

## NEUTRALIZACION DEL ALUMINIO CAMBIABLE EN DIEZ SUELOS DE SAN CARLOS Y SARAPIQUI, COSTA RICA<sup>1</sup> \*

Luis G. González\*\* y Miguel A. González\*\*

### ABSTRACT

**Neutralization of exchangeable aluminum in ten soils of San Carlos-Sarapiquí, Costa Rica.** Ten representative acid soils from San Carlos-Sarapiquí, Costa Rica, were incubated during ten weeks with increasing levels of lime, according to the content of exchangeable aluminum present in the soils. The exchangeable aluminum content was neutralized with calcium carbonate, in amounts equivalent to 0, 1, 2, 3, and 4 times the original aluminum content extractable with 1 N KCl. After incubation, the soils were fertilized and sorghum (*Sorghum bicolor* Moench L.) seeds were planted.

The liming response was evaluated in terms of the dry matter production, the concentration of various elements in the plants and the variation of chemical properties in the soils.

Liming increased the pH in 0.5 units, the calcium content in 6 meq/100 ml, and base saturation in 20%. A strong decrease in exchangeable aluminum, potassium, iron and manganese was related to liming levels.

Maximum dry matter production of sorghum was obtained when the equivalent aluminum was neutralized 3 to 4 times with calcium carbonate.

### INTRODUCCION

La alta temperatura y precipitación que ocurren en las regiones tropicales de clima húmedo afectan seriamente la productividad de sus suelos, ya que dichos factores provocan una acelerada meteorización y acidificación de éstos.

La acidificación de un suelo es consecuencia de la lixiviación de bases, remoción de cationes por las plantas y la aplicación de fertilizantes de efecto residual ácido (17).

Aparte del efecto directo de la acidez en la infertilidad de los suelos, juegan un papel muy im-

portante los aspectos asociados con la acidificación, tales como la reducción en la disponibilidad de nutrientes esenciales (fósforo, por ejemplo) y el aumento en la solubilidad de otros elementos en cantidades no deseables (aluminio, hierro, manganeso), que pueden ocasionar fitotoxicidad o insolubilizar otros nutrientes a formas no aprovechables (3).

La práctica del encalado surge como una solución a los problemas de infertilidad originados por la acidez y permite además, suplir calcio y eventualmente magnesio, mejorar algunas condiciones físicas y biológicas y aumentar el espacio radical.

Para determinar la necesidad de cal en los suelos del trópico húmedo, se considera más acertado el método de neutralización del aluminio intercambiable, que el de aumentar el pH a un valor dado (22)

<sup>1</sup> Recibido para su publicación el 10 de noviembre de 1980.

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

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

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de diferentes grados de neutralización del aluminio intercambiable por medio de encalado, sobre la fertilidad de diez suelos ácidos de la región San Carlos-Sarapiquí.

### MATERIALES Y METODOS

Se estableció un ensayo en uno de los invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica.

Se tomaron muestras representativas de veinte suelos a una profundidad de 0-30 cm. Estas se analizaron químicamente y se seleccionaron los diez suelos con mayor contenido de aluminio intercambiable (Cuadros 1 y 2).

Una vez seleccionados, los suelos fueron secados al aire, morterizados, tamizados (2 mm) y homogeneizados; luego se aplicaron dosis crecien-

tes de carbonato de calcio correspondientes a 0, 1, 2, 3, y 4 veces la cantidad de aluminio intercambiable extraído con KCl 1 N (Cuadro 3) (14).

Una vez tratados, los suelos se incubaron por un período de diez semanas. En este lapso fueron humedecidos y secados tres veces. Alzado el equilibrio se procedió a agregar fertilizante a los suelos.

Cada suelo recibió una fertilización basada en la metodología sugerida por Hunter (13).

El diseño experimental usado fue de bloques al azar en arreglo irrestrictamente al azar con 10 suelos, 5 niveles de encalado y 3 repeticiones.

Posteriormente a la incubación y fertilización inicial se procedió a sembrar veinte semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) por maceta como planta indicadora del efecto del encalado, debido a su susceptibilidad a la acidez y a su rápido crecimiento (19). Posteriormente se arraló a 10 plantas.

Cuadro 1. Ubicación y clasificación de los suelos en estudio

Suelo	Ubicación	Clasificación*
1	Huerta de la Escuela de Veracruz, Pital, San Carlos.	Typic Tropohumult
2	Finca de Víctor Chavarría, Pital, San Carlos, dedicada al cultivo de la piña.	Typic Tropohumult
3	Huerta de la Escuela de Venecia, San Carlos.	Andic Humitropept
4	Finca de Emilio Vargas, Venecia, San Carlos, dedicada al cultivo del café.	Andic Humitropept
5	Finca de Daniel Arrieta, Venecia, San Carlos, dedicada a cítricos.	Typic Humitropept
6	Finca de Antonio Segura, Sarapiquí.	Typic Humitropept
7	Finca de Oriol Oconitrillo, Sarapiquí, dedicada al cultivo de plátano y pastos.	Typic Humitropept
8	Finca de Los Aparejos, La Virgen, Sarapiquí, dedicada a pastos.	Typic Tropohumult
9	Finca de Claudio Lara, La Virgen, Sarapiquí, dedicada a pastos.	Aquic Tropohumult
10	Finca de Mario Badilla, Platanares, San Carlos, dedicada a cítricos y pastos.	Fluentic Humitropept

\* Alvarado, A. Comunicación Personal.

Cuadro 2. Algunas características físicas y químicas de los suelos en estudio

Características	Suelos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	5,3	5,1	5,2	5,0	5,0	4,9	4,6	5,1	5,1	5,2
P ug/ml*	6	4	6	4	6	5	8	6	6	5
K meq/100 ml	0,13	0,52	0,35	0,26	0,19	0,29	0,26	0,93	0,19	0,41
Ca meq/100 ml	5,0	3,0	2,0	1,0	2,0	1,5	1,5	3,0	1,0	2,5
Mg meq/100 ml	1,2	1,0	0,8	0,4	0,7	0,8	0,7	2,3	0,5	1,6
Ca/Mg	4,2	3,0	2,5	2,5	2,9	0,2	2,1	1,3	2,0	1,6
Mg/K	9,2	1,9	2,3	1,5	3,7	2,8	2,7	2,5	2,6	3,9
100 K/Ca + Mg + K	2,1	11,5	11,1	15,7	6,6	11,2	10,6	14,9	11,2	9,1
Al meq/100 ml	1,50	1,70	1,70	0,80	1,40	2,10	1,10	2,10	1,80	1,50
C.I.C. meq/100 ml**	7,83	6,22	4,85	2,46	4,29	4,69	3,56	8,33	3,49	6,01
Sat. Bases %	81	73	65	67	67	55	69	75	48	75
Sat. con Al %	19	27	35	33	33	45	31	25	52	25
Fe ug/ml	152	102	114	106	102	182	276	134	290	142
Cu ug/ml	23	20	6	5	16	17	17	7	18	17
Zn ug/ml	13,8	4,6	3,6	2,6	4,0	3,4	2,6	3,6	2,8	4,2
Mn ug/ml	113	98	39	42	59	35	59	105	60	102
Materia orgánica %	12,5	12,5	12,8	12,7	12,6	12,5	12,9	12,6	12,6	12,5
Arena %	23	25	35	75	51	69	23	33	62	19
Arcilla %	68	36	26	6	30	26	54	30	36	40
Limo %	9	39	39	19	19	5	23	37	2	41
Nombre textural	arcilloso	franco arcilloso	franco arcilloso	franco arenoso	franco arcillo-arenoso	franco arcillo-arenoso	arcilloso	franco arcilloso	arcillo-arenoso	arcillo-limoso

\* Extraído con solución Olsen modificada (Na H CO<sub>3</sub> 0,5M) (13).

\*\* Obtenida por la suma de los cationes Ca, Mg, K y Al.

Cuadro 3. Aluminio intercambiable y dosis de neutralización de aluminio usadas en el experimento.

Suelo	Al intercambiable meq/100 ml	Grado de neutralización		CaCO <sub>3</sub> Kg/Ha*
		meq/100 ml		
1	1,5	0	0	0
		1	1,5	1500
		2	3,0	3000
		3	4,5	4500
		4	6,0	6000
2	1,7	0	0	0
		1	1,7	1700
		2	3,4	3400
		3	5,1	5100
		4	6,8	6800
3	1,7	0	0	0
		1	1,7	1700
		2	3,4	3400
		3	4,1	5100
		4	6,8	6800
4	0,8	0	0	0
		1	0,8	800
		2	1,6	1600
		3	2,4	2400
		4	3,2	3200
5	1,4	0	0	0
		1	1,4	1400
		2	2,8	2800
		3	4,2	4200
		4	5,6	5600
6	2,10	0	0	0
		1	2,10	2100
		2	4,2	4200
		3	6,3	6300
		4	8,4	8400

(Continúa)

(Continuación de Cuadro 3)

Suelo	Al intercambiable meq/100 ml	Grado de neutralización	meq/100 ml	CaCO <sub>3</sub> Kg/Ha*
		0	0	0
7	1,1	1	1,1	1100
		2	2,2	2200
		3	3,3	3300
		4	4,4	4400
		0	0	0
8	2,1	1	2,1	2100
		2	4,2	4200
		3	6,3	6300
		4	8,4	8400
		0	0	0
9	1,8	1	1,8	1800
		2	3,6	3600
		3	5,4	5400
		4	7,2	7200
		0	0	0
10	1,5	1	1,5	1500
		2	3,0	3000
		3	4,5	4500
		4	6,0	6000

\* Se asume el peso de una hectárea de suelo a 0,15 cm de profundidad y una densidad aparente de 1,33 g/cm<sup>3</sup>, que equivale a 2.000.000 kg.

Se mantuvo cada suelo a capacidad de campo, aplicando el agua por capilaridad por medio de filtros de algodón colocados en el fondo de cada maceta y en contacto con platos en los cuales se vertía el agua.

Al cabo de diez semanas se cortaron las plantas a ras del suelo y se determinaron el peso verde y peso seco del tejido foliar y se procedió al análisis químico. También se tomaron muestras de suelo para los respectivos análisis.

El pH se determinó con el potenciómetro Fisher modelo 220 en suspensión acuosa en relación 1:2. El fósforo se extrajo con la solución Olsen modificada y se leyó a 660 u en un espectrofotómetro Coleman modelo 295 (13). El aluminio, calcio y magnesio se extrajeron con cloruro de potasio 1 N. El aluminio se determinó por medio de titulación y el calcio y magnesio por medio de absorción atómica. El potasio, zinc y manganeso se extrajeron con solución Olsen modificada (13). Las determinaciones se hicieron leyendo directamente del extracto en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 103. Se determinó la capacidad de intercambio catiónico por el método de la suma de los cationes calcio, magnesio, potasio y aluminio.

La materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black, basado en la oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado y titulado con sal de Mohr (20).

Las muestras foliares una vez secas, fueron sometidas a digestión húmeda, con una mezcla de metanol, peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico concentrado en relación 11:3:1 y luego se determinaron contenidos de fósforo, potasio, calcio y magnesio, siguiendo las técnicas descritas. El diseño experimental usado fue de bloques en arreglo irrestrictamente al azar con 10 suelos, 5 niveles de encalado y 3 repeticiones.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 4 se presentan los valores de F correspondientes a las diferentes variables evaluadas. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de encalado, entre suelos y entre tratamientos por suelos, para las diferentes variables estudiadas.

### 1. Efecto del encalado sobre algunas características químicas de los suelos.

En el Cuadro 5 se incluyen los resultados analíticos obtenidos para cada suelo en muestras recolectadas después de la prueba de crecimiento. En el Cuadro 6 se muestran las ecuaciones de regresión lineal y cuadrática para cada suelo.

En general la aplicación de cantidades crecientes de cal provocó un aumento en el valor de pH. Con excepción de los suelos 3, 4, 7 y 8 esta

Cuadro 4. Prueba de F correspondiente a los diferentes parámetros evaluados.

Fuente de variación	Análisis de suelo															Prueba Biológica						
	G.L.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg K	Sat. Al	Sat. Bas.	P	K	Ca	Mg	Peso seco	
Repeticiones	2	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Tratamientos	4	82,7 **	29,7 **	103,2 **	169,0 **	13,4 **	430,4 **	67,9 **	14,7 **	82,9 **	94,8 **	240,0 **	15,1 **	18,7 **	192,2 **	192,2 **	2,5 **	9,1 **	26,7 **	3,9 **	93,7 **	
Error (a)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suelo	9	42,88 **	75,6 **	218,3 **	32,3 **	94,6 **	110,1 **	73,8 **	546,8 **	306,0 **	94,0 **	44,2 **	10,6 **	10,8 **	22,9 **	22,9 **	5,0 **	28,9 **	10,3 **	5,4 **	24,6 **	
Tratam x suelo	36	4,0 **	2,4 **	4,3 **	3,1 **	2,0 **	5,6 **	1,9 **	4,0 **	6,7 **	8,1 **	3,9 **	1,9 **	2,5 **	2,9 **	2,9 **	1,7 **	2,7 **	2,6 **	1,6 **	1,8 **	
Error b	98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	149																					

\* Significativo.  
\*\* Altamente significativo.  
N.S. No significativo.

tendencia se mantuvo aún con la última dosis de cal. Este resultado concuerda con lo reportado por Fassbender (8), Braga *et al* (6), Quirós y González (19), Piñeres (18) y Foster (10).

Se encontró una respuesta lineal positiva altamente significativa para nueve de los diez suelos. Hubo respuesta cuadrática altamente significativa en ocho de ellos. El aumento de pH observado fue relativamente bajo, probablemente debido a las cargas variables de los suelos que resultan en un poder Buffer que fue observado previamente para un suelo similar en Costa Rica (4, 15).

En la mitad de los suelos no hubo variaciones de consideración en el contenido de fósforo al incrementar las dosis de cal. La otra mitad presentó una disminución. Resultados similares reportaron Quirós y González (19) y Amarasiri y Olsen (1).

Hubo respuesta lineal y cuadrática negativa altamente significativa en cinco de los suelos.

Tanto el aluminio cambiabile como el porcentaje de saturación de aluminio sufrieron una severa disminución al aumentar la dosis de cal en los diez suelos. En cuatro suelos el nivel 3 de enclado produjo una disminución severa del contenido de aluminio (igual o menor de 0,3 meq/100 ml), mientras que en los otros seis suelos este nivel mantuvo a este elemento en valores arriba de 0,3 meq/100 ml. Los diez suelos presentaron respuesta lineal y cuadrática negativas altamente significativas para las dos variables.

Quirós y González (19), Piñeres (18) Fox *et al* (11) y Kamprath (14) reportaron reducción en el contenido de aluminio al aplicar cal. Borne-misza *et al* (14) encontraron aumentos pequeños en el pH cuando existe una cantidad alta de óxidos e hidróxidos de aluminio en el suelo.

El calcio aumentó de acuerdo a la cantidad de cal aplicada en los diez suelos. Esto se debe a que al adicionar carbonato de calcio, aumenta el contenido de calcio intercambiabile. Resultados similares obtuvieron Quirós y González (19) y Serpa y González (22).

Nueve de los diez suelos presentaron respuesta lineal y cuadrática positivas altamente significativas.

Al aumentar la dosis de cal, el magnesio disminuyó ligeramente. Dicha disminución se debió a la mayor utilización de este elemento como consecuencia del mayor crecimiento vegetal que ocurre al aumentar la dosis de cal. Este resultado concuerda con lo reportado por Quirós y González (19) y Braga *et al* (6).

Solamente tres de los diez suelos presentaron respuesta lineal y cuadrática negativas altamente significativas.

El contenido de potasio disminuyó al aumentar la cantidad de cal aplicada al suelo. No obstante este elemento se aplicó con la fertilización inicial. Resultados similares fueron reportados por Quirós y González (19) y De Kock (7); sin embargo, este último afirma que esto sólo es posible si el

Cuadro 5. Características químicas de los suelos, resultantes de los diversos niveles de encalado

Suelo	Niveles de cal	pH	P ug/ml	K	Ca	Mg	Al	Fe	Cu	Zn	Mn	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg	S. Bas. %	S.Al
				meq/100 ml				ug/ml						K		
1	0	4,9	25	0,27	5,0	1,3	1,0	129	21	11,8	154	3,5	5,4	14,5	86,9	13,1
	1	5,2	25	0,13	7,0	1,5	0,9	112	19	10,0	149	4,4	7,2	62,5	90,9	9,1
	2	5,0	21	0,09	8,0	1,4	0,5	89	17	7,5	216	5,7	9,0	159,0	94,7	5,3
	3	5,2	21	0,12	10,0	1,3	0,3	81	17	7,7	183	7,5	11,5	98,0	97,5	2,5
4	5,3	20	0,10	10,5	1,2	0,2	72	17	7,0	146	9,2	12,7	91,1	98,6	1,4	
2	0	4,6	25	0,40	4,0	1,8	1,7	98	16	5,3	343	2,2	4,3	14,1	77,9	22,1
	1	4,7	24	0,20	5,5	1,8	1,0	95	17	5,9	347	3,3	7,9	32,5	88,2	11,8
	2	5,0	21	0,16	6,5	1,6	0,6	88	17	5,2	233	4,4	10,0	50,5	93,5	6,5
	3	5,2	22	0,12	7,5	1,4	0,3	75	16	5,0	157	5,5	11,8	76,6	96,7	3,3
4	5,4	21	0,15	9,5	1,4	0,2	82	16	4,8	131	6,9	9,3	74,1	98,2	1,8	
3	0	4,4	23	0,52	2,5	2,3	2,8	83	7	7,3	220	1,1	4,5	93,0	66,1	33,9
	1	4,5	25	0,46	5,0	2,3	2,3	74	6	6,8	197	2,2	5,0	15,5	77,2	22,8
	2	4,6	21	0,35	7,0	2,5	1,8	70	6	6,4	180	3,2	6,4	24,3	83,8	16,2
	3	4,9	20	0,15	7,0	2,5	1,2	60	6	5,6	65	4,5	10,1	55,7	87,9	12,1
4	4,9	18	0,18	8,5	1,5	1,0	53	5	4,8	59	5,6	9,3	61,6	91,2	8,8	
4	0	4,6	19	0,44	1,5	1,4	1,3	87	6	5,8	293	1,0	3,1	6,1	72,2	27,8
	1	4,5	16	0,41	2,5	1,4	1,0	76	6	5,3	181	1,2	3,3	9,1	80,2	19,8
	2	4,7	17	0,38	3,0	1,2	1,0	74	5	5,1	167	2,3	3,3	11,1	82,7	17,3
	3	4,8	18	0,36	4,0	1,4	0,6	76	7	5,5	215	3,6	3,9	15,7	90,4	9,6
4	4,7	16	0,35	4,5	1,2	0,5	75	7	5,5	136	3,2	3,3	16,3	91,7	8,3	
5	0	4,3	23	0,34	3,9	1,3	1,2	94	12	4,3	225	2,5	3,9	12,9	79,2	20,8
	1	4,5	20	0,30	4,0	1,2	0,9	100	11	4,1	240	3,2	4,0	16,8	85,6	14,4
	2	4,6	20	0,17	5,0	1,2	0,6	95	12	4,3	204	4,3	5,6	30,4	91,2	8,8
	3	4,7	18	0,12	7,0	1,2	0,3	71	11	3,9	175	6,2	16,1	36,0	96,2	3,8
4	4,8	19	0,14	9,0	1,2	0,2	62	12	4,5	200	7,3	8,8	73,1	98,1	1,9	
6	0	4,5	24	0,50	2,0	1,6	1,7	140	13	5,3	116	1,4	3,1	7,7	71,0	29,0
	1	4,3	25	0,40	4,0	1,7	1,5	129	12	4,9	115	2,4	4,0	14,8	80,2	19,8
	2	4,5	25	0,24	7,0	1,6	0,7	104	12	4,8	58	4,5	6,0	31,5	92,6	7,4
	3	4,7	23	0,16	9,0	1,3	0,4	101	12	4,3	60	6,6	8,3	62,9	96,6	34,0
4	5,0	24	0,15	10,0	1,2	0,3	90	13	4,7	41	8,6	7,9	76,1	97,8	2,2	
7	0	4,5	27	1,12	3,5	2,8	2,3	91	8	7,2	400	1,3	2,4	5,7	77,1	29,9
	1	4,5	26	1,08	5,5	2,6	1,6	74	7	6,7	440	1,2	2,7	8,0	85,0	15,0
	2	4,9	25	0,95	7,0	3,2	1,3	73	7	6,1	333	2,2	3,5	12,6	89,3	10,7
	3	5,0	24	0,72	10,0	2,8	0,7	62	7	5,3	83	3,5	4,0	17,9	95,2	4,8
4	5,0	24	0,79	13,0	3,2	0,3	54	7	5,0	150	4,1	4,3	21,5	98,2	1,8	
8	0	4,3	32	0,21	4,5	1,2	1,2	174	15	10,7	458	3,6	6,0	25,7	82,3	17,7
	1	4,3	34	0,18	3,0	1,2	1,2	161	16	11,0	675	2,3	7,3	24,2	78,0	22,0
	2	4,4	32	0,14	3,5	0,7	0,8	131	14	10,0	408	5,2	5,4	32,2	79,4	20,6
	3	4,8	30	0,09	6,0	1,0	0,5	129	15	9,3	383	4,1	10,3	74,6	93,0	7,0
4	4,4	30	0,10	8,0	1,5	0,3	118	11	8,9	342	6,3	7,7	91,3	95,9	4,1	
9	0	4,3	28	0,47	2,0	1,5	1,3	141	18	8,0	233	1,4	3,1	7,1	74,9	25,1
	1	4,6	28	0,26	4,0	1,5	1,1	124	16	7,0	192	2,2	5,8	21,6	84,4	15,6
	2	5,0	26	0,15	6,5	1,5	0,6	126	15	6,7	192	4,1	9,8	52,2	83,6	6,4
	3	4,4	22	0,10	8,0	1,3	0,4	107	15	6,1	84	6,9	12,4	91,1	96,0	4,0
4	5,2	19	0,26	9,5	1,3	0,2	89	14	5,4	72	7,0	6,7	60,1	98,1	1,9	
10	0	4,4	24	0,56	4,0	2,2	1,4	140	16	5,8	500	1,0	4,1	11,6	82,5	17,5
	1	5,2	23	0,15	5,0	2,0	0,8	125	15	5,0	316	2,3	9,7	48,9	90,5	9,5
	2	5,2	20	0,08	6,5	1,8	0,4	103	14	4,5	119	3,2	24,9	113,3	95,0	5,0
	3	5,1	20	0,11	6,0	1,3	0,2	94	14	4,5	86	3,4	13,0	71,6	92,1	7,9
4	5,3	20	0,10	7,0	1,6	0,1	84	14	4,5	68	5,3	15,0	96,7	98,6	1,4	

contenido de potasio es bajo en el suelo. Bornemisza (4) y Shaw (23) encontraron aumento en el contenido de potasio conforme aumenta la dosis de cal.

Se encontró respuesta lineal y cuadrática negativas altamente significativas para los diez suelos.

Al aumentar la dosis de cal aumentó el por-

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión lineal y cuadrática, valores de R<sup>2</sup> y probabilidades para cada variable de suelo estudiada en función de los niveles de enclado (X).

Suelo	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión cuadrática	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión cuadrática	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad
<b>pH</b>												
1	4,9 + 0,06 X	0,30	*		0,29		5,2 + 1,45 X	0,94	**	4,9 + 1,89 X - 0,11 X <sup>2</sup>	0,95	**
2	4,5 + 0,22 X	0,95	**	4,55 + 0,17 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,96	**	3,9 + 1,35 X	0,94	**	3,9 + 1,11 X + 0,03 X <sup>2</sup>	0,95	**
3	4,3 + 0,14 X	0,82	**	4,37 + 0,17 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,082	**	3,1 + 1,36 X	0,89	**	2,5 + 2,43 X - 0,26 X <sup>2</sup>	0,94	**
4		0,16			0,16		1,5 + 0,80 X	0,94	**	1,3 + 0,99 X - 0,04 X <sup>2</sup>	0,94	**
5	4,3 + 0,12 X	0,95	**	4,31 + 0,19 X - 0,02 X <sup>2</sup>	0,98	**	2,5 + 1,52 X	0,90	**	2,9 + 0,71 X + 0,20 X <sup>2</sup>	0,92	**
6	4,3 + 0,14 X	0,57	**	4,41 - 0,08 X + 0,05 X <sup>2</sup>	0,69	**	2,2 + 2,12 X	0,96	**	1,9 + 2,76 X - 0,15 X <sup>2</sup>	0,97	**
7	4,4 + 0,14 X	0,78	**	4,44 + 0,24 X - 0,24 X <sup>2</sup>	0,82	**	3,2 + 2,33 X	0,88	**	3,8 + 1,10 X + 0,30 X <sup>2</sup>	0,91	**
8	4,2 + 0,10 X	0,44	**	4,36 - 0,15 X + 0,06 X <sup>2</sup>	0,67	**	2,9 + 1,00 X	0,51	**	3,9 - 1,09 X + 0,52 X <sup>2</sup>	0,71	**
9	4,2 + 0,20 X	0,78	**	4,30 + 0,09 X + 0,02 X <sup>2</sup>	0,80	**	2,1 + 1,90 X	0,94	**	1,8 + 2,58 X - 0,16 X <sup>2</sup>	0,95	**
10	4,6 + 0,18 X	0,45	**	4,51 + 0,54 X - 0,09 X <sup>2</sup>	0,62	**	4,1 + 0,85 X	0,30	*		0,30	
<b>ALUMINIO</b>												
<b>Porcentaje de saturación de aluminio</b>												
1	1,0 - 0,22 X	0,88	**	1,1 - 0,27 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,88	**	12,3 - 3,01 X	0,93	**	13,3 - 4,97 X + 0,49 X <sup>2</sup>	0,97	**
2	1,5 - 0,36 X	0,89	**	1,7 - 0,76 X + 0,09 X <sup>2</sup>	0,98	**	18,9 - 4,91 X	0,88	**	21,8 - 10,57 X + 1,41 X <sup>2</sup>	0,99	**
3	2,7 - 0,46 X	0,92	**	2,81 - 0,60 X + 0,03 X <sup>2</sup>	0,92	**	31,1 - 6,12 X	0,90	**	33,7 - 11,36 X + 1,31 X <sup>2</sup>	0,95	**
4	1,3 - 0,20 X	0,84	**	1,3 - 0,25 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,84	**	27,5 - 5,27 X	0,90	**	29,2 - 8,63 X + 0,84 X <sup>2</sup>	0,93	**
5	1,2 - 0,26 X	0,95	**	1,2 - 0,37 X + 0,02 X <sup>2</sup>	0,96	**	19,7 - 4,85 X	0,96	**	21,1 - 7,65 X + 0,70 X <sup>2</sup>	0,97	**
6	1,7 - 0,40 X	0,91	**	1,8 - 0,60 X + 0,04 X <sup>2</sup>	0,92	**	26,5 - 7,01 X	0,90	**	30,0 - 14,06 X + 1,75 X <sup>2</sup>	0,98	**
7	2,2 - 0,48 X	0,94	**	2,2 - 0,55 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,94	**	21,3 - 5,18 X	0,94	**	22,7 - 7,83 X + 0,66 X <sup>2</sup>	0,96	**
8	1,3 - 0,23 X	0,85	**	1,2 - 0,18 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,85	**	22,4 - 4,14 X	0,38	*	18,7 - 3,16 X + 1,82 X <sup>2</sup>	0,48	**
9	1,3 - 0,28 X	0,91	**	1,3 - 0,30 X - 1,02 X <sup>2</sup>	0,92	**	22,3 - 5,81 X	0,89	**	25,4 - 12,04 X + 1,55 X <sup>2</sup>	0,98	**
10	1,2 - 0,31 X	0,87	**	1,4 - 0,69 X - 0,09 X <sup>2</sup>	0,98	**	15,1 - 3,38 X	0,52	**	16,6 - 6,41 X + 0,75 X <sup>2</sup>	0,55	**
<b>POTASIO</b>												
1	0,21 - 0,03 X	0,47	**	0,25 - 0,12 X + 0,02 X <sup>2</sup>	0,72	**	25,0 - 1,46 X	0,77	**	25,0 - 2,06 X + 0,14 X <sup>2</sup>	0,78	**
2	0,32 - 0,05 X	0,66	**	0,39 - 0,18 X + 0,03 X <sup>2</sup>	0,92	**	24,0 - 0,96 X	0,33	*		0,35	
3	0,53 - 0,10 X	0,89	**	0,54 - 0,12 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,90	**	24,0 - 1,57 X	0,71	**	24,0 - 0,33 X - 0,30 X <sup>2</sup>	0,75	**
4	0,43 - 0,02 X	0,52	**	0,44 - 0,04 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,55	**		0,03			0,05	
5	0,33 - 0,05 X	0,72	**	0,35 - 0,08 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,74	**	22,0 - 0,96 X	0,52	**	22,0 - 2,02 X + 0,26 X <sup>2</sup>	0,58	**
6	0,38 - 0,09 X	0,92	**	0,50 - 0,14 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,94	**		0,03			0,20	
7	0,11 - 0,10 X	0,62	**	0,12 - 0,14 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,63	**		0,17			0,33	
8	0,20 - 0,03 X	0,80	**	0,21 - 0,04 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,82	**	33,0 - 0,93 X	0,26	*		0,33	
9	0,36 - 0,05 X	0,31	**	0,48 - 0,28 X + 0,05 X <sup>2</sup>	0,74	**	29,0 - 2,47 X	0,72	**	29,0 - 0,56 X - 0,47 X <sup>2</sup>	0,76	**
10	0,39 - 0,09 X	0,50	**	0,52 - 0,36 X + 0,06 X <sup>2</sup>	0,82	**	23,0 - 1,06 X	0,66	**	24,0 - 2,80 X + 0,43 X <sup>2</sup>	0,81	**
<b>MAGNESIO</b>												
1	1,5 - 0,06 X	0,32	*	1,4 - 0,08 X - 0,03 X <sup>2</sup>	0,47	*	87,7 + 3,01 X	0,93	**	86,7 + 4,97 X - 0,49 X <sup>2</sup>	0,97	**
2	1,8 - 0,11 X	0,80	**	1,8 - 0,10 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,80	**	81,1 + 4,91 X	0,88	**	78,2 + 10,57 X - 1,41 X <sup>2</sup>	0,99	**
3	2,4 - 0,24 X	0,72	**	2,4 - 0,10 X - 0,03 X <sup>2</sup>	0,74	**	68,9 + 6,12 X	0,90	**	66,3 + 11,36 X - 1,31 X <sup>2</sup>	0,95	**
4		0,26			0,26		72,5 + 5,27 X	0,90	**	70,8 + 8,63 X - 0,84 X <sup>2</sup>	0,93	**
5		0,07			0,24		80,3 + 4,85 X	0,96	**	78,9 + 7,65 X - 0,70 X <sup>2</sup>	0,97	**
6	1,7 - 0,10 X	0,54	**	1,6 + 0,07 X - 0,04 X <sup>2</sup>	0,68	**	73,5 + 7,01 X	0,90	**	70,0 + 14,06 X - 1,75 X <sup>2</sup>	0,98	**
7		0,08			0,10		78,7 + 5,18 X	0,94	**	77,3 + 7,83 X - 0,66 X <sup>2</sup>	0,96	**
8		0,04			0,21		77,6 + 4,14 X	0,38	*	81,3 - 3,16 X + 1,82 X <sup>2</sup>	0,48	**
9	1,5 - 0,07 X	0,37	*	1,5 + 0,02 X - 0,02 X <sup>2</sup>	0,44	*	77,7 + 5,81 X	0,89	**	74,6 + 12,04 X - 1,55 X <sup>2</sup>	0,98	**
10	2,1 - 0,19 X	0,31	*		0,34		84,9 + 3,38 X	0,52	**	83,4 + 6,41 X - 0,75 X <sup>2</sup>	0,55	**
<b>CALCIO/MAGNESIO</b>												
1	3,2 + 1,42 X	0,96	**	3,5 + 0,83 X + 0,14 X <sup>2</sup>	0,97	**	5,5 + 1,88 X	0,43	**	5,2 + 2,62 X - 0,18 X <sup>2</sup>	0,44	*
2	2,9 + 1,19 X	0,98	**	2,1 + 0,75 X + 0,11 X <sup>2</sup>	0,99	**	5,9 + 1,36 X	0,47	**	4,2 + 4,87 X - 0,87 X <sup>2</sup>	0,74	**
3	1,0 + 1,13 X	0,98	**	1,0 + 1,05 X + 0,02 X <sup>2</sup>	0,98	**	4,1 + 1,48 X	0,68	**	4,0 + 1,57 X - 0,02 X <sup>2</sup>	0,68	**
4	1,0 + 0,70 X	0,95	**	1,0 + 0,63 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,95	**		0,11			0,18	
5	2,0 + 1,32 X	0,98	**	2,2 + 1,06 X + 0,06 X <sup>2</sup>	0,98	**	4,8 + 14,00 X	0,18	**		0,19	
6	1,0 + 1,86 X	0,97	**	1,2 + 1,32 X + 0,13 X <sup>2</sup>	0,98	**	0,9 + 18,82 X	0,70	**	5,0 + 10,64 X - 2,03 X <sup>2</sup>	0,71	**
7	1,2 + 0,72 X	0,88	**	1,3 + 0,39 X + 0,08 X <sup>2</sup>	0,89	**	4,5 + 4,16 X	0,61	**	5,4 + 2,44 X - 0,43 X <sup>2</sup>	0,62	**
8	3,0 + 0,86 X	0,40	*	3,3 - 0,31 X + 0,29 X <sup>2</sup>	0,47	*		0,12			0,12	
9	1,1 + 1,68 X	0,97	**	1,1 + 1,58 X + 0,02 X <sup>2</sup>	0,97	**	4,3 + 1,38 X	0,27	*		0,61	
10	2,0 + 0,73 X	0,50	*	2,0 + 0,34 X + 0,09 X <sup>2</sup>	0,51	*		0,19		3,4 + 12,09 X - 2,34 X <sup>2</sup>	0,40	*
<b>CALCIO + MAGNESIO/POTASIO</b>												
1		0,13			0,32		125 - 14,62 X	0,89	**	130 - 23,74 X + 2,27 X <sup>2</sup>	0,92	**
2	16,6 + 16,42 X	0,80	**	11,6 + 26,60 X - 2,45 X <sup>2</sup>	0,83	**		0,23			0,24	
3		0,01		82,0 - 56,58 X + 13,58 X <sup>2</sup>	0,62	**	83 - 7,28 X	0,94	**	82 - 6,74 X - 0,13 X <sup>2</sup>	0,94	**
4	6,2 + 2,69 X	0,86	**	5,9 + 3,34 X + 0,16 X <sup>2</sup>	0,86	**	82 - 2,46 X	0,40	**	85 - 8,80 X + 1,58 X <sup>2</sup>	0,63	**
5	5,8 + 14,00 X	0,58	**	14,3 + 2,26 X + 4,18 X <sup>2</sup>	0,65	**	103 - 9,36 X	0,44	**	96 + 4,77 X + 3,52 X <sup>2</sup>	0,54	**
6	0,9 + 18,82 X	0,86	**	5,0 + 10,64 X + 2,03 X <sup>2</sup>	0,87	**	138 - 12,82 X	0,94	**	141 - 18,29 X + 1,36 X <sup>2</sup>	0,94	**
7	4,5 + 4,16 X	0,82	**	5,4 + 2,44 X + 0,43 X <sup>2</sup>	0,84	**	88 - 8,88 X	0,82	**	88 - 11,02 X + 0,53 X <sup>2</sup>	0,82	**
8	13,2 + 18,19 X	0,74	**	23,4 - 1,98 X + 5,03 X <sup>2</sup>	0,82	**	172 - 14,35 X	0,67	**	176 - 23,66 X + 2,33 X <sup>2</sup>	0,69	**
9	11,1 + 17,67 X	0,73	**	0,9 + 41,46 X - 5,93 X <sup>2</sup>	0,62	**	142 - 12,09 X	0,65	**	137 - 5,02 X - 1,76 X <sup>2</sup>	0,67	**
10	29,7 + 19,31 X	0,39	*	10,6 + 57,09 X - 9,42 X <sup>2</sup>	0,51	**	137 - 14,42 X	0,85	**	141 - 21,43 X + 1,74 X <sup>2</sup>	0,87	**
<b>HIERRO</b>												

(Continuación de Cuadro 6)

Suelo	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión cuadrática	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión cuadrática	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad
<b>MANGANESO</b>												
1		0,04			0,06		11 - 1,09 X	0,84	**	11 - 2,21 X + 0,28 X <sup>2</sup>	0,92	**
2	365 - 61,61 X	0,83	**	362 - 56,03 X - 1,39X <sup>2</sup>	0,83	**	5 - 0,19 X	0,33	*	5 + 0,09 X - 0,07 X <sup>2</sup>	0,39	*
3	235 - 45,40 X	0,85	**	226 - 25,66 X - 4,92X <sup>2</sup>	0,86	**	7 - 0,62 X	0,91	**	7 - 0,29 X - 0,08 X <sup>2</sup>	0,94	**
4		0,17			0,20		6 - 0,11 X	0,27	*		0,36	
5	233 - 11,69 X	0,28	*		0,28			0,01			0,06	
6	119 - 20,67 X	0,68	**	123 - 27,69 X + 1,74X <sup>2</sup>	0,69	**	5 - 0,18 X	0,61	**	5 - 0,47 X + 0,07 X <sup>2</sup>	0,74	**
7	453 - 76,03 X	0,77	**	426 - 21,56 X - 13,58X <sup>2</sup>	0,80	**	7 - 0,58 X	0,78	**	7 - 0,68 X + 0,02 X <sup>2</sup>	0,78	**
8	558 - 52,70 X	0,39	**	519 + 26,07 X - 19,64X <sup>2</sup>	0,46	*	11 - 0,50 X	0,55	**	11 - 0,22 X - 0,78 X <sup>2</sup>	0,56	**
9	240 - 43,19 X	0,87	**	233 - 29,33 X - 3,45X <sup>2</sup>	0,88	**	8 - 0,60 X	0,79	**	8 - 0,66 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,79	**
10	437 - 109,62 X	0,83	**	509 - 25,30 X - 3,58X <sup>2</sup>	0,96	**	5 - 0,31 X	0,71	**	6 - 0,87 X + 0,13 X <sup>2</sup>	0,91	**
<b>ZINC</b>												
<b>COBRE</b>												
1	20 - 1,06 X	0,71	**	21 - 2,80 X + 0,43 X <sup>2</sup>	0,87	**						
2		0,01			0,08					* significativo al 5 %		
3	7 - 0,46 X	0,73	**	7 - 0,27 X - 0,04 X <sup>2</sup>	0,74	**						
4		0,20		6 - 0,88 X + 0,28 X <sup>2</sup>	0,53	*				** significativo al 1 %		
5		0,04			0,04							
6		0,01			0,34							
7	7 - 0,20 X	0,41	*	0,8 - 0,58 X + 0,09 X <sup>2</sup>	0,53	**						
8		0,01			0,04							
9	17 - 0,90 X	0,54	**	18 - 2,15 X + 0,31 X <sup>2</sup>	0,62	**						
10	15 - 0,46 X	0,56	**	16 - 1,43 X + 0,24 X <sup>2</sup>	0,76	**						

centaje de saturación de bases. Resultados semejantes reportaron Piñeres (18) y Serpa y González (22).

Los diez suelos presentaron respuesta lineal y cuadrática positivas altamente significativas.

El contenido de hierro disminuyó conforme aumentó la dosis de cal. Este resultado concuerda con lo reportado por numerosos autores (7, 9, 12, 19, 21, 25). Nueve de los diez suelos presentaron respuesta lineal y cuadrática negativas altamente significativas.

El manganeso tiende a bajar conforme aumenta la cantidad de cal aplicada en los diez suelos. Seatz y Jurinak (21), Sherman (24) y Quirós y González (19) reportan el mismo comportamiento.

En seis de los suelos se encontró respuesta lineal y cuadrática negativa altamente significativa.

El zinc mostró una tendencia a disminuir conforme aumentó la cantidad de cal aplicada al suelo. Ocho suelos mostraron respuesta lineal y cuadrática negativa altamente significativa. Seatz (21), Sherman (24) reportan resultados semejantes lo mismo que para cobre. En el presente estudio no hubo variaciones de consideración en el contenido de cobre respecto al encalado.

La relación Ca/Mg, aumentó conforme se incrementó la dosis de cal. Esto es de esperarse ya

que se añadió calcio al suelo. Se encontró regresión lineal y positiva altamente significativa en nueve suelos.

La relación Mg/K muestra una tendencia a subir conforme se aumentó la cantidad de cal aplicada al suelo. Hubo regresión lineal positiva altamente significativa en seis suelos y cuadrática positiva altamente significativa solamente en cuatro.

La relación Ca + Mg/K aumentó con las dosis de cal. Esto se debe a que se está añadiendo calcio al suelo. Piñeres (18) obtuvo resultados similares. Se encontró regresión lineal positiva altamente significativa en siete suelos y regresión cuadrática positiva altamente significativa en ocho.

## 2. Efecto del encalado sobre la producción de materia seca y variación en el contenido de nutrientes foliares.

Los resultados sobre la producción de materia seca por suelo en función del encalado se presentan en el Cuadro 7, así como las concentraciones foliares de fósforo, calcio, magnesio y potasio. En el Cuadro 8 se muestran las ecuaciones de regresión lineal y cuadrática para cada variable en relación al encalado.

La producción de materia seca se incrementó con las dosis crecientes de cal. Laroche (15), Qui-

Cuadro 7. Producción de materia seca y concentración foliar de P, K, Ca y Mg en relación al encalado.

Suelo	Niveles de cal	Peso seco g	%			
			P	K	Ca	Mg
1	0	3,4	0,1	1	0,4	0,2
	1	5,7	0,1	2,5	0,4	0,2
	2	6,3	0,1	3,3	0,4	0,2
	3	7,2	0,1	2,6	0,4	0,2
	4	6,8	0,1	2,1	0,5	0,2
2	0	1,6	0,1	2,1	0,4	0,2
	1	4,8	0,1	2,0	0,3	0,2
	2	5,4	0,1	2,8	0,5	0,2
	3	6,0	0,1	3,1	0,6	0,3
	4	7,0	0,1	3,0	0,6	0,3
3	0	0,4	0,1	2,8	0,6	0,3
	1	2,3	0,2	3	0,3	0,4
	2	2,9	0,1	1,6	0,4	0,2
	3	4,8	0,2	2,5	0,5	0,2
	4	5,5	0,2	3,8	0,4	0,3
4	0	0,5	0,1	4,2	0,4	0,3
	1	1,0	0,1	3,4	0,5	0,3
	2	1,8	0,1	4	0,3	0,2
	3	2,3	0,1	1,9	0,3	0,2
	4	2,6	0,1	1,9	0,3	0,2
5	0	1,3	0,1	2,5	0,4	0,2
	1	1,9	0,1	2,0	0,3	0,2
	2	3,8	0,1	2,8	0,4	0,2
	3	5,7	0,1	3,5	0,6	0,2
	4	5,7	0,1	3,0	0,6	0,2
6	0	0,2	0,1	2,3	0,5	0,1
	1	1,4	0,1	6	0,2	0,2
	2	4,0	0,1	0,9	0,2	0,1
	3	4,9	0,1	1,9	0,3	0,1
	4	5,7	0,1	1,6	0,5	0,1
7	0	1,1	0,1	1,2	0,4	0,1
	1	2,2	0,1	0,9	0,2	0,2
	2	2,1	0,1	1,9	0,3	0,1
	3	5,0	0,1	1,6	0,5	0,1
	4	4,0	0,1	1,2	0,4	0,1
8	0	2,0	0,1	1,8	0,6	0,2
	1	2,7	0,1	7	0,3	0,3
	2	4,9	0,1	2,5	0,3	0,2
	3	6,1	0,2	2,5	0,3	0,2
	4	4,0	0,2	2,1	0,5	0,2
9	0	0,7	0,1	2,1	0,5	0,2
	1	4,4	0,1	3,5	0,4	0,2
	2	6,6	0,1	3,2	0,4	0,2
	3	8,0	0,1	8	0,5	0,2
	4	8,1	0,1	3,2	0,5	0,2
10	0	1,1	0,1	9	0,2	0,2
	1	5,1	0,1	1,4	0,3	0,2
	2	7,8	0,1	1,5	0,3	0,2
	3	7,2	0,1	1,3	0,4	0,2
	4	8,5	0,2	1,1	0,6	0,2
				1,3	0,5	0,2
				10		
				1,1	0,3	0,2
				1,9	0,4	0,2
				1,5	0,4	0,2
				1,7	0,5	0,2
				1,7	0,5	0,3

Cuadro 8. Ecuación de regresión lineal y cuadrática, valores de R<sup>2</sup> y probabilidades para las variables estudiadas en la prueba biológica en función de los niveles de enclado (X).

Suelo	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión cuadrática	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión lineal	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad	Regresión cuadrática	R <sup>2</sup>	Proba- bilidad
<b>PESO SECO</b>												
1	4,2 + 0,85 X	0,48	**	3,5 + 2,33 X - 0,37 X <sup>2</sup>	0,61	**		0,08			0,09	
2	2,5 + 1,24 X	0,67	**	1,7 + 2,71 X - 0,36 X <sup>2</sup>	0,75	**	0,4 + 0,07 X	0,66	**	0,3 + 0,17 X - 0,03 X <sup>2</sup>	0,79	**
3	0,6 + 1,28 X	0,85	**	0,5 + 1,59 X - 0,07 X <sup>2</sup>	0,86	**	0,4 + 0,06 X	0,67	**	0,3 + 0,17 X - 0,02 X <sup>2</sup>	0,83	**
4	0,6 + 0,56 X	0,75	**	0,5 + 0,77 X - 0,05 X <sup>2</sup>	0,76	**	0,3 + 0,05 X	0,52	**	0,3 + 0,08 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,54	**
5	1,2 + 1,26 X	0,73	**	1,0 + 1,60 X - 0,08 X <sup>2</sup>	0,74	**	0,4 + 0,04 X	0,28	*	0,3 + 0,22 X - 0,04 X <sup>2</sup>	0,72	**
6	0,4 + 1,45 X	0,83	**	0,1 + 2,18 X - 0,18 X <sup>2</sup>	0,85	**	0,2 + 0,08 X	0,52	**	0,2 + 0,09 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,52	**
7	1,2 + 0,85 X	0,39	*	1,0 + 1,22 X - 0,09 X <sup>2</sup>	0,39	*	0,4 + 0,04 X	0,41	**	0,4 + 0,05 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,42	*
8	2,1 + 1,19 X	0,72	**	1,8 + 1,70 X - 0,12 X <sup>2</sup>	0,73	**		0,14				
9	1,8 + 1,85 X	0,78	**	0,7 + 4,17 X - 0,58 X <sup>2</sup>	0,87	**	0,3 + 0,09 X	0,77	**	0,3 + 0,17 X - 0,02 X <sup>2</sup>	0,82	**
10	2,6 + 1,62 X	0,77	**	1,3 + 4,22 X - 0,64 X <sup>2</sup>	0,92	**	0,4 + 0,09 X	0,72	**	0,3 + 0,08 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,75	**
<b>CALCIO FOLIAR</b>												
<b>FOSFORO FOLIAR</b>												
1	0,1 - 0,01 X	0,51	**	0,1 - 0,01 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,51	*		0,04			0,10	
2		0,05			0,14		0,2 + 0,04 X	0,63	**	0,20 + 0,01 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,65	**
3	0,1 + 0,26 X	0,38	*	0,1 + 0,05 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,43	*		0,12			0,36	
4		0,24			0,25			0,13			0,19	
5		0,01		0,1 + 0,05 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,43	*	0,3 - 0,02 X	0,40	*	0,30 + 0,01 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,50	*
6		0,04			0,06			0,07			0,20	
7		0,21		0,1 - 0,02 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,41	*	0,3 - 0,15 X	0,44	**	0,30 + 0,05 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,63	**
8	0,1 + 0,02 X	0,36	*	0,1 - 0,01 X - 0,01 X <sup>2</sup>	0,40	*	0,2 + 0,04 X	0,79	**	0,20 + 0,01 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,84	**
9		0,01			0,01			0,01			0,17	
10	0,1 + 0,02 X	0,67	**	0,1 + 0,04 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,71	*	0,2 + 0,03 X	0,60	**	0,20 + 0,02 X + 0,01 X <sup>2</sup>	0,67	**
<b>POTASIO FOLIAR</b>												
1		0,10			0,13							
2		0,19		2,1 + 0,88 X - 0,17 X <sup>2</sup>	0,48	*			*	significativo al 5%		
3	2,1 + 0,52 X	0,58	**	1,5 + 1,70 X - 0,29 X <sup>2</sup>	0,84	**						
4	1,8 + 0,31 X	0,40	*	1,7 + 0,63 X - 0,07 X <sup>2</sup>	0,43	*			**	significativo al 1%		
5		0,03		1,9 + 1,33 X - 0,31 X <sup>2</sup>	0,73	**						
6		0,09			0,15							
7		0,19			0,22							
8		0,20			0,20							
9		0,01			0,03							
10		0,12			0,19							

rós y González (19) y Serpa y González (22) reportan aumentos en la producción de materia seca conforme se aumenta la cantidad de cal aplicada al suelo, lo cual concuerda con los resultados del presente estudio. Ayres (2) y Mikkelsen *et al* (16) establecen que la cal actúa como mineralizador y solubilizador del fósforo.

Algunas razones que justifican el aumento en el peso seco son el mejor aprovechamiento del fósforo, menor fitotoxicidad de hierro, aluminio y manganeso, además del suplemento del calcio como nutriente.

La mayor producción de materia seca se alcanzó cuando se neutralizó 3 y 4 veces la cantidad de aluminio extraíble con KCl 1N.

En nueve suelos hubo respuesta lineal cuadrática positiva altamente significativa. El suelo restante presentó respuesta lineal y cuadrática positiva significativa.

Las dosis de cal aumentaron la concentración de calcio en el tejido foliar. Resultados similares reportaron Quirós y González (19) Se encontró respuesta lineal y cuadrática positiva altamente significativa en seis de los suelos.

Las variaciones en la concentración de magnesio en el tejido foliar fueron muy irregulares. En algunos suelos hubo aumento y en otros disminución respecto a las dosis de cal. Quirós y González (19) reportaron resultados semejantes.

Tres de los suelos presentaron respuesta lineal y cuadrática positiva altamente significativa, otro suelo presentó respuesta lineal y cuadrática negativa altamente significativa.

La concentración de potasio en el tejido foliar aumentó con el nivel 3 de cal, luego se estabilizó e incluso en algunos casos disminuyó con el nivel 4, Quirós y González (19) reportaron resultados similares. Hubo respuesta lineal y cuadrática positiva altamente significativa en seis de los diez suelos.

Las concentraciones de fósforo foliar aumentaron con el encalado, pero los cambios no fueron estadísticamente significativos en la mayoría de los casos.

### RESUMEN

Se incubó diez suelos ácidos de la región San Carlos-Sarapiquí, Costa Rica, con dosis crecientes de cal de acuerdo al contenido de aluminio de cambio presente en el suelo. Se neutralizó con carbonato de calcio 0, 1, 2, 3, y 4 veces la cantidad de aluminio cambiabile extraíble con KCl 1 N. Después de diez semanas los suelos fueron fertilizados y posteriormente se sembró sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) como planta indicadora.

La respuesta al encalado fue evaluada por medio de la producción de materia seca, concentración de varios elementos en el tejido foliar y algunos elementos y propiedades químicas de los suelos.

El encalado provocó aumento del valor de pH, del orden de aproximadamente 0,5 unidad de pH, contenido de calcio de unos 6 meq/100 ml y porcentaje de saturación de bases de aproximadamente 20%, causó una fuerte disminución del aluminio de cambio, potasio, hierro y manganeso.

La mayor producción de materia seca se obtuvo entre la neutralización de 3 y 4 veces la cantidad de aluminio de cambio.

Al encalar algunos suelos, no sólo se redujo la toxicidad del aluminio y la fijación de fósforo, sino que se suplió el calcio como elemento nutritivo, esencial para el crecimiento vegetal.

### LITERATURA CITADA

1. AMARASIRI, S.L. y OLSEN, S.R. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil Science Society of America Proceedings 37: 716-721. 1973.
2. AYRES, S.A. Liming Hawaiian sugar cane soils. Hawaiian Planters Record 56 (3): 227-244. 1961.
3. BERNARDETH, M., CABALA, E.P. y ILTON F. Efectos de incorporaçao de doses crescentes de calcario en alguns solos da regio cacaue-  
ria de Bahía. Revista Theobroma 1 (2): 18-28. 1971.
4. BORNEMISZA, E. LAROCHE, F.A. y FASSBENDER H. W. Effects of lime on some chemical characteristics of a Costa Rica Latosol. Florida Soil and Crop Science Society Proceedings. 27: 219-226.
5. BOUYOUCOS, G.J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal 54: 464-465. 192.
6. BRAGA, J.M., BRAGA, L.J. y FONTES, L.A.N. Efecto da applicaçao de calcario sobre niveis de pH, cálcio, magnésio, fósforo e potássio do solo. Revista Ceres (Brasil) 18 (98): 279-293. 1971.
7. DE KOCK, P.C. The physiological significance of the potassium-calcium relationship in plant growth. Outlook on Agriculture 4 (2): 93-98, 1964.
8. FASSBENDER, H. Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un andosol de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 6 (1): 115-126. 1969.
9. FASSBENDER, H. y ROLDAN, J.A. Formas y equilibrios de Mn en suelos de América Central. Turrialba, 23 (1): 30-36. 1973.
10. FOSTER, H.L. Liming continuously cultivated soils in Uganda. East African Agriculture Journal. 36: 58-69. 1970.
11. FOX, R.L. DE DATTA, S.K. y SHERMAN y G.D. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. Transactions Joint Meeting Commissions IV and V. International Society of Soil Science. New Zeland. 1962. pp. 574-583.
12. HORTENSTINE, C.C. y OSAKI, H.Y. The effects of liming on the availability of Fe and Mn on soil Ca and pH on Davies Lime Sand. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 21: 44-50. 1962.
13. HUNTER, A.H. Métodos de análisis y de invernadero. Departamento de Suelos, Universidad de Carolina del Norte. Raleigh Mimeografiado. 1970. 30 p.
14. KAMPRATH, E.T. Exchangeable aluminum as criterion for liming leached mineral soils. Soil Science Society of America Proceedings 34: 252-254. 1970.
15. LAROCHE, F.A. Efectos da calagem sobre o complejo de troca de un latosolo 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.
16. MIKKELSEN, D.S., DE FREITAS, L. M. M. y MC LUNGA, A.C. Effects of liming and fertilizing on cotton, corn and soybeans on Campo Cerrado Soils. State of Sao Paulo, Brazil. IRI Research Institute Incorporation Bulletin No. 29. 1963, 34 p.
  17. MIRANDA, F. Por qué necesitamos aplicar cal en los suelos ácidos. Agricultura al día. 13 (11-12): 6, 30, 40. 1968.
  18. 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. Departamento de Química. Universidad de Costa Rica. 1969, pp. 12-29.
  19. QUIROS, S. y GONZALEZ, M.A. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. Agronomía Costarricense 3 (2): 137-149. 1979.
  20. SAIZ DEL RIO, J.F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos. Métodos de Laboratorio para Diagnosis de Fertilidad. Turrialba, IICA. 1961, 107 p.
  21. SEATZ, L.F. y JURINAK, J.J. Lime and soils fertility. Soil United States Department of Agriculture. Yearbook. 1957, pp. 115-121.
  22. SERPA, R. y GONZALEZ, M.A. Necesidad de cal en tres suelos ácidos de Costa Rica. Agronomía Costarricense 3 (2): 101-108. 1979.
  23. SHAW, W.M. Reaction of calcium carbonate with soils and determination of their calcium capacities. Journal of the Association of Agr. Chemistry 36: 421-441. 1953.
  24. SHERMAN, G.D. Manganese and soil fertility. Soil. United States Department of Agriculture. Yearbook. 1952, pp. 135-138.
  25. SHERMAN, G.D. y CHAU, A.C. Differential fixation of phosphate by typical soils of Hawaiian Great Group Soils. Hawaii University Agriculture Experiment Station. Technical Bulletin No. 16. 1952, 20 p.