

CONTRIBUCIÓ AL CONEIXEMENT MINERALÒGIC D'UNS SÒLS LATERÍTICS DE L'ALT VOLTA *

Jaume Bech ** i Victoriano R. Vallejo ***

Rebut: agost 1978

SUMMARY

Contribution to the mineralogic study of a lateritic soil from Upper Volta.

The mineralogical composition of samples of a soil which has developed on top of granitic material in the Ouagadougou region (Upper Volta) is studied using the techniques of: X-ray diffraction, infrared spectrometry and differential thermal analysis.

The results obtained indicate the presence in the profile of kaolinite as the only neoformation of clay mineral, grains of quartz and small quantities of anatase and illite as inherited materials, iron oxides: hematite, goethite and amorphous gels such as hisingerite.

These minerals are found in the samples in a clayey-ferruginous material which contains quartz grains and pisolites in which the goethite is mainly concentrated.

No outstanding changes are observed in the profile except for the disappearance of the pisolitique structures at a depth of 1'10 m, although different coloured mottles continue to be present.

On account of the above mineralogical composition, these soils could be included in the sub-class of ferralytic soils, ferralytics with kaolinite group (DUCHAUFOR, 1977), in which this clay mineral dominates and weathering has almost totally destroyed the clays 2:1, thus not succeeding in forming gibbsite. These soils do not correspond to the actual climate of the region studied, and so they could form part of the abundant relict soils of the region (BOULET, 1970), whose origin would date from the most humid and warm periods of African Pleistocene.

INTRODUCCIÓ

En aquest treball s'estudien algunes mostres de sòls, dipositades per BENIGNE ROMAN (1967) al laboratori de Fisiologia

Vegetal i Edafologia de la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona, procedents de la regió d'Ouagadougou (República de l'Alt Volta) per tal de saber-ne la composició mineralògica.

* Aquest treball és dedicat a la memòria del Dr. Candel i Vila.

** Departament d'Edafologia. Facultat de Farmàcia. Universitat de Barcelona. Zona Universitària de Pedralbes. Barcelona.

*** Departament de Fisiologia Vegetal. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Gran Via, 585. Barcelona-7.

TAULA I

COLOR (EN SEC) DE LES MOSTRES DEL PERFIL

Mostra	Fondària m	Ciment color	%	Pisòlits color	%
C-1	0,40	10 R 6/8	40	10 R 3,5/3	10
		5 YR 7/3	40		
		2,5 YR 6/0	10		
C-2	0,80	10 R 5,5/8	50	10 R 4/6	30
		5 YR 8/4	15		
		2,5 YR 6/0	5		
C-3	1,20	10 R 5/8	50	10 R 5/6	10
		10 YR 8/1	40		
C-4	1,60	10 R 5/6	50		
		10 R 4/8	10		
		2,5 Y 8/0	40		
C-5	2,00	10 R 6/8	50		
		10 R 4,5/8	10		
		2,5 Y 8/0	40		
C-6	2,50	10 R 5/8	45		
		10 YR 8/8	10		
		2,5 Y 8/0	45		
C-7	3,50	10 R 6/8	40		
		10 YR 8/7	30		
		2,5 Y 8/0	30		
C-8	6,00	10 R 6/6	80		
		10 R 4/6	10		
		2,5 Y 8/0	10		

En primer lloc, es fa una breu descripció morfològica de les mostres. Després s'estudien amb les tècniques de difracció de raigs X, d'absorció d'infraroigs i d'anàlisi tèrmica diferencial. Finalment, es discuteixen els resultats i les implicacions pedagògiques que se'n deriven.

1. MATERIAL

El material estudiat consisteix en vuit mostres de sòl obtingudes a diferents profunditats d'un perfil de regòlit i una mostra d'escorça amb cuirassa laterítica.

1.1. Descripció morfològica

Les mostres són endurides i tenen l'as-

pecte típic laterític d'un rajol. Mantenen, per tant, l'estructura inicial.

Són constituïdes per un ciment fèrrico-argilós que inclou pisòlits i grans de quars, poc o molt abundants. Les proporcions i la morfologia d'aquests elements varien amb la fondària. Així tenim que els pisòlits, molt abundants en les mostres superficials del perfil i en la cuirassa laterítica, a partir d'1,10 m de fondària no es distingeixen diferenciats en el sapròlit. D'altra banda, el ciment de color rogenc de les mostres més superficials va disminuint en intensitat a mesura que considerem mostres obtingudes a més fondària (Taula I).

La mostra d'escorça amb cuirassa laterítica presenta en la part externa una superfície llisa i brillant de color vermell

fosc (10 R 3/2), i en la massa, abundants pisòlits de color 10 R 4/8 i un ciment de to més clar (7,5 YR 7/8).

2. ESTUDI MINERALÒGIC

2.1. Preparació de les mostres

S'han estudiat els pisòlits i el ciment, independentment, en aquelles mostres en què ha estat possible d'establir aquesta diferència.

Les proves s'han fet a partir del material polvoritzat en morter d'agata.

2.2. Difractometria de raigs X

2.2.1. Condicions experimentals

S'ha utilitzat el difractòmetre Philips Pw 1130/00/60 proveït de tub amb ànode de Cu i goniòmetre vertical de 0° a 165°, filtre monocromador de cristall de grafit. RM 4×10^2 , KV=40, fin. 4-1/4, TC=4.

L'espectre de difracció s'obté directament de la mostra polvoritzada.

2.2.2. Resultats

Els diagrames obtinguts presenten una composició mineralògica bàsica semblant en totes les mostres estudiades.

Així tenim els pics corresponents a la caolinita, fonamentalment a 7.165, 3.568 i 2.338 Å; quars a 3.338, 4.240 i 1.817 Å, i oligist a 2.686, 1.698 i 2.508 Å. Amb concentracions més baixes es detecta la presència d'illita pels pics a 4.900-4.926 Å de baixa intensitat i pels de 5.010 Å, 10.05 i 2.614 Å d'intensitat mitjana que apareixen més o menys aïllats en algunes mostres. La presència de bandes de difracció a 3.514 i 1.895 Å que corresponen amb les reflexions de major intensitat pròpies de l'anatasa ens suggereix la seva presència a dues de les mostres estudiades.

En les mostres pisolítiques s'ha detectat un pic d'intensitat mitjana a 2.430 Å que correspondria a la goethita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). S'hi pot admetre la presència d'aquest mineral perquè les altres difraccions més intenses que el caracteritzen a 4.18 i 2.69 Å s'interfereixen amb les del quars i l'oligist respectivament.

S'ha estudiat el comportament roentgenològic de la fracció ciment de les mostres C-1 i C-5 escalfades a 600 °C durant dues hores. En la Taula II es comparen

les bandes de difracció de la mostra de ciment de C-1 a temperatura ambient i a 600 °C. S'hi observa clarament la desaparició dels pics corresponents a la caolinita i que es mantenen les bandes de quars, oligist i anatasa que no sofreixen modificacions amb l'augment de temperatura. S'hi observa també l'aparició a 600 °C de tres pics de baixa intensitat, no identifi-

TAULA II
DIFRACCIÓ DE LA MOSTRA DE CIMENT
DEL NIVELL C-1.

Mostra normal		Mostra escalfada 600 °C - 2 hor.		Identificació
dÅ	I	dÅ	I	
7.135	50	7.625	5	caolinita illita
4.926	3	4.484	3	
4.440	15	4.250	60	caolinita quars
4.250	76	3.648	5	
4.152	18	3.514	5	caolinita oligist
3.575	35	3.338	100	
3.338	100	2.682	15	caolinita anatasa
2.682	6	2.508	12	
2.556	10	2.455	30	quars oligist
2.505	12	2.338	10	
2.455	23	2.281	23	caolinita quars
2.338	10	2.232	8	
2.278	20	2.191	3	caolinita i quars
2.235	13	2.127	13	
2.124	15	2.010	1	caolinita i quars oligist
1.976	13	1.981	15	
1.841	2	1.819	40	quars i caolinita
1.817	40	1.698	2	
1.787	1	1.672	27	oligist quars
1.698	2	1.659	3	
1.669	15	1.541	25	quars oligist
1.658	10	1.489	12	
1.541	30	1.479	3	quars oligist
1.489	12	1.452	7	
1.452	8	1.382	18	quars quars
1.382	18	1.375	20	
1.375	23	1.373	24	quars quars
1.373	24			

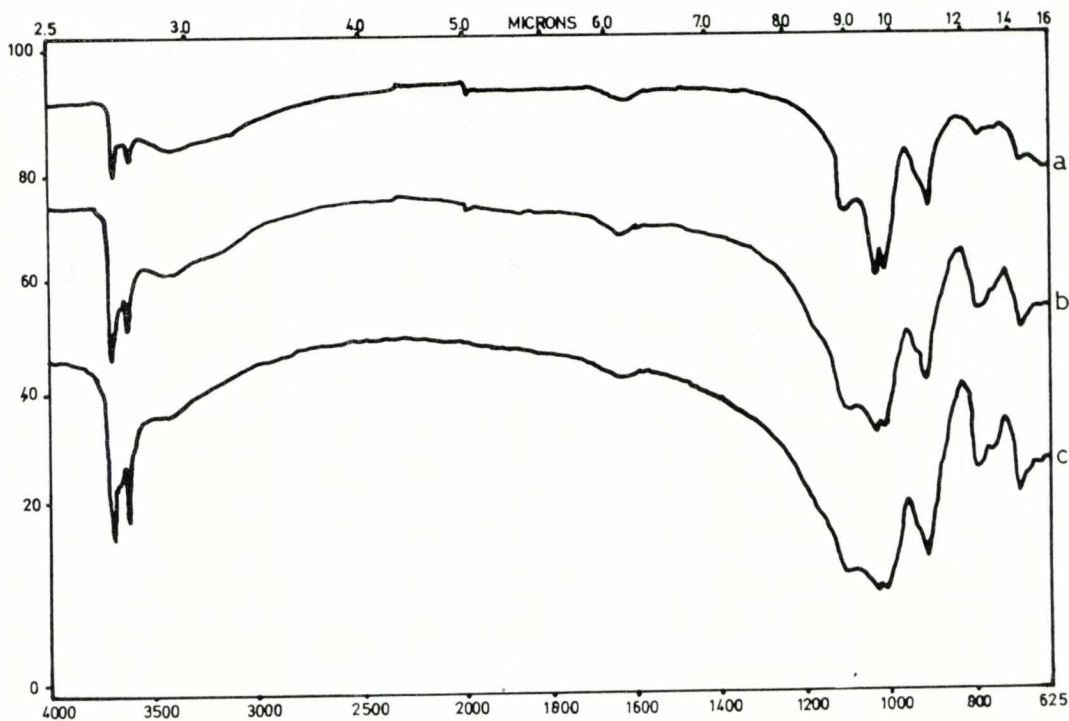


FIG 1. Espectres d'IR de les mostres següents: a) pisolits i b) ciment del nivell C-2. c) nivell C-8. Infrared spectra of the following samples: a) pisolites and b) cement material from C-2; c) C-8.

cats en principi, a 7.625, 4.484 i 2.010 Å. Les bandes a 7.6 i 4.4 Å podrien ésser de l'hal·loïsit, però aquest mineral es destrueix a partir de 500 °C (HAYASHI & OINUMA, 1963). És possible que aquest pic correspongui a la reflexió d 002 d'algun mineral del grup de les clorites que mantenen llurs bandes a aquesta temperatura. Tanmateix, no podem assegurar que aquestes argiles hi siguin presents perquè no detectem les altres bandes característiques del grup.

2.3. Absorció de raigs infraroigs

2.3.1. Condicions experimentals

L'espectrofotòmetre utilitzat és del model Perkin-Elmer 257. Els espectres es registren en amplitud de freqüència de 625 a 4.000 cm^{-1} . Treballem a una velocitat de registre mitjana i amb esclatxa normal.

A partir de 2-3 mg de la mostra, prèviament polvoritzada en morter d'agata, es prepara una pastilla transparent amb BrK, amb la qual fem l'anàlisi.

2.3.2. Resultats

La composició dels espectres d'absorció obtinguts presenta característiques comunes en totes les mostres estudiades. Tenim, d'una banda, la confirmació de la presència de caolinita i quars com a constituents principals de les mostres, com s'expressa en els exemples de la figura 1; de l'altra, bé que l'oligist té poques i febles bandes d'absorció que el fan difícilment identificable amb aquesta tècnica, la goethita produeix amples bandes en la zona dels hidroxils, a uns 3.190 cm^{-1} , i no interfereix amb altres minerals presents en aquests sòls; també presenta pics a 1.115 i 670 cm^{-1} , els quals són més intensos en les mostres de pisolits.

La illita, identificada per difracció de raigs X, presenta bandes comunes amb la caolinita, però no és identificable per absorció d'IR perquè és en baixa concentració en les mostres.

En totes les mostres apareixen clares bandes d'absorció a $3.400\text{-}3.440 \text{ cm}^{-1}$ i 1.630 cm^{-1} , corresponents, respectivament,

a les vibracions d'estirament i deformació dels OH de molècules d'aigua absorbides a algun dels minerals presents. Les mostres C-5 i C-6 presenten febles absorcions a 3.250 cm^{-1} , que corresponen a les vibracions de molècules d'aigua estretament lligades a la superfície del mineral o bé a aigua cristal·lina. Aquestes molècules d'aigua podrien anar relacionades amb la possible presència d'un mineral amorf: la hisingerita ($m\text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{ SiO}_2 \cdot p\text{ H}_2\text{O}$). Els pics d'absorció d'aquest mineral, a més dels de l'aigua esmentats, són a 3.645 , 1.105 i 1.030 cm^{-1} . El pic a 3.250 cm^{-1} correspon a aigua absorbida en els petits porus que presenta aquest gel.

Les molècules d'aigua podrien pertànyer també a alofanos, que es caracteritzen a més per un pic a 3.610 cm^{-1} present en els nostres espectres, i/o halloïsite, mineral molt difícil d'identificar en presència de caolinita amb les tècniques emprades.

Finalment, encara que la composició qualitativa de les diferents mostres és bàsicament la mateixa, s'observa que la intensitat dels pics corresponents a la caolinita en la zona dels hidroxils és major en les mostres de ciment que en les pisolítiques. Per això suposem que hi ha una concentració més petita d'argiles en aquestes amb acumulació d'òxids de Fe.

2.4. Anàlisi tèrmica diferencial

2.4.1. Condicions experimentals

S'ha utilitzat l'equip Philips Tipus D-600, Delthatherm III, amb velocitat d'escalfament de $10^\circ/\text{min.}$, sensibilitat $2^\circ\text{C}/\text{pulg.}$ i registre de temperatures entre ambient i 100°C . Els termopars són de Cr/Al. Les proves es fan a atmosfera ambient.

2.4.2. Resultats

Els termogrames obtinguts tenen com a característiques comunes la presència d'un pic endotèrmic a $110/130^\circ\text{C}$, corresponent a aigua d'hidratació superficial, dels pics de la caolinita, reacció endotèrmica a $584-596^\circ\text{C}$ i exotèrmica a $942-961^\circ\text{C}$, i finalment de pics endotèrmics en la zona dels òxids. En aquesta zona, les mostres de pisolits només presenten pic endotèrmic a $300-330^\circ\text{C}$, mentre que en altres mostres del perfil es distingeixen

clarament dos pics endotèrmics a $282-300^\circ\text{C}$ i a $327-356^\circ\text{C}$. En la mostra d'escorça amb cuirassa laterítica les reaccions es produeixen a 338 i 370°C . Aquests pics s'atribueixen a la goethita, i la variabilitat de la seva posició és explicable per diferents graus de cristallització o contingut d'aigua d'aquest mineral. La gibbsita també perd OH a uns 300°C , però descartem que els corresponguin els clars pics dels nostres termogrames perquè no s'ha identificat aquest hidròxid per les tècniques anteriors.

L'A.T.D. no ens permet de detectar la presència d'oligist perquè aquest mineral no s'altera durant l'escalfament.

El quars queda dissimulat per la presència de caolinita.

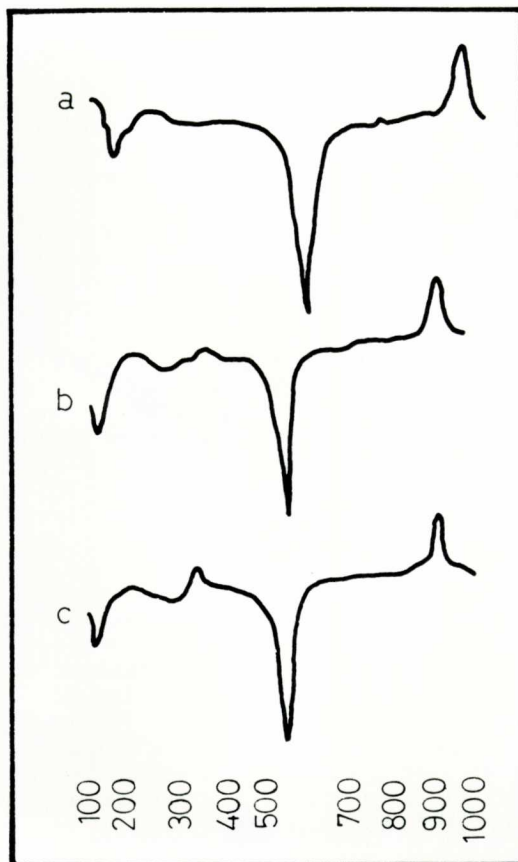


FIG. 2. Anàlisi tèrmica diferencial de les mostres següents: a) Ciment i b) pisolits del nivell C-1; c) nivell C-8.

Differential thermal analysis of the following samples: a) cement material and b) pisolites from C-1; c) C-8.

En una sola mostra (pisòlits del nivell C-1) tenim un pic exotèrmic a 359 °C que podríem atribuir a la presència de magnetita en petita proporció i/o a l'oxidació de matèria orgànica. En la mostra C-8 apareix un pic exotèrmic a 759 °C d'interpretació difícil. YOGANARASIMHAN & RAO (1962) afirmen que en aquesta temperatura l'anatasa es transforma en rutil.

No es detecta la presència d'illita per A.T.D., ja que, si bé tindria un pic endotèrmic a 560 °C que quedaria dissimulat pel de la caolinita, no hi apareix l'exotèrmic característic a 815 °C.

3. DISCUSSIÓ

3.1. *Discussió dels resultats*

De l'estudi de les mostres per les tècniques anteriors podem extreure les conclusions següents sobre la composició mineralògica d'aquests sòls:

— El component majoritari d'aquestes mostres és la caolinita, que seria l'únic mineral d'argila de neoformació en aquests sòls, perquè la illita, d'escassa presència, probablement és heretada.

— Hi destaca també l'abundància de quars, que, juntament amb l'anatasa present en algunes mostres de ciment, seria un producte residual de l'alteració del granit.

— S'hi confirma la presència de goethita suggerida per alguns pics de difracció, mitjançant l'A.T.D., lligada fonamentalment als pisòlits. Hi tenim també la presència d'oligist, fàcilment detectable per raigs X.

— Els diagrames d'absorció d'Ir ens suggereixen que hi hagi possiblement gels amorfs com la hisingerita i alofanos que no ha pogut ésser confirmada per A.T.D. a causa de la interferència de pics de la goethita i caolinita.

— No s'hi ha observat la presència de gibbsita, mineral comú en sòls ferralítics, fàcilment detectable per raigs X i Ir.

— La composició qualitativa de les fraccions considerades és similar. Varia, únicament, la proporció de goethita que es concentra en els pisòlits.

3.2. *Implicacions pedogèniques i sistemàtiques dels resultats obtinguts*

El clima de la zona d'Ouagadougou (ROMAN, 1967), amb pluges de l'ordre de 870

mil·límetres anuals i una estació seca de cinc mesos (clima de transició a Sahèlic), es correspondria amb un sòl, sobre roca granítica, de la subclasse ferruginosa (DUCHAUFOUR, 1977). En aquest sòl l'alteració, no tan forta com en sòls ferralítics, deixa una certa proporció d'argiles 2:1 i només hi apareix la caolinita com a argila de neoformació. En aquests sòls no s'arriba mai a formar gibbsita.

Així i tot, la forta coloració rogenca, el gruix de la capa saprolítica del perfil estudiat (fins a 8 m) i la presència gairebé nul·la de minerals argilosos 2:1 intactes suggereixen la possibilitat que aquests sòls es puguin incloure en la subclasse dels sòls ferralítics, grup ferralítics amb caolinita (DUCHAUFOUR, 1977). En aquest grup de sòls, desenvolupats sobre granit, la presència de certes quantitats de Si procedent de la desilificació lenta del quars pot ésser suficient per a impedir la formació de gibbsita i únicament es produeix la gènesi de caolinita.

Per tant, ja que la composició mineralògica d'aquests sòls ens porta a la conclusió que pertanyen a la subclasse de ferralítics que no es desenvolupen en el clima actual de la zona, suposem que tenen caràcter de relicte i que la seva gènesi té relació amb episodis més humits i càlids del plistocè africà.

Les taques i concrecions que presenten les mostres són degudes a fenòmens d'hidromorfia canviant.

La mostra d'escorça amb cuirassa laterítica presenta una composició mineralògica semblant al perfil anterior i una estructura pisolítica. Per això podem situar-la dins la mateixa subclasse dels sòls ferralítics però del grup ferralítics amb segregació hidromorfa de Fe (sòls ferralítics endurits). Aquests horitzons endurits, cuirasses, es formen a una certa fondària en els sòls ferralítics, al nivell d'un horitzó B (DUCHAUFOUR, 1977) i sovint en perfils antics. L'erosió molt forta en aquesta zona de vegetació sabanoide deixa al descobert aquestes cuirasses, com és el cas de la mostra estudiada.

4. CONCLUSIONS

De l'estudi mineralògic de les mostres del perfil d'Ouagadougou, mitjançant les tècniques de raigs X, Ir i A.T.D., concloem que el saprolit és constituït per una massa

fèrrico-argilosa formada per caolinita i oligist, fonamentalment, i hisingerita en menor proporció que engloba pisòlits en els quals es concentra goethita i materials heretats, com grans de quars, anatasta i petites quantitats d'illita.

Aquestes dades, juntament amb la no presència de gibbsita, el gruix del perfil i la coloració d'aquest, ens fan pensar que aquests sòls es poden considerar del grup ferralítics amb caolinita, relictos en el nostre cas.

Vagi el nostre agraïment als companys E. Ballbè, M. A. Cuevas, S. Julià, A. Traveria i F. Vall per la col·laboració prestada.

BIBLIOGRAFIA

- BOULET, R. 1970. La géomorphologie et les principaux types de sols en Haute-Volta septentrionale. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, VIII, núm. 3.
- CHATELIN, Y. 1974. *Les sols ferrallitiques. L'alteration*. ORSTOM, Paris.
- DELVIGNE, J. 1965. *Pédogénese en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique*. ORSTOM, Paris.
- DUCHAUFOUR, P. 1977. *Pédologie. 1. Pédogénese et classification*. Masson, Paris.
- HAYASHI, H. & OINUMA, K. 1963. X-ray and Infrared studies on the behaviours of clay minerals on heating. *Clay Sc.*, 1, 6: 8-28.
- LEVÉQUE, A. 1967. *Les sols ferrallitiques de Guyane Française*. ORSTOM, Paris.
- ROMAN, B. 1967. Los suelos del Alto Volta. *Estud. Geográf.*, 107.
- SEGALEN, P. 1966. Altération des minéraux primaires. Synthèse des minéraux secondaires au cours de la ferrallitisation. *Cah. ORSTM, sér. Pédol.*, IV, 4, 5.
- SEGALEN, P. 1966. Le processus de ferrallitisation et ses limites. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV, 4, 15.
- VAN DER MAREL, H. W. & BEUTELSPACHER, H. 1976. *Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures*. Elsevier. New York.
- YOGANARASIMHAN, S. R. & RAO, C. N. R. 1962. *Trans. Faraday Soc.*, 58, 1579-1589.