

Encalado de Ultisoles en Costa Rica. I. Metodología, pH, Acidez Extraíble y Cationes (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++})¹

A. Chavarría*
A. Cordero**

ABSTRACT

The effect of increasing $CaCO_3$ rates on soil pH, exchangeable Al and K^+ , Ca^{++} and Mg^{++} availability was studied in five acid soils, classified as Ultisols, from the following locations in Costa Rica: Sarapiquí, La Rita (Pital, San Carlos), Puerto Viejo (Limon), Los Angeles (Pital, San Carlos) and Juntas de Pacuare (Perez Zeledon). The extraction and determination of soil elements was made with the methods described by Díaz-Romeu and Hunter. The $CaCO_3$ rates were 0, 1, 2, 3, and 4 times the exchangeable acidity, extracted with 1N KCl. The availability of K^+ , Ca^{++} and Mg^{++} was not affected by increasing lime rates. The application of high rates of $CaCO_3$ caused an increase in pH, up to two units in some cases. Relatively low $CaCO_3$ rates caused a drastic decrease in exchangeable Al concentration and in Al saturation. The optimum neutralization level did not differ significantly among soils, and it was two times the neutralization of the exchangeable acidity. It is concluded that soils with similar characteristics should be studied individually to find an adequate liming level, since the diversity of environmental conditions will define different management practices for each soil.

COMPENDIO

Se estudió el efecto de la aplicación de dosis crecientes de $CaCO_3$ sobre la reacción del suelo (pH), aluminio intercambiable y comportamiento y disponibilidad de K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} en cinco suelos ácidos de Costa Rica, clasificados como Ultisoles, provenientes de las siguientes localidades: Sarapiquí, La Rita (Pital de San Carlos), Puerto Viejo (Limón), Los Angeles (Pital de San Carlos) y Juntas de Pacuare (Pérez Zeledón). Se siguieron los procedimientos descritos por Díaz-Romeu y Hunter para extracción y determinación de elementos en el suelo. Las dosis crecientes de $CaCO_3$ utilizadas fueron 0, 1, 2, 3 y 4 veces la acidez intercambiable extraída con KCl 1N. La disponibilidad de K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} no fue notoriamente afectada por los incrementos en las dosis de cal. La aplicación de $CaCO_3$ provocó un aumento en el pH hasta de dos unidades, en algunos casos, bajo las dosis máximas de cal, y una drástica disminución en la concentración de aluminio intercambiable y porcentaje de saturación de aluminio con cantidades relativamente pequeñas de cal. El nivel óptimo de neutralización no difirió significativamente para los suelos evaluados, siendo éste de dos veces la neutralización de la acidez intercambiable. Se deberán estudiar suelos con características similares para encontrar el nivel de encalado adecuado, pues, dadas las diversas condiciones ambientales en que cada uno se encuentra, las condiciones de manejo de los mismos van a diferir.

INTRODUCCION

En general, los suelos de las regiones tropicales húmedas son ácidos y los resultados obtenidos para mejorar su productividad casi siempre resultan contradictorios (11)

¹ Recibido para publicación el 24 de julio de 1986

Este trabajo es parte de la tesis presentada por la primera autora a la Escuela de Fitotecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciada en Ingeniería Agronómica; para su publicación, recibió apoyo financiero de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, a través del proyecto VI-733-83-146

Los autores le agradecen al Ing. Pedro Guzmán su colaboración en el trabajo de investigación y a la Unidad de Suelos del MAG, las facilidades brindadas para efectuar los análisis químicos.

* Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. Dirección permanente: Apartado 3212-1000 San José, Costa Rica

** Convenio MAG-UCR, Dirección de Investigaciones Agrícolas MAG y Centro de Investigaciones Agronómicas UCR.

Estos suelos son altamente meteorizados y lavados por lo que la acidificación progresiva que ocurre se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} por hidrógeno y aluminio. Este reemplazo resulta de la pérdida de cationes por percolación profunda de agua, extracción de cationes básicos por las plantas y por el uso de fertilizantes de carácter ácido (1, 2, 6).

Dos factores fundamentales limitan la fertilidad en suelos ácidos: el nivel deficiente de nutrientes y la presencia de sustancias tóxicas, principalmente, Al y Mn (10).

Las plantas tropicales de importancia agrícola no son inmunes a todos los factores que causan la baja fertilidad de los suelos ácidos; la aplicación de cal, aún en pequeñas cantidades, está reconocida como uno de los primeros requerimientos para el uso efectivo de los suelos de muchas áreas del trópico húmedo (6, 10, 11, 13, 14).

Se han propuesto diversos métodos para medir las necesidades de encalado del suelo. Puesto que

en suelos ácidos, el ión aluminio es el catión más abundante y el más responsable por la acidez del suelo, muchos investigadores han sugerido que la cal debe ser añadida a suelos ácidos en cantidades equivalentes para neutralizar el aluminio intercambiable determinado en KCl 1N (1, 9, 10, 13).

El mecanismo de encalado en suelos ácidos consiste en la neutralización de iones hidronio de la solución del suelo, lo mismo que los iones aluminio e hidronio adsorbidos en el complejo coloidal, con un aumento de iones calcio intercambiables (8).

El objetivo de este trabajo es tener un conocimiento más amplio sobre el comportamiento y disponibilidad de los diferentes elementos nutritivos, en suelos ácidos provenientes de cinco regiones que son de mucho interés agropecuario de Costa Rica. Además, se pretende encontrar un nivel adecuado de neutralización del aluminio intercambiable en estos suelos y el efecto que ejercen dosis crecientes de CaCO_3 sobre los nutrimentos y otras propiedades químicas del suelo.

En la primera parte de este estudio se presenta la metodología empleada, el comportamiento del pH, acidez extraíble y las bases K, Ca y Mg. La segunda parte comprende el comportamiento de los nutrimentos aniónicos (P, B, S) y los elementos menores catiónicos (Fe, Cu, Zn, Mn).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cinco suelos provenientes de las siguientes regiones agropecuarias de Costa Rica (lugar y provincia) (Fig. 1):

1. Sarapiquí, Heredia
2. La Rita, Pital de San Carlos, Alajuela
3. Puerto Viejo, Talamanca, Limón
4. Los Angeles, Pital de San Carlos, Alajuela
5. Juntas de Pacuare, Pérez Zeledón, San José

Estos suelos clasifican como Ultisoles, encontrándose en zonas de alta precipitación pluvial y de altas temperaturas. Se seleccionaron por presentar la mayor acidez intercambiable y el menor porcentaje de saturación de bases

Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-30 cm, se secaron al aire, se trituraron y fueron tamizados con una malla de 2 mm. Las propiedades físicas y químicas de los suelos usados se presentan en el Cuadro 1.



Fig. 1. Ubicación de las zonas muestreadas para el estudio del efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo.

Análisis químico de suelos

Los porcentajes de arena, limo y arcilla fueron determinados por el método de Bouyoucos (3).

La materia orgánica se determinó por el método de combustión húmeda de Walkley y Black, modificado por Saiz del Río y Bornemisza (12).

El pH se determinó potenciométricamente en KCl 1N, utilizando una relación suelo-solución de 1:2.5.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva se expresó como la suma de K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} más el aluminio intercambiable.

Los cationes se analizaron según la metodología propuesta por Díaz-Romeu y Hunter (5). El aluminio, calcio y magnesio se extrajeron en solución de KCl 1N. Para determinar la acidez, se tituló con NaOH 0.01 N en presencia de fenolftaleína. Las concentraciones de calcio y magnesio se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica. El K, Fe, Cu, Zn y Mn se extrajeron con solución Olsen modificada (NaHCO_3 0.5 N, EDTA 0.01 M) y las concentraciones de estos elementos se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica. El P fue extraído con solución Olsen modificada y se determinó siguiendo el procedimiento del azul de molibdeno, usando soluciones diluidas de cloruro estañoso y molibdato de amonio.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de cinco suelos ácidos de Costa Rica.

Características	Localidades				
	Sarapiquí	La Rita	Puerto Viejo	Los Angeles	Juntas de Pacuare
Textura:					
arena (%)	18	14	42	25	34
limo (%)	19	11	11	60	50
arcilla (%)	63	75	47	15	16
M.O. (%)	5.4	5.4	4.3	4.6	3.1
CICE ¹	4.6	5.1	14.6	6.1	6.7
Sat. Al (%)	46.5	63.7	48.0	54.0	37.0
pH KCl 1N	4.6	4.3	4.5	4.5	4.6
P (mg kg ⁻¹) ^d	5	2	7	2	2
K (cmol kg ⁻¹) ^d	0.27	0.15	0.31	0.21	0.23
Ca (cmol (+) kg ⁻¹) ^b	1.5	1.0	5.5	2.0	3.0
Mg (cmol (+) kg ⁻¹) ^b	0.7	0.7	2.3	0.6	1.0
Al (cmol (+) kg ⁻¹) ^b	2.15	3.25	7.0	3.3	2.5
Fe (mg kg ⁻¹) ^d	240	130	500	106	94
Cu (mg kg ⁻¹) ^d	16	15	9	18	6
Zn (mg kg ⁻¹) ^a	2.2	3.4	5.2	3.6	2.2
Mn (mg kg ⁻¹) ^d	15	66	60	74	64

1 Suma de cationes (K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺) + aluminio intercambiable (Al⁺)

a Extraídos con solución Olsen modificada

b Extraídos con solución KCl 1N

Cuadro 2. Tratamientos con CaCO₃ (ton ha⁻¹) para los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable.

Tratamiento	Localidades				
	Sarapiquí	La Rita	Puerto Viejo	Los Angeles	Juntas de Pacuare
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	2.3	3.5	7.6	3.4	2.7
2	4.6	7.0	15.2	6.8	5.4
3	6.9	10.5	22.8	10.2	8.1
4	9.2	14.0	30.4	13.6	10.8

El B y el S se extrajeron con una solución de CaH₄(PO₄)₂ 0.02 N. El B se determinó por colorimetría usando curcumina. Para el S se usó el procedimiento turbidimétrico a base de BaCl₂ con floculante PVP (polyvinil pyrrolidone)

Los suelos fueron incubados por un período de ocho semanas en el invernadero, manteniéndose a capacidad de campo, con dosis crecientes de carbonato de calcio (tipo comercial, 92.54% en CaCO₃), calculadas con base en los miliequivalentes de Al extraídos con KCl 1N (9). En el Cuadro 2, se presentan los tratamientos de cal empleados para neutralizar 0, 1, 2, 3 y 4 veces la acidez presente

Curvas de sorción de elementos

Luego de incubados los suelos, se hizo un nuevo análisis químico de las muestras y se estableció un estudio de sorción para los elementos P, K, Cu, Zn, Mn, B y S, el cual se llevó a cabo agregando al suelo concentraciones crecientes de cada elemento; las muestras se incubaron por ocho días y se dejaron secar al aire. Una vez secas las muestras, se procedió a extraer y determinar las concentraciones no retenidas de cada nutriente, utilizando los procedimientos anteriormente descritos.

Con los resultados obtenidos mediante las curvas de fijación, se prepararon las soluciones nutritivas

utilizadas en cada tratamiento (Cuadro 3). Se utilizó el principio del nivel crítico para establecer los nutrientes que debían aplicarse prioritariamente, según los criterios que se presentan en el Cuadro 4.

Los resultados de las variaciones químicas, en función de las dosis de cal, se presentan:

- Con base en diferencias entre el valor después del encalado y el valor original; por ejemplo: pH, acidez intercambiable
- Con base en valores absolutos; por ejemplo: concentración de cationes.

Se utilizó un diseño de experimento irrestricto al azar con tres repeticiones. Se aplicó la prueba de

Tukey para analizar diferencias entre suelos y regresiones por polinomios ortogonales para evaluar el efecto de las dosis de cal.

RESULTADOS Y DISCUSION

Reacción del suelo (pH)

Se obtuvo un incremento significativo en el valor pH al aumentarse la cantidad de CaCO_3 aplicada, observándose variaciones en un ámbito de 1 a 2 unidades en los suelos estudiados (Fig. 2), debido probablemente al incremento en el porcentaje de saturación de bases ya que el contenido de Ca y Mg aumentó de acuerdo a la cantidad de cal aplicada. Este incremento fue menor en el suelo de Sarapiquí. Cabe señalar que, para el tratamiento OX, se observó una disminución

Cuadro 3. Cantidad de elemento agregado a cada tratamiento, en cinco suelos ácidos de Costa Rica.

Localidades**	Tratamiento	Elemento agregado por tratamiento (mg kg ⁻¹)											
		N	P*	K*	Ca	Mg	Fe	Cu*	Zn*	Mn*	S*	B*	Mo
1	0	75	340	—		122			—				2
	1	75	340			122		0.5	—				2
	2	75	380			122		1.5	—				2
	3	75	450			183		8.0	29				2
	4	75	430			305		7.5	20				2
2	0	75	440	—		122		3.0	—				2
	1	75	430	50		122		3.5	—				2
	2	75	480	35		244		2.0	—				2
	3	75	490	75		305		5.0	—				2
	4	75	500	75		427		9.0	—				2
3	0	75	220	—		—		—	—				2
	1	75	240	—		122		—	—				2
	2	75	250	—		122		6.0	—				2
	3	75	340	—		305		11.5	5				2
	4	75	300	—		305		16.0	43				2
4	0	75	350	—		122		—	—				2
	1	75	375	—		122		1.0	—				2
	2	75	410	—		183		2.5	—				2
	3	75	590	—		305		—	—				2
	4	75	550	—		366		—	—				2
5	0	75	520	—		61		—	—				2
	1	75	435	—		61		4.5	—				2
	2	75	410	—		122		6.5	—				2
	3	75	430	—		244		11.0	—				2
	4	75	480	—		244		13.0	—				2

* Valores obtenidos mediante curvas de sorción en cada tratamiento.

** Localidades:

1 = Sarapiquí

2 = La Rita

3 = Puerto Viejo

4 = Los Angeles

5 = Junta de Pacuare

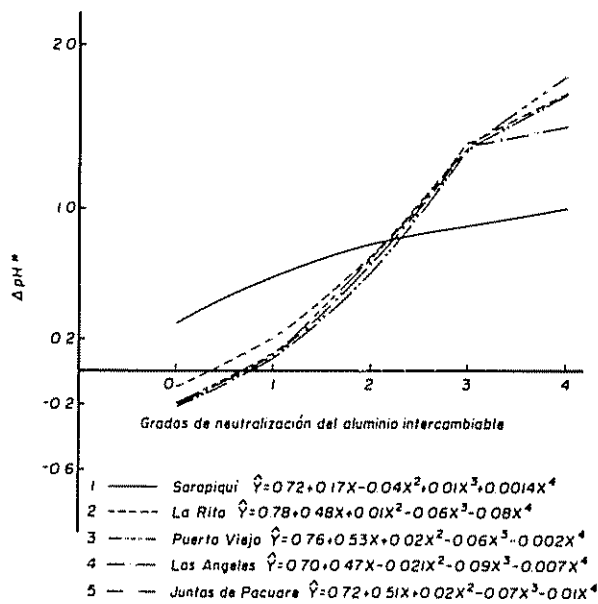


Fig. 2. Variación del pH por efecto de dosis crecientes de CaCO₃ aplicadas en cinco suelos ácidos de Costa Rica.
 * Δ pH = (pH después de incubación/tratamiento) – pH inicial.

en el valor pH luego del período de incubación (Cuadro 5).

La variación en el pH fue de 0.3 a 0.7 unidades entre niveles de encalado ya que, en general, los suelos de las regiones húmedas tropicales, según lo expuesto por Pearson (11), son resistentes al cambio de pH inducido por el encalado, debido en parte a la alta carga dependiente del pH que presentan.

Acidez intercambiable

Se obtuvo una disminución en la acidez intercambiable al incrementarse las dosis de CaCO₃ (Fig 3), llegando a valores entre 0.32 y 0.18 cmol (+) kg⁻¹ en el tratamiento 2X, no encontrándose diferencias

Cuadro 4. Niveles críticos de suelo empleados, modificados de Díaz-Romeu y Hunter (5).

Elemento	(Unidades)	Nivel crítico
Fósforo	mg kg ⁻¹	16
Potasio	cmol kg ⁻¹	0.2
Calcio	cmol (+) kg ⁻¹	2.2
Magnesio	cmol (+) kg ⁻¹	0.8
Cobre	mg kg ⁻¹	2
Zinc	mg kg ⁻¹	4
Manganeso	mg kg ⁻¹	5
Azulfre	mg kg ⁻¹	20
Boro	mg kg ⁻¹	2

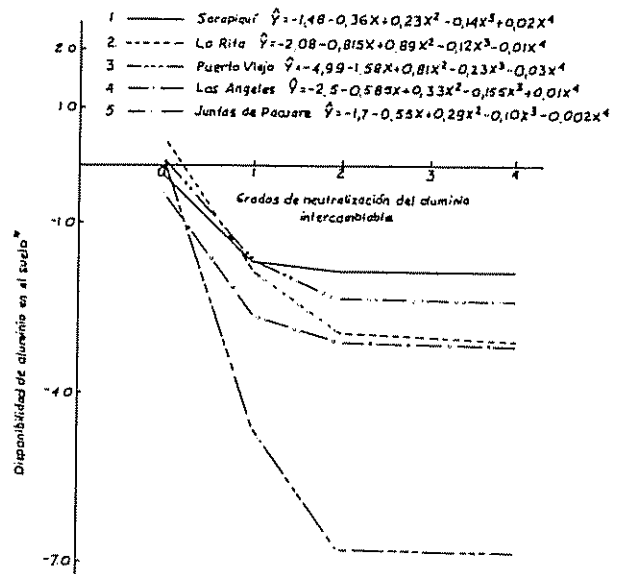


Fig. 3. Variación en el contenido de aluminio en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de CaCO₃ aplicadas.
 * [Al³⁺] determinada luego período incubación – [Al³⁺] inicial.

significativas con respecto a los niveles 3X y 4X; el suelo 3 presentó el máximo descenso de este valor (Cuadro 5).

Esta marcada disminución en la acidez extraíble está relacionada, en forma directa, con el aumento en pH lo que concuerda con lo citado por varios autores (4, 6, 7, 8, 10, 13).

Los cambios encontrados en el contenido de aluminio ocurren con dosis relativamente pequeñas ya que, al neutralizarse dos veces la acidez intercambiable, la cantidad de aluminio bajó considerablemente en los cinco suelos, encontrándose una neutralización del 94% del total del aluminio de intercambio.

Directamente relacionado con el descenso en la acidez intercambiable, se encontró que el porcentaje de saturación de aluminio disminuyó drásticamente al incrementarse la cantidad de CaCO₃ aplicada, llegando a valores entre 5.90 y 1.84% en el nivel 2X de encalado. No se encontraron diferencias significativas con respecto a los niveles 3X y 4X de encalado (Cuadro 5).

Potasio

Con respecto al comportamiento del potasio, luego de la aplicación de CaCO₃ (Cuadro 5), se obtuvo un aumento en el contenido de elemento con respecto al valor inicial (Cuadro 1) en el suelo 1, en tanto que los suelos 3, 4 y 5 mostraron una disminución en el

Cuadro 5. Variación de las características químicas de cinco suelos ácidos, por efecto de dosis crecientes de CaCO_3 aplicadas.

Localidad	Tratamiento	pH	K	Ca	Mg	Al	Sat. Al
		KCl 1N	cmol (+) kg^{-1}				(%)
Sarapiquí	0	4.9	0.41	1.5	0.7	2.00	43.38
	1	5.2	0.37	2.0	0.4	0.45	13.97
	2	5.4	0.28	4.0	0.5	0.30	5.91
	3	5.5	0.35	4.5	0.4	0.30	5.41
	4	5.6	0.34	8.0	0.5	0.30	3.28
La Rita	0	4.2	0.31	1.0	0.3	3.70	69.68
	1	4.5	0.26	4.0	0.4	1.40	23.10
	2	5.0	0.13	6.5	0.4	0.32	4.35
	3	5.7	0.12	10.0	0.4	0.25	2.32
	4	6.0	0.09	11.5	0.3	0.20	1.65
Puerto Viejo	0	4.3	0.26	5.0	2.3	7.00	48.08
	1	4.6	0.26	8.0	2.0	2.45	19.28
	2	5.2	0.26	8.5	1.5	0.22	2.10
	3	5.9	0.26	16.0	2.1	0.20	1.08
	4	6.3	0.27	12.5	1.2	0.20	1.41
Los Angeles	0	4.3	0.19	1.5	0.5	2.80	56.11
	1	4.6	0.19	5.0	0.7	0.70	10.62
	2	5.2	0.18	7.0	0.6	0.20	2.50
	3	5.9	0.18	11.5	0.8	0.15	1.19
	4	6.0	0.16	11.5	0.5	0.15	1.22
Juntas de Pacuare	0	4.4	0.21	3.0	0.9	2.60	38.75
	1	4.7	0.21	3.5	0.8	0.85	15.86
	2	5.2	0.22	8.2	1.2	0.18	1.84
	3	5.6	0.19	9.5	0.9	0.15	1.40
	4	5.9	0.19	11.0	1.0	0.15	1.22

contenido de este elemento; el suelo 2 presentó un descenso a partir del nivel 2X. En los suelos 1 y 2 se obtuvo la máxima concentración de K^+ , 0.41 y 0.31 cmol kg^{-1} en el tratamiento 0X; no se apreciaron variaciones significativas por efecto de los niveles de encalado en el contenido de este elemento en los suelos 3, 4 y 5 (Fig. 4).

La Fig 4. presenta el efecto de las dosis crecientes de CaCO_3 aplicadas sobre la disponibilidad del K^+ en los cinco suelos, mostrando las diferencias entre el contenido del elemento, luego del encalado, y el valor inicial. Con excepción del suelo La Rita, donde fue necesario agregar cerca de 50 cmol kg^{-1} del elemento para obtener 0.2 cmol kg^{-1} en los niveles 1X, 2X, 3X y 4X, en el resto de los suelos los diferentes valores de encalado no afectaron la disponibilidad del elemento puesto que en todos los tratamientos se superó el nivel crítico de 0.2 cmol kg^{-1} (Fig. 4).

No se encontraron variaciones significativas en la disponibilidad del elemento puesto que el mecanismo

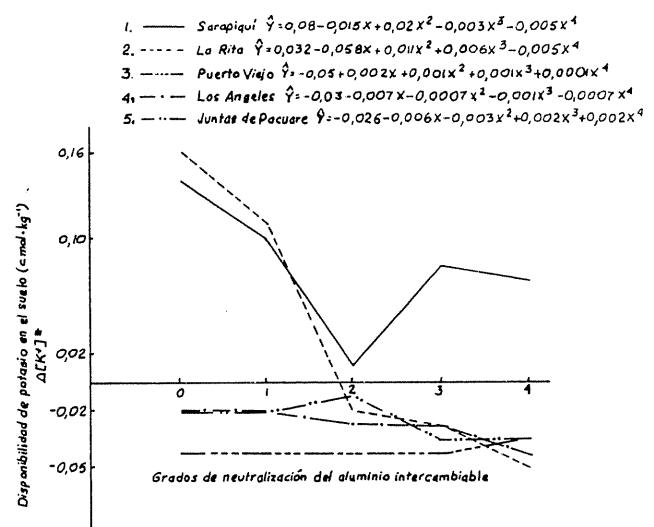


Fig. 4. Variación en el contenido de potasio por efecto de dosis crecientes de CaCO_3 aplicadas en cinco suelos ácidos de Costa Rica.

* $\Delta [\text{K}^+] = ([\text{K}^+] \text{ luego período incubación} - [\text{K}^+] \text{ inicial})$

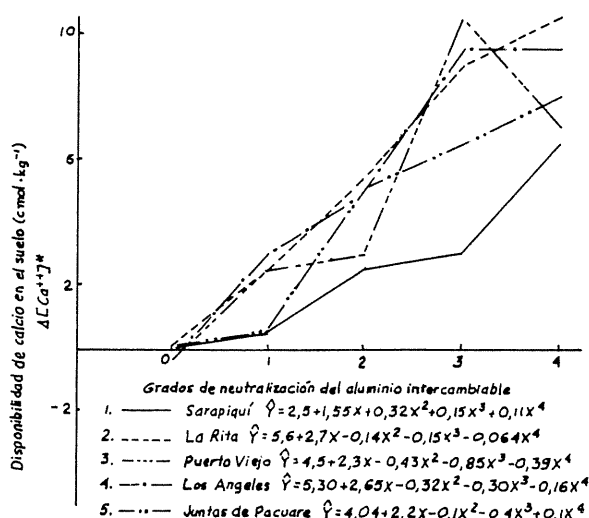


Fig. 5. Variación en el contenido de calcio en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de CaCO_3 aplicadas.

* $\Delta [\text{Ca}^{++}] = ([\text{Ca}^{++}] \text{ luego incubación} - [\text{Ca}^{++}] \text{ inicial})$

de fijación del K^+ es independiente de la acidez presente en el suelo (11, 13). El comportamiento de este elemento fue similar en los cinco suelos debido probablemente a una composición mineralógica similar (13).

Calcio

Se obtuvo un aumento, con respecto al valor inicial del elemento (Cuadro 1), en el contenido de calcio al incrementarse el grado de neutralización del aluminio intercambiable (Fig. 5); la máxima concentración de este elemento se encontró en el tratamiento 4X siendo los valores de 8.0 , 11.5; 11.5; 11.0 $\text{cmol} (+) \text{kg}^{-1}$ para los suelos 1, 2, 4 y 5, respectivamente, y en el tratamiento 3X, 16.0 $\text{cmol} (+) \text{kg}^{-1}$ para el suelo 3 (Cuadro 5).

En todos los suelos se encontraron valores superiores al nivel crítico del elemento en el suelo 2.2 $\text{cmol} (+) \text{kg}^{-1}$ a partir del nivel 1X de encalado, por lo que no se presentaron problemas de disponibilidad del elemento.

Magnesio

En todos los suelos se determinó un descenso en el contenido de Mg^{++} luego de la aplicación de CaCO_3 , con respecto al valor inicial (Cuadro 1) de este elemento en el suelo (Fig. 6). No se encontraron diferencias significativas en el contenido de este elemento entre los niveles de encalado. Las mayores concentraciones de Mg^{++} se observaron en el tratamiento 0X 0.7 $\text{cmol} (+) \text{kg}^{-1}$ y en el nivel 2X 2.3 $\text{cmol} (+) \text{kg}^{-1}$ en el suelo 5. No se apreciaron variaciones significati-

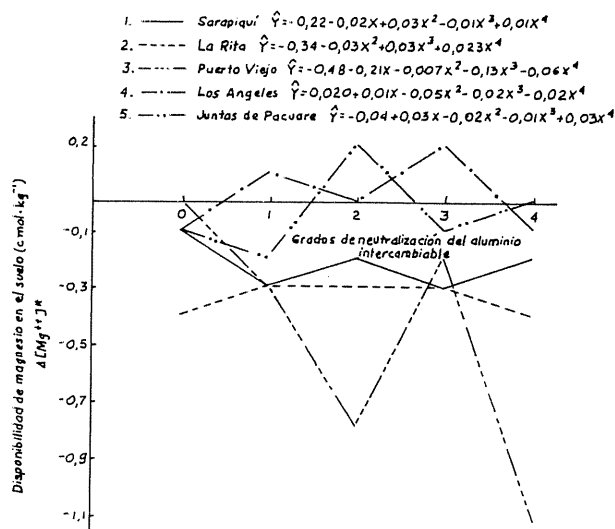


Fig. 6. Variación en el contenido de magnesio en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de CaCO_3 aplicadas.

* $\Delta [\text{Mg}^{++}] = ([\text{Mg}^{++}] \text{ luego incubación} - [\text{Mg}^{++}] \text{ inicial})$

vas en el suelo 2 por efecto de las diferentes dosis de cal aplicadas (Cuadro 5).

En los suelos 1, 2 y 4 se determinó, en todos los niveles de encalado, valores de Mg^{++} inferiores al nivel crítico del elemento en el suelo 0.8 $\text{cmol} (+) \text{kg}^{-1}$.

CONCLUSIONES

Los suelos estudiados presentaron valores entre 37 y 63% de saturación de aluminio, clasificándolos en la categoría de los Ultisoles, según lo señalado en la literatura.

El elevado porcentaje de saturación de aluminio encontrado inicialmente (49.8%, en promedio, para los cinco suelos), decreció en forma notable, hasta estabilizarse al aplicar dos veces la cantidad de aluminio intercambiable (3.3% en promedio para los cinco suelos). Aún con la primera dosis de CaCO_3 aplicada (nivel 1X de encalado) se obtuvo 16.6% de saturación de aluminio en promedio de los 5 suelos, lo que indica el alto poder neutralizante que presenta el CaCO_3 .

El aumento en la cantidad de cal aplicada no influyó en el comportamiento del potasio en lo referente a la capacidad de sorción, puesto que los mecanismos de fijación de K son independientes de la acidez presente en el suelo.

Las variaciones provocadas por efecto de la aplicación de cal, tales como aumento en el pH, neutralización efectiva del aluminio intercambiable y aumento

en el contenido de Ca^{++} principalmente, representan cambios químicos en los suelos que mejoran su fertilidad.

LITERATURA CITADA

- 1 AMEDEE, G ; PLECH, M 1976. The significance of KCl-extractable Al (III) as an index to lime requirements of soil of the humid tropics. *Soil Science* 121:227-233
- 2 BHUMBLA, D.R ; McLELLAN, E.O. 1965. Aluminium in soils. VI Changes in pH dependent acidity, cation-exchange capacity and extractable aluminium with additions of lime to acid surface soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 29:370-374
- 3 BOUYOUCOS, G.L. 1961. The hydrometer method for studying soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 25:365-369.
- 4 BRAGA, J.M ; BRAGA, L.J. ; FONTES, L.N. 1971. Efeito da aplicação de calcário sobre níveis de pH, cálcio, magnésio, fósforo e potássio do solo. *Ceres (Brasil)* 18:279-293
- 5 DIAZ-ROMLU, R ; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejidos vegetales e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p
- 6 FASSBLENDER, H.W. 1978. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA. p 168-198 (Serie de libros y materiales educativos No. 24)
- 7 GOEDERT, W.J. ; COREY, R.B. ; SYERS, J.K. 1975. Lime effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande Do Sul, Brazil. *Soil Science* 120:107-111
- 8 GONZALEZ, L.G. ; GONZALEZ, M.A. 1981. Neutralización del aluminio intercambiable en diez suelos de San Carlos y Sarapiquí. *Agronomía Costarricense* 5(1/2):37-48.
- 9 KAMPRAITH, E.J. 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Science Society of American Proceedings* 34:252-254
- 10 KAMPRAITH, E.J. 1971. Potential detrimental effects from liming weathered soils to neutrality. *Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings* 31:200-203.
- 11 PEARSON, R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. *Cornell International Agriculture Bulletin* No. 30. 66 p
- 12 SAIZ DEL RIO, J.F. ; BORNEMISZA, E. 1962. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, Departamento de Energía Nuclear, C.A.I.I. IICA-OEA, 2da ed. 197 p
- 13 SANCHEZ, P. 1976. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley Inc., New York, p 135-155, 223-253.
- 14 SERPA, R. ; GONZALEZ, M.A. 1979. Estudio de la necesidad de cal en tres suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 3(2):101-108.