

COMPARACION DE CINCO METODOS PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS ALCALINOS *

Por :

Carlos Hernando Atuesta Rengifo

I. INTRODUCCION

La Capacidad de Intercambio Catiónico es una de las propiedades químicas del suelo más importantes debido a que es un buen estimador de la fertilidad y a la relación que guarda con la materia orgánica, textura, naturaleza y superficie específica de los coloides del suelo.

Para la determinación de esta propiedad se han utilizado variados procedimientos de laboratorio, habiéndose adelantado numerosas investigaciones en relación con la eficiencia de cada uno de ellos para evaluarla en diferentes tipos de suelo y de la influencia que sobre la determinación de dicha característica ejercen algunos factores como la naturaleza química de la solución extractora, cantidad de lavados y tiempo de contacto entre la solución extractora y comportamiento químico de las soluciones empleadas en el desplazamiento del catión utilizado.

Igualmente se han efectuado evaluaciones relacionadas con el efecto que sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico ejerce la materia orgánica, el tipo de coloide mineral, el pH del suelo y de la solución extractora, y la presencia de otros materiales que ocasionan interferencia.

La mayoría de estas investigaciones se han adelantado en suelos ácidos. En cuanto a suelos de pH alcalino se recomienda utilizar el método de acetato de sodio 1N pH 8.2, como el más adecuado para la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

En el Valle del Cauca, los procedimientos de rutina utilizan para la determinación de esta propiedad, una solución de acetato de amonio normal neutro indiferentemente de las características de la reacción del suelo, desplazando los iones amonio mediante una solución salina y evaluando por titulación o destilación.

El objetivo del presente trabajo es determinar el método más preciso y exacto para la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos alcalinos del Valle del Cauca, considerando como precisión la menor variabilidad y como exactitud la capacidad de un método para reproducir los valores estimados más reales.

(*) Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo y desarrollada bajo la presidencia de Jorge Colmenares M., I.A., M.Sc., a quién el autor expresa su agradecimiento.

II. REVISION DE LITERATURA

A. Naturaleza Química del Intercambio Catiónico

El Intercambio Catiónico es una de las propiedades más importantes del suelo, puesto que los cationes cambiabiles influyen en la estructura, actividad biológica del suelo, régimen hídrico y gaseoso, la reacción del suelo y otras propiedades.

En los procesos de intercambio iónico se acepta como generalización que las partículas coloidales están cargadas negativamente, con una densidad de carga tal que multiplicada por la superficie específica representada la Capacidad de Intercambio Catiónico. Los cationes intercambiabiles neutralizan la carga negativa localizándose en la superficie ó cerca de ella, considerándose que este proceso es estrictamente reversible (3, 13, 24).

Existen diferentes tipos de cargas electrostáticas en el complejo coloidal del suelo. Las denominadas permanentes se originan en el intercambio isomórfico en los tetraedros de Si y en los octaedros de AL de los minerales arcillosos, correspondiendo mayor Capacidad de Intercambio Catiónico y mayor carga permanente a mayor reemplazo isomórfico. Se presentan además cargas variables, denominadas dependientes del pH, originadas por el carácter anfótero de ciertos grupos funcionales localizados en la superficie de los coloides orgánicos y a veces en óxidos y minerales arcillosos, grupos que presentan cargas negativas por encima de su punto isoeléctrico y cargas positivas por debajo del mismo (3,9).

B. Tipos y Propiedades de los Materiales Inter Cambiadores

Los materiales del suelo encargados de los procesos de Intercambio Catiónico son de dos tipos principales: minerales secundarios y materia orgánica. Entre los minerales secundarios se distinguen dos grupos: minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de Fe, Al y Si (9, 17).

1. Minerales Arcillosos

Se conoce como minerales arcillosos a cierto grupo de productos, también denominados alúmino y ferrisilicatos, provenientes de la descomposición de minerales primarios y entre los cuales se distinguen cuatro tipos principales:

- a. Minerales arcillosos del tipo 1 : 1 como caolinita, haloisita y dickita
- b. Minerales arcillosos del tipo 2 : 1 como illita, vermiculita y montmorillonita
- c. Minerales arcillosos del tipo 2 : 2 como clorita
- d. Minerales amorfos como la alofana (17).

En los minerales arcillosos predomina la carga permanente para la adsorción de cationes y en la alofana depende del pH, correspondiendo a las arcillas

del tipo 1:1 la menor capacidad de Intercambio Catiónico a causa de su escaso reemplazo isomórfico (4, 9, 13, 19).

2. Oxidos e Hidróxidos de Si, Fe y Al

Su participación en procesos de Intercambio Catiónico es reducida, pues al cristalizarse en el suelo pierden actividad y por su carácter anfótero sólo a valores altos de pH presentan cargas negativas (9, 17, 19).

3. Materia Orgánica

La Capacidad de Intercambio de la Materia orgánica se debe más que todo a los grupos carboxílicos (COOH), fenólicos (OH), alcohólicos (OH v metílicos (OCH_3) que se encuentran en la periferia de las moléculas de ácidos húmicos. Presenta valores comparativamente altos los cuales varían entre 150 y 250 m.e./100 gr. (9,19).

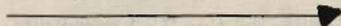
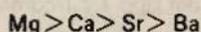
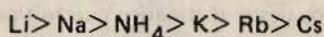
C. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico

1. Factores que influyen en los procesos de Intercambio Catiónicos

Los principales factores que afectan la Capacidad de Intercambio en los suelos son: la composición de la solución interna, concentración de la solución externa, selectividad del complejo de cambio y reacción del suelo. Estos factores tienen importancia igualmente en los procedimientos seguidos para la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (9, 17, 19).

a. Composición de la solución interna

Los cationes de la solución del suelo guardan ciertas proporciones con los adsorbidos en la solución micelar, dependiendo las características de intercambio de ciertas propiedades de los cationes como valencia y agua de hidratación, considerando que a mayor agua de hidratación menor es la fuerza de atracción que ejerce un material intercambiador sobre un catión. Se ha establecido las siguientes secuencias de hidratación o liotróficas:



Disminución del agua de hidratación

Aumento de la fuerza de retención (9, 19).

b. Concentración de la Solución Externa

La influencia de la concentración de la solución externa es de gran importancia, puesto que al aumentar se incrementa la adsorción del catión predominante,

manteniendo la relación de equilibrio. En condiciones de baja concentración, la adsorción de cationes divalentes es mayor que la de los monovalentes (9, 19).

c. Selectividad del Complejo de Cambio

Se ha encontrado que el material intercambiador puede mostrar preferencia por determinados cationes. Algunas de las secuencias de selectividad encontradas son:

ILITA	$Al > K > Ca > Mg > Na$
CAOLINITA	$Ca > Mg > K > Al > Na$
MONTMORILLONITA	$Mn > Ba > Ca > Mg > NH_4 > K > Na$ (9).

d. Reacción del Suelo

La reacción del suelo presenta un efecto múltiple sobre los procesos de Intercambio Catiónico, ya que además de determinar las características de las cargas que se presentan en el complejo coloidal de cambio anfótero, determina la cantidad de cargas dependientes del pH (9, 13).

2. Influencia del Catión Desplazante en la Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

De acuerdo con los estudios realizados en relación con la selectividad de los coloides por determinados iones, es necesario considerar el comportamiento de los materiales intercambiadores frente a diferentes extractores.

SAWHNEY y colaboradores (26), estudiaron la influencia de diferentes cationes sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico, saturando los suelos con cationes fijables como amonio y potasio y cationes no fijables tales como calcio y sodio, en suelos montmorilloníticos y otros ricos en vermiculita. En muestras montmorilloníticas obtuvieron valores de Capacidad de Intercambio Catiónico muy semejantes, tanto con calcio como con potasio. En las muestras ricas en vermiculita, la Capacidad de Intercambio Catiónico medida al saturar con potasio y reemplazar con amonio fué mucho menor que al saturar con sodio o con amonio. Cuando se utilizó acetato de sodio como solución reemplazante en suelos saturados con calcio, los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico fueron significativamente mayores que cuando se usó acetato de amonio.

ENDREY y QUAGRAINE citados por FUENTES (10), estudiaron la influencia del catión de cambio mono o divalente sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico en suelos tropicales, y encontraron que mientras los suelos montmorilloníticos mostraban pocas diferencias los caoliníticos diferían considerablemente. Además, observaron que la mayor parte de las diferencias se originaba en la parte mineral y no en la orgánica.

3. Métodos de Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico

Para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico en diversos tipos de suelo, se han utilizado numerosos procedimientos, la mayor parte de los cuales consta de los siguientes pasos:

- a. Saturación del complejo coloidal del suelo mediante el lavado con soluciones salinas.
- b. Eliminación del exceso de sal mediante lavados con diversos solventes, siendo los más usuales agua y etanol.
- c. Remoción del catión adsorbido en la primera fase del proceso y su cuantificación posterior (10, 19).

Recientemente se han establecido algunos métodos en los cuales se elimina el lavado de sales de exceso (18).

CHAPMAN, citado por FUENTES (10), enumera los siguientes métodos de evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico:

- a. Los cationes del suelo se desplazan mediante ácido clorhídrico diluido, y se titulan con hidróxido de bario a pH 7 ó con hidróxido de sodio a pH 8.5.
- b. La Capacidad de Intercambio Catiónico se considera como la suma del aluminio, hidrógeno y las bases desplazadas.
- c. Los cationes intercambiables se desplazan mediante acetato de amonio, bario, calcio o sodio y se evalúan los cationes adsorbidos.
- d. Se lixivia el suelo con acetato de calcio y se neutraliza con soluciones diluidas de Ca_{40} y Ca_{45} .

La técnica más difundida para la determinación del Intercambio Catiónico de los suelos, ha sido la de saturar el complejo de intercambio con acetato de amonio normal y neutro, sin discriminar su uso para suelos ácidos o alcalinos (3,8,19,23)

Esta solución presenta numerosas ventajas, aunque varios autores la encuentran poco conveniente para emplearla en algunos tipos de suelo a causa de factores que interfieren en su comportamiento. En ciertos suelos salinos y alcalinos, se presenta fijación de cantidades apreciables de amonio bajo condiciones de humedad, en el proceso de determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico mediante dicho ión (4, 7, 8).

BARSHAD (2) y PRATT (19), indican además, que los suelos que contienen arcillas del tipo 2:1 como vermiculita y micas fijan amonio y potasio. Por su parte MEHLICH (16) y BOWER (7), señalan que en la determinación de la Capacidad de

Intercambio Catiónico con acetato de amonio se obtienen valores bajos en suelos con materia orgánica o caolinita, a causa de la sustitución parcial del hidrógeno, por amonio.

PRATT (19), considera que el método de acetato de amonio no es confiable en suelos ácidos, porque la mayoría de sus cationes son divalentes, excluyendo el hidrógeno y el aluminio.

Otro método para evaluar la Capacidad de Intercambio Catiónico en la generalidad de los suelos, consiste en determinar la suma de bases cambiables incluyendo el hidrógeno y aluminio, comunmente se utiliza como patrón de comparación (3,4, 9,19).

Según KELLEY (14), la determinación cuantitativa de bases cambiables en los suelos de clima árido, solo es aproximada y por lo general excede al valor de la capacidad de cambio.

A este respecto, SALAZAR (25) encontró, para suelos del Valle del Cauca, que la suma de bases intercambiables puede considerarse como un buen estimativo de la Capacidad de Intercambio Catiónico determinada con acetato de amonio.

En la determinación de las bases intercambiables se utiliza corrientemente acetato de amonio normal y neutro, que extrae los cationes intercambiables y los solubles, por lo cual se necesita sustraer las bases solubles obtenidas a partir de una pasta saturada, por cuanto la experiencia ha demostrado que para obtener extractos de suelo en análisis de rutina el mínimo contenido de humedad es el porcentaje de saturación (8, 9, 17, 19).

RAMIREZ (21), afirma que en suelos a capacidad de campo o en el punto de marchitez, la concentración de sales equivale a dos y cuatro veces más que en el punto de saturación. De acuerdo con lo anterior, en un sentido estricto, los valores para cationes intercambiables se aplican únicamente al contenido de humedad utilizado para la extracción de los cationes solubles (8).

La suposición de que en la extracción con solución de acetato de amonio se remueven solamente los cationes intercambiables y solubles, no es estrictamente válida puesto que dicha solución tiene un significativo efecto solvente sobre minerales que contienen sodio, potasio, calcio y magnesio, siendo dicho efecto sobre el yeso y los carbonatos de calcio y magnesio suficientemente grande para producir error en la determinación de calcio y magnesio intercambiables (4, 8, 15).

Para obviar tal dificultad BOWER y colaboradores (8) encontraron que el óptimo número de extracciones con acetato de amonio para remover los cationes intercambiables más solubles, es de 3 o posiblemente 4. Con un mayor número de extracciones, a los cationes intercambiables se adicionan los de la solución de minerales del suelo.

En relación con la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico

en suelos salinos y alcalinos un criterio generalizado es el de utilizar el acetato de sodio como solución desplazante, ya que de los cationes comunes, el sodio parece ser el más adecuado para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico, por cuanto el potasio y el amonio se fijan y la presencia frecuente de carbonato de calcio y magnesio en suelos salinos y alcalinos restringe el uso de extractores que contengan calcio o magnesio. El hecho de que el sodio es un catión predominante en la mayoría de dichos suelos, también favorece su uso. (8).

Aunque el sodio tiene menor capacidad para extraer calcio, magnesio e hidrógeno intercambiables que el amonio y potasio, los mismos autores encontraron que con tres o cuatro lavados se extrae en forma virtualmente completa la totalidad de los iones intercambiables. Además encontraron que en suelos no calcáreos, la calcita, dolomita y magnesita, son menos solubles en la solución de acetato de sodio que en la de acetato de amonio, lo cual reduce el error que se pueda presentar al usar dicha solución.

4. Comparación de Métodos.

Teniendo en cuenta la diversidad de factores que afectan la capacidad de Intercambio Catiónico, varios autores han comparado los procedimientos en diferentes clases de suelos.

PRATT y HOLOWAYCHUCK (20) encontraron diferencias significativas al comparar tres métodos para determinar capacidad de Intercambio Catiónico en muestras de suelo tomadas de diferentes perfiles. Por el método de acetato de amonio, hallaron variaciones en los diferentes perfiles y resultados bajos de capacidad de cambio en relación a la suma de cationes intercambiables. Por el método de acetato de bario, los valores de capacidad de cambio fueron iguales a la suma de bases intercambiables, excepto en suelos muy ácidos. El método de cloruro de bario -buffer dió valores de capacidad de cambio aproximadamente iguales a la suma de bases.

GOLDEN et al (11) determinaron la capacidad de Intercambio Catiónico, mediante varias soluciones extractoras: {formato, acetato y cloruro de amonio y de bario} y encontraron que a pesar de presentar las sales orgánicas de amonio un mejor desplazamiento de bases intercambiables, el acetato de bario fué superior en la estimación de la Capacidad de Intercambio Catiónico total.

BARROWS y DROSDOFF (1) encontraron que en muestras de la superficie y del subsuelo de cuatro series de suelos, el método de cloruro de bario trietanolamina dió resultados intermedios entre los de destilación directa y destilación de amonio del extracto salino; el acetato de calcio hidróxido de bario dió bajos resultados y el método acetato de calcio llama resultados altos. Además encontraron que el método más preciso fué el acetato de calcio.

HANNA y REED (12), encontraron que en suelos recientemente encalados, el procedimiento de cloruro de bario -buffer dió valores más altos de la capacidad de Intercambio Catiónico— que el acetato de amonio debido a que el hidrógeno intercambiable medido por éste, fué mayor.

BLUME (6), comparó en doce suelos el método de equilibrar la muestra lixiviada previamente con acetato de calcio normal y neutro, con soluciones diluidas de calcio radioactivo y el método de acetato de amonio. Encontró que, en suelos con alto contenido de calcio intercambiable, la capacidad de Intercambio Catiónico fué más alta por el método del equilibrio que por el de acetato de amonio.

FUENTES (10), estudió el comportamiento de la capacidad de Intercambio Catiónico en suelos ácidos de origen volcánico con los siguientes métodos: acetato y cloruro de calcio no radiactivos y radiactivos; acetato de amonio; cloruro de bario trietanolamina y resinas de intercambio iónico. Encontró que los valores de capacidad de Intercambio determinados por los métodos convencionales, dependieron en alta proporción del número de lavados, induciendo errores debido a retención de sales o a hidrólisis. Así mismo, encontró que el método de las resinas fué el más preciso en la determinación real de la capacidad de intercambio a pH del suelo, en la determinación de bases intercambiables y contenidos de hierro y aluminio intercambiables debido a que evita los errores de retención e hidrólisis.

TOTH (28), dice que la estimación de la capacidad de Intercambio por el método de acetato de bario y la posterior lectura del bario en el fotómetro de llama, es rápido y preciso en suelos que no contengan carbonato de calcio libre.

BLAKEMORE y METSON (5), determinaron que es posible hallar valores de capacidad de Intercambio aproximados utilizando el método de microdifusión de Conway para evaluar el amonio, modificando el procedimiento de acetato de amonio.

III. MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en los laboratorios del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Palmira y de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, utilizando suelos del área plana del Valle del Cauca, seleccionados de los archivos del Instituto Colombiano Agropecuario y de la Facultad.

Como criterio de selección de los suelos, se utilizó el pH de tal forma que permitiera separarlos en tres grupos dentro del rango alcalino, considerando los límites de 7.1 a 7.5; 7.6 a 8.0 y mayores de 8.

Las muestras de suelo utilizadas corresponden a las localidades de Candelaria, Palmira, Roza, Ingenio Manuelita, Buga, Tuluá y el Distrito de Riego R.U.T y representan el horizonte superficial en su mayoría, a excepción de tres de ellas, tal como se aprecia en la Tabla I.

A. METODOS ANALITICOS

Las muestras seleccionadas se analizaron para pH, conductividad eléctrica, fósforo, materia orgánica, textura, bases solubles e intercambiables y Capacidad de Intercambio Catiónico siguiendo la metodología presentada a continuación:

pH: mediante el potenciómetro, con una relación agua: suelo de 1:1 (13).

Materia Orgánica (M.O): por el método de Walkley – Black (13).

Conductividad Eléctrica (E.E.): mediante el puente de Wheatstone, en un extracto de saturación. (4).

Fósforo por el método de Bray II. (13).

Bases de Cambio (Ca, Mg, Na, K): Usando el método de Peech ó sea por extracción con acetato de amonio normal y neutro. Cuantificación posterior por medio del fotómetro de llama para sodio y potasio y titulación con verseno para calcio y magnesio. (4).

Bases Solubles (Ca, Mg, Na, K): extracción mediante una pasta de saturación y cuantificación posterior. (13).

Textura: Por el método de Bouyoucos. (13).

Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.): determinada por los siguientes métodos:

1. Acetato de amonio 1N pH 7 – titulación, adaptado de métodos convencionales por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
2. Acetato de amonio 1N pH 7 – destilación (13).
3. Cloruro de calcio, adaptado de métodos tradicionales por Fuentes (10).
4. Acetato de sodio 1N pH 8.2 (8).
5. Sumatoria de bases.

B. Descripción de los métodos empleados para determinar C.I.C.

1. Método de Acetato de Amonio 1N pH 7 – Titulación

Colocaron 5 gms. de suelo en un Erlenmeyer, se agregaron 25 mls. de acetato de amonio 1N pH 7, agitando 1/2 hora y dejando reposar 15 minutos. Se filtró al vacío, se recogió el filtrado en balones de 100 mls. y se llevó a volumen con acetato de amonio 1N pH 7 para la determinación de las bases totales. El exceso de amonio se lavó con cinco porciones de 10 mls. de alcohol etílico del 95^o/o y con agua destilada; se lixivió a continuación con cinco porciones de 10 mls. de cloruro de sodio al 10^o/o recibiendo en Erlenmeyers. Se agregaron 10 mls. de formaldehído al 40^o/o y se tituló con hidróxido de sodio 0.1N.

2. Método de Acetato de Amonio 1N pH 7 - Destilación

La metodología fué exactamente la anterior hasta la obtención del extracto,

luego de lavar con cloruro de sodio. El extracto se pasó a balones Kjeldahl y se agregó 1 gramo de zinc metálico, 3 gramos de hidróxido de magnesio y agente antiespumante, conectado el balón al destilador y recogiendo el destilado sobre 50 mls. de ácido bórico, + azul de metileno - rojo de metileno, titulando posteriormente con ácido sulfúrico 0.1N. (13).

3. Método de Cloruro de Calcio 1N pH 7

Se pesó el equivalente de 1 gramo de suelo seco a 110°C, colocándolo en tubos de centrifuga de 50 mls; se saturó con cuatro porciones de 25 mls. de cloruro de calcio normal y neutro. Se mantuvo en agitador horizontal, la primera vez 12 horas y las tres restantes 1 hora, centrifugando después de cada agitación a 2.000 R.P.M., desechando el sobrenadante. Saturado el suelo, se lavó el exceso de sal con dos porciones de agua destilada agitando 15 minutos y con tres porciones de 25 mls. de etanol agitando 1 hora, centrifugando luego a 2.000 R.P.M., botando el sobrenadante; se desplazó el calcio con cuatro porciones de 25 mls. de acetato de amonio normal y neutro, agitando durante dos horas cada vez, centrifugando a continuación a 2.000 R.P.M., colectando el sobrenadante en balones de 100 mls., el cual se llevó a volúmen con acetato de amonio 1N pH 7; se prepararon alicuotas y se determinó el calcio titulando con verseno 0.01N (10).

4. Método de Acetato de Sodio 1N pH 8.2

Se pesaron 4 gramos de suelo de humedad conocida, saturándolo con cuatro porciones de 33 mls. de acetato de sodio 1N pH 8.2, agitando durante 5 minutos, se centrifugó luego a 2.000 R.P.M. desechando el sobrenadante. Saturado el suelo, se lavó el exceso de sal con tres porciones de 33 mls. de etanol de 95^o/o, agitando 5 minutos y centrifugando a 2.000 R.P.M. hasta obtener un sobrenadante que se desechó, teniendo en cuenta que la C.E. del tercer lavado fuera menor de 40 micromhos/cm. Se desplazó el sodio con tres porciones de 33 mls. de acetato de amonio normal y neutro, agitando 5 minutos y centrifugando a 2.000 R.P.M. Se recolectó los sobrenadantes en balones de 100 mls., llevándolos a volumen con acetato de amonio normal y neutro; se tomaron alicuotas y se determinó el sodio en el fotómetro de llama (8).

5. Método de Sumatoria de Bases

Este método consiste en sumar los cationes totales (Ca, Mg, Na, K) obtenidos por extracción con acetato de amonio normal y neutro, restándole posteriormente las bases solubles obtenidas en el extracto de saturación.

C. Análisis Estadístico.

Se empleó un diseño experimental de bloques al azar con submuestras, arreglando los tratamientos en un factorial mixto 15 x 5 x 2.

Para el análisis de la información se consideraron dos criterios de clasificación:

suelos y métodos, con interacción y muestreo dentro de la celda, considerando los métodos bajo la concepción de efecto fijo y los suelos como efecto aleatorio, ya que los 15 usados constituyen una muestra de una potencial población de suelos del Valle del Cauca.

El modelo matemático utilizado fué:

$$Y_{ijk} = U + T_i + B_j + C_{ij} + d_{ijk}$$

en donde:

Y_{ijk} : valor esperado para una muestra por el tratamiento i , en el suelo j y en la repetición k .

U : media general

T_i : efecto de tratamiento i

B_j : efecto del suelo j

C_{ij} : error experimental

d_{ijk} : error muestral

Para la selección del error a utilizar en la evaluación de los métodos y los suelos, se consideraron las esperanzas matemáticas de los cuadrados medios de acuerdo con STEEL y TORRIE (27).

En base a los resultados del análisis del diseño, se compararon los efectos de suelos en tres grupos de pH considerados bajo, medio y alto en el rango estudiado y dentro de cada grupo.

Para relacionar el comportamiento de los métodos se efectuaron comparaciones ortogonales.

La precisión de los métodos se evaluó a través de la prueba de F máxima de Hartley y la exactitud seleccionando un método, estimado en otras investigaciones como el que produce los valores más aceptables, y comparando los restantes métodos con éste.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A. Características Químicas

En la Tabla I aparece el resultado de los análisis químicos de los suelos utilizados en el ensayo, expresados en base a suelo seco a $105 - 110^{\circ}\text{C}$.

De acuerdo con la C.E. del extracto de saturación, solamente el suelo 11 colectado en el corregimiento de Rozo, presenta características de salinidad y además,

TABLA I
ANÁLISIS QUÍMICO GENERAL DE LOS SUELOS

Suelo	Procedencia	Prof. cms.	Textura	pH	C. E. mmhos/cm.	M. O. %	P p.p.m	Cationes Inter. Ca Mg		+	Solubles ℓ Ca K		Cationes Solubles ℓ Ca Mg		C.I.C. meq/100 gr.	
1	Tuluá	0-40	Fr-Ar	7.1	0.4	1.9	2.5	19.16	5.16	0.15	0.72	0.074	0.013	0.051	0.009	25.03
2	Tuluá	0-40	Fr-Ar	7.2	0.65	4.9	5.8	18.67	17.51	0.24	2.29	0.151	0.131	0.059	0.040	38.42
3	R.U.T.	0-40	Fr-Ar	7.4	0.4	2.3	121.6	17.70	4.76	0.27	0.65	0.153	0.073	0.051	0.014	23.08
4	Palmira	0-40	Ar	7.4	0.6	1.6	31.9	28.86	17.79	0.41	0.61	0.171	0.091	0.059	0.010	47.32
5	Buga	0-40	Ar	7.5	0.4	0.3	4.4	10.61	10.23	0.42	0.11	0.071	0.067	0.068	0.004	21.19
6	Manuelita	40-70	Fr-Ar-L	7.7	0.38	2.1	49.3	13.65	6.36	0.30	0.72	0.129	0.052	0.048	0.016	20.77
7	Buga	0-40	Ar	7.8	0.5	0.5	7.5	8.88	8.42	1.20	0.11	0.055	0.038	0.039	0.004	18.46
8	R.U.T.	0-40	Ar	7.3	1.0	4.0	72.6	29.07	20.24	0.56	0.62	0.363	0.375	0.148	0.013	49.58
9	R.U.T.	0-40	Ar	7.9	0.5	0.25	31.9	25.52	14.31	0.28	0.50	0.114	0.094	0.059	0.006	40.32
10	Manuelita	40-70	Ar	7.9	0.52	2.4	24.6	16.51	5.25	0.27	0.25	0.138	0.024	0.048	0.006	22.08
11	Rozo	40-70	Fr	8.1	7.3	0.2	29.2	4.96	5.07	4.50	0.17	0.253	1.017	2.890	0.017	10.53
12	R.U.T.	0-10	Fr-Ar	8.4	0.4	4.0	38.4	18.00	15.40	0.83	1.07	0.217	0.174	0.087	0.032	34.77
13	Palmira	0-40	Ar	8.5	1.1	1.9	179.2	10.76	8.49	2.75	1.10	0.129	0.110	0.342	0.029	22.47
14	Candelaria	0-40	Fr	8.5	1.5	1.3	944.0	9.52	3.05	0.57	7.90	0.150	0.038	0.054	0.664	20.08
15	Palmira	0-40	Ar	8.7	0.8	0.8	228.8	10.82	11.36	1.16	0.56	0.150	0.288	0.330	0.012	23.12

ℓ expresados en meq/100 gr.

La C.I.C. corresponde al método sumatoria de bases

un porcentaje de saturación de sodio, calculado en base a la CIC sumatoria de bases, superior al 15^o/o, por lo cual se le considera salino sódico.

El suelo 14 por su parte presentó porcentaje de saturación de potasio elevado, siendo aproximadamente de 35^o/o.

Los contenidos de M.O de los suelos, variaron entre 0.2 y 4.9, pero en forma general presentaron valores bajos exceptuando los suelos 2,8 y 12 con valores superiores al 4^o/o.

En cuanto a la composición granulométrica, puede anotarse que predominan las texturas finas y moderadamente finas aunque los suelos 10,11 y 14 presentaron textura franca.

Los valores obtenidos para P señalan gran variedad observándose los más elevados para los suelos 13,14 y 15 de pH más alto.

En relación con las bases intercambiables, se aprecia que el calcio es el catión predominante en la generalidad de los suelos estudiados, pero los números 2,5,7,11 y 15 presentaron estrecha relación entre dicho catión y el magnesio. El suelo 14 presentó elevado porcentaje de saturación de potasio y los suelos 11 y 13 mostraron los mayores contenidos de sodio.

Los cationes solubles se presentaron en concentraciones bajas en la casi totalidad de los casos.

B. Capacidad de Intercambio Catiónico.

La Tabla II presenta los resultados de las dos repeticiones de cationes intercambiables y solubles, realizadas para la evaluación de la C.I.C., mediante la sumatoria de bases. En la Tabla III se aprecian los valores obtenidos para la capacidad de Intercambio Catiónico por los cinco métodos en los 15 suelos y en las Tablas IV y V se incluyen el análisis de variancia del diseño y en cálculo de los contrastes ortogonales empleados en la comparación de los diferentes métodos. La Tabla VI corresponde al análisis de variancia ponderada de los diferentes métodos, empleado para evaluar la precisión de los tratamientos.

En base a los resultados presentados en la Tabla III, se aprecia que el método de cloruro de calcio produjo valores más altos para la C.I.C. dentro del rango estudiado. Los métodos de acetato de amonio —titulación y destilación— produjeron los valores más bajos de C.I.C., siendo muy semejantes entre sí, en tanto que los métodos de acetato de sodio y sumatoria de bases produjeron valores intermedios entre el cloruro de calcio y los métodos de amonio.

En cuanto al comportamiento de los métodos respecto al pH, se observa en la figura 1 la tendencia a presentar estos una menor capacidad de intercambio a medida que los valores de pH se incrementan, con excepción del cloruro de calcio que se

TABLA II

REPETICIONES PARA LA EVALUACION DE LA C.I.C. SUMATORIA DE BASES

Suelo	Primera Repetición									Segunda Repetición								
	Cationes Inter. + Solubles ℓ				Cationes Solubles ℓ				C.I.C. meq/100 gr.	Cationes Inter. + Solubles ℓ				Cationes Solubles ℓ				C.I.C. meq/100 gr.
	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K		Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K	
1	18.95	4.95	0.13	0.73	0.119	-	0.054	0.009	24.58	19.36	5.36	0.16	0.71	0.029	0.026	0.048	0.009	25.47
2	18.78	18.04	0.24	2.29	0.168	0.164	0.059	0.044	38.91	18.56	16.98	0.24	2.28	0.134	0.097	0.058	0.035	37.73
3	18.22	4.14	0.26	0.64	0.183	0.057	0.052	0.015	22.95	17.18	5.38	0.28	0.65	0.122	0.088	0.049	0.013	23.21
4	29.82	16.93	0.42	0.61	0.152	0.034	0.055	0.009	47.53	27.90	18.64	0.39	0.60	0.190	0.148	0.063	0.010	47.11
5	10.50	10.16	0.43	0.09	0.071	0.067	0.071	0.003	20.96	10.71	10.40	0.40	0.12	0.071	0.067	0.065	0.005	21.42
6	13.54	6.05	0.27	0.69	0.147	0.033	0.045	0.016	20.30	13.75	6.67	0.32	0.75	0.110	0.070	0.050	0.015	21.24
7	9.18	7.91	1.20	0.10	0.055	0.052	0.023	0.004	18.25	8.57	8.93	1.19	0.12	0.055	0.024	0.055	0.003	18.67
8	29.39	19.81	0.51	0.63	0.396	0.386	0.148	0.014	49.36	28.75	20.66	0.60	0.60	0.330	0.353	0.148	0.012	49.76
9	25.41	14.91	0.28	0.49	0.097	0.094	0.059	0.006	40.83	25.62	13.71	0.27	0.50	0.130	0.094	0.058	0.006	39.81
10	16.81	5.12	0.24	0.25	0.138	0.024	0.047	0.007	22.20	16.20	5.38	0.30	0.25	0.138	0.024	0.048	0.004	21.96
11	6.06	5.36	4.40	0.18	0.253	0.993	2.737	0.017	11.00	4.86	4.78	4.60	0.16	0.253	1.041	3.042	0.017	10.05
12	17.89	15.19	0.81	1.07	0.237	0.154	0.094	0.031	34.44	18.10	15.60	0.84	1.06	0.197	0.193	0.079	0.033	35.09
13	10.76	8.59	2.77	1.08	0.129	0.093	0.329	0.027	22.62	10.76	8.38	2.72	1.11	0.129	0.126	0.355	0.031	22.32
14	9.32	3.15	0.56	7.80	0.136	0.024	0.054	0.664	19.95	9.72	2.94	0.58	7.90	0.164	0.051	0.054	0.664	20.20
15	11.03	11.23	1.16	0.56	0.150	0.288	0.330	0.012	23.20	10.61	11.49	1.16	0.56	0.150	0.288	0.330	0.012	23.04

ℓ expresados en meq/100 gr.

TABLA III

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO POR LOS METODOS UTILIZADOS

METODO	SUELO 1	SUELO 2	SUELO 3	SUELO 4	SUELO 5
Acetato de amonio -titulación	24.51	40.30	23.39	52.82	20.58
	27.35	40.30	23.60	50.80	20.34
	30.18	40.30	23.80	48.77	20.10
Acetato de amonio - destilación	21.63	41.56	22.14	47.49	19.95
	22.66	40.09	22.77	50.16	19.95
	23.69	38.61	23.39	52.82	19.95
Cloruro de calcio	38.00	52.00	36.00	60.00	28.00
	36.00	53.00	35.00	60.00	28.00
	34.00	54.00	34.00	60.00	28.00
Acetato de Sodio	29.35	43.25	24.84	61.23	22.31
	29.87	44.04	24.32	59.90	21,52
	30.38	44.83	23.80	58.57	20.73
Sumatoria de bases	24.58	38.91	22.95	47.53	20.96
	25.03	38.32	23.08	47.32	21.19
	25.47	37.73	23.21	47.11	21.42

TABLA III (Cont.)

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO POR LOS METODOS UTILIZADOS

METODO	SUELO 6	SUELO 7	SUELO 8	SUELO 9	SUELO 10
Acetato de amonio - titulación	19.90	17.75	45.36	41.79	17.22
	19.70	18.67	44.94	41.58	17.43
	19.49	19.58	44.51	41.37	17.63
Acetato de amonio - destilación	16.47	18.56	46.43	31.92	13.32
	16.47	18.56	43.56	35.70	13.32
	16.47	18.56	40.68	39.48	13.32
Cloruro de calcio	30.00	28.00	74.00	54.00	32.00
	31.00	26.00	72.00	54.00	33.00
	32.00	24.00	70.00	54.00	34.00
Acetato de sodio	22.57	18.10	51.12	46.20	21.01
	23.47	18.74	50.32	46.20	21.78
	24.36	19.38	49.52	46.20	22.55
Sumatoria de bases	20.30	18.25	49.39	40.83	22.20
	20.77	18.46	49.59	40.32	22.08
	21.24	18.67	49.76	39.81	21.96

TABLA III (Cont.)

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO POR LOS METODOS UTILIZADOS

METODO	SUELO 11	SUELO 12	SUELO 13	SUELO 14	SUELO 15
	5.88	31.20	19.25	11.95	13.31
Acetato de amonio - titulación	5.88	31.10	19.04	11.74	13.73
	5.88	30.99	18.83	11.54	14.14
Acetato de amonio - destilación	3.04	26.62	17.38	10.13	12.90
	3.04	28.18	17.80	9.62	13.52
	3.04	29.74	18.21	9.11	14.14
	26.00	50.00	42.00	54.00	76.00
Cloruro de calcio	25.00	53.00	42.00	51.00	75.00
	24.00	56.00	42.00	48.00	74.00
	6.59	33.28	21.21	13.67	14.82
Acetato de sodio	6.72	33.28	21.60	14.18	14.95
	6.84	33.28	21.99	14.68	15.08
	11.00	34.44	22.62	19.95	23.20
Sumatoria de bases	10.53	34.77	22.47	20.08	23.12
	10.05	35.09	22.32	20.20	23.04

TABLA IV

ANALISIS DE VARIANCIA DE LOS VALORES DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

FUENTES DE VARIACION	G.	L.	S. C.	C. M.	F. C.	F. 50/o	T. 10/o
Total	149		36.078.75				
Métodos	4		8.615.69	2.153.92	25.28	2.55	3.69
CaCl ₂ Vs. otros		1	8.162.28	8.162.28	95.78	4.02	7.23
Titulación Vs. Destilación		1	63.18	63.18	0.74	4.02	7.23
Sodio Vs. Sumatoria		1	12.65	12.65	0.15	4.02	7.23
NH ₄ Vs. Sumatoria y Sodio		1	377.58	377.58	4.43	4.02	7.23
Suelos	14		22.501.98	1.607.28	18.86	1.89	2.44
Grupos		2	2.995.20	1.497.60	17.57	3.17	5.02
Suelos pH bajo		4	7.086.54	1.771.64	20.79	2.55	3.69
Suelos pH medio		4	8.829.29	2.207.32	25.90	2.55	3.69
Suelos pH alto		4	3.590.96	897.74	10.53	2.55	3.69
Interacción suelo X método	56		4.772.65	85.22	33.95	1.82	1.53
Observación / método / suelo	75		188.43	2.51			

TABLA V
COMPARACIONES ORTOGONALES ENTRE METODOS DE EVALUACION DE LA C.I.C.

COMPARACIONES	TOTALES DE TRATAMIENTO					C _i Y _i	(C _i Y _i) ²	(C _i Y _i) ² /r C _i ²	C. M.	F. C.	F. t.	
	(L)	T1	T2	T3	T4						T5	5 ^o /o
		772.32	710.75	1348.00	861.74	834.19						
Cloruro de Calcio Vs. Otros	-1	-1	+4	-1	-1	2.213.00	4897369.00	8.162.28	8.162.28	95.78	4.02	7.23
Titulación Vs. Destilación	+1	-1	0	0	0	61.57	3790.87	63.18	63.18	0.74	4.02	7.23
Sodio Vs. Sumatoria	0	0	0	+1	-1	27.55	759.00	12.65	12.65	0.15	4.02	7.23
Amonio Vs. Sodio y Sumatoria	+1	+1	0	-1	-1	-212.86	45309.38	377.58	377.58	4.43	4.02	7.23

- (L) T1 Acetato de Amonio - Titulación
 T2 Acetato de Amonio - Destilación
 T3 Cloruro de Calcio
 T4 Acetato de Sodio
 T5 Sumatoria de Bases

TABLA VI

ANÁLISIS DE LA VARIANCIA PONDERADA DE LOS ELEMENTOS EMPLEADOS

Método	Variación Ponderada	Orden de Precisión.
ACONH ₄ - Titulación	27.28	3
ACNH ₄ - Destilación	73.07	5
CaCl ₂ -	72.00	4
ACONa	12.87	2
Sumatoria de Bases	3.23	1

muestra completamente diferente, siendo más marcada esta diferencia a partir de pH 8.0

El análisis del diseño incluido en la Tabla IV indica que hubo efecto significativo tanto de los suelos como de los tratamientos o métodos de determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico. Una composición del efecto de suelos en función de los grupos de pH y dentro de cada uno de los grupos, representó cerca del 10% del efecto total del suelo. Dentro de cada grupo se apreciaron diferencias significativas en el comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico respecto al pH, siendo esta diferencia más marcada en el grupo medio.

En el mismo cuadro se incluye la descomposición de la suma de cuadrados de tratamientos obtenida a través de comparaciones ortogonales, con el fin de evaluar el comportamiento de los diferentes métodos. Se aprecia que el cloruro de calcio produjo diferencia significativa respecto a los métodos restantes, siendo este efecto cerca del 95% del total de métodos. Las determinaciones mediante amonio por titulación y por destilación no señalaron diferencias significativas entre sí, pero sí respecto a la sumatoria de bases y al acetato de sodio. Finalmente se aprecia que entre la Capacidad de Intercambio Catiónico determinada por acetato de sodio y la evaluada mediante la sumatoria de bases no se observó diferencia significativa.

En base a la Tabla III, que presenta los valores obtenidos para la Capacidad de Intercambio Catiónico por los diferentes métodos en los 15 suelos, se estimó la variación ponderada con 15 grados de libertad, entre las dos observaciones por el mismo método en el mismo suelo, para evaluar la precisión de dichos métodos, arrojando los siguientes resultados:

De acuerdo con el resultado anterior, se nota claramente que el método de la sumatoria de bases produjo la menor variabilidad en la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico, seguido por los métodos de acetato de sodio, acetato de amonio -titulación, cloruro de calcio y acetato de amonio- destilación en su orden.

La prueba de F máxima, en base al criterio propuesto por H.O. Hartley, para cinco grupos y 15 grados de libertad en cada grupo, fija el valor de 6.0 como límite de aceptación de la hipótesis de homogeneidad de variancia para un nivel del 1^o/o de probabilidad de error tipo 1. El valor calculado de acuerdo a la fórmula

$$\frac{S^2 \text{ mayor}}{S^2 \text{ menor}}$$

excede el valor de comparación, por lo cual se rechazó la hipótesis de homogeneidad de variancia; de esta manera los métodos se pueden agrupar en tres grupos de acuerdo al grado de precisión: un grupo de gran precisión formado por los métodos de sumatoria de bases y acetato de sodio, un grupo de mediana precisión constituido por el método de acetato de amonio —titulación y un grupo de baja precisión integrado por los métodos de cloruro de calcio y acetato de amonio —destilación.

Tomando como bases estos resultados, se puede deducir en cuanto al criterio de precisión que los métodos de acetato de sodio y sumatoria de bases son los más indicados para la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos estudiados, debido a su poca variabilidad y a que no presentan diferencia significativa entre sí.

Considerando en base al criterio de precisión tanto el acetato de sodio como la sumatoria de bases pueden considerarse como los mejores estimadores de la Capacidad de Intercambio Catiónico en el rango alcalino estudiado y teniendo en cuenta que el sodio presenta menor susceptibilidad a ser fijado que el amonio, que el efecto disolvente sobre los materiales minerales del suelo (como carbonatos de calcio y magnesio) es menor en el acetato de sodio que en el acetato de amonio, que el probable efecto de hidrólisis del sodio está compensado a través del procedimiento de lavado y que se considera que el acetato de sodio extrae completamente las bases intercambiables con 4 lavados, se puede concluir que el método de acetato de sodio puede asumirse como el de mayor exactitud.

Analizando comparativamente el comportamiento de los métodos en relación con el de acetato de sodio, estimado como preciso y exacto, se deduce que el método de cloruro de calcio sobrestima marcadamente la Capacidad de Intercambio Catiónico, en tanto que los métodos de acetato de amonio —titulación y acetato de amonio —destilación presentan la tendencia a subestimarla sistemáticamente, tal como se aprecia en la figura 1. En cuanto a la sumatoria de bases, puede considerarse como buen estimativo de la Capacidad de Intercambio Catiónico en el rango estudiado, por considerarse un método preciso aunque de menor exactitud debido a los efectos solventes del acetato de amonio sobre los minerales del suelo particularmente a medida que aumenta el pH por encima de 8.0.

Uno de los aspectos que dificulta la interpretación de los valores de Capacidad de Intercambio Catiónico, radica en el desconocimiento de la naturaleza de los coloides minerales predominantes en los suelos, puesto que no se encontraron tendencias definidas en los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico en relación con el contenido de materia orgánica y del porcentaje de arcilla de los suelos.

Es importante anotar que en investigaciones sobre los tipos de coloides minerales presentes en los suelos del Valle del Cauca, se ha encontrado predominancia de mica (ilita) y vermiculita y montmorillonita en cantidades aproximadas al 8^oo. *

El comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico en pH mayor de 8, sugiere la presencia de ciertos minerales productores de calcio y magnesio (carbonatos, fosfatos y sulfatos), que interfieren en las determinaciones tal como puede apreciarse en el método de cloruro de calcio, en donde por encima del valor mencionado se aprecia un incremento en la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico. En relación con los métodos de acetato de amonio y de sodio, se aprecia un descenso en la Capacidad de Intercambio Catiónico que se puede atribuir a la solubilización de los materiales antes mencionados, que previenen una completa remoción de calcio y magnesio intercambiables. Los valores altos presentados por la sumatoria de bases en rangos superiores al pH anotado, se deben también a la presencia de dichos materiales que incorporan al extracto, induciendo errores (Figura 1).

La subestimación de la Capacidad de Intercambio Catiónico determinada con acetato de amonio, puede atribuirse a un deficiente desplazamiento de las bases cambiabiles, ocasionado por el único lavado utilizado en la metodología simplificada del laboratorio de suelos del ICA, y que estudios realizados por BOWER et al (8), han indicado que el óptimo número de lavados con acetato de amonio es de tres para lograr una completa saturación del complejo de cambio. Igualmente es posible una reducción en los valores de capacidad, debido a la fijación de amonio por el complejo coloidal. Además en el método de acetato de amonio — destilación es posible una pérdida de amonio por volatilización, causando una mayor reducción en los valores de la Capacidad de Intercambio.

La sobrestimación de la Capacidad de Intercambio Catiónico, determinada con cloruro de calcio, se puede deber a la disolución por el acetato de amonio de materiales que contienen calcio (carbonatos, bicarbonatos y sulfatos), incorporándolos al extracto, de manera que en la evaluación posterior del catión de saturación, se introduce un error. Además, es posible que el mayor trabajo químico (tiempo de contacto) entre la solución saturadora y el suelo, influya en la determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico por este método.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en el rango alcalino estudiado, permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. El método de acetato de sodio 1N pH 8.2, puede considerarse preciso y exacto para la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

* Comunicación personal del Dr. Adel González M.

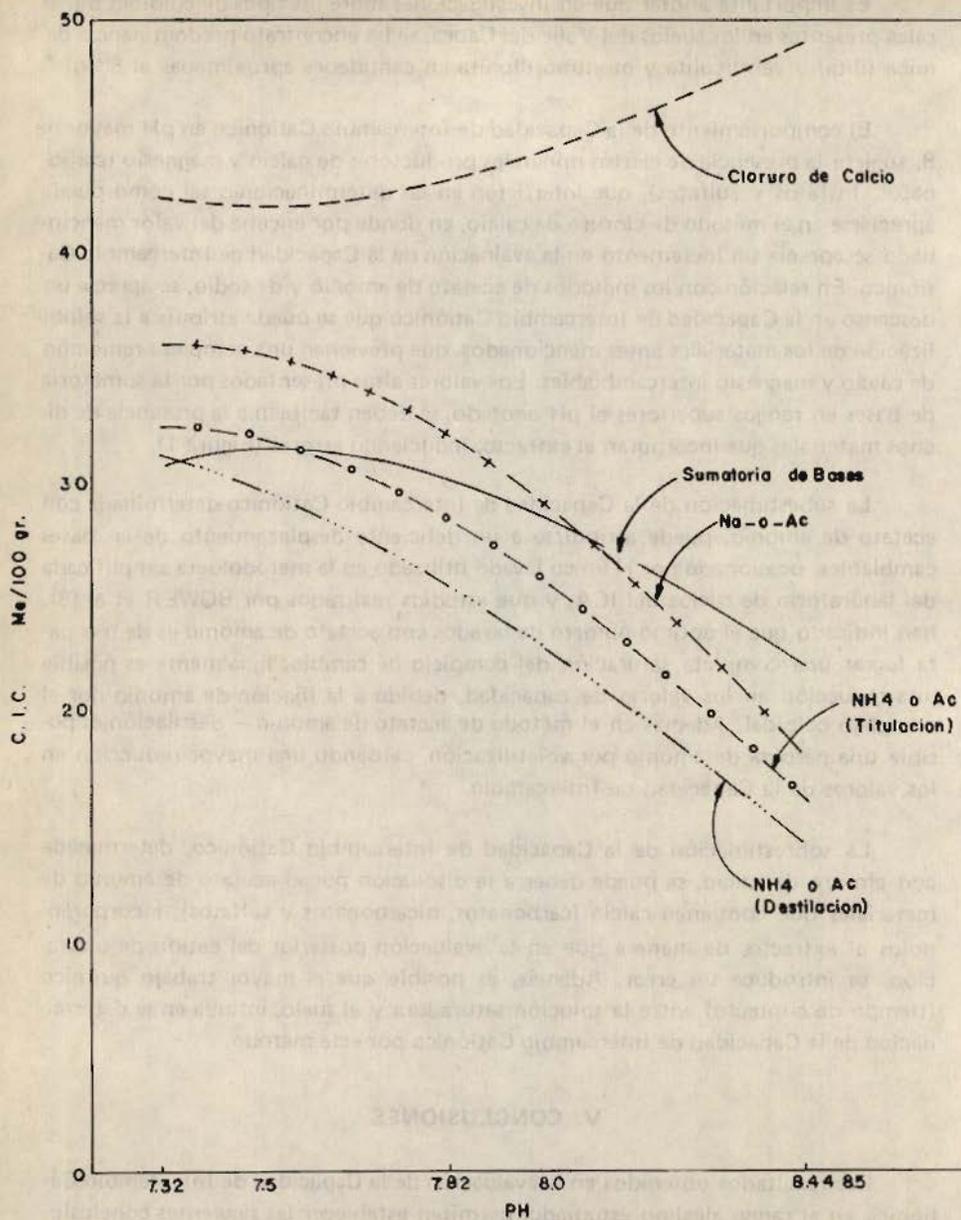


Fig. 1

CVC CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAJCA
DPTO AGROPECUARIO-SECCION SUELOS

VARIACION DE LA CIC EN RELACION
CON EL PH DE LOS SUELOS

FECHA	PRESENTADO	APROBADO	APROB. CVC.	FIG. 1
-------	------------	----------	-------------	--------

2. La Capacidad de Intercambio Catiónico sumatoria de bases, es un buen estimativo de la Capacidad de Intercambio Catiónico determinada por el método de acetato de sodio, ya que no mostró diferencia significativa respecto a éste.
3. El método de cloruro de calcio 1N pH 7.0, sobrestima la Capacidad de Intercambio Catiónico en los suelos estudiados.
4. Los métodos de acetato de amonio 1N pH 7.0 —titulación y acetato de amonio 1N pH 7.0 —destilación, tienden a subestimar la Capacidad de Intercambio Catiónico en relación al método de acetato de sodio.
5. Los métodos de acetato de amonio —titulación y acetato de amonio — destilación, conducen a valores similares en la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

VI. RESUMEN

Utilizando 15 suelos del área plana del Valle del Cauca, cuyos pH oscilaron entre 7.1 y 8.7, se estudió el comportamiento de 5 métodos de rutina empleados en la evaluación de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

Se encontró que el método de acetato de sodio 1N pH 8.2, evaluó la Capacidad de Intercambio Catiónico con mayor precisión y exactitud que los métodos de cloruro de calcio 1N pH 7.0, acetato de amonio 1N pH 7.0 - titulación, acetato de amonio 1N pH 7.0 - destilación, pero no mostró diferencia significativa en relación a la sumatoria de bases.

Se consideró que respecto al acetato de sodio, el método de cloruro de calcio sobrestima la Capacidad de Intercambio Catiónico, en tanto que los métodos de acetato de amonio la subestiman.

VII. SUMMARY

On fifteen soils of the flat area of the Cauca Valley, whose pH oscilated between 7.1 and 8.7 an investigation was made on the performance of five routine methods used on the evaluation of Cation Exchange Capacity.

It was found that sodium acetato 1N pH 8.2 method, evaluated the Cation Exchange Capacity with higher accuracy and exactness than the calcium chloride 1N pH 7.0, ammonium acetate 1N pH 7.0 — Titulación an ammonium acetate 1N pH 7.0 — estilacion methods, but it wasn't shown a significant difference in relation to exchangeable bases summation.

Regarding to the sodium acetate method it was established that the CaCl_2 method overestimates the Cation Exchange Capacity while the ammonium acetate methods subestimate the Cation Exchange Capacity.

BIBLIOGRAFIA

1. BARROWS, H.L. and DROSDOFF, M. A comparison of methods for determining the base exchange capacity of some soils of the lower coastal plain of the southeastern U.S. Soil Science Society of American Proceedings. 22: 119– 123. 1958.
2. BARSHAD, I. Cation exchange in soils: I. Soil Science. 72: 361 – 371. 1951.
3. BEAR, F.E. Química de Suelos. Traducción de José de la Rubia Pacheco. Madrid, Interciencia, 1963. 435 pp.
4. BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis, part 2; chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. 1572 pp.
5. BLAKEMORE, L.C. and METSON, A.J. Microdetermination of cation exchange capacity and total exchangeable bases. Soil Science. 89: 202. 1960.
6. BLUME, J.M. and SMITH, D. Determination of exchangeable Ca and cation exchange capacity by equilibration with Ca_{45} . Soil Science. 77: 9 – 17. 1954.
7. BOWER, C.A. Fixation of ammonium in difficultly exchangeable form under moist condition by soils of semiarid regions. Soil Science. 70: 375-383. 1950.
8. BOWER, C.A., REITEMEIER, R.F. and FIREMAN, M. Exchangeable cation analysis of salines and alkali soils. Soil Science. 73: 251–261. 1952.
9. FASSBENDER, H.W. Conferencias de Química de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica. 1969. 266 pp. (Mimeografiado).
10. FUENTES, R. Comportamiento de la Capacidad de Intercambio Catiónico en en algunos suelos ácidos de origen volcánico. Tesis M.Sc. Turrialba Costa Rica, IICA, 1971. 107 pp.
11. GOLDEN, L.B., GAMMON, N. and THOMAS, R.P. A comparison of methods of determining the exchangeable cations and the exchange capacity of Maryland soils. Soil Science Society of American Proceedings. 7: 154–161. 1942.
12. HANNA, W.J. and REED, J.F. A comparison of ammonium acetate and buffered barium chloride methods for determining cation exchange properties of limed soils. Soil Science. 66:447–458 1948.

13. JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos. Traducción de M.J. Beltrán Barcelona, Omega, 1970 662 pp.
14. KELLEY, W.P. Alkali soils; their formation, properties and reclamation. New York, Reinhold, 1951. 176 pp.
15. MEHLICH, A. Determination of cation and anion exchange properties of soils Soil Sci. 66: 429-445. 1948.
16. ————— Effect of type of soil colloid on cation adsorption capacity and on exchangeable hydrogen and calcium as measured by different methods. Soil Science. 60: 289. 1945.
17. MELA MELA, P. Tratado de Edafología. 2a. ed. Zaragoza, Agrocienza, 1963. 615. pp.
18. OKAZAKI, R., SMITH, H.W. and MOODIE, C.D. Development of a cation exchange capacity procedure with few inherent errors. Soil Science. 93:343-349. 1962.
19. PRATT, P.F. Química do solo, Traducción de A. Nascimento y L. Vettori. Universidade da Sao Paulo, Brasil, 1968. 88 pp.
20. PRATT, P.F. and HOLOWAYCHUCK, N. A comparison of ammonium acetate, barium acetate and buffered barium chloride methods of determining cation exchange capacity. Soil Science Society of American Proceedings. 18: 365-368. 1954.
21. RAMIREZ, E. Los suelos salinos y alcalinos. Facultad de Agronomía del Valle Palmira, Colombia 26 p. 1952 (mimeografiado).
22. REITEMEIER, R.F. Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ions of soils of arid regions. Soil Science. 61: 195-214. 1946.
23. RICHARDS, L.A., ed. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salino sódicos. Manual No. 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. AID, Mexico. 1970.
24. RUSSEL, E.J. y RUSSEL, E.W. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. Traducción de G. González. Madrid, Aguilar, 1959. 771 p.
25. SALAZAR, F. Comparaciones para la interpretación del contenido de sodio en los suelos afectados por sales en el Valle del Cauca. Tesis I.A. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira, 1974. (Sin publicar).
26. SAWHNEY, B.L., JACKSON, M.L. and COREY, R.B. Cation exchange capacity determinations of soils as influenced by the cation species. Soil Science. 87: 243-248, 1959.

27. STEEL, R.G. and TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, MacGraw-Hill, 1960. 481 pp.
28. TOTH, S.J. and PRICE, A.L, Estimation of cation exchange capacity and exchangeable Ca, K, and Na contents of soils by flame photometer techniques. Soil Science. 67: 439-445. 1949.