

# Variaciones de algunas propiedades de un suelo derivado de cenizas volcánicas (Vitrandep) sometido a lixiviación intensificada en laboratorio.— I. Complejo de intercambio<sup>1</sup>

Walter Luzio L.<sup>2</sup>, Wilfredo Vera E.<sup>3</sup>, René Elissegaray C.<sup>4</sup>, y Mónica Menis M.<sup>5</sup>.

## INTRODUCCION

Los experimentos en laboratorio han probado ser útiles cuando se trata de dilucidar procesos de formación de suelos, tales como eluviación, meteorización de minerales primarios a secundarios, o transformación de una arcilla en otra. La mayor ventaja de estas experiencias reside en la rapidez con que es posible reproducir fenómenos que en la naturaleza tardan cientos o miles de años. Lógicamente que la reproducibilidad del proceso no puede ser exacta, ya que existen factores independientes del suelo mismo, pero que lo influyen y cuyo manejo en condiciones de laboratorio es muy difícil. Por ejemplo esto sucede con la micro y macro fauna.

Sin embargo, lo que realmente interesa en estos procesos en laboratorio, no son las variaciones puntuales que se produzcan, sino las tendencias generales del fenómeno a través del tiempo. Esto permite explicar la dirección o tendencia del proceso y los cambios de importancia que pueden ocurrir en el suelo, proyectados en un tiempo.

De acuerdo con las ideas precedentes, en esta investigación se han estudiado las variaciones de algunas propiedades de un suelo sometido a lixiviación forzada en condi-

ciones de laboratorio. Para ello se ha utilizado la metodología propuesta por Pedro (1964) con modificaciones. Se eligió un suelo derivado de cenizas volcánicas, ya que constituye un buen material para realizar estudios pedogenéticos, pues la evolución de éstos es rápida (Quantín, 1974). En esta primera parte se discuten las variaciones sufridas en el complejo de intercambio.

Las tendencias de los cambios se analizan matemáticamente y los resultados se discuten en función de los factores de formación de suelos.

## MATERIALES Y METODOS

Se muestreó el horizonte superficial de un perfil de la serie Limanque, que es miembro de la Familia franca gruesa sobre franca esquelética, térmica de los Umbric Vitrandeps. El perfil está ubicado a 6 Km. al este de Chimbarongo, por el camino de Chimbarongo a Codegua, VI Región.

Se utilizó el método de lixiviación en extractores "Soxhlet" propuesta por Pedro (1964) y modificado por Luzio *et. al.* (1976) y Vera y Elissegaray (1977).

Se hicieron cuatro tratamientos, que corresponden a los muestreos en los tiempos denominados  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$  y  $t_5$ , con tres repeticiones, lo que dio un total de doce extractores. El tratamiento  $t_1$  correspondió a una muestra testigo analizada antes de comenzar el experimento.

En la parte inferior de la cámara del extractor se colocaron 145 g de suelo no tamizado, sobre 20 g de cuarzo químicamente

<sup>1</sup>Recepción originales: 18 de julio de 1978.

<sup>2</sup>Ing. Agr., M. S., Depto. Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Casilla 1004, Santiago.

<sup>3</sup>Ing. Agr., Depto. Ingeniería y Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Casilla 1004; Stgo.

<sup>4</sup>Ingeniero Agrónomo.

inerte y tamizado a 2 mm. Este conjunto se conectó a un balón de 250 ml de capacidad con 220 ml de agua bidestilada (Detalle de este dispositivo, en Luzio *et al.*, 1976).

La etapa experimental duró 180 días. Cada 45 días se desmontaron y analizaron 3 "soxhlets", que correspondieron a las etapas progresivas del proceso de lixiviación.

Los análisis realizados al suelo fueron: pH (1:1) en agua; conductividad eléctrica en relación 1:5 (Bower y Wilcox, 1965); cationes solubles (Bower y Wilcox, 1965); bases de intercambio con acetato de amonio pH 7 (Ca y Mg mediante espectrofotometría de absorción atómica; Na y K, por fotometría de llama) (Chapman y Parker, 1973); acidez titulable con trietanol amina-cloruro de bario (Peech, 1965); capacidad de intercambio catiónico por suma de cationes y acidez titulable; materia orgánica según Walkley y Black (Jackson, 1964); hierro libre, extraído con hidrosulfito de sodio y determinado por espectrofotometría de adsorción atómica (Hauspy, 1969); fósforo disponible por el

método de Olsen (Jackson, 1964) y granulometría (Day, 1965).

Los análisis químicos efectuados en la solución del matraz fueron: pH; conductividad eléctrica y cationes solubles (Richards, 1970).

Los resultados se expresan en relación a suelo seco a 105°C. Además se realizó regresión y correlación simples con los resultados obtenidos. También se analizó correlación múltiple y parcial para CIC, MO y Arcilla.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Cationes solubles

Los cationes solubles disminuyeron en el suelo a partir del tiempo  $t_1$  (Cuadro 1) a causa de la intensa lixiviación. Esta situación era predecible, ya que la lixiviación de las sales solubles es un fenómeno normal en condiciones de terreno. Sin embargo, se pudo apreciar una diferencia en cuanto a la tasa de disminución de los cationes monovalentes con respecto a los bivalentes.

Cuadro 1 — Análisis del suelo contenido en los extractores "soxhlet".

Tiempo	Cationes solubles				C.E.	Complejo de Intercambio							V	M.O.	pH	Arcilla
	Ca	Na	K	Mg		Ca	Mg	K	Na	S	H	CIC				
	me/l				$\mu\text{mhos. cm.}$	me/100g							%	%	%	
$t_1$	1,16	0,38	0,14	0,23	350	23,39	1,59	1,04	2,33	28,35	4,24	32,59	86,98	8,2	6,3	12,4
$t_2$	0,51	0,09	0,02	0,08	110	22,56	1,31	0,20	0,20	24,27	4,21	28,48	85,21	7,1	6,5	11,2
$t_3$	0,54	0,10	0,02	0,08	113	22,30	1,26	0,13	0,24	23,93	4,19	28,12	85,13	7,0	6,7	10,5
$t_4$	0,50	0,08	0,02	0,07	70	21,58	1,15	0,07	0,22	23,02	4,31	27,33	84,25	7,0	6,8	11,6
$t_5$	0,50	0,12	0,02	0,07	116	21,56	1,17	0,04	0,16	23,93	4,20	27,13	84,53	6,9	6,9	12,4

El Na soluble manifestó una disminución en el suelo hasta  $t_4$ , que corresponde a una tasa de un 78,9%. El K, Mg y Ca disminuyeron en 85,7%, 69,6% y 56,9%, respectivamente. En el tiempo  $t_5$  el Na soluble aumentó, lo que indicaría una mayor solubilidad de dicho elemento, en relación a los iones solubles. Estos cationes solubles son lixiviados del suelo como sales disociadas y se concentran en la solución del matraz. Una manera de estimar la concentración de estas sales es a través de la conductividad eléctrica. Es así como en el suelo la conductividad

eléctrica disminuyó (Cuadro 1) y en cambio aumentó en la solución del matraz, debido a la acumulación de las sales lixiviadas desde el extractor. Al mismo tiempo se elevó el pH de dicha solución (Cuadro 2). Resultados semejantes fueron obtenidos por Luzio *et al.* (1976).

### Variación en el complejo de intercambio

Los cationes solubles están en equilibrio con los cationes intercambiables, por lo que las reacciones químicas de los iones solubles

Cuadro 2 — Análisis químico de la solución contenida en el matraz.

Tiempo	Cationes solubles				Conductividad eléctrica	pH
	Ca	Na	K	Mg		
	me/l				μmhos/cm	
t <sub>1</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,3
t <sub>2</sub>	20,93	3,80	4,30	0,11	2.883	8,8
t <sub>3</sub>	21,56	6,00	5,25	0,13	3.553	8,8
t <sub>4</sub>	22,65	9,58	8,17	0,14	4.900	9,0
t <sub>5</sub>	29,00	8,00	7,58	0,43	4.500	8,9

comprometen también a los intercambiables (Black, 1975).

Esto se evidencia en el Cuadro 1, donde se aprecia que la dinámica de los cationes intercambiables, la CIC y el porcentaje de saturación de bases fue semejante al comportamiento de los iones solubles.

Al igual que los cationes solubles, la tasa de pérdida total de los cationes intercambiables monovalentes fue más alta que la de los bivalentes (96,15; 93,13; 26,42, y 7,82 para K, Na, Mg y Ca, respectivamente). Esto se debería al coeficiente de selectividad que presentan las partículas del suelo para adsorber cationes monovalentes y bivalentes.

En estudios realizados con suelos derivados de cenizas volcánicas, Schalscha, Pratt y Andrade (1975) demostraron que este coeficiente era mayor para el Ca que para el K, lo que indica que el Ca está más fuertemente adsorbido en el complejo coloidal de estos suelos.

En la figura 1 se observan las variaciones que presentan las propiedades del suelo, inherentes al complejo de intercambio, a través de los estados de lixiviación. Se puede apreciar que los cationes de intercambio, la CIC y la saturación de bases disminuyen en forma exponencial a través del tiempo debido al incremento progresivo de la lixiviación. La ecuación exponencial que representa a las curvas de la Figura 1 es del tipo:

$$X = a t^b,$$

donde: X: puede ser Ca, Mg, Na, K (intercambiables), CIC y por-

centaje de saturación de bases.

t : tiempo (estados de lixiviación), y

a, b : constantes.

La ecuación anterior permite calcular en forma puntual el valor de X, a través de los estados de lixiviación.

La siguiente expresión permite cuantificar la variación de X a medida que transcurren los estados de lixiviación.

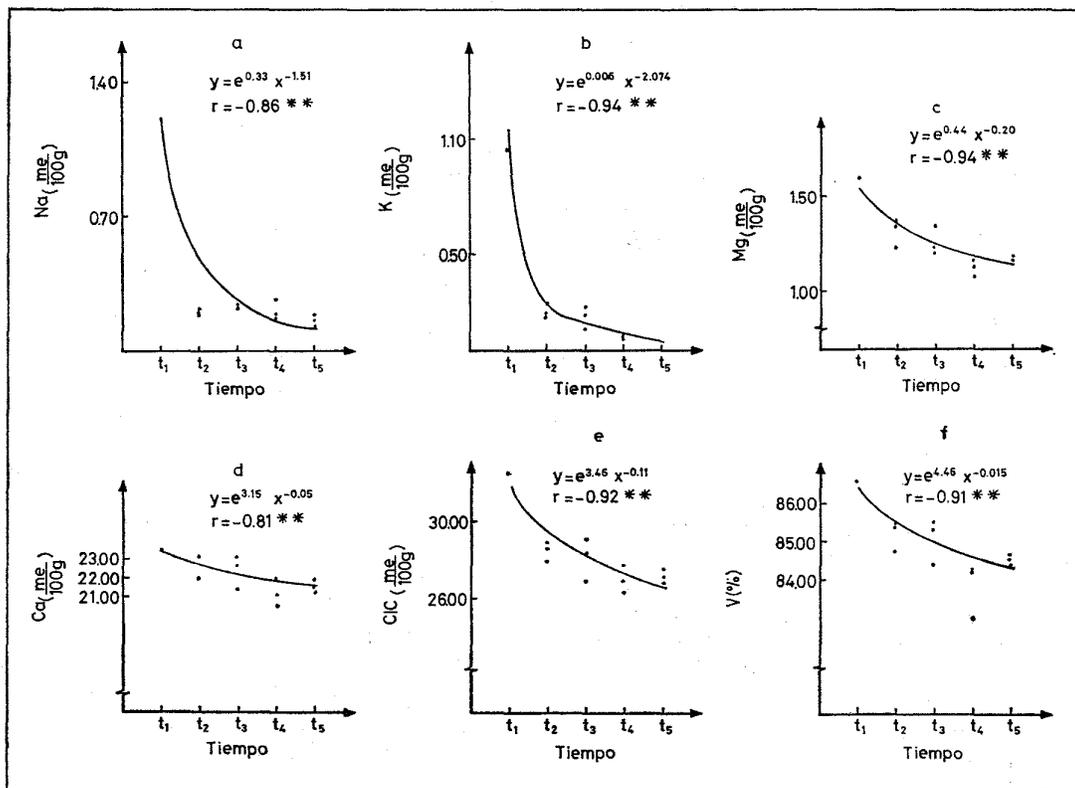
$$\int_{X_K}^{X_{K+p}} dX = -a \times b \int_{t_K}^{t_{K+p}} t^{-(b+1)} dt$$

donde: X<sub>k</sub> : Contenido de la variable X en el tiempo t<sub>k</sub>.

X<sub>k+p</sub> : Remanente de dicha variable transcurrido un tiempo igual a p.

La tendencia de las curvas de la Figura 1 son similares a las encontradas por Bower (1975), quien estudió la pérdida de K en suelos derivados de cenizas volcánicas sometidos a lavados en forma experimental.

En el Cuadro 1 se aprecia que Ca y Mg son los iones dominantes en el complejo de intercambio. La dominancia de ambos cationes en los suelos derivados de cenizas volcá-



\*\*Grado de significación al 0,01.

Figura 1 — Tendencia de la variación del complejo de intercambio en el suelo: a, sodio; b, potasio; c, magnesio; d, calcio; e, CIC; y f, saturación de bases.

nicas es frecuente y ha sido descrita por diferentes autores (Zavaleta, 1969; McConaghy, 1969; Bornemisza y Pineda, 1969).

La estrecha dependencia que existe entre la CIC, la materia orgánica y la arcilla, fue comprobada a través de los coeficientes de correlación múltiple obtenidos entre las tres variables. Este fue de 0,86\*\* y las correlaciones parciales fueron de 0,92\*\* y 0,25 entre CIC y materia orgánica, y CIC y arcilla, respectivamente. Esto demuestra que en estos suelos derivados de cenizas volcánicas, la contribución de materia orgánica a la CIC es más importante que el aporte de la arcilla. Conclusiones semejantes obtuvieron Kobo

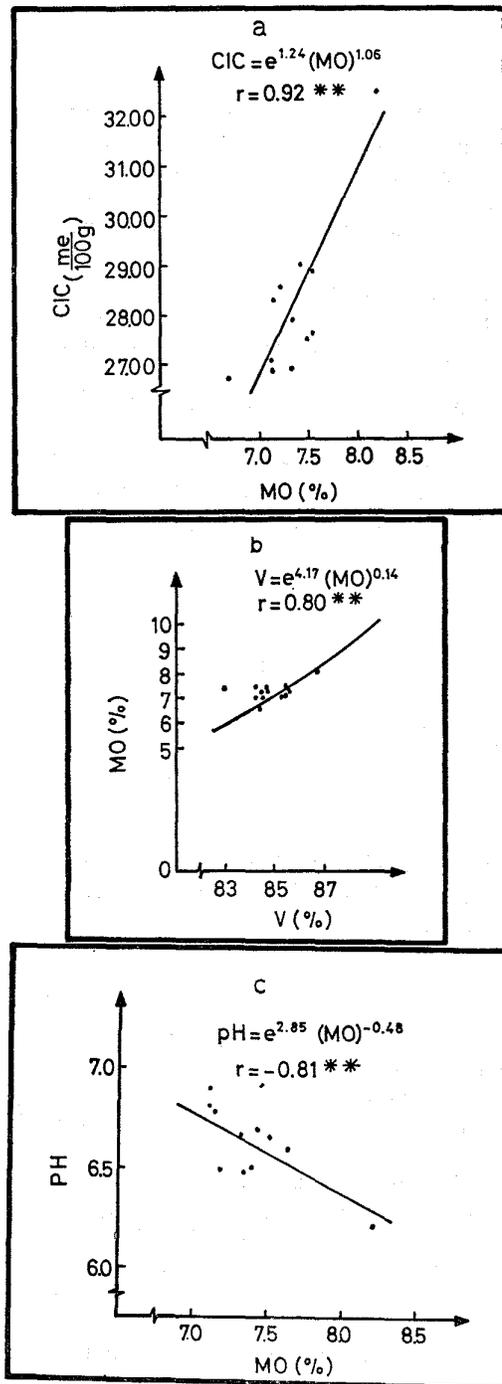
(1964), Urbina (1965) y Fassbender (1975), en suelos volcánicos.

Olifer y Borodulín (1974) en suelos de origen diferente (Chernozem y Chesnut) obtuvieron un coeficiente de correlación múltiple (CIC-materia orgánica-arcilla) de 0,81 y correlaciones parciales de 0,63 entre CIC-materia orgánica y 0,32 entre CIC-arcilla. Es probable, en consecuencia, que estas relaciones se puedan generalizar a otros tipos de suelos y no solamente a los suelos derivados de cenizas volcánicas.

La Figura 2.a. muestra esta relación, donde a medida que disminuye la materia orgánica disminuye también la CIC.

Por otra parte, la materia orgánica tuvo un decrecimiento importante a través del tiempo, equivalente a un 15,8% (Cuadro 1) debido a la descomposición y, además, a que

\*\*Significativo al 1%.



\*\*Grado de significación al 0,01.

Figura 2 — Tendencia de la variación de: a, capacidad de intercambio catiónico; b, porcentaje de saturación de bases, y c, pH en función del contenido de materia orgánica del suelo.

cierta cantidad de materia orgánica se pierde por efecto de la hidrólisis y posterior migración. Esta translocación de humus está relacionada con las condiciones del medio. En general, en suelos ácidos el humus se encuentra en forma de mor, cuya migración es relativamente fácil y se comporta como agente que favorece las migraciones, debido a su papel de coloide protector frente a la arcilla (Mel'Nikova y Kovenya, 1974) y a la cualidad de acomplejar a óxidos de Fe y Al (Duchaufour, 1968). Además, en estas condiciones, las sustancias coloidales se mantienen dispersas, lo que favorece la migración. En suelos menos ácidos, el humus normalmente es de tipo moder, donde aún subsisten dichas propiedades (Gaucher, 1971). En consecuencia, las condiciones de ligera acidez (entre pH 6,3 y 6,9) que subsisten en los extractores, permiten considerar la idea que la materia orgánica migró en forma dispersa o como complejo con el Fe o la arcilla.

Además, la materia orgánica tiene una estrecha relación con el pH del suelo. La variación de este último, a través de los estados de lixiviación, en el suelo y en la solución del matraz, se aprecia en los Cuadros 1 y 2, respectivamente. El pH del suelo aumentó en 0,6 unidades mientras que el pH de la solución del matraz lo hizo en 2,6 unidades.

En la Figura 2.c. se aprecia que a medida que disminuye el contenido de materia orgánica del suelo, aumenta el pH. El coeficiente de correlación entre estos dos parámetros es de  $-0,81^{**}$ . Espinoza y Riquelme (1976) llegaron a conclusiones semejantes en un trabajo de caracterización química de algunos Andepts de Chile, donde determinaron que a medida que se incrementan los niveles de materia orgánica en el suelo, se incrementa la acidez de dicho suelo.

En la Figura 2.b. se aprecia que a medida que disminuye el contenido de materia orgánica por efecto de la lixiviación, también tiende a disminuir el porcentaje de saturación de bases.

\*\*Significativo al 1%.

## R E S U M E N

Se estudió la variación del complejo de intercambio en un suelo derivado de cenizas volcánicas sometido a lixiviación forzada en condiciones de laboratorio. Para ello se utilizó la metodología propuesta por Pedro (1964), con modificaciones.

Se utilizaron doce "soxhlets", y se desmontaron tres cada 45 días para someterlos a análisis. Además se usó una muestra testigo analizada antes de comenzar la experiencia.

Las tendencias detectadas fueron las siguientes: importante decrecimiento de cationes solubles e intercambiables, con una tasa mayor de pérdida de monovalentes en ambos casos. En igual forma hubo una disminución de la CIC, de la saturación de bases y materia orgánica.

La conductividad eléctrica del suelo también disminuyó, aumentando en cambio la de la solución en el matraz recolector.

La tendencia de la variación de las propiedades se pudo expresar como ecuaciones exponenciales, que son posibles de cuantificar mediante integración definida.

Las variaciones detectadas permiten considerar, en una primera aproximación, la idea que el suelo ha sufrido una evolución.

## S U M M A R Y

VARIATIONS OF SOME PROPERTIES OF A VOLCANIC ASH SOIL (VITRANDEPT) SUBJECTED TO INTENSIFIED LEACHING, UNDER LABORATORY CONDITIONS. I. EXCHANGEABLE COMPLEX

The variations of physical-chemical properties of a soil derived from volcanic ash and subjected to intensified leaching, under laboratory conditions, was studied. The leaching method proposed by Pedro (1964), with modifications, was used.

In order to get a very intensive hydrolysis, soil samples were placed in twelve soxhlets column systems. Every 45 days three soxhlets were analyzed. In addition, a check sample was analyzed at the beginning of the experiment.

The tendencies of the processes were as follows: significant decreases of soluble and exchangeable cations, with a higher rate of loss for monovalent than bivalent cations. Decreases in CEC, base saturation, and organic matter, was also detected.

The electrical conductivity of the soils in the soxhlets also diminished, but increased in the leached solutions.

The tendency of the variations of soil properties was expressed by exponential equations, and quantified through definite integration.

According to the variations measured, it was possible to conclude, as a first approximation, that the soil underwent an evolution.

## LITERATURA CITADA

- BLACK, C. A. 1975. Relaciones suelo-planta. (Tomo 1). Centro Regional de Ayuda Técnica. 444 p.
- BORNEMISZA, E. y PINEDA, R. 1969. Minerales amorfos y mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. *In* Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Costa Rica, Turrialba. IICA. pp. B. 7. 1-B. 7. 7.
- BOWER, C. A. and WILCOX, V. 1965. Soluble salts. *In* Black, C. (ed.). Methods of soil analysis chemical and microbiological properties. Agronomy 9, part. 2. pp. 933-951.
- . 1975. Leaching adsorbed potassium from humic tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39 (3): 594-596.
- CHAPMAN, H. P. y PARKER, F. P. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Contin, A. (trad.) Trillas, México. 195 p.
- DAY, P. R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. *In* Black, C. (Ed.). Methods of soil analysis chemical and microbiological properties. Agronomy N° 9, part 1. pp 545-567.
- DUCHAUFOUR, P. 1968. L' evolution des sols. Essai sur la dynamique des profiles. Masson et Cié., Paris. 94 p.
- ESPEÑOZA, W. y RIQUELME, E. 1976. Caracterización química de dos andepts (trumaos) de la Provincia de Nuble (Chile); Arrayán y Santa Bárbara. *Agricultura Técnica (Chile)* 36 (2): 49-58.
- FASSBENDER, M. W. 1975. Química de Suelos. Costa Rica, Turrialba. IICA. 396 p.
- GAUCHER, G. 1971. Tratado de pedología agrícola. El suelo y sus características agronómicas. Omega, Barcelona. 647 p.
- HAUSPY, R. 1969. Methods of soil analysis. International Training Centre for Post Graduate Soil Scientist. Rijksuniversiteit Gent, 66 p.
- JACKSON, M. L. 1964. Análisis químicos de los suelos. Beltrán, J. (trad.) Omega, Barcelona, 662 p.
- KOBO, K. 1964. Properties of volcanic ash soils. *In* Meeting on the classification of soil from volcanic ash. FAO, Roma, Report 14: 71-73.
- LUZIO, W. PINO, I., ELISSEGARAY, R. y VERA, W. 1976. Lixiviación de suelos en condiciones de laboratorio. *Agricultura Técnica (Chile)*. 36 (3):126-129.
- McCONAGHY, S. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos de cenizas volcánicas de las Antillas. *In* Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Costa Rica. Turrialba. IICA. pp. A.4.1-A.4.13.
- MEL'NIKOVA, M. K. and KOVENYA, S. V. 1974. Effect of the physico-chemical properties of soil on the movement of clay suspensions along the profile. *Soviet Soil Sci.* 6 (6):682-686.
- OLIFER, V. A. and BORODULIN, V. V. 1974. The effect of humus and the clay fraction on the cation exchange capacity in stepee soil of the Altai. *Soils and fertilizers.* 37 (9):2370.
- PEDRO, G. 1964. Contribution a l'etude experimentale de l'alteration geochimique des roches cristallines. Première partie. *Annls. Agron.* 15 (2): 81-191.
- PEECH, M. 1965. Exchange acidity. *In* Black, G. ed.) Methods of soil analysis chemical and microbiological properties. Agronomy 9, part 2. pp. 905-913.
- QUANTIN, P. 1974. Hypothèses sur la genèse des andosols en climat tropical: evolution de la "pedogenèse initiale" en milieu bien drainé sur roches volcaniques. *Cah. ORSTOM, ser Pedol.* 12 (1): 3-12.
- RICHARDS, L. A. 1970. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Centro Regional de Ayuda Técnica. México, 172 p.
- SCHALSCHA, E. B., PRATT, P. F. and ANDRADE, L. 1975. Potassium-calcium exchange equilibria in volcanic-ash soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39 (6): 1069-1072.
- URBINA, A. 1965. Relaciones entre algunas características físicas y químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 25 (1): 9-18.
- VERA, W. y ELISSEGARAY, R. 1977. Meteorización de un suelo derivado de cenizas volcánicas en condiciones de laboratorio (Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Santiago). 105 p.
- ZAVALETA, A. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Perú. *In* Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Costa Rica, Turrialba. IICA, pp. A.2.1. - A.2.14.