

Valores de referencia de la CIC determinada con NH_4Cl en función del pH y el % de arcilla

NH_4Cl CEC reference values in relationship to pH and clays %

O. Rodríguez¹, E. Guerra¹, V. Rodríguez¹, M. Henríquez¹, A. Sánchez¹, B. Mendoza¹ y Z. Rodríguez²

¹Decanato de Agronomía, Unidad de investigación en Suelos y Nutrición Mineral de Plantas. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto. Lara Venezuela.

²Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Resumen

La capacidad de intercambio de cationes de suelos, fue determinada por sumatoria de cationes extraídos con NH_4Cl 0,2 N (CICCA). El objetivo fue determinar su variación en relación al pH y al porcentaje de arcilla. El pH estuvo entre 3,3 y 8,1, la arcilla entre 6 y 35%. La CICCA media fue 12,41 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$. Hubo relación lineal entre incremento del pH y valor de la CICCA y una relación positiva y creciente entre porcentaje de arcilla y la CICCA. Se desarrollaron 5 rangos de valores de referencia de la CICCA en función de rangos del pH y preliminarmente, cinco rangos en función del porcentaje de arcilla, como índices de diagnóstico de la fertilidad potencial en el ámbito edáfico analizado.

Palabras clave: Cloruro de amonio; rangos; CICE, bases; intercambiables.

Abstract

Soil's cation exchange capacity was determined by extracted with 0.2N NH_4Cl (ACCEC) cations summatory. The aim of this research was to determine ACCEC variation ranges, in relationship to pH and clay percentage. Soils' pH ranged between 3.3 and 8.1 and clay % between 6 and 35%. Mean ACCEC was 12.41 $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$. Increases in ACCEC with increasing pH and clay percentage

increase were achieved. There was a lineal relationship between ACCEC and pH and a positive and an increasing relationship between ACCEC and clay percentage. Five ACCEC reference values range according to soil pH as well as 5 preliminary ACCEC reference values range according to clay percentage were developed, as potential soil fertility diagnostic indexes in the edaphic ambit analyzed.

Key words: ammonium chloride; ranges; ECEC; exchangeable; bases.

Introducción

Las mediciones de la capacidad de intercambio de cationes (CIC) y de los cationes cambiables extraíbles, son índices de la fertilidad potencial de un suelo. La CIC reviste importancia para evaluar el potencial de adsorción de elementos por los coloides del suelo, las relaciones entre los cationes básicos, la disponibilidad potencial de nutrientes por las plantas y las necesidades de aplicación de nutrientes.

El método más ampliamente utilizado para determinar la CIC es el del Acetato de Amonio 1N pH 7 (AA), el cual es utilizado para determinarla con propósitos de comparar los suelos entre sí y para su clasificación taxonómica. Sin embargo, el AA sobreestima la CIC debido a las cargas variables dependientes del pH de los coloides del suelo. Por tales razones, la CIC determinada con el AA, presenta dificultades para la evaluar la fertilidad de un suelo, ya que sobreestima la CIC.

Bache (1976), indica que la determinación de la CIC es afectada por variables como; la carga, el tamaño y el estado de hidratación de un catión, la densidad de carga de las partículas de suelo, la interacción específica-partícula coloidal y por la presencia de las especies iónicas $\text{Ca}(\text{OH})^+$ y $\text{Mg}(\text{OH})^+$ por encima de pH 7, si para la determinación de la CIC, son utilizadas sales de Ca y Mg.

Introduction

The measures of the cation exchange capacity (CEC) and the removal changeable cations are index of the potential fertility of the soil. The CEC is important to evaluate the absorption capacity of elements by the soil colloids, the relations among the basic cations, the potential availability of nutrients by the plants and the needs of applying nutrients.

The most used meted to determine the CEC is the ammonium acetate 1N pH 7 (AA), which is used to determine it with the aim of comparing the soils in between for their taxonomic classification. However, the AA overestimates the CEC due to the variable charges dependent to the pH of the soil colloids. For these reasons, the CEC determined to the AA, presents difficulties to evaluate the soil fertility, since it overestimates the CEC.

Bache (1976) indicates that the determination of CIC is affected by variables such as the charge, size and hydration phase of a cation, the charge's density of the soil's particles, the interaction ion-colloidal particle and the presence of ionic species $\text{Ca}(\text{OH})^+$ and $\text{Mg}(\text{OH})^+$ over pH 7, and for determining CIC salts of Ca and Mg are used.

In spite of all these advantages of AA, both the absolute values and the exchangeable cations that extracts, as

A pesar de todas estas desventajas del AA, tanto sus valores absolutos y los cationes cambiables que extrae, como sus valores derivados, como porcentaje de saturación con bases (PSB) y las relaciones Ca, Mg, K y Na (McLean, 1980; Gilabert *et al.*, 1990) son utilizados para evaluar la fertilidad de los suelos.

Rodríguez y Rodríguez (2002) reportaron que la determinación de la CIC por el método del Cloruro de Amonio 0,2 N (CICCA), no modifica el pH no incrementa las cargas variables y no disuelve los carbonatos del suelo. Henríquez *et al.* (2005) sugieren la pertinencia y confiabilidad del CICCA, como metodología de rutina para determinar la CIC. Rodríguez *et al.* (2011), señalaron que la CICCA, estuvo directamente relacionada con el pH, que los valores del Mg, K y Na presentaron una elevada asociación estadística a la de los extraídos con el AA, y que la CICCA, constituye un método confiable para determinar la cantidad de Ca, Mg y K que el suelo coloca a disposición de las plantas.

El punto crítico de cualquier sistema de diagnóstico es el establecimiento de valores de referencia, ya que sin ellos, no puede realizarse el diagnóstico. Por lo antes expuesto, se planteó como objetivo desarrollar valores de suelo referencia de la CICCA en función del pH y el porcentaje de arcilla del suelo, como índices de la fertilidad potencial de los suelos.

Materiales y métodos

El método utilizado para determinar la CICCA está detallado en Rodríguez y Rodríguez (2002). El va-

web as its derived values, the saturation percentage as bases (SPB) and the relations Ca, Mg, K and Na (McLean, 1980; Gilabert *et al.*, 1990) are used to evaluate the soils' fertility.

Rodríguez and Rodríguez (2002) reported that the determination of CEC by the Ammonium Chloride 0.2 N method ACCEC, does not modify the pH, does not increase the variable charges and does not dissolve the soil carbonates. Henríquez *et al.* (2005) suggest the pertinence and reliability of the ACCEC, as a routine methodology to determine the CEC. Rodríguez *et al.* (2011), mentioned that the ACCEC was directly related to the pH, that the Mg, K and Na values presented a high statistic association to the ones extracted to AA, and that the ACCEC constitutes a trustable method for determining the quantity of Ca, Mg and K of the soil available in the plants.

The critical point of any diagnose system is the establishment of reference values, without these, none diagnose can be performed. Because of the latter, the aim of this research was to develop reference values of the ACCEC in function of the pH and the clay percentage of the soil, as indexes of the potential fertility of the soils.

Materials and methods

The method used to determine the ACCEC is detailed by Rodríguez and Rodríguez (2002). The value of the ACCEC for each sample was determined by duplicate and averaged. A potentiometer determination was used for the pH in soil:water 1:2 suspension and the Bouyoucos method

lor de la CICCA para cada muestra fue determinado por duplicado y promediado. Se utilizó determinación potenciométrica para el pH en suspensión suelo:agua 1:2 y el método de Bouyoucos para determinar las fracciones de arena, limo y arcilla de los suelos (Gilabert *et al.*, 1990). Se procesó información de 32 suelos de los nueve municipios del estado Lara, para determinar las variables a desarrollar.

A los resultados de la CICCA, se les determinó la distribución normal, aplicando la prueba de Shapiro y Wilk (1965), a los datos originales o transformados de acuerdo a los exponentes -2,0 a 2,0 de Box y Cox (1964); en caso contrario, por la razón de no obtener la normalidad de distribución de los datos, se repitió el procedimiento, a los datos originales, pero estratificados en función a los siguientes rangos: 0 a 4,99; 5 a 9,99; 10 a 19,99; 20 a 49,99; mayor a 50,0 en $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$). Posteriormente, se les calculó la media y las medidas de dispersión, bien sea directamente en los estratos, con datos originales con normalidad en la distribución de los datos, o indirectamente en los estratos, con los datos transformados, a fin de garantizar la coincidencia de la media, moda y mediana en un solo valor y su representatividad del estrato.

Los estratos anteriores, permitieron establecer rangos de la CICCA, aproximadamente entre los límites del pH de < 5,5; 5,6 a 7 y > 7 o, % de arcilla de < 10; 11 a 15 y > 15, que permitieron para cada rango de pH o de % de arcilla, establecer los valores de la CICCA de esos suelos.

Posteriormente, a fin de evitar el solapamiento entre rangos, se aplicó

to determine the fractions of sand, silt and clay of the soils (Gilabert *et al.*, 1990). The information of 32 soils was processed of the nine parishes of Lara state, to determine the variables to develop.

To the results of the ACCEC, a normal distribution was determined applying the Shapiro and Wilk (1965) test to the original or transformed data, according to the exponents -2.0 to 2.0 of Box and Cox (1964); on the contrary, when the normal distribution of the data was not obtained, the procedure was repeated to the original data but stratified in function of the following ranks: 0 to 4.99; 5 to 9.99; 10 to 19.99; 20 to 49.99; higher to 50.0 en $\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$). Subsequently, the mean and the dispersion measures were calculated, either directly in the stratus with the original data and normality in the distribution of the data, or indirectly in the stratus, with the data transformed with the aim of guaranteeing the coincidence of the mean, mode and median in one value and its representation in the stratus.

The previous stratus allowed establishing ACCEC ranks approximately in the pH limits of < 5.5; 5.6 to 7 and > 7 o, clay % of < 10; 11 to 15 and > 15 that allowed for each pH rank of clay % rank to establish the ACCEC values of those soils.

Subsequently, with the aim of avoiding the overlap among ranks, the mentioned by Beaufils (19871) was applied, adding or subtracting to the media ACCEC of each rank its standard deviation in the magnitudes: 1.5, 1, 0.5 or 0.3 times, to obtain the rank that represents each stratus. Once established the ranks, will

lo señalado por Beaufils (1971), en la cual se le adicionó o sustrajo a la CICCA media de cada rango., su desviación estándar en las magnitudes: 1,5, 1, 0,5 o 0,3 veces, para obtener el rango que representa al cada estrato. Una vez establecidos los rangos, se reportarán inevitablemente, valores excluidos entre rangos, las cuales se clasificaran con los nombres de los rangos, que le antecede y procede.

Una vez obtenidos esos rangos de la CICCA les fue calculado la media, desviación estándar y coeficiente de variación del pH y el % de arcilla de cada estrato.

Resultados y discusión

CICCA. La CICCA de estos suelos presentó gran variabilidad, entre 0,54 y 102,64 $\text{cmol}^+.\text{kg}^{-1}$, con una media de 12,41 $\text{cmol}^+.\text{kg}^{-1}$ (cuadro 1), por lo tanto, no fue posible obtener la normalidad de los datos, ni originales, ni transformados por Box y Cox (1964). En consecuencia, los valores de la CICCA fueron posteriormente determinados en función de su pH y % de arcilla, respectivamente.

Relación CICCA:pH. Los valores de pH, para los suelos estudiados, estuvieron entre 3,3 y 8,1, con una media de 5,94 (cuadro 1). Debido a la gran variabilidad de la CICCA, se procedió a su estratificación, para determinar sus tendencias y poder discutir más apropiadamente los resultados.

Debido a la variabilidad de la CICCA conseguida en cada rango de pH y, debido a que se presentó solapamiento entre los valores de un rango de pH con el vecino, se realizaron aproximaciones sucesivas de am-

undoubtedly report the excluded values among the ranks, which will classified with the names of the ranks.

Once obtained such ranks of the ACCEC, were calculated: the mean, standard deviation and variation coefficient of the pH and the clay % of each stratus.

Results and discussion

ACCEC. The ACCEC of these soils presented great variability from 0.54 to 102.64 $\text{cmol}^+.\text{kg}^{-1}$, with a mean of 12.41 $\text{cmol}^+.\text{kg}^{-1}$ (table 1), therefore, it was not possible to obtain the normality of the data, neither the original nor the ones transformed by Box and Cox (1964). Consequently, the ACCEC values were later determined in function of its pH and clay %, respectively.

ACCEC:pH relation. The pH values for the studied soils were from 3.3 to 8.1, with a mean of 5.94 (table 1). Due to the great variability of the ACCEC, it was preceded to its stratification to determine its tendencies to discuss more accurately the results.

Due to the variability of the ACCEC found on each pH rank, and since it presented overlap among the values of a pH value to the neighbor, successive approximations of both were done using the DE values until avoiding the overlap of the values among the ranks. In this process, the margin of final amplitude selected was 0.3 times of DE.

The ranks of the reference values proposed to evaluate the ACCEC according to the pH, are presented on table 2, where is evidenced that with

Cuadro 1. Estadística descriptiva de los valores medios de la CICCA, pH y porcentaje de arcilla de las muestras.

Table 1. Descriptive statistic of the mean values of the ACCEC, pH and clay percentage of the samples.

Parámetros estadísticos	CICC Acmol ⁺ .kg ⁻¹	pH	%A
Media	12,41	5,94	15,4
DE	17,54	1,59	7,34
Mínimos – Máximos	0,54 – 102,64	3,3 - 8,1	9,0 – 39,0
CV	141,27	26,82	47,65

Desviación Estándar (DE); Coeficiente de Variación (CV); % de arcilla (%A).

bos utilizando los valores de la DE, hasta conseguir evitar solapamiento de los valores entre los rangos. En este proceso, el margen de amplitud final seleccionado fue de 0,3 veces la DE.

Los rangos de los valores de referencia propuestos para evaluar la CICCA según el pH, son presentados en el cuadro 2, en el cual se evidencia que mediante la estratificación, la dispersión de los datos para la CICCA disminuyó, lo cual permitió obtener la distribución normal de los datos en los rangos propuestos y por lo tanto, podrían utilizarse como valores de referencia para interpretar la CICCA de las áreas muestreadas.

El modelo de estimación calculado entre pH y CICCA fue:

$$y=1,728x^2 - 15,15x + 35,51; R^2=0,9377$$

Siendo; $y=$ CICCA y $x=$ pH; lo cual determinó que hubo una relación lineal entre el incremento del pH de los suelos y el incremento del valor de la CICCA.

Se sugiere que dada su bondad de ajuste, los valores de referencia desarrollados de la CICCA vs pH (cua-

the stratification and dispersion of the data, the ACCEC reduced; which allowed obtaining the normal distribution of the data in the proposed ranks, thus, might be used as reference values to interpret the ACCE of the sampled areas.

The estimation model calculated among pH and ACCEC was:

$$y=1.728x^2 - 15.15x + 35.51; R^2=0.9377$$

Being $y=$ ACCEC and $x=$ pH; which determined that there was a linear relation between the pH increment of the soils and the value increment of the ACCEC.

It is suggested that due to its adjustment, the developed reference values of the ACCEC vs pH (table 3), might be used as diagnose indexes of the potential fertility of the soils.

ACCEC:C% relation. The c% for the studied soils was from 9.0 to 39.0 with a mean of 15.4 % (table 1). Nevertheless, for the ACCEC variability as well as for the C%, it was preceded to stratify transforming them to determine their tendencies and discuss more accurately the results (table 3).

Cuadro 2. Estadísticos, valores de referencia de la CICCA según el pH y fertilidad potencial de suelos.

Table 2. Statistics, reference values of the ACCEC according to the pH and the potential fertility of the soils.

Estadísticos	CICCA cmol ⁺ .kg ⁻¹	Valores de referencia ³ cmol ⁺ .kg ⁻¹	pH medio y rango de pH	Fertilidad potencial ⁴
Media	1,50		4,03	
DE ¹	0,65			
Mínimos y máximos en el rango	0,54-2,55	1,31-1,69	3,3-5,0	Muy baja
CV ²	43,42			
Media	5,19		5,05	
DE	2,16			
Mínimos y máximos en el rango	1,09-7,88	4,54-5,83	4,0-6,4	Baja
CV	41,79			
Media	10,52		6,73	
DE	4,43			
Mínimos y máximos en el rango	2,9-16,5	9,19-11,9	6,1-7,3	Media
CV	42,15			
Media	15,26		7,38	
DE	5,68			
Mínimos y máximos en el rango	6,5-23,56	13,56-16,96	5,2-8,1	Alta
CV	45,3			
Media	24,02		7,72	
DE	7,85			
Mínimos y máximos en el rango	13,33-33,08	21,66-26,37	7,3-7,9	Muy alta
CV	32,71			

¹Desviación Estándar (DE);²Coefficiente de Variación (CV).³Los valores de referencia se obtienen restando y sumando 0,3 x DE, al valor de la media.⁴Valores entre rangos de referencia de la CICCA, ej., 8,5 cmol⁺.kg⁻¹, calificarían su fertilidad como baja-media.

dro 3), podrían utilizarse como índices de diagnóstico de la fertilidad potencial de los suelos.

Relación CICCA:%A. Los valores de %A para los suelos estudiados, estuvieron entre 9,0 y 39,0, con una media de 15,4% (cuadro 1). No obstante, por la variabilidad de la CICCA, al igual que la del %A, se procedió a su estratificación, transformándolos para determinar sus tendencias y discutir más apropiadamente los resultados (cuadro 3).

El modelo de estimación calculado entre el %A y la CICCA fue:

$$y=1,515x - 36,49; R^2= 0,7377;$$

siendo; $y=$ CICCA y $x=$ %A; sin normalidad en los residuos. Los valores obtenidos denotan una relación positiva y creciente entre el %A y el valor de la CICCA. La falta de una linealidad absoluta entre el incremento de la CICCA y el incremento del %A en el cuadro 3, es causada por innumerables factores, como serían una diferente mineralogía y los previamente señalados, según Bache (1976).

Por tanto, dada la baja bondad de ajuste, se sugiere que los valores de referencia desarrollados de la CICCA vs %A (cuadro 3), solo podrían ser utilizados como índices preliminares de diagnóstico de la fertilidad potencial de los suelos.

Conclusiones

La CICCA incrementó con adecuada bondad de ajuste, al estimarla contra el pH e incrementó con baja bondad de ajuste, cuando su estimación de la CICCA se realizó contra el porcentaje de arcilla.

Se desarrollaron 5 rangos de valores de referencia de la CICCA en fun-

The estimation model calculated between the C% and the ACCEC was:
 $y=1.515x - 36.49; R^2= 0.7377;$

Being: $y=$ ACCEC and $x=$ C%; without normality in the residues. The values obtained show a positive relation among the C% and ACCEC value. The lack of an absolute line among the ACCEC increment and the C% increment in table 3, is caused by several factors, as a different mineralogy and the previously mentioned, according to Bache (1976).

Therefore, due to the low adjustment, it is suggested that the ACCEC reference values developed vs C% (table 3), can only be used as preliminary diagnose indexes of the potential fertility of the soil.

Conclusions

The ACCEC increased with adequate adjustment when estimating it against the pH, and increased with low adjustment, when the ACCEC estimation was done against the clay percentage.

Five referential values ranks of the ACCEC were developed in function of the pH, as indexes of the potential edhaphic fertility, and preliminary, other five ranks in function of the clay percentage.

Acknowledgment

The authors Acknowledgment thank the Scientific, Humanistic and Technological Board (CONDES) by the economic support provided to the Project VAC-CONDES-CC-0056-11.

End of english version

Cuadro 3. Estadísticos, valores de referencia de la CICCAs según el %A y fertilidad potencial de suelos.

Table 3. Statistical, reference values of the ACCEC according to the C% and potential fertility of the soils.

Estadísticos	CICCA cmol ⁺ .kg ⁻¹	Valores de referencia ³ cmol ⁺ .kg ⁻¹	%A y rango de contenido de arcilla	Fertilidad potencial ⁴
Media	1,83		24,18	Muy baja
DE ¹	0,98			
Mínimos y máximos en el rango	0,54-3,56	1,53-2,12	11,9-36,4	
CV ²	53,94			
Media	6,29		28,12	Baja
DE	1,23			
Mínimos y máximos en el rango	1,09-7,88	5,92-6,66	16,9-39,4	
CV	19,65			
Media	12,7		31,3	Media
DE	1,83			
Mínimos y máximos en el rango	9,8-15,1	12,15-13,25	21,1-41,5	
CV	14,4			
Media	18,43		36	Alta
DE	1,78			
Mínimos y máximos en el rango	16,6-20,2	17,89-18,96	34,2-37,73	
CV	9,66			
Media	28,05		38,8	Muy alta
DE	8,2			
Mínimos y máximos en el rango	21,0-36	25,59-30,51	24,6-52,9	
CV	81,7			

¹Desviación Estándar (DE);²Coefficiente de Variación (CV).³Los valores de referencia se obtienen restando y sumando 0,3 x DE, al valor de la media.⁴Valores entre los rangos de referencia de la CICCAs, por ejemplo, 3,5 cmol⁺.kg⁻¹, calificarían su fertilidad de muy baja-baja.

ción del pH, como índices de la fertilidad edáfica potencial y de manera preliminar, otros 5 rangos en función del porcentaje de arcilla.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CONDES) por el financiamiento al proyecto VAC-CONDES-CC-0056-11

Literatura citada

- Bache, B. 1976. The measurement of cation exchange capacity of soils. *J. Sci Food Agric.* 27:273-280.
- Beaufils, E. R. 1971. Physiological diagnosis. A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Journal of the Fertilizer Society of South Africa.* 1:1-31.
- Box, G. y D. Cox. 1964. An analysis of transformation. *J. of Royal Stat. Soc. Series B,* 26:211-234.
- Gilabert, J, I. Rojas y R. Pérez. 1990. Análisis de Suelos para Diagnóstico de Fertilidad. Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia. FONAIAP 1990. Serie D No. 26. Maracay, Venezuela.
- Henríquez, M., J. Pérez, J. Gascó y O. Rodríguez. 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.
- McLean, E. 1980. Contrasting Concepts in Soil Test Interpretation: Sufficiency levels of Available Nutrients versus Basic Cation Saturation Ratios. En: *Soil Testing: Correlating and Interpreting the Analytical Results.* ASA Special Publication N° 29. pp: 39-54.
- Rodríguez, O. y A. Rodríguez. 2002. Comparación de la CIC en dos suelos, utilizando Acetato de Amonio, Acetato de Sodio y Cloruro de Amonio. *Rev. Fac. Agron.* 19:253-263.
- Rodríguez, O, E. Guerra, V. Rodríguez, M. Henríquez, A. Sánchez, B. Mendoza y Z. Rodríguez. 2011. Capacidad de extracción de cationes mediante acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Interciencia.* 36:219-223.
- Shapiro, S. y M. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (Complete samples). *Biometrika,* 52:591-611.