -10 ⁻¹	—	—	<2	—	5-40
	O	—	6 × 10 ⁻⁶ -1	55	—	—	3-10	0-50
	P	—	10 ⁻⁵ -1	56 ± 3	<30	6	1-9	0-50
S ²⁻	B	Ag ₂ S	>10 ⁻⁷	—	—	—	>12	—
	C	Ag ₂ S	>10 ⁻⁵	—	<90	<36	13-14	—
	O	—	10 ⁻⁷ -1	28	—	—	13-14	0-80
	P	—	10 ⁻⁶ -10 ⁻¹	27 ± 2	<15	12	1-14	0-50

^aThe lower limit is taken to indicate also the detection limit.

SMITH (1983).

Nitrògen total: Mètode semi-micro Kjeldhal.

Potassi i sodi assimilables: Extracció amb acetat amònic i valoració per fotometria de flama.

Calci i magnesi assimilables: Extracció amb acetat amònic i valoració per complexometria.

pH: Mètode de la pasta saturada; relació 1: 2,5 (en aigua i clorur potàssic).

Capacitat de bescanvi catiònic: Mètode de Mehlich. Mètode de la Comissió de mètodes analítics.

Taula 5. Condicions de l'anàlisi de sòls per FRX.

Element	MICRO SOIL concentration (µg g ⁻¹) ^a	Lower limit of detection (14) ^b	Operating conditions					References	
			Radiation	Crystal	Line	2θ	Counter ^d		Sample preparation
F	200		Cr	TIAP	F Ka	90.62	FPC	Pressed powder	
Na	0.6%	15	Cr	TIAP	Na Kc	55.08	FPC	Pressed powder	
Mg	0.8% MgO	0.04% MgO	Cr	TIAP	Mg Kc	45.18	FPC	Glass disk	Ca
Al	13.4% Al ₂ O ₃	0.016% Al ₂ O ₃	Cr	PET	Al Ka	145.07	FPC	Glass disk	
Si	70.5% SiO ₂	0.025% SiO ₂	Cr	PET	Si Ka	109.21	FPC	Glass disk	
P	0.14% P ₂ O ₅	0.008% P ₂ O ₅	Cr	Ge 111	P Ka	140.00	FPC	Glass disk	
S	700		Cr	Ge 111	S Ka	110.68	FPC	Pressed powder	41-52
Cl	100		Cr	Ge 111	Cl Ka	92.75	FPC	Pressed powder	70, 71
K	1.7% K ₂ O	0.004% K ₂ O	Cr	PET	K Ka	50.69	FPC	Glass disk	
Ca	1.92% CaO	0.002% CaO	Cr	LIF200	Ca Ka	113.06	FPC	Glass disk	
Sc	7		Cr	LIF200	Sc Ka	97.65	FPC	Concentration necessary	72
Ti	0.83% TiO ₂	0.003% TiO ₂	Cr	LIF200	Ti Ka	86.12	FPC	Glass disk	55, 56
V	100	1	Au	LIF220	V Ka	123.16	FPC	Pressed powder	73
Cr	100	<1	Au	LIF200	Cr Ka	69.34	FPC	Powder/glass	Ti, V, Ba
Mn	850	<1	Au/W	LIF200	Mn Ka	62.96	FPC	Powder/glass	Cr
Fe	5.4% Fe ₂ O ₃	<1	Au	LIF200	Fe Ka	57.51	FPC/SC	Powder/glass	Mn
Co	8	<1	Au	LIF200	Co Ka	52.79	FPC/SC	Powder/glass	Fe
Ni	40	<1	Au	LIF200	Ni Ka	48.66	FPC/SC	Pressed powder	54
Cu	20	<1	Au	LIF200	Cu Ka	45.02	FPC/SC	Pressed powder	Ni
Zn	50	<1	Au	LIF200	Zn Ka	41.79	FPC/SC	Pressed powder	Au (tube), Cu
Ga	<1-30	<1	Mo	LIF200	Ga Ka	38.91	SC	Pressed powder	
Ge	1	<1	Mo	LIF200	Ge Ka		SC	Concentration necessary	
As	6		Mo	LIF200	As Ka	33.99	SC	Pressed Powder	Pb
Se	<1							Concentration necessary	
Br	5		Mo	LIF200	Br Ka	29.96	SC	Pressed powder	Br
Rb	100	<1	Mo	LIF200	Rb Ka	26.91	SC	Pressed powder	
Sr	300	<1	Mo	LIF200	Sr Ka	25.14	SC	Pressed powder	35
Y	50	<1	Mo	LIF200 ^c	Y Ka	23.79	SC	Pressed powder	57
Zr	300	<1	Mo	LIF200 ^c	Zr Ka	22.55	SC	Pressed powder	34, 57, 58
Mo	2				Mo Ka		SC	Concentration necessary	
Cd	0.06							Concentration necessary	
Sn	10							Concentration necessary	
I	5		Cr	LIF200	I La	102.80	FPC	Concentration necessary	

SMITH, 1983.

Elements majoritaris totals: Extracció-atac amb un àcid fort i valoració per AAS o FRX.

Elements majoritaris assimilables: Extracció amb acetat amònic i valoració per AAS o FRX.

Sulfats: Gravimetria.

Clorurs: Mètode de Mohr.

A aquestes anàlisis es sumen altres de caràcter físic:

Anàlisi granulomètrica: Mètode de Boyoucou, mètode de la pipeta de Robinson.

Corba de pF: Mètode de pressió-membrana de Richards.

Densitat aparent: Picnòmetre.

BIBLIOGRAFIA

- AFES-INRA (1990). Référentiel pédologique français. Troisième proposition. AFES. Plaisir.
- EVERY, B. W.; BASCOMB, C. L. (1974). Soil Survey Laboratory methods. Soil Survey Technical Monograph N° 6. Harpenden.
- BAIZE, D. (1988). Guide des analyses courantes en Pédologie. Choix-expression-présentation-interprétation. INRA. Paris.
- BAL, L. (1973). Micromorphological analysis of soils. Krips. Mappel.
- BARAHONA, E. y otros (1984). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. Determinación de carbonatos totales y caliza activa. Actas del I Congreso Nacional de Suelos. Madrid.
- BARTOLINI, R. (1989). La fertilidad de los suelos: terreno, planta, fertilizantes. Mundi-Prensa. Madrid.
- BENAYAS, J. (1982). Atlas de micromorfología de suelos e introducción a la micromorfología. Monografías de la ETSIA de Madrid, N° 84. Madrid.
- BISDOM, E. B. (1981). Submicroscopy of soils and weathered rocks. 1st workshop of the IWGSUSM. Pudoc. Wageningen.
- BLACK, C. A. y otros (1965). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. American Society of Soil Science. Madison.
- BLACK, C. A. y otros (1965). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Soil Science. Madison.

- BRIDGES, E. M. (1989). Soil horizon designations. ISRIC Technical Paper 19. Wageningen.
- BULLOCK, P. et al. (1985). Handbook for soil thin selection description. Waine Research Pub. Albrighton.
- CEOTMA (1984). Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. Serie Manuales 3. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España. Madrid.
- COMISION DEL BANCO DE DATOS DE SUELOS Y AUAS (1983). SINEDARES, Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Madrid.
- CORE GROUP (1989). International Reference Base for Soil Classification (IRB). Draft.
- CHAPMAN, H. D.; PRATT, P. . (1984). Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México.
- ESWARAN, H.; SHOBA, S. A. (1983). Scanning electron microscopy in soil research. Soil Micromorphology. 1: 19-47.
- FAO (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. FAO. Roma.
- FAO-UNESCO (1989). Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada. FAO. Roma.
- FITZPATRICK, E. A. (1988). Soil horizon. Designation and Classification. ISRIC Technical Paper 17. Wageningen.
- GAUCHER, G. (1968). *Traité de Pédologie Agricole. I. Le sol et ses caractéristiques agronomiques.* Dunod. Paris.
- GAUCHER, G. (1968). *Traité de Pédologie Agricole. II. Les facteurs de la pédogènes.* G. Lelotte. Dison.
- GRAETZ, H. A. (1984). Suelos y fertilizantes. Trillas. México.
- GRUPO DE TRABAJO DE NORMALIZACION DE METODOS ANALITICOS (1973). I. pH, materia orgánica y nitrógeno. Anal. Edafol. Agrobiol. 32: 1153-1172.
- GRUPO DE TRABAJO DE NORMALIZACION DE METODOS ANALITICOS (1976). II. Potasio, calcio y magnesio. Anal. Edafol. Agrobiol. 35: 813-824.
- GRUPO DE TRABAJO DE NORMALIZACION DE METODOS ANALITICOS (1978). Densidad real. Anal. Edafol. Agrobiol. 37: 1003-1016.
- GRUPO DE TRABAJO DE NORMALIZACION DE METODOS ANALITICOS (1982). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. Revisión bibliográfica de métodos de extracción de fósforo asimilable en suelos (1957-1980). Anal. Edafol. Agrobiol. 41: 1085-1112.
- GRUPO DE TRABAJO DE NORMALIZACION DE METODOS ANALITICOS (1982). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos. III. Fósforo asimilable. Anal. Edafol. Agrobiol. 41: 1331-1344.
- GUTHRIE, R. L.; WITTY, J. E. (1982). New descriptions for soil horizons and layers in the new Soil Survey Manual. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 443-444.
- JACKSON, M. L. (1982). Análisis químico de suelos. Omega. Barcelona.
- JAMAGNE, M. (1967). Bases et techniques d'une cartographie des sols. INRA. Paris.

- JONGERIUS, A.; RUTHERFORD, G. K. (1979). Glossary of soil micromorphology. Pudoc. Wageningen.
- KANWAR, J. S. (1978). Soil fertility: theory and practice. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi.
- KAURICHEV, I. S. (1984). Prácticas de Edafología. Editorial Mir Morcú. Moscow.
- LABORATORIO DE SALINIDAD DE U.S.A. (1982). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Limusa. México.
- LOF, P.; VAN BAREN, H. (1987). Soils of the world. ISRIC, FAO, UNESCO. Elsevier. Amsterdam.
- LÓPEZ RITAS, J.; LÓPEZ MELIDA, J. (1985). El diagnóstico de suelos y plantas. Mundi-Prensa. Madrid.
- LOZET, J.; MATHIEU, C. (1986).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (1982). Métodos oficiales de análisis: fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (1982). Métodos oficiales de análisis: suelos y aguas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Madrid.
- MUNSELL COLOR COMPANY (1975). Munsell Soil Color Charts. Baltimore.
- MURPHY, C. P. (1986). Thin section preparation of soils and sediments. A B Academic Publishers. Berkhamsted.
- NIEVES, M. y otros (1988). Clave de los suelos españoles. Mundi-Prensa. Madrid.
- OLSON, G. W. (1984). Field guide to soils and the environment. Applications of soil surveys. Chapman and Hall. London.
- PAGE, A. L. et al. (1986). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America. Agronomy monograph N° 9. Madison.
- PALMER, R. G. (1980). Introductory Soil Science Laboratory Manual. Iowa State University Press. Ames.
- PÉREZ MATEOS, J. (1965). Análisis mineralógico de arenas: Métodos de estudio. CSIC. Madrid.
- PORTA, J. (1979). Estudios edafológicos para prácticas de campo. 1. Suelos afectados por la salinidad. Monografías de la ETSIA de Madrid. N° 49. Madrid.
- PORTA, J. (1986). Técnicas y Experimentos en Edafología. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Cataluña. Barcelona.
- ROBERT, M.; TESSIER, D. (1974). Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. Annales Agronomiques. 25(6): 859-882.
- ROBERT, M. (1975). Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des rayons X. Annales Agronomiques. 26(4): 363-399.
- ROIG, A. y otros (1980). Estudio comparativo de métodos de determinación de capacidad de cambio catiónica en suelos calizos. Anales de Edafología y Agrobiología. 39: 2021-2032.
- ROQUERO, C.; PORTA, J. (1981). Agenda de campo para el estudio del suelo. Cátedra de Edafología, ETSIA. Madrid.

- ROQUERO, C. (1983). Dificultades en el empleo del sistema USDA Soil Taxonomy. *Anales de Edafología y Agrobiología*. 41: 1869-1886.
- SAVILLE, J. (1984). Biological and biochemical analysis of soils. *Plant and Soil*. 76: 127-137.
- SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS DE LOS EEUU. (1980). Manual de conservación de suelos. Limusa. México.
- SMITH, K. A. (1983). *Soil Analysis. Instrumental techniques and related procedures*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- SOIL CONSERVATION SERVICE US. (1972). Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigation Report N° 1. Washington DC.
- SOIL CONSERVATION SERVICE US. Handbook of Soil Survey Investigations. Field procedure. Soil Survey Investigation Report. Washington DC.
- SOIL SURVEY STAFF (1975). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agriculture Handbook N° 436. USDA. Washington DC.
- SOIL SURVEY STAFF (1981). *Soil Survey Manual*. (draft). Chapter 4. Examination and description of soils in the field. USDA. Washington DC.
- SOIL SURVEY STAFF (1990). *Keys to Soil Taxonomy*. SMSS Technical Monograph N° 19. Blacksburg.
- SOMBROEK, W. G. and R. F. VAN DE WEG (1983). Soil maps and their legends. *Soil Survey and Land Evaluation*. 3(3): 80-87.
- STOOPS, G. (1987). *Soil Mineralogy: techniques*. Rijkuniversiteit. Gent.
- SYS, I. C. (1985). *Land evaluation (I,II,III, Appendix)*. Rijkuniversiteit. Gent.
- THOREZ, J. (1975). *Phyllosilicates and clay minerals. A laboratory handbook for their X-ray diffraction analysis*. G. Lelotte. Liège.
- THOREZ, J. (1976). *Practical identification of clay minerals. A handbook for teachers and students in clay mineralogy*. G. Lelotte. Liège.
- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. (1977). *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Montaner y Simón. Barcelona.
- UNESCO-FAO (1963). *Bioclimatic map of the Mediterranean zone. Explanatory notes. Arid zone*. Res. XXI. Rome.
- USA SOIL CONSERVATION SERVICE (1983). *National Soils Handbook*. U.S. Dep. of Agriculture. Washington DC.
- USHAKOVA, N. N. (1987). *Analytical Chemistry for Soil Scientists*. Mir Publishers. Moscow.
- VELASCO, H. A. (1983). *Problemario. Uso y manejo del suelo (teoría y laboratorio)*. Limusa. México.
- VOINOVICH, I. A. y otros (1971). *L'analyse minéralogique des sols argileux*. Editions Eyrolles. Paris.
- WEBSTER, R. (1977). *Quantitative and numerical methods in soil classification and survey*. Monographs on Soil Survey. Clarendon Press. Oxford.
- WHITE, R. E. (1987). *Introduction to the principles and practice of Soil Science*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.