

Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando Acetato de Amonio, Acetato de Sodio y Cloruro de Amonio¹

Comparison of the CEC in two soils using Ammonium Acetate, and Sodium Acetate and Ammonium Chloride

O. Rodríguez² y A. Rodríguez²

Resumen

Un suelo ácido (Tropohumult) y un suelo alcalino (Camborthid), fueron utilizados en la presente investigación. El objetivo consistió en determinar si la medición de los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico con el método del Cloruro de Amonio (NH_4Cl 0,2 N), produce resultados repetitivos, estables y comparables con dos métodos de medición de la CIC rutinarios, el Acetato de Amonio 1N, pH 7 y el Acetato de Sodio pH 8,2. Se consiguió una gran variabilidad de la CIC, cuando esta era medida con los dos métodos rutinarios probados. Se consiguió una baja variabilidad de los valores de la CIC obtenidos en el suelo de Quibor, con el método del Cloruro de Amonio. Se sugiere que en este caso, el método del Cloruro de Amonio permite la eliminación de una serie de fuentes de error inherentes en los métodos rutinarios, debido a que no modifica la reacción del suelo ni disuelve los carbonatos. Los resultados que arrojó el método del Cloruro de Amonio en el suelo ácido de Villanueva, tuvieron una elevada variabilidad.

Palabras clave: CICE, Tropohumults, suelos ácidos, Camborthids, suelos alcalinos.

Abstract

An acid (Tropohumult) and an alkaline (Camborthid) soil were used in this research. The objective consisted in determining if the mean values measuring CEC with the NH_4Cl 0,2 N method proposed, would produce consistent, repetitive and comparable results with those obtained with the two CEC routine methods (Ammonium Acetate and Sodium Acetate). Results showed that the CEC

Recibido el 11-5-2001 ● Aceptado el 26-7-2002

1 Financiado por el proyecto CDCHT-UCLA 03-2A-96.

2 UCLA Decanato de Agronomía. Dep. de Química y Suelos. Apartado 400. Lara-Venezuela.
Email: orodrigu@telcel.net.ve

values obtained with the two routine methods were highly variable. CEC results obtained with the Ammonium Chloride method showed low variability in the soil in Quibor. It would seem that the use of the Ammonium Chloride method would avoid a series of error sources inherent in the two routine methods, because the NH_4Cl 0,2 N does not modify the soil pH nor dissolve carbonates as occurs in the two routine methods compared. Results for the acid soil of Villanueva showed high variability.

Key words: ECEC, Trophumults, acid soils, Camborthids, Alkaline soils.

Introducción

Según Rhoades (3), la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos y la cantidad de cationes cambiabiles son dependientes del método utilizado para su determinación. Así, es obvio que la CIC no es una propiedad del suelo independiente de las condiciones bajo las cuales se mide, por lo cual, se obtendrán resultados diferentes con métodos diferentes.

Idealmente, el método a utilizar es uno que pueda medir la capacidad de los suelos de adsorber cationes de una solución acuosa con el mismo pH, fuerza iónica, constante dieléctrica y composición como la que presentan los suelos en el campo, debido a que la CIC varía (sobre todo en suelos tropicales) con estos parámetros (1).

Sumner y Davidtz (7), indican que la CIC de los suelos es dependiente del método utilizado para su determinación.

Por consiguiente, se han propuesto numerosos extractantes y metodologías para su determinación, teniendo todos ellos muchos problemas asociados con las diversas propiedades químicas del suelo (3). Por esta razón, las determinaciones de la CIC, generalmente están basadas en soluciones y condiciones de referencia, puesto que deben regularizarse para

obtener datos y valores de significancia, los cuales puedan ser aplicados e interpretados de manera coherente.

Factores que influyen en los procesos de intercambio catiónico (1).

Composición de la solución externa. Esto va de acuerdo a la valencia y al radio de hidratación de los cationes presentes en la solución intermicelar. Bajo condiciones experimentales se ha encontrado que la fuerza de adsorción de cationes trivalentes (Al, Mn, Fe), resulta mayor que la de los divalentes y los monovalentes. Esto se explica considerando las leyes de Donnan en que los iones divalentes se encuentran en la fórmula del intercambio catiónico bajo su raíz cuadrada y los trivalentes bajo su raíz cúbica.

Concentración de la solución intermicelar. La influencia de la concentración externa es tal, que al aumentar su concentración crece la cantidad de cationes adsorbidos y que cuanto más se diluye, mayor es la proporción de los cationes divalentes adsorbidos.

Selectividad del complejo de cambio. Es la preferencia que un cambiador puede mostrar por determinados cationes. Se han encontrado así, las siguientes

secuencias de selectividad.

Ilita $Al > K > Ca > Mg > Na$

Caolinita $Ca > Mg > K > Al > Na$

Montmorillonita $Ca > Mg > H >$

$K > Na$

Materia orgánica $Mn > Ba > Ca$

$> Mg > NH_4 > k > Na$

Reacción del suelo. Esta produce un efecto múltiple sobre los procesos de intercambio catiónico. Además de determinar las características de las cargas (positivas o negativas) que se presentan en el complejo coloidal de cambio anfótero, determina la cantidad de cargas denominadas dependientes del pH. A mayor pH aumenta el número de cargas negativas.

La distribución de las bases cambiables y del Al y Mn depende también del pH. A mayor acidez, mayor es la participación de Al y Mn dentro del complejo de cambio y menor la participación de las bases (Ca, Mg, K, Na).

Determinación de la CIC (3).

La CIC se determina a partir de la cantidad adsorbida de un catión índice, al hacer atravesar una solución que contenga dicho catión a través de una muestra de suelo. Los métodos más utilizados, generalmente emplean como catión índice el NH_4^+ , K^+ , Na^+ ó Ba^{++} , utilizando soluciones tamponadas.

Los métodos rutinarios de determinación de la CIC se hacen utilizando: a) Cloruro de Bario Trietanolamina a pH 8,2 ($BaCl_2$ -TEA); b) Acetato de Amonio 1 N (AA) a pH 7; c) Por sumatoria de los cationes extraídos al pH en que el suelo se encuentra en campo, para lo cual se utiliza Cloruro de Potasio, esta

determinación ha sido denominada CIC efectiva (CICE).

Problemas en la determinación de la CIC (3).

El Acetato de Amonio pH 7, presenta varias dificultades debido a que el NH_4^+ , puede formar complejos de superficie de esfera interna con las arcillas 2:1, lo cual ocasiona imprecisión en los resultados. En segundo lugar, incrementa la carga variable de los suelos ácidos y por tanto aumenta su CIC. Por otro lado, en los suelos con presencia de carbonatos, disuelve estos con lo cual, se sobrestiman los valores de las bases cambiables. El Acetato de sodio a pH 8,2 también presenta estos inconvenientes.

En suelos ácidos, al utilizar soluciones no tamponadas, por ejemplo Cloruro de Potasio 1N, o el Cloruro de Amonio, la CIC obtenida tiene un valor comparativamente menor que el que se obtiene con soluciones tamponadas a pH superior al del suelo (2). A la determinación de la CIC mediante la sumatoria de cationes extraídos con KCl se le ha denominado CIC efectiva o CICE (2).

De lo reportado por la literatura se desprende que la determinación de la CIC real para condiciones de campo, es compleja y existen ventajas y desventajas en cada método empleado.

Reeve y Sumner (2), señalan en sus trabajos experimentales que los valores de la CIC de significancia en los trabajos de fertilidad y en la determinación del porcentaje de saturación con bases (PSB), como una medida no ambigua de la CIC y la acidez (Al) efectivas y reales al pH natural del suelo, deberían ser aquellas que

operan en el suelo, bajo las mismas condiciones que se consiguen en el campo. Reeve y Sumner (2), determinaron que el Cloruro de Amonio se comporta como una sal neutra, la cual no modifica el pH natural del suelo. Por ello utilizaron el Cloruro de Amonio como extractante de los cationes. De tal manera, se puede señalar que la medida de la CIC a valores de pH modificados por el extractante utilizado, son de escaso

valor en los trabajos de fertilidad de suelos.

El objetivo del presente trabajo consistió en investigar si la medición de los valores de la CIC operativa bajo condiciones de campo con el método del Cloruro de Amonio, produce resultados repetitivos y estables en los dos suelos bajo análisis y realizar una comparación de ese método con los dos métodos del Acetato de Amonio y el Acetato de Sodio.

Materiales y métodos

Suelos utilizados:

Suelos de la hacienda El Caujaral, Quibor.

Rodríguez (5), clasificó este suelo como un Camborthid, arcilloso fino, ilítico e isohipertérmico, con las características de ser un suelo calcáreo, con alta actividad y dominio del Ca en el complejo de cambio, salino, bajo en materia orgánica. En cuanto a la mineralogía, Rodríguez (4), identificó la presencia de arcillas dispersivas (ilita y pirofilita) y de arcillas expansivas (montmorillonita)

Suelos de la hacienda Las Lomas, Villanueva.

De acuerdo a Rodríguez y Guédez (6), el suelo contiene minerales de predominantes cargas variables como la caolinita, pirofilita, gibsita, lepidocrocita y amorfos de Al y Fe, además de minerales de predominante carga permanente como la muscovita, illita, vermiculita, clorita, cuarzo y feldespatos. Las propiedades químicas del suelo están determinadas por una alta acidez, por la dinámica del Al y por los minerales de carga variable. El

suelo fue clasificado como un Tropohumult típico, arcilloso, mixto, isotérmico.

Preparación de las muestras de suelo:

Los dos suelos seleccionados, uno ácido y uno básico, fueron secados al aire y tamizados a través de un cedazo de 1 mm de diámetro. Estos suelos fueron divididos en dos secciones de 40 muestras por cada tipo de suelo para luego analizarlos con los métodos que a continuación se describen.

Procedimientos de laboratorio. Determinación de los cationes extraíbles (CIC).

La CIC fue determinada por los siguientes métodos:

Por sumatoria de cationes extraídos con Acetato de Amonio 1 N pH 7 (2).

Por sumatoria de cationes extraídos con Acetato de Sodio 1 N pH 8,2, Rhoades (2).

Tales métodos fueron implementados para generar valores contra los cuales tener una referencia, en relación con los valores arrojados

por el método del Cloruro de Amonio bajo investigación.

Por sumatoria de cationes extraídos con Cloruro de Amonio 0,2 N.

El método seguido para la extracción de los cationes presentes en el complejo de cambio con NH_4Cl 0,2 N se detalla a continuación.

Se pesaron 4 g de suelo en una balanza de precisión.

El suelo fue colocado en tubos plásticos de centrífuga de 30 ml, previamente pesados y tarados.

Seguidamente se le agregó 25 ml de NH_4Cl 0,2 N a cada tubo.

Los tubos fueron agitados durante 4 minutos en un agitador recíproco.

Luego de agitados, de inmediato la suspensión de suelo fue centrifugada durante 4 minutos a 3000 r.p.m.

Después del proceso de centrifugado, se pasó el líquido a través de un papel de filtro No. 4 y el filtrado fue recogido en un balón aforado de 100 ml.

Se le agregaron otros 25 ml del NH_4Cl 0,2 N al sedimento en el fondo del tubo y con una varilla de vidrio, las partículas de suelo adheridas al tubo eran resuspendidas.

Todo este proceso fue repetido

tres veces más. Luego de extraída la solución, los tubos de centrifuga con sus tapones fueron inmediatamente pesados, para determinar la solución retenida en el suelo, con lo cual al final, una vez determinados los cationes extraíbles, recalcar ese valor, ajustándolo en base al volumen retenido en el suelo.

Posteriormente se enrasó el líquido a 100 ml en balones aforados y se guardó la solución en frascos plásticos, para determinar posteriormente los cationes cambiables (Ca, K, Mg).

Esos cationes fueron determinados por medio de espectrofotometría de absorción atómica (AA) y el Al fue determinado mediante extracción con KCl y titulación con NaOH.

Análisis de resultados.

Para analizar los resultados arrojados por el método del Cloruro de Amonio, se calculó su media, su desviación estándar (S) y sus coeficientes de variación (CV), con la finalidad de determinar la variabilidad de los valores obtenidos en las cuarenta extracciones realizadas en cada uno de los suelos estudiados.

Resultados y discusión

Características químicas de los suelos estudiados:

Suelo de Quibor

El pH en suspensión suelo:agua 1:2 fue de 7,4. En el cuadro 1, se presentan los cationes extraíbles por los tres métodos. El análisis del cuadro evidencia que los resultados de los tres métodos difieren en magnitudes

apreciables.

Los valores de la CIC por el método del Acetato de Amonio, casi triplican a la obtenida con el método del Cloruro de Amonio. La obtenida con el Acetato de Sodio es también mayor a la obtenida con el método del Cloruro de Amonio.

Cuadro N° 1. CIC* del suelo de Quibor, determinada por tres métodos

Extractantes	Cationes extraíbles			CIC	PSB (%)
	K	Ca	Mg		
	cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	S cationes cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	
NH ₄ Cl	0,56	27,18	1,85	29,59	100
AcNH ₄ pH 7	1,25	71,97	4,61	77,85	100
AcNa pH 8,2	0,50	34,89	1,17	36,56	100

*Capacidad de Intercambio Catiónico

Los altos valores encontrados en los métodos del Acetato de Amonio y el Acetato de Sodio son explicables sobre la base de:

Los procesos sugeridos por Rhoades (2), quien reporta que los métodos con el Acetato, este disuelve los carbonatos y consecuentemente, se sobre valoran el contenido del Ca y Mg cambiables y la CIC.

Los que reporta Thomas (8), quien señala que al utilizar los métodos con NH₄, Na, o el Ba como soluciones tamponadas, estos presentan el problema del incremento de la CIC, por el incremento de las cargas variables en los suelos.

La CIC determinada por sumatoria de los cationes extraídos es más elevada en el método del Acetato de Amonio, siguiéndole en valor la determinada con Acetato de Sodio y la menor, la determinada con el Cloruro de Amonio. Los resultados sugieren que el método del Cloruro de Amonio no incrementa la carga variable ni disuelve carbonatos, por lo cual en apariencia, no altera los valores de la CIC del suelo.

Independientemente del método, el Ca y el Mg son los cationes más abundantes extraídos, evidenciándose una baja proporción del ión K. Los valores de Ca extraídos con el método del Acetato de Amonio son evidentemente elevados y superiores a los determinados por los otros dos métodos probados. A su vez, los valores de Ca arrojados por el método del Acetato de Sodio pH 8,2, también son superiores a los obtenidos con el método del Cloruro de Amonio.

Suelo de Villanueva.

El pH analizado en suspensión suelo:agua 1:2, fue de 3,9. En el Cuadro 2, se presentan los cationes extraíbles por los tres métodos.

De acuerdo a los valores del cuadro 2, se puede indicar que este es un suelo desaturado, con la menor capacidad de intercambio catiónico según el método del Acetato de Sodio.

El mayor valor corresponde a la CIC según el método del Acetato de Amonio.

El Cloruro de Amonio arroja valores de la CIC, intermedios a la determinada por los otros dos métodos.

El más bajo valor de bases

extraíbles ocurrió con el método del Acetato de Sodio. Este bajo valor puede estar originado por el bajo poder de reemplazo del ión sodio, con relación al ión amonio.

Se observa en los resultados correspondientes a los tres métodos, una baja proporción de los cationes básicos y un alto contenido de Al extraíble.

Comparación de los valores de la CIC determinada por el método del Cloruro de Amonio en los dos tipos de suelos analizados.

En el cuadro 3, se presenta el valor de la CIC de cada suelo medida con el NH_4Cl 0,2 N. En cuanto a los resultados de la CIC de los suelos (cuadro 3), determinada por la sumatoria de cationes extraídos con el método del Cloruro de Amonio, se observan los valores más altos en el suelo de Quibor. Esto se debe a que este es un suelo saturado de bases, lo cual le proporciona una alta CIC mientras que la baja CIC del suelo de Villanueva, está relacionada con la baja proporción presente de bases y una elevada proporción del catión Al.

Comparación de los valores de CIC determinadas por los tres métodos probados, en los dos tipos de suelos analizados.

Las diferencias de los valores de los diversos métodos son representadas gráficamente en la figura 1, donde se puede apreciar que los valores más altos siempre corresponden al método del Acetato de Amonio. A la vez, se observa que la mayor desproporción entre los valores que arroja el método del Acetato de Amonio, sucede en el suelo básico de Quibor. Esta situación podría explicarse en lo anteriormente señalado en cuanto a que el Acetato de Amonio sobrevalúa la CIC por la disolución de carbonatos y por el incremento de las cargas variables negativas

Se observa claramente en la figura 1, que las diferencias más elevadas entre las metodologías, se corresponden con los valores que arroja el método del Acetato de Amonio. Los menores valores que arroja el método del Acetato de Sodio, con respecto al de Amonio, pueden ser debidos al menor efecto de reemplazo sobre los cationes

Cuadro 2. CIC* del suelo de Villanueva determinada por tres métodos

Extractantes	Cationes extraíbles				CIC S cationes	PSB (%)
	K	Ca	Mg	Al**		
	$\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$	$\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$	$\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$	$\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$		
NH_4Cl	0,61	3,78	0,61	6,52*	11,43	41,2
AcNH_4 pH 7	1,61	5,18	0,65	6,52*	12,96	57,4
AcNa pH 8,2	0,10	1,34	0,40	6,52*	8,36	22,0

**Extraído con KCl

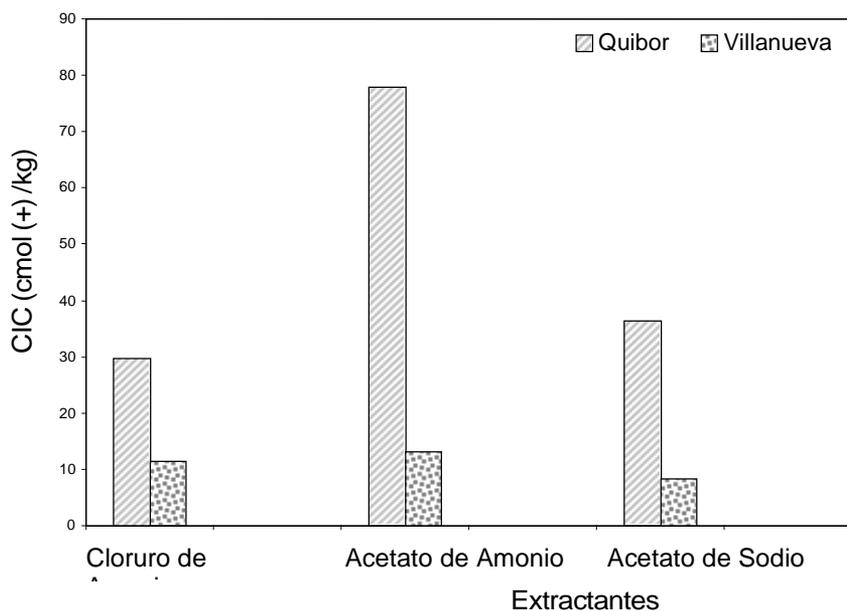
*Capacidad de Intercambio Catiónico

Cuadro 3. Determinación de la CIC* por sumatoria de cationes con Cloruro de Amonio en suelos de Quibor y Villanueva

Tipo de suelo	Cationes extraíbles				CIC S cationes cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	PSB (%)
	K	Ca	Mg	Al**		
	cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹					
Alcalino- Caujaral Quibor	0,56	27,18	1,85	—	29,59	>100
Ácido- Las Lomas Villanueva	0,61	3,78	0,52	6,52*	11,43	41,2

**Extraído con KCl

*Capacidad de Intercambio Catiónico

**Figura 1. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en base a tres métodos**

del complejo de cambio, que tiene el ión Na.

Análisis de variabilidad de los valores determinados por el método del Cloruro de Amonio.

El valor promedio (X) de los contenidos de los cationes cambiables, de grado de dispersión de los resultados, representados por la desviación estándar (S) y la variación relativa de los resultados, representada por el coeficiente de variación (CV), son presentados en los cuadros 4a y 4b.

De acuerdo a los parámetros de interpretación de los Cuadros 4a y 4b, se obtuvo lo siguiente.

Suelo de Quibor. El grado de dispersión y la variación de los valores obtenidos, ocurre en rangos relativamente bajos a moderados para el suelo de Quibor (cuadro 4). Se sugiere como causa de la baja variabilidad del método del Cloruro de Amonio, al hecho que este reactivo no disuelve los carbonatos, ni eleva la carga variable del suelo.

Suelo de Villanueva. El grado de dispersión y la variación de los valores obtenidos ocurre en rangos

relativamente altos para el Ca y el K, a extremadamente altos para el elemento Mg (cuadro 4). Se sugiere como una posible razón que explique el elevado grado de variabilidad de los valores arrojados por este método en este suelo, a la presencia de minerales de carga anfotérica. Al respecto el reporte mineralógico indica la presencia de caolinita, pirofilita, gibsita, lepidocrocita y amorfos de Al y Fe. Otro factor que puede estar incidiendo en este caso, es el elevado contenido de Al cambiante (cuadro 2), catión cuya fuerza de adsorción al complejo de cambio, es mayor a la del Amonio. Esta mayor fuerza de adsorción del Al y la presencia de los minerales de carga variable, dificultaron el adecuado y homogéneo reemplazo de los cationes de cambio.

De ampliarse la investigación presentada con un mayor número de suelos, la metodología de estimación de la CIC mediante la extracción de los cationes intercambiables saturando el suelo con el NH_4Cl 0,2 N, podría llegar a tener validez como método rutinario en los programas de análisis de suelo.

Cuadro 4a. Valores de la media (X), la desviación estándar (DS) y el coeficiente de variación (CV), correspondientes a los cationes extraíbles en $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, mediante el método del Cloruro de Amonio en el suelo básico de Quibor.

	K	Ca	Mg
X	0,56	27,18	1,85
DS	0,14	1,84	0,20
CV (%)	25	6,7	10,81

Cuadro 4b. Valores de la media (X), la desviación estándar (DS) y el coeficiente de variación (CV), correspondientes a la CIC ($\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) mediante el método del Cloruro de Amonio en el suelo ácido de Villanueva

	K	Ca	Mg
X	0,61	3,78	0,52
DS	0,25	1,69	0,82
CV (%)	40,98	44,70	157,69

Conclusiones

Los valores de la CIC determinados por los métodos del Acetato de Amonio pH 7 y el Acetato de Sodio pH 8,2 arrojaron valores mayores que los del método del Cloruro de Amonio en el suelo básico de Quibor. En el suelo ácido de Villanueva, el menor valor de la CIC se obtuvo con el Acetato de Sodio y el valor intermedio, con el Cloruro de Amonio.

En lo que concierne a la CIC para el suelo básico de Quibor, se concluye que los valores determinados por el método del Cloruro de Amonio, arrojaron resultados estables, de relativa baja variabilidad, lo cual le podría conferir utilidad bajo esas condiciones, debido a que los resultados sugieren que no altera los valores de la CIC del suelo.

El método del Cloruro de Amonio NH_4Cl 0,2 N, tiene como ventaja su

simplicidad y la aparente eliminación de fuentes de error en los suelos básicos con carbonatos, inherentes en otros métodos, debido a que no modifica la reacción del suelo ni aparentemente, disuelve los carbonatos.

El método del Cloruro de Amonio NH_4Cl 0,2 N, no presentó ventajas con relación a los otros dos métodos probados en el suelo ácido de Villanueva estudiado, debido a que tuvo un amplio margen de variación en los valores.

Sobre la base de los resultados, se sugiere ampliar el número de suelos a estudiar, para determinar si la metodología de estimación de la CIC mediante la sumatoria de cationes extraíbles con el NH_4Cl 0,2 N, pudiese implementarse como un método rutinario, en los programas de análisis de suelos.

Agradecimiento

La realización de este trabajo fue posible gracias al cofinanciamiento

otorgado por el CDCHT-UCLA 03-2A-96.

Literatura citada

1. Bohn, N., McNeal, B. y O'Connor, G. 1993. Química del Suelo. Editorial Limusa, S.A. México.
2. Reeve, N. y M. E. Sumner. 1971. Cation exchange capacity and exchangeable aluminum in Natal Oxisols, Soil Soc. Am. Proc. 35: 38-42
3. Rhoades, J. 1982. Cation Exchange Capacity. In: Methods of Soil Analysis. Part. 2. Agronomy Monograph N° 9, (2nd. Edition). U.S. Salinity Lab. USDA-ARS, Riverside, C.A. 92501.
4. Rodríguez, A. 1998. Determinación de los cationes extraíbles mediante saturación con cloruro de amonio. Tesis de grado, Técnico. Superior Agropecuario. UCLA, Decanato de Veterinaria. Núcleo Juan de la Torre.
5. Rodríguez, O. 1982. Mineralogy and related properties of soils from Lara landscapes. Tesis de MS. Univ. de Georgia. Georgia, EUA.
6. Rodríguez, O. y J. Guédez. 1985. Mineralogía, génesis y propiedades químicas de un suelo bajo cultivo de café en Villanueva, E. Lara. FUDECO, Suplemento Técnico N° 31.
7. Sumner, M. E. y J. C. Davidtz. 1965. Positive and negative charges in some Natal soils. S. Afr. J. Agri. Sci., 8: 1045-1050.
8. Thomas, G. 1982. Exchangeable Cations. In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph N° 9 (2nd Edition). University of Kentucky, Lexington- Kentucky.