

## ENCALADO EN SUELOS ACIDOS DE PANAMA CON ALTO CONTENIDO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE. I. FINCA EXPERIMENTAL DE CALABACITO\*

Benjamín Name\*\* y Daniel Batista\*\*\*

Se realizó un estudio de encalamiento en un oxisol de Panamá. Para este estudio se utilizó el aluminio intercambiable x 2 para determinar las dosis de cal a aplicar para neutralizar 0, 75, 150, 225 y 300% de la acidez intercambiable. Los análisis químicos demostraron que las dosis de 75 y 150% neutralizaban el efecto tóxico del aluminio. Se encontró que las aplicaciones de cal elevaron el pH de 5.0 a 7.0, mientras que la CIC efectiva se elevó de 3.98 a 14.67 meq/100g de suelo. El porcentaje de saturación del aluminio se redujo de 70.83 a trazas. En los ensayos de invernadero se determinó que el suelo es altamente deficiente en N-P-K y Cal y que a partir del cuarto nivel (225% de neutralización de Al intercambiable) se presentó sobre-encaladura.

Una gran cantidad de suelos en los trópicos tienen problemas de acidificación creciente; esto se debe, principalmente, a que se encuentran expuestos a una meteorización intensa por las lluvias monzónicas y las altas temperaturas del área (Fassbender, 1975). Para la neutralización de dicha acidez se han propuesto diferentes métodos basados en la corrección del pH hasta un valor determinado (Coleman y col., 1958) y en la neutralización del aluminio intercambiable (Kamprath, 1970).

Varios investigadores han demostrado que el encalado de los suelos tropicales altamente meteorizados, debe basarse en la cantidad de aluminio intercambiable presente (Reeve y Sumner, 1970; Kamprath, 1971; Méndez y Kamprath, 1978). Las cantidades de cal necesarias para la neutralización del aluminio intercambiable son considerablemente menores que las requeridas para elevar el pH a la neutralidad y, generalmente, no producen efectos detrimentales (Kamprath, 1970; Reeve y Sumner, 1970; Méndez y Kamprath, 1978).

En Panamá se requiere un mayor estudio sobre la utilización racional de los suelos ácidos con alto contenido de aluminio intercambiable como los que se presentan en la Finca Experimental de Calabacito, Provincia de Veraguas, la cual es representativa de una gran extensión de suelos oxisoles con este tipo de problema y que actualmente se utilizan de manera poco eficiente. Además, presentan condiciones nutricionales de extrema deficiencia con un fuerte desbalance de macro y micro-elementos.

Desde el año 1976, el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) ha realizado estudios de suelos con problemas de acidez y se han evaluado también los efectos del encalado en la capacidad de los suelos para fijar nutrientes y además, las condiciones nutricionales y de toxicidades usando plantas indicadoras a través de la técnica del elemento faltante (Hunter, 1975).

---

\* Trabajo presentado en la X Reunión de la Asociación Latinoamericana de Ciencias Agrícolas (ALCA), Acapulco, México, Abril 22-28, 1979.

\*\* M.Sc., Edafólogo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

\*\*\* Asistente del Laboratorio de Suelos, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

Las evaluaciones se realizaron mediante análisis físico-químicos del suelo, ensayos de laboratorio y pruebas biológicas de invernadero. El presente estudio tiene el propósito de obtener información que sea útil para el conocimiento del estado de fertilidad de los suelos con problemas de aluminio y a la vez que sirva de base para los diseños de futuros ensayos de campo.

## MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en la Finca Experimental de Calabacito, ubicado en la Provincia de Veraguas a 100 msnm.

El régimen pluviométrico en el área de los suelos estudiados es del orden de los 3000 mm, con una estación seca bastante demarcada entre diciembre y mayo (IRHE, 1972), condiciones que favorecen la meteorización creciente de estos suelos.

De acuerdo a los estudios realizados por la Comisión de Reforma Agraria (1970) los suelos de Calabacito se catalogan como oxisoles. Poseen un epipedon ócrico y un endopedon óxico. Son suelos altamente meteorizados, tanto química como físicamente, con drenaje regular, profundos, de origen ígneo, con pendientes variables entre 1 a 3%. Son de colores rojos, textura arcillosa ( $> 40\%$  arcilla) estructura de bloques subangulares o granular fina, de baja capacidad de intercambio catiónico ( $< 16$  meq/100 g suelo), con concentraciones bajas de diversos elementos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y otros) y gran desbalance entre ellos; pH ácido ( $< 5.5$ ), alta concentración de aluminio intercambiable, generalmente, mayor de 2.5 meq/100 g de suelo (Rosas, 1974).

La mayor parte de estos suelos se encuentran bajo cultivos de pasto y caña de azúcar, que dan una buena protección al suelo contra la erosión, pero que son grandemente afectados en los rendimientos por los problemas mencionados.

### Metodología

#### Caracterización físico-química del suelo de Calabacito

Para el presente estudio se recogieron muestras de suelos de los primeros 20 centímetros; el área experimental no había sido cultivada y la vegetación predominante era de pastos nativos. Se estudió un perfil del suelo con el sistema de clasificación Taxonómica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1975). Los suelos se caracterizaron tanto física como químicamente. Para la caracterización física se determinó la textura por el método de Bouyoucos (1927), corrigiendo las lecturas del hidrómetro para temperatura.

Las muestras de suelo se caracterizaron químicamente (Hunter, 1975), mediante los análisis de pH por el método del potenciómetro con una relación suelo: agua de 1 a 2.5, respectivamente; aluminio intercambiable (Al), extraído con cloruro de potasio (KCl) 1N y determinado por titulación con NaOH 0.1 N; calcio (Ca) y magnesio (Mg), por absorción atómica luego de ser extraídos con una solución de KCl 1N. El fósforo (P), potasio (K), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) se extrajeron

con la solución extractora de Carolina del Norte (0.05N HCl + 0.025N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). El P fue determinado por calorimetría, el K por fotometría de llama y el Fe, Mn, Cu y Zn por absorción atómica. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se obtuvo por la suma de cationes intercambiables extraídos con KCl IN antes y después de incubar el suelo.

### Estudio de invernadero

Después de la caracterización físico-química del suelo, se realizaron los estudios de fijación de nutrimentos que sirvieron de base para la ejecución de los ensayos de invernadero.

El primer ensayo se realizó con la técnica del elemento faltante en la que se observa la respuesta biológica de las plantas a deficiencias y toxicidades (Hunter, 1975). En base a los resultados de este ensayo, se realizó el estudio de encalamiento, en donde previamente se incubó el suelo bajo diferentes niveles de CaCO<sub>3</sub> al 98% durante dos semanas.

Este último se realizó con el fin de observar biológicamente el efecto del encalado sobre la respuesta biológica de la planta indicadora, la cual era el sorgo granífero. Se mantuvieron seis plantas por maceta hasta el momento del corte, el cual se realizó 30 días después de la siembra. Las plantas se secaron al horno a 70°C por 24 horas, someténdolas posteriormente a evaluaciones de rendimiento en base al peso seco.

### Estudio de incubación con cal

Se utilizaron 2500 ml de suelo por tratamiento, a cada uno de los cuales se les añadió indistintamente la cal requerida para la neutralización del aluminio intercambiable (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Tratamiento de encalado (expresado en kg de CaCO<sub>3</sub>/ha) <sup>a</sup>**

Tratamiento	Neutralización del Aluminio, %	Dosis de Cal kg/ha
1	0	0
2	75	4,950
3	150	9,900
4	225	14,850
5	300	19,800

<sup>a</sup> La cal utilizada poseía no menos del 98 % del poder de neutralización.

A partir de la multiplicación del aluminio intercambiable x 2, se obtienen los diferentes niveles de CaCO<sub>3</sub>. Cada tratamiento se separó en tres volúmenes iguales y se colocaron en recipientes de 1 litro de capacidad. Después de la adición de CaCO<sub>3</sub> los suelos fueron incubados a capacidad de campo por dos periodos diferentes, a 30 y 60 días.

Posteriormente, se determinó el efecto de la cal aplicada en los diferentes niveles, por medio de los análisis de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn y curvas de fijación. Los resultados fueron graficados y se comparó el efecto de las diferentes dosis de cal sobre la disponibilidad de los nutrimentos. Además, se realizó una curva de titulación con HCl 0.01N e NaOH 0.01N para determinar el efecto del encalado en la carga variable del suelo. Para esta determinación se tomaron 20 ml de cada suelo, se incubaron a diferentes niveles de saturación de  $\text{CaCO}_3$ , y se le agregó cantidades crecientes de HCl 0.01N desde 0 a 20 ml, manteniendo la relación suelo: líquido de 1:1. La lectura del pH se midió con un potenciómetro. Procedimiento similar se siguió al agregar  $\text{Ca(OH)}_2$  0.01N para la determinación de las cargas negativas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características físico-químicas del suelo

Los resultados de los análisis físicos y químicos del suelo de la Finca Calabacito se presentan en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Resultados del análisis físico <sup>a</sup> y químico del suelo de Calabacito (Sin tratamiento).**

pH		meq/100 g				CIC	% Sat	Rel	Rel	µg/ml				
H <sub>2</sub> O	KCl	K	Ca	Mg	Al	Efec.	Al	Ca/Mg	Mg/K	P	Mn	Fe	Zn	Cu
5.0	4.0	0.06	1.21	0.14	3.40	4.81	70.70	8.64	2.33	4.5	162	81	1.35	5

<sup>a</sup> Textura: Arena, 38% ; limo, 22% y arcilla, 40%

Se observa que el suelo es ácido (pH = 5.0), con alto contenido de Al intercambiable (3.4 meq/100 g) y una saturación alta de aluminio (70.8%). Esto demuestra que la acidez de este suelo se debe al contenido de aluminio intercambiable. Las principales deficiencias observadas fueron P, K, Ca, Mg y Zn.

### Efecto del encalado sobre las propiedades químicas del suelo

Una vez que finalizó el período de incubación del suelo, se analizó para determinar las variaciones por el efecto de los tratamientos con cal (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Características del suelo de acuerdo al tratamiento de encalado.**

Neutralización de Al, %	pH		meq/100 g suelo				CIC Efectiva	% Sat. Al	Rel. Ca/Mg	Rel. Mg/K
	H <sub>2</sub> O	KCl	K	Ca	Mg	Al				
0	5.0	4.0	0.06	1.21	0.14	3.40	4.81	70.70	8.64	2.33
75	5.6	4.5	0.05	4.87	0.08	0.70	5.70	12.28	60.87	1.60
150	6.2	5.0	0.05	7.55	0.03	0.10	7.73	1.29	251.66	0.60
225	6.7	5.6	0.11	12.65	0.04	0.05	12.85	0.39	316.25	0.36
300	7.0	6.0	0.04	14.65	0.03	Tr	14.72	----	488.33	0.75

Se observa que a medida que disminuye el porcentaje de saturación de aluminio, el pH del suelo aumenta, produciéndose un incremento de dos unidades entre el suelo original (pH = 5.0) y el suelo con el 300% de saturación (pH = 7.0), cuando la determinación se hizo con agua. Méndez y Kamprath (1978) demostraron en suelos de Panamá que cantidades de cal equivalentes al aluminio intercambiable  $\times 1.5$  neutralizan la mayoría del aluminio intercambiable y ajustan el pH a niveles satisfactorios para el crecimiento de las plantas. Tales cantidades fueron considerablemente menores que las requeridas para ajustar el pH a 7.

#### Variaciones en el contenido de bases

El efecto del encalado en las variaciones de las bases intercambiables es de naturaleza diferente (Cuadro 3), así el potasio se mantiene relativamente constante con los diferentes tratamientos de cal. El calcio (ver también Fig. 1), aumenta considerablemente desde 1.21 meq/100 g del suelo original hasta 14.65 meq/100 g cuando el suelo recibe 19,800 kg de carbonato de calcio por hectárea, cantidad que satura el 300% del aluminio intercambiable.

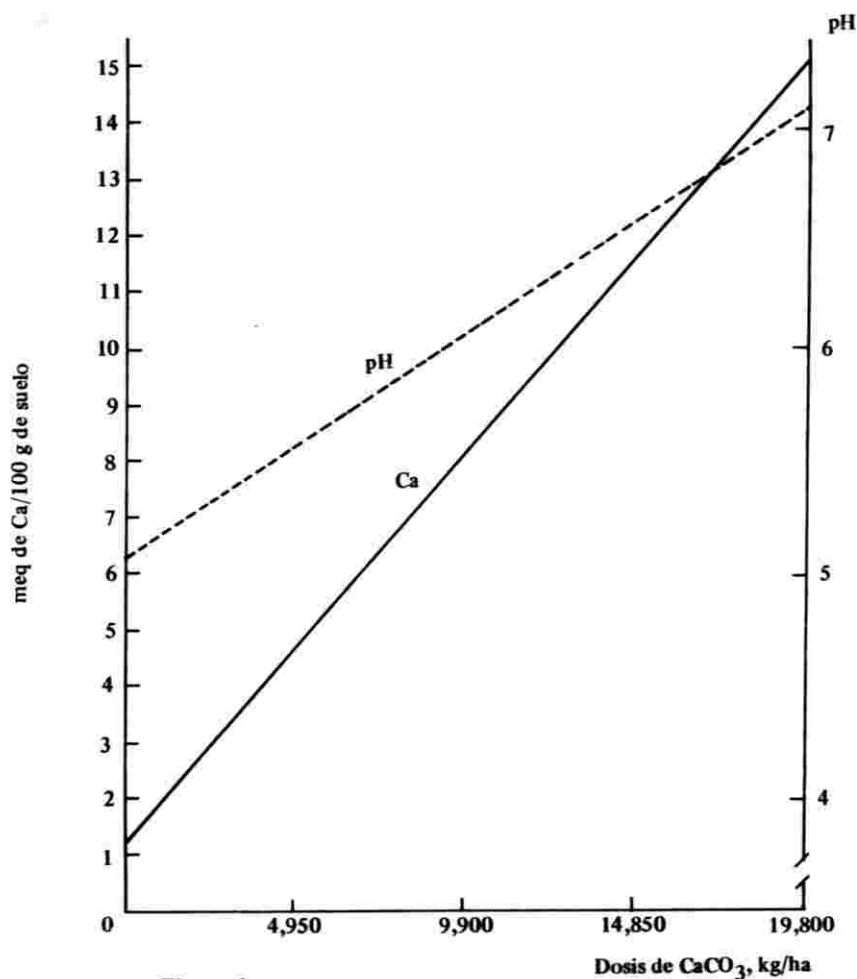


Figura 1. Efecto del encalado sobre el contenido de calcio y la acidez (pH).

En cambio, el contenido de magnesio disminuye de 0.14 a 0.03 meq/100 g de suelo. Esto se explica posiblemente, porque la fuente de cal utilizada fue el carbonato de calcio, que no contenía magnesio y también porque el calcio deprime la absorción de magnesio debido al antagonismo Ca-Mg. Al aumentar la relación Ca/Mg de 8.6 a 488 es probable que se induzca una deficiencia de Mg a menos que se realicen aplicaciones de este nutrimento.

#### Variaciones en el contenido de aluminio intercambiable y en el porcentaje de saturación de aluminio

Los valores de aluminio disminuyeron de 3.4 meq/100 g a trazas, lo que demuestra que las dosis altas de cal controlan todo el posible efecto tóxico que tiene el aluminio en este tipo de suelo y que al aumentar el calcio intercambiable, disminuye drásticamente el porcentaje de saturación de Al.

#### Efecto del encalado en la CIC

La capacidad efectiva de intercambio catiónico, según el Cuadro 3 se incrementa de 4.81 meq/100g en el suelo original, hasta 14.72 meq/100g cuando se satura el 300% del Al intercambiable. Esto se debe a que al aumentar las cargas negativas dependientes del pH en el complejo de intercambio, aumenta la absorción de cationes.

En la figura 2 se puede apreciar el efecto del encalado en la carga dependiente del pH. Estas se originan por el carácter anfótero de algunos grupos funcionales localizados en la superficie de las moléculas de materia orgánica y a veces en los óxidos y minerales arcillosos (Fassbender, 1975).

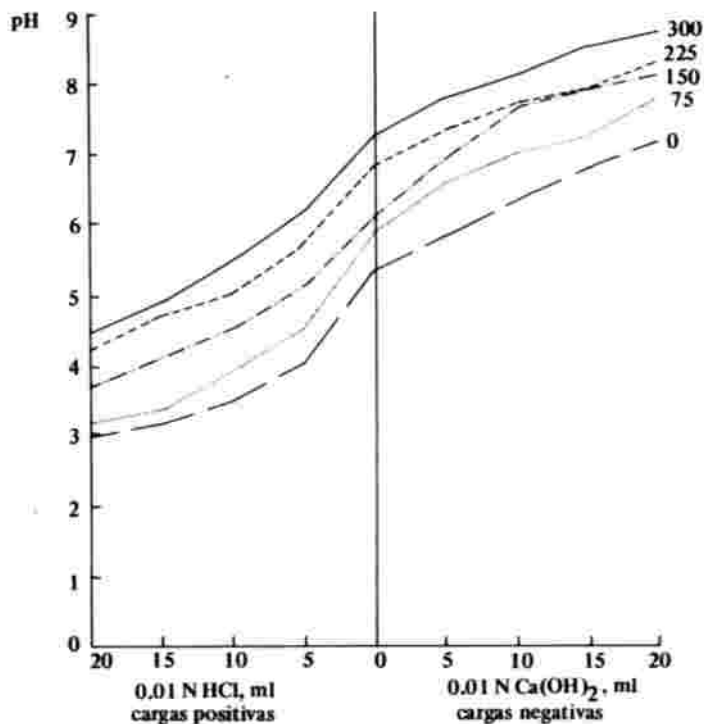


Figura 2. Efecto del encalado en la carga variable del suelo

### Efecto del encalado en la disponibilidad de fósforo y micronutrientes

En los Cuadros 4 y 5 se observa el efecto del encalado en la disponibilidad del fósforo y de los elementos menores.

**Cuadro 4. Efecto del encalado en la disponibilidad del P y micronutrientes (30 días)**

Neutralización de Al, %	µg/ml				
	P	Mn	Fe	Zn*	Cu
0	4.50	162	81	1.35	5
75	1.50	220	153	1.50	4
150	2.00	219	143	3.00	2
225	1.50	330	155	5.80	5
300	2.25	190	73	5.85	2

\* Significativo ( $P < .05$ )

**Cuadro 5. Efecto del encalado en la disponibilidad del fósforo y micronutrientes (60 días)**

Neutralización de Al, %	µg/ml				
	P	Mn*	Fe	Zn*	Cu
0	4.50	210	350	1.5	6
75	1.50	430	580	1.8	5
150	2.50	440	525	3.0	2
225	1.75	480	350	5.5	4
300	1.75	460	410	3.9	6

\* Significativo ( $P < .05$ )

Como se puede apreciar, los diferentes niveles de cal utilizados sólo afectaron significativamente ( $P < .05$ ) el análisis de Zinc en ambos períodos y el de Manganese sólo en el encalado a 60 días ( $P < .05$ ). Resultó significativo ( $P < .05$ ) el análisis de P y altamente significativo ( $P < .01$ ) el de Mn y Fe cuando se compararon los dos períodos de encalado, siendo notorio el incremento de estos microelementos a medida que aumentaba la duración del período del encalado.

### Efecto del encalado en el estudio de fijación

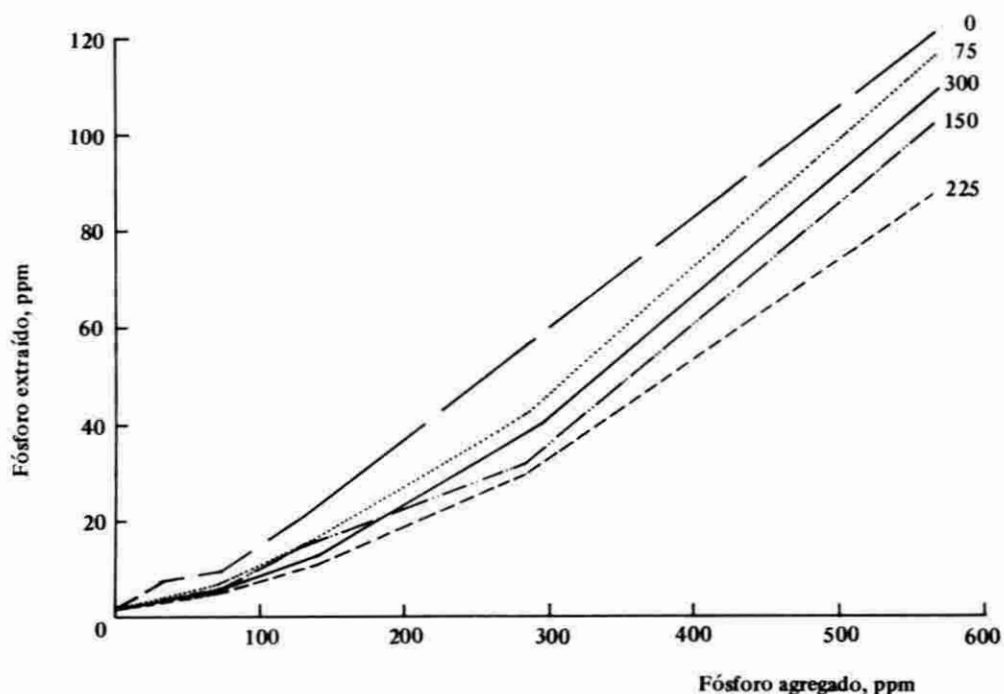
Las curvas de fijación se realizaron en los suelos antes y después del encalado, las que se utilizaron en el estudio de invernadero y para determinar el efecto de las diferentes dosis de cal en la disponibilidad de nutrientes.

En el cuadro 6 se presentan, como ejemplo, los resultados de las curvas de fijación para los niveles de 0 y 300% de neutralización del aluminio.

**Cuadro 6. Resultados de incubación para dos niveles diferentes de encalado.**

Niveles de elemento agregado	0% Neutralización Al						300% Neutralización Al					
	P	K	Mn	Zn	Cu	Fe	P	K	Mn	Cu	Zn	Fe
0	1.0	6.2	154	0.8	4.0	60	1.75	163	290	4.0	5.2	275.0
1	7.5	49.4	158	3.5	6.0	58	3.38	49	300	4.0	7.1	315.0
2	9.0	68.0	160	5.3	6.0	59	6.30	88	310	4.0	9.1	257.8
3	23.0	130.0	164	10.2	8.0	56	13.80	154	305	5.5	13.1	297.0
4	56.5	251.0	169	21.8	11.0	57	37.00	328	340	7.5	22.0	300.0
5	120 +	400.0	185	34.0	20.5	55	107.00	400	370	16.0	49.0	270.0

A partir de los datos del Cuadro 6 para cada elemento y para cada nivel de encalado se hicieron las curvas de fijación. Como ejemplo se presenta la figura 3, donde se muestran las variaciones del fósforo para cada nivel de saturación de cal aplicada. Se aprecia que la disponibilidad del fósforo tiende a disminuir a medida que aumenta la cantidad de cal aplicada. Para obtener el nivel crítico, nivel bajo el cual se espera respuesta a las aplicaciones del elemento, el P agregado aumenta de 110 a 200 ppm. En Panamá, el nivel crítico tentativo para el P utilizado (solución extractora de Carolina del Norte) fue de 18 ppm.



**Figura 3. Efecto del encalado sobre la fijación del fósforo.**



Para obtener el nivel óptimo que equivale a tres veces el nivel crítico, se tuvo que aplicar alrededor de 240 ppm al suelo sin encalado. Con el suelo encalado, a 225% de neutralización, este nivel se elevó a 410 ppm.

En el caso de los micronutrientes aumenta la fijación del cobre y zinc, pero la disponibilidad de manganeso se ve favorecida. (Figura 4)

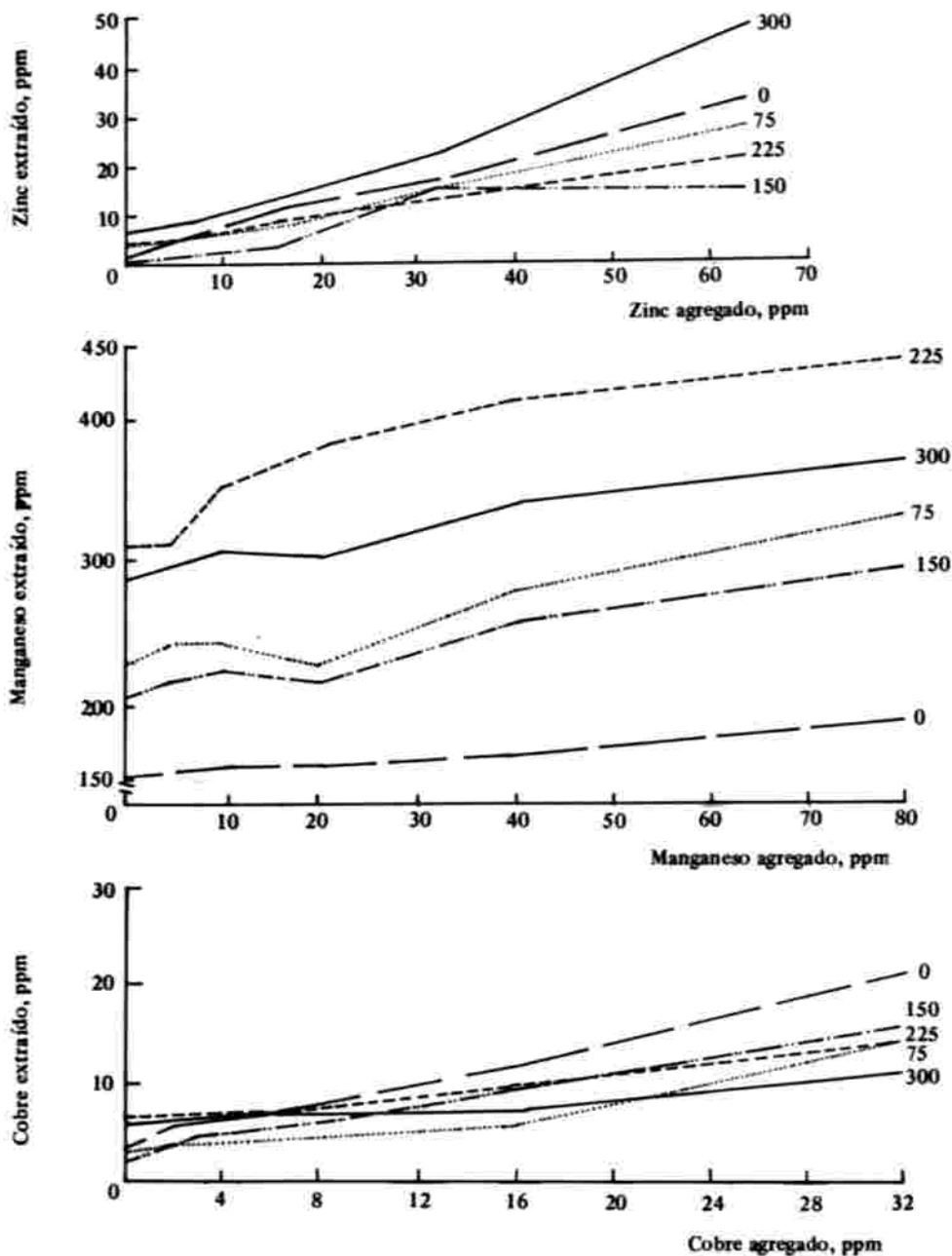


Figura 4. Efecto del encalado sobre la fijación del zinc, manganeso y cobre.

### Estudio de invernadero

En la figura 5 se presentan los resultados de invernadero, obtenidos con la metodología del elemento faltante (Hunter, 1975).

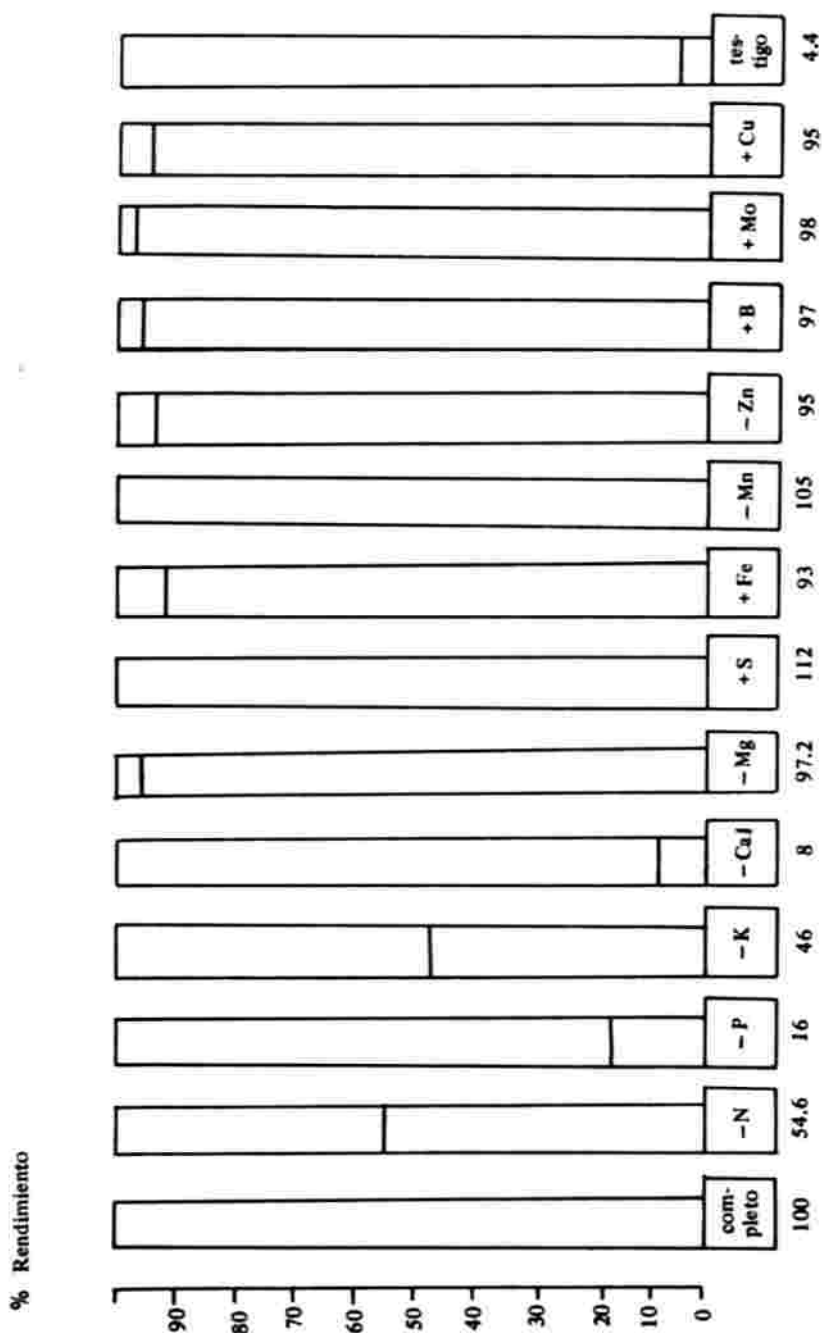


Figura 5. Rendimiento porcentual de materia seca. Suelo de calabado. (Solución extractora Carolina del Norte).

Como se observa, este suelo responde altamente a las aplicaciones de N-P-K y cal, siendo la interacción de estos nutrientes decisiva en la producción de materia seca.

Hay un efecto altamente significativo ( $P < .01$ ) cuando se comparan los rendimientos relativos del tratamiento testigo y el completo.

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos en el invernadero con el encalamiento a diferentes niveles de saturación de carbonato de calcio. Como se aprecia, los mejores rendimientos se obtuvieron con el cuarto nivel de encalamiento, teniendo una reducción sobre-encalado a partir del quinto nivel.

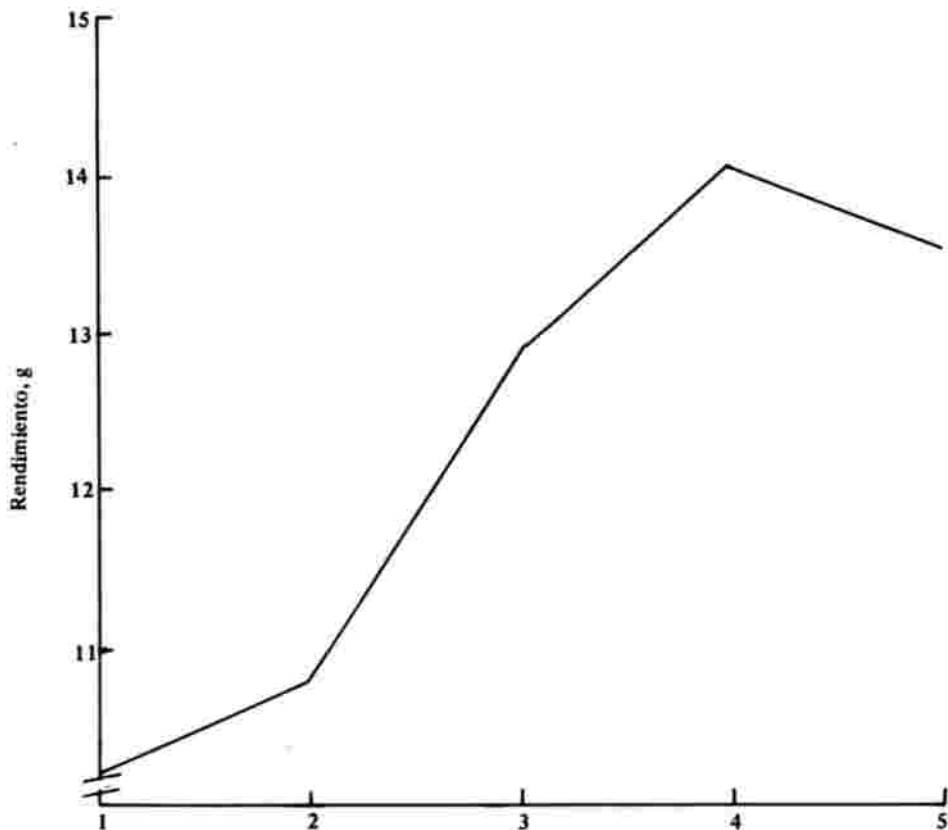


Figura 6. Efecto del encalamiento sobre el rendimiento de materia seca (en gramos). Solución extractora de Carolina del Norte.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La utilización del aluminio intercambiable  $\times 2$  es una buena medida de la cantidad de cal que se aplica.
2. De acuerdo a los análisis químicos los mejores niveles de cal aplicados se encuen-

tran entre el 75 y 150% de neutralización de aluminio intercambiable. A estos niveles se reduce su efecto tóxico en los suelos en estudio.

3. Las plantas indicadoras nos muestran que la aplicación de cal es positiva hasta 225% de neutralización. Hubo sobre-encalado a partir del quinto nivel cuando se utilizó 300% de neutralización de aluminio.
4. Las aplicaciones masivas de calcio reducen drásticamente la absorción de magnesio aumentando la relación de Ca/Mg a niveles que producen deficiencias de este elemento.
5. En los estudios de encalamiento no se encontró diferencias importantes sobre macroelementos cuando se compararon los dos periodos de encalamiento.
6. Se sugiere realizar estudios de encalamiento en roca caliza dolomítica para suelos con iguales propiedades descritas en este trabajo.
7. En los estudios de invernadero, se determinó que el suelo era altamente deficiente en N-P-K y cal. Se sugiere realizar los estudios de campo para determinar los niveles óptimos.

### ABSTRACT

In Panama, a liming test was conducted in an oxisol. For this test, exchangeable aluminum x 2 was utilized to determine the dosis of lime required to neutralized 0, 75, 150, 225 and 300% of the exchangeable acidity. Chemical analyses showed that the 75 and 150% dosis neutralized the toxic effect of the aluminum. The application of lime increased the pH from 5.0 to 7.0, while the effective CIC increased from 3.98 to 14.67 meq/100g of soil. The saturation percentage of the aluminum decreased from 70.83 to traces. From experiments realized in a greenhouse, it was determined that the soil was highly defficient in N-P-K and in lime, and that parting from the fourth level (225% of neutralization in exchangeable aluminum) an over-liming was observed.

### BIBLIOGRAFIA

- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science* 23:343-352. 1927.
- COLEMAN, N.T., KAMPRATH, E.J. y WEED, S.B. Liming Advances in Agronomy 10:475-522. 1958.
- COMISION DE REFORMA AGRARIA. Reporte final sobre el Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. International Resources and Geotechnics, Inc., International Engineering Company, Inc., The Jacobs Company. Volumen 1, Julio, 1970. 504 p.
- FASSBENDER, H.W. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Costa Rica. 1975. 398 p.

- HUNTER, A.H. Técnicas de laboratorio e invernadero para estudios de nutrientes con miras a determinar las enmiendas de suelo requeridas para un óptimo crecimiento de las plantas. Universidad de Carolina del Norte, Raleigh, N.C. (mimeografiado). 1975.
- INSTITUTO DE RECURSOS HIDRAULICOS Y ELECTRIFICACION. Precipitación mensual por año registrada en la República de Panamá. 1890-1972. Departamento de Hidrometeorología, IRHE, Panamá. 1972. 342 p.
- KAMPRATH, E.J. Soil acidity and response to liming. International Soil Testing. North Carolina State University, Agric. Exp. Stn. Raleigh, N.C. Technical Bulletin 4. 1967.
- . Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soils Science American Proceed* 34:252-954. 1970.
- . Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. *Soil Crop Science Florida Proceed* 31:200-203. 1971.
- MENDEZ, J. and KAMPRATH, E.J. Liming of latosols and the effect on phosphorus response. *Soil Science Society American Proceed* 42:85-88. 1978.
- REEVE, N.G. and SUMNER, M.E. Effects of Aluminium toxicity and Phosphorus fixation on crop growth in oxisols natal. *Soil Science American Proceed* 34:265-267. 1970.
- ROSAS, L.B. Levantamiento y reconocimiento de los suelos de Calabacito. Tesis para optar el título de Licenciado en Ing. Agronómica, Panamá, Universidad de Panamá. 1974. 163 p.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook. No. 436. Soil Conservation Service, Dept. Agric. U.S. 1975. 754 p.