

Imogolita en un Andisol de México¹

C. Hidalgo*, J. D. Etchevers** y P. Quantin***

ABSTRACT

The amorphous mineral fraction on three horizons of an Andisol in the Sierra Nevada of Mexico was studied by field qualitative methods (NaF 1N and toluidine test) and by laboratory procedures: Selective dissolution with acid ammonium oxalate, sodium pyrophosphate and citrate-dithionite-bicarbonate reagents; infrared spectroscopy; X-ray diffraction; and electron microscopy (transmission and scanning). The field qualitative test with NaF showed the presence of amorphous materials but the toluidine test was non-conclusive. Al/Si relationships as determined in selective dissolution assays showed the presence of amorphous allophane material in the upper horizons (0 to 50 cm, and 50 to 135 cm), and of imogolite at a depth lower than 135 cm. Occurrence of these materials was confirmed by infrared spectrograms and electromicroscopy studies.

COMPENDIO

La fracción mineral amorfa de tres horizontes del perfil en un Andisol de la Sierra Nevada de México se estudió por métodos cualitativos de campo (NaF 1N y prueba de la toluidina) y por los siguientes procedimientos de laboratorio: (a) disolución selectiva con oxalato ácido de amonio, pirofosfato de sodio y ditionito-citrato-bicarbonato, (b) espectroscopía infrarroja, (c) difracción de rayos-X, y (d) microscopía electrónica de transmisión y barrido. La prueba cualitativa de campo con NaF mostró la presencia de materiales amorfos, en tanto que la reacción con toluidina no fue conclusiva. Las relaciones Al/Si, determinadas con las disoluciones selectivas, indican la presencia de material predominantemente alofánico en los horizontes superiores (0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm) y de imogolita en la profundidad mayor de 135 centímetros. Dicha presencia fue confirmada por los espectrogramas infrarrojos y las imágenes fotomicroscópicas.

INTRODUCCION

La presencia de imogolita ha sido reportada en suelos volcánicos de América, por ejemplo por Colinet-Daage *et al.* (8), en Nicaragua, y por Besoain (5), en Chile. En México, sin embargo, la ocurrencia de este mineral no ha sido estudiada en detalle, aun cuando se sospecha su existencia. Los suelos derivados de cenizas volcánicas en este último país ocupan una superficie de aproximadamente ocho

millones de hectáreas, las cuales se ubican a lo largo del eje neovolcánico en las inmediaciones del paralelo 19, que cruza gran parte del territorio mexicano. Los suelos que han recibido mayor atención desde el punto de vista mineralógico son los de la Sierra Nevada (13) en las inmediaciones de la ciudad de México y los de la Sierra Tarasca en el estado de Michoacán (2, 3, 4, 7, 10, 14, 20).

Mielhich (13) concentró su atención en la fracción de arena de los suelos de la Sierra Nevada, donde observó vidrios volcánicos claros de color café, en parte con cristobalita y sanidina, que constituyen los minerales más frecuentes. En la fracción 0.2 μm - 4 μm de los suelos de la Sierra Tarasca se ha reportado la presencia de alófano, gibbsita, caolinita y, en algunos casos, pequeñas cantidades de esmectita.

El presente trabajo tiene por objetivo documentar la presencia de imogolita en la fracción < 2 μm en un Andisol de la Sierra Nevada de México.

MATERIALES Y METODOS

Se recolectaron muestras de las profundidades 0 cm a 50 cm, 50 cm a 135 cm y 135 cm de un Andisol de la Sierra Nevada de México, ubicado en la localidad de

¹ Recibido para publicación el 24 de agosto de 1989. Trabajo parcialmente financiado por el Proyecto de Apoyo al Postgrado en Edafología, CONACYT, Colegio de Postgraduados, Méx. Los autores agradecen las valiosas contribuciones de las señoras A. Bouleau y G. Millot del Laboratorio de Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer (ORSTOM) Bondy, y del M. Sc. Jorge Valdez y de la M. Sc. Elizabeth Cárdenas, del Colegio de Postgraduados, en la obtención de las fotografías con microscopio electrónico y de los difractogramas de rayos-X.

* Auxiliar en Investigación, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

** Profesor Investigador, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.

*** Director de Investigación, Office de Recherche Scientifique Outre-Mer (ORSTOM), Bondy, Francia.

Felipe Neri El sitio se localiza a una altitud de 2400 msnm, con una pendiente de 10%; el paisaje corresponde a un lomerío o pic de monte; el clima se define como: C(W₂) (W) big, con una precipitación media anual de 1200 mm y régimen hídrico Udic; el suelo corresponde a un Andisol mólico o Mollic Vitrandept, formado a partir de tres capas de ceniza volcánica andesítica.

Las muestras ya secas se tamizaron con una malla de 2 milímetros. La determinación cualitativa en el campo del material amorfo y paracrystalino se hizo con toluidina (22) y con NaF 1N (17). La naturaleza de la fracción mineral se determinó por disolución selectiva y se emplearon tres técnicas: (a) oxalato ácido de amonio (6); (b) ditionito de sodio en una solución de citrato y bicarbonato (12) y (c) pirofosfato de sodio (21). Para la granulometría se eliminó la materia orgánica con agua oxigenada al 30% siguiendo el procedimiento sugerido por el ISRIC (15). Para dispersar el suelo se añadió, bajo agitación y gota a gota, NaOH 0.1 N (profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm) ó HCl 0.1 N (135 cm) hasta alcanzar la dispersión. La suspensión resultante se agitó mecánicamente durante 16 h, en un agitador de acción recíproca regulado a aproximadamente 1800 PM.

Se separaron las fracciones arena (< 2 mm pero 0.50 mm) y arcilla (< 0.002 mm), la primera utilizando un tamiz de malla 400 (0.050 mm) y la segunda mediante la técnica de centrifugación, propuesta por Jackson (11). Para el estudio por técnicas instrumentales se utilizó la fracción arcilla (< 0.002 mm). Para el análisis espectroscópico de IR se prepararon a presión discos de bromuro de potasio-arcilla (185/5 mg). Para el estudio de difracción de rayos-X se utilizó un aparato Siemens D 500. En la microscopía electrónica de barrido se emplearon muestras cubiertas con una laminilla de oro de aproximadamente 500 Å de espesor y las mediciones se hicieron con un microscopio de barrido Jeol 35-C a un voltaje de aceleración de 20 000 kJ y con aumentos que variaron de 540 X a 2400 X. Para las observaciones con microscopio de transmisión se utilizó un aparato Zeiss M-9 y también un Jeol 100. Se emplearon rejillas de cobre cubiertas con una membrana de "formvar" y una capa delgada de carbono.

Se usó una suspensión de polvo de arcilla (2 mg a 3 mg) en agua que contenía ácido o base en una relación de 10:1, la cual se agitó manualmente. Las fotografías fueron tomadas en el escalón correspondiente a 4900 X. El cálculo de alófono e imogolita se hizo de acuerdo con el procedimiento propuesto por Quantín (19), que se basa en el empleo de las fórmulas estructurales de alófono-haloisita o de imogolita, y en la composición química obtenida por la extracción con oxalato ácido

en la relación de los óxidos de silicio y aluminio con sus elementos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Algunas de las características físicas, químicas y fisicoquímicas del perfil estudiado se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características físicas y químicas generales para el perfil Felipe Neri, Méx.

Determinación	Profundidad (cm)		
	0-50	50-135	> 135
pH H ₂ O	6.4	6.6	6.1
pH KC1	5.2	5.2	5.2
pH, NaF, 60 min	11.3	10.5	11.8
CIC (mEq/100 g)	28	30	21
PSB	29	72	17
P Bray-1 (ppm)	2.5	2.5	2.0
Materia orgánica (%)	5.4	5.8	5.2
P fijado (%)	83	80	86
Densidad aparente (g.cm ⁻³)	0.85	0.78	0.53
Humedad (0.3 bars) (%)	46.07	46.46	48.14
Humedad (6 bars) (%)	39.34	39.61	41.70

Extracción de alófono

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de la disolución selectiva con oxalato ácido de amonio, pirofosfato de sodio y ditionito-citrato bicarbonato (deb); así como las relaciones molares para Al, Si y sus óxidos obtenidos a partir de la extracción de ambos elementos con oxalato-ácido.

Para los dos horizontes superiores del perfil (0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm) los valores de las relaciones Al/Si y SiO₂/Al₂O₃ fueron cercanas a uno y alrededor de dos, respectivamente, mientras que para el tercer horizonte (135 cm) las relaciones anteriores fueron dos y uno, respectivamente; estos resultados hacen suponer, de acuerdo con Quantín (19), la presencia de alófono haloisita en los horizontes superficiales del perfil y de imogolita en el más profundo.

Espectroscopía de IR

Los espectros de IR que se muestran en la Fig. 1 corresponden a los tres horizontes estudiados; en el más

Cuadro 2. Resultados de la disolución selectiva en diferentes extractantes y relaciones molares entre Al, Si y sus sesquióxidos para el perfil Felipe Neri, Méx.

Profundidad cm	Oxalato-ácido			Pirofosfato-Na			dcb ^{1/}			Al/Si	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Alófono o imogolita (%)
	Al	Fe	Si	Al	Fe	Si	Al	Fe	Si			
0 - 50	1.70	1.40	1.52	0.90	0.30	4.33	1.35	1.72	---	1.06	1.52	7.23 ^{2/}
50 - 135	1.25	2.00	1.28	0.40	0.30	6.16	0.82	2.00	0.00	1.02	1.74	6.10 ^{2/}
> 135	3.50	1.30	2.30	1.20	0.24	4.33	1.65	1.32	0.83	1.59	1.12	16.97 ^{3/}

Notas:

- 1/ Ditionito-citrato-bicarbonato.
- 2/ Principalmente alófono.
- 3/ Imogolita

superficial (0 cm a 50 cm) se observaron bandas de absorción a 3680, 3650, 1100, 920, 700, 550, 470 y 340 cm⁻¹ y, además, las bandas de absorción de agua, características de la haloisita hidratada pero poco cristalizada.

El espectro correspondiente al segundo horizonte (50 cm a 135 cm) presenta características semejantes a las descritas con anterioridad; sin embargo, las bandas entre 3690 cm a 3620 cm en la región presentan mayor amplitud, lo que corresponde a una mayor cristalinidad del mineral. Para el tercer horizonte, el espectro correspondiente señala las siguientes bandas de absorción: 1110, 960, 570, 480, 430 y 350 cm⁻¹, a los cuales se añaden las bandas de absorción de agua de gran amplitud alrededor de 3400 a 3500 cm⁻¹ y a 1630 cm⁻¹.

Si se observan las bandas alrededor de 960 y 350 cm⁻¹, muestran claramente la presencia de imogolita.

Difracción de rayos-X

Los difractogramas de la fracción < 0.002 mm, correspondientes a las profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm (Fig. 2), señalan claramente la presencia de haloisita (7 Å) y rastros de plagioclasa, pero no revelan la existencia de micas o arcillas con espacio o 10-14 Å como en el estudio de microscopía. En el horizonte 50 cm a 135 cm también se observa haloisita (10 y 7 Å). La difracción con rayos-X del horizonte 135 cm revela la presencia de imogolita, alófono y trazas de haloisita (Fig. 2).

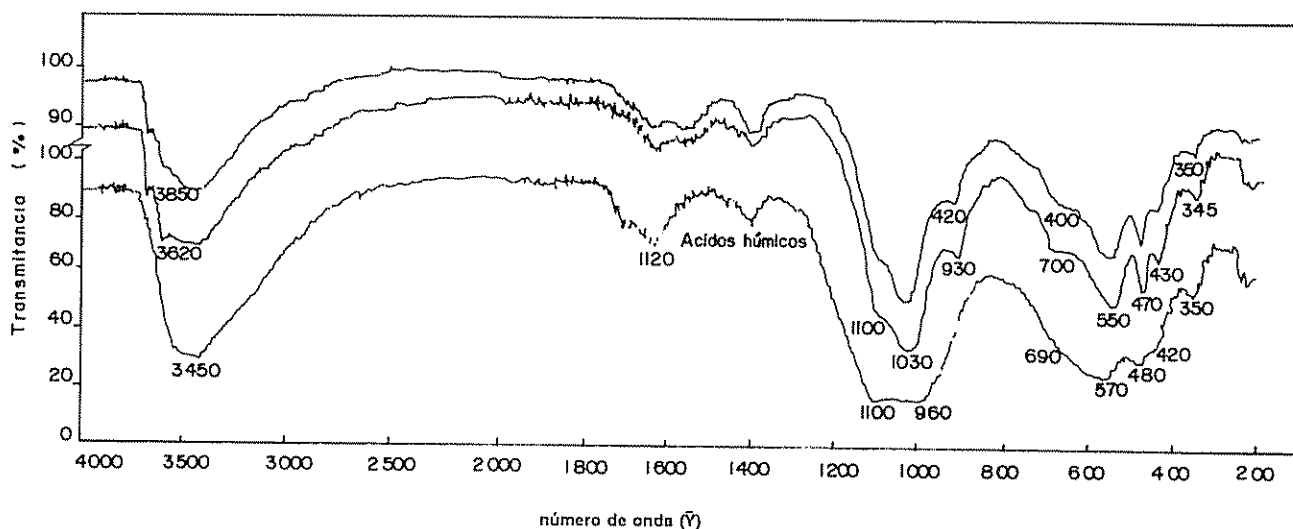


Fig. 1. Espectros IR en tres horizontes estudiados

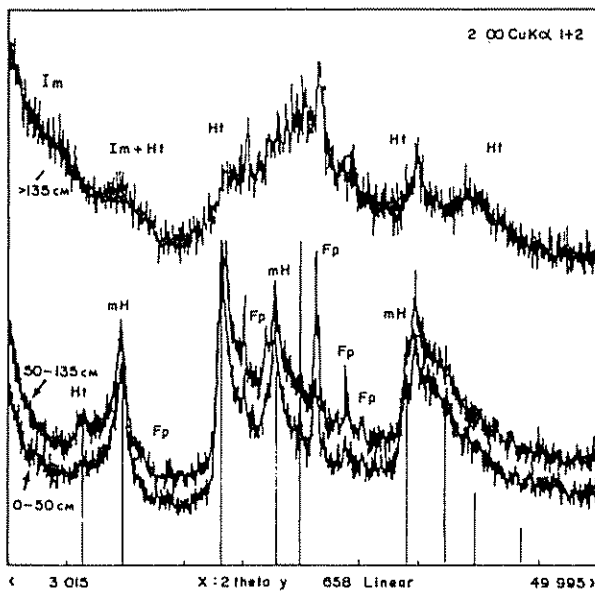


Fig. 2. Presencia de haloisita y de plagioclasa en difractograma de la fracción $< 0.002\text{ mm}$, correspondientes a las profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 centímetros.

Microscopía electrónica

La microscopía de barrido muestra la presencia de microlitos (vidrio, feldespatos, cuarzo, otros) y fitolitos en el primer horizonte (Fig. 3).



Fig. 3. Microscopía de barrido para el primer horizonte del perfil Felipe Neri (fracción $< 0.002\text{ mm}$).

La observación con microscopio electrónico de transmisión de la fracción $< 0.002\text{ mm}$, correspondiente a las profundidades 0 cm a 50 cm y 50 cm a 135 cm (Figs. 4 y 5), muestra la presencia de partículas enrolladas, forma particular de la haloisita esférica; también se observan alófono esférico (protohaloisita) y un poco de vidrio volcánico alterado y micas del tipo 2:1.

En el tercer horizonte (135 cm), que se muestra en las Figs. 6 y 7, se observan mayormente redes de imogolita, y un poco de haloisita esférica, de alófono esférico (protohaloisita) y de micas.



Fig. 4. Toma en microscopio electrónico de transmisión de la fracción $< 0.002\text{ mm}$ para el horizonte 0 cm a 50 cm del perfil Felipe Neri, Méx. (Al: alófono).

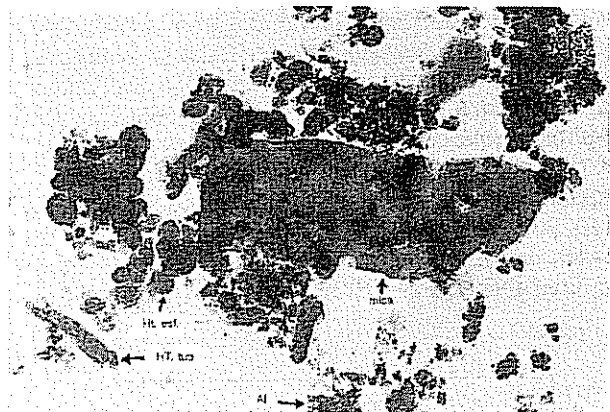


Fig. 5. Microscopía electrónica de transmisión para la fracción $< 0.002\text{ mm}$ del horizonte 50 cm a 135 cm del perfil Felipe Neri, Méx. (Mi: mica, Al: alófono, Ht. esf.: haloisita esférica, Ht. tub.: haloisita tubular).

Es posible que el alófono que se observa en la fotografía, con microscopio electrónico de transmisión, sea en realidad una haloisita esférica muy fina, probablemente protohaloisita, lo cual está en concordancia con el análisis químico.

CONCLUSIONES

En el caso de los dos primeros horizontes, se observan las siguientes características del material menor de 0.002 mm : dispersión en medio alcalino, una

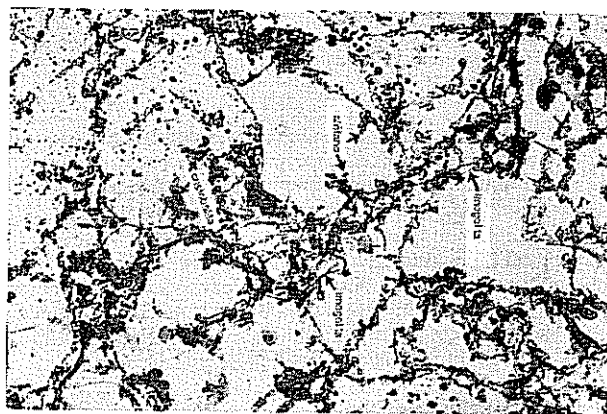


Fig 6. Alófono, imogolita y estructuras cristalinas, observadas con microscopios de transmisión en el horizonte 135 cm del perfil Felipe Neri, Méx. (Im: imogolita, Cr: cristobalita)

composición química que corresponde a relaciones Al/Si alrededor de uno y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cerca a dos y un espectro de IR, que corresponde al de una haloisita hidratada de baja cristalinidad, que probablemente es una mezcla de alófono y haloisita (o metahaloisita); la cristalinidad de la haloisita disminuye con el aumento de la profundidad en el perfil.

El comportamiento de suelo del tercer horizonte (135 cm) fue el siguiente: dispersión en medio ácido, relaciones Al/Si y $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cercanas a uno y alrededor de dos, respectivamente; un espectro de IR correspondiente al de la imogolita, formas fibrosas que se observan por microscopía de transmisión que muestran la predominancia de imogolita mezclada con alófono, pero sin presencia importante de haloisita ni de otros minerales bien cristalizados.

En conclusión, es interesante notar que es la primera vez que la imogolita es reportada en andisoles mexicanos. El Andisol en cuestión está compuesto de al menos dos suelos superpuestos que presentaron una edafogénesis un poco distinta, ya que en la parte superior se desarrollan mayormente arcillas paracrystalinas del tipo haloisita esférica (10-7 Å) y alófono; mientras que la parte profunda está compuesta principalmente por imogolita.

Se puede decir que esta diferencia podría sugerir un comportamiento un poco diferente de la parte superior del suelo y de la parte inferior que se podría explicar de la manera siguiente: la formación de arcilla tipo haloisita y de alófono se debe a la edad más joven de la ceniza superficial y a un clima menos húmedo que el clima adecuado para el desarrollo de la imogolita, en la última profundidad de acuerdo con Aomine y Mizota (1). En el caso de la formación de la imogolita, es bien



Fig 7. Estructuras de micas observadas con microscopio de transmisión en el horizonte 135 cm del perfil Felipe Neri, Méx

conocido que necesita un clima perhúmedo (16, 17, 18). Esta observación puede sugerir también un cambio climático, es decir una formación anterior en un ambiente más húmedo y con un proceso de alteración más avanzado.

LITERATURA CITADA

1. AOMINE, S.; MIZOTA, C. 1973. Distribution and genesis of imogolite in volcanic soils of Northern Kanto, Kanto, Japan. In Clay Confer. (1972, Madrid). Proceedings Madrid, Ed. Serratoza. p. 207-213
2. AGUILERA, H., N. 1963. Algunas consideraciones, características, génesis y clasificación de suelos de ando. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (1). Memoria. Chapingo, Méx., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. p. 233-247.
3. ALVAREZ V., V H. 1982. Efecto de los factores calidad, intensidad y calidad amortiguadora de fósforo en la evaluación de fósforo disponible en suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca, Edo. Michoacán. Tesis Ph Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados
4. BAUS P., J. 1980. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica del fósforo en un suelo de ando. Tesis M Sc Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados
5. BESOAIN, M., E. 1968. Imogolite in volcanic soil of Chile. Geoderma: An International Journal of Soil Science 2:151-169.
6. BLACKEMORE, L.C.; SEARLE, P.L.; DALY, B.K. 1977. Soil Bureau Laboratory Methods: A method for chemical analysis of soils. N.Z. Soil Bureau Science Report

7. CERVANTES R. L.G. 1965. Génesis y clasificación de algunos suelos de la Meseta Tarasca. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Estado de Michoacán, Colegio de Postgraduados
8. COLMEI-DAAGE, F. *et al* 1970. Caractéristiques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques de la Côte Pacifique du Nicaragua. Cahiers ORSTOM: Série Pédologie 8(2):113-172.
9. FIELDS, M.; W. PERROT K. 1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid test for laboratory and field for allophane. *Journal of Science (N.Z.)* 9:623-629
10. GUAJARDO, V., R. 1967. Caracterización de algunos suelos de ando de la Sierra Tarasca. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados.
11. JACKSON, M. L. 1965. Soil chemical analysis: Advanced course. Madison, Wisconsin, University of Wisconsin, Department of Soil Science. p. 31-36
12. MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. 1960. Iron removal from soils and clays by a ditionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *In Nat. Conference Clays and Clays Minerals (1958, Washington, D.C.)* v. 7. p. 317-327.
13. MELIHC, G. 1980. Los suelos de la Sierra Nevada de México. Méx., Fundación Alemana para la Investigación Científica. Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 7
14. MIRAMONTES, F., B. 1972. Efecto del carbonato de calcio y silicato de calcio sobre el rendimiento de sorgo y algunas propiedades químicas en tres suelos de México. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Colegio de Postgraduados.
15. PLEUSIER, L. K. 1986. The laboratory methods and data exchange programme interim report on the exchange round 86-1. Wageningen, Holanda, International Soil Reference and Information Centre. Working Paper and Preprint 86/4.
16. QUANTIN, P. 1974. Hypothèse sur la genèse des andosols en climat tropical: Evolution de la "pédogenèse initiale" en milieu bien drainé-sur roches volcaniques. Cahiers ORSTOM. *Sérvíce Pédologie* 12(1):3-12
17. QUANTIN, P.; BONDANT-TRAUI, D.; WEBER, F. 1975. Miocen evidence des minéraux secondaires, argiles et hydroxydes dans les andosols des Nouvelles Hébrides, apres déferrification pour la méthode de Endredy. *Bulletin Gr. Fr. Argiles* 27(1):51-87.
18. QUANTIN, P. 1987. Les Andosols. Paris, Cours DEA de Pédologie. 25 p.
19. QUANTIN, P. 1987. Curso: Mineralogía de los andosoles y de los suelos de origen volcánico. Montecillos, Méx., Colegio de Postgraduados. (Apuntes xerografiados).
20. RAMOS, M. H. 1972. Estudio del alófono y su efecto en la actividad metabólica de la flora microbiana en tres suelos: Vertisol, andosol y ranker alpino. Tesis M.Sc. Chapingo, Méx., Escuela Nacional de Agricultura
21. WADA, K.; GUNJIGAKE N. 1979. Active aluminum and iron and phosphate adsorption in Ando soils. *Soil Science* 128:331-336
22. WADA, K.; KAKUTO, Y. 1985. A spot test with toluidine blue for allophane and imogolite. *Soil Science Society of American Journal* 49:276-278