

## NECESIDAD DE CAL EN TRES SUELOS ACIDOS DE COSTA RICA <sup>1</sup> \*

Roberto Serpa y Miguel A. González\*\*

### ABSTRACT

**Lime requirements of three acid soils of Costa Rica.** Three acid soils of Costa Rica, Typic Paleustult, Typic Rhodustult and Typic Haplustult, were selected according to their high exchangeable aluminum content, and incubated with increasing amounts of lime, calculated by the Abruña method and by the neutralization of the exchangeable acidity method. The effect of liming was evaluated by means of the dry matter produced using sorghum (*Sorghum vulgare* L.) as indicator plant. Liming increased pH and Ca in the soil. Exchangeable acidity was neutralized with relatively small amounts of lime. The optimum level of neutralization was different for the soils, and ranged between 1.5 and 3.0 times the neutralization of equivalent amounts of exchangeable acidity

The dry matter production showed a negative correlation with the percentage of aluminum saturation and with the content of exchangeable acidity. Liming produced an increment of the dry matter production and it was found a significant difference when both methods of lime requirement were compared. The differences were directly related to the quantities of lime applied by each method.

### INTRODUCCION

Los suelos agrícolas de las regiones húmedas tropicales, sometidos a la latosolización presentan contenidos elevados de aluminio, hierro y manganeso, una baja capacidad de intercambio de cationes, bajas concentraciones de calcio y magnesio, condiciones que se reflejan en una continua acidificación y rendimientos relativamente bajos. La acidificación es a menudo incrementada por las

aplicaciones de fertilizantes con efectos residuales ácidos (15).

Este trabajo consistió en comparar dos métodos para determinar las necesidades de encalado en tres suelos ácidos de Costa Rica. Se estudió además, el efecto del encalado sobre algunas características químicas del suelo y sus efectos sobre el crecimiento de una planta indicadora.

<sup>1</sup> Recibido para su publicación el 22 de febrero de 1978.

\* Parte de la tesis de grado presentada por el primer autor a la Escuela de Fitotecnia, Universidad de Costa Rica.

\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

### MATERIALES Y METODOS

#### Suelos y materiales de encalado.

Se tomaron muestras del horizonte superior de tres suelos ácidos de Costa Rica, cuya localización y algunas características se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localización, clasificación y algunas características químicas y físicas de los suelos.

| Suelo | Localización  | Clasificación    | pH               |     |                   | Al              | Ca  | Mg  | K   | CIC | Sat  | Sat. | M.O. | Arena | Limo | Arcilla |
|-------|---|------------------|------------------|-----|-------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------|------|---------|
|       |   |                  | Base             | Al  |                   |                 |     |     |     |     |      |      |      |       |      |         |
|       |   |                  | H <sub>2</sub> O | KCl | CaCl <sub>2</sub> | meq/100 g suelo |     |     |     |     |      | %    | %    | %     |      |         |
| 1     | Finca de Marco Elizondo. San Isidro de El General. Pérez Zeledón.   | Typic Paleustult | 4,8              | 4,2 | 4,0               | 1,2             | 1,0 | 0,2 | 0,2 | 2,5 | 54,4 | 48,0 | 3,2  | 26,4  | 24,0 | 50,6    |
| 2     | Finca de Armelio Valverde. San Isidro de El General, Pérez Zeledón. | Typic Rhodustult | 4,9              | 4,0 | 4,0               | 4,3             | 1,3 | 0,6 | 0,1 | 6,2 | 31,4 | 69,3 | 4,7  | 23,6  | 28,4 | 48,0    |
| 3     | Finca de Hugo Michellini. Pital San Carlos.                         | Typic Haplustult | 4,7              | 3,9 | 4,0               | 1,3             | 2,5 | 0,8 | 0,2 | 4,8 | 72,9 | 27,0 | 7,8  | 47,3  | 8,5  | 54,2    |

Los suelos fueron secado al aire, pasados por un molino mecánico y tamizados a través de una malla de 2 mm. El diseño experimental empleado fue de bloques irrestrictamente al azar con tres suelos, dos métodos de requerimientos de cal, cinco cantidades de cal y dos repeticiones.

Una vez homogenizados con la cal los suelos fueron incubados durante 16 semanas a capacidad de campo.

#### Necesidad de cal

La necesidad de cal se determinó con base al método sugerido por Abruña (1) y al método basado en la neutralización del aluminio extraído con solución de KC1 1N (9).

El método de Abruña consiste en tratar una cantidad de suelo con diferentes proporciones de agua y solución de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0,04 N. Se determina el pH de la suspensión y luego por interpolación en una curva de neutralización se calculan las diferentes cantidades de cal requeridas para llevar el pH del suelo a un valor deseado. En esta investigación, el pH se llevó a 5,0 - 5,5 - 6,0 - 6,5 y 7,0.

El método basado en la neutralización del aluminio consiste en extraer el aluminio intercambiable con una solución de KC1 1N y aplicar cal a razón de 0 - 0,75 - 1,5 - 2,25 y 3 veces el valor equivalente al aluminio intercambiable.

#### Análisis de suelo

El efecto del encalado sobre algunas características químicas de los suelos fue determinado por medio de análisis efectuados después de 16 semanas de incubación.

El pH se midió con un potenciómetro Seybold Modelo 6tB, en suspensiones suelo: agua en relación 1:2 y suelo: solución 1 N de KC1 y solución 0,02 N de  $\text{CaCl}_2$  en relación 1:2,5.

Los cationes se extrajeron según los métodos propuestos por el Departamento de Suelos de la Universidad de Carolina del Norte (8). El aluminio, calcio y magnesio se extrajeron en solución de KC1 1 N (11). El potasio se extrajo con la solu-

ción de Olsen modificada. Las determinaciones fueron hechas leyendo directamente del extracto en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer modelo 303. La capacidad de intercambio de cationes se determinó por el método de la suma de cationes.

La materia orgánica se calculó por el método de Walkley y Black, según lo describen Saiz del Río y Bornemisza (17). Los porcentajes de arena, limo y arcilla fueron determinados por el método de Bouyoucos (5).

#### Prueba biológica

Después de 16 semanas de incubación se sembraron 20 semillas de sorgo por maceta y posteriormente se raleó a 10 plantas. Previamente se había aplicado a los suelos soluciones nutritivas calculadas en base a curvas de fijación de cada elemento según la metodología sugerida por la Universidad de Carolina del Norte (8). El riego se aplicó por capilaridad. Sesenta días después de la siembra se procedió a cortar las plantas con el fin de determinar la producción de materia seca.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los principales resultados de este trabajo se presentan en los Cuadros 2, 3, 4 y 5.

#### Variaciones en el pH

La variación de la acidez con respecto a los niveles de encalado obtenidos por el método de Abruña y el de la neutralización del aluminio fue notoria. En los tres suelos hubo incrementos en el pH conforme se aumentaron los niveles de encalado. Estos resultados coinciden con los de Kamprath (9), Piñeres (16) y Laroche (10) quienes encontraron incrementos en el pH y una disminución en la acidez conforme se aumentaron las cantidades de cal aplicadas.

#### Contenido de calcio

Se encontró un aumento en las cantidades de calcio conforme se aumentaron las cantidades de

**Cuadro 2.** Efecto del encalado sobre las propiedades químicas y la producción de materia seca del suelo 1.

| Método de Encalado | Niveles de Encalado | pH  |                  |                   | Al         | Ca  | CIC | Sat. Base | Sat. Al | Producción Materia Seca |
|--------------------|---------------------|-----|------------------|-------------------|------------|-----|-----|-----------|---------|-------------------------|
|                    |                     | KCl | H <sub>2</sub> O | CaCl <sub>2</sub> | meq/ 100 g |     |     | %         |         | g/maceta                |
| Abruña             | 5,0                 | 4,3 | 5,2              | 4,0               | 1,20       | 1,8 | 3,7 | 67,8      | 32,0    | 0,2                     |
|                    | 5,5                 | 4,7 | 5,2              | 4,3               | 0,50       | 3,2 | 4,4 | 90,0      | 9,8     | 0,7                     |
|                    | 6,0                 | 4,6 | 5,3              | 4,6               | 0,16       | 4,4 | 5,3 | 96,8      | 3,2     | 1,4                     |
|                    | 6,5                 | 5,0 | 5,5              | 5,0               | 0,15       | 5,6 | 5,4 | 97,5      | 2,4     | 1,6                     |
|                    | 7,0                 | 5,4 | 5,8              | 5,4               | 0,14       | 6,5 | 7,2 | 98,1      | 1,8     | 2,5                     |
| Aluminio de Cambio | 0,00                | 4,2 | 5,2              | 4,1               | 1,3        | 1,9 | 3,8 | 62,2      | 33,7    | 0,2                     |
|                    | 0,75                | 4,3 | 5,2              | 4,2               | 0,8        | 2,1 | 3,6 | 77,1      | 22,9    | 0,4                     |
|                    | 1,50                | 4,4 | 5,2              | 4,4               | 0,4        | 3,1 | 4,2 | 90,5      | 9,4     | 0,6                     |
|                    | 2,25                | 4,6 | 5,2              | 4,6               | 0,2        | 3,5 | 4,4 | 94,1      | 5,9     | 1,4                     |
|                    | 3,00                | 4,7 | 5,3              | 4,7               | 0,2        | 4,4 | 5,2 | 96,7      | 3,3     | 1,5                     |

**Cuadro 3.** Efecto del encalado sobre las propiedades químicas y la producción de materia seca del suelo 2.

| Método de Encalado | Niveles de Encalado | pH  |                  |                   | Al        | Ca   | CIC  | Sat. Base | Sat. Al | Producción Materia Seca |
|--------------------|---------------------|-----|------------------|-------------------|-----------|------|------|-----------|---------|-------------------------|
|                    |                     | KCl | H <sub>2</sub> O | CaCl <sub>2</sub> | meq/100 g |      |      | %         |         | g/maceta                |
| Abruña             | 5,0                 | 4,1 | 5,7              | 4,2               | 4,1       | 2,5  | 7,8  | 47,7      | 52,2    | 1,6                     |
|                    | 5,5                 | 4,3 | 5,8              | 4,5               | 1,3       | 5,4  | 7,9  | 83,6      | 16,3    | 1,8                     |
|                    | 6,0                 | 6,3 | 6,4              | 6,6               | 0,1       | 11,2 | 12,3 | 99,0      | 1,0     | 5,3                     |
|                    | 6,5                 | 7,1 | 6,6              | 7,2               | 0,1       | 13,5 | 14,5 | 99,3      | 0,6     | 4,8                     |
|                    | 7,0                 | 7,3 | 7,3              | 7,2               | 0,1       | 12,8 | 13,6 | 99,1      | 0,8     | 4,8                     |
| Aluminio de Cambio | 0,00                | 4,0 | 5,9              | 4,2               | 4,3       | 3,0  | 8,5  | 50,1      | 49,8    | 2,3                     |
|                    | 0,75                | 4,2 | 5,8              | 4,6               | 1,4       | 5,5  | 8,1  | 82,1      | 17,8    | 2,6                     |
|                    | 1,50                | 5,1 | 5,8              | 5,2               | 0,2       | 8,6  | 10,0 | 98,5      | 1,4     | 4,7                     |
|                    | 2,25                | 6,0 | 6,2              | 6,5               | 0,1       | 10,6 | 11,8 | 98,9      | 1,0     | 5,8                     |
|                    | 3,00                | 6,6 | 6,6              | 6,8               | 0,1       | 12,3 | 13,2 | 99,0      | 0,8     | 5,4                     |

Cuadro 4. Efecto del encalado sobre las propiedades químicas y la producción de materia seca del suelo 3.

| Método de Encalado | Niveles de Encalado | pH  |                  |                   | Al meq/100 g | Ca   | CIC g | Sat. Base | Sat. Al | Producción Materia Seca g/maceta |
|--------------------|---------------------|-----|------------------|-------------------|--------------|------|-------|-----------|---------|----------------------------------|
|                    |                     | KC1 | H <sub>2</sub> O | CaCl <sub>2</sub> |              |      |       | %         | %       |                                  |
| Abruña             | 5,0                 | 4,0 | 5,1              | 4,2               | 1,6          | 3,4  | 6,6   | 75,0      | 24,9    | 0,2                              |
|                    | 5,5                 | 4,5 | 5,4              | 4,8               | 0,2          | 7,5  | 9,2   | 97,7      | 2,2     | 0,7                              |
|                    | 6,0                 | 4,8 | 5,8              | 5,7               | 0,1          | 11,0 | 12,4  | 98,9      | 1,0     | 1,8                              |
|                    | 6,5                 | 5,8 | 6,2              | 6,2               | 0,2          | 13,0 | 14,3  | 98,8      | 1,1     | 1,6                              |
|                    | 7,0                 | 6,2 | 6,5              | 6,5               | 0,2          | 15,1 | 16,4  | 99,0      | 0,9     | 2,5                              |
| Aluminio de Cambio | 0,00                | 4,0 | 5,0              | 4,2               | 1,6          | 3,6  | 6,8   | 77,3      | 22,7    | 0,2                              |
|                    | 0,75                | 4,1 | 5,0              | 4,4               | 1,1          | 3,6  | 6,1   | 81,2      | 18,8    | 0,2                              |
|                    | 1,50                | 4,2 | 4,9              | 4,3               | 0,7          | 4,8  | 7,0   | 89,7      | 10,2    | 0,6                              |
|                    | 2,25                | 4,2 | 5,0              | 4,4               | 0,4          | 5,6  | 7,5   | 94,7      | 5,2     | 1,4                              |
|                    | 3,00                | 4,3 | 5,1              | 4,6               | 0,3          | 6,2  | 8,0   | 96,4      | 3,6     | 1,4                              |

carbonato de calcio aplicadas a los suelos; cuando aumentaron los contenidos de calcio ocurrió una disminución del aluminio intercambiable ( $r = -0,45$ ). Ocurrió correlación positiva entre el pH y el calcio ( $r = 0,73$ ), entre el calcio y la capacidad de intercambio de cationes ( $r = 0,89$ ) y entre el calcio y el porcentaje de saturación de bases ( $r = 0,87$ ).

#### Contenido de aluminio

En general, el contenido de aluminio intercambiable disminuyó con respecto a los niveles en cada uno de los métodos de necesidad de cal. El nivel óptimo de neutralización de acidez por el método de Abruña se alcanzó para los tres suelos en el nivel de pH 6 deseado, habiéndose neutralizado un 98 por ciento del aluminio intercambiable.

Por el método del aluminio se encontró que en el suelo 1, ocurrió una marcada depresión del contenido de aluminio conforme se aumentaron los niveles de cal, aunque esta disminución fue menor que en el método de Abruña debido a las menores cantidades de cal aplicadas. Ya en el nivel de neutralización de 2,25 veces la acidez intercambiable

se había neutralizado un 81 por ciento del total del aluminio. En el suelo 2 con el nivel de 1,5 veces el aluminio se encontró una neutralización del 96,7 del total de aluminio de intercambio. Para el suelo 3 hay que considerar que la neutralización del aluminio se calculó tomando en cuenta que el contenido de aluminio inicial era de 1,3 meq/100 g. Con análisis subsecuentes después del período de incubación el contenido de aluminio varió llegando a un valor de 2,25 mg/100 g por lo que la neutralización del aluminio fue incompleta. Esto se explica como debido al contenido de materia orgánica, solubilización del aluminio no intercambiable presente en la materia orgánica (11). Cabe destacar que el aluminio decreció conforme se aumentaron los niveles de encalado.

Estos resultados coinciden con los encontrados por Piñeres (16), Kamprath (9) y Fox y Plucknett (7), quienes indicaron que ocurre una disminución en el contenido de aluminio intercambiable conforme se incrementan los niveles de encalado y que, con pequeñas adiciones de carbonato se neutraliza casi en su totalidad el aluminio presente.

En el suelo 1 el nivel óptimo de encalado fue de 2,25 veces el aluminio intercambiable, en el suelo 2 fue de 1,5 y en el suelo 3 se necesitó neutralizar 3 veces el aluminio.

### Capacidad de intercambio de cationes

En general el comportamiento de la capacidad de intercambio de cationes con respecto a los niveles de encalado fue diferente para el método de Abruña y el método de la neutralización del aluminio.

Por el método de Abruña en todos los suelos ocurrió un aumento en la capacidad de intercambio de cationes a medida que se aumentaron los niveles de cal. Así, para el suelo 1 el CIC varió desde 3,7 meq/100 g de suelo hasta 7,2 meq/100 g de suelo y para el suelo 2 la variación fue de 7,8 a 18,6 meq/100 g. En el suelo 3 la variación fue de 6,6 a 16,4 meq/100 g de suelo.

Con respecto al método del aluminio intercambiable también aumentó la CIC aunque en valores menores que los obtenidos por el método de Abruña. Los aumentos fueron de 3,2 a 5,2, de 8,5 a 13,2 y de 6,8 a 8,0 para los suelos 1, 2 y 3, respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por Morelli (14) y Bhumbra y McLean (3).

Se encontró una correlación negativa entre los contenidos de Al, la saturación de Al y la CIC ( $r = -0,22$  y  $r = -0,43$  respectivamente). A medida que éstos decrecieron ocurrió un aumento progresivo y proporcional en la CIC.

### Porcentaje de saturación en bases

El porcentaje de saturación en bases aumentó conforme se aumentaron las cantidades de cal. Estos resultados coinciden con los de Piñeres (16), Morelli (14), Mikkelsen (13) y Laroche (10). El aumento ocurrió en función a la disminución en el porcentaje de saturación de Al. Se encontró una correlación positiva entre el porcentaje de saturación de bases y los contenidos de Ca ( $r = 0,87$ ) y una correlación negativa entre estos y los contenidos de Al ( $r = -0,38$ ).

### Porcentaje de saturación de Al

Inicialmente el porcentaje de saturación de Al

Cuadro 5. Análisis de la variación de la producción de materia seca.

| Fuente de variación          | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | F <sub>c</sub> <sup>1</sup> | F <sub>t</sub> <sup>1</sup> |      |
|------------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
|                              |                    |                   |                |                             | 5%                          | 1%   |
| Repeticiones (E)             | 1                  | 1,21              | 1,21           | 0,8                         | 4,45                        | 8,40 |
| Niveles de encalado (P)      | 4                  | 97,83             | 24,45          | 16,7**                      | 2,36                        | 4,67 |
| Fuentes de calcio (F)        | 1                  | 4,79              | 4,79           | 3,3                         | 4,45                        | 8,40 |
| Métodos de requerimiento (M) | 1                  | 10,44             | 10,44          | 7,2*                        | 4,45                        | 8,40 |
| E x P                        | 4                  | 1,45              | 0,36           |                             |                             |      |
| E x F                        | 1                  | 2,13              | 2,13           |                             |                             |      |
| E x M                        | 1                  | 3,67              | 3,67           |                             |                             |      |
| P x F                        | 4                  | 3,86              | 0,96           |                             |                             |      |
| P x M                        | 4                  | 7,76              | 1,94           |                             |                             |      |
| F x M                        | 1                  | 0,00              | 0,00           |                             |                             |      |
| Error a                      | 17                 | 24,68             | 1,45           |                             |                             |      |
| Suelos (S)                   | 2                  | 205,96            | 103,98         | 87,3**                      | 2,44                        | 3,47 |
| S x E                        | 2                  | 8,08              | 4,04           |                             |                             |      |
| S x P                        | 8                  | 32,20             | 4,52           |                             |                             |      |
| S x F                        | 2                  | 12,91             | 6,45           |                             |                             |      |
| S x M                        | 2                  | 14,22             | 7,11           |                             |                             |      |
| Error b                      | 6                  | 75,52             | 1,18           |                             |                             |      |
| Total                        | 119                |                   |                |                             |                             |      |

<sup>1</sup> F<sub>c</sub> = F calculada y F<sub>t</sub> = tabulada

fue elevado, lo que indicó que una parte apreciable de las posiciones de cambio catiónico se encontraban ocupadas por este elemento. Con el método de Al, el porcentaje de saturación de Al disminuyó marcadamente con los primeros niveles estabilizándose en el nivel de cal aplicado para neutralizar 1,5 veces el Al intercambiable, mientras que por el método de Abruña la estabilización ocurrió con el nivel correspondiente a un pH deseado de 6,5.

#### Producción de materia seca

Se encontraron diferencias altamente significativas entre la materia seca producida y los niveles de encalado para cada uno de los suelos, así como diferencias significativas entre los métodos de encalado empleados (Cuadro 5). Por el método de Abruña, la respuesta al encalado por parte del sorgo fue siempre ascendente, aún con los niveles más altos, en los suelos 1 y 3. En el suelo 2 no se encontró respuesta, después de aplicar cal para llevar el suelo a pH 6,5.

Los resultados de crecimiento obtenidos en los suelos que recibieron niveles de cal según el método de Al fueron diferentes. Así, los suelos 1 y 3 mostraron un crecimiento muy bajo con relación al suelo 2, lo que demostró que en estos suelos no se puede considerar únicamente la acidez cambiante como factor limitante del crecimiento, sino que además hay que considerar entre otras causas, la infertilidad causada por un contenido muy bajo de Ca. Cabe aclarar que al momento de calcular las dosis de cal para neutralizar la acidez en el suelo 3 se tomaron los datos inicialmente reportados. Estos datos variaron con el tiempo, y después de las incubaciones respectivas, los contenidos de Al sufrieron un incremento. El crecimiento del sorgo obtenido en el suelo 2 fue similar al obtenido por el método de Abruña.

Con los niveles menores de carbonato de calcio usados en este ensayo se encontró una marcada deficiencia de P, no obstante se había aplicado este elemento en cantidades suficientes.

Se encontró una correlación positiva entre los incrementos en el pH, las adiciones de Ca y la materia seca producida ( $r = 0,68$  y  $0,61$  respectivamente); además hubo una correlación negativa entre la materia seca y el porcentaje de satura-

ción de Al ( $r = -0,40$ ) y los contenidos de Al intercambiable ( $r = -0,25$ ), lo que coincidió con los resultados de Evans y Kamprath (6).

De este estudio se puede concluir que el Al intercambiable fue neutralizado con niveles bajos de cal aplicados. La máxima neutralización se obtuvo con la aplicación de 2,25 y 1,5 y 3 veces la cantidad de cal equivalente a la acidez de intercambio, en los suelos 1, 2 y 3 respectivamente. Con la aplicación del nivel teórico de encalado para llevar a los suelos a pH 6, por el método de Abruña, se neutralizó casi por completo la acidez de intercambio.

#### RESUMEN

Se seleccionaron tres suelos ácidos de Costa Rica, a saber Typic Paleustult, Typic Rhodustult y Typic Haplustult, y fueron incubados con dosis crecientes de cal, calculadas según el método de Abruña y por el método basado en la neutralización del aluminio de cambio.

El efecto del encalado se evaluó posteriormente por medio de una prueba biológica en la que se usó sorgo (*Sorghum vulgare L.*) como planta indicadora.

Se encontró que el pH y el calcio de cambio incrementaron en función de las dosis de encalado usadas. El aluminio presente en los suelos fue neutralizado con cantidades relativamente bajas de cal. El nivel óptimo de neutralización fue diferente para los tres suelos y estuvo comprendido entre 1,5 y 3,0 veces la cantidad de acidez de cambio presente.

La producción de materia seca mostró una correlación negativa con el porcentaje de saturación de aluminio y con los contenidos de aluminio de cambio. Los niveles de cal usados produjeron un incremento en la producción de materia seca, siendo significativa la diferencia entre ambos métodos de requerimiento de cal.

#### LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F y CHANDLER, J. F. Refinement of a quantitative method for determining the lime requirements in soils. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 39 (1):41-45. 1955.

2. ALLISON, L. E. y MOODIE, C. D. Carbonate. *In* Black, C. A. *ed.* Methods of soil analysis. II. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, 1965. pp. 1279-1396.
3. BHUMBLA, D. R. y McLEAN, E. O. Aluminum in soil. VI. Changes in pH dependent acidity, cation exchange capacity and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 29:370-374. 1965.
4. BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de la acidez de suelo. *Turrialba* 15 (1): 20-24. 1965.
5. BOUYOUCOS, G. L. The hydrometer method for studying soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 25:365-369. 1961.
6. EVANS, E. E. y KAMPRATH, E. J. Lime response as related to percent aluminum saturation, solution aluminum and organic matter content. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:893-896. 1970.
7. FOX, R. L. y PLUCKNETT, D. L. Overliming Hawaiian soil creates problems. *Hawaii Farm Science* 13(3):9-10. 1964.
8. HUNTER, A. H. Métodos de análisis de suelos y estudios de invernaderos. Departamento de Suelos. Universidad de Carolina del Norte, Raleigh. Mimeografiado. 1970. 16 p.
9. KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:252-254. 1970.
10. LAROCHE, F. A. Efeitos de calagem sobre o complexo de troca de un latosol tropical e os teores de cations absorbido pelo tomate. Tesis de grado. M. Sc. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A., Turrialba, Costa Rica, 1966. 76 p.
11. LEON, A. Teorías modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. En acidez y enclamiento en el trópico. Primer Coloquio de Suelos de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. III, N° 1. 1971. p. 24.
12. LIN, C. y COLEMAN, N. T. The measure of exchangeable aluminum in soil and clays. *Soil Science Society of America Proceedings* 24: 444-446. 1960.
13. MIKKELSEN, D. S. , DE FREITAS, L. M. y McCLUNG, A. C. Effects of liming and fertilizing on cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado soils. IRI Research Institute Incorporation. *Bulletin* N° 29. State of Sao Paulo, Brasil. 1963. 34 p.
14. MORELLI, M. , IGUE, K. y FUENTES, R. Efecto del encalado en el complejo de cambio y movimiento del Ca y Mg. *Turrialba* 21(3):317-322. 1971.
15. PEARSON, R. W., ABRUÑA, F y CHANDLER, J. V. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. *Soil Science* 93 (2): 77-82. 1962.
16. PIÑERES, E.. Efecto del encalado sobre el pH, las bases cambiables y el aluminio extraíble en seis suelos de Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Química. Escuela de Química. Universidad de Costa Rica. 1969. 33 p.
17. SAIZ DEL RIO, J. F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos; métodos de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, IICA, Costa Rica. 1961. 107 p.