

MICORRIZAS VESICULO-ARBUSCULARES EN *AUSTROCEDRUS CHILENSIS*

S. Fontenla, M. Havrylenko y P. H. Rosso

*Centro Regional Universitario Bariloche. Univ. Nacional del Comahue.
C. C. 1336 (CP 8400) S. C. de Bariloche. Rio Negro. Argentina.*

RESUMEN

Se describen por primera vez micorrizas vesículo-arbusculares en las raíces de *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera) en los bosques nativos de Argentina.

Tanto las raíces de árboles sanos, como las de afectados por la enfermedad característica del ciprés, poseen estructuras fúngicas típicas de los endófitos formadores de micorrizas vesículo-arbusculares, sin que se observen diferencias estructurales del simbiote entre árboles afectados y sanos.

No se ha detectado la presencia de ectomicorrizas en ninguno de los árboles estudiados.

Palabras clave: Foresta, bosque nativo, Cupressaceae, *Austrocedrus chilensis*, micorrizas, micorrizas vesículo-arbusculares.

SUMMARY

VESICULAR - ARBUSCULAR MYCORRHIZAE IN *AUSTROCEDRUS CHILENSIS*

For the first time vesicular-arbuscular mycorrhizae are described in the roots of *Austrocedrus chilensis* growing in the Argentina natural forest.

The roots, either belonging to healthy trees or affected by the characteristic disease of this tree, have the fungal structures typical of the endofites forming vesicular-arbuscular mycorrhizae. There were not structural differences between affected and healthy trees.

The presence of ectomycorrhizae was not found in the trees studied.

Key words: Forest, native woods, Cupressaceae, *Austrocedrus chilensis*, mycorrhizae, vesicular-arbuscular mycorrhizae.

INTRODUCCION

Austrocedrus chilensis (D. Don) Florin et Boutelje, 1954 o ciprés de la cordillera, Cupressaceae nativa de Argentina y Chile, es una especie de gran interés ecológico y económico. En Argentina, se ve amenazada por una mortalidad conocida vulgarmente como "Mal del ciprés". El índice

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Red Latinoamericana de Botánica.

de mortalidad, en algunos sitios, es elevado y su agente causal permanece aún desconocido, aunque investigaciones previas postulan un origen biológico presumiblemente presente en la rizosfera (Havrylenko *et al.*, 1989; Rosso, 1989).

Las micorrizas vesículo-arbusculares (VA) se encuentran en la mayor parte de las especies vegetales conocidas. Sin embargo, y debido quizás a su mayor facilidad de manipulación, la investigación de micorrizas VA se ha centrado en las especies herbáceas, siendo muy escasa la información existente acerca de la presencia

de estos microorganismos en especies arbóreas, exceptuando las frutícolas (Rolando-Fajardo, 1985).

Ante la existencia de un deterioro evidente de *A. chilensis*, posiblemente causado por microorganismos del suelo, y para comprender en un futuro el proceso patogénico se plantea la necesidad de profundizar en el estudio del estado micorrícico de la planta huésped. En este sentido, dado que hasta la fecha no ha sido investigada la presencia de micorrizas en esta especie arbórea, el objetivo del presente trabajo es estudiar la posible presencia de micorrizas en raíces de cipreses tanto sanos como afectados.

MATERIAL Y METODOS

En el Parque y Reserva Nacional Nahuel Huapi, se seleccionaron cuatro parcelas en áreas con bosques naturales de *A. chilensis*, con características ambientales y vegetacionales diferentes, dos de ellas no afectadas y las otras dos con síntomas de afección conocidos (Havrylenko *et al.*, 1989). En cada una se tomaron muestras de raíz y rizosfera de ocho cipreses, tanto de individuos sanos como de afectados. Las raíces extraídas se clarificaron y tiñe-

ron según el método descrito por Bevege (1968), observándose las estructuras fúngicas mediante microscopio compuesto. Se realizó un estudio de frecuencia de aparición de micorrizas VA a lo largo de un año en forma estacional.

Las muestras de suelo se procesaron en base al método de tamizado húmedo-centrifugación en sacarosa modificado (Walker y Wize, 1982) a fin de detectar la presencia de esporas de hongos vesículo-arbusculares.

RESULTADOS

En las 128 muestras de raíces de *A. chilensis* procesadas se encontraron estructuras características de los hongos formadores de micorrizas VA, tales como hifas intercelulares e intracelulares formando ovillos, vesículas y arbusculos (Fig. 1 A-H).

Estas estructuras se observaron con una frecuencia estacional de aparición del 100%, sin presentar diferencias cualitativas estructurales entre las parcelas, a pesar de que estas tenían características ambientales, vegetacionales y sanitarias diferentes.

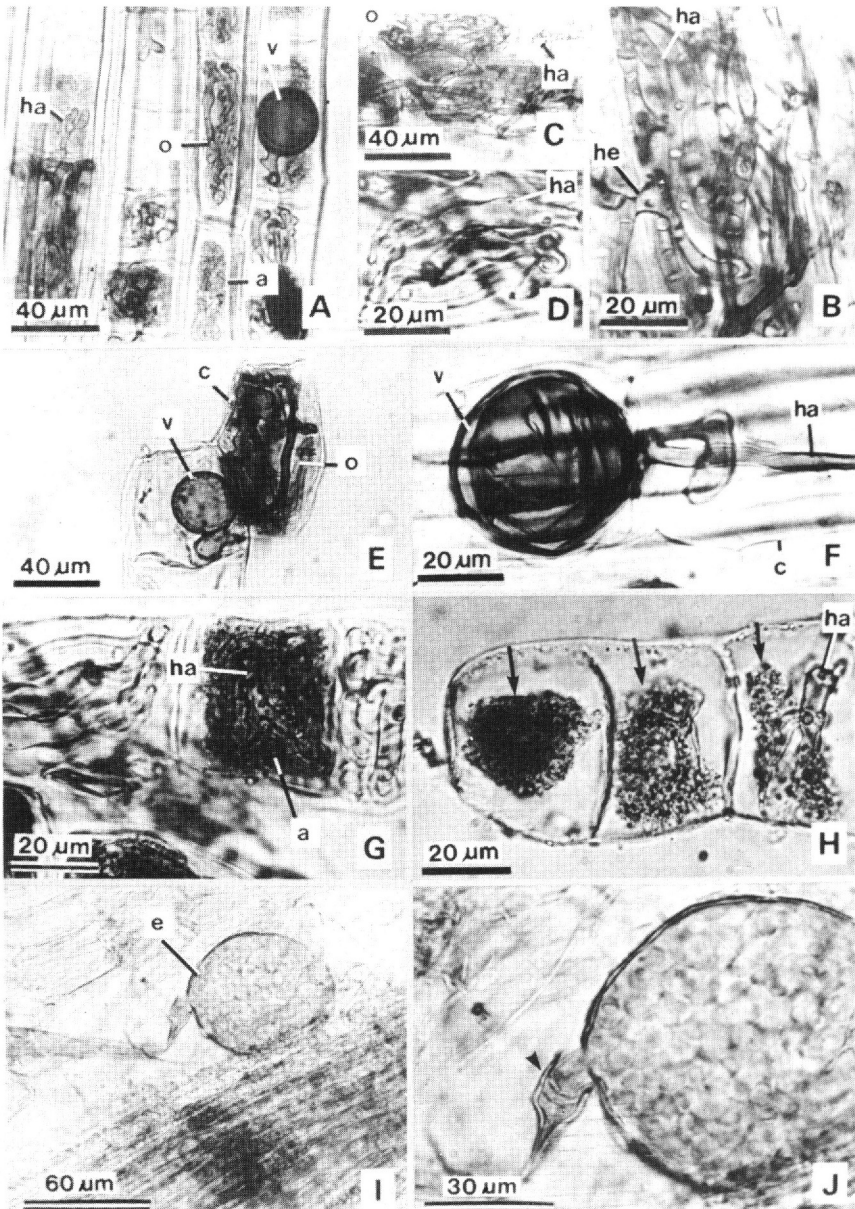


FIG. 1.—Microfotografías de estructuras de micorrizas vesículo-arbusculares dentro de raíces de *Austrocedrus chilensis*.

A Células corticales colonizadas por hifas intracelulares formando ovillos (o), vesículas (v) y arbusculos (a). B. Hifas intercelulares (he) e hifas intracelulares (ha). C. Hifas intracelulares (ha) formando ovillos (o) en las células próximas. D. Detalle de un ovillo. (o). E. Vesícula (v) y ovillo (o) intracelular. F. Hifa intracelular (ha) formando una vesícula (v). G. Hifa intracelular (ha) formando un arbusculo (a). H. Arbusculo en tres células consecutivas. I. Espora intrarradicular en una hifa sustentora. J. Detalle de la unión del bulbo suspensor a la misma espora.

(Abreviaciones: c: célula cortical; he: hifa intercelular; ha: hifa intracelular; o: ovillo; v: vesícula; a: arbusculo; e: espora).

En una de las parcelas sanas se observó, con escasa frecuencia, esporas intrarradiculares con las siguientes características: forma globosa; contenido granular; diámetro 70-60 μm ; hifas sustentora de 9-10 μm con unión de tipo vertical, siendo el bulbo suspensor de 9-10 μm (Fig. 1 I-J). Así mismo, se corroboró la

presencia de esporas de micorrizas VA en los suelos de todas las parcelas estudiadas.

En ninguna de las muestras procesadas se detectaron ectomicorrizas, hecho que también se corroboró en cipreses de otras zonas del Parque y Reserva Nacional Nahuel Huapi (datos no mostrados).

DISCUSION

El hallazgo de micorrizas vesículo-arbusculares en coníferas de la Cordillera de los Andes, concuerda con los trabajos de Baylis (1961, 1962).

Con respecto a la Familia Cupressaceae, este tipo de micorrizas fue descrito en los géneros *Juniperus*, *Cupressus* y *Libocedrus* (Harley y Harley, 1987; Hung Tao-Hu, 1981; Reinsvold y Reeves, 1986). Además, en los géneros *Juniperus* y *Cupressus* también fueron identificadas ectomicorrizas acompañando a las vesículo-arbusculares (Harley y Harley, 1987).

El presente trabajo permite concluir que *A. chilensis* en Argentina posee micorrizas VA y que en esta especie arbórea no fueron detectadas otro tipo de micorrizas.

En lo referente a la mortalidad que sufre el ciprés en Argentina, el hallazgo del tipo de micorrizas y su detección estacional a lo largo de un año, tanto en bosques afectados como en sanos, sugiere que la afeción no aparenta modificar de forma apreciable las estructuras fúngicas características de este tipo de sim-

bionte, a pesar que los individuos modifican visiblemente su estado sanitario en ese mismo lapso. La existencia de micorrizas VA en *A. chilensis* puede ser un factor importante a analizar, no sólo desde el punto de vista nutricional, que implica un aumento natural de la resistencia de la planta a los patógenos (Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi, 1983; Morton, 1983), sino que también, y debido a su presencia en los cipreses afectados, desde el punto de vista de la interacción con microorganismos patógenos causantes del "Mal del ciprés". En efecto, se ha encontrado que las micorrizas VA tienen una participación directa en los fenómenos de resistencia a los microorganismos patógenos, pudiendo en algunos casos antagonizar o sinergizar el efecto perjudicial para la planta de estos últimos (Kaye *et al.*, 1984; Schenck, 1983).

En este sentido, en nuestro laboratorio se considera de interés continuar el estudio de los hongos formadores de micorrizas VA y su papel en la resistencia a los agentes causantes de la enfermedad.

CONCLUSIONES

Austrocedrus chilensis posee micorrizas vesículo-arbusculares y la enfermedad que afecta a esta especie arbórea, no aparenta modificar en

forma cualitativa el estado micorrízico presente.

No fueron detectadas otro tipo de micorrizas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Gernot Vobis por su cola-

boración. Al Dr. J. Antonio Ocampo por la lectura crítica del manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- BAYLIS, G. T. S., 1961. The significance of mycorrhizas and root nodules in New Zealand vegetation. Proc. R. Soc. N. Z., 89: 45-50.
- BAYLIS, G. T. S., 1962. Rhizophagus. The catholic symbiont. Aust. J. Sci., 25: 195-200.
- BEVEGE, D. I., 1968. A rapid technique for clearing tannins and staining intact roots for detection of mycorrhizas caused by *Endogone spp.* and some records of infection in australasian plants. Trans. Br. Mycol. Soc. 5.
- GIANINAZZI-PEARSON, V. and GIA, NINAZI, S., 1983. The physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots. Plant and Soil, 71: 197-209.
- HARLEY, J. L. and HARLEY, E. L., 1987. A check-list of mycorrhiza in the British Flora. The New Phytologist, 105. Supplement.
- HAVRYLENKO, M., ROSSO, P. H. y FONTENLA, S. B., 1989. *Austrocedrus chilensis*: Contribución al estudio de su mortalidad en Argentina. Bosque, 10. (En prensa).
- HUNG-TAO HU, 1981. Endotrophic mycorrhizal studies on the important needle tree species at high altitude in Taiwan. Memoirs of the College of Agriculture National Taiwan University, Taipei, Taiwan, China. 21.
- KAYE, J. W., PFLEGER, F. L. and STEWART, E. L., 1984. Interactions of *Glomus fasciculatus* and *Pythium ultimum* on greenhouse grown Poinsettia. Can. J. Bot., 62: 1575-1579.
- MORTON, J. B., 1988. Taxonomy of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: classification, nomenclature and identification. Mycotaxon, 32: 267-324.
- ROLDAN-FAJARDO, B. E., 1985. Micorrizas VA en cultivos arbóreos: Almendro, naranjo y olivo. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Granada.
- REINSVOLD, R. J. and REEVES, F. B., 1986. The mycorrhizae of *Juniperus osteosperma*: identity of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiont, and resynthesis of vesicular-arbuscular mycorrhizae. Mycologia, 78: 108-113.
- ROSSO, P. H. A., 1989. Caracterización sintomatológica y espacial del mal que afecta a las poblaciones del ciprés de la cordillera. Tesis Lic. Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche. S. C. de Bariloche. Argentina.
- SCHENCK, N. C., 1983. Can mycorrhiza control root disease? Plant Disease, 65: 230-234.
- WALKER, C. and WIZE, C. W., 1982. Populations of Endogonaceous fungi at two locations in central Iowa. Can. J. Bot., 60: 2518-2529.

Recibido: 18-12-90.

Aceptado: 20-2-91.

DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO Y CATIONES EXTRAIBLES CON Ag-TIOUREA EN ANDOSOLS

C. D. Arbelo, M. Espino y J. M. Hernández-Moreno

*Departamento de Edafología y Geología, Facultad de Biología,
Universidad de La Laguna, Tenerife, Islas Canarias*

RESUMEN

Se ha determinado la capacidad de cambio catiónico (CCC) y los cationes extraíbles por el método de la plata-tiourea (una sola extracción con solución no tamponada 0.01 M AgTU⁺, pH 5.5), en una serie de Andosols de las Islas Canarias con alofana de diferente composición. Los resultados se comparan con los obtenidos por NH₄OAc (1N, pH 7).

El NH₄OAc se ha revelado como el extractante más eficaz para el potasio. Este hecho podría reflejar la selectividad de la alofana por el potasio y la disolución de vidrio volcánico en NH₄OAc. Ambos extractantes reflejan un poder de extracción similar en el caso del magnesio. Respecto al calcio, las cantidades extraídas con AgTU son superiores, no existiendo buena correlación entre ambos métodos. Este hecho se ha atribuido a la existencia de adsorción específica de Ca por estos suelos.

La suma de cationes por AgTu (S-AgTU) presenta buena correlación con los valores de capacidad de cambio catiónico (CCC-AgTU). El método muestra un interés potencial como procedimiento de rutina para la determinación de la CCC representativa de las condiciones de pH y fuerza iónica de los suelos.

Palabras clave: Carga variable, andosol, capacidad de cambio.

SUMMARY

CATION EXCHANGE CAPACITY AND EXTRACTABLE CATIONS DETERMINED BY Ag-THIOUREA IN ANDOSOLS

Cation exchange capacity (CEC) and extractable cations have been studied by the method of silver-thiourea (single extraction with non buffered 0.01 M AgTU⁺ solution), in different types of Andosols from the Canary Islands with a range of allophane composition. The results are compared with those obtained by NH₄OAc (1N, pH 7).

Potassium was more efficiently extracted by NH₄OAc. This reflects the selectivity of allophane for K and the dissolution of volcanic glass in NH₄OAc.

Mg values obtained by both methods were highly correlated. AgTU extracted more Ca than NH₄OAc and both methods were poorly correlated; this fact was attributed in part to specific adsorption of Ca that has been already shown in these soils.

The sum of cations by AgTU (S-AgTU) was well correlated to CEC (AgTU). The method seemed a potential valuable routine procedure to measure CEC at field pH and ionic strength levels.

Key words: Charge variable, andosols, exchange capacity.

INTRODUCCION

Los numerosos trabajos dedicados al estudio de suelos de carga variable que han aparecido durante la última década han puesto de manifiesto la necesidad de poner a punto nuevos métodos de determinación de la capacidad de cambio adaptados al comportamiento particular de este tipo de suelos, en los que las cargas superficiales dependen notablemente de los niveles de pH y fuerza iónica y donde los casos de adsorción específica son más la regla que la excepción. Muchos de estos métodos son laboriosos y consumen demasiado tiempo, por lo que no parecen ser indicados como métodos de rutina. En este sentido, se ha introducido el uso de cationes complejos de metales con ligandos orgánicos que se adsorben fuertemente sobre los coloides del suelo: Ag-Tiourea (Chhabra *et al.*, 1975) Co-hexamín (Orsini y Remy, 1976) y Li-EDTA (Begheyn, 1986), entre otros. Estos complejos permiten la determinación de la capacidad de cambio catiónico (CCC) y de los cationes de cambio al pH del suelo y al mismo

tiempo el intercambio tiene lugar a una fuerza iónica baja, evitando la necesidad de realizar varias etapas de saturación para desplazar totalmente los cationes de cambio. Además, en estos procedimientos no es necesario el desplazamiento del catión índice adsorbido, lo cual elimina los posibles problemas de hidrólisis o adsorción salina que pueden tener lugar con los métodos convencionales. Los estudios realizados con Ag-Tiourea (Ag-TU^+) muestran la gran afinidad de este ión complejo por los coloides del suelo (Pleysier y Cremers, 1973 y 1975). Se trata también de un catión altamente efectivo en el desplazamiento de cationes cambiables de suelos y arcillas a baja fuerza iónica (Chhabra *et al.*, 1975).

En el presente trabajo se ha utilizado el método de la Ag-Tiourea en la determinación de cationes cambiables y capacidad de cambio catiónica en una serie de Andosoles procedentes de las Islas Canarias. Los resultados se comparan con los obtenidos utilizando NH_4OAc 1N pH 7.

MATERIAL Y METODOS

Suelos

Se han estudiado suelos representativos de diferentes tipos de Andosoles de las Islas Canarias, cuyas descripciones y propiedades caracte-

rísticas aparecen en la "Guía de Campo" del Congreso Internacional de Suelos Volcánicos. (Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna, 1984).

Barlovento	Typic Hydrandept,	hors. A1, Bw1, Bw2, Bw3, Bw4.
Bona	Typic Hydrandept,	hors. A1, Bw1.
Garafia	Typic Dystrandept,	hors. A1, Bw2, Bw3, Bw4.
Aguamansa	Typic Dystrandept,	hors. Bw1, Bw2, Bw3, Bw4.
Las Raíces	Typic Dystrandept,	hors. A1, Bw, 2Bw.
La Esperanza	Typic Dystrandept,	hors. A1, Bw, BwC1.
Chío	Typic Vitrandept,	hor. Bw.

En la Tabla 1 aparecen algunas propiedades relevantes de los suelos estudiados. Asimismo se incluyen los valores de capacidad de cambio catiónico (CCC) determinadas en BaCl₂ según el método de Gillman (1979) en un estudio realizado por Arbelo (1989).

Las fuerzas iónicas de las soluciones del suelo (pasta saturada) oscilan entre 2.75 y 4.03 × 10⁻³ M en los Hydrandepts y Dystrandeps mientras que en el Vitrandeps es de 8.39 × 10⁻³ M. (Arbelo *et al.*, 1989).

Estos suelos constituyen una secuencia cronológica que incluye, en un extremo, suelos muy alterados con alofana alumínica (Barlovento, Bona, Garaffa) y, en otro extremo, un suelo muy reciente con abundante vidrio volcánico y alofana rica en sílice (Chío). El perfil Las Raíces es el único que presenta cantidades importantes de filosilicatos (haloanita) y el horizonte 2Bw carece de propiedades ándicas (Soil Survey Staff, 1990).

Métodos

— Determinaciones de la capacidad de cambio catiónico (CCC) y cationes cambiables por el método de la plata-tiourea (Ag-TU).

Se ha seguido la técnica descrita por Chhabra *et al.* (1975), con las modificaciones dadas por Pleysier *et al.* (1986).

a) Preparación del reactivo AgTU 0.01 M.

Se obtiene a partir de una disolución de AgNO₃ 0.04 M y de Tiourea 0.2 M. A 1 L. de Tiourea se le añade 500 mL. de H₂O desioni-

zada. A continuación, muy lentamente y con vigorosa agitación se añaden mL de AgNO₃ 0.04 M. El producto final es filtrado por Millipore 0.45 μm. El pH de esta disolución es de 5.5.

b) Procedimiento

A 2g de suelo seco al aire y tamizado por 2 mm. se añaden 80 mL. del reactivo AgTU en tubos de centrifuga. Se agita durante 4 h y el sobrenadante claro se separa del suelo por centrifugación (2000 r.p.m. durante 15 min). En el extracto resultante se determinan los cationes extraídos: calcio y magnesio por absorción atómica y sodio y potasio por fotometría de llama.

La capacidad de cambio catiónico (CCC) se determina por diferencia entre la Ag añadida y la que queda en el sobrenadante.

— Determinación de la CCC y cationes cambiables por el método del NH₄OAc 1N pH 7.

A 4 g de suelo seco al aire y tamizado por 2 mm se añaden 33 mL de disolución extractante NH₄OAc 1N pH 7, se agita durante cinco minutos, se centrifuga. Se decanta el líquido sobrenadante; se repite esta operación tres veces. Las soluciones recogidas en estas extracciones son utilizadas para la determinación de los cationes de cambio.

A continuación se lava el suelo tres veces con etanol del 95%. Se añaden 33 mL de KCl 1N, se agita durante cinco minutos, se centrifuga recogiendo el sobrenadante en un matraz aforado. Se efectúa esta operación tres veces. Se determina el NH₄⁺ en un autoanalizador TECH-NICON.

TABLA 1

Propiedades significativas de los suelos estudiados.

Suelo	Horizonte	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	% C	Complejo de cambio caracterizado con BaCl ₂	
					pHe	CCC (cmol _c Kg ⁻¹)
Barlovento	A1	5.7	4.9	6.2	5.6	7.6
	Bw1	5.7	4.8	6.7	5.6	7.6
	Bw2	5.5	4.8	5.6	5.6	7.8
	Bw3	5.2	4.6	2.5	5.5	4.1
	Bw4	5.1	5.0	5.0	5.6	5.5
Bona	A1	5.6	5.0	9.8	5.3	5.1
	Bw1	5.7	5.0	5.8	5.5	6.6
Garaffa	A1	6.2	5.3	6.4	5.8	7.3
	Bw2	6.0	5.8	3.3	6.2	6.0
	Bw3	6.1	5.9	2.8	5.9	5.2
Aguamansa	Bw1	6.6	5.5	2.4	6.2	10.5
	Bw2	6.5	5.5	2.6	6.2	13.5
	Bw3	6.2	5.6	1.5	6.3	11.5
	Bw4	6.4	5.8	2.9	6.5	14.9
Las Raíces	A1	6.5	5.2	3.3	6.2	12.9
	Bw	6.6	5.8	1.1	6.5	12.7
	2Bw	6.1	5.2	0.2	—	—
La Esperanza	A1	6.6	5.7	4.5	6.2	12.7
	Bw	5.9	5.8	1.5	5.4	6.1
	BwC1	5.7	5.4	1.1	5.8	6.5
Chío	Bw	7.2	6.1	1.0	6.5	17.2

pHe representa el pH de equilibrio al que se determinó la CCC en BaCl₂ obtenida por el método de Gillman (1979).

— Acidez cambiabile

Se determinó en el extracto 1:2.5 en KCl 1N. Se toma una alícuota de 50 mL de este extracto y se valora

con NaOH 0.05 N hasta punto final con un valorador automático Mettler DL25 Titrator. (Rouiller *et al.*, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se muestran los valores de cationes extraíbles y capacidad de cambio catiónico obtenidos por ambos métodos.

Potasio

Las cantidades de K extraídas con NH₄OAc son superiores a las extraídas con AgTU exceptuando el hor. A1 del perfil Bona y el hor. Bw4 del perfil Barlovento, observándose que a bajos valores de K (< 0.3 cmol_c

kg⁻¹) las diferencias no son significativas, encontrándose dentro de los límites de confianza. La correlación observada es bastante buena (Fig. 1).

$$K (\text{AgTU}) = 0.515 K (\text{NH}_4\text{OAc}) + 0.038, (r = 0.958, p < 0.001).$$

Estos resultados no se corresponden con los encontrados por otros investigadores en suelos de regiones templadas y tropicales (Chhabra *et al.*, 1975; Pleysier and Juo, 1980;

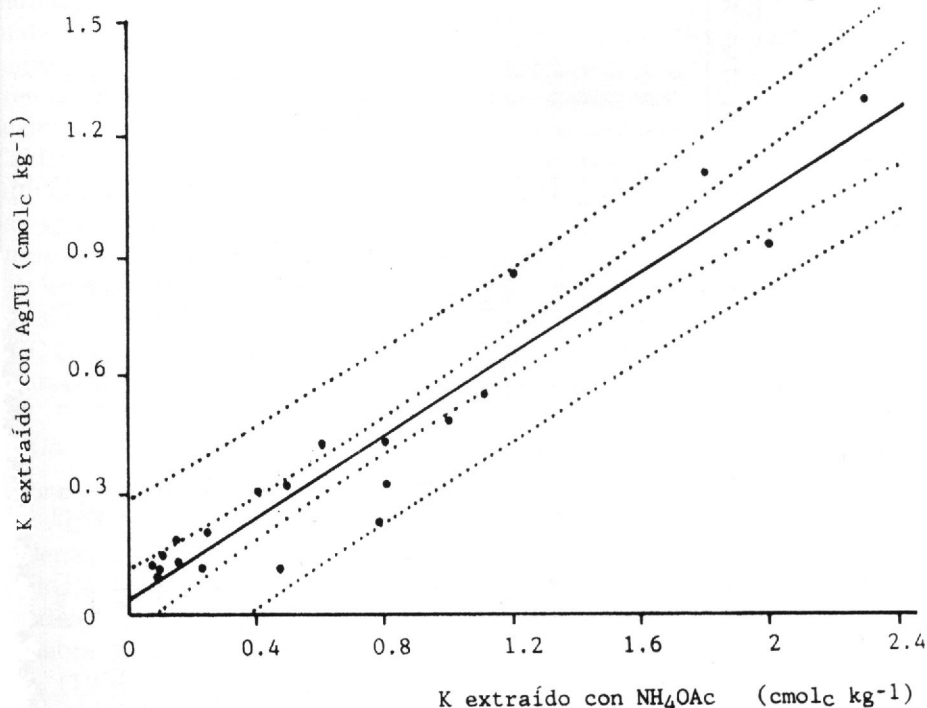


FIG. 1.—Relación entre los valores de K obtenidos por NH₄OAc y AgTU.
(.....): Límites de confianza a un nivel del 95%

TABLA 2

Cationes extraídos, suma de cationes (S) y capacidad de cambio catiónico (CCC) determinados con acetato amónico (NH₄ OAc) y Ag-Tiourea (AgTU). Las cantidades se expresan cmol_c kg⁻¹

Suelo	Hor.	Ca		Mg		K		Na		S		CCC	
		NH ₄ OAc	AgTU	NH ₄ OAc	AgTU	NH ₄ OAc	AgTU	NH ₄ OAc	AgTU	NH ₄ OAc	AgTU	NH ₄ OAc	AgTU
Barlovento	A1	2.7	3.4	1.4	1.3	0.5	0.3	0.6	1.4	5.2	6.4	64.1	7.6
	Bw1	2.8	3.8	1.4	1.6	0.2	0.2	0.8	1.7	5.2	7.3	69.6	7.8
	Bw2	2.1	2.8	0.7	0.8	0.2	0.1	0.6	1.3	3.6	5.0	74.2	5.7
	Bw3	1.5	2.2	0.4	0.3	0.2	0.1	0.5	1.3	2.6	4.0	45.7	4.5
	Bw4	1.8	2.3	0.5	0.4	0.1	0.2	0.4	1.6	2.7	4.5	83.3	5.2
Bona	A1	2.4	3.8	0.6	1.4	0.1	0.2	0.7	1.2	3.8	6.6	66.0	4.8
	Bw1	1.0	2.9	0.2	0.7	0.1	0.1	0.4	1.0	1.7	4.7	91.9	8.2
Garafía	A1	2.4	3.4	1.3	0.8	0.5	0.1	0.7	1.3	4.9	5.6	43.5	5.5
	Bw2	1.0	3.5	0.7	0.9	0.1	0.1	0.4	1.3	2.3	5.8	62.9	5.0
	Bw3	0.7	2.8	0.6	0.8	0.1	0.1	0.5	1.1	1.8	4.8	52.7	3.8
Aguamansa. . .	Bw1	2.6	4.3	2.5	2.0	1.0	0.5	0.6	1.3	6.7	8.1	36.3	7.8
	Bw2	3.7	5.6	2.9	2.3	0.8	0.4	0.5	1.6	7.9	9.9	42.7	8.6
	Bw3	3.3	5.8	2.6	2.3	0.8	0.3	0.8	1.9	7.5	10.3	39.6	8.9
	Bw4	3.3	6.8	2.7	2.7	0.8	0.2	0.6	1.0	7.3	10.8	49.2	10.1
Las Raíces . . .	A1	2.5	6.5	2.7	2.8	2.3	1.3	0.9	1.6	8.4	12.2	33.9	10.7
	Bw	2.3	6.7	3.6	3.6	2.0	0.9	1.0	1.8	8.9	13.1	34.5	12.6
	2Bw	5.5	5.8	4.2	4.0	1.1	0.6	1.1	1.2	11.9	11.6	25.4	11.5
La Esperanza	A1	8.4	7.0	2.8	2.2	1.8	1.1	0.7	1.6	13.7	11.9	39.0	11.5
	Bw	3.2	3.5	1.9	1.3	0.6	0.4	0.7	1.6	6.4	6.9	48.2	5.0
	BwC1	2.9	4.2	1.7	1.5	0.4	0.3	0.6	1.5	5.6	7.5	42.3	7.0
Chío	Bw	10.5	7.4	2.5	2.0	1.2	0.9	0.6	0.9	14.8	11.1	19.2	8.4

Pleysier *et al.*, 1986). Estos autores atribuyen la cantidad extra de potasio obtenida con AgTU al potasio interfoliar, especialmente en suelos con vermiculita. Por otra parte, Searle (1986), de acuerdo con nuestros resultados, encuentra un mayor poder de extracción por parte del acetato amónico en Vitrandepts y Dystrandeps.

La utilización del amonio como catión índice se ha cuestionado ya que este catión tiende a formar complejos superficiales de esfera interna con los filosilicatos 2:1 e incluso desalojar cationes de los minerales fácilmente alterables (Spósito, 1989). En nuestro estudio, la mayor especificidad del amonio por el potasio podría explicarse por parte, por fijación selectiva del potasio relacionada con el tamaño de poro de los materiales alofánicos y similitud de radio iónico con el amonio (Van Reeuwijk y de Villiers, 1968; Rousseaux y Warkentin, 1976; Fernández Caldas *et al.*, 1976) y por otra, en función de la solubilidad de las cenizas volcánicas en el reactivo acetato amónico. Este hecho explica que en los Vitrandepts la suma de cationes (S) sea frecuentemente superior a la CCC (incluso determinada con acetato amónico).

Sodio

Las cantidades de Na extraídas por AgTU son superiores, a veces notablemente, en todos los suelos estudiados. Estos resultados se corresponden con los encontrados por Chhabra *et al.* (1975); Pleysier y Juo, (1980) y Pleysier *et al.* (1986). La correlación observada no es buena como es frecuente al comparar diferentes métodos de extracción de Na.

Calcio

No existe una buena correlación entre los valores de Ca obtenidos por ambos métodos.

$$\text{Ca (AgTU)} = 0.499 \text{ Ca (NH}_4\text{OAc)} + 2.917, (r = 0.71, p < 0.04)$$

Las cantidades de Ca extraídas con AgTU son en todos los casos superiores a las obtenidas con NH₄OAc exceptuando el hor. A1 del perfil La Esperanza y el hor Bw del perfil Chío. En este sentido no hay una tendencia definida en la bibliografía consultada. El mayor poder de desplazamiento de Ca por parte de AgTU frente al NH₄OAc puede deberse en parte al pH al cual se realiza la extracción; en este sentido Chan *et al.* (1979) han observado que por encima de pH 6 aumenta la fuerza de retención de calcio y magnesio, y por tanto su carácter no cambiante. Es posible entonces que la extracción con NH₄OAc pH 7 sea menos efectiva que con AgTU debido al valor de pH notablemente más bajo de este extractante. Por otra parte, Arbelo (1989) ha señalado, en estos mismos suelos, la existencia de calcio específicamente adsorbido no desplazable con amonio. Este hecho explicaría el elevado valor de la ordenada en el origen de la ecuación de regresión que describe la relación entre ambos extractantes.

Magnesio

Los valores de Mg obtenidos por ambos métodos están mucho mejor correlacionados que en el caso del Ca (Figura 2).

$$\text{Mg (AgTU)} = 0.833 \text{ Mg (NH}_4\text{OAc)} + 0.197, r = 0.949, p < 0.001.$$

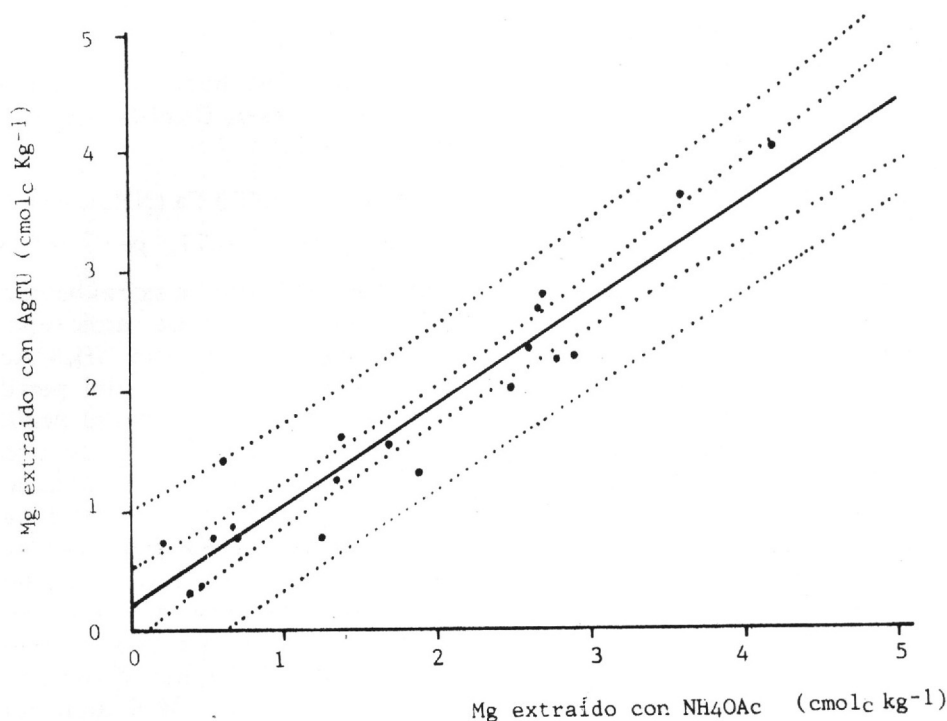


FIG. 2.—Relación entre los valores de Ca obtenidos por NH_4OAc y AgTU .
(.....): Límites de confianza a un nivel del 95%

Las cantidades extraídas con NH_4OAc son superiores a las extraídas con AgTU para los suelos con alofanos más ricos en sílice. En algunos horizontes de los suelos más alterados la tendencia es contraria. En el primer caso los resultados concuerdan con los encontrados por Searle (1986) el cual encuentra diferencias de hasta un 25% más de Mg extraído con NH_4OAc que con AgTU en un Vitrandept.

Acidez cambiabile

Sólo presentan acidez cambiabile los horizontes A1, Bw1 del perfil Barlovento ($0.21 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) y los horizontes A1 y Bw1 del perfil Bona (respectivamente 0.06 y 0.05

$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). El significado de la "acidez cambiabile" en suelos alofánicos no es fácil de interpretar debido a las diferentes reacciones que pueden transcurrir entre el KCl a elevada fuerza iónica y las superficies de carga variable (Wada, 1987). Teniendo en cuenta esta incertidumbre, los valores obtenidos de acidez cambiabile no contribuyen significativamente a la capacidad de cambio efectiva, por lo que esta puede estar representada en este trabajo por la suma de cationes cambiabiles.

Suma de cationes (S)

Los valores de S por AgTU son más elevados que los correspondien-

tes por NH₄OAc exceptuando el hor. Bw del perfil Chío y el hor. A1 del perfil La Esperanza. En el primer caso este hecho podría atribuirse, como se ha indicado, a la disolución del vidrio volcánico en NH₄OAc.

Las diferencias obtenidas entre ambos extractantes se deben principalmente al Ca y al Na. La correlación entre ambos métodos es $S (AgTU) = 0.681 S (NH_4OAc) + 3.689$ ($r = 0.865$, $p < 0.001$), y mejora ($r = 0.908$, $p < 0.001$) al eliminar los suelos que contienen filosilicatos. Las Raíces A1, Bw). (Figura 3).

Capacidad de cambio catiónico (CCC)

Los valores de CCC (AgTU) son del mismo orden que los encontra-

dos por otros autores en suelos de la misma tipología utilizando métodos de determinación de CCC adaptados a la fuerza iónica y pH del medio (Wada, 1985; Gillman y Hallman, 1988). Asimismo, los valores de CCC (AgTU) son del mismo orden y están correlacionados con los obtenidos por Arbelo (1989) con el método del BaCl₂ de Gillman (1979).

$$CCC (BaCl_2) = 1.073 CCC (AgTU) + 0.504 \quad (r = 0.874, p < 0.001)$$

El efecto del pH y fuerza iónica utilizados en la medida de la CCC es considerable en este tipo de suelos, como queda reflejado en la Tabla 2. Estas diferencias obtenidas

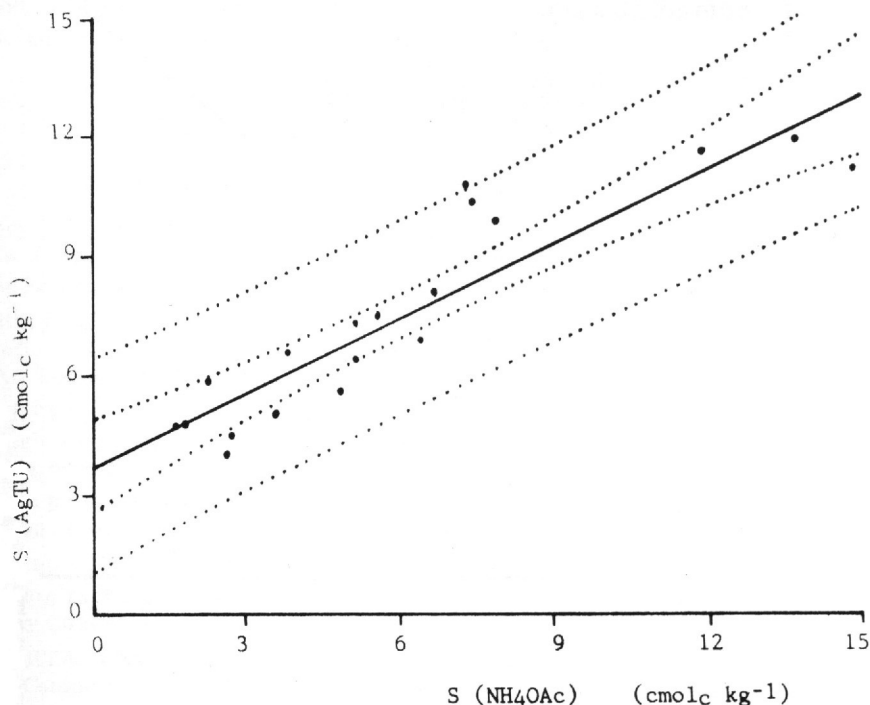


FIG. 3.—Relación entre los valores de suma de cationes (S) obtenidas por NH₄OAc y AgTU. (.....): Límites de confianza a un nivel del 95%

entre los valores de CCC están respaldadas por los resultados de otros trabajos donde se estudia la variación de la CCC con el pH y la fuerza iónica en suelos similares (González Batista *et al.*, 1980; Wada, 1985). Se destaca asimismo que el efecto de la fuerza iónica es generalmente mucho más importante que el del pH en suelos donde el punto cero de carga se encuentra entre 5 y 6, como es nuestro caso (Arbelo, 1989).

Por otra parte, los valores altos de CCC (NH_4OAc) están asociados generalmente a bajos valores de CCC (AgTU). Esta relación negativa también se ha observado al comparar la CCC (NH_4OAc) con la obteni-

da por Arbelo (1989) utilizando el método de Gillman (1979). Dicha relación es aparentemente contradictoria. No obstante, la CCC determinada con NH_4OAc refleja la capacidad de los materiales alofánicos para desarrollar carga negativa al aumentar el pH y la fuerza iónica y no tiene necesariamente que estar correlacionada positivamente con la CCC determinada al pH y fuerza iónica del suelo.

Relación entre la capacidad de cambio catiónica (CCC) y la Suma de cationes (S)

Exceptuando seis horizontes de los perfiles más alterados, los valores de S obtenidos con AgTU son supe-

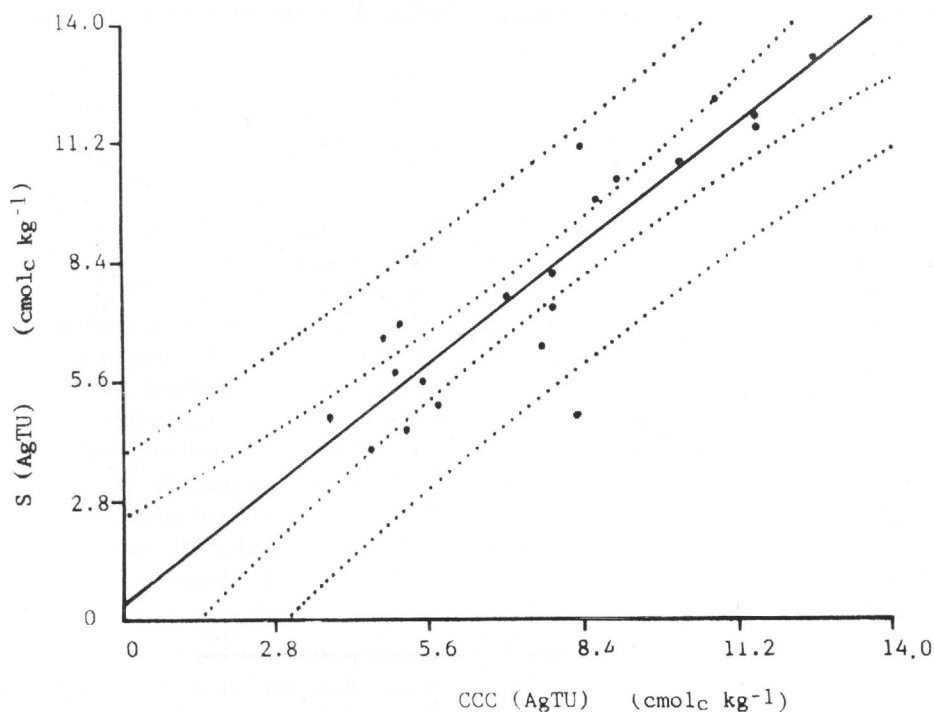


FIG. 4.—Relación entre suma de cationes (S) y capacidad de cambio catiónico (CCC) obtenidas por AgTU.

(.): Límites de confianza a un nivel del 95%

rios a los de CCC (AgTU), aunque puede observarse en la Figura 4 que en general las diferencias no son significativas. En este tipo de suelos, las variaciones de fuerza iónica y pH pueden conducir fácilmente a diferencias significativas entre S y CCC determinadas por un mismo

método (Gillman y Hallman, 1988). No obstante, se observa una buena correlación entre S y CCC por AgTU

$$S (\text{AgTU}) = 1.008 \text{ CCC (AgTU)} + 0.308, (r = 0.891, p < 0.001).$$

CONCLUSIONES

La consistencia observada entre el método de la AgTU y otros métodos de determinación de CCC adaptados a las "condiciones del terreno" pone de manifiesto el interés de su utilización como procedimiento de rutina, considerando la sencillez y rapidez del método.

Con independencia de las correlaciones obtenidas entre ambos métodos (AgTU y NH₄OAc), las diferen-

cias encontradas en la extracción de potasio y, especialmente calcio, son reflejo de las reacciones de adsorción específica características de estos suelos. Dada la importancia de estos elementos, sería deseable una calibración de los diferentes métodos de extracción en este tipo de suelos con vistas a una evaluación agronómica de los mismos.

BIBLIOGRAFIA

- ARBELO RODRIGUEZ, C. D., 1989. Contribución al estudio del complejo de cambio en Andisoles. Resumen de Tesis Doctoral. Secretariado de Publicaciones. Universidad de La Laguna.
- ARBELO, C. D., GARCIA-HERNANDEZ, J. E. y HERNANDEZ-MORENO, J. M., 1989. Influencia de la dilución en la desorción de cationes en Andosoles y suelos ándicos. An. Edafol. Agrobiol., 48: 711-724.
- BEGHEYN, L. T., 1986. On the way to improve analysis in soil: A new comprehensive single step procedure with LiEDTA. Proc. Int. Work. on the laboratory methods and data exchange programme. L. K. Pleijsier (Ed). 46-50. Wageningen. The Netherlands.
- CHAN, K. V., DAVEY, B. G. and GEERING, M. R., 1979. Adsorption of Mg and Ca by a soil of variable charge. Soil Sci. Am. J., 43: 301-303.
- CHHABRA, R., PLEYSIER, J. L. and CREMERS, A., 1975. The measurement of the cation exchange capacity and exchangeable cations in soils: A new method. Proc. Int. Clay Conf Mexico.
- DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA, UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA, 1984. Guía de Campo del Congreso Internacional de Suelos Volcánicos. Tenerife.
- FERNANDEZ CALDAS, E., HERNANDEZ MORENO, J. M. BORGES PEREZ, A. y TRUJILLO, I., 1976. Parámetros Q/I de potasio en diferentes tipos de Andepts de las Islas Canarias. Agrochimica, 20: 364-372.

- GILLMAN, G. P., 1979. A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. *Aust. J. Soil Res.*, 17: 129-139.
- GILLMAN, G. P. and HALLMAN, M. J., 1988. Measurement of exchange properties of andisols by the compulsive exchange method. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1196-1198.
- GONZALEZ BATISTA, A., HERNANDEZ MORENO, J. M. y FERNANDEZ CALDAS, E., 1980. Características electroquímicas de Andosoles. II. Punto cero de carga y retención iónica. *An. Edafol. Agrobiol.*, 39: 835-843.
- ORSINI, L. et REMY, J. C., 1976. Utilisation du chlorure de cobaltihexammine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. *Sci. du Sol*, 4: 269-279.
- PLEYSIER, J. L. and CREMERS, A., 1973. Adsorption of the silver-thiourea complex in montmorillonite. *Nature Phys. Sci.*, 243: 86-87.
- PLEYSIER, J. L. and CREMERS, A., 1975. Stability of silver-thiourea complexes in montmorillonite clay. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 71: 256-264.
- PLEYSIER, J. L. and JUO, A. S. R., 1980. A single-extraction method using silver-thiourea for measuring exchangeable cations and effective CEC in soils with variable charges. *Soil Sci.*, 129: 205-211.
- PLEYSIER, J. L., JANSSENS, J. and CREMERS, A., 1986. Extraction of cations from some kaolinitic soils of the tropics. *Proc. Int. Work. on the laboratory methods and data exchange programme*. L. K. Pleijsier (Ed). 51-65. Wageningen, The Netherlands.
- ROUILLIER, J. GUILLET, B. et BRUCKERT, S., 1980. Cations acides échangeables et acidités de surface. *Sci. du Sol*, 2: 161-175.
- ROUSSEAU, J. M. and WARKENTIN, B. P., 1976. Surface properties and forces holding water in allophane soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40: 446-451.
- SEARLE, P. L., 1986. The measurement of soil cation exchange properties using the single extraction, silver thiourea method: an evaluation using a range of New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 193-200.
- SOIL SURVEY STAFF, 1990. Keys to Soil Taxonomy, fourth edition. SMSS technical monograf No. 9. USDA-AID. Blacksburg, Virginia.
- SPOSITO, G., 1989. The chemistry of soils. Oxford University Press.
- VAN REEUWIJK, L. P. and DE VILLIERS, J. M., 1968. Potassium fixation by amorphous aluminosilica gels. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32: 238-240.
- WADA, S. I., 1987. A critical evaluation of 1M KCl-extraction method for determining exchangeable Al ions in variable charge soils. *Soil Sci. Plant. Nutr.*, 33: 153-160.
- WADA, K., 1985. The distinctive properties of Andisols. *Advances in Soil Sci.*, 2: 173-222.

Recibido: 24-10-90.

Aceptado: 21-2-91.