CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y DE LA NATURALEZA DE LOS SUELOS CON ALOFANA DE LAS ANTILLAS Y LA AMERICA LATINA

F. COLMET-DAAGE, J., M. GAUTHEYROU y C. de KIMPE

Traducido por: Fausto A. MALDONADO P.

INTRODUCCION

Las técnicas de análisis utilizadas para el estudio de los suelos se adaptan mal, con frecuencia, al estudio de suelos que contienen sustancias alofánicas, y las conclusiones obtenidas pueden ser a menudo falsas. Especialmente son importantes los errores en el caso del análisis granulométrico, de las determinaciones de capacidad de intercambio, de las propiedades hídricas de los suelos, etc.

Nos ha parecido útil, por las razones expuestas, volver a estudiar los métodos de manera más sistemática.

LA DISPERSION

Sea que se trabaje con suelo conservado con su humedad natural, sea con suelo secado al aire a la temperatura ordinaria, las correcciones de la humedad para representar los resultados en porcentaje de suelo secado en estufa a 105° pueden ser considerables y se ha asegurado de la fidelidad de las medidas después de ocho horas de secado en la estufa.

Se efectúa sistemáticamente la destrucción de la materia orgánica. Ciertas formas parecen particularmente resistentes a los reactivos oxidantes; así, el agua oxigenada a 30 volúmenes y en frío, no destruye sino 30 a 40 % de la materia orgánica total, aunque el calentamiento mejora el ataque. Es preferible usar agua oxigenada de 130 volúmenes, primero en frío durante varias horas, después a 80° de temperatura. De este modo, se destruye de 80 a 100% de las materias orgánicas totales. Hay que observar que un contacto prolongado en frío, por ejemplo de 20 horas, es más eficaz que un calentamiento con ebullición en tiempo más corto. No parece que se produzca una disolución de la alofana, pues el filtrado del ataque con agua oxigenada contiene muy poca sílice, hierro y alúmina. Cuando se hace el ataque el suelo con su humedad natural, se disminuye la eficacia del mismo, sin duda debido al efecto de dilución.

Todos los suelos se han sometido a las ondas ultrasónicas durante 15 minutos. Se han extraído sistemáticamente todas las arenas magnéticas pues se ha observado que su presencia ocasiona grandes irregularidades en la dispersión, mientras que su eliminación permite la obtención de resultados fielmente reproducibles. Actualmente no podemos explicar todavía la razón de este fenómeno.

Horizontes de superfiecie (20 a 30 primeros centímetros)

Se ha ensayado con toda una gama de pH desde 2,5 hasta 11, en medias unidades de pH, sea con ácido clorhídrico, sea con amoníaco o soda.

Los suelos **previamente secados al aire** se dispersan correctamente en medio ácido, cerca de pH 3, pero se debe ajustar el pH al grado óptimo con una exactitud de 0,25 unidad de pH. Además, este pH óptimo de dispersión varía según los suelos: es menor de una unidad de pH en los suelos que tienen gibsita (2,5), que en los suelos sin gibsita (3,5). Ajustar el pH es una operación larga y delicada, se necesitan varias horas para conseguir la estabilización.

Es más fácil y seguro, entonces, operar en medio **básico.** La dispersión es ya satisfactoria a pH 8 con ciertos suelos, pero es aún mejor en otros, cuando se pasa a pH más alto. En el caso de suelos que no contienen gibsita, el contenido de arcilla es similar sea obtenido en medio básico, sea en medio ácido al pH óptimo. Por el contrario, con los suelos que contienen gibsita, la dispersión en medio básica da resultados mucho mejores.

El pirofosfato de sodio asegura una dispersión igual y a menudo mejor que la que se obtiene con el amoníaco o el ácido clorhídrico. El hexametafosfato da contenidos de arcilla siempre inferiores y por lo tanto no conviene.

Si se parte del suelo **conservado en su humedad natural,** los resultados difieren claramente. En este caso, la dispersión en medio ácido

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 28790 ex1
Cote : B

es muy pequeña o insignificante. Es siempre mejor en cambio, en medio básico en suelo húmedo, que en suelo seco al aire y este mejoramiento es pequeño o grande según los suelos. Generalmente no es necesario llegar a valores muy altos de pH con los suelos húmedos como con los suelos secos al aire. Sin embargo el pirofosfato da los mismos resultados que con suelo seco al aire.

Se recomienda entonces la dispersión en medio básico, con suelo conservado húmedo, para los horizontes de superficie y en especial con los suelos que contienen gibsita.

Horizontes de profundidad

Suelos sin gibsita

Que el suelo se haya conservado en su humedad natural o que se haya secado previamente al aire, la dispersión no es posible sino en medio ácido. Sin embargo algunos suelos jóvenes con alofana pueden dispersarse incompletamente en medio básico, pero solo cuando han sido secados al aire. Estos suelos tienen con frecuencia un poco de montmorillonita.

Trabajar con suelo conservado en su humedad natural da resultados claramente mejores que con suelo seco al aire. El ajuste del pH entre 3,5 y 4,5 debe ser preciso si se desea obtener el máximo de fracción fina y es necesario esperar varias horas a que se haya estabilizado.

Suelos con gibsita

Los resultados son variables según los suelos y la dispersión es con frecuencia incompleta.

Cuando el contenido en gibsita es moderado, parece que para ciertos suelos solo tiene la suspensión en medio ácido; con otros suelos, en cambio, se observan dos niveles de dispersión, uno en medio ácido, otro en medio básico.

En presencia de contenido relativamente importante de gibsita, los mejores resultados de la dispersión son en medio básico y sobre todo con la soda. Algunos suelos no se dispersan en medio ácido.

De manera general, la dispersión es más completa cuando no hay sino un nivel de dispersión. Cuando la suspensión se realiza en medio ácido y también en medio básico, parece ser incompleta, irregular y poco confiable.

La dispersión puede ser mejor cuando se parte del suelo conservado en su humedad natural, pero cuando se trata en medio básico conviene más utilizar suelo seco al aire. Con el pirofosfato, la dispersión es mediocre en suelo seco al aire e insignificante en el suelo conservado en su humedad natural.

Es entonces difícil dar reglas precisas en el caso de suelos que contienen gibsita.

Suelos de transición alofana-haloisita

Cuando el carácter arcilloso del suelo es todavía poco sensible al tacto, pero las rayas de la haloisita aparecen ya claramente en los Rayos X, la suspensión es mucho mejor en medio básico que en medio ácido. Los resultados son menos buenos y menos reproducibles con el suelo seco al aire que con suelo húmedo con su humedad natural.

En cuanto la presencia de la haloisita confiere al suelo una textura limo-arcillosa al tacto, la dispersión no es posible sino en medio exclusivamente básico.

Productos dispersados en medio ácido o básico.

Cuando los suelos se dispersan sea en medio ácido, sea en medio básico, los resultados son mejores en el primero con ciertos suelos, en el otro con suelos diferentes, aunque pueden ser similares en los dos casos. Los diagramas obtenidos con los rayos X o infrarrojos, no revelan, en todos estos casos, diferencias sensibles de composición en los productos extraídos inferiores a dos micras.

Cuando se trabaja, no separada sino sucesivamente, primero en medio básico, con eliminación de las fracciones finas puestas en suspensión, después en medio ácido, o inversamente, no se observa tampoco modificaciones sensibles de los diagramas; sino solo un afinamiento y crecimiento de las rayas de los minerales primarios a consecuencia de la eliminación de una parte de la alofana. Este aumento de intensidad de las rayas es tanto más notable cuanto más importante es la proporción de sustancias acarreadas después de la primera dispersión ácida o básica.

Se ha utilizado la técnica preconizada por RUSSEL para la separación de la imogolita y la alofana, en diversos suelos con alofana. El aspecto de los productos obtenidos, visto en el microscopio electrónico, no parece presentar diferencias notables con la muestra original: se observan paquetes de finas fibras, residuos primarios más o menos corroídos y en ciertos casos bastoncitos largos.

Variaciones de la naturaleza de las partículas en función de sus dimensiones

Tratar de conocer por sedimentación o centrifugación las dimensiones de las partículas separadas es bastante discutible en el caso de suelos con alofana, porque una parte del material tiene formas mal definidas o en fibrillas finas muy alargadas. En ciertas muestras, sólo las partículas primarias parecen tener formas relativamente regulares que responden a las leyes de la sedimentación.

Además se comprueba, que la repetición alternada de dispersión y de centrifugación, incrementa la proporción de las partículas más finas, por fragmentación, lo que no se produce con los suelos con caolinita.

Hecha esta restricción, se comprueba que hay una concentración, en la fracción más cercana a 2 micras, de gibsita, cristobalita, feldespatos y otros minerales primarios. Parece que pasa lo mismo con la caolinita y podemos preguntarnos si esta asociación es independiente o está en relación con procesos de génesis de la caolinita.

El aumento de aluminios tetraédricos en las fracciones más finas, hace pensar, por el contrario, que una proporción importante de las sustancias alofánicas se reúne allí. La abundancia de Al^{VI} en la totalidad de la fracción inferior a 2 micras puede, en efecto, enmascarar los Al^{VI} que no aparecen claramente sino en las clases de partículas muy finas. En ciertos suelos con alofana relativamente jóvenes, no aparece esta segregación, la proporción de Al^{VI} es grande y permanece así en cualquier clase de partículas. En este caso habría dominancia de partículas muy finas que se podría encontrar idénticas en todas las clases de partículas, pero en cantidad mayor o menor.

En los suelos con haloisita, todavía relativamente poco evolucionados, este mineral arcilloso se presenta en forma de glomérulos o de tubos muy pequeños hinchados. Las partículas son muy pequeñas y se las encuentra de naturaleza aparentemente uniforme en todas sus clases.

Parece que sucede lo mismo con los minerales arcillosos de 14 Å de naturaleza a menudo mal definida que encuentra frecuentemente en ciertos suelos con alofana. La variabilidad de las rayas a 14 — 17 Å, según la extracción para una misma muestra, impide sin embargo, sacar conclusiones precisas y seguras sobre su constitución y distribución.

En todos los suelos que no contienen formas cristalinas de hidróxidos de hierro; la coloración de herrumbre muy oscura de las partículas muy finas se opone al color pardo claro de las partículas cercanas a 2 micras. Sería posible por lo tanto, pensar en una acumulación del hierro en las fracciones más finas. El análisis muestra que esto no es verdad y el hierro es a menudo más abundante en las fracciones cercanas a dos micras.

Ciertas observaciones permanecen sin explicación. Así, los dos máximos de la banda H_2O de absorción en infrarrojo a 1630 y 1690^{cm-1} se invierte según el tamaño de las partículas.

ENSAYO DE LA DETERMINACION DE LA PROPORCION DE SUSTANCIAS ALOFANICAS

Las técnicas acostumbradas de estudio de los minerales arcillosos por difractometría de rayos X, espectrografía en infrarrojo, etc... no informan bien sobre la naturaleza y la proporción de sustancias alofánicas presentes, en relación con otros productos que pueden estar mezclados. La disolución relativamente fácil de las sustancias alofánicas en soluciones ácidas o básicas, permite una estimación cuantitativa.

Se trata de seguir simultáneamente, por medio de ataques sucesivos de fuerza disolvente moderada, las variaciones de la composición de las sustancias producidas y las transformaciones que sufren los residuos. El ataque elemental ácido-base se repite varias veces y comprende un contacto de una media hora con el ácido clorhídrico 6N en frío, seguido, después de lavado, con soda 0,5 N a ebullición durante 5 minutos. Los productos solubilizados por este doble ataque se analizan juntos (SEGALEN, 1968).

La disolución de la alúmina es extremamente importante y rápida en los suelos con alofana. La casi totalidad se disuelve ya en el segundo ataque. Las curvas de disolución se doblan entonces muy fuertemente después de la primera o segunda extracción. El comportamiento del hierro es muy parecido al del aluminio.

La disolución de la silice es importante, pero más gradual que la del aluminio. A los productos disueltos de baja relación sílice/alúmina en las primeras extracciones suceden en las extracciones siguientes, sustancias solubilizadas de una relación sílice/alúmina mucho más alta.

La forma y disposición general de las curvas de disolución de la alúmina, hierro y sílice son similares si se trata de suelos con alofana muy hidratados o de suelos jóvenes con alofa-

na. Sin embargo, en este último caso, las cantidades de alúmina y de hierro disueltos son claramente menores, mientras que la disolución de la silice a menudo es igualmente importante. La alofana parece entonces más silice, pero es probable que la presencia en estos suelos jóvenes, de minerales primarios pequeños, ocasione una sobrecarga de silice. A productos solubilizados de relación molecular sílice/alúmina de 1 a 3 en las primeras extracciones, pueden seguir en las siguientes, en el caso de suelos jóvenes con alofana, sustancias de relación sílice/alúmina aún más alta, llegando a veces a 20 - 25.

No parece que la disolución de partículas pueda explicar contenidos tan altos de sílice. A una cantidad importante de sustancia alfánica disuelta en las dos primeras extracciones ácido-base y que puede estimarse cuantitativamente, seguiría entonces, en cantidad mucho menor, un producto considerablemente más silíceo que puede parecer de naturaleza diferente.

Después de cinco o seis ataques ácido-base, más o menos 70 a 95% de la fracción inferior a 2 micras se ha disuelto. La desaparición de las sustancias alofánicas deja aparecer con más claridad e intensidad, en los residuos del ataque, las rayas de los minerales primarios o secundarios tales como la cristobalita, cuarzo, caolinita. La comparación de la intensidad de estas rayas y de aquellas de la gibsita permite apreciar, en cierta medida, la importancia respectiva de estos productos en diversas etapas de la disolución. La resistencia de la gibsita a los reactivos de extracción es además, variable según los suelos.

La espectrografía en infrarrojo hace resaltar mejor que los rayos X la desaparición de la alofana. Desde la primera extracción hay un importante deslizamiento de la banda de deformación Si0 a 950^{cm-1}, hacia frecuencias superiores a 1000^{cm-1} indicando así una disminución considerable de Al^{IV} en el residuo. El incremento de la banda a 800^{cm-1} parece ligado a aquel de la raya a 4,05 A en los rayos X de la cristobalita. El hecho que las rayas en rayos X de la cristobalita parezcan afinarse e intensificarse más claramente que las del cuarzo, indicaría que hay no solamente incremento cuantitativo de la cristobalita, sino también desprendimiento de la ganga alofánica que enmascaraban en parte estas rayas. Sin embargo, no es posible saber si los altos valores de sílice encontrados, en relación con la alúmina, después de la segunda extracción, deben atribuirse a partículas silíceas independientes o a la disolución de partes más resistentes de las sustancias alofánicas, que afloran por la desaparición de la ganga esencialmente aluminosa.

Si en lugar de realizar los ataques en la fracción inferior a 2 micras, se parte del **suelo completo** (tamizado a 2 mm) las curvas de disolución de la alúmina, hierro y sílice tienen una forma muy similar. Naturalmente, las cantidades disueltas son menos importantes que para la fracción fina, pero la inflexión de las curvas de disolución del aluminio y del hierro es a veces aún más notable, lo que permite una estimación satisfactoria de las sustancias alofánicas presentes. Al contrario, parece que la abundancia de partículas primarias implica cierta sobrecarga silícea, aunque se haya demostrado que los limos y arenas superiores a 50 micras eran poco atacados. El trabajo con fracción fina inferior a 2 micras informa mejor por lo visto, sobre la naturaleza de las sustancias alofánicas.

Ciertas formas de haloisita, que se encuentran en suelos todavía relativamente poco desarrollados, se disuelven fácilmente en el reactivo ácido-base. Al contrario, la haloisita de los suelos ya muy evolucionados, de tendencia ferralítica, es poco solubble.

La disolución de la alúmina y del hierro es progresiva y la forma de las curvas muy diferente de la que se observa en el caso de los suelos con alofana. Esta técnica permite distinguir varias faces de haloisita de solubilidad variada. Ciertas formas se disuelven casi totalmente después de seis ataques ácido-base, pero para otras hay que utilizar alrededor de 15 ataques sucesivos.

Cuando los suelos presentan simultáneamente ciertos caracteres de la alofana y de la haloisita, es difícil de distinguir estas dos sustancias, y esto tanto más que en estos suelos la haloisita existe en forma especialmente soluble. Aun más podemos preguntarnos si esta solubilidad muy variada de la haloisita, tal como aparece en los rayos X, indica un pasaje continuo haloisita/alófana, más bien que una mezcla de las sustancias. Los diagramas de rayos X muestran que los residuos son muy poco modificados por los ataques sucesivos, lo que parece indicar que no hay desprendimiento, de la haloisita, de una ganga alofánica cuya desaparición habría ocasionado el afinamiento de las rayas de la haloisita. Por el contrario, la espectrografía en infrarrojo indica un mejoramiento muy claro de las bandas de absorción de la haloisita y esto ya en la primera extracción, poco en las siguientes.

Con ciertas formas de haloisitas muy solubles, la repetición de los ataques termina por ocasionar una deterioración de los diagramas de rayos X con ensanchamiento y descenso de las rayas de haloisita. Este fenómeno es toda-

vía más notable con los espectros de infrarrojo y se observa sobre los residuos de las últimas extracciones, el desarrollo de una verdadera fase seudo-alofánica absorbe de nuevo fuertemente, hacia 3400^{cm-1} y 1620^{cm-1}, como en el producto inicial y aún más.

La forma de las curvas de disolución del hierro en todos los suelos con alofana y haloisita, que no contienen goetita, es análoga. La disolución es enorme en las primeras extracciones, después fuertemente disminuída a continuación. El examen de los residuos de los ataques no da ninguna información cierta, pues están ausentes o son apenas sensibles las rayas atribuibles eventualmente a las formas cristalinas de hierro.

Si para el aluminio, las cantidades solubilizadas en las dos primeras extracciones parecen muy en relación con la cantidad de alofana presente, es decir con el grado de evolución del suelo (en ausencia de gibsita), en el caso de este hierro amorfo a los rayos X, es preponderante más bien la naturaleza del material de partida. Los contenidos son claramente más altos con los suelos derivados de cenizas basálticas que con los derivados de cenizas andesíticas o dacíticas.

La técnica de disolución diferencial aporta entonces con una contribución evidente al estudio de la naturaleza y de los contenidos de sustancias alofánicas y permite la distinción de diversas facies de la haloisita de solubilidad variada. La comparación de los resultados obtenidos en suelos de naturaleza diferente debe hacerse con prudencia, pues pequeñas modificaciones del molde de operación, por ejemplo en la selección de la relación suelo/reactivo, pueden ocasionar cambios notables no solo de la cantidad global de los productos disueltos; sino también de la composición de estos. Aumentar la cantidad de reactivo para un mismo peso de sustancia atacada, puede conducir así, con ciertos suelos, a un aumento muy sensible de la silice disuelta, sin modificaciones claras del aluminio y hierro solubilizados. En efecto, el método utilizado ha sido creado esencialmente para el estudio de pequeñas cantidades de materiales amorfos, asociados a importantes cantidades de productos resistentes a la disolución. En el caso de los suelos con alofana y de ciertos suelos con haloisita, a menudo se presenta lo inverso. Sin que los resultados expuestos anteriormente sean puestos en duda, es verdad que una mejor adaptación de la relación suelo/reactivo, así como de la duración del ataque a los principales tipos de suelo, mejorará el método, contribuirá a atenuar ciertas irregularidades que se comprueba existen a veces en las curvas de disolución, y aportará nuevas enseñanzas.

MEDIDA DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES

Tal vez es ilusorio buscar el método perfectamente adaptado para determinar la capacidad de intercambio de cationes cuando se trata de suelos con alófana. Parece más bien necesario utilizar y comparar los resultados obtenidos con diversos métodos. Sin embargo, es preciso que los resultados de estas técnicas sean bien reproducibles, siguiendo las medidas y el modo de operación rigurosamente.

Técnicas con eliminación del exceso de solución saturante con alcohol

Diversos ensayos efectuados con suelos secos al aire o conservados húmedos han demostrado que el tiempo del primer contacto entre el suelo y el reactivo de saturación debe ser de 16 horas, por lo menos, con ciertos suelos. Con todo, para muchos suelos una duración inferior es suficiente.

2 g de suelo se ponen en contacto con 30 ml del reactivo de saturación y luego se centrifugan. La operación se repite tres veces. El lavado con alcohol y la extracción se hacen del mismo modo.

Se emplea el alcohol puro a 95° GL, pero con ciertos suelos es necesario recurrir a soluciones diluídas para evitar tomas en masa. La neutralización, a pH 7, de las impurezas volátiles del alcohol se controla por medio de un indicador coloreado que se utiliza después de haber diluído en agua una toma de ensayo para permitir una buena apreciación del cambio de color.

La eliminación completa del amonio por la solución de cloruro de potasio se controla por medio del ataque Kjeldahl del residuo, deduciendo por cálculo el nitrógeno total inicial del suelo.

Cuando se adopta un modo de operación riguroso, la reproductibilidad de los resultados puede considerarse como excelente con muchos suelos y satisfactoria con casi todos.

La división del suelo seco al aire tiene poca influencia en los resultados. Trabajando con partículas finamente divididas, inferiores a 0,05 mm, ciertos suelos se vuelven pastosos, lo que vuelve difíciles los intercambios suelo-solución y puede conducir a resultados menores que con el suelo que pasa por el tamiz de 2 o 0,2 mm. Se ha comprobado que en el caso de materiales inertes, como el cuarzo pulverizado, el arrastre de la solución saturante residual por el alcohol es excelente.

Como lo han indicado muchos autores, la influencia del pH de la solución saturante puede ser considerable, por lo tanto se ha medido el pH de las soluciones saturantes, de lavado y de extracción, después de cada centrifugación. Los resultados pueden variar, con ciertos suelos, de 1 a 3 o más, para soluciones de saturación comprendidas entre el pH 4,5 y pH 9,5. Hay que anotar una inflexión entre el pH 7 y pH 7,5 que corresponde a una zona de menor variación. La capacidad de intercambio aumenta más entre pH 7,5 y pH 9,5 que entre pH 4,5 y pH 7.

Si se utilizan cationes y aniones diversos, en soluciones normales, cuando se satura y en la extracción, los resultados no se modifican de manera notable, excepto en raros casos. Cuando se escoge el cloruro de amonio para la saturación, los resultados son menores que con el acetato de amonio. Esta diferencia puede explicarse por los valores más bajos de pH (alrededor de una unidad) que toma la solución saturante no tamponada de cloruro en contacto con el suelo.

En el caso de la extracción, los resultados varían poco, sea que se utilice el potasio, sea el sodio, amonio o calcio. Sin embargo, el sodio parece menos enérgico para desplazar los cationes fijados. Los resultados son menores con el anión nitrato y fosfato que con el cloruro o el acetato.

En medio acético, tanto en la saturación como en la extracción, el potasio da entonces, en todos los casos, valores ligeramente superioresa los que se obtienen con el sodio. La adición al acetato de amonio 0,8 N, de nitrato de amonio 0,2 N, con lo que el conjunto queda normal en amonio, no modifica los resultados.

Cuando se trabaja con cloruro de calcio tamponado a pH 7 con trietanolamina, los resultados difieren poco de los que se obtienen con otros cationes, pero ciertos suelos con alofana se vuelven muy pastosos, lo que vuelve el análisis difícil y ocasiona incertidumbre en las medidas. Esta modificación física del suelo nos ha incitado a verificar con los rayos X, que la separación de las rayas de las arcillas de dilatación, del tipo de la montmorillonita, no se modifica con la trietanolamina.

Todos los resultados citados anteriormente se han obtenido con un mismo peso de suelo seco al aire, en condiciones idénticas de análisis, habiéndose modificado sólo la naturaleza del reactivo de saturación o de extracción. Si en lugar de trabajar con suelo seco al aire se parte del suelo conservado en su humedad natural, al comparar los resultados de los dos casos, en muestras que corresponden a un mismo peso de suelo seco a 105°C, se encuentran diferencias considerables en ciertos suelos, siendo éstas en algunos casos, del doble o más.

En realidad, el problema es más complejo que una simple diferencia entre suelo conservado húmedo y suelo seco al aire. En efecto, la modificación de la relación reactivo/suelo (siempre que esta relación permanezca idéntica para saturación, lavado con alcohol y extracción), ocasiona pocas variaciones en el suelo seco al aire, pero origina diferencias considerables si se trata de suelo conservado húmedo. La capacidad de intercambio es tanto mayor cuanto menor es la relación reactivo/suelo, tanto menor cuanto menos suelo hay para una misma cantidad de reactivo. En este último caso, la capacidad de intercambio puede tender hacia la del suelo seco al aire. Entonces, es posible pensar que al aumentar la proporción de alcohol utilizada con relación al suelo, se produce una deshidratación gradual del suelo en el transcurso de los lavados sucesivos.

		SUELO HUMEDO					SUELO SECO
Peso de la muestra (g)		2	4	5	6	10	2
Cap. de intercambio en meq/100 g suelos con alofana	Mues. 1	20	27	36	45*	49	23
	Mues. 2	21	25*	26	30	34	20

* equivalente a 2 g de suelo seco al aire.

En la medida en que esta hipótesis es exacta, la desecación del suelo no es la única causa de esta disminución de la capacidad de intercambio de cationes. Si en efecto, y esto viene a ser lo mismo, se aumenta el número de lavados con alcohol puro, la disminución de la capacidad de intercambio es muy sensible, mientras que es muy pequeña en el caso de los vertisoles tratados de la misma manera. Por el contrario, con el alcohol diluído a la mitad, la disminución de la capacidad de intercambio es mucho más acentuada que con el alcohol puro, y eso con una desecación del suelo menor.

Por otra parte, esta disminución es sensiblemente más importante en el suelo seco al aire

que en el suelo húmedo, aunque la diferencia no sea muy importante.

Sin embargo, la determinación del nitrógeno en el residuo, con el ataque Kjeldahl, teniendo en cuenta el nitrógeno inicial del suelo, muestra que la extracción del amonio fijado, con el cloruro de potasio, ha sido completa.

En conclusión, la técnica de lavado con alcohol del exceso de solución saturante, da resultados que se pueden reproducir fielmente, si se sigue rigurosamente el modo de operación. En cambio, los resultados pueden variar considerablemente con número de lavados con el alcohol. Al efectuar las determinaciones con el equivalente de un mismo peso de suelo, calculado como suelo seco a 105°C, los resultados difieren enormemente según se trate el suelo seco al aire o de suelo conservado en su humedad natural. El volumen del suelo utilizado puede entonces variar de 1 a 3. Los sitios de intercambio serían entonces más importantes en suelo conservado húmedo que en suelos secos al aire, esto en el caso de los hidrandepts.

Se han ensayado también diversos tratamientos previos para conocer su influencia sobre la capacidad de intercambio de cationes cuando se utiliza esta técnica del lavado con alcohol. Ante todo, es así como la repetición sucesiva del ciclo completo de la determinación de la capacidad de intercambio en la misma muestra, ocasiona un aumento sensible de esta capacidad. Luego hay modificación de los sitios de intercambio.

La destrucción previa de la materia orgánica con el agua oxigenada de 120 volúmenes, ocasiona una fuerte reducción de la capacidad de intercambio en los horizontes humíferos de la superficie, debido a la eliminación de los sitios de intercambio de esta materia orgánica, pero no produce sino pocas modificaciones en los horizontes profundos. Sin embargo en ciertos casos, los horizontes de profundidad pueden contener aún de 2 a 3% de materia orgánica.

Un pretratamiento de ciertos suelos con amoníaco o soda puede conducir a la obtención de valores dos veces mayores que con los testigos. Sucede lo mismo con el tratamiento de deferrificación con el citrato-ditionito de MEHRA y JACKSON (1960), o el tratamiento con el citrato de sodio.

Al contrario, los tratamientos ácidos, se trate del ácido clorhídrico 8N utilizado solo, o seguido de la soda 0,1 N (SEGALEN, P., 1968), originan una disminución considerable de la capacidad alofánicas y en ciertos casos una casi desaparición de los sitios de intercambio.

Técnicas de lavado con soluciones diluídas de la misma naturaleza que la solución saturante.

Se ha utilizado específicamente la técnica preconizada por WADA, K. y HARADA, Y. (1969). El exceso de solución saturante es eliminado con soluciones diluídas (se han ensayado soluciones N/5, N/10, N/50, N/500). La diferencia de peso entre el tubo de centrifugación al fin del último lavado y al comienzo del análisis permite estimar la cantidad de reactivo de lavado que queda en contacto con el suelo y deducirlo, por cálculo, de la cantidad total acarreada por la solución de desplazamiento.

Utilizando el mismo modo de operación, en suelo seco al aire, que para la técnica de lavado con alcohol (2 g de suelo 30 ml de reactivo), los resultados son sensiblemente idénticos a los obtenidos con este método en el caso de las soluciones de lavado N/5 o N/10. Por el contrario, utilizando soluciones de lavado N/50 o N/500, los valores encontrados son claramente menores.

Se ha retenido entonces, la solución de lavado N/5 para tratar de conocer, cómo con la técnica de lavado con alcohol, la influencia eventual de los diversos cationes y aniones en las soluciones saturantes o de extracción. Pequeñas diferencias se observan entre Na, K, Ca, NH_4. Al contrario, si se escoge el anión fosfato (dihidrógeno) para la saturación, los valores de la capacidad de intercambio de cationes son mucho más grandes que con los otros aniones. No se ha podido establecer la comparación con la técnica de lavado con alcohol, pues las soluciones de este fosfato son poco solubles en él.

Esta concordancia aparente entre los resultados obtenidos con la técnica de lavado con alcohol y la de lavado con soluciones N/5 o N/10, en realidad no es sino una coincidencia fortuita en el suelo conservado húmedo. En efecto, se ha visto que con la técnica de lavado con alcohol, los resultados podían disminuir a la mitad si la relación reactivo/suelo pasaba de 1 a 10. Ahora bien, en la técnica de lavado con soluciones N/5 o N/10 no hay modificaciones de la capacidad de intercambio cuando la relación suelo/reactivo, varía en las mismas proporciones. Entonces una comparación no tiene sentido sino cuando se precisa el valor de la relación suelo/reactivo utilizada.

Al contrario, utilizando soluciones de lavado N/50 o N/500, los valores de la capacidad de intercambio, como con los lavados con alcohol, disminuyen notablemente si la proporción de reactivo con relación al suelo aumenta. La disminución puede ser de dos a uno para una variación de la relación reactivo/suelo de 1 a 10.

Como con el alcohol, el arrastre del amonio es más importante con las soluciones diluídas N/50 o N/500 que en el caso de las soluciones N/5 o N/10. Entonces se podría pensar que las soluciones N/5 o N/10 no desplazan sino una solución salina excedente relativamente "libre", mientras que las soluciones N/50 y N/500 arrastran aniones y cationes retenidos más fuertemente por el suelo, y esto tanto más, como con el alcohol, cuanto mayor es la relación del reactivo al suelo. Entonces qué se puede considerar como "intercambiable"?

En el caso de suelo conservado húmedo, los resultados pueden diferir considerablemente, además, según el modo de cálculo adoptado para la corrección por pesada, de la solución salina diluída (de lavado) que queda en contacto con el suelo. Hoy que hacer la corrección considerando que toda el agua del suelo (en relación con el suelo seco a 105°C) participa en los fenómenos de intercambio y es asimilable en el cálculo a la solución salina de lavado? 0, al contrario, ¿hay que considerar que el agua de retención inicial del suelo conservado húmedo está ligada a la alofana en edificios complejos y que no es posible en seguida, contarla como solución de lavado, puesto que no puede mezclarse allí? Se puede escoger entre la humedad del suelo conservado húmedo, que es sensiblemente la capacidad de retención de campo, o más bien el valor de humedad correspondiente a pF 4.2 determinado en el suelo conservado húmedo. Parece preferible escoger este último valor, pues otros estudios han demostrado que cuando la humedad del suelo es menor, su rehidratación es difícil y a menudo imposible. Debe estudiarse una definición más detallada de las formas de agua más o menos ligada al suelo, que puede intervenir en esto.

Si se utilizan soluciones de lavado N/5 o N/10, la corrección es muy importante y los resultados difieren entonces considerablemente según la selección que se haya hecho para el cálculo. La diferencia puede pasar de uno a dos o más si se considera la totalidad del agua o simplemente la fracción superior a la humedad del suelo a pF 4.2. En el caso de las soluciones de lavado N/50 o N/500, las correlaciones son, naturalmente, menores, puesto que se trata de soluciones muy diluídas, cualquiera sea el modo de calcular adoptado. Sin embargo, las cifras son un poco más altas con las soluciones N/50 si se tiene en cuenta la humedad a pF 4,2 en lugar de la totalidad del agua retenida por el suelo.

En conclusión entonces, las técnicas de lavado con soluciones N/50 o N/500 pueden ser utilizadas sin que se dé mucha importancia en el cálculo al agua efectivamente libre y asimilable a la solución de lavado. Al contrario, parece que el efecto de arrastre de estas soluciones sea excesivo, puesto que los valores encontrados son a veces dos veces menores cuando la proporción de reactivo con relación al suelo aumenta de 1 a 10. La técnica impone entonces la definición de la relación suelo/reactivo utilizada.

La técnica de lavados con solución N/5 o N/10 da resultados bastante diferentes, pudiendo ser del doble o el triple si se considera que solo una fracción del agua del suelo puede ser asimilada a la solución de lavado. Ahora bien, con suelos que contienen 200% de agua, son frecuentes los valores de humedad a pF 4,2 de 130%; suelos con 100% de agua tienen aún humedades a pF 4,2 cercanas a 60%.

Al contrario, los resultados son poco influenciados por las variaciones de la relación suelo/reactivo, lo que vuelve a esta técnica interesante y parece demostrar que si hay retención de anión o de solución salina saturante por el suelo, es una fijación relativamente estable que no puede ser perturbada sino por soluciones de lavados mucho más diluídas.

Para tratar de evitar esta incertidumbre extremamente molesta, del agua efectivamente asimilable a la solución salina en el curso de los lavados y evitar este tipo de corrección, se ha trabajado con un anión índice asociado al acetato de amonio en relación 1/5, en la solución saturante y en la solución de lavados. El cálculo de este anión, que por simplicidad y comodidad, en nuestro caso era el nitrato, conduce entonces a valores de capacidad de intercambio, cercanos de los obtenidos con el lavado con la solución N/500, en el caso de la relación reactivo/suelo más grande.

Pero la determinación por Kjeldahl del nitrógeno total del suelo antes del desplazamiento por el cloruro de potasio, dá resultados más altos que los de la corrección por el anión índice nitrato, habiendo hecho la deducción del nitrógeno inicial del suelo y del amonio de la solución residual de lavado, estimado por cálculo, y sea en el agua total o el agua excedente del pF 4,2.

Sin embargo se podría acusar a la dosificación Kjeldahl que provoca una reducción parcial de los nitratos al comienzo del ataque, cuando aparecen vapores blancos de sulfitos. Los nitratos así reducidos, serían entonces contabilizados como amonio.

Con todo, la importancia de esta reacción secundaria tiene un alcance limitado. Los resultados obtenidos por la técnica que utiliza el

anión índice nitrato son menores en suelo húmedo que en suelo seco al aire. Al contrario, los valores dados por los ataques Kjeldahl a los residuos después del lavado son mayores en suelo húmedo que en suelo seco al aire; la retención de aniones sería entonces más alta en caso de suelos conservados húmedos.

Estos diversos puntos serán aclarados en una comunicación posterior, comparando los valores respectivos de las capacidades de intercambio catiónico y aniónico e integrando la temperatura, que desempeña un papel no despreciable, como lo han señalado especialmente WADA, K. y HARADA, Y. (1971).

BIBLIOGRAFIA

1. COLMET DAAGE F., GAUTHEYROU J. et M., DE KIMPE C., FUSIL G. Dispersion et étude des fractions fines de sols á allophane des Antilles et d'Amérique Latine.

   1ére partie: dispersion.

   2éme partie: modification de la nature du produit extrait suivant la taille des particules product extrait suivant la taille des particules dans l'inférieur á 2 microns.

   Cahiers O.R.S.T.O.M., Sér, Pédol., 1972, vol. X, n°2 et n°3 (sous presse).

2. COLMET DAAGE F., GAUTHEYROU J. et M., DE KIMPE C., SEGALEN P. Etude des sols á allophane dérivés de matériaux volcaniques des Antilles et d'Amérique Latine, á l'aide de techniques de dissolution différentielle. 1ére partie (sous presse) - 2éme partie (sous presse). Cahier O.R.S.T.O.M., Série Pédologie, 1972.

3. MEHRA O. P., JACKSON M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonte. Clay and clay minerals 7th Conf. 1960, n°5, 317-27.

4. RUSSEL J. D., MC HARDY W I., FRAZER A. R. Imogolite: a unique alumino-silicate. Clay Min., 1969, 9, n°1, 87-9.

5. SEGALEN P. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols á hydroxydes tropicaux. Cah. O.R.S.T.O.M., Pédol., 1968, VI, 1, 105-26.

6. WADA K., HARADA Y. Effects of salt concentration and cation species on the measured cation-exchange capacity of soils and clays, Proc. of the Intern. clay conference TOKYO, 1969, vol. 1, 561-71.

7. WADA K., HARADA Y. Effects of temperature on the measured cation-exchange capacities of ando-soils. J. Soil Sci., 1971, 22, 1, 109-17.

UNIVERSIDAD de NARIÑO

IICA - OEA

Serie "Informes de Conferencias, Cursos y Reuniones"

Nº 82

Panel sobre Suelos Volcánicos de AMERICA

18 a 24 de Junio - 1972

PASTO - COLOMBIA, SA