

COMPARACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO
CATIONICO TOTAL DETERMINADA POR CUATRO
METODOS EN SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO (")

Eduardo Chaves de los Ríos
Franklyn Pazos Rosero
Lucio Legarda Burbano (x)

I. INTRODUCCION

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), probablemente la más importante propiedad de los suelos, ha sido ampliamente estudiada, lo cual ha hecho posible el conocimiento de sus aspectos químicos y físicos, en forma tal que se han esclarecido los factores que la afectan, entre los que pueden citarse de una manera sobresaliente: la textura, estructura, pH, contenido de materia orgánica, actividad biológica, superficie específica de las arcillas, composición de la solución del suelo, fertilidad, naturaleza de los coloides, etc. (13, 14).

La determinación de la CIC en los suelos tropicales derivados de cenizas volcánicas se ha estudiado muy poco y frecuentemente se utilizan métodos que han dado buenos resultados en suelos de regiones templadas. Además, estos métodos se emplean en suelos tropicales sin una evaluación estadística adecuada.

En Colombia, y particularmente en Nariño estudios acerca de la evaluación de algunas técnicas químicas usadas comúnmente para determinar la CIC, aún no se han llevado a cabo.

Por lo anterior, se planteó el presente trabajo cuyo principal objetivo es el de evaluar la eficiencia de algunos métodos químicos para determinar la CIC en suelos con influencia de cenizas volcánicas, como es el caso de los suelos del Altiplano de Pasto.

(") Parcial de la tesis presentada por los dos primeros para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia del tercero.

(x) Profesor Asistente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

Way y Thompson en 1850, citados por Fuentes (14), fueron los primeros en observar el proceso de intercambio catiónico en el suelo. El mismo autor señala que ellos y otros investigadores establecieron la naturaleza cristalina de las arcillas, constituyendo así las bases fundamentales del concepto actual de los fenómenos de intercambio catiónico. Hoy en día, se acepta que la CIC del suelo, es la resultante de las cargas negativas de los minerales arcillosos cristalinos y de grupos funcionales de los coloides orgánicos o aluminosilicatos inorgánicos amorfos, generalmente conocidos como alófana.

Los suelos varían considerablemente en su CIC, dependiendo de las cantidades y clases de sustancia coloidal contenida. Minerales tales como el cuarzo, feldespatos y las micas que componen la arena, el limo y los separados de los suelos, exhiben poca habilidad para extraer cationes. Suelos de textura gruesa, por consiguiente, tendrán una baja capacidad de intercambio catiónico, mientras que suelos de textura fina tendrán una alta capacidad de intercambio (7).

Para que se efectúe el remplazo de una gran cantidad de cationes adsorbidos, se requiere que el catión remplazante se aplique en exceso. La cantidad relativa del exceso depende de la naturaleza de los cationes adsorbidos y de la fuerza de remplazamiento del catión en el electrolito (7). De acuerdo con su fuerza de remplazamiento, los cationes de un suelo común pueden ser ordenados en escala descendente como siguen (7):



Sáenz (26) opina que influye mucho en la adsorción relativa y remplazamiento de cationes, el hecho de que éstos formen productos insolubles, así aunque el calcio sea fuertemente adsorbido, es fácilmente remplazado, si puede formar compuestos indisolubles con el oxalato o fosfato. Señala además que, en la mayoría de los suelos, con excepción de los alcalinos, la base principal de cambio es el calcio, luego el magnesio, potasio y sodio, en cambio en los suelos salinos la base principal de cambio es el sodio.

En los minerales del tipo caolinitico la capacidad de cambio es de 8 a 12me/100 g de suelo. Los montmorilloníticos tienen valores que oscilan entre 70 y 100 me/100 g; las micas ordinarias presentan un valor muy bajo o casi nulo para su capacidad de cambio; las illitas exhiben valores para la capacidad de cambio de 20 a 40 me/100 g; las vermiculitas poseen una capacidad de cambio del orden de 80 a 150 me/100 g; los valores de la CIC de la alófana fluctúan entre 20 a 100 me/100 g, aunque los valores más frecuentes se sitúan alrededor de 40 a 80 me/100 g. En cuanto a la materia orgánica el contenido de la CIC varía entre 150 y 250 me/100 g. (1, 2, 7, 13, 25).

González y Callizo (15) anotan que muchos de estos materiales varían además su capacidad de cambio con el tamaño del grano, este efecto es especialmente importante en aquellos silicatos en que la principal causa responsable del fenómeno de cambio iónico es la existencia de enlaces rotos en la zona de fractura de los cristales. Así, la capacidad de cambio de la caolinita o illita aumenta en proporción importante al disminuir el tamaño del grano mientras que en los silicatos del grupo de la montmorillonita, el influjo de este factor es escaso.

Algunos investigadores han encontrado algunas correlaciones entre la CIC y la materia orgánica y las arcillas y el pH. Así Martini (22) encontró en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica que la capacidad de intercambio correlacionó bien con el contenido de materia orgánica. Según el autor ésta alta correlación se debe a la presencia de grandes cantidades de alófana y de materia orgánica y a veces a algo de arcilla del tipo 2:1 de esos suelos.

Birrel y Flash citados por Fuentes (14) encontraron al comparar la capacidad de cambio del suelo con la fracción mineral, que aproximadamente el 49-99 por ciento de esta, se puede atribuir a la fracción mineral y el 52-1 por ciento se puede atribuir a la fracción orgánica.

Kamprath y Welch (19) estudiando factores relacionados con el contenido de materia orgánica en suelos, obtuvieron correlaciones significativas con porcentaje de materia orgánica y el contenido de arcillas. La CIC medida a pH 7,0 varió entre 62 y 279 me/100 g.

Helling et al (16), al investigar la contribución de la materia orgánica y los minerales arcillosos con relación al pH de las soluciones saturadas, encontraron que el efecto del pH de la solución en la determinación de la CIC en suelos de la zona templada de los Estados Unidos, determinada dentro del rango de pH 2,8 a 8,0 era altamente significativa. La contribución media de la materia orgánica a la CIC total en estos suelos varió de 19 por ciento a pH de 2,5 a 45 por ciento a pH de 8,0.

Entre los factores que influyen en la capacidad de cambio de suelo están el tamaño de las partículas, la temperatura, el medio externo y la alteración de las posiciones de cambio (13).

Los factores que regulan el poder de sustitución de los cationes son: la naturaleza del ión, la concentración de la solución, la naturaleza del anión, el porcentaje de posiciones iónicas ocupadas, el calor y la naturaleza del mineral (13).

III. MATERIALES Y METODOS

La región estudiada se encuentra en el Departamento de Nariño, al Sur-Oeste de Colombia, al pie del Volcán Galeras (4.200 m.s.n.m.).

Geológicamente, el Altiplano de Pasto está formado por una mezcla de materiales volcánicos, principalmente andesitas, cenizas y derrames andesíticos, tobas de lapillis (8, 20).

La zona estudiada está situada entre los 2.400 y 2.800 m. de altitud, con una precipitación, temperatura y humedad relativa media de 800 mm, 13,5°C y 65 por ciento, respectivamente (17). Ecológicamente pertenece, en su mayor parte, al Bosque Seco Montano Bajo (12).

Las características generales de los suelos han sido publicadas previamente en esta misma revista (23).

Las metodologías utilizadas en este trabajo para la determinación de la CIC son la del acetato de amonio normal y neutro, acetato de calcio normal y neutro, acetato de sodio a pH de 8,2 y el método del formol (14, 18).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas I y II se observan los resultados obtenidos en la investigación. En las Tablas III y IV aparecen los análisis estadísticos.

TABLA I

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACION DE LA CIC POR LOS METODOS ESTUDIADOS PARA EL SUELO (RESULTADOS EN me/100 g)

| REGIONES | METODOS | | | |
|-----------------------|---------------------|--------|-------|----------------------|
| | NH ₄ OAc | Formol | NaOAc | Ca(OAc) ₂ |
| 1 Mapachico | 33,00 | 38,50 | 5,30 | 9,20 |
| 2 Catambuco Pendiente | 31,10 | 23,70 | 14,80 | 8,70 |
| 3 Cabrera | 27,40 | 24,50 | 10,60 | 10,10 |
| 4 Obonuco | 27,50 | 19,30 | 14,90 | 9,70 |
| 5 Catambuco Plano | 32,80 | 24,60 | 13,50 | 4,30 |
| 6 Aranda | 31,00 | 20,90 | 10,60 | 8,80 |
| 7 Genoy | 42,00 | 28,80 | 6,60 | 13,20 |
| 8 Pejendino | 23,70 | 18,60 | 8,40 | 8,10 |
| 9 La Laguna | 42,20 | 33,50 | 6,10 | 11,30 |
| 10 Bctana | 31,20 | 25,40 | 13,60 | 8,80 |
| 11 Anganoy | 23,60 | 18,40 | 10,00 | 8,10 |
| 12 Jongobito | 20,00 | 20,10 | 11,00 | 7,60 |
| 13 Cujacal | 21,90 | 19,20 | 8,90 | 7,60 |
| 14 Tablazo | 38,10 | 26,10 | 14,10 | 11,10 |
| 15 Gualmatán | 47,60 | 26,10 | 11,70 | 13,20 |
| MAXIMO | 47,60 | 38,50 | 14,90 | 13,20 |
| PROMEDIO | 31,54 | 24,51 | 10,67 | 9,32 |
| MINIMO | 20,00 | 18,40 | 5,30 | 4,30 |

TABLA II

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA DETERMINACION DE LA CIC POR LOS METODOS ESTUDIADOS PARA EL SUBSUELO (RESULTADOS EN me/100 g)

| REGIONES | METODOS | | | |
|-----------------------|---------------------|--------|-------|----------------------|
| | NH ₄ OAc | Formol | NaOAc | Ca(OAc) ₂ |
| 1 Mapachico | 31,20 | 26,90 | 14,90 | 7,40 |
| 2 Catambuco Pendiente | 25,60 | 17,40 | 9,70 | 6,60 |
| 3 Cabrera | 22,00 | 20,60 | 10,60 | 6,40 |
| 4 Obonuco | 29,40 | 19,60 | 10,90 | 7,60 |
| 5 Catambuco Plano | 25,60 | 15,40 | 7,80 | 5,60 |
| 6 Aranda | 25,70 | 19,40 | 9,00 | 7,10 |
| 7 Genoy | 31,20 | 28,00 | 19,20 | 9,10 |
| 8 Pejendino | 31,20 | 16,90 | 9,10 | 6,40 |
| 9 La Laguna | 39,00 | 29,40 | 5,40 | 8,30 |
| 10 Botana | 33,10 | 22,40 | 9,60 | 7,90 |
| 11 Anganoy | 22,40 | 18,30 | 8,20 | 6,10 |
| 12 Jongobito | 20,20 | 14,90 | 10,60 | 7,10 |
| 13 Cujacal | 28,70 | 16,20 | 6,00 | 4,90 |
| 14 Tablazo | 18,30 | 23,20 | 15,70 | 7,60 |
| 15 Gualmatán | 37,00 | 35,00 | 6,30 | 5,60 |
| MAXIMO | 39,00 | 35,00 | 19,20 | 9,10 |
| PROMEDIO | 28,04 | 21,57 | 10,20 | 6,91 |
| MINIMO | 18,30 | 14,90 | 5,40 | 4,90 |

En relación al tipo de metodología utilizada es notoria la disparidad que presentan los cuatro métodos estudiados con respecto a los valores obtenidos de CIC. Con el método del Acetato de amonio y formol se obtuvieron los resultados más altos, siendo los más bajos los obtenidos con el método del Acetato de calcio y Acetato de sodio. Los métodos estudiados se basan en que los cationes del suelo adsorbidos son remplazados por NH₄⁺, Ca⁺⁺, Na⁺ y así la cantidad de estos cationes adsorbidos puede determinarse cuantitativamente.

Los métodos del acetato de amonio y formol dieron valores más altos, posiblemente debido a la retención de moléculas de sal con que se saturó el complejo, por una deficiente remoción del exceso de sales en el proceso de lavado. En estos métodos solo se emplean cuatro lavados con etanol del 95%, los cuales se consideran insuficientes, según el criterio de algunos autores (5, 6, 19). Esta explicación concuerda con lo observado en sus investigaciones por Rich (24), respecto a la retención de sales en suelos que contienen grandes cantidades de materiales inorgánicos amorfos.

El NH₄⁺ usado en estos métodos, químicamente no interviene en el enjambre de iones que cubre el complejo coloidal, sino produciendo la desorción de los cationes cambiables (13).

TABLA III

COMPARACION DE PROMEDIOS DE LA CIC POR MEDIO DE LA PRUEBA DE "t" ENTRE LOS METODOS ESTUDIADOS PARA EL SUELO.

| METODOS | NH ₄ OAc | Formol | NaOAc | Ca(OAc) ₂ |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|
| Ca(OAc) ₂ | t. cal 10,580 | t. cal 10,120 | t. cal 1,273 | |
| | t. tab 2,977 ^{xx} | t. tab 2,977 ^{xx} | t. tab 2,797 ^{ns} | |
| NaOAc | t. cal 9,490 | t. cal 8,643 | | |
| | t. tab 2,977 ^{xx} | t. tab 2,977 ^{xx} | | |
| Formol | t. cal 2,820 | | | |
| | t. tab 2,797 ^{xx} | | | |
| NH ₄ OAc | | | | |

^{xx} Significativo al 1%
^{ns}: No significativo.

TABLA IV

COMPARACION DE PROMEDIOS DE LA CIC POR MEDIO DE LA PRUEBA DE "t" ENTRE LOS METODOS ESTUDIADOS PARA EL SUBSUELO.

| METODOS | NH ₄ OAc | Formol | NaOAc | Ca(OAc) ₂ |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Ca(OAc) ₂ | t. cal 14,680 | t. cal 9,794 | t. cal 3,190 | |
| | t. tab 2,977 ^{xx} | t. tab 2,977 ^{xx} | t. tab 2,145 [*] | |
| NaOAc | t. cal 14,866 | t. cal 7,60 | | |
| | t. tab 2,797 ^{xx} | t. tab 2,797 ^{xx} | | |
| Formol | t. cal 3,22 | | | |
| | t. tab 2,048 [*] | | | |
| NH ₄ OAc | | | | |

^{*} Significativo al 5%

^{xx} Significativo al 1%

Al contrario de los dos métodos mencionados, los valores de CIC obtenidos por los métodos del acetato de calcio y acetato de sodio son comparativamente más bajos, lo cual puede deberse más que todo a que para la remoción de sales en exceso, se utilizaron dos lavados con agua destilada y tres con etanol del 95% que pueden ocasionar fuerte hidrólisis, sobre todo a pH superior a 6,0 según el concepto de Birrel (3). Por otra parte Besocain (1) y De Villers y Jackson (10) indican que a pH superior a 5,5 el alófana desarrolla fuertes cargas negativas, provocando posiblemente, por esta razón, una remoción de las sales en exceso durante el lavado, hasta el extremo de causar una fuerte hidrólisis de calcio adsorbido.

En todos los métodos estudiados, los valores de CIC para el suelo fueron mayores a los obtenidos para el subsuelo. Estos resultados posiblemente se deben al mayor contenido de materia orgánica y actividad biológica en la primera capa. Además a la presencia de alófana, vermiculita (9, 21).

De acuerdo a la prueba de "t", los métodos de acetato de amonio y formol dieron valores más altos que los de acetato de sodio y acetato de calcio. La secuencia de magnitud en las determinaciones fue:

$$\text{NH}_4\text{OAc} > \text{Formol} > \text{NaOAc} > \text{Ca(OAc)}_2$$

En general, se observó correlación entre la CIC y la materia orgánica en todos los métodos estudiados. Sin embargo la mayor correlación (0,645^{xx}) se encontró con el método del acetato de calcio para el suelo. Igualmente se encontró la más alta ($r = 0,875^{\text{xx}}$) para el subsuelo seguido muy de cerca por el método del acetato de amonio. Este resultado era de esperarse por cuanto en estudios anteriores en suelos nariñenses (4, 20), se ha demostrado, que a mayores cantidades de materia orgánica, la CIC también aumenta, ya que la CIC de la materia orgánica se debe más que todo a los grupos funcionales carboxílicos (COOH⁻), fenólicos (OH⁻), alcohólicos (OH⁻) y metílicos (COH₃⁻) que se encuentran en la periferia de las moléculas de los ácidos húmicos; por lo tanto la intensidad de la CIC dependerá de la cantidad y grado de ácidos de estos grupos (10, 13).

Yuan y colaboradores citados por Fuentes (14), al estudiar la relación entre la CIC y la materia orgánica en varios suelos clasificados como andosoles, encontraron que para la mayoría de estos la correlación obtenida entre la materia orgánica y la CIC era altamente significativa; a resultados similares llegaron Syers et al (27). Para suelos de Centroamérica clasificados como andosoles con altos contenidos de materiales volcánicos, Fuentes (14) también obtuvo una correlación significativa entre estas dos varia-

bles lo cual coincide con los resultados obtenidos en esta investigación.

En general, se registró un ligero aumento de la CIC, en suelos de textura fina, con relación a los suelos de textura franco arcillosos y francos. Posiblemente ese aumento se debe a la superficie específica tanto interna como externa de las arcillas, especialmente las del tipo vermiculita y alófana que abundan en los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto (9, 21). Por estudios anteriores se ha encontrado fuerte correlación entre el intercambio de la CIC y el aumento de la superficie interna de las arcillas (1, 2, 13).

Los resultados obtenidos en el presente estudio están en concordancia con los obtenidos por Blasco (4), Legarda y otros (20), en suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, cuya capacidad catiónica de cambio está más relacionada con el contenido de materia orgánica que con la presencia de la fracción mineral menor de 2 micras.

Bornemisza y Fuentes (5), y Fuentes (14) encontraron resultados similares en los suelos volcánicos de Costa Rica.

Entre la CIC y el pH en función del método del acetato de amonio y formol se encontró correlaciones negativas no significativas, y también no significativas positivas entre la CIC y el pH en función del método del acetato de calcio y sodio.

Esta variabilidad de la CIC en función del pH, parece ser bastante compleja. Varios autores (2, 10, 14, 19) consideran que esta variabilidad en suelos derivados de cenizas volcánicas se debe por una parte a la retención de moléculas de sales, por los materiales inorgánicos amorfos; por otro lado al desarrollo de cargas negativas, por fenómenos de protonación y desprotonación de grupos de Si-OH a Al-OH.

Numerosos investigadores citados por Besoain (1) indican que la alófana es un coloide de materiales anfotéricos, capaz de intercambiar aniones y cationes simultáneamente, por lo tanto, cuando el pH es 5,5 adquiere carga positiva y entre 6,0 y 7,5 adquiere elevada carga negativa, de modo que la CIC puede considerarse como esencialmente variable, lo cual puede explicar la gran variabilidad de la CIC en los suelos del Altiplano de Pasto, donde se ha comprobado la presencia de la alófana, según estudios realizados por Luna (21), Caulhon y colaboradores (9), en determinaciones realizadas con microscopio electrónico y rayos X.

V. CONCLUSIONES

1. Para los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto el método del acetato de amonio dió los valores más altos en la determinación de la CIC.

2. En orden descendente de magnitud siguieron: Método del formol, acetato de sodio y acetato de calcio.

3. La CIC fue más dependiente del contenido de materia orgánica que de la fracción mineral menor de 2 micras y de la reacción del suelo.

4. Se recomienda llevar a cabo estudios de este tipo de grupos de suelos de Nariño, diferentes a los volcánicos.

5. Se recomienda hacer estudios más detallados, determinando la CIC de la fracción orgánica y mineral, la CIC al pH del suelo, incluyendo la suma total de cationes y la saturación de bases y empleando otros métodos y estudiar algunas modificaciones de las técnicas.

VI. RESUMEN

En los suelos volcánicos del Altiplano de Pasto (SO de Colombia) se llevó a cabo un estudio para determinar la capacidad de intercambio catiónico, mediante la comparación de cuatro métodos: Acetato de amonio, Formol, Acetato de Sodio y Acetato de calcio. Entre estos métodos el que dio valores más altos fue el del acetato de amonio según la prueba de "t" siguiendo en orden descendente el del formol, acetato de sodio y acetato de calcio.

Se recomienda llevar a cabo estudios más detallados de la CIC en diferentes pisos altitudinales de Nariño.

VII. SUMMARY

DETERMINATION OF TOTAL CATION EXCHANGE CAPACITY BY FOUR METHODS IN SOME SOILS OF PASTO HIGHLAND.

A study was carried out in the volcanic soils of Pasto Highland (S. W. of Colombia) with the purpose of determining cation exchange capacity comparing: Ammonium, Calcium, Sodium acetates and Formol. Ammonium Acetate was found to be the highest in value after a "t" test analysis, and Formol, Calcium and Sodium being next in descendant order.

It is recommended to carry out some studies in more detail about cation exchange capacity in different altitude levels from Nariño Department.

VIII. LITERATURA CITADA

1. BESOAIN, E. M. Curso de mineralogía de suelos. Turrialba, Costa Rica, ICA, 1970. 384 p.

2. Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. In: Panel sobre Suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. pp. B. 1. 1-7.
3. BIRREL, K. S. The adsorption of cations from solution by allophane in relation to their effective size. *Journal of Soil Science*, 12:307-311. 1961.
4. BLASCO, M. Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, Colombia. In: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, IICA, 1969. pp. B. 8. 1-3.
5. BORNEMISZA, E. y FUENTES, R. Cation exchange capacity of Costa Rica soils and subsoils at different pH values in the presence of organic matter of after its destruction. *Agronomy Abstract. American Society Agronomy. New Orleans*. 1968. 80 p.
6. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de acidez del suelo. Turrialba. 1:20-24. 1965.
7. BUCKMAN, H. O. y BRADY, N. C. Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. R. Salord Barcelo. México, UTHEA, 1966. 560 p.
8. BUENO, J. Estudio geológico del Departamento de Nariño que presenta el Laboratorio Nacional de Fomento y Minas de Pasto al Ministerio de Minas y Petróleos. Pasto, Informe N° 625. 1946.
9. CALHOUN, F. CARLISLE, V. y LUNA, C. Properties and genesis of selected colombian andosols. *Soil Science Society of American Proceeding*, 36 (3): 480-484. 1972.
10. DE VILLERS, J. M. y JACKSON, M. L. Aluminous chlorite origin of pH dependent cation exchange capacity variations. *Soil Science Society of America Proceedings* 31 (5): 614-619. 1967.
11. ESPINOZA, W. Determinación del alófana en suelos de Nuble mediante el valor delta de la capacidad total de intercambio catiónico. *Agricultura Técnica (Chile)*. 29 (3): 127-132. 1969.
12. ESPINAL, T. y MONTENEGRO, E. Formaciones vegetales de Colombia, Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". 1963. 210 p.
13. FASSBENDER, H. W. Química de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1969. 265 p.
14. FUENTES, R. Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico en algunos suelos ácidos de origen volcánico, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sci., Turrialba, Costa Rica, IICA. 1972. 107 p.
15. GONZALEZ, G. F. y CALLIZO, A. P. Constitución y propiedades de las arcillas sedimentarias de lebrija. *Anales de Edafología y Fisiología Vegetal* 17 (7-8): 603-617. 1968.
16. HELLING, G. J., CHESTERS, G. H. y COREY, R. B. Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturation solution. *Soil Science Society American Proceedings* 28 (4): 507-514. 1966.
17. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Boletín Meteorológico N° 4. Departamento de Ingeniería Agrícola. Bogotá. 1968-1970. sp.
18. JACKSON, M. L. Análisis químico de los suelos. Trad. José Beltrán M. Barcelona, Omega. 1964. 661 p.
19. KAMPRATH, R. J. y WELCH, C. D. Retention and cation exchange properties of organic matter in Coastal Plain soils. *Soil Science Society of America Proceedings*. 26 (3): 263-265. 1972.
20. LEGARDA, B. L., MORA, T. R. y BLASCO, L. M. Relaciones entre algunas características de los suelos y los pisos altitudinales de Nariño, Colombia. Turrialba, 23 (1): 97-103. 1973.
21. LUNA, Z. C. Aspectos genéticos de andosoles en Colombia. In: Panel sobre Suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1969. pp. A. 3. 1. -13.
22. MARTINI, J. A. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América. In Panel sobre Suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Turrialba, Costa Rica. IICA. 1969. pp. A. 5. 1-10.
23. ORDONEZ, H. y BLASCO, M. El potasio en suelos volcánicos del Altiplano de Pasto, Nariño, *Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia)* 3: 29-38. 1971.
24. RICH, C. H. Removal of excess salt in cation exchange capacity determinations. *Soil Science* 93: 87-94. 1962.
25. ROBINSON, G. N. Los suelos, su origen, constitución y clasificación. Trad. José Luis Amores. 2a. ed. Barcelona, Omega, 1967. 515 p.
26. SAENZ, M. A. Suelos Tropicales. San José, Universidad de Costa Rica. 1968. 230 p.
27. SYERS, J. K., KAMPLELL, A. S. y WALKER, T. W. Contribution of organic carbon and clay to cation exchange capacity in a chronosequence of sandy soils. *Plant and Soils*. 33: 104-112. 1970.