

CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN DE CATIONES MEDIANTE ACETATO DE AMONIO, ACETATO DE SODIO Y CLORURO DE AMONIO

Orlando Rodríguez Rodríguez, Aymara Aracelis Sánchez Galíndez, Betty Josefina Mendoza Escalona, Zulime F. Rodríguez G., Manuel Henríquez Rodríguez, Vianel Rodríguez P. y Elicel Guerra Domínguez

RESUMEN

La capacidad de intercambio de cationes (CIC) reviste importancia al evaluar la fertilidad de suelos. La extracción de cationes mediante el acetato de amonio 1N a pH 7 (AA) es rutinaria, aunque el AA acarrea errores en la determinación de la CIC. Por ello, la extracción de cationes con AA fue comparada con la obtenida con cloruro de amonio 0,2N (CA) y con acetato de sodio 1N a pH 8,2 (AS). Se utilizaron muestras de suelo provenientes de nueve municipios del estado Lara, Venezuela. La capacidad de extracción de cationes (CEC) de cada método fue obtenida por sumatoria de los cationes extraídos. Para comparar los resultados, los datos fueron normalizados. Los suelos tuvieron pH en el

intervalo de 3,3 a 8,3. Los mayores valores de CEC se obtuvieron con el AA, lo cual concuerda con reportes de que incrementa la CEC. La más baja CEC fue obtenida con el AS, debido al bajo poder de reemplazo del Na^+ . El CA produjo valores intermedios de la CEC. No hubo asociación entre la CEC del AA ni del AS con la CEC del CA. Los cationes Mg^{2+} , K^+ y Na^+ extraídos con los métodos AA y CA presentaron una elevada asociación; sin embargo, no pudo determinarse relación alguna en los contenidos de Ca^{2+} extraídos con esos métodos. Se concluye que la inexistencia de asociación entre las CEC determinadas por AA y CA se debe al contenido de Ca^{2+} , extraído en exceso por el AA.

Introducción

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es determinada a partir de la cantidad adsorbida de un catión índice, al hacer pasar una solución que contenga dicho catión a través de una muestra de suelo o a través de la sumatoria de los cationes extraídos del complejo de cambio del suelo. Los métodos más utilizados generalmente emplean como catión índice el NH_4^+ , el K^+ , el Na^+ o el Ba^{2+} en soluciones generalmente tamponadas.

Los métodos rutinarios utilizados en la determinación de la CIC son: a) cloruro de bario trietanolamina a pH 8,2 ($\text{BaCl}_2\text{-TEA}$; Rhoades, 1982); b) acetato de amonio 1N a pH 7 (Rhoades, 1982); c) acetato

de sodio a pH 8,2 (Rhoades, 1982); y d) por sumatoria de las bases en el extracto del acetato de amonio 1M extraídas al pH en que el suelo se encuentra en el campo, más la acidez intercambiable, extraída con KCl 1N, determinación denominada CIC efectiva (CICE) (Juo *et al.*, 1976).

El acetato de amonio 1N a pH 7 (AA) y el acetato de sodio 1N a pH 8,2 (AS) presentan dificultades para una adecuada evaluación de la CIC, debido a que incrementan la carga variable de los suelos ácidos de manera no predecible (Rhoades, 1982) y, por otro lado, en los suelos con carbonatos el ión acetato los disuelve, por lo cual se sobrestiman los valores de las bases de cambio obtenidas

con el método del acetato de amonio (Thomas, 1982). Sin embargo, en la taxonomía de suelos el AA es utilizado como el método de rutina prácticamente universal para determinar la CIC de los suelos con propósitos de su clasificación (Soil Survey Staff, 1999).

Según Sumner y Davidtz (1965) y Gillman y Bell (1976), la CIC de los suelos es dependiente del método utilizado para determinarla, debido a que en los suelos con carga variable, cualquier cambio en su pH o en la concentración iónica de electrolitos, tiene efectos en la CIC. Además, señalan que el método del AA genera valores en exceso hasta por un orden de magnitud, al valor real de la

CIC a los pH naturales del suelo.

Reeve y Sumner (1971), señalaron en sus trabajos experimentales, que los valores reales de la CIC, del porcentaje de saturación con bases (PSB) y de la acidez efectiva (Al+H) en un suelo llevado al laboratorio, deberían ser los mismos que se consiguen en el campo y que ocurren al pH natural del suelo; sobre la base de esa premisa, estos autores afirman que la determinación de la CIC a valores de pH modificados por el extractante utilizado son de escaso valor en trabajos de fertilidad de suelos, y comprobaron que el cloruro de amonio 0,2 N (CA) se comporta como una sal neutra y no modifica el pH natural del suelo. Por

PALABRAS CLAVE / Bases Extraíbles / CEC / CIC / Intercambio Iónico/ Suelos /

Recibido: 07/04/2010. Aceptado: 03/02/2011.

Orlando Rodríguez Rodríguez. Ingeniero Agrónomo, Universidad Central de Venezuela (UCV). M.Sc. en Ciencias Agronómicas, University of Georgia, EEUU. Profesor, Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado (UCLA), Venezuela. en la UCLA, Decanato de Agronomía. Profesor, UCLA, Venezuela. Dirección: Carrera 2, N° 123, Urbanización Chucho Briceño, Cabudare,

3023. Estado Lara, Venezuela. e-mail: orlandorodriguez@ucla.edu.ve

Aymara Aracelis Sánchez Galíndez. Ingeniera Agrónoma y Maestra en Ciencias, UCV, Venezuela. Profesora, UCLA, Venezuela.

Betty Josefina Mendoza Escalona. Ingeniera Agrónoma, UCLA, Venezuela. M.Sc. y cursante de Doctorado en Ciencia del Suelo, UCV, Ve-

nezuela. Docente investigador, UCLA, Venezuela.

Zulime F. Rodríguez G. M.Sc. en Agronomía, UCLA, Venezuela. Profesora, Universidad del Zulia, Venezuela.

Manuel Henríquez Rodríguez. Ingeniero Agrónomo y Maestro en Ciencias, UCV, Venezuela. Doctor en Tecnología Agroambiental, Universidad Politécnica de Madrid, España. Profesor, UCLA, Venezuela.

Vianel Rodríguez P. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. en Horticultura y Doctor en Agronomía, Universidade de São Paulo, Brasil. Profesor, UCLA, Venezuela.

Elicel Guerra Domínguez. Ingeniero Agrónomo y M. Sc. en Fruticultura. Asistente de investigación, UCLA y Sistema Hidráulico Yacambú Quibor, Venezuela.

CATION EXTRACTION CAPACITY OF AMMONIUM ACETATE, SODIUM ACETATE AND AMMONIUM CHLORIDE

Orlando Rodríguez, Elicel Guerra, Vianel Rodríguez, Manuel Henríquez, Aymara Sánchez, Betty Mendoza and Zulime Rodríguez

SUMMARY

The cation exchange capacity (CEC) of soils is important for soil fertility evaluation. Extracting cations from the exchange complex with ammonium acetate 1N, pH 7 (AA) is the routine. The AA method induces errors in the determination of the CEC. Thus, extracting cations with AA was compared against the results obtained with ammonium chloride 0.2N (CA) and sodium acetate 1N, pH 8.2 (AS). Soil samples from nine counties of Lara state, Venezuela, were used. The CEC was obtained for each method by the sum of cations. Results were normalized for comparison among them. The results showed that the soil pH was in the 3.3-8.3 range. The highest CEC values were obtained with AA, which agrees with reports that

this method raises the real soil CEC value. The lowest CEC values were obtained with AS. The CA method resulted in CEC values that ranged between those of the other two methods. No statistic association was found between the AC and the AA CEC values, or between the AS and the AC methods. The Mg^{2+} , K^+ and Na^+ soil extractable content showed a high statistic association between both the AA and the AC methods. However, no statistic association was found between the Ca^{2+} values from AC and the AA. It is concluded that the lack of association between the CEC determined by the AA and AC methods was due to the soil content of Ca^{2+} , which was extracted in excess by AA.

CAPACIDADE DE EXTRAÇÃO DE CÁTIOS MEDIANTE ACETATO DE AMÔNIO, ACETATO DE SÓDIO E CLORETO DE AMÔNIO

Orlando Rodríguez, Elicel Guerra, Vianel Rodríguez, Manuel Henríquez, Aymara Sánchez, Betty Mendoza e Zulime Rodríguez

RESUMO

A capacidade de intercâmbio de cátions (CIC) ganha importância ao avaliar a fertilidade de solos. A extração de cátions mediante o acetato de amônio 1N a pH 7 (AA) é rotineira, mesmo que o AA acarrete erros na determinação da CIC. Por isto, a extração de cátions com AA foi comparada com a obtida com cloreto de amônio 0,2N (CA) e com acetato de sódio 1N pH 8,2 (AS). Utilizaram-se amostras de solo provenientes de nove municípios do estado Lara, Venezuela. A capacidade de extração de cátions (CEC) de cada método foi obtida por somatória dos cátions extraídos. Para comparar os resultados, os dados foram normalizados. Os solos tiveram pH no intervalo de 3,3 a 8,3. Os maiores valores de CEC se obtiveram

com o AA, o qual concorda com relatórios de que incrementa a CEC. A mais baixa CEC foi obtida com o AS, devido ao baixo poder de substituição do Na^+ . O CA produziu valores intermediários da CEC. Não houve associação entre a CEC do AA nem do AS com a CEC do CA. Os cátions Mg^{2+} , K^+ e Na^+ extraídos com os métodos AA e CA apresentaram uma elevada associação; no entanto, não se pode determinar relação alguma nos conteúdos de Ca^{2+} extraídos com esses métodos. Conclui-se que a inexistência de associação entre as CEC determinadas por AA e CA se deve ao conteúdo de Ca^{++} , extraído em excesso pelo AA.

ello, utilizaron al CA como el extractante de los cationes en los suelos en sus estudios de fertilidad.

Rodríguez y Rodríguez (2002), determinaron la CIC en diversos suelos del estado Lara, Venezuela, empleando métodos similares a los planteados en el presente trabajo, consiguiendo un alto grado de variabilidad en los valores de CIC medida con los métodos del AA, el AS y el CA. Se obtuvo una mayor estabilidad de los valores de la CIC de un suelo alcalino de la localidad de Quíbor con el método del CA. Los resultados que consiguieron con el método del CA en un suelo ácido del área de Villanueva, tuvieron una elevada variabilidad estadística, lo cual no permitió

arrojar conclusiones coherentes en ese caso. Henríquez *et al.* (2005) determinaron la CIC de un caolín con los métodos del AA, el AS y el CA; sus resultados indicaron que no hubo diferencias significativas entre los valores de CIC obtenidos con los tres métodos y que, en consecuencia, pueden considerarse similares; agregan además que por su sencillez, el método del CA resulta menos costoso y requiere menor esfuerzo que el de los otros dos métodos. Finalmente, dado que se experimentó con sustratos de pH entre 7 y 8,2 recomiendan evaluar el NH_4Cl 0,2N en suelos o sustratos con pH <7.

El objetivo del presente trabajo consistió en determinar la capacidad de extracción de

cationes (CEC) con el método del CA y determinar su relación con los obtenidos con el AA y con el AS.

Materiales y Metodos

Procedencia y tamaño de las muestras

Las muestras analizadas provinieron de nueve municipios del estado Lara, región centroccidental de Venezuela. Se utilizaron 32 suelos diferentes sobre la base de la teoría estadística del límite central (Shapiro y Wilk, 1965) más un 10% adicional de muestras, como precaución ante cualquier imprevisto que pudiese eliminar datos o muestras. El trabajo se condujo en el la-

boratorio de la Unidad de Investigación en Suelos y Nutrición Mineral de Plantas (UISNMP), Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

Métodos utilizados

El pH fue determinado potenciométricamente. Los métodos empleados para determinar la capacidad de extracción de cationes (CEC) de cada método fueron: el del acetato de amonio 1N a pH 7, lavado con etanol y extracción con KCl 0,2N (Rhoades, 1982; Brito *et al.*, 1990); el del acetato de sodio 1N a pH 8,2 (Rhoades, 1982); y el del cloruro de amonio (NH_4Cl)

TABLA I
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS VALORES MEDIOS
DE LA CEC OBTENIDA POR SUMATORIA DE CATIONES
Y pH DE LAS MUESTRAS

| | AA | CA | AS | pH |
|---------------------------|---|-------------|------------|---------|
| | CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹) | | | |
| Media | 22,07 | 12,41 | 5,64 | 5,94 |
| Desviación estándar | 29,31 | 17,54 | 2,67 | 1,59 |
| Máximo - Mínimo | 151,96-1,76 | 102,64-0,54 | 13,62-0,47 | 8,3-3,3 |
| Coefficiente de variación | 130,43 | 141,27 | 47,39 | 26,82 |

AA: acetato de amonio 1N pH 7; AS: acetato de sodio pH 8,2; CA: cloruro de amonio 0,2N.

0,2N (Reeve y Sumner, 1971; Rodríguez y Rodríguez, 2002 y Henríquez *et al.*, 2005). El método seguido para la extracción de los cationes presentes en el complejo de cambio con NH₄Cl 0,2N (Reeve y Sumner, 1971, Rodríguez y Rodríguez, 2002) se detalla a continuación.

1. Se pesaron muestras de 4g de cada suelo seleccionado, con una balanza de precisión, y se le realizaron cuatro repeticiones;

2. Se colocaron las muestras en un tubo plástico de centrífuga de 30ml previamente pesado y tarado;

3. Se agregó 25ml de NH₄Cl 0,2N a cada muestra;

4. Se agitaron los tubos con las muestras durante 4min en un agitador recíproco;

5. La suspensión de suelo fue centrifugada durante 4min a 3000rpm. El líquido sobrenadante fue pasado a través de un papel de filtro Watman N° 4 y el filtrado recogido en un balón aforado de 100ml.

6. Al suelo que quedó en el fondo del tubo se le agregaron otros 25ml del NH₄Cl 0,2N. Con una varilla de vidrio se resuspendió, y se centrifugó nuevamente. Todo este proceso se repitió hasta alcanzar un total de cuatro ciclos de extracción.

7. Luego de extraída la solución, los tubos de centrifuga con sus tapones fueron inmediatamente pesados para determinar la cantidad de solución retenida en el suelo, con lo cual al final, una vez determinados los cationes extraíbles, se recalcula-

ba ese valor, ajustándolo en base al volumen de la solución del CA retenido en el suelo.

8. La solución resultante fue enrasada a 100ml en balones aforados, para determinar Ca²⁺ y Mg²⁺ por espectrofotometría de absorción atómica, K⁺ y Na⁺ mediante fotometría de llama, y Al³⁺ mediante extracción con KCl y titulación con NaOH.

Análisis exploratorio de los datos

A los datos de CEC, se les determinó su normalidad, aplicando la prueba de Shapiro y Wilk (1965). En el caso de no poder obtenerse normalidad directamente con los datos, éstos fueron transformados según Box y Cox (1964), elevando el valor observado, al exponente comprendido desde el -2,0 y continuando con -1,9, -1,8, -1,7 y así sucesivamente hasta 2,0. A la vez, a cada transformación se le aplicó simultáneamente la prueba de Shapiro y Wilk (1965) con el fin de determinar cual de ellas permitía alcanzar la normalidad en la distribución de los datos. Se seleccionó la transformación más adecuada para normalizar la distribución de los datos, y así fueron analizados posteriormente.

En los casos en que no se lograra la normalidad de los valores transformados mediante los procedimientos indicados, se procedió a estratificarlos en función a intervalos arbitrarios de valores de la CEC, seleccionados con

la finalidad de buscar la normalidad en la distribución de los datos. Los intervalos de CEC utilizados en esos casos fueron 0-4,99; 5-9,99; 10-19,99; 20-49,99; y >50,0.

Análisis estadístico

Se determinó la bondad de ajuste entre las CEC obtenidas, colocando en el eje horizontal los valores extraídos por AA. Se verificó la significación de los coeficientes y la normalidad de los residuos estándares. Se determinó la bondad de ajuste entre los cationes de las CEC determinadas por sumatoria, colocando en el eje horizontal los valores de los cationes extraídos por AA. Se verificó la significación de los coeficientes y la normalidad de los residuos estándares. Se aplicó la prueba de t de Student a fin de determinar si existían diferencias entre las CEC y los cationes de los métodos evaluados, utilizando el programa estadístico SAS V8.

Con la finalidad de determinar los intervalos de suficiencia de la CEC, los datos fueron reagrupados en función del pH de las muestras analizadas, de manera tal que para cada intervalo de pH se estableciesen los intervalos reales de CEC de esos suelos. Estos últimos fueron desarrollados a partir de las medias de los valores de la CEC encontrados en cada uno de los intervalos determinados como estadísticamente diferenciados (P>0,05). Esta diferenciación fue obtenida sumando y restando a la CEC media de cada intervalo 1,5, 1, 0,5 o hasta 0,3 veces la desviación estándar, para determinar así el nivel en el cual no existiese solapamiento de los valores de CEC para cada intervalo. Una vez obtenidos esos intervalos de CEC, les fue determinado el pH respectivo a esos valores me-

dante un procedimiento de regresión.

Resultados

Análisis exploratorio de los datos

La CEC (cmol⁺ kg⁻¹) de estos suelos presentó una gran variación (Tabla I). Las muestras de suelos utilizadas en el estudio presentaron valores de pH desde 3,3 hasta 8,3. Cabe destacar la dispersión de los valores de la CEC obtenidos con los tres métodos, evidenciada en los altos valores de sus coeficientes de variación. Esto puede ser explicado por la gran variabilidad de los suelos estudiados, los cuales difieren en su ubicación, características físico-químicas, propiedades, mineralogía y contenido de materia orgánica, por lo que es necesaria la estratificación de esos datos para poder discutir los resultados.

Adicionalmente, la variabilidad de los valores obtenidos con AA y AS puede ser debida a que estos métodos elevan los valores de los cationes extraíbles en los suelos de pH bajo, y los homogenizan con los de los obtenidos en los suelos de pH más elevado.

Los mayores valores de la CEC fueron obtenidos con AA, lo cual concuerda con reportes de que este método incrementa la CIC. La menor magnitud de la CEC fue obtenida cuando la extracción se realizó con AS. La baja magnitud de esos valores de la CEC por AS se atribuye al menor poder de reemplazo de cationes por el Na⁺, el catión de reemplazo que se utiliza en este método. La más baja CEC fue obtenida con AS debido al bajo poder de reemplazo relativo del Na⁺ contra el del ión amonio, lo cual es indicativo que no es el método más adecuado para la determinación de la CIC en estos suelos. El CA produjo valores intermedios de CEC.

La variabilidad de los datos sugirió realizar un proceso de estratificación de los mismos, a fin de determinar sus tendencias. Los valores resultantes se presentan en la Tabla II. Allí se evidencia que mediante la estratificación, la dispersión de los datos disminuye considerablemente, por lo cual las pruebas de medias se realizaron a través de los estratos de valores de la CEC definidos e indicados en la tabla. Se aprecia que el coeficiente de variación tiende a estabilizarse a un valor de pH entre 6,73 y 7,38; es decir, a pH neutro. Sobre esta premisa, la variación de los valores de CEC con los diferentes métodos se podría atribuir al incremento de las cargas dependiente del pH (Rhoades, 1982).

Bondad de ajuste entre las CEC

La falta de asociación entre la CEC obtenida con AS y la CEC obtenida con CA es evidente en la Tabla III, por su bajo coeficiente de determinación (6,7%). Los resultados también indican que aún cuando el coeficiente de determinación de las CEC por AA y por CA es de un 82%, no existe asociación entre ellas, debido a que los valores de los residuos estándares son significativos, valores que son demostrativos e indican que el modelo está sesgado. Esta falta de asociación indica que no se conseguirá coincidencia en los valores de CEC de estos dos métodos (AA y CA) al tratar de compararlos, y evidencia la sobrevaloración de la determinación de la CEC con AA, ya

TABLA II
ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA CEC ESTRATIFICADA POR INTERVALOS DE VALORES Y SU pH MEDIO

| Intervalo CEC | Variables | AA | CA | AS | pH |
|---------------|--------------------------|---|-------------|-----------|---------|
| | | CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹) | | | |
| 0-4,99 | Medias | 3,32 | 1,50 | 5,13 | 4,03 |
| | Desviación estándar | 0,78 | 0,65 | 2,58 | 0,52 |
| | Máximo - Mínimo | 4,3-1,76 | 2,55-0,54 | 9,55-2,71 | 5-3,3 |
| | Coeficiente de variación | 23,48 | 43,42 | 50,42 | 13,01 |
| 5-9,9 | Medias | 7,33 | 5,19 | 5,86 | 5,05 |
| | Desviación estándar | 1,58 | 2,16 | 2,79 | 0,9 |
| | Máximo - Mínimo | 9,93-5,59 | 7,88-1,09 | 9,35-2,31 | 6,4-4,0 |
| | Coeficiente de variación | 23,48 | 41,79 | 47,67 | 17,9 |
| 10-19,9 | Medias | 15,54 | 10,52 | 5,05 | 6,73 |
| | Desviación estándar | 3,25 | 4,43 | 1,91 | 0,39 |
| | Máximo - Mínimo | 19,6-12,4 | 16,5-2,9 | 7,51-2,48 | 7,3-6,1 |
| | Coeficiente de variación | 20,93 | 42,15 | 37,88 | 5,84 |
| 20-49,9 | Medias | 32,62 | 15,26 | 5,27 | 7,38 |
| | Desviación estándar | 10,69 | 5,68 | 2,39 | 0,85 |
| | Máximo - Mínimo | 49,22-20,86 | 23,56-6,5 | 9,42-0,47 | 8,1-5,2 |
| | Coeficiente de variación | 32,79 | 37,28 | 45,3 | 11,6 |
| >50 | Medias | 56,92 | 24,02 | 6,99 | 7,72 |
| | Desviación estándar | 18,72 | 7,85 | 3,88 | 0,26 |
| | Máximo - Mínimo | 87,33-40,21 | 33,08-13,33 | 13,6-3,45 | 7,9-7,3 |
| | Coeficiente de variación | 32,90 | 32,71 | 55,6 | 3,47 |

AA: acetato de amonio 1N pH 7; AS: acetato de sodio pH 8,2; CA: cloruro de amonio 0,2N.

TABLA III
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE LA CEC DE LOS TRES MÉTODOS ESTUDIADOS

| Eje x | Eje y | Modelo | Residuos estándares |
|--------|--------|---|---------------------|
| CEC AA | CEC AS | y= 4,925 + 0,0362x R ² = 6,7% (ns) | ** |
| CEC AA | CEC CA | y= -0,057 + 1,818x R ² = 82% (**) | ** |

AA: acetato de amonio 1N pH 7; AS: acetato de sodio pH 8,2; CA: cloruro de amonio 0,2N; ns: no significativo; **: P<0,01.

TABLA IV
MODELOS DE REGRESIÓN LINEAL ENTRE Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺, EXTRAÍDOS CON AA Y CA

| Eje x AA | Eje y CA | Modelo | Residuos estándares |
|-----------------|------------------|---|---------------------|
| Ca ⁺ | Ca ²⁺ | y= 1,791 + 0,3964x R ² = 85,15 % (*) | ** |
| Mg ⁺ | Mg ²⁺ | y= -0,0403 + 0,8121x R ² = 99 % (**) | ns |
| K ⁺ | K ⁺ | y= -0,0245 + 1,0419x R ² = 98 % (**) | ns |
| Na ⁺ | Na ⁺ | y= 0,0105 + 1,0356x R ² = 97 % (**) | ns |

AA: acetato de amonio 1N pH 7; AS: acetato de sodio pH 8,2; CA: cloruro de amonio 0,2N; ns: no significativo; **: P<0,01.

que el catión de reemplazo es el mismo en ambos. Este efecto se manifiesta porque el valor de CEC, tanto en AA como CA, aumenta con incrementos del pH, lo cual podría ser atribuible a las cargas variables (Rhoades, 1982), pero el incremento en AA es muy superior al de CA, por lo que la diferencia puede atribuirse a la disolución de los carbonatos

(Rhoades, 1982; Henríquez *et al.*, 2005).

Bondad de ajuste entre los cationes de la CEC obtenida por su sumatoria

Los resultados de la Tabla IV demuestran que la no existencia de asociación entre las CEC determinadas por AA y CA es debida al efecto del

contenido de Ca²⁺, dado que los cationes Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ presentaron una elevada asociación (R>98%), pero no resultó así con los valores del Ca²⁺. La comparación de los valores entre los cationes señalados es presentada en la Tabla V

Las diferencias de extracción del Ca²⁺ por los métodos AA y CA sugieren que en efecto, el AA disuelve los carbonatos de Ca²⁺ y en segundo lugar, que esa situación promueve interpretaciones erróneas del potencial de fertilidad de un suelo.

En la Tabla V se presenta una comparación estadística entre los valores de los cationes extraídos con AA y CA. Los resultados demuestran que solo en los intervalos más altos de la CEC (>10cmol⁺·kg⁻¹), los valores del Ca²⁺ extraído por AA, presentaron diferencias (P<0,05) en relación con los obtenidos para un mismo suelo con CA y, coincidentalmente, estas diferencias comienzan a ocurrir en los suelos con media de pH de 6,73 que es el valor de pH alrededor del cual se señala que comienza el incremento de la CIC por el AA (Rhoades, 1982; Reeve y Sumner, 1971).

Esta situación tiene lugar debido a que el AA estaría presentando como asimilables a algunos cationes en solución provenientes de la disolución de los carbonatos, los cuales en condiciones reales de campo no estarían disponibles a corto plazo para los cultivos. Esto no ocurre al extraer los cationes de cambio con CA, debido a que éste, ni disuelve los carbonatos ni eleva las cargas variables del suelo, lo cual le confiere ventajas al evaluar el potencial real de suministro de nutrientes de un suelo.

La asociación estadística de los valores de Mg²⁺, K⁺ y Na⁺, entre los resultados del

AA y el Ca^{2+} , sugieren que el método bajo comparación, el CA, pudiera reemplazar rutinariamente al del AA. La sobre valoración de los valores del Ca^{2+} extraído por el método del AA sugiere que los valores obtenidos con CA son menores, debido a que éste no disuelve los carbonatos por ser una sal neutra y que, por tanto, se ajustan más estrechamente a los valores reales conseguidos al pH natural del suelo.

Las evidencias encontradas en estos resultados sugieren que el método del CA, pudiera utilizarse para evaluar rutinariamente, la CEC real de los suelos. Para ello sería necesario realizar calibraciones para discriminar la capacidad de evaluar la fertilidad del suelo mediante el método del cloruro de amonio 0,2N.

Conclusiones

1- El cloruro de amonio 0,2N, presentó valores de extracción de Mg^{2+} , K^+ y Na^+ con una elevada asociación estadística a los extraídos con el acetato de amonio 1N a pH 7, lo cual permitiría sustituirlo en la

TABLA V
VALORES DE LOS CATIONES EXTRAÍDOS POR AA Y CA, CLASIFICADOS POR INTERVALOS DE LA CEC

| Intervalo CEC ($\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) | pH | Ca^{2+} * | | Mg^{2+} | | K^+ | | Na^+ | |
|---|------|--------------------|---------|------------------|--------|--------------|--------|---------------|--------|
| | | AA | CA | AA | CA | AA | CA | AA | CA |
| <5 | 4,03 | 1,45 a | 0,97 a | 0,49 a | 0,32 a | 0,18 a | 0,14 a | 0,10 a | 0,10 a |
| 5- 9,99 | 5,05 | 4,92 a | 4,12a | 0,8 a | 1,24 a | 0,35 a | 0,32 a | 0,12 a | 0,12 a |
| 10-19,9 | 6,73 | 12,26 a | 6,56 b | 3,14 a | 1,47 a | 0,33 a | 0,45 a | 0,38 a | 0,48 a |
| 20-49,9 | 7,38 | 28,44 a | 13,92 b | 1,9 a | 1,72 a | 0,66 a | 0,62 a | 1,42 a | 0,5 a |
| >50 | 7,72 | 53,65 a | 22,33 b | 1,68 a | 1,41 a | 0,97 a | 0,98 a | 0,67 a | 0,64 a |

* Prueba de medias entre cationes extraídos por cada método. Letras diferentes en cada fila, representan diferencias significativas al $p > 0,05$.

determinación de estos cationes para la evaluación de la fertilidad potencial de suelos.

2- No pudo determinarse relación alguna en los contenidos de Ca^{2+} extraídos con los métodos del cloruro de amonio 0,2N y del acetato de amonio 1N a pH 7.

3- El acetato de amonio 1N pH 7 es más influenciado por el pH del suelo y los carbonatos que el método del cloruro de amonio 0,2N, lo cual sugiere como confiable a este último para determinar la cantidad de Ca^{2+} que el intercambio de cationes pone a disposición de las plantas.

4- La capacidad de aporte de cationes de los suelos estudiados está directamente relacionada con su pH.

ments for soils in the tropics. *Commun. Soil Sci Plant Anal.* 7: 751-761.

Reeve N, Sumner ME (1971) Cation exchange capacity and exchangeable aluminum in Natal Oxisols. *Soil Soc. Am. Proc.* 35: 38-42

Rhoades J (1982) Cation Exchange Capacity. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monographs N° 9.* American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 149-157.

REFERENCIAS

Box GEP, Cox DR (1964) An analysis of transformation. *J. Roy. Stat. Soc. Ser. B* 26: 211-234.

Gilabert de Brito J, de Rojas I, de Roberti R (1990) *Análisis de Suelos para Diagnóstico de Fertilidad.* Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. FONAIAP 1990. Serie D No. 26. Maracay, Venezuela.

Gillman G, Bell L (1976) Surface charge characteristics of six weathered soils from tropical north Queensland. *Austr. J. Soil Res.* 14: 351-360.

Henríquez M, Pérez J, Gascó J, Rodríguez O (2005) Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y en caolín, con acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro* 17: 59-62.

Juo ASR, Ayanlija SA, Ogunwale JA (1976) An evaluation of cation exchange capacity measure-

Rodríguez O, Rodríguez A (2002) Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Rev. Fac. Agron. LUZ* 19: 253-263.

Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (Complete samples). *Biometrika* 52: 591-611.

Soil Survey Staff (1999) *Soil Taxonomy.* 2ª ed. USDA, NRCS. Washington, DC, EEUU. 870 pp.

Sumner ME, Davidtz JC (1965) Positive and negative charges in some Natal soils. *S. Afr. J. Agric. Sci.* 8: 1045-1050.

Thomas G (1982) Exchangeable Cations. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monographs N° 9.* American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 159-165.