

## Encalado de Ultisoles en Costa Rica. II. Aniones (P, B, S) y Elementos Menores Catiónicos (Fe, Cu, Zn, Mn)<sup>1</sup>

A Cordero\*, A. Chavarria\*\*

### ABSTRACT

The effect of liming on the response of P, B, S, Fe, Cu, Zn and Mn was evaluated in five ultisols of Costa Rica. Qualitative similarities were found in the responses obtained in the five soils. Phosphorus was not affected by increasing rates of lime, with regard to its sorption ability. In all cases, a quadratic trend was observed in which there was a higher phosphorus fixation rate when low concentrations of this element were added. The boron and sulfur presented adequate supplies in the five soils, associated with high levels of the native concentrations. Micronutrient availability, especially Fe and Mn, decreased as the degree of exchangeable Al neutralization increased. The low fertility levels of these soils are due not only to calcium deficiency and aluminum toxicity, but also to relatively low amounts of native phosphorus, under highly acidic conditions.

### INTRODUCCION

Con frecuencia, el efecto del encalado en el desarrollo de las plantas es múltiple, debido de su efecto sobre diferentes características de los suelos (1).

La práctica de encalar los suelos en las regiones templadas, hasta alcanzar la neutralidad, no es efectiva en muchos de los suelos altamente meteorizados de los trópicos. Con frecuencia, los suelos han sido encalados a pH 7 lo que resulta en un descenso en la producción ocasionado por la deficiencia de micronutrientes y por la disminución en la disponibilidad de fósforo (2, 5, 6, 15). Los oligoelementos, excepto el molibdeno, son menos solubles conforme

### COMPENDIO

En cinco ultisoles de Costa Rica se evaluó el efecto del encalado sobre el comportamiento de los elementos aniónicos P, B y S y los elementos menores catiónicos Fe, Cu, Zn y Mn, encontrándose semejanzas cualitativas en las respuestas obtenidas en los cinco suelos evaluados. El fósforo no fue notoriamente afectado por el aumento en la cantidad de cal aplicada, en cuanto a su capacidad de sorción. Se observó una tendencia cuadrática, en todos los casos, encontrándose mayor fijación de fósforo a bajas concentraciones del elemento agregado. El B y S presentaron un suministro adecuado en los cinco suelos, asociado a cantidades nativas altas. Conforme se aumentó el grado de neutralización del aluminio intercambiable, la disponibilidad de los micronutrientes fue disminuyendo siendo más marcado este descenso en los casos de Fe y Mn. Los bajos niveles de fertilidad de estos suelos no solamente son debidos a deficiencias de calcio y toxicidad de aluminio, sino también a cantidades relativamente pequeñas de fósforo nativo, bajo altas condiciones de acidez.

aumenta el pH, por lo que es probable que el encalado a pH altos provoque deficiencias de estos elementos, en suelos de las regiones tropicales húmedas (7, 13, 19).

Una de las principales razones que se dan para encalar suelos ácidos es la de incrementar la disponibilidad de fósforo (1, 14). La sorción de fósforo en suelos ácidos parece ser dependiente de varios factores; muchos especialistas en este campo (2, 10, 11) están de acuerdo en que, en suelos ácidos (ultisoles), los óxidos de hierro y de aluminio juegan un papel predominante en las reacciones del fósforo en el suelo. La fijación de fósforo y la toxicidad de aluminio se comportan como factores limitantes del crecimiento pero en forma independiente; la interacción aparente se presenta cuando el aluminio es eliminado como elemento básico y aumenta la habilidad de las plantas para tomar fósforo, en lugar de incrementarse el suministro de fósforo por el suelo (1, 17).

### MATERIALES Y METODOS

La metodología empleada para el estudio del comportamiento de los aniones P, B, S y los elementos menores catiónicos (Fe, Cu, Zn, Mn) se describe en

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 24 de julio de 1986

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

\*\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

el artículo publicado en este mismo número de la revista Turrialba (3).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Fósforo

La Fig. 1 presenta el efecto de las diferentes dosis de  $\text{CaCO}_3$  sobre la disponibilidad del fósforo en los cinco suelos estudiados. Para el suelo Sarapiquí, se puede apreciar que la disponibilidad del elemento no fue notoriamente afectada por los diferentes tratamientos; sin embargo, al neutralizar una vez la acidez intercambiable, se logró una extracción similar al tratamiento OX, siendo ésta de  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  al agregar  $350 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo, en tanto que, al utilizar dosis mayores de cal, fue necesario aplicar mayores cantidades de fósforo (más de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para extraer  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  del elemento.

Para el suelo La Rita, el comportamiento del elemento fue similar al del caso anterior con respecto al efecto de las dosis de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas; sin embar-

go, para extraer  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  del elemento fue necesario agregar cerca de  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo cuando se neutralizó 2, 3 y 4 veces la presente acidez intercambiable. Cabe destacar que se agregó mayor cantidad de fósforo para llegar al nivel crítico establecido en el tratamiento 2X que en los otros tratamientos. Para extraer una cantidad similar del elemento en los tratamientos OX y 1X fue necesario agregar cerca de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  de P.

En el suelo Puerto Viejo, la disponibilidad del elemento no fue muy afectada por efecto de la cal aplicada; sin embargo, se puede observar que la disponibilidad del fósforo, al neutralizar una vez la acidez intercambiable, es muy similar al tratamiento OX necesitándose cerca de  $220 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo para extraer  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  del elemento. Para extraer una cantidad similar del elemento en los tratamientos 2X, 3X y 4X se agregaron cerca de  $280 \text{ mg kg}^{-1}$  de fósforo.

En el suelo Los Angeles, el comportamiento de los tratamientos OX y 1X fue muy similar, siendo neces-

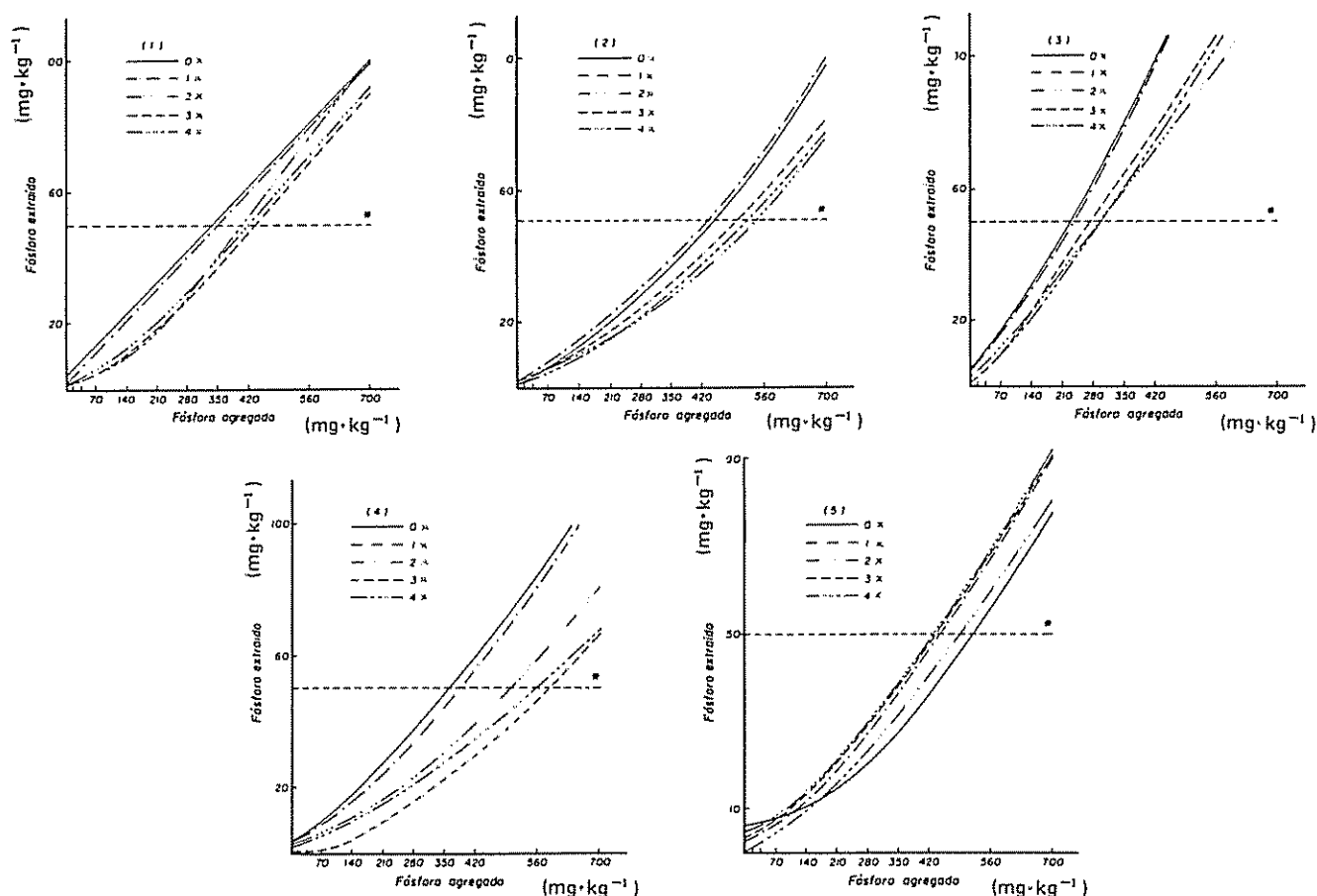


Fig. 1. Curva de sorción para fósforo en el suelo Sarapiquí (1), La Rita (2), Puerto Viejo (3), Los Angeles (4) y Juntas de Pacuare (5) para los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable. (0,1,2,3,4x).

\* (nivel crítico:  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

rio agregar cerca de 350 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo para extraer 50 mg kg<sup>-1</sup> del elemento en tanto que la cantidad de fósforo agregada varió considerablemente en los otros tratamientos, siendo ésta de 550, 580 mg kg<sup>-1</sup> para extraer 50 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo en los tratamientos 2X, 4X y 3X, respectivamente.

Para el suelo Juntas de Pacuare, fue necesario agregar mayor cantidad de fósforo (cerca de 500 mg kg<sup>-1</sup>) para extraer 50 mg kg<sup>-1</sup> del elemento en el tratamiento 0X, comportamiento similar observado cuando se neutralizó 4 veces la acidez intercambiable presente. Este suelo mostró un comportamiento diferente a los anteriores, siendo necesario agregar cerca de 430 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo en los tratamientos 1X, 2X y 3X para extraer 50 mg kg<sup>-1</sup> del elemento.

Se obtuvo un aumento en la concentración de fósforo al aplicar CaCO<sub>3</sub> en los suelos 2, 4 y 5, en tanto que los suelos 1 y 3 mostraron una disminución en dicha concentración, con respecto al valor inicial de este elemento (Fig. 2).

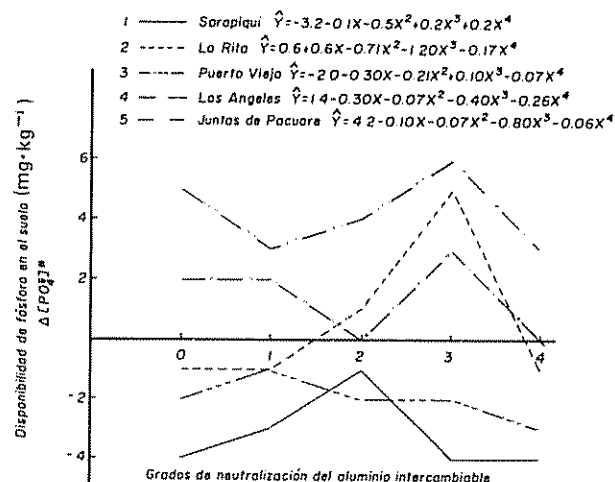


Fig. 2. Variación en el contenido de fósforo por efecto de dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub> en cinco suelos ácidos de Costa Rica

\*  $\Delta [PO_4] = ([PO_4] \text{ luego período incubación}) - [PO_4] \text{ inicial}$

Cuadro 1. Variación en la concentración de fósforo y elementos menores catiónicos por efecto de dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub> aplicadas en cinco Ultisoles de Costa Rica.

Localidades:	Niveles de encalado	(mg kg <sup>-1</sup> )				
		P	Fe	Cu	Zn	Mn
Sarapiquí	0	1	500	20	2.2	14
	1	2	450	20	2.6	10
	2	4	425	20	2.4	5
	3	1	192	18	2.2	3
	4	1	130	16	1.8	3
La Rita	0	1	174	14	3.4	71
	1	1	142	15	3.4	40
	2	3	189	18	3.4	24
	3	7	88	19	2.4	9
	4	1	64	16	2.0	6
Puerto Viejo	0	5	500	9	5.4	85
	1	6	450	9	4.3	63
	2	5	329	7	2.5	18
	3	5	136	5	1.6	7
	4	4	78	4	1.6	5
Los Angeles	0	4	114	19	3.8	73
	1	4	108	20	3.8	50
	2	2	81	18	2.9	24
	3	5	82	15	3.4	14
	4	2	68	16	2.8	15
Juntas de Pacuare	0	7	168	7	2.4	64
	1	5	156	6	2.4	44
	2	6	106	6	2.2	28
	3	8	118	5	1.6	14
	4	5	90	5	1.6	19

Se encontró la mayor cantidad de fósforo en el tratamiento 3X, siendo ésta de 7, 5 y 8  $\text{mg kg}^{-1}$  para los suelos 2, 4 y 5, respectivamente. Se observó una disminución al aplicar la máxima cantidad de cal. En los suelos 1 y 3 se encontró la mayor concentración de este elemento, 4 y 5  $\text{mg kg}^{-1}$  en los niveles 2X y 1X de encalado, respectivamente (Cuadro 1).

El aumento en la cantidad de cal aplicada no influyó notablemente en el comportamiento del fósforo, en lo referente a la capacidad de sorción del mismo, hecho que ha sido sugerido por algunos autores (2, 7). Así, otros autores (1, 8) sugieren que el encalado aumenta la absorción de fósforo por las plantas más que afectar la solubilidad del mismo en el suelo.

Según lo encontrado por Quirós y González (16), en pruebas realizadas en suelos similares a los involucrados en el presente estudio, el fósforo no presentó variaciones de consideración al incrementarse la cantidad de cal agregada debido probablemente a las cantidades bajas del fósforo nativo del suelo; sin embargo, al aplicar al suelo cantidades crecientes de fósforo, la concentración del elemento aumentó en forma lineal lo cual coincide con lo encontrado en este estudio. Al neutralizarse 3 y 4 veces la acidez presente, la

disponibilidad del elemento disminuyó lo cual podría deberse a un exceso en la cantidad de cal aplicada induciendo la formación de fosfatos insolubles de calcio, en suelos con alta capacidad de fijación de fósforo (17).

### Azufre

La Fig 3 presenta el comportamiento del azufre ante la aplicación de dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  en los suelos estudiados.

Para el suelo Sarapiquí, no se observaron variaciones en cuanto a la disponibilidad del elemento por efecto de los distintos niveles de neutralización del aluminio intercambiable. En todos los tratamientos se extrajo una cantidad de azufre superior al nivel crítico empleado ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ), variando ésta inicialmente entre 42 y 44  $\text{mg kg}^{-1}$ .

El suelo La Rita mostró un descenso en la cantidad de azufre extraída, conforme se aumentó el grado de neutralización de la acidez intercambiable. Sin embargo, se extrajo una cantidad del elemento superior al nivel crítico ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en todos los tratamientos, variando ésta inicialmente entre 33 y 45  $\text{mg kg}^{-1}$ .

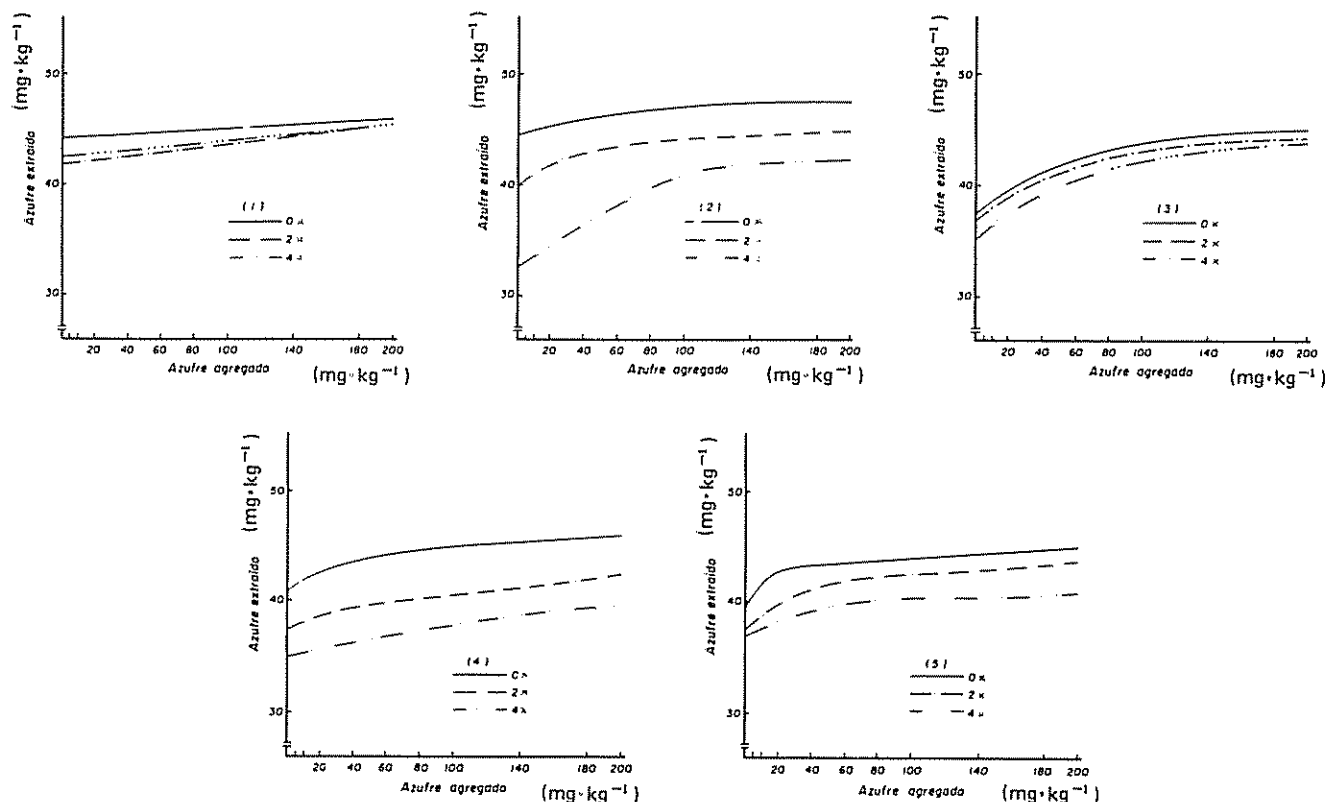


Fig 3 Curva de sorción para azufre en el suelo Sarapiquí (1), La Rita (2), Puerto Viejo (3), Los Angeles (4) y Juntas de Pacuare (5) para los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable (0,1,2,3,4x).

\* (nivel crítico:  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ )

Los suelos Puerto Viejo, Los Angeles y Juntas de Pacuare mostraron un comportamiento similar al que presentó el suelo anterior, siendo el valor promedio inicial de azufre extraído de 36, 38 y 45 mg kg<sup>-1</sup> para cada suelo, respectivamente.

Cabe destacar que, independientemente de la cantidad de cal agregada, se observó una alta fijación de sulfatos en los cinco suelos principalmente cuando se aplicaron dosis altas de elementos (más de 100 mg kg<sup>-1</sup>), puesto que incrementos en la cantidad de azufre agregado no modificaron sustancialmente la extracción del elemento.

**Boro**

La Fig. 4 muestra el efecto de la aplicación de dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub> sobre la disponibilidad del boro en los cinco suelos estudiados.

En los suelos Sarapiquí y La Rita, hubo poca variación en la cantidad de boro extraída en los diferentes tratamientos con CaCO<sub>3</sub>. El comportamiento del elemento fue muy similar en el tratamiento testigo y en el 2X; el tratamiento 4X fue el que presentó la menor disponibilidad del elemento. Sin embargo, en

todos los tratamientos se extrajo una cantidad de boro superior al nivel crítico empleado (2 mg kg<sup>-1</sup>) variando inicialmente entre 10 y 14 mg kg<sup>-1</sup>, para ambos suelos.

Para el suelo Puerto Viejo, se mejoró la disponibilidad del elemento al neutralizar dos veces la acidez intercambiable, en tanto que el tratamiento 0X fue el que, en promedio, presentó la menor cantidad de boro extraído. En todos los tratamientos se extrajo una cantidad de boro superior al nivel crítico (2 mg kg<sup>-1</sup>), variando ésta inicialmente entre 15 y 18 mg kg<sup>-1</sup> del elemento.

En el suelo Los Angeles, se presentó un aumento en la disponibilidad del boro al incrementar la cantidad de cal empleada; por lo tanto, fue en el tratamiento 0X en el que hubo la menor cantidad extraída del elemento. En todos los tratamientos se extrajo una cantidad de boro superior al nivel crítico (2 mg kg<sup>-1</sup>), variando ésta inicialmente entre 15 y 20 mg kg<sup>-1</sup>.

En el suelo Juntas de Pacuare, se extrajo la mayor cantidad de boro en el tratamiento 2X en tanto que la disponibilidad del elemento, en el tratamiento 4X,

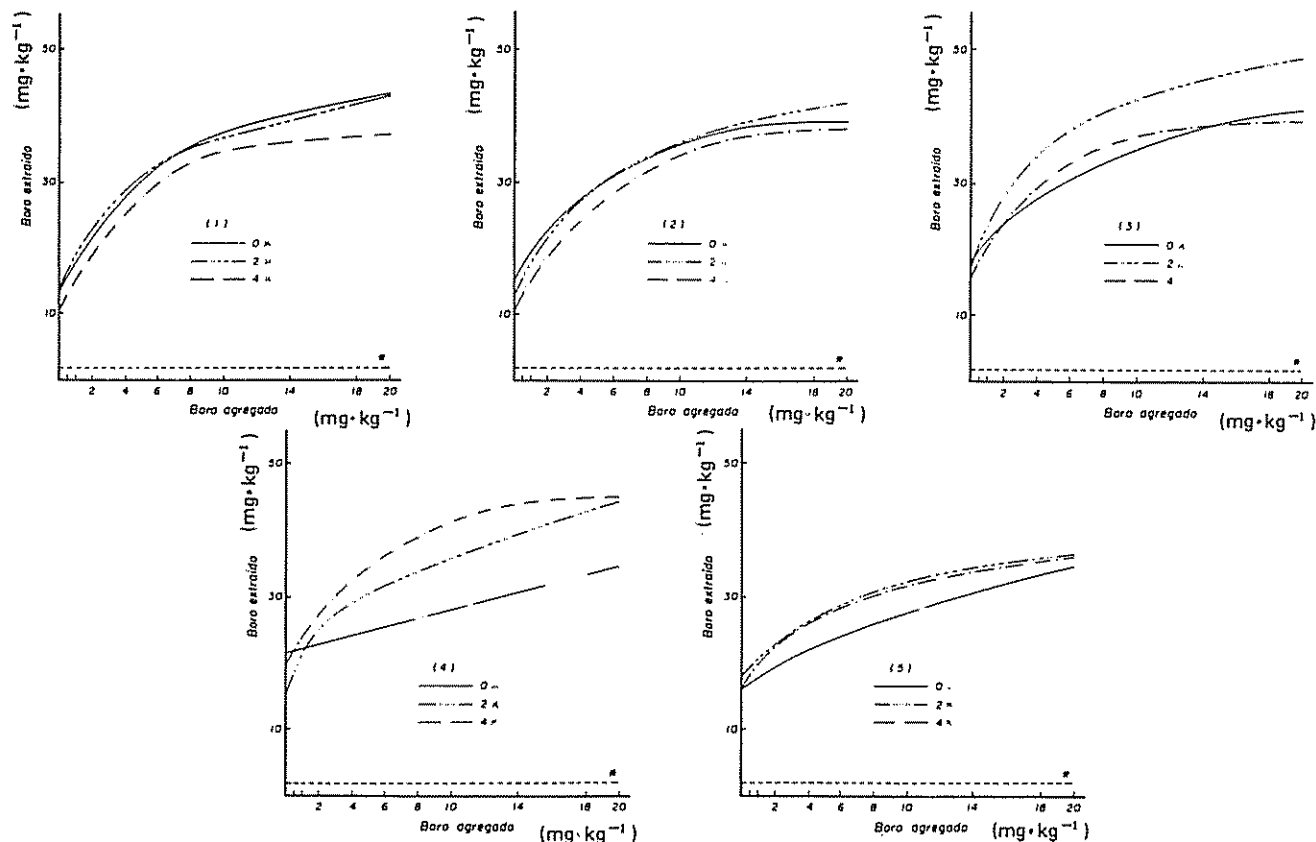


Fig 4. Curva de sorción para boro en el suelo Sarapiquí (1), La Rita (2), Puerto Viejo (3), Los Angeles (4) y Juntas de Pacuare (5) para los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable (0,1,2,3,4x).

\* (nivel crítico: 2 mg kg<sup>-1</sup>).

fue mayor con respecto al testigo (OX) siendo este último el que presentó la menor cantidad de boro extraída. En todos los tratamientos se extrajo una cantidad superior al nivel crítico ( $2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), siendo muy poca la variación entre tratamientos.

Se observó un efecto cuadrático en el comportamiento del boro, encontrándose mayor fijación del elemento a dosis bajas en el suelo y siendo menor la fijación a dosis altas. Esta tendencia se mantuvo independientemente de las dosis de  $\text{CaCO}_3$ , con excepción del suelo Los Angeles, en el cual el tratamiento sin cal (OX) mostró una tendencia lineal positiva, puesto que los incrementos en la cantidad de boro agregada aumentaron la cantidad de boro extraída.

A pesar de la alta retención del boro, al igual que el azufre, este elemento mostró tener una buena disponibilidad debido posiblemente a las altas cantidades iniciales presentes en los cinco suelos, ya que, según Díaz-Romeu y Hunter (4), los niveles críticos para boro y azufre son de  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente, extraídos con 18 sen modificado, siendo superiores los valores encontrados en los suelos estudiados. Sin embargo, en los niveles máximos de neutralización, la fijación del elemento fue mayor puesto que, al aumentar la cantidad del elemento en la solución del suelo, se incrementa la absorción del mismo.

### Hierro

La Fig 5 presenta las diferencias obtenidas entre las concentraciones de hierro posteriores al período de incubación y la concentración inicial de este elemento. Con respecto al valor inicial, se obtuvo un aumento en la cantidad del elemento al aplicarse  $\text{CaCO}_3$  en el suelo 5, llegando a un valor de  $156 \text{ mg kg}^{-1}$  en el tratamiento 1X; los suelos 1 y 2 mostraron una disminución con respecto al valor inicial a partir del tratamiento 3X, obteniéndose valores de 192 y  $88 \text{ mg kg}^{-1}$  en cada uno de los suelos; en el suelo 4, este descenso ocurrió a partir del tratamiento 1X en el que se obtuvo un valor de  $108 \text{ mg kg}^{-1}$ . Con relación al suelo 3, se encontró menor cantidad de hierro en todos los tratamientos con respecto al valor inicial ( $500 \text{ mg kg}^{-1}$ ). La máxima concentración de hierro se encontró en el tratamiento OX para los suelos estudiados, variando entre 114 y  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  (Cuadro 1).

### Cobre

La Fig. 6 presenta el comportamiento del cobre ante las diferentes dosis de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas en los cinco suelos estudiados.

La tendencia en el comportamiento de los suelos 1, 3 y 4 es similar, o sea, a mayor cantidad de cal aplicada se observa una menor cantidad de cobre extraído. En los suelos 2 y 5 no se manifiesta esta tendencia.

En el suelo Sarapiquí, se observó una menor disponibilidad del elemento al aumentarse el nivel de neutralización, variando la cantidad del elemento extraído entre 23 y  $14 \text{ mg kg}^{-1}$  en los tratamientos OX y 4X, respectivamente, en el valor inicial. En todos los casos, la cantidad de cobre extraída fue superior al nivel crítico empleado ( $2 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Para el suelo La Rita, al neutralizar tres veces la acidez intercambiable presente, se obtuvo la mayor cantidad de Cu extraído, no siendo ésta inferior a  $18 \text{ mg kg}^{-1}$  en su valor inicial, siguiendo, en orden decreciente, los niveles 2X, 1X, OX y 4X; la variación en el valor inicial entre tratamiento no fue mayor de  $4 \text{ mg kg}^{-1}$ . En todos los casos, la cantidad de cobre extraído fue superior al nivel crítico empleado ( $2 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

En el suelo Puerto Viejo, se observó una menor disponibilidad del cobre al aumentarse la neutralización del aluminio de cambio, siendo el cobre extraído inicialmente de 3, 4, 5, 9 y  $8 \text{ mg kg}^{-1}$  para los tratamientos 4X, 3X, 2X, 1X y OX, respectivamente. En todos los casos, se superó el nivel crítico empleado ( $2 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

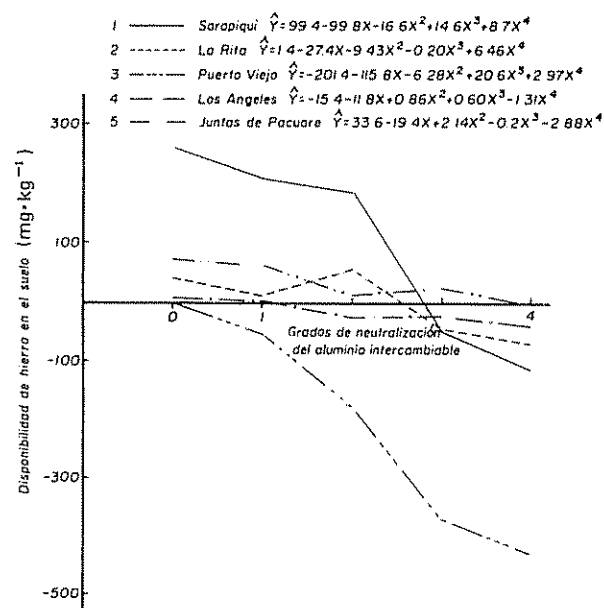


Fig. 5. Variación en el contenido de hierro en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas  
\*  $[\text{Fe}^{+3}]$  determinada luego incubación -  $[\text{Fe}^{+3}]$  inicial.

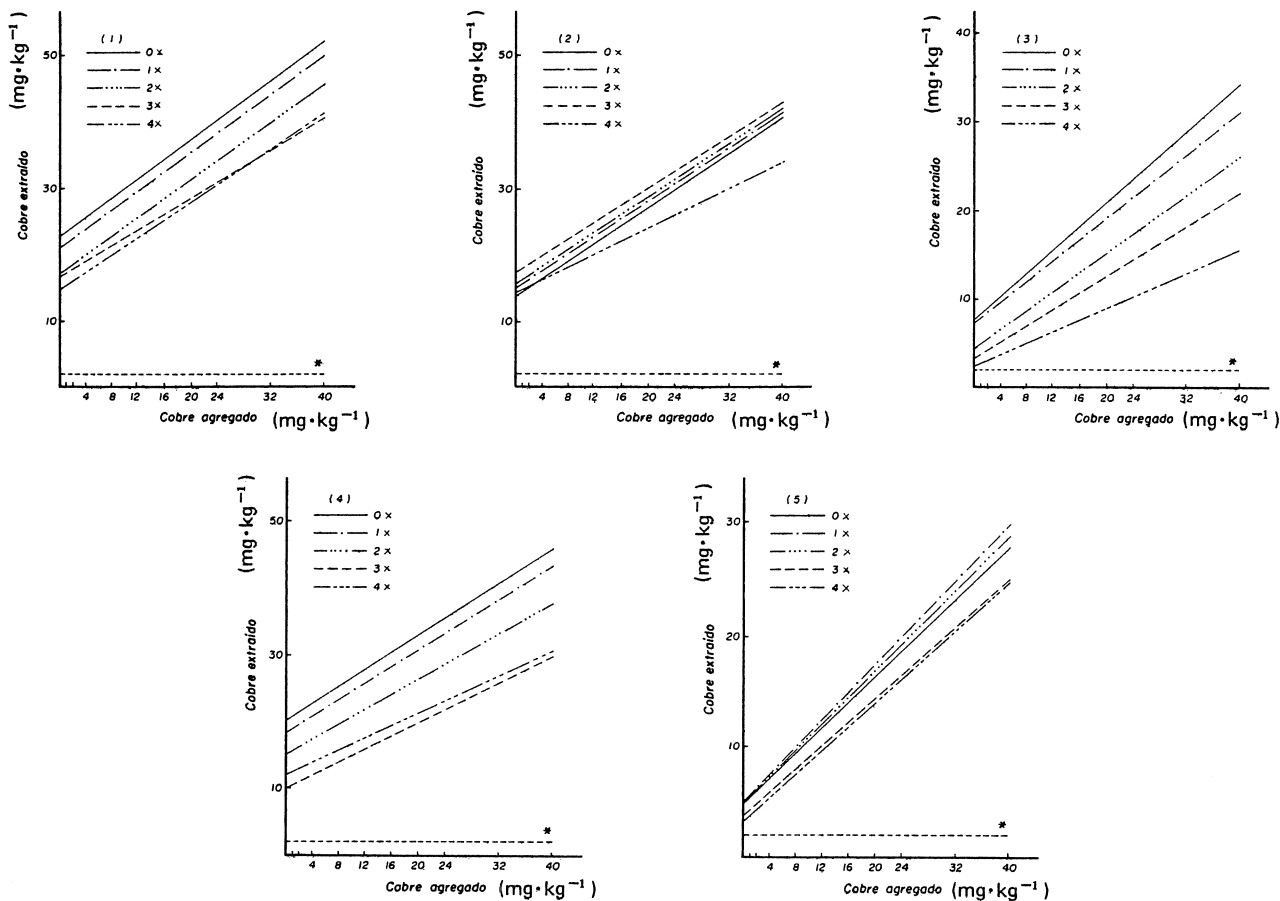


Fig. 6. Curva de sorción para cobre en el suelo Sarapiquí (1), La Rita (2), Puerto Viejo (3), Los Angeles (4) y Juntas de Pacuare (5) para los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable. (0,1,2,3,4x).  
 \*(nivel crítico: 2 mg.kg<sup>-1</sup>).

El suelo Los Angeles presentó un comportamiento similar al suelo anterior. El cobre extraído inicialmente fue de 22, 17, 16, 11 y 12 mg kg<sup>-1</sup> para los tratamientos 0X, 1X, 2X, 3X y 4X, respectivamente.

En el suelo Juntas de Pacuare, se observó una mayor disponibilidad del elemento al aplicar las menores cantidades de CaCO<sub>3</sub> llegando a valores de 5 mg kg<sup>-1</sup> en su valor inicial, a excepción del tratamiento 0X el cual presentó menor cantidad de Cu extraída que los tratamientos 1X y 2X. La variación en la disponibilidad del elemento entre tratamientos inicialmente, no fue mayor de 2 mg kg<sup>-1</sup> superando, en todos los casos, el nivel crítico empleado (2 mg kg<sup>-1</sup>).

Estos suelos muestran una tendencia lineal positiva en la sorción del cobre puesto que, al agregar mayor cantidad del elemento, se extrae mayor cantidad del mismo.

La Fig. 7 presenta las diferencias obtenidas entre la concentración de Cu posterior al período de in-

cubación y la concentración inicial del elemento. Con respecto al valor inicial, se obtuvo un aumento en la cantidad del elemento al aplicarse CaCO<sub>3</sub> en los suelos 1 y 2 llegando a valores promedio de 19 y 16 mg kg<sup>-1</sup> en tanto que los suelos 4 y 5 mostraron una disminución con respecto al valor inicial en el tratamiento 3X (15 y 5 mg kg<sup>-1</sup> para cada suelo respectivamente); en el suelo 3 este descenso ocurrió a partir del tratamiento 1X que presentó un valor de 9 mg kg<sup>-1</sup>. La máxima concentración de Cu se encontró en el tratamiento 0X con valores de 20, 9 y 7 mg kg<sup>-1</sup> para los suelos 1, 3 y 5 respectivamente; en el tratamiento 1X, 20 mg kg<sup>-1</sup> para el suelo 4 y en el tratamiento 3X, 19 mg kg<sup>-1</sup> para el suelo 2 (Cuadro 1).

**Zinc**

La Fig. 8 presenta el comportamiento del zinc ante de las diferentes dosis de CaCO<sub>3</sub> aplicadas, en los cinco suelos estudiados.

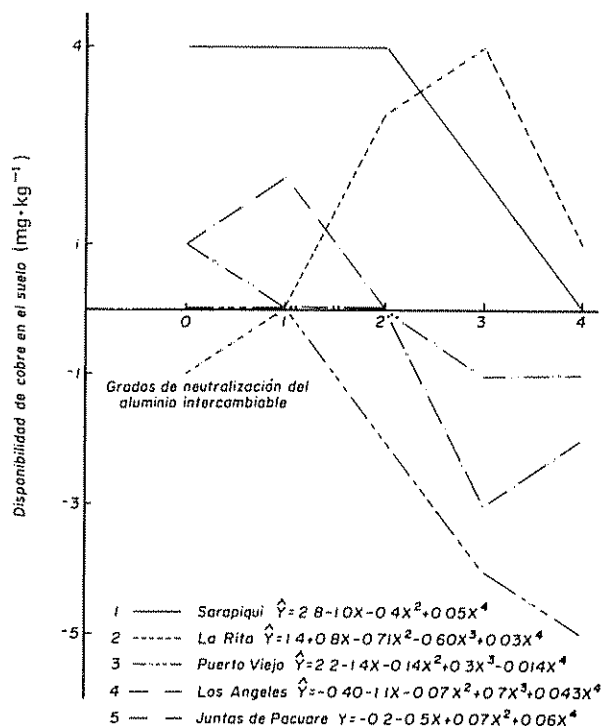


Fig. 7. Variación en el contenido de cobre en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas  
 \*  $[\text{Cu}^{++}]$  determinada luego incubación -  $[\text{Cu}^{++}]$  inicial

En el suelo Sarapiquí, hubo menor extracción de Zn conforme se aumentó la cantidad de cal. A excepción del tratamiento 0X, el cual presentó la mayor cantidad de zinc extraído inicialmente ( $4.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ), los demás tratamientos presentaron valores iniciales inferiores al nivel crítico empleado ( $4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), siendo necesario agregar 1.4; 6.5; 7.0 y  $7.0 \text{ mg kg}^{-1}$  para alcanzar dicho nivel en los tratamientos 1X, 2X, 3X y 4X, respectivamente.

En el suelo La Rita se encontró una menor disponibilidad del elemento al aumentar el nivel de neutralización. Para todos los tratamientos se obtuvo una concentración inicial del elemento inferior al nivel crítico empleado ( $4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), siendo en el tratamiento 4X en el que se extrajo menor cantidad de Zn.

En el suelo Puerto Viejo se observó una menor disponibilidad del elemento al aumentarse la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  empleada. Solamente en los tratamientos 0X y 1X, la cantidad inicial de zinc extraído fue superior al nivel crítico establecido ( $4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), en tanto que para los tratamientos 2X, 3X y 4X se agregaron 6, 10 y  $14 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn para alcanzar dicho nivel.

En el suelo Juntas de Pacuare se obtuvo menor disponibilidad del elemento al aumentar el nivel de

neutralización del aluminio intercambiable. A excepción del tratamiento 0X, el cual presentó la mayor cantidad de zinc extraído en su valor inicial ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), los demás tratamientos presentaron valores iniciales inferiores al nivel crítico ( $4 \text{ mg kg}^{-1}$ ), necesitando agregar 4, 6, 10 y  $12 \text{ mg kg}^{-1}$  de zinc para alcanzar dicho nivel, en los tratamientos 1X, 2X, 3X y 4X, respectivamente.

La Fig. 9 presenta las diferencias obtenidas entre las concentraciones de zinc posteriores al periodo de incubación y la concentración inicial de este elemento. Con respecto al valor inicial, se obtuvo una disminución en la cantidad del elemento al aplicarse  $\text{CaCO}_3$  a partir del tratamiento 1X en los suelos 3 y 4, determinándose valores de  $4.3$  y  $3.8 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. En los suelos 2 y 5, esta disminución se presentó a partir del nivel 2X de encalado, con valores de  $3.4$  y  $2.2 \text{ mg kg}^{-1}$  del elemento para cada suelo. El suelo 1 presentó un descenso en el contenido de Zn a partir del nivel 3X de neutralización, en el cual se obtuvo un valor de  $2.2 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  (Cuadro 1).

El suelo 3 presentó la mayor variación entre niveles de encalado en la concentración de zinc, en tanto que los otros suelos no mostraron diferencias apreciables en el contenido del elemento entre tratamientos, por efecto de la aplicación de cal. Este hecho se puede explicar debido a que la mayor concentración de zinc nativo en el suelo ( $5.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ) se obtuvo en dicho suelo.

Con respecto al zinc y al cobre, la menor disponibilidad observada a partir del nivel 2X de neutralización, se podría explicar por la adsorción de estos elementos a las superficies de los sesquióxidos predominantes en estos suelos ya que, al aumentar el pH en un sistema con predominio de cargas dependientes de éste, hay un incremento de las cargas negativas, lo cual aumenta el número de sitios donde el zinc y el cobre pueden ser adsorbidos, como lo han encontrado varios autores (5, 12, 18).

### Manganeso

La Fig. 10 muestra el efecto de las dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas sobre el comportamiento del manganeso, en los cinco suelos estudiados.

El suelo Sarapiquí mostró un descenso en la disponibilidad del elemento al aumentar el grado de neutralización del aluminio intercambiable. Solamente los tratamientos 0X y 1X mostraron valores extraídos de Mn que eran superiores al nivel crítico empleado ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en tanto que, para alcanzar dicho nivel en los tratamientos 2X, 4X y 3X, fue necesario agre-



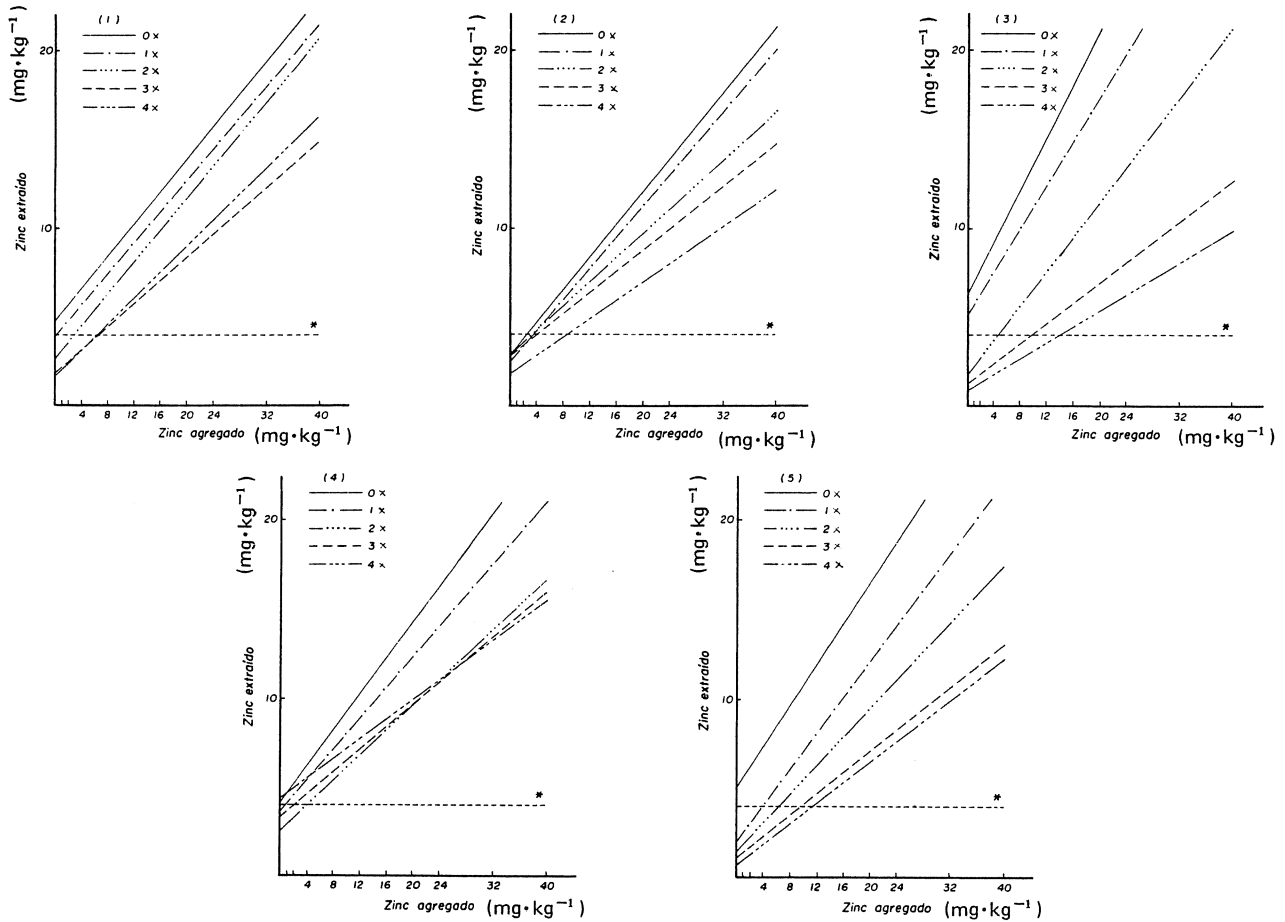


Fig. 8. Curva de sorción para zinc en el suelo Sarapiquí (1), La Rita (2), Puerto Viejo (3), Los Angeles (4) y Juntas de Pacuare (5) para los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable. (0,1,2,3,4x).  
\*(nivel crítico: 4 mg·kg<sup>-1</sup>).

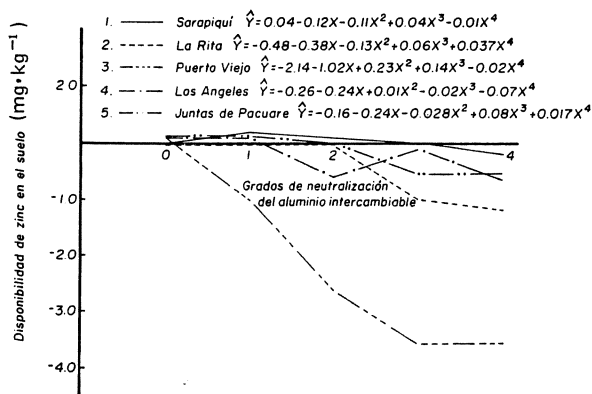


Fig. 9. Variación en el contenido de zinc en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de CaCO<sub>3</sub> aplicadas.  
\* [Zn<sup>++</sup>] determinada luego incubación - [Zn<sup>++</sup>] inicial.

gar 5, 20 y 30 mg kg<sup>-1</sup> del elemento, respectivamente.

En el suelo La Rita al aplicar CaCO<sub>3</sub> se observó un drástico descenso en la disponibilidad del Mn. En todos los tratamientos se extrajo una cantidad de Mn superior al nivel crítico empleado (5 mg kg<sup>-1</sup>), variando las cantidades extraídas inicialmente entre 7 y 86 mg kg<sup>-1</sup>; los tratamientos 3X y 2X fueron los que presentaron la menor cantidad de manganeso extraída.

En el suelo Puerto Viejo, el descenso en la cantidad de Mn extraída varió notoriamente con respecto al nivel de neutralización del aluminio intercambiable. Los tratamientos 0X, 1X y 2X sobrepasan el nivel crítico empleado (5 mg kg<sup>-1</sup>) en tanto que, para alcanzar dicho nivel en los tratamientos 3X y 4X, se agregó 2.5 y 40 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, respectivamente,

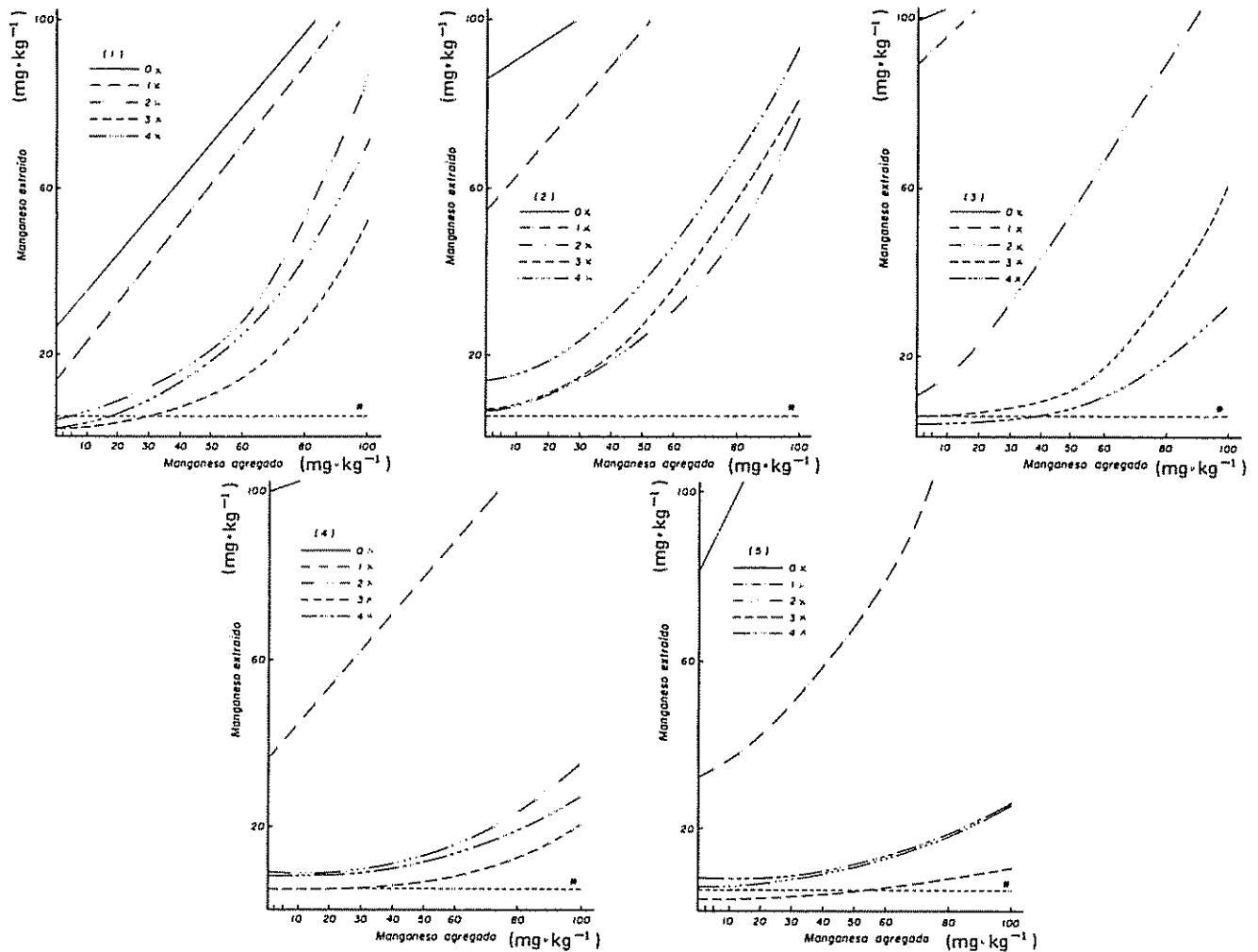


Fig. 10 Curva de sorción para manganeso en el suelo Sarapiquí (1), La Rita (2), Puerto Viejo (3), Los Angeles (4) y Juntas de Pacuare (5) por los diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable. (1,2,3,4x).  
\* (nivel crítico: 5 mg kg<sup>-1</sup>).

siendo el tratamiento 4X el que presentó la menor disponibilidad del elemento.

El suelo Los Angeles mostró un descenso marcado en la disponibilidad del Mn al aumentarse la cantidad aplicada de CaCO<sub>3</sub>. En todos los tratamientos, se extrajo una cantidad de manganeso superior al nivel crítico empleado (5 mg kg<sup>-1</sup>), variando las cantidades extraídas inicialmente entre 5 y 100 mg kg<sup>-1</sup>; el tratamiento 3X fue el que presentó la menor cantidad del elemento extraído.

El suelo Juntas de Pacuare, al agregar CaCO<sub>3</sub>, presentó menor disponibilidad del elemento. A excepción del tratamiento 3X, en todos los tratamientos se extrajo cantidades de Mn superiores al nivel crítico (5 mg kg<sup>-1</sup>). Para alcanzar este nivel en el tratamiento 3X, fue necesario agregar 30 mg kg<sup>-1</sup> del elemento.

La Fig. 11 presenta las diferencias obtenidas entre las concentraciones de Mn posteriores al periodo de incubación y la concentración inicial de este elemento. Al incrementar las dosis de CaCO<sub>3</sub> en los suelos estudiados, se obtuvo una disminución con respecto al valor inicial en la cantidad del elemento; la máxima cantidad de manganeso se encontró en el tratamiento 0X para todos los suelos, variando este valor entre 14 y 85 mg Mn kg<sup>-1</sup> (Cuadro 1).

La disminución drástica en la disponibilidad del Mn —tendencia general observada en los cinco suelos— puede ser explicada por el incremento en el potencial de oxidación causado por el aumento en la concentración de bases (aumento en el pH) (3), lo cual provocó que el manganeso pasara a formas oxidadas poco disponibles, en vista de que la disponibilidad de este elemento depende de la actividad del Mn divalente en la solución del suelo (17). El hecho de que en los suelos de Sarapiquí y de Puerto

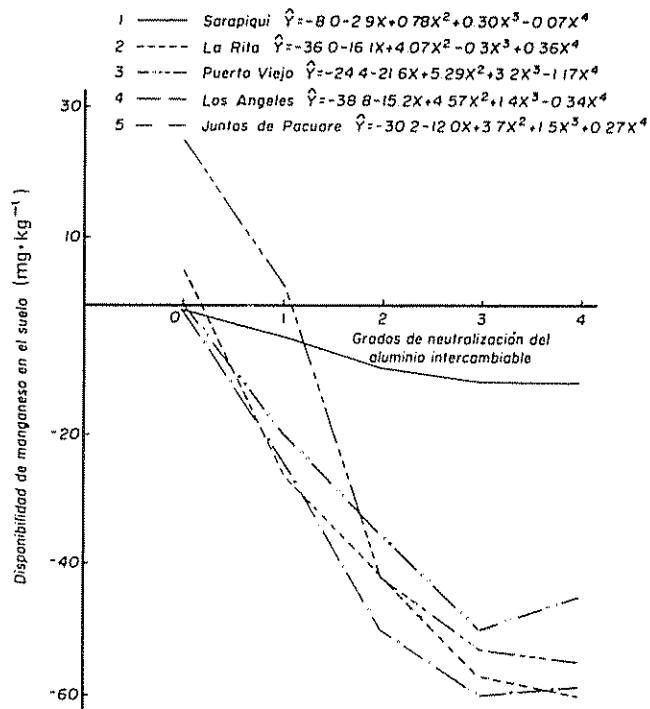


Fig. 11 Variación en el contenido de manganeso en cinco suelos ácidos de Costa Rica por efecto de dosis crecientes de  $\text{CaCO}_3$  aplicadas  
 \*  $[\text{Mn}^{++}]$  determinada luego incubación -  $[\text{Mn}^{++}]$  inicial

Viejo, la cantidad de Mn extraída —a partir del nivel 1X en el primero y en el nivel 3X en el segundo suelo— fuera menor que el nivel crítico empleado señala posibles deficiencias del elemento en los tratamientos con las mayores dosis de cal, puesto que el manganeso —según lo encontrado por Kamprath (10) en Ultisoles— cuando se alcanzan valores de pH cercanos a 6.0, tiende a precipitar en presencia de óxidos de hierro y de aluminio.

CONCLUSIONES

En los cinco ultisoles evaluados se observó la misma tendencia de fijación de nutrimentos, siendo el fósforo el elemento que mostró la mayor fijación debido a las características predominantemente ácidas de estos suelos. El bajo contenido inicial del fósforo, conjuntamente con los altos porcentajes de retención inducido por los óxidos de hierro y aluminio presentes en esos suelos, hacen que este elemento sea un factor limitante fundamental en la fertilidad de estos suelos. Cabe destacar que la sola aplicación de cal no es suficiente para mejorar el nivel de fertilidad de los suelos estudiados; además, es indispensable el uso adecuado de fertilizantes, especialmente en lo que a fósforo se refiere, para obtener resultados óptimos en la productividad de estos suelos.

Se constató fijación de sulfatos en los cinco suelos, principalmente cuando se aplicaron más de 100 mg  $\text{kg}^{-1}$  de azufre, dado que, aunque se incrementa la cantidad de S agregado, la extracción del elemento no sufre modificaciones. A pesar de ello, cabe señalar que, en términos generales, el azufre al igual que el boro, mostraron tener un buen suministro en los cinco suelos debido probablemente a las altas cantidades nativas de dichos elementos en estos suelos.

La disponibilidad de hierro, cobre, zinc y manganeso disminuyó conforme se aumentó el nivel de neutralización del aluminio intercambiable; no obstante, el contenido de estos elementos siempre fue mayor que el nivel crítico empleado en cada caso, no constituyéndose en elementos limitantes en estos suelos.

LITERATURA CITADA

- 1 AMARASIRI, S.L.; OLSEN, R.L. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil Science Society of America Proceedings 37:716-721.
- 2 AWAN, A.B. 1965. Efecto de la cal en la disponibilidad de fósforo en los suelos de El Zamorano Ceiba (Honduras) 10:62-67.
- 3 CHAVARRIA, A.; CORDERO, A. 1987. Encalado de ultisoles en Costa Rica. I. Metodología, pH, acidez intercambiable y cationes (K, Ca, Mg). Turrialba 37(1):1-8.
- 4 DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos. Análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 62 p. (mimeografiado)
- 5 ELLIS, B.G.; KNEZEK, B.D. 1972. Adsorption reaction of micronutrients in soil. In Micronutrients in Agriculture Ed by Mortvedt, J.J.
- 6 FASSBENDER, 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 FASSBENDER, H.W.; ROLDAN, J.A. 1973. Formas y equilibrios de manganeso en suelos de América Central. Turrialba (Costa Rica) 23:30-36.
- 8 GONZALEZ, M.; GONZALEZ, M.A. 1982. Efecto de la fuente de Ca y la fertilización con sulfatos y cloruros en la disponibilidad del fósforo en un suelo ácido de Costa Rica. Agronomía Costarricense 6(1/2):11-26.
- 9 IGUE, K.; FUENTES, R.; BORNEMISZA, E. 1971. Mineralización de P-orgánico en suelos ácidos de Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 21:47-52.
- 10 KAMPRATH, E.J. 1971. Potential detrimental effect from liming weathered soils to neutrality. Soil and Crops Science Society of Florida Proceedings 31:200-203.

11. LAIHWELL, D.J. 1979. Phosphorus response on Oxisols and Ultisols. Cornell International Agriculture Bulletin No. 33. 40 p.
12. LINDSAY, W.L. 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In *Micronutrients in Agriculture* Ed. by Mortvedt, J.J., Giordano, P.M. and Lindsay, W.L. Soil Science Society of America Inc. Madison.
13. PARFITT, R.L.; SMART, R.S.C. 1978. The mechanism of sulfate adsorption on iron oxides. *Soil Science Society of America Journal* 42:48-50.
14. PEARSON, R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell International Agriculture Bulletin No. 30.
15. PETERSON, L.A.; NEWMAN, R.C. 1976. Influence of soil pH on the availability of added boron. *Soil Science Society of America Journal* 40:280-282.
16. QUIROS, S.; GONZALEZ, M. 1979. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 3:137-149.
17. SANCHEZ, P. 1976. Properties and management of soils in the tropics. New York. John Wiley, Inc. p. 135-155, 223-253.
18. SHUMAN, L.M. 1975. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 39:454-458.
19. WHITE, R.P. 1970. Effects of lime upon soil and plant manganese levels in an acid soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:625-629.

## Notas y comentarios

### Huertos enyerbados tienen menos plagas

Cultivos de cobertura que crezcan entre los árboles de manzanas pueden tener un efecto beneficioso (desde el punto de vista del fruticultor) sobre las poblaciones de plagas existentes en el lugar. Estos efectos han sido estudiados recientemente en tres zonas del norte de California (Sebastopol, Santa Cruz, y Courtland) por dos científicos de la División de Control Biológico de la Universidad de California, en Riverside.

Miguel Altieri y Linda Schmidt compararon huertos con varios cultivos de cobertura, como "bell beans" (*Phaseolus*), "Lana vetch" (*Vicia villosa*), centeno, varios tréboles y malas yerbas mezcladas, o las mantuvieron limpias mediante pasadas de cultivadoras de discos. Entonces, muestrearon y contaron los insectos fitófagos y sus enemigos naturales, y también estimaron los niveles de depredación, colocando tarjetas con huevos o larvas de insectos pegadas a ellas y colectándolas de los árboles en las que las habían puesto, 24 horas después (*Californian Agriculture*, vol. 40, p. 15).

Los árboles con cultivos de cobertura tenían, en general, niveles más bajos de infestación por plagas tales como áfidos, saltahojas, y la mariposa (*Carpocapsa pomonella*, más especies e individuos de depredadores que viven en el suelo, y más depredación real, evidenciada por una mayor eliminación de las presas introducidas artificialmente. Por otra parte, los huertos limpios de malezas y de otras plantas distintas al frutal tenían más insectos fitófagos sobre los árboles, y bajas poblaciones de sus enemigos naturales.

Una razón para esto es que los cultivos de cobertura suministraban alimento y abrigo para tales presas como los áfidos y saltahojas, y éstos a su vez atraían a los depredadores. Además, las varias especies de cultivos de cobertura parecían diferir en su potencial como reservorios de valiosos enemigos naturales de las plagas, con las leguminosas de larga floración comportándose mejor.

Lo que se necesita ahora es una manera confiable de asegurar que los depredadores que están en los cultivos de cobertura se movilicen hasta los árboles para efectuar un eficaz control biológico de las plagas... y aquí puede considerarse la posibilidad de segar esta cobertura en un momento cuidadosamente escogido. A.G.