



NATURALEZA DE LA FRACCION ARCILLOSA
 DE ALGUNOS SUELOS DERIVADOS DE
 CENIZAS VOLCANICAS DE LAS ANTILLAS,
 EL ECUADOR Y NICARAGUA

F. COLMET-DAAGE

*Communic. présentée au Panel on
Volcanic ash soils in Latin
America . July 6-13, 1969.*

*ODEA - FAO . Turrialba - Costa Rica,
 1969, 14. B2-1 - B2-11.*

B13691

NATURALEZA DE LA FRACCION ARCILLOSA DE ALGUNOS SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE LAS ANTILLAS,
EL ECUADOR Y NICARAGUA

F. Colmet—Daage*

con la colaboración de:

J. M. Gautheyrou*

G. Sieffermann**

M. Pinta, G. Fusil, F. Koukoui**

M. DELAUNE**

C. de Kimpe***

INTRODUCCION

Los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen a menudo propiedades particulares que los diferencian claramente de los suelos sobre formaciones volcánicas duras.

Estas propiedades originales deben atribuirse a la presencia, en la fracción fina inferior a dos micras, de minerales arcillosos que se encuentran muy rara vez en los otros suelos de los trópicos. El conocimiento de estos minerales arcillosos, esencialmente sustancias amorfas alofánicas y haloisita con numerosas variantes, es muy útil para la clasificación de estos suelos y su utilización agronómica.

En las regiones tropicales estudiadas, la evolución de los suelos sobre cenizas volcánicas está condicionada, en primer lugar, a la pluviosidad o más exactamente a las posibilidades de los suelos de mantenerse húmedos a lo largo de todo el año, o al contrario, estar afectados por desecaciones de intensidad variable durante ciertos períodos.

En las regiones de pluviosidad alta (más de 2,5 m) o con evapotranspiración reducida (zonas nubladas), se observa la aparición y permanencia de sustancias alofánicas amorfas o poco organizadas. Las sustancias amorfas son frecuentes en los suelos tropicales, pero corresponden generalmente a hidróxidos metálicos. En el caso de las sustancias amorfas alofánicas, la sílice está igualmente presente en cantidad notable.

La alteración de los elementos primarios entraña, en las formaciones ya antiguas, un importante aumento cuantitativo de estas sustancias alofánicas y las propiedades características de éstas se vuelven cada vez más notables. Este aumento puede estar acompañado de modificaciones todavía no bien conocidas, de la naturaleza de las sustancias amorfas alofánicas, sin cambio notable de sus propiedades esenciales. La modificación más evidente es la aparición de la gibsita.

En las regiones de pluviosidad moderada (1,5 m a 2,5 m), con estación seca acentuada, lo que implica cierta desecación del suelo, por lo menos de los horizontes superiores, la aparición de la haloisita es un fenómeno general, pero que presenta numerosas variantes, ya sea que se trate de la proporción de la haloisita o de su naturaleza. Hay que señalar que se trata de la haloisita caracterizada por la raya a 10 Å en los rayos X y que pasa hacia 7,3 Å después de calentamiento a 1000. La intensidad de todas las rayas es variable pero parece que con los rayos X la identificación es la más segura. El aumento de la proporción de haloisita con el transcurso del tiempo, en general acompañado de una mejor cristalinidad del mineral, a veces de su deshidratación parcial en metahaloisita, entraña la formación de suelos con una gran proporción de arcilla, que tienen cierto número de propiedades que pueden atribuirse a dicho mineral. Las facies más evolucionadas con individualización de goetita, de gibsita, o de otras arcillas caolínicas (fire-clays, etc.) pierden progresivamente, en parte, estos caracteres y se parecen a los suelos ferralíticos.

Esta diferenciación esquemática bien clara de la evolución, conduce a la distinción de dos conjuntos principales: los suelos hidratados con sustancias amorfas alofánicas y los suelos con haloisita.

Según nuestros actuales conocimientos, parece útil prever un tercer conjunto intermedio entre los anteriores, que corresponde a ciertos suelos todavía jóvenes, arenosos, en los cuales la presencia de haloisita, aunque probable, no es segura, o la haloisita aparece distintamente, pero en ellos es difícil saber si ciertos caracteres observados, que recuerdan los de las sustancias amorfas, deben atribuirse a una proporción importante de éstas o a una forma particular, todavía joven, de la haloisita. En la incertidumbre, este conjunto puede denominarse "suelos de transición alofana—haloisita o suelos jóvenes de haloisitas".

* Centre des Antilles de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer. Bureau des sols. Martinique, Guadeloupe.

** O.R.S.T.O.M., France

*** Institut Agronomique de Lourain, Belgique, et Ministère de l'Agriculture, Quebec, Canada.

19 JAN 1970

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 13691 ex 1

B.2.2

En las regiones más secas se identifica también la montmorillonita, pero la haloisita parece asimismo siempre presente.

Estas distinciones corresponden a los suelos que hemos estudiado en las regiones de clima relativamente húmedo. Es posible que en otros países, sobre todo los que tienen estación seca notable y en donde los suelos resultan de períodos de evolución mucho más largos, tales contrastes no aparezcan tan claramente, que se deba dar preferencia a otros aspectos juzgados como más importantes.

LOS SUELOS DE ALOFANAS MUY HIDRATADOS

Caso de los suelos de las Antillas y del Ecuador (sin gibsita)

Las propiedades de los suelos que se pueden atribuir a las sustancias alofánicas son tanto más notables cuanto más importante es su proporción. Es preferible, entonces, tomar como referencia suelos relativamente antiguos, en los cuales los fenómenos de alteración han podido desarrollarse en períodos de tiempo suficientemente largos como para haber permitido cierta "argilización" del suelo, en el sentido granulométrico.

Estas propiedades son las siguientes:

— La absorción de agua puede ser considerable. Son frecuentes valores de 100 a 150 de agua por 100 g de suelo seco en la estufa a 105°. A veces se observan valores de 250—300 en horizontes moderadamente orgánicos de profundidad, para un contenido de sustancias inferiores a dos micras, que no pasa de 50 por ciento del suelo. Estos grandes contenidos de agua entrañan bajos valores de la densidad aparente del suelo: 0,3 a 0,8 y a veces 0,25. Relacionadas con el volumen del suelo, las cifras de humedad indicadas son claramente más pequeñas. Una parte muy grande de esta agua se pierde irreversiblemente por desecación al aire, a temperatura ordinaria, si la humedad desciende a valores inferiores a los que corresponden a pF 4,2. Este fenómeno se ha puesto bien en evidencia con las medidas de pF efectuadas en muestras conservadas en su humedad natural y tamizadas o en muestras rehumedecidas después de secamiento al aire. Aun después de varios meses de rehumectación, nunca se alcanzan de nuevo los valores primitivos. Existe una correlación íntima entre las humedades observadas en el campo, bastante constantes en el transcurso del año y los valores obtenidos con pF 2.5 en muestras secas.

— La diferencia entre las humedades a pF 2,5 y a pF 4,2 medidas en muestras frescas, expresada en peso, es a menudo muy importante (30 a 60% g de suelo seco) pero se vuelve tanto más pequeña en muestra secada previamente al aire, cuanto más hidratadas son las sustancias y aparentemente más en estado amorfo, llegando a veces a desaparecer. La diferencia entre pF 2,5 y pF 4,2 medido en muestra secada al aire, crece claramente cuando la humedad natural es más pequeña y cuando aparece un comienzo de organización evidenciado por otros métodos. La desecación al aire de las sustancias amorfas fuertemente hidratadas conduce a un hundimiento completo del suelo, que se transforma en masas a menudo duras, sin microporosidad. Por el contrario, en presencia de sustancias mejor organizadas, el suelo conserva cierta estructura, pero la presencia más importante de limo y de arena fina puede modificar un poco estas observaciones.

— La capacidad de intercambio de bases es importante, alcanzando 40 a 100 meq/100 g de suelo, lo cual es alto para suelos que no contienen sino 30 a 40 por ciento de partículas de diámetro inferior a dos micras. Esta capacidad es claramente más alta medida en la muestra conservada fresca, que en el suelo secado al aire y este fenómeno es más notable cuanto más húmeda y menos orgánica es la muestra. Con el acetato de amonio, las diferencias pueden ser muy importantes, según se haga el análisis a pH 4,0, 7,0 ó 9,0 y la diferencia entre estas medidas pueden llegar al doble. Los lavados con alcohol del exceso de acetato, entrañan modificaciones muy sensibles si los modos de operación no son idénticos. Entonces, es necesario observar rigurosamente una técnica para tener resultados comparables. Nosotros ejecutamos un primer lavado con el alcohol diluido a 50 por ciento neutralizado y después siguen los lavados con alcohol puro (etanol).

— Los contenidos en bases intercambiables no son una característica de los suelos con alofanas, pero reflejan el clima, la intensidad de lixiviación, como para los suelos ferralíticos. Hay que anotar, sin embargo, los contenidos muy pequeños en magnesio. Al contrario, el comportamiento del pH es muy especial, independiente del estado de saturación en bases. Se pueden encontrar valores relativamente altos de pH en agua, cercanos a 6, en los horizontes profundos, totalmente desaturados. Los valores de pH medidos en el KCl normal son cercanos a éstos y a veces superiores, fenómeno que no se llega a observar sino con ciertas arcillas rojas bauxíticas. En presencia de materias orgánicas, es decir en los horizontes superficiales, a pesar de que a menudo son mejor saturados en bases intercambiables, el pH es más bajo, a veces muy ácido.

Este comportamiento particular del pH puede relacionarse con la dispersión de la fracción fina en medio ácido o en medio básico. Los horizontes superficiales, más orgánicos, se dispersan con frecuencia bien en medio alcalino, amoniacal, pero los niveles más profundos no se dispersan sino en medio ácido, o por lo menos mejor en éste que en

B.2.3

medio amoniacal. La presencia de pequeños agregados muy estables que ningún pretratamiento (benceno, etc.) parece poder disgregar sin disoluciones parciales, exige un tratamiento previo con ondas ultrasónicas, efectuado sistemáticamente. Hay que anotar también que por eliminación magnética de diversas partículas arenosas, magnetita, etc., se obtienen suspensiones mucho más estables, sin que se conozcan bien las razones exactas para ello.

El modo de dispersión es entonces variable según los suelos y, a menudo, según los horizontes sucesivos y sólo el ensayo de diversas técnicas permite dar una cifra verosímil de la proporción de sustancias de tamaño inferior a dos micras.

La importancia de estas sustancias inferiores a dos micras para las propiedades esenciales del suelo y la validez de los métodos de dispersión, parece confirmada por las técnicas de disolución sucesiva diferencial. Un solo tratamiento con ácido clorhídrico 8N en frío (30 minutos) seguido de sosa 0,5N (5 minutos a 100°) (9), tratamiento que ataca muy lenta y regularmente los retículos de las arcillas cristalinas, basta para disolver una cantidad de sustancias (relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cercana a 1) que corresponde notablemente a los valores encontrados por el análisis granulométrico. Después de este tratamiento desaparecen todas las propiedades indicadas anteriormente para estos suelos, en particular los valores de la capacidad de intercambio, que se vuelven insignificantes. La disolución es más rápida y completa cuanto más en estado amorfo y poco organizado parece estar la sustancia. Un comienzo de organización, en haloisita, imogolita, gibsita u otras sustancias no bien identificadas, pero cuya existencia se revela por las técnicas de estudio de estructura, se traduce por una disolución más progresiva, en particular de la alúmina. La repetición de estos tratamientos ácidos y básicos implica, para la mayor parte de las arcillas clásicas, caolinitas, montmorillonitas, etc., o las partículas primarias, una disolución relativamente constante de la sílice, del hierro y de la alúmina. Sin embargo, el hierro y la alúmina pueden dar lugar, en ciertos casos, a separaciones importantes en el curso de la primera extracción, tal como en los suelos de alofanas, pues puede tratarse sea de hidróxidos amorfos, sea de elementos en posiciones superficiales o incluidos en las hojas, pero de fácil extracción, sin que resulte de ello una modificación notable de la estructura de éstas.

Por el contrario, con las arcillas u otras sustancias cristalinas, la disolución de la sílice es casi siempre constante y no se observa una separación mucho más importante de SiO_2 en la primera extracción, como en el caso de los suelos de alofanas.

Con todo, parece que la disolución de la haloisita, por lo menos de ciertas formas y de ciertas montmorillonitas ferríferas o aluminosas, es igualmente importante por este método. Sin embargo, el aspecto de las curvas de disolución es muy diferente del de las curvas obtenidas con las sustancias amorfas. Con estas arcillas, la disolución es importante pero relativamente constante, cuando se trata de las primeras extracciones; después las curvas de disolución se doblan progresivamente, sea a consecuencia de la disminución de la sustancia global de ciertas formas relativamente mejor solubilizadas. No hay entonces la disolución muy fuerte comprobada para las alofanas desde el primer ataque, en particular de la sílice, y luego la disminución brutal desde la segunda extracción, a menudo con la suspensión casi total de la disolución de la alúmina y el hierro. Los fenómenos de disoluciones sucesivas de las sustancias amorfas y cristalinas contrastan entonces muy bien en los casos extremos, pero en el caso de mezclas o de sustancias semiorganizadas o de esbozos de estructura, la interpretación es más compleja. La presencia muy frecuente, en la fracción fina de los suelos livianos, de conchas de diatomeas, puede deformar, por exceso de sílice, los resultados de análisis totales de estas fracciones.

Las sustancias inferiores a dos micras o aun las sustancias que se disuelven fácilmente, —responsables de las propiedades que hemos examinado— presentan pocas rayas visibles por difracción con rayos X y su estudio por este método es así limitado.

Sin embargo, aparecen con frecuencia ciertas rayas más o menos separadas. Es posible que algunas pertenezcan a minerales primarios, sobre todo cuando aparecen las otras rayas asociadas. Es el caso de la raya a 3,33 para el cuarzo, cuando se manifiesta igualmente la raya a 4,24. La raya a 4,04 Å, muy frecuente, se debe sea a la cristobalita, sea a diversos feldespatos, cuando las otras rayas son notables.

Otras rayas aparecen con bastante frecuencia; entre ellas están aquéllas a 8,4 Å y un fondo importante característico a 12–20 Å, del cual emergen a veces rayas más claras hacia 14 Å. La intensidad de estas dos últimas rayas y aun su misma aparición, puede depender del tamaño de las partículas. Ellas desaparecen o son con frecuencia menos visibles en las fracciones más finas. La raya o la banda hacia 14 Å, en muestra orientada, saturada en magnesio, no se hincha con el glicerol sino que pasa, según parece en ciertos casos, hacia 18 Å por calentamiento a 300° o lo más a menudo desaparece, así como a 500°.

Este fenómeno, que indicaría la presencia de alguna sustancia similar a la imogolita parece más frecuente en las formaciones fuertemente hidratadas, enterradas, relativamente antiguas, para las cuales la proporción de sustancias inferiores a dos micras es alta, las partículas primarias finas han desaparecido o están extremadamente alteradas y es importante la autoaluminización. Sin embargo, la presencia de una raya clara hacia 13–14 Å es también frecuente en

B.2.4

formaciones todavía muy jóvenes. No es imposible que se trate en ciertos casos de algunas formas transitorias de montmorillonita, probablemente aluminosas, cuya dilatación con el glicerol rara vez se evidencia; pero algunas veces, sin embargo, se sabe que ciertas montmorillonitas ricas en alúmina o en hierro entre las hojas, son difíciles de identificar por los métodos acostumbrados, ya que sus propiedades de dilatación con el glicerol y de contracción con el calentamiento, se perturban.

Además de estas rayas frecuentes, que parecen presentar ciertos aspectos de las imogolitas pero que no aparecen siempre claramente, hay que anotar el caso de la aparición de una raya hacia $4,37 - 4,45 \text{ \AA}$, que caracteriza el esbozo de una estructura. El acrecentamiento de intensidad de esta raya conlleva un debilitamiento de las propiedades principales, que conciernen a la hidratación, la capacidad de intercambio de bases, etc.

El análisis térmico diferencial se efectúa en muestras secadas en la estufa para evitar pérdidas de agua considerables. En estas condiciones, se comprueba un pico endotérmico notable hacia 150° a 170° . El pico exotérmico hacia 900° tiene una intensidad variable y se produce a una temperatura un poco diferente, según las muestras. Hasta ahora se han encontrado pocas relaciones precisas entre estas observaciones y el modo de formación de los suelos o sus propiedades. El pico parece más notable en los suelos más jóvenes y más separado en las formas tal vez ya un poco organizadas, más antiguas.

Hacia 420° se observa un pico endotérmico muy frecuentemente, sobre todo, según parece, en las formaciones fuertemente hidratadas, ya antiguas. La presencia de este pico a 420° puede estar asociada o no con la existencia de rayas claras hacia 14 \AA , con el paso probable de éstas hacia 18 \AA en muestras saturadas en magnesio o desaparición por calentamiento a 300° .

Se observan picos exotérmicos de 500° a 850° , a menos que se tomen precauciones especiales, las cuales consisten en varios tratamientos con agua oxigenada, después de la extracción de la fracción inferior a dos micras. Parece que se trata de ligazones con materias orgánicas especialmente resistentes, pues la repetición de los tratamientos con agua oxigenada termina por absorberlas en la mayor parte de los casos, pero es posible explicar esto también de otra manera.

El análisis térmico diferencial parece muy sensible a la aparición de la haloisita. La existencia de una raya notable hacia $4,4 \text{ \AA}$, aun sin una raya observable a 10 \AA ó 7 \AA , implica inmediatamente la aparición de un pequeño pico endotérmico hacia 500 ó 550° , cuya intensidad crece, así como la temperatura, cuando se precisan los caracteres de la haloisita con los rayos X. Es posible que ciertas inflexiones endotérmicas hacia 800° puedan ser atribuidas a la montmorillonita, pero en verdad no se podría afirmar. Si hay montmorillonita, se trata entonces de formar aluminosas o ferríferas, cuya temperatura de descomposición ha bajado sensiblemente. Las dificultades que presentaba la identificación de esta arcilla con los rayos X, se vuelven a encontrar con el análisis térmico diferencial.

El análisis termo-ponderal muestra una salida de agua progresiva hasta más o menos 30 por ciento en muestras secadas previamente en la estufa. Por esta razón, no parece que esta técnica que hemos empleado pueda aportar enseñanzas útiles.

Al contrario, la espectrografía en infrarrojo parece bien adaptada y prometedora para un examen más profundo de la estructura.

La banda de absorción SiO puede pasar, en las sustancias estudiadas, de 940 cm^{-1} a 1030 cm^{-1} . Este paso demostraría la disminución de la perturbación engendrada en el retículo silíceo por la presencia de átomos de aluminio tetracoordinados, que están incluidos allí. Las medidas de fluorescencia X y los estudios en infrarrojo han demostrado, de manera segura, que mientras más aumenta el contenido de aluminio octaédrico o hexacoordinado, más se desplaza la banda de vibración SiO hacia las frecuencias elevadas. El desplazamiento de esta banda parecería entonces indicar el esbozo de organización de una capa octaédrica. En realidad, es en las muestras que los métodos usuales indican cómo las más amorfas que la banda SiO se encuentra hacia 940 cm^{-1} . Se la encuentra a más de 1000 cm^{-1} , ya sea en las muestras que poseen manifiestamente un comienzo de organización sensible, o también en ciertas muestras en donde el esbozo de organización indicado por las otras técnicas es poco perceptible (caso de las imogolitas). Ciertos otros índices parecen acompañar el desplazamiento de la banda SiO y su definición, subrayando así el comienzo de una estructura y la sensibilidad de la técnica utilizada. La banda de deformación Al^{IV}-O-H hacia 910 cm^{-1} es progresivamente más clara, así como la banda a 1100 cm^{-1} ; se diferencia el doblete SiO hacia $440-470 \text{ cm}^{-1}$. El par de bandas SiO-Al entre 500 y 750 cm^{-1} aparece lentamente. La banda de absorción, debida a los hidróxidos, hacia 3700 cm^{-1} , luego a 3620 cm^{-1} se dibuja progresivamente, aunque persiste una fuerte absorción de 3000 a 3700 cm^{-1} .

La banda a 800 cm^{-1} que se podría atribuir a la estructura en anillo de los tetraedros de sílice (Fripiat, 1963) aparece rara vez. Ella indicaría un retículo silíceo ya bien ordenado, que puede pertenecer a materiales residuales, o a la capa tetraédrica de las sustancias neoformadas. Esta banda a 800 cm^{-1} no aparece en nuestros suelos de regiones tropicales cálidas. Es posible que esté simplemente enmascarada.

B.2.5

Las sustancias amorfas fuertemente hidratadas se caracterizan entonces en la espectrometría infrarroja, por una gran absorción entre 3000 y 3700 cm^{-1} por una parte y entre 900 y 1200 cm^{-1} por otra, con posición variable del máximo (940 a 1030 cm^{-1}) y una banda acentuada a 1600 cm^{-1} . Pueden aparecer igualmente ciertos indicios que denotan un esbozo de organización y que no lo evidencian las otras técnicas menos sensibles.

El estudio en el microscopio electrónico, como también el estudio con rayos infrarrojos o las medidas de superficies, presenta el inconveniente de trabajar con una muestra perfectamente seca. Se trata de remediar esto evitando cualquier desecación previa de la fracción muy fina, hasta que llega a su evaporación en la rejilla de observación. Las modificaciones que esta desecación puede producir, vuelven delicadas las observaciones y de allí pueden resultar importantes cambios.

La mayor parte de los suelos muy hidratados se presentan en dos facies principales. Puede tratarse de pequeñísimos glomérulos translúcidos, que dan con frecuencia la apariencia de un tejido celular más o menos desgarrado o de una red de fibras finas entrelazadas. Uno y otro pueden ser observados simultáneamente, pero parece que en ciertas facies predominan los glomérulos y en otras las fibras. La transparencia de estos elementos hace también que, según la intensidad de la iluminación, el tiempo de exposición y el contraste en algunas de estas facies aparezcan más o menos claramente.

La aparición de una raya a $4,4\text{ \AA}$, que indica el comienzo de la haloisita tiene, como consecuencia inmediata, en ciertos suelos, la presencia de algunos tubos cortos e hinchados, pero el fenómeno parece que concierne sólo a los suelos de regiones cálidas tropicales.

Casos de los suelos de gibsita

La gibsita no aparece sino en los suelos de alofanas hidratados, relativamente antiguos y argilificados. Nunca se la encuentra en los suelos fuertemente hidratados que se derivan de formaciones recientes de cenizas y piedras pómez. Geográficamente, el área de los suelos con gibsita es entonces bien distinta de la de los suelos sin gibsita. Los suelos con gibsita son, por sus propiedades y sus aspectos morfológicos, muy parecidos a los que no contienen este mineral y sólo ciertos indicios, como los restos de pómez o de cenizas, poco alterados, desparramados o en capas y el examen de las arenas, indican recubrimientos más recientes, que permiten establecer una distinción relativamente valdadera en el campo. En el área de los suelos con gibsita, la ausencia de este mineral puede deberse a recubrimientos delgados más recientes, que se han mantenido en un lugar dado y han sido eliminados por la erosión en otros. Es así como hay más posibilidades de encontrar la gibsita cerca de la cima, sobre los bordes de pendientes fuertes, donde la erosión es más activa y ha hecho desaparecer recubrimientos posteriores eventuales, que en las partes bajas cóncavas o planas, en donde éstos han podido persistir y aun acumularse.

La gibsita aparece más rápidamente cuanto más importante es la pluviosidad y por tanto la alteración más activa. En las regiones muy húmedas durante todo el año, hemos podido observar concreciones tubulares, pardo claro—blanquecinas de gibsita pura, que parecían llenar canalículos de raíces antiguas, prueba de la migración posible de la alúmina en estos suelos. En otros casos, se trata de pequeños nódulos blanquecinos.

En el caso de los suelos totalmente desaturados en bases intercambiables, con presencia de gibsita en cantidad importante, se encuentra a menudo un poco de caolinita que los rayos X, infrarrojos y el microscopio electrónico indican como relativamente bien cristalizada. Parece que la neoformación de caolinita bien cristalizada es frecuente en medio totalmente desaturado en bases, mientras que los contenidos notables en bases intercambiables, en particular el calcio, acompañan la formación de la haloisita o de caolinitas desordenadas (fire-clays), arcillas, más a menudo observadas en los suelos volcánicos de las Antillas.

El acrecentamiento de los contenidos en gibsita termina por conducir a un debilitamiento notable en ciertas propiedades de las alofanas: hidratación, capacidad de intercambio, etc. La fijación del fósforo es especialmente elevada.

La distribución de la gibsita no es homogénea dentro de la fracción fina inferior a dos micras. Las fracciones más cercanas a dos micras, o aun ciertos límos finos, encierran muy claramente más gibsita que las fracciones muy finas. Es entonces útil comparar los contenidos en gibsita de los suelos y trabajar con una clase de partículas de las mismas dimensiones.

Con disoluciones sucesivas (HCl_3N en frío y sosa $0,5\text{N}$) no se observa, después de la fuerte cantidad de aluminio disuelto en la primera extracción ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5$), una disminución brusca de la rapidez de la solubilización, como es el caso en los suelos sin gibsita. La disolución de Al prosigue todavía en las extracciones siguientes y no se vuelve constante sino después de varias extracciones repetidas. Esta disminución de la rapidez de disolución muy progresiva se debe a la dimensión variable de las masas gibsíticas inferiores a dos micras o puede ser atribuida a

B.2.6

diversas formas de hidróxidos de solubilidad diferente: fases pregibíticas, diferenciadas o no de las amorfas, y gibsita bien cristalizada. Parece, entonces, que la autoaluminización de las sustancias amorfas, imogolitas, etc., termina cuando la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ baja alrededor de 0,8, con la individualización de la gibsita.

Caso de Nicaragua

Los suelos con alofanos muy hidratados descritos anteriormente, se han observado en Martinica, Guadalupe y el Ecuador, en regiones de pluviosidad alta, superior a 2 m por año y con estación seca relativamente reducida o evapotranspiración limitada por la nubosidad (Ecuador). Se trata de cenizas y pómez con mayor frecuencia dacíticas, con dominancia de hiperstena, de hornblenda, rara vez de augita, en la fracción pesada.

En la vertiente Pacífica de los Andes ecuatorianos, y en las llanuras tropicales cálidas bajas, los suelos fuertemente hidratados sin gibsita están recubiertos casi en todas partes por suelos más jóvenes, todavía alofánicos, de 1 m o más de espesor, derivados de formaciones de cenizas más recientes (niveles humíferos enterrados, artefactos indígenas, etc.). Se encuentran los mismos suelos, de apariencia y de propiedades idénticas a más de 3000 m de altitud en las vertientes húmedas y nubladas de las zonas templadas frías. El factor temperatura (entre 10 y 27°) no tiene, por lo tanto, influencia notable en la formación de estos suelos alofánicos muy hidratados.

En la vertiente Atlántica del Ecuador, muy húmeda (5 m por año) y sin períodos secos, los suelos son fuertemente hidratados en todo el perfil, con contenidos en agua a la capacidad de campo o a pF 2,5, de 200 a 250 por ciento de suelo secado en la estufa. Se observa un poco de gibsita, difusa o acumulada en pequeñas concreciones.

En Nicaragua, las cenizas parecen más básicas, ricas en augita y el ambiente mismo, en ausencia de datos meteorológicos muy precisos, parece mucho más seco. Se encuentra así suelos fuertemente hidratados en mesetas de altitud moderada, en condiciones climáticas similares a las de regiones de las Antillas y del Ecuador, en donde la evolución de los suelos tiende a la formación de la haloisita con una hidratación poco marcada del suelo.

En realidad, existen ciertas diferencias importantes entre las propiedades de estos suelos y las de los suelos fuertemente hidratados de las Antillas o del Ecuador, estudiados anteriormente.

La hidratación es importante (100 de agua por 100 g de suelo) pero el carácter untuoso del suelo no aparece. Sólo una pequeña fracción de esta agua (1/5 más o menos) se pierde irreversiblemente por desecación al aire, mientras que para los suelos de las otras regiones, esta pérdida podía alcanzar los 3/4 o los 8/10 del agua que inicialmente contenía el suelo seco o a pF 2,5. La capacidad de intercambio es muy importante (100 meq/100 g de suelo) y disminuye poco con la desecación al aire del suelo.

Por el contrario, como en los otros suelos estudiados, esta capacidad varía mucho con el pH y disminuye considerablemente después de tratamiento ácido y sosa (de 100 meq a 5 meq/100 g de suelo). El contenido de bases intercambiables es importante: 20–25 meq/100 g de suelo, lo que es normal en estas regiones moderadamente húmedas, mucho más grande que en los suelos fuertemente hidratados de las Antillas, en donde oscilaba de 0,5 meq/100 g para los suelos más hidratados a 10 meq en regiones más secas. La diferencia entre el pH en agua y el pH en KCl es notable. Los suelos se dispersan igualmente bien en medio ácido.

Por ataque ácido/sosa (HCl 8N en frío y sosa 0,5N) sucesivo se disuelve una proporción muy grande del suelo. Las sustancias fácilmente solubilizadas encierran más hierro y la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es notoriamente más elevada que para los suelos anteriormente estudiados, superior a 1.

Los rayos X revelan el esbozo de una raya hacia 4,4 Å, indicio de un comienzo de organización. Las rayas hacia 8 Å y 14 Å son borrosas y no aparecen siempre.

En el análisis térmico diferencial, un gran pico endotérmico hacia 150° – 170° m va seguido por el bosquejo, a menudo incierto, de picos a 420° y a 540°. La intensidad del pico exotérmico a 930° es variable.

El carácter amorfo de la muestra está subrayado en la espectrometría en infrarrojo, por una gran banda de absorción de 3000 a 3700 cm^{-1} , pero un comienzo de organización de capa octaédrica estaría indicado por el máximo de absorción hacia 1020 cm^{-1} , hinchamientos hacia 910 cm^{-1} , entre 550 y 750 y el comienzo del doblete SiO hacia 440–470 cm^{-1} .

El microscopio electrónico muestra un entrelazamiento de fibras mucho más claras que para los suelos de las Antillas y el Ecuador.

Las imágenes recuerdan perfectamente las de la imogolita del Japón. De todas las muestras estudiadas, es con esta técnica de observación, las que más se parecen. Se observan también algunos raros tubos de haloisita.

B.2.7

Una retención muy enérgica para el agua, probablemente ligada a un esbozo de estructura que recuerda la de la imogolita (por lo menos su aspecto al microscopio electrónico) distingue, entonces, estos suelos de los de las Antillas y del Ecuador. No se conocen bien las razones de este comportamiento particular que explica por sí solo el mantenimiento de estos suelos fuertemente hidratados. Se trata, probablemente, de una condición inestable y, a diferencia de los suelos de las regiones muy húmedas de las Antillas y el Ecuador, en donde hay mantenimiento y autoaluminización de las sustancias amorfas o poco organizadas, la evolución hacia la haloisita es aquí segura y ya ha comenzado.

LOS SUELOS JOVENES CON ALOFANAS POCO HIDRATADOS

Son todos los suelos sobre formaciones de cenizas y pómez recientes, en clima húmedo. Se vuelven a encontrar claramente las características de los suelos fuertemente hidratados, pero muy atenuadas por la importante proporción de arenas finas y de gravas (más de 60 % de la fracción superior a 0,5 mm).

En la Martinica se trata de capas alternadas de gravas pumíceas y de cenizas andesi—dacíticas bastante gruesas.

En el Ecuador son depósitos muy finos de cenizas, transportadas lejos por el viento, hasta las llanuras tropicales del Pacífico, a veces con delgadas bandas de cenizas más gruesas.

En el caso de formaciones muy recientes, los caracteres de hidratación etc., pueden estar enmascarados en parte y no aparecer sino en ciertos horizontes delgados de materiales al comienzo, más finos, más rápidamente alterables. Sin embargo, la alofanización se produce a gran velocidad en región húmeda. En la Martinica, el aumento de la proporción de sustancias alofánicas está ligado a un aumento muy rápido de la hidratación lo que confiere a los suelos, aun a los muy arenosos, cierta cohesión débil, pero clara y muy característica en el campo. Suelos aparentemente arenosos pueden contener 50 a 70 y aun 100 de agua por 100 g de suelo, perdiéndose irreversiblemente una parte de esta agua por desecación al aire. Las piedras pómez, en especial, se saturan rápidamente de agua y se vuelven esponjosas.

El carácter irreversible de la deshidratación aparece bien en el caso de suelos notablemente hidratados, pero la disminución de la capacidad de intercambio después de la desecación se evidencia con más dificultad, debido a la abundancia de materias orgánicas activas en estos suelos.

El estudio de la fracción fina arcillosa se vuelve más delicado por la abundancia de partículas primarias finas, en particular cuando se hace con los rayos infrarrojos. En los suelos fuertemente alofánicos, estas partículas finas han sido alteradas desde hace mucho tiempo y han desaparecido; sólo los elementos más gruesos y más resistentes persisten. Se vuelven a encontrar los caracteres de las alofanas ya descritos por los diversos métodos y en especial, una raya a menudo muy clara y definida hacia 13,5 Å. También aparece a menudo una raya hacia 8,3 Å (ciertas arenas negras poseen también una). El pico hacia 420° se observa rara vez en el análisis térmico diferencial y las ligazones materia orgánica—alofanas parecen ser muy fuertes, originando desviaciones exotérmicas importantes hacia 400—600° , aun después de ataques repetidos con agua oxigenada.

LOS SUELOS DE TRANSICION ALOFANAS—HALOISITA, SUELOS JOVENES CON HALOISITA

Cuando se pasa de las regiones de pluviosidad alta, en las cuales la humedad del suelo permanece notablemente constante en el transcurso del año, hacia las regiones de pluviosidad menor o con estación seca y evapotranspiración más notable, que permite cierta desecación del suelo, se comprueba pronto la aparición de la haloisita. Este paso es notablemente claro en las Antillas, en donde las variaciones climáticas son muy bruscas, en especial en las regiones a sotavento. La aparición de la haloisita parece estar siempre precedida por una fase alofánica relativamente amorfa. La importancia de esta fase es muy variable, según las regiones, y más o menos fácil de evidenciar. Parece necesario hacer varias distinciones.

Caso de los suelos de transición alofana—haloisita en regiones relativamente húmedas

En la Martinica y en Guadalupe se pasa a menudo, en pocos kilómetros, de los suelos fuertemente hidratados con alofanas, a los suelos ya claramente arcillosos con haloisita.

Suelos derivados de formaciones relativamente antiguas

Pasando de las regiones húmedas a las secas, se observa en primer lugar la disminución de la hidratación, hasta a

B.2.8

valores de alrededor de 45 a 50 de agua por 100 de suelos seco, con una deshidratación irreversible todavía notable. El carácter esponjoso del suelo desaparece, se vuelve muy friable, pseudoarena. Se trata, aún, de suelos alofánicos.

Después, la coloración oscura del suelo, hasta aquí limitada al horizonte superficial, llega a los horizontes más profundos, a veces hasta 60 cm de profundidad o más, aunque los contenidos en materias orgánicas sean a menudo más pequeños. Este fenómeno se podría atribuir a una disminución de las ligazones de las sustancias amorfas con materia orgánica. El estado de saturación en bases se eleva. La presencia de arcilla, sin embargo, no es todavía sensible al tacto.

En esta etapa, la haloisita ya está claramente indicada por los rayos X, el análisis térmico diferencial, los rayos infrarrojos y el microscopio electrónico. La raya a 10 Å es a menudo muy débil, pero las de 4,37 Å y 2,51 Å son bien marcadas. El pico a 500° — 550° es todavía poco desarrollado, pero bien claro. Los rayos infrarrojos, más sensibles, indican las bandas de absorción clásica de las caolinitas, pero las que se encuentran hacia 3620 — 3700 cm^{-1} no son definidas. El microscopio electrónico es muy sensible y aun cuando la raya a 10 Å es muy débil, los bastoncitos de la haloisita son bien visibles. Son tubos todavía cortos e hinchados, a veces también masas redondeadas, formadas, según parece, de aureolas concéntricas.

La aparición de un poco de arcilla en el terreno que le confiere un carácter limo—arcilloso, se manifiesta a menudo primero en los niveles superiores, salvo en el caso de recubrimientos más recientes, mientras los niveles profundos permanecen todavía alofánicos y a menudo muy hidratados. En estos niveles ligeramente arcillosos, la presencia de haloisita se evidencia muy claramente por todos los métodos.

La arcilla se dispersa fácilmente con el amoníaco. En especial la raya a 10 Å es muy clara; el pico endotérmico pasa progresivamente de 500° — 580°, afinándose y volviéndose más intenso. Los tubos son más largos, más finos, bien formados, pero la presencia de fibras es todavía visible. La banda de absorción a 910 cm^{-1} se hace más notable, así como los dobletes SiO hacia 440 — 470 cm^{-1} y las bandas Si—O—Al hacia 500 — 750 cm^{-1} . Las bandas hacia 3620 y 3700 cm^{-1} se afinan, siendo la de 3620 cm^{-1} claramente más importante. El contenido en agua del suelo y la capacidad de intercambio, bajan sensiblemente. El carácter irreversible de la desecación es poco marcado.

Esta haloisita joven parece, sin embargo, muy sensible a la disolución con ácidos en frío y sosa diluida. La disolución es, no obstante, mucho más progresiva, menos brusca que para las sustancias amorfas alofánicas, salvo para el hierro que parece persistir en formas relativamente amorfas. Parece difícil determinar en estos suelos la proporción de sustancias que tengan todavía las características alofánicas y la proporción de haloisita efectiva, en razón de la existencia muy probable de formas intermedias que, por el momento, se pueden designar como haloisita joven. Es probable que con técnicas adaptadas de disolución diferencial sucesivas, se llegará a una mejor definición de estas mezclas o de estas sustancias.

Suelos derivados de formaciones recientes

En las cenizas finas, gruesas y pómez, al pasar de las zonas húmedas hacia las regiones secas, se comprueba también la disminución de la hidratación. La diferencia de las humedades para un mismo valor de pF medido en muestras conservadas húmedas o secadas al aire, se vuelve muy pequeña. La diferencia de las humedades entre pF 2,5 y 4,2 decrece en las muestras conservadas frescas, pero aumenta en muestras secadas previamente al aire, indicio de una mejor organización. La cohesión atribuida a la presencia de sustancias amorfas desaparece progresivamente, la estructura del suelo se vuelve entonces típicamente de partículas, arenosa, muy friable. La coloración oscura atribuida a la materia orgánica invade más los niveles profundos.

La aparición de la haloisita y el refuerzo de sus características son muy claros en los rayos X, ATD, infrarrojos y microscopio electrónico. La fracción fina inferior a dos micras, extraída de estos suelos aparentemente arenosos, presenta con frecuencia rayas muy claras a 10 Å en los rayos X, mientras que el análisis térmico diferencial y el microscopio electrónico indican formas todavía jóvenes de haloisita; pico moderado a 550°, tubos cortos e hinchados y a veces la presencia, aun, de algunas fibras o masas amorfas.

A causa de la abundancia de partículas primarias finas poco alteradas, la distinción entre materiales amorfos (haloisita joven, haloisita clásica) se presenta todavía más delicada que en las facies más antiguas, en donde estas partículas por lo general ya han desaparecido. Estos suelos arenosos humíferos, con presencia clara de haloisita en la fracción fina, pueden denominarse suelos jóvenes con haloisita. Este paso de los suelos con alofanos hidratados a los suelos arenosos con haloisita, se observa muy bien en distancias muy pequeñas en la Martinica y en distancias mayores en el Ecuador, en las llanuras tropicales bajas y cálidas.

Los suelos jóvenes con haloisita — regiones con estación seca muy acentuada

El paso de los suelos hidratados con alofanas de las regiones húmedas a los suelos jóvenes con haloisita de las regiones más secas no se observa siempre, ya sea que se trate de regiones antiguas o muy recientes. Es así como en Nicaragua, en las vastas regiones del norte del país, la estación seca es muy acentuada en todas partes. Sucede lo mismo para las regiones de altura del Ecuador, valle alto interandino y praderas del páramo.

A causa de estos períodos de desecación importante, la alteración progresa lentamente y la transformación en productos bien organizados de las sustancias amorfas tiene tiempo de producirse antes que éstas existan en cantidades notables, lo que permite una identificación fácil. La abundancia de las partículas finas primarias es también una dificultad para las observaciones por ciertos métodos.

Todos los suelos que clasificamos entre los suelos jóvenes con haloisita, tienen en el campo una aparición arenosa, arena gruesa o arena fina, más o menos revestida de materias orgánicas. La presencia de arcilla no es sensible al tacto o lo es muy poco en el campo, aunque es frecuente encontrar contenidos de 10 a 15 por ciento.

La presencia de la haloisita es, en general, claramente observada en la fracción inferior a dos micras, pero los métodos empleados son más o menos sensibles e indican formas un poco diferentes. La dispersión en medio amoniacal es fácil.

En los rayos X, la raya a 10 Å es en general bien visible, pero las rayas a 4,4 y 2,51 aparecen primero con más intensidad. En los suelos más jóvenes, la raya a 10 Å es poco visible, pero con calentamiento a 100° se precisa más una raya hacia 7,3. A menudo es visible una pequeña raya hacia 6,4 así como diversas rayas debidas a minerales primarios: 3,18; 4,04; etc.

En el análisis térmico, al pico hacia 500 — 550° se acentúa y la temperatura de aparición parece elevarse progresivamente. Hay que anotar la existencia frecuente de un pequeño pico endotérmico hacia 420°.

Con los rayos infrarrojos, la organización es más notable. Las dos bandas hacia 3620 y 3700 cm^{-1} son claras, sin ser acentuadas. La banda SiO tiene componentes finos e importantes a frecuencias superiores a 1080 cm^{-1} . La banda de deformación Aliv—O—H está bien desarrollada a 910 cm^{-1} . El doblete SiO hacia 440 — 470 cm^{-1} se muestra muy claro, lo que indica una buena separación de las capas tetraédricas y octaédricas. La banda hacia 800 cm^{-1} no aparece en los suelos de baja altitud, sino solamente en ciertos suelos de altura del Ecuador, en regiones templadas o frías.

El microscopio electrónico muestra en todos los suelos de las regiones cálidas la presencia de bastoncitos muy claros, aunque todavía son a menudo cortos e hinchados. Están asociados a glomérulos con aureolas concéntricas y a veces en las facies más jóvenes, a algunas fibras o masas amorfas. Estos tubos son claramente visibles en los suelos en donde la raya a 10 Å de los rayos X es, sin embargo, muy poco desarrollada.

En los suelos de altura del Ecuador (hacia 2500 m), por el contrario, la presencia de tubos parece muy incierta. Se observan pequeñísimos glomérulos redondeados de 0,05 micras, que parecen también formados de aureolas concéntricas y esto aun en los suelos en que la raya a 10 Å es importante y bien delgada y alargada. ¿Se trata de una forma particular de la haloisita? ¿Existe una relación con la banda a 800 cm^{-1} observada sólo para estos suelos?

Estas haloisitas jóvenes se disuelven fácilmente en el ácido clorhídrico 8N en frío y la sosa 0,5 N. La capacidad de intercambio disminuye mucho pero, sin embargo, no tanto como con los suelos amorfos hidratados. Esta disminución menos importante de la capacidad de intercambio, después de tratamiento ácido/sosa en frío, es un indicio de una cantidad notable de haloisita, relativamente bien cristalizada. Las haloisitas glomerulares parecen disolverse más rápidamente que las formaciones tubulares, pero este fenómeno puede atribuirse a la presencia, en cantidad más importante, de sustancias amorfas. En realidad, los glomérulos aparecen a menudo mezclados con formas fragmentadas que recuerdan claramente las alofanas.

En las regiones más secas se descubre a veces la presencia de la montmorillonita. Se trata de suelos muy arenosos, a veces bien humíferos, pero muy a menudo erosionados, muy pobres en materias orgánicas y que se acercan a los regosoles.

Esta presencia es a veces bien evidenciada en los rayos X, por una raya a 14 Å, que pasa a 17 Å con glicerol, una raya a 4,40 Å acentuada y un pico endotérmico hacia 790 — 800° en el análisis térmico diferencial.

También, muy a menudo, la presencia de la montmorillonita es probable, verosímil, pero difícil de probar efectivamente. La raya hacia 14 Å no aparece claramente o bien la dilatación con glicerol permanece incierta. El pico endotérmico a alta temperatura no es notable. La raya a 4,40 Å es, sin embargo, muy bien marcada, aun en ausencia de rayas claras a 10 ó 7,3 Å de la haloisita. Los rayos infrarrojos indican bandas de absorción tan claras como en los

suelos en los que la haloisita es importante. Después del ataque ácido/sosa, la disminución de la capacidad de intercambio es moderada. Es posible que se trate de montmorillonitas aluminosas o ferríferas, para las cuales los fenómenos de hinchamiento con el glicerol, de contracción con calentamiento a 500°, son poco notorios, con disminución sensible de la temperatura del pico endotérmico en el análisis térmico diferencial. Estas hipótesis parecen apoyadas por el hecho de que según el modo de preparación de la muestra, los resultados pueden ser notoriamente diferentes.

La presencia de montmorillonita sería entonces probable en ciertos suelos arenosos de las regiones muy secas de altura de los Andes ecuatorianos y puede ser también de ciertas llanuras bajas de Nicaragua.

Conclusión

Aparecen dificultades para la identificación de las formas jóvenes de la haloisita o de ciertas montmorillonitas. Puede tratarse de mezclas de sustancias amorfas y de arcillas cristalinas verdaderas. Este es ciertamente el caso de los suelos de transición alofanas—haloisita, derivados de formaciones relativamente antiguas, en regiones de pluviosidad muy importante o con estación seca poco marcada. Aunque la existencia de estados intermediarios como las imogolitas u otros sea probable, el término suelos de transición alofanas—haloisita parece justificarse.

El problema es más complejo con los suelos muy jóvenes o aquéllos de regiones con estación seca muy acentuada, en los cuales desaparecen ciertos caracteres físico—químicos que ayudan a una identificación de los materiales amorfos.

Al no poder evidenciar claramente su presencia por sus propias características: hidratación, variación de la capacidad de intercambio, etc., parece entonces preferible, cuando es evidente la presencia de la haloisita, referirse a haloisita joven. Este término abarca diversos estados cristalinos o semicristalinos, cuyas propiedades se encuentran, al menos en parte, como lo veremos en los suelos, ya no arenosos, sino francamente arcillosos con haloisita, lo que permite suponer la presencia de formas particulares de esta arcilla. Sin embargo, en Nicaragua, en las formaciones jóvenes que recubren las pendientes de los volcanes, en la proximidad de suelos un poco más evolucionados, sin duda más antiguos, arenosos y con haloisita, se ha observado la presencia, en regiones con estación seca acentuada, de sustancias que no presentan rayas características con los rayos X, ni aspecto fibroso en el microscopio electrónico. Este es, igualmente, el caso de ciertos suelos de altitudes muy grandes en el Ecuador. En los regosoles de las regiones áridas de este país, la haloisita puede descubrirse en suelos cuyo contenido de arcilla no pasa de 2 por ciento.

LOS SUELOS "BRUN ROUILLE", CON HALOISITA

En todos los suelos examinados anteriormente, salvo ciertos horizontes en suelos de transición alofanas—haloisita, la presencia de la haloisita no aparecía de manera sensible al tacto en el campo.

Al acrecentarse la proporción de esta arcilla, los suelos se vuelven cada vez más arcillosos en el sentido ordinario de este término.

La presencia dominante de la haloisita comunica al suelo cierto número de características y, en particular, una consistencia un poco grasa, sin que se trate de la adherencia de la montmorillonita. La coloración es pardo—rojiza (de herrumbre), bastante característica y no existe en la tabla de color Munsell. Las superficies de los bloques son brillantes, a veces muy brillantes. Es probable que se trate de revestimientos amorfos ferruginosos o manganésicos. El color del suelo triturado en húmedo cambia claramente. Estos suelos están bien representados en las Antillas y en las llanuras bajas del Ecuador y Nicaragua.

Las características de la haloisita en los rayos X (a menudo mezclada con metahaloisita) con el análisis térmico diferencial, con el microscopio electrónico, con los rayos infrarrojos, son muy claras, pero dan lugar a variaciones bastante grandes.

Los tubos parecen en el microscopio electrónico, mejor formados, más grandes, más alargados en las facies argilificadas más antiguas. Las bandas de absorción a 3620 cm^{-1} y 3700 cm^{-1} se afinan. En las facies mejor cristalizadas estas bandas son manifiestamente iguales, pero la de 3620 cm^{-1} es mucho más importante en las formas más jóvenes. La intensidad del pico ATD a $550 - 580^\circ$ aumenta, así como la temperatura de aparición en las formas mejor cristalizadas.

La intensidad de la raya a 10 \AA es variable, dependiendo de la proporción de metahaloisita, pero las otras rayas de la haloisita son muy notables.

Todos estos suelos están generalmente bien provistos de bases intercambiables y son moderadamente ácidos. El

carácter "arcilloso", en el sentido agronómico, se acentúa, no solamente con la proporción de arcilla, en el sentido granulométrico, sino también con la disminución de la proporción de sustancias amorfas o semiorganizadas. Los suelos se vuelven cada vez más pesados y compactos.

Pasando a suelos todavía más ricos en arcillas y más antiguos, la coloración pardo—herrumbre se pierde, el suelo se torna más rojo o pardo rojizo, la brillantez desaparece, las caras de los agregados se vuelven más angulosas, la goetita aparece de manera notable. Los suelos son a menudo más ácidos, la capacidad de intercambio es menor, se vuelven un poco más friables y se llega progresivamente, en regiones húmedas, a suelos ferralíticos clásicos, oxisols que contienen haloisita, metahaloisita, "fire-clays", goetita y, a veces, un poco de gibsita. Los minerales primarios alterables están prácticamente ausentes.

La aparición de la goetita es muy tardía. No se la observa todavía en los suelos "Brun—rouille" que contienen de 6 a 7 por ciento de Fe_2O_3 libre DEB. Las disoluciones selectivas en frío indican para el hierro fácilmente solubilizado, probablemente amorfo, un contenido equivalente.

La haloisita de los suelos "brun—rouille" es atacada por el ácido clorhídrico 8N en frío y la sosa 0,5N. La disolución, al principio constante e importante, de la sílice y de la alúmina se vuelve lenta progresivamente, pero se disuelve una importante cantidad de suelo. La capacidad de intercambio decrece a menudo hasta la mitad, después de 3 ó 4 de estos tratamientos.

Para los suelos ferralíticos, la disolución es menos importante y la capacidad de intercambio permanece sin variar después de los primeros tratamientos. Estas diferencias de solubilización corresponden a dos formas de haloisita, una más joven, menos resistente a los ácidos, la otra más evolucionada, sin duda mejor cristalizada, un poco más difícil de atacar o a una mezcla con otras sustancias semicristalinas.

En las regiones de las Antillas y de Nicaragua con estación seca acentuada y con pluviosidad moderada, la montmorillonita coexiste con la haloisita. Los suelos son más grasos, a menudo adherentes, con tendencia a veces claramente "vértica". La coloración es pardo herrumbre, pero las manchas manganésicas son frecuentes cerca del material de partida. A menudo se observan estratos endurecidos de sílice secundaria blanca, precipitada, en las cenizas subyacentes, poco alteradas, en bandas paralelas y en revestimientos sobre las formaciones duras que estos depósitos han recubierto.

LOS SUELOS ROJOS SOBRE CENIZAS

Estos suelos no han sido observados sino en las llanuras bajas cálidas y secas de Nicaragua. La pluviosidad anual es inferior a un metro, la insolación acentuada y la estación seca muy larga.

Por su aspecto, estos suelos se acercan a la vez a los suelos "brun—rouille" descritos y a suelos rojos ferralíticos de las regiones semiáridas. Son poco profundos y parecen, a menudo, cuando están secos, en parte constituidos de partículas pequeñas redondeadas y soldadas.

La capacidad de intercambio de bases, determinada a pH 7 (60 a 80 meq/100 g de suelo) crece notoriamente a pH 9. Los rayos X indican rayas muy pronunciadas a 4,41 Å, 3,52 Å, 2,51 Å, pero las rayas hacia 7,4 ó 10 Å de la haloisita son a veces muy poco visibles, aun después de tratamientos ácidos en frío, destinados a quitar recubrimientos amorfos o ferruginosos eventuales. Con todo, los picos exotérmicos a 550° son claros, a veces con hinchamiento hacia 420°. La presencia de montmorillonita, aunque probable, no puede ser verdaderamente probada en todos los casos (rayas a 14,6 Å y 19 Å en la muestra orientada, a 19 Å después de tratamiento con glicerol, 12,5 Å después de calentamiento a 500°) y es probable la existencia de ciertas formas de materiales amorfos u otras sustancias poco organizadas. La interpretación de las imágenes en el microscopio electrónico es muy insegura.

LOS SUELOS SOBRE TOBAS VOLCANICAS MARINAS

En las Antillas como en Nicaragua (costa Atlántica), grandes espesores de cenizas volcánicas han sido depositados en el mar, como lo atestigua la presencia de fósiles calcáreos en los niveles de edades más recientes o intercaladas.

Aunque esencialmente están constituidos por partículas de ceniza, no se puede excluir la posibilidad de una mezcla con arcillas sedimentarias en el curso del depósito. La neoformación de los minerales arcillosos, a partir de los minerales primarios, no es entonces tan segura como con las cenizas volcánicas o las pómez depositadas en regiones exondadas. Además, ciertas transformaciones y alteraciones de los minerales han podido producirse ya sea en medio marino o después de su salida en el curso de las edades, antes de la erosión de las formaciones que les recubran hasta nuestros días. En verdad, estas tobas marinas presentan una disposición particular para la formación de la montmorillonita.

El estudio de los suelos que derivan de estas formaciones sería muy largo y se sale de nuestro propósito. Daremos solamente una visión muy breve de algunas de sus particularidades.

Algunas de estas tobas pueden dar lugar a suelos "brun-rouille" con haloisita, parecidos a aquéllos que hemos estudiado, con una tendencia "vértica" notable en las regiones secas.

La mayor parte de las tobas, sin embargo, dan origen a suelos muy diferentes de los examinados en este artículo.

En regiones relativamente secas, de pluviosidad cercana de 1,5 a 2 m y con estación seca muy acentuada, dominan casi exclusivamente los vertisoles magnésicos, a veces ricos en sodio intercambiable y con frecuencia ácidos.

En regiones húmedas, con estación seca poco acentuada (2 m o más de pluviosidad anual), se observa la formación sea de suelos arcillosos de un rojo muy vivo o pardo rojo, sea de suelos arcillo-limosos amarillo claro (Martinica y Nicaragua). Los contenidos en bases intercambiables son importantes: 30 a 50 meq/100 g o más, con dominancia de magnesio, pero el pH presenta a menudo valores bajos. La diferencia de los valores entre el pH medido en el agua y en KCl llega a 1,5 o 2 unidades de pH. Cuando el pH en KCl baja a menos de 4, aparecen cantidades notables de aluminio extraídas por el KCl normal en todos los casos, cualquiera que sea el contenido de bases intercambiables. Estos contenidos en aluminio desplazado por el KCl pueden ser en ciertos suelos muy importantes y se observa, con los rayos X y ATD, la presencia de bohemita. En todos estos suelos, la degradación de la montmorillonita en arcillas de tipos caolíníficas entraña a menudo grandes diferencias entre los niveles de superficie y los de profundidad, aun en suelos de espesores moderados de uno a dos metros.

CONCLUSION

Los métodos clásicos de estudio de las arcillas, concebidos esencialmente para las sustancias cristalinas, son un poco defectuosos en el caso de mezclas con sustancias amorfas o con esbozos de estructura.

Es indispensable recurrir a un conjunto de técnicas. La espectrografía en infrarrojo, el microscopio electrónico, las técnicas de disoluciones sucesivas diferenciales, las variaciones de la capacidad de intercambio, parecen las técnicas más prometedoras para estos estudios.

El estudio mineralógico de las arenas, de su composición, de su grado de alteración, es un complemento indispensable. Permite —por la determinación de la concordancia de los diferentes depósitos, su edad y su naturaleza petrográfica— efectuar comparaciones valideras entre suelos de evolución diferente. Esta técnica ha sido utilizada mucho en las Antillas y en el Ecuador.

BIBLIOGRAFIA

1. AOMINE, S. y N. MIYAUCHI. 1965. Imogolite of Imogo layers in Kiushu. Soil Sc. and plant nutrition 2(5):28-35.
2. COLMET-DAAGE, F. 1962. Etudes préliminaires des sols des régions bananières d'Equateur. Fruits 77(1):3-21.
3. COLMET-DAAGE, F. y P. LAGACHE. 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. Cah. ORSTOM, sér. Pedol. III(2):91-121.
4. COLMET-DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU, M. DELAUNE, 'et al'. 1967. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques 1ère partie: Cah. ORSTOM, sér. Pedol. V(1):3-38. 2ème partie: Cah. ORSTOM, sér. Pedol V(4):353-392.
5. COLMET-DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU, C. de KIMPE, G. SIEFFERMANN y M. DELAUNE. 1968. 3ème partie, sols d'altitudes, Cah. Pedol. ORSTOM, sous presse. 1969.
6. COLMET-DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU, C. de KIMPE, G. SIEFFERMANN y M. DELAUNE. 1968. Caractéristiques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques de la cote Pacifique du Nicaragua. Cah. ORSTOM Pedol. 1969. sous presse.
7. COLMET-DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU 'et al'. 1968. Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haiti situés sur calcaires durs. (14 Å minéral). Cah. ORSTOM Pedol. 1969. sous presse.
8. COLMET-DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU y P. SEGALLEN. 1969. Contribution d'une technique de dissolution différentielle successivement acide et basique et répétés à l'étude de divers sols tropicaux dérivés de matériaux volcaniques des Antilles et d'Amérique latine. multigr. A paraître. Cah. ORSTOM Pedol.
9. SEGALLEN, P. 1968. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. Cah. ORSTOM, sér. Pedol. VI(1):105-126.