

EFFECTO DE DOS FUENTES DE CALCIO SOBRE LA FERTILIDAD DE TRES SUELOS ACIDOS DE COSTA RICA^{1/*}

Manuel Antonio López**
Miguel Angel González***

ABSTRACT

Effect of two calcium sources on the fertility of three acids soils of Costa Rica. Three acids soils of Costa Rica, namely a Typic Tropohumult from Orosi, an Ustoxic Tropohumult from Pérez Zeledón, and a Typic Tropudult from San Carlos, were treated with increasing levels of CaCO_3 and CaSO_4 in amounts equivalent to 0, 1, 2, 3 and 4 times the amount of 1 mol/L KCl extractable Al from each soil. After three months of incubation, the soils were fertilized and sorghum (*Sorghum bicolor*) seeds were planted. Dry matter production was evaluated after seven weeks under greenhouse conditions. The highest production of dry matter was obtained following the application of 4 times the equivalent of extractable Al, as CaCO_3 or CaSO_4 . The highest values corresponded to the application of CaCO_3 which was responsible for the higher neutralization of exchangeable Al as compared to CaSO_4 ; similar neutralization values were obtained with the level 2 of CaCO_3 and with the level 4 of CaSO_4 . Levels of CaCO_3 in general, induced to higher relative yields than those of CaSO_4 , particularly in the Orosi soil. No significant differences in dry matter production and between sources were found in the San Carlos' soil, probably due to the adequate level of Ca originally present in this soil. Treatments with both, CaCO_3 and CaSO_4 , notably reduced Al toxicity as compared with the nontreated soils. Soil pH increased in relation to the levels of application of CaCO_3 , and remained unchanged in the treatments with CaSO_4 . Added CaCO_3 and CaSO_4 increased SEC, base saturation percentage and Ca content; K and Mg remained constant and Fe and Mn decreased mainly when CaCO_3 was applied.

INTRODUCCION

Si bien es cierto la acidez de los suelos de Costa Rica no representa un problema de gran magnitud a nivel nacional (Bertsch, 1984), dada la urgencia de aprovechar todos los recursos disponi-

bles, se hace necesario utilizar suelos de fertilidad limitada.

Los suelos ácidos presentan una baja capacidad de intercambio de cationes, bajo porcentaje de saturación de bases, alta concentración de Al intercambiable, baja disponibilidad de P, Ca, Mg y algunos micronutrientes, y ocasionan toxicidad en las plantas debida al Al y al Mn (Chavarría, 1983; González y González, 1981; Mora, 1978; Piñeres, 1969; Quirós y González, 1979; Serpa y González, 1979), características provocadas por las condiciones prevalecientes en los trópicos húmedos que producen una acidificación progresiva.

El encalado es la práctica que se realiza con el fin de neutralizar la acidez de los suelos y sus efectos perjudiciales, y proveer las condiciones

1/ Recibido para su publicación el 23 de mayo de 1986.

* Parte del trabajo de tesis de Ingeniero Agrónomo del primer autor, presentada a la Escuela de Fito-tecnia de la Universidad de Costa Rica.

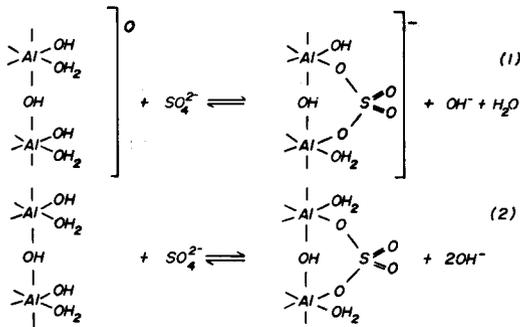
** Banana Development of Costa Rica (BANDECO), San José, Costa Rica.

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

químicas, físicas y biológicas adecuadas para un mejor crecimiento de las plantas.

Existen diferentes compuestos químicos usados como fuentes de Ca. La aplicación de CaCO_3 es lo más corriente, sin embargo, el CaSO_4 ha dado buenos resultados (González y González, 1982; Pearson, 1975; Reeve y Sumner, 1970a) aunque no altera el pH del suelo, por lo que se hace necesario estudiar más su uso.

Reeve y Sumner (1970a) obtuvieron altas producciones en suelos tratados con yeso. La respuesta en el crecimiento fue atribuida a la eliminación de la toxicidad de Al, el cual formó un polímero al reaccionar con el ión sulfato; la liberación de iones hidroxilo producidas origina un efecto de autoencalado, de acuerdo con las reacciones siguientes propuestas por Rajan (1978):



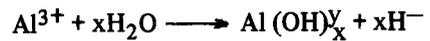
Sánchez (1981), menciona que estas reacciones pueden dar como resultado aumentos de 0,3 a 0,9 unidades de pH y son consideradas como mecanismos responsables de la adsorción del sulfato al suelo; otro mecanismo es la formación de complejos de hidroxialuminio como $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Reeve y Sumner (1972) determinaron además, que el movimiento de Ca y Mg hacia el subsuelo es mucho más rápido cuando se usó yeso en lugar de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esto provoca una mayor neutralización de Al intercambiable con el yeso que con la cal apagada.

Pavan *et al.* (1982), al aplicar $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) determinaron un ligero aumento (0,1 unidades) del pH del suelo, un aumento de la capacidad de intercambio de cationes y del Ca intercambiable y decrecimientos marcados en la concentración de Al intercambiable. Encontraron que el yeso provocó un aumento en la solubilidad del Al aunque en formas no disponibles para las plantas. Otra posibilidad de la reducción de la

toxicidad del Al es el aumento en el contenido de Ca.

Según Pavan (1986) la importancia práctica de las reacciones de hidrólisis del Al y de la adsorción de sulfatos reside en las influencias que ambas ejercen sobre el pH del suelo. La adición de yeso al suelo puede causar disminuciones en el pH cuando la cantidad molar de hidrogeniones producido por la reacción



es mayor que la de hidroxilos de las reacciones [1] y [2], y viceversa.

González y González (1982) determinaron que al aplicar CaSO_4 se obtuvo, en algunos casos, una mayor respuesta en el crecimiento de sorgo que al encalar con CaCO_3 .

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto del CaCO_3 y el CaSO_4 sobre la fertilidad de tres suelos ácidos de Costa Rica, a través de la producción de materia seca en plantas de sorgo, bajo condiciones de invernadero. Además se evaluó el efecto de estas fuentes de Ca sobre algunas propiedades químicas de los suelos.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo de invernadero se instaló en el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. La ubicación, clasificación y algunas de las características físicas y químicas de los suelos usados en la investigación se presentan en el Cuadro 1.

Se usó un diseño experimental de bloques al azar, con tres suelos, nueve niveles de encalado y tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas.

Muestras de los tres suelos fueron secadas y pasadas por una criba de 2 mm. Después a volúmenes de suelo de 2,7 L se aplicaron dosis crecientes de CaCO_3 y CaSO_4 para neutralizar 0, 1, 2, 3 y 4 veces la cantidad de Al intercambiable extraído con KCl 1mol/L, como se presenta en el Cuadro 2.

Una vez tratados los suelos se incubaron en macetas de 2,84 L por un período de tres meses durante el cual fueron humedecidos y secados ocho veces. A continuación se agregó una fertilización base a los suelos con P, K, Mn, Cu y Zn, (Cuadro 3), la que se determinó de acuerdo con curvas de fijación, según la técnica descrita por Díaz y

Cuadro 1. Algunas características químicas y físicas de los suelos.

		Suelos		
		1	2	3
Clasificación*	Ubicación	Typic Tropohumult Alrededores de Guataba, Orosi	Ustoxic Tropohumult Juntas de Pacuare, Pérez Zeledón	Typic Tropudult Santa Rita de Río Cuarto, San Carlos
Características				
cmol (+)/kg	pH (KCl)	4,2	4,2	4,2
	pH (H ₂ O)	4,3	4,3	4,3
	K	0,25	0,13	0,11
	Ca	0,72	1,35	3,77
	Mg	0,35	0,52	1,19
	Al	3,0	2,2	0,8
	CIC	4,3	4,3	5,9
	Ca/Mg	2,06	2,60	3,17
	Mg/K	1,40	4,00	10,50
	100 K/Ca+Mg+K	18,9	6,5	2,2
mg/kg	P	7,3	12,8	17,0
	Fe	233	170	145
	Cu	8,3	5,4	7,6
	Zn	6,7	T	1,0
	Mn	27,6	53,6	34,8
%	Saturación de bases	30,6	47,1	85,9
	Saturación Al	69,4	52,9	14,1
	Materia Orgánica	7,9	5,0	4,8
	Arena	50	35	37
	Limo	16	52	49
	Arcilla	34	13	14
	Nombre textural	Franco arcillo-arenoso	Franco	Franco
%	Retención de humedad			
	1/3 atm.	39,9	33,0	36,2
	15 atm.	33,6	27,6	31,2
	Agua disponible	6,3	5,4	5,0

El análisis químico fue realizado en el laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas.

El análisis físico fue hecho en los laboratorios de suelos del MAG (retención de humedad y porcentaje de agua disponible) y de la Facultad de Agronomía (textura).

* Guzmán, P. Comunicación personal. 1985.

Hunter (1978). Para establecer la cantidad de nutrientes a aplicar se usó el principio de tres veces el nivel crítico en las curvas de retención. La fertilización con Mg, S, B y Mo se realizó con base en el principio del nivel crítico, pero sin realizar curvas de retención. El N se aplicó en dos épocas, al momento de la siembra y a los 21 días después, a razón de 150 kg/ha.

Con el propósito de medir la respuesta al encalado se utilizó sorgo (*Sorghum bicolor* L.) como planta indicadora, debido a su sensibilidad a la acidez y rápido crecimiento. Se instaló el 19 de enero de 1984, luego de la incubación y fertiliza-

ción. Se sembraron veinte semillas por maceta y posteriormente se raleó dejando diez plantas.

El suelo se mantuvo a capacidad de campo, con riego por capilaridad, por medio de filtros de algodón colocados en el fondo de la maceta y conectados a recipientes de plástico con agua.

El corte de las plantas se realizó a ras del suelo, a los 49 días después de la siembra. Se determinó el peso verde y el peso seco del tejido foliar. Además se calculó el porcentaje de rendimiento relativo dividiendo el peso seco entre el mayor valor del peso seco obtenido en cada suelo al aplicar las fuentes de Ca. También se toma-

Cuadro 2. Dosis de neutralización de aluminio usadas en el experimento.

Suelo	Al intercambiable cmol (+)/kg	Dosis de neutralización	cmol (+) Ca/kg aplicado	t producto/ha aplicado
Suelo 1	3,0	0	00,0	00,0
		1 CaCO ₃	3,0	3,0
		2 CaCO ₃	6,0	6,0
		3 CaCO ₃	9,0	9,0
		4 CaCO ₃	12,0	12,0
		1 CaSO ₄	4,7	4,7
		2 CaSO ₄	9,8	9,8
		3 CaSO ₄	14,7	14,7
		4 CaSO ₄	19,6	19,6
		Suelo 2	2,2	0
1 CaCO ₃	2,2			2,2
2 CaCO ₃	4,4			4,4
3 CaCO ₃	6,6			6,6
4 CaCO ₃	8,8			8,8
1 CaSO ₄	3,6			3,6
2 CaSO ₄	7,2			7,2
3 CaSO ₄	10,8			10,8
4 CaSO ₄	14,4			14,4
Suelo 3	0,8			0
		1 CaCO ₃	0,8	0,8
		2 CaCO ₃	1,6	1,6
		3 CaCO ₃	2,4	2,4
		4 CaCO ₃	3,2	3,2
		1 CaSO ₄	1,3	1,3
		2 CaSO ₄	2,6	2,6
		3 CaSO ₄	3,9	3,9
		4 CaSO ₄	5,2	5,2

ron muestras de suelo de cada pote para el respectivo análisis químico.

Durante el experimento se presentó un ataque de cogollero (*Spodoptera frugiperda*) el cual fue eliminado con dos aplicaciones de triclorfon.

Al finalizar la prueba biológica se tomaron muestras de suelo de cada pote que fueron analizadas como se especifica a continuación:

- 1) pH. Se determinó con un potenciómetro, en suspensión suelo: agua y suelo: solución saturada de KCl 1mol/L de 1:2,5.
- 2) Aluminio. Se extrajo con KCl 1mol/L y se determinó por titulación con Ca(OH)₂ 0,01 mol/L.
- 3) Calcio, magnesio y potasio. Se extrajeron con NH₄OAc 1 mol/L, pH 7 (Bhumbla y McLean,

1965). Las lecturas se hicieron con un espectrofómeto de absorción atómica, el cual también se usó para leer Fe y Mn.

- 4) Capacidad de intercambio de cationes. Se determinó por el método de la suma de los cationes Ca, Mg, K y Al.
- 5) Hierro y manganeso. Se determinaron en una extracción con solución Olsen modificada (Díaz-Romeu y Hunter, 1978).

RESULTADOS Y DISCUSION

Producción de materia seca

En los suelos 1 y 2 la producción de materia seca fue mayor al aumentar las cantidades de Ca (Figura 1), tanto al usar CaCO₃ como CaSO₄, aunque se observó una mejor respuesta en el cre-

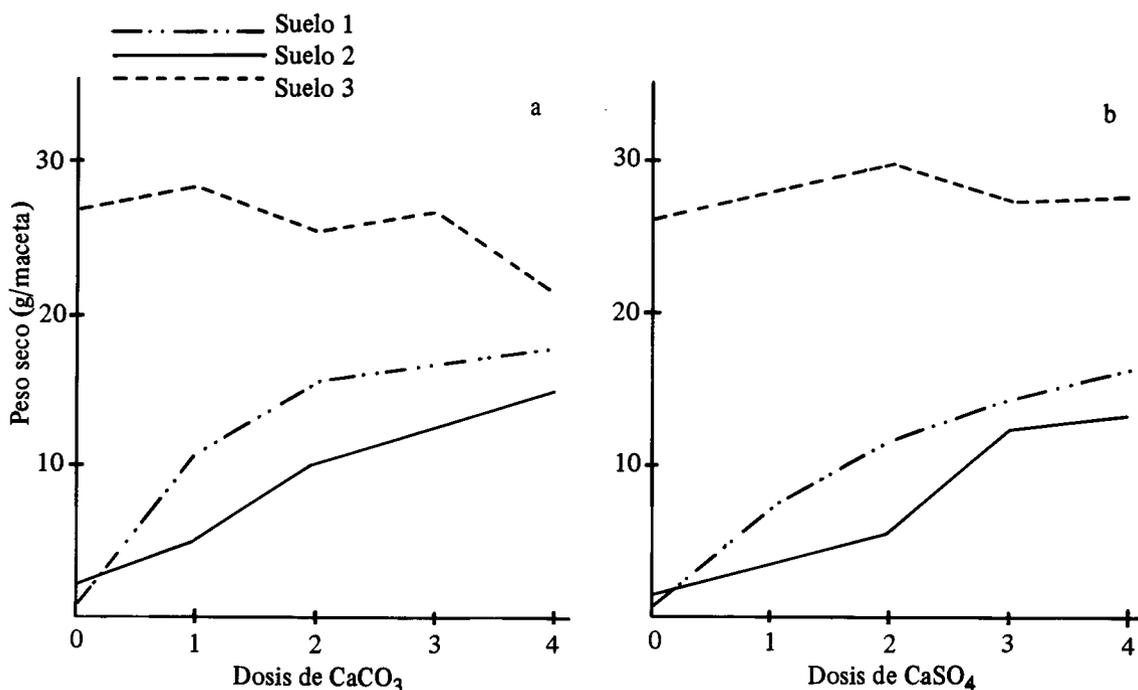


Fig. 1. Variación del peso seco con las dosis de CaCO₃ y CaSO₄, en tres suelos ácidos de Costa Rica.

Cuadro 3. Fertilización básica aplicada a los suelos estudiados.

Nutrimentos	Suelos		
	1	2	3
P mg/L	400	205	305
K cmol (+)/L	274	363	480
Mg cmol (+)/L	120	120	120
S mg/L	30	30	30
Mn mg/L	10	-	10
Zn mg/L	20	24	30
B mg/L	3	3	3
Mo mg/L	1	1	1

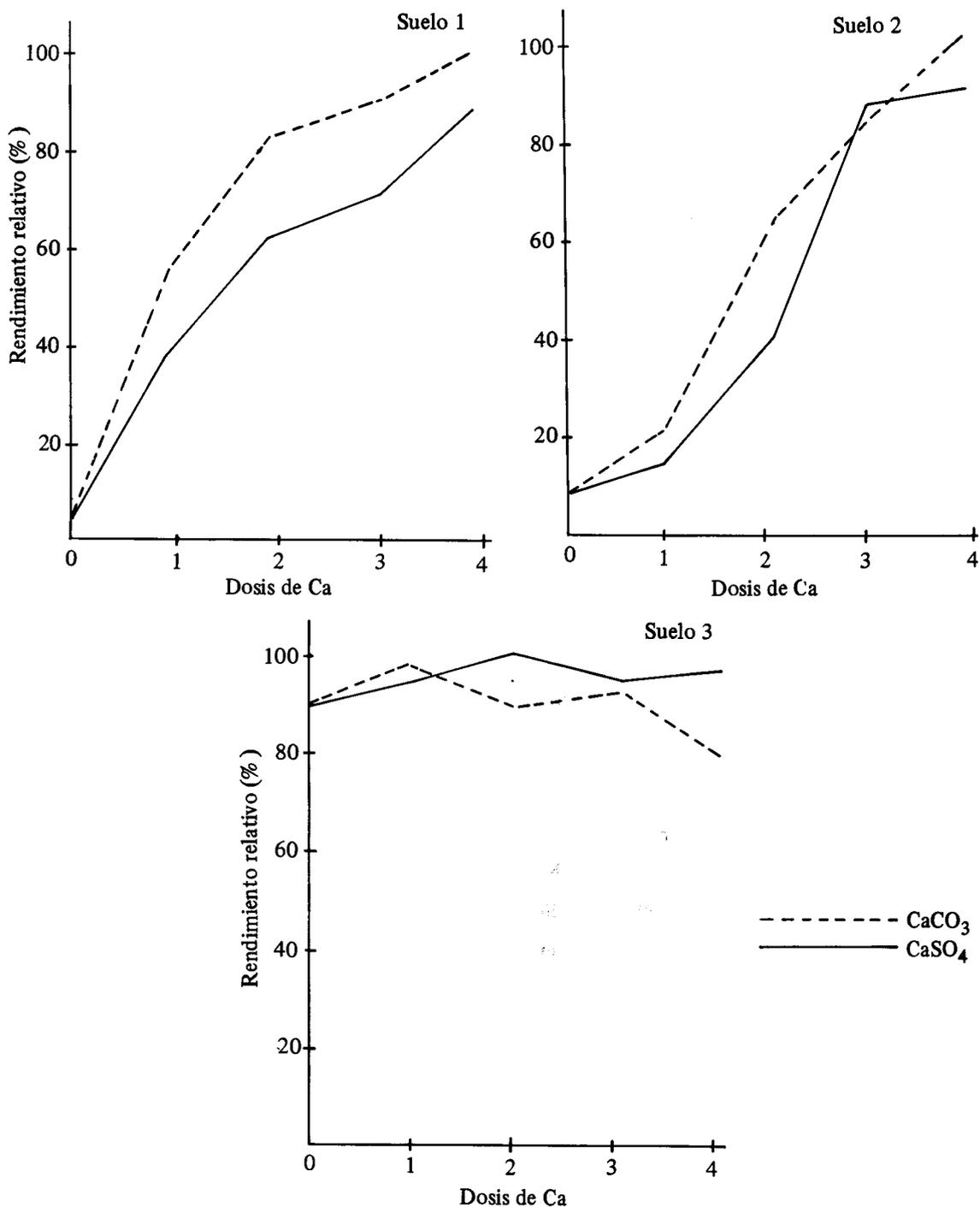
No fue necesario aplicar Cu debido a que los suelos contenían suficiente cantidad de este elemento. Igualmente ocurrió con el Mn en el suelo 2.

cimiento foliar de las plantas de sorgo al usarse CaCO₃. En estos dos suelos la producción más alta de materia seca se logró al neutralizar 4 veces la cantidad equivalente de Al extraíble con KCl

1 mol/L. Este aumento se explica por los efectos directos e indirectos de la cal sobre las propiedades del suelo. Las plantas que crecieron en los tratamientos testigo de los suelos 1 y 2 presentaron una característica deficiencia de P, que se corrigió no sólo al fertilizar con este elemento, sino sobre todo, al aplicar Ca. Además, la menor toxicidad del Al y mayor disponibilidad de Ca y otros nutrimentos favorecieron el crecimiento de las plantas.

Los diferentes niveles de CaCO₃ provocaron un mayor rendimiento relativo que los de CaSO₄ (Figura 2). Con la dosis 2 de CaCO₃ se obtiene casi el mismo resultado que con la dosis 4 de CaSO₄. Para lograr rendimientos relativos similares a los del CaCO₃ se necesitó el doble de CaSO₄ (Figura 2). La diferencia fue más marcada en el suelo 1 que en el 2.

Aumentos en la producción de materia seca al aplicar CaCO₃ semejantes a éstos han sido informados por diferentes autores (Chavarría, 1983; González *et al.*, 1977; González y González, 1981; Mora, 1978; Quirós y González, 1979; Serpa y González, 1979). Asimismo, algunos investigadores encontraron una buena respuesta en la producción foliar al usar CaSO₄ (González



$$* \text{ Rendimiento relativo} = \frac{\text{Valor de peso seco}}{\text{Valor mayor de peso seco}} \times 100$$

Fig. 2. Variación del rendimiento relativo de peso seco con las dosis de CaCO_3 y CaSO_4 en tres suelos ácidos de Costa Rica.

lez y González, 1982; Pearson, 1975; Reeve y Sumner, 1972).

En el suelo 3 no hubo respuesta significativa en producción de materia seca a las dosis de Ca debido a la alta cantidad de este elemento (3,77 cmol(+)/L) y al bajo porcentaje de saturación de Al (14,1%) presentes inicialmente en este suelo.

Características químicas de los suelos

El efecto del encalado sobre las características químicas de los suelos se presenta en el Cuadro 4 y en las Figuras 3, 4, 5, 6 y 7.

Efecto sobre el pH. En todos los suelos se produjo un aumento en el valor del pH al aplicar cantidades crecientes de CaCO_3 (Figura 3a y 3c); el mismo efecto fue observado por diferentes autores (Almeida y Bornemisza, 1977; Chavarría, 1983; González, *et al.*, 1977; González y González, 1981; Guzmán, 1984; Quirós y González, 1979; Ríos *et al.*, 1968; Serpa y González, 1979). El pH sube porque los iones H^+ provenientes de la hidrólisis de Al intercambiable reaccionan con el CO_3^{2-} originando un ácido débil que forma CO_2 y H_2O , disminuyendo el efecto directo de H^+ sobre el pH.

La aplicación de cantidades crecientes de CaSO_4 , que se presenta en las Figuras 3b y 3d, mantuvo estables los valores de pH; otros autores (González y González, 1982; Pavan *et al.*, 1982) sólo han encontrado leves aumentos. Aunque el Al también es neutralizado por el CaSO_4 como ocurre al adicionar CaCO_3 , en este caso el anión SO_4^{2-} acompañante del Ca, origina un ácido fuerte que reacciona posiblemente con los grupos Al $(\text{OH})_3$, formando un polímero, sin que ocurra un cambio neto del pH (Reeve y Sumner, 1970b; Rajan, 1978; Pavan, 1986).

Efecto sobre la concentración de Al intercambiable y el porcentaje de saturación de Al. Según se observa en las Figuras 4a y 4c, estas dos variables presentaron una evidente disminución al aumentar la dosis de CaCO_3 en los suelos. Este descenso no fue tan evidente en el caso del suelo 3 pues la concentración y el porcentaje de saturación de Al inicial en este suelo fue apenas de 0,8 cmol (+)/kg y 14,1%, respectivamente. En los otros suelos estos valores iniciales fueron más altos, y disminuyeron fuertemente al aplicar Ca. En el suelo 1, la dosis de encalado 4, produjo

una disminución de más de 2 cmol(+)/kg de Al intercambiable y en todos los suelos disminuyó en más de 0,5 cmol (+)/kg.

La respuesta a la aplicación de CaSO_4 fue similar; ocurrió disminución del Al intercambiable y del porcentaje de saturación de Al al aumentar la dosis, aunque con menor intensidad. En el suelo 3 no hubo variación en el porcentaje de saturación del Al.

En general, las mayores disminuciones en los valores de esas dos variables se obtuvieron con las dosis de 1 y 2 veces la cantidad de Al intercambiable neutralizada con ambas fuentes de Ca.

Varios autores informan de reducciones en el contenido de Al al aplicar CaCO_3 (Bertsch, 1984; González y González, 1982; McLung *et al.*, 1959; Reeve y Sumner, 1970b; Salinas y Sánchez, 1976) debido a la liberación de Ca de la cal que desplaza al Al intercambiable del complejo de cambio. Este Al se hidroliza formando el precipitado $\text{Al}(\text{OH})_3$, y el H^+ reacciona con el CO_3^{2-} formando H_2CO_3 que se disocia en CO_2 y H_2O , neutralizándose así los efectos perjudiciales del Al, al menos mientras permanezca en esa forma.

La adición de CaSO_4 a suelos ácidos conteniendo Al produce una reducción en la cantidad extraíble de este elemento (Reeve y Sumner, 1972; Pavan *et al.*, 1984). Probablemente, esta disminución se debe a la formación de complejos sólidos de sulfato de aluminio, tales como $\text{AlOHSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y $\text{KAl}_3(\text{OH})_6\text{SO}_4$, denominados en mineralogía como jurbanita, basalaluminita y alunita, respectivamente. La formación de estos compuestos reducen la concentración de Al libre en la solución del suelo.

Efecto en el porcentaje de saturación de bases y en la concentración de Ca. El porcentaje de saturación de bases aumentó al incrementarse la dosis de Ca, como se observa en las Figuras 5a y 5b. Resultados similares han sido obtenidos por Mora (1978), Guzmán (1984) y Serpa y González (1979); esto se explica sobre todo por el incremento en la concentración de Ca intercambiable (Figuras 6a y 6b) proveniente del encalado y la disminución en el contenido de Al intercambiable.

El efecto de ambas variables fue mayor al aplicar CaCO_3 que CaSO_4 . En el suelo 3 no se presentó respuesta significativa a la aplicación de CaSO_4 debido posiblemente al alto contenido de Ca y al alto porcentaje de saturación de bases inicial de este suelo (85,9%).

Cuadro 4. Características químicas de tres suelos ácidos después de la prueba biológica.

Tratamientos	pH		K	Ca	Mg	Al	CIC	Fe	Mn	Ca	100 K	Saturación	
	KCl	H ₂ O										bases % Al %	
			cmol (+)/kg			mg/kg			Mg	Ca+Mg+K			
SUELO 1													
0	4,1	4,2	2,05	1,19	2,06	3,00	8,3	210	30,1	0,6	38,8	63,9	36,1
CaCO ₃													
1	4,2	4,3	1,29	4,70	1,98	1,30	9,3	190	24,3	2,4	16,2	86,0	14,0
2	4,4	4,5	0,96	5,74	1,67	0,45	8,8	172	17,0	3,4	11,4	94,9	5,1
3	4,7	4,9	1,11	7,79	1,71	0,33	11,0	154	15,4	4,6	10,4	97,0	3,0
4	4,9	5,3	0,98	8,49	1,75	0,25	11,5	150	15,1	4,9	9,0	97,8	2,2
CaSO ₄													
1	4,1	4,2	1,24	2,65	1,79	3,00	8,7	200	30,3	1,5	21,9	65,5	34,5
2	4,1	4,2	1,20	4,75	2,26	2,50	10,7	187	30,1	2,1	14,7	76,6	23,4
3	4,1	4,2	1,05	5,60	1,85	2,25	10,8	171	29,3	3,1	12,4	79,1	20,9
4	4,0	4,1	1,03	7,12	1,79	2,00	12,0	160	27,6	4,0	10,4	83,3	16,7
SUELO 2													
0	4,2	4,3	1,52	1,71	1,80	2,00	7,0	148	65,4	0,9	30,3	71,4	28,6
CaCO ₃													
1	4,2	4,3	1,35	2,11	2,11	1,58	7,2	144	56,2	1,0	24,3	77,6	22,4
2	4,2	4,4	1,30	2,62	1,85	1,33	7,1	128	47,3	1,4	22,5	81,2	18,8
3	4,3	4,5	1,05	3,24	2,04	1,00	7,3	91	46,3	1,7	16,6	86,3	13,7
4	4,5	4,7	1,11	4,10	2,14	0,50	7,9	81	45,8	1,9	15,0	93,4	6,6
CaSO ₄													
1	4,2	4,3	1,60	1,79	2,08	2,00	7,5	146	62,0	0,9	29,2	73,0	27,0
2	4,2	4,3	1,56	2,08	2,13	2,00	7,8	132	59,5	1,0	27,0	73,2	26,8
3	4,1	4,2	1,16	2,20	2,00	1,75	7,1	114	59,7	1,1	21,7	75,6	24,4
4	4,1	4,2	0,98	2,50	1,46	1,50	6,4	102	58,5	1,7	19,8	76,6	23,3
SUELO 3													
0	4,2	4,3	1,24	3,88	1,80	0,80	7,7	175	56,6	2,1	18,0	89,5	10,5
CaCO ₃													
1	4,2	4,4	1,19	3,96	1,98	0,76	7,9	164	52,8	2,0	16,6	90,2	9,8
2	4,3	4,5	1,26	4,44	2,25	0,59	8,5	140	51,1	2,0	15,8	93,2	6,8
3	4,5	4,6	1,22	4,76	2,09	0,53	8,6	128	49,2	2,3	15,2	93,6	6,4
4	4,6	4,8	1,41	5,62	1,97	0,40	9,4	112	44,1	2,9	15,6	95,7	4,2
CaSO ₄													
1	4,2	4,3	0,94	3,42	1,54	0,80	6,7	190	56,8	2,3	15,9	87,6	12,4
2	4,2	4,3	1,07	4,49	1,69	0,74	8,0	158	56,1	2,7	14,7	90,7	9,3
3	4,2	4,3	1,18	5,29	1,82	0,63	9,0	135	54,9	2,9	14,3	92,5	7,5
4	4,1	4,2	1,11	5,65	1,60	0,58	8,9	112	52,1	3,5	13,3	93,6	6,4

Efecto sobre la capacidad de intercambio de cationes. En general, la capacidad de intercambio de cationes tendió a incrementarse al aumentar la cantidad de Ca aplicada (Figuras 5c y 5d). Este incremento es explicado por la formación de cargas electronegativas dependientes del pH, al neutralizar el suelo (Almeida y Bornemisza, 1977; Sánchez, 1981).

Efecto en la concentración de K y Mg. El K se mantuvo con muy poca variación al aumentar la dosis de encalado con ambas fuentes de Ca (Cua-

dro 4), al igual como ocurrió en las investigaciones de Chavarría (1983) y González y González (1981).

En los suelos 1 y 2 se encontró una disminución al aplicar CaCO₃ y CaSO₄; esto mismo es informado por otros investigadores (González y González, 1981; Quirós y González, 1979). Este descenso pudo deberse a una mayor extracción de K por las plantas al ocurrir mayor desarrollo, el cual fue mayor al aplicar ambas fuentes de Ca.

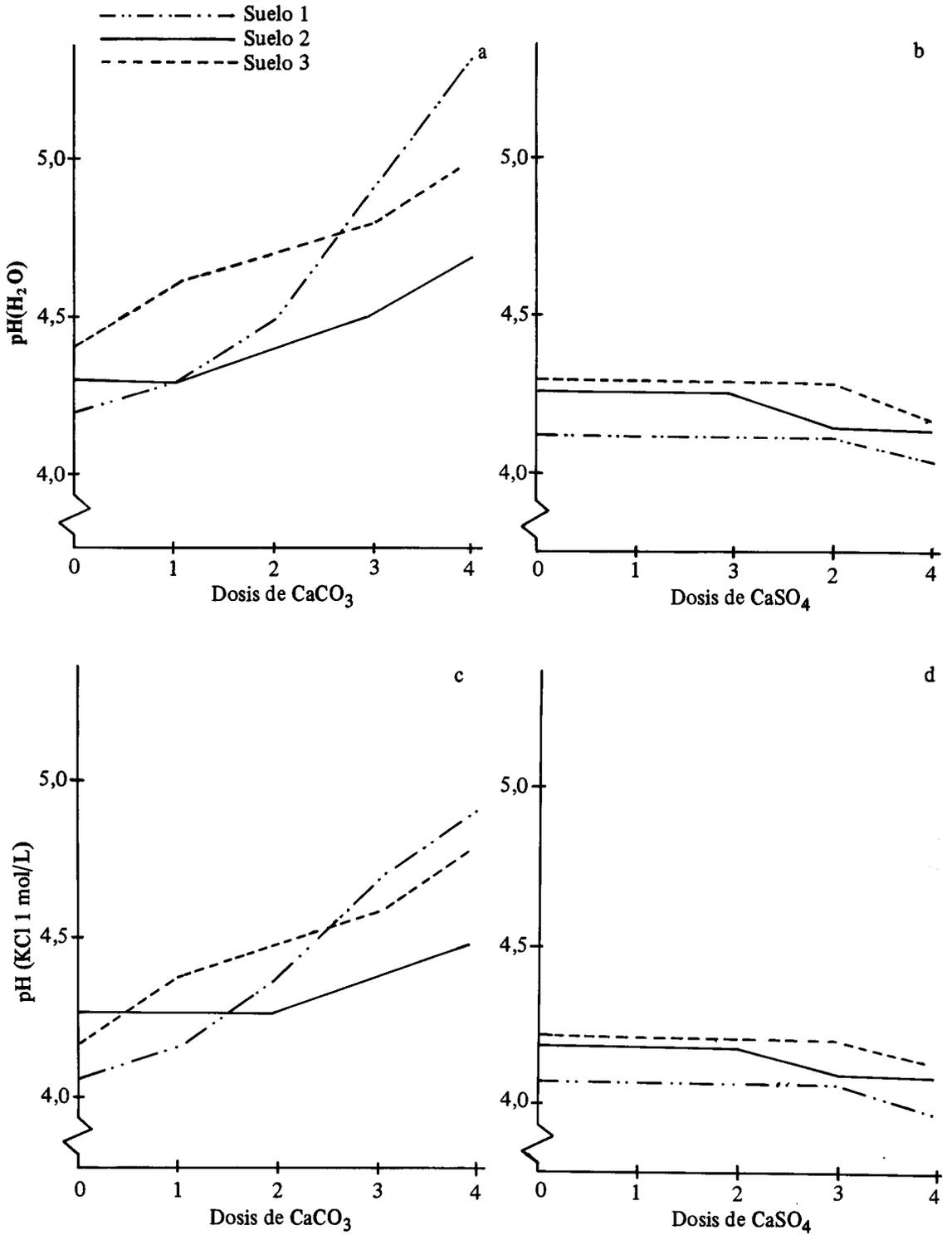


Fig. 3. Variación del pH con las dosis de CaCO₃ y CaSO₄ en tres suelos ácidos de Costa Rica.

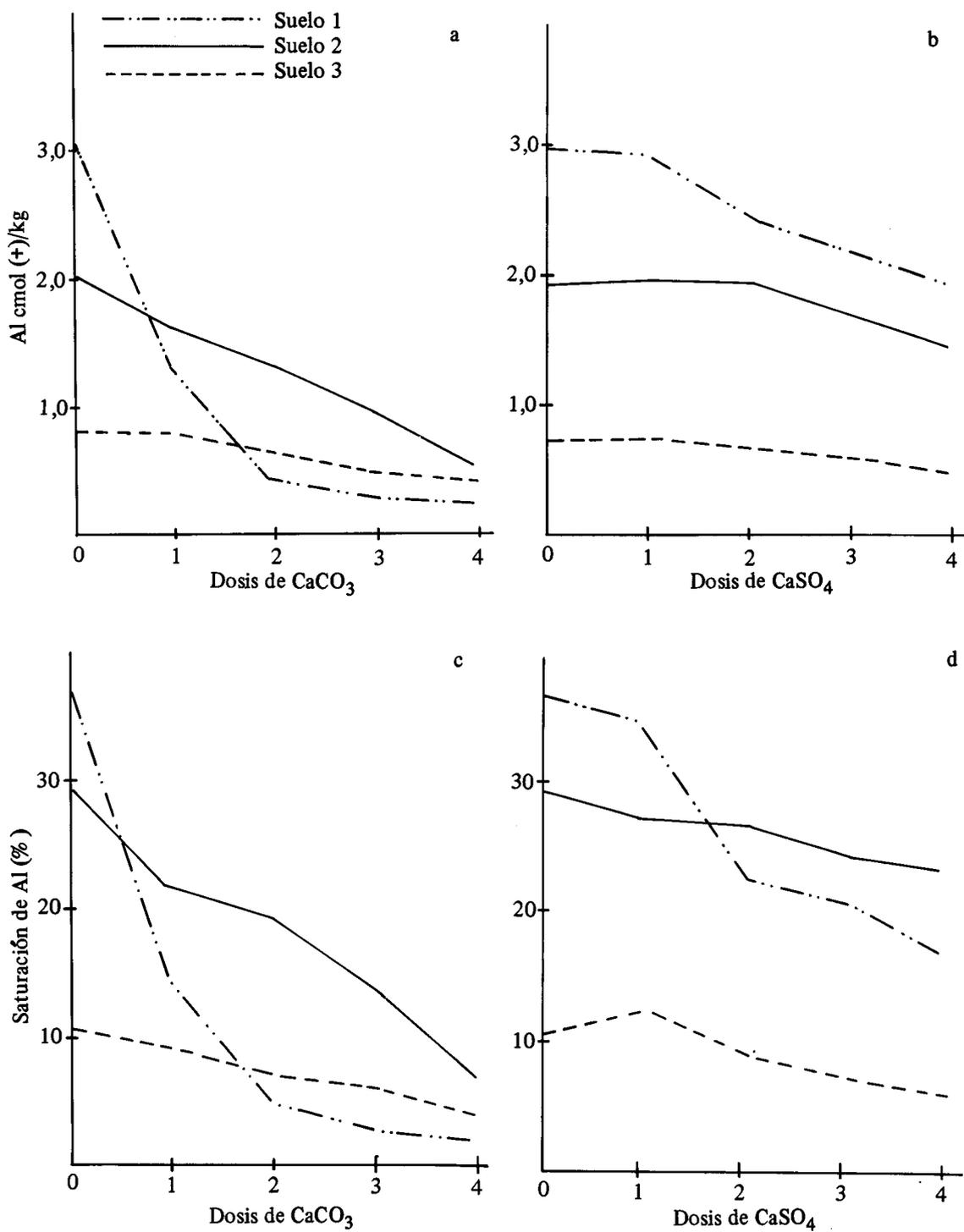


Fig. 4. Variación en la concentración y el porcentaje de saturación de Al con las dosis de CaCO₃ y CaSO₄ en tres suelos ácidos de Costa Rica.

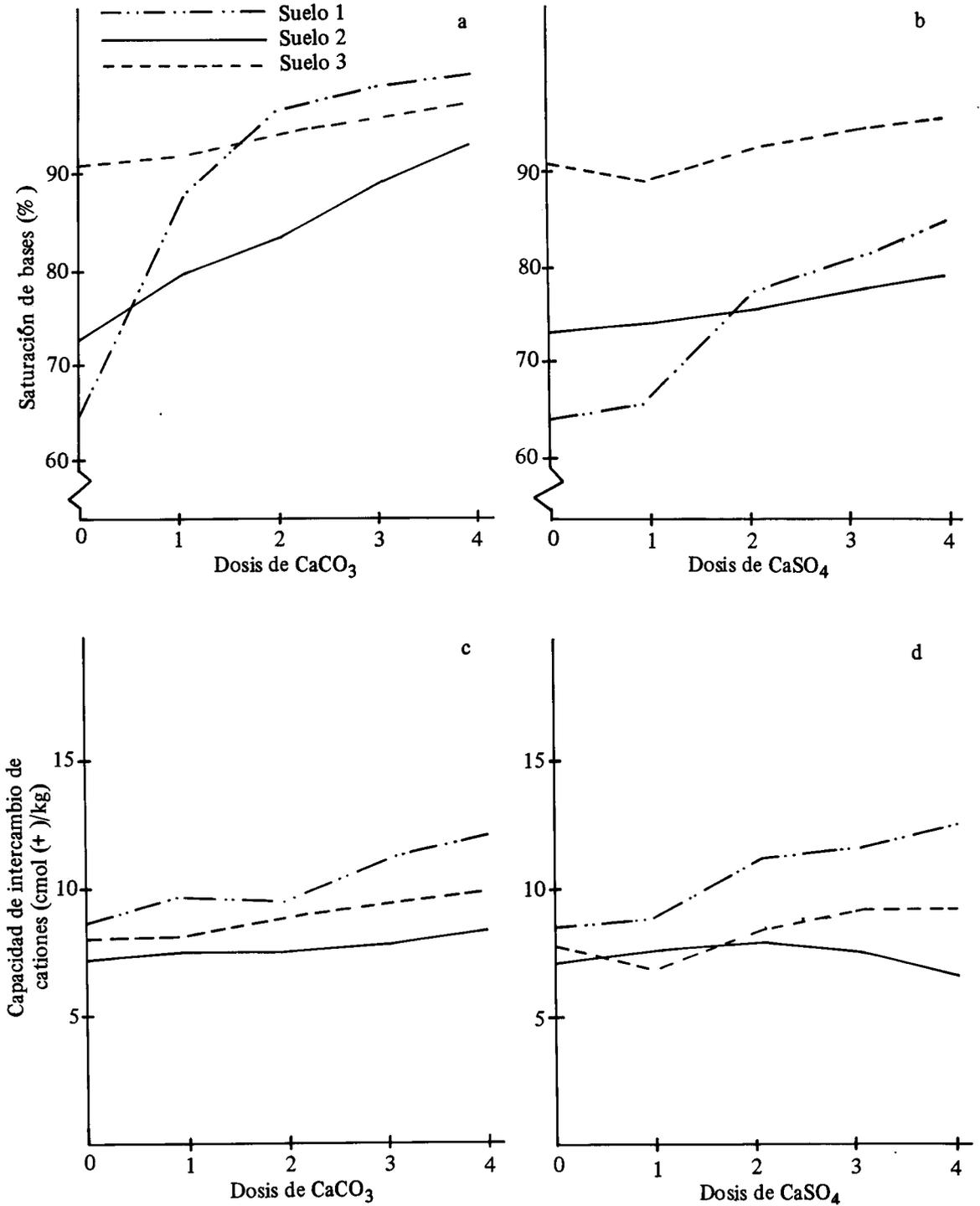


Fig. 5. Variación del porcentaje de saturación de bases y la capacidad de intercambio de cationes con las dosis de CaCO_3 y CaSO_4 en tres suelos ácidos de Costa Rica.

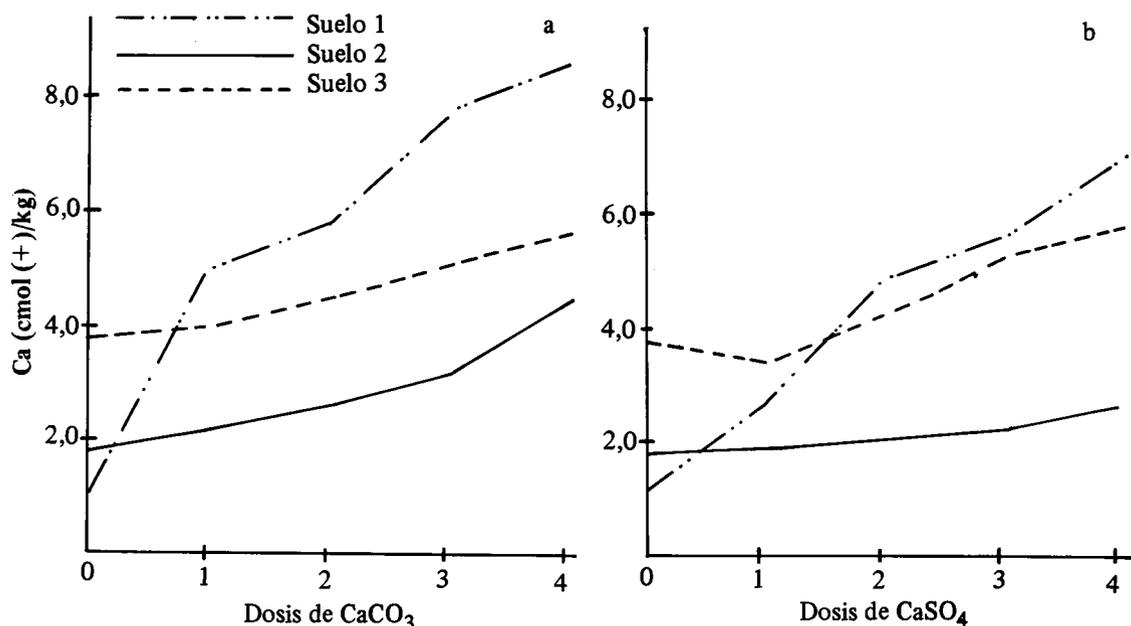


Fig. 6. Variación en la concentración de Ca con las dosis de CaCO_3 y CaSO_4 en tres suelos ácidos de Costa Rica.

El Mg, en forma similar al K, mantuvo muy poca variación al aumentar la dosis de las fuentes de Ca en los tres suelos (Cuadro 4).

Efecto de las relaciones Ca/Mg y 100 K/Ca + Mg + K. La relación Ca/Mg se incrementó al aumentar la dosis de CaCO_3 y CaSO_4 (Cuadro 4). Se encontró respuesta positiva significativa en todos los suelos. El aumento fue menor en el suelo 3 y mayor en el suelo 1 por el alto y bajo nivel de Ca inicial, respectivamente. Incrementos en esta relación han sido encontrados por otros autores (Chavarría, 1983; McLung *et al.*, 1959; Serpa y González, 1979), al encalar.

La relación $100 \text{ K}/\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$ mostró una tendencia a disminuir conforme se incrementó la dosis de Ca (Cuadro 4), debido a los niveles bajos de K, sobre todo en los suelos 1 y 2.

Efecto en la concentración de Fe y Mn. Al aumentar los tratamientos con Ca disminuyó marcadamente el contenido de Fe de los suelos (Figuras 7a y 7b). Resultados semejantes a estos encontraron McLung *et al.*, (1959) y Salinas y Sánchez (1976). Esto se debe a la reacción del Fe^{3+} con los grupos OH^- y SO_4^{2-} , liberados al aplicar CaCO_3 y CaSO_4 , respectivamente. Además, tuvo influencia la extracción por las plantas de sorgo

que tuvieron un mayor crecimiento en los tratamientos con Ca.

El Mn también tendió a bajar conforme se incrementaron las dosis de CaCO_3 (Figuras 7c y 7d).

Evans y Kamprath (1970), Morelli *et al.*, (1971) y Piñeres (1969) informan de disminuciones en la concentración de Mn al encalar los suelos debido a un aumento en el potencial de oxidación que hace que el Mn pase a formas oxidadas poco disponibles. Las cantidades de CaSO_4 empleadas tuvieron escasa influencia en la concentración de Mn en los suelos, al no provocar cambios en el pH de los suelos.

RESUMEN

Se trataron tres suelos ácidos de Costa Rica, a saber, uno de Orosi (Typic Tropohumult), uno de Perez Zeledón (Ustoxic Tropohumult) y uno de San Carlos (Typic Tropudult), con dosis crecientes de CaCO_3 y CaSO_4 , equivalentes a 0, 1, 2, 3 y 4 veces la cantidad de Al intercambiable extraíble con KCl 1 mol/L, presente en cada suelo.

Después de tres meses de incubación, los suelos fueron fertilizados y posteriormente se sembró sorgo (*Sorghum bicolor* L.) como planta indicadora, en condiciones de invernadero. Siete semanas después de la siembra se evaluó la producción de materia seca.

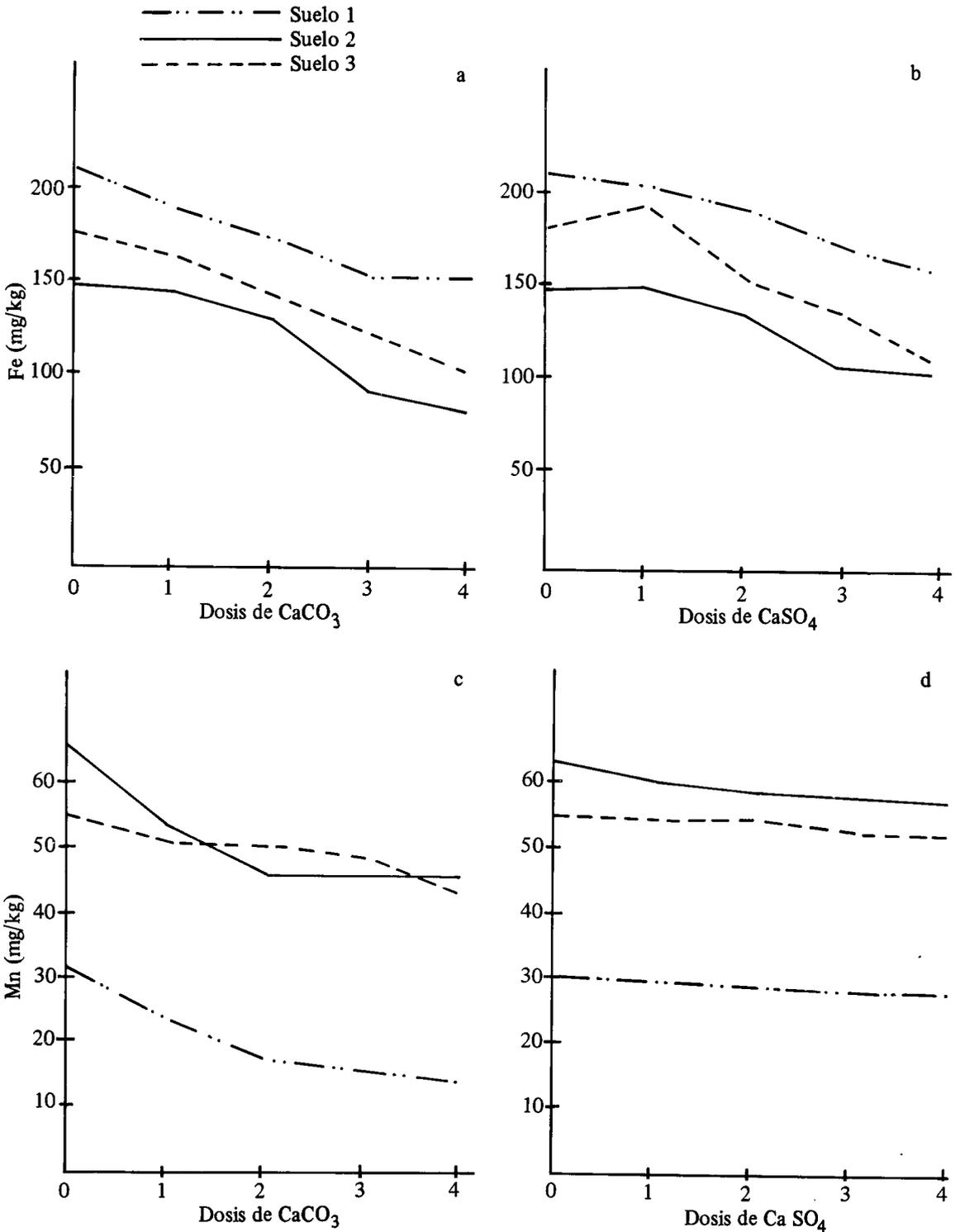


Fig. 7. Variación en la concentración de Fe y Mn con las dosis de CaCO₃ y CaSO₄ en tres suelos ácidos de Costa Rica.

En los suelos de Orosi y Pérez Zeledón, la mayor producción se obtuvo con la aplicación del equivalente a 4 veces la cantidad de Al extraíble, tanto con CaCO_3 como con CaSO_4 . Los valores más altos se obtuvieron con la aplicación de CaCO_3 el cual presentó un mayor poder neutralizante del Al intercambiable que el CaSO_4 . Con la dosis 2 de CaCO_3 y con la dosis 4 de CaSO_4 se lograron resultados similares. También, en general, los niveles de CaCO_3 provocaron un mayor rendimiento relativo que los de CaSO_4 , sobre todo en el suelo de Orosi. En el suelo de San Carlos no se presentaron diferencias significativas en la producción de materia seca ni entre fuentes, debido, posiblemente, al contenido adecuado de Ca originalmente presente en este suelo.

Ambas fuentes, CaCO_3 y CaSO_4 redujeron eficientemente la toxicidad de Al, lo cual se observó visiblemente al comparar los tratamientos encañados con los tratamientos testigo. Al aumentar la dosis de CaCO_3 se incrementó el pH, no así en el caso de CaSO_4 en donde el pH se mantuvo estable. Además, con aumentos en las dosis de CaCO_3 y CaSO_4 se observó un incremento de la capacidad de intercambio de cationes, del porcentaje de saturación de bases y del contenido de Ca. El K y el Mg presentaron poca variación, mientras que el Fe y el Mn disminuyeron principalmente al aumentar las dosis de CaCO_3 .

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, A.M.; BORNEMISZA, E. 1977. Efecto del encañado sobre las cargas eléctricas y otras propiedades químicas de tres inceptisoles de Costa Rica. *Turrialba* 27(4): 333-343.
- BERTSCH, F. 1984. Acidez, calcio, magnesio y potasio en suelos de los cantones de Costa Rica. *In* Congreso Agronómico Nacional (4., 1984, San José, Costa Rica). Resúmenes. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos. p. 19-20.
- BHUMBLA, D. R.; McLEAN, E. O. 1965. Aluminium in soils. VI. Changes in pH dependent acidity, cation-exchange capacity and extractable aluminium with additions of lime to acid surface soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 29:370-374.
- CHAVARRIA, A. 1983. Efecto del encañado sobre las propiedades químicas de cinco suelos ácidos de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía. 154 p.
- DIAZ-ROMEY, 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.
- EVANS, C. E.; KAMPRATH, E. J. 1970. Lime responses as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. *Soil Science Society of America Proceedings* 34: 893-896.
- GONZALEZ, E.; LOBATO, E.; SOARES, W. 1977. Residual effects of lime on the Clayed Dark Red Latosol. *In* Agronomic-economic researches on soils of the tropics. Coord. by P. Sánchez and J. Nicholaidis. Annual Report 1976-1977. Raleigh, North Carolina State University. p. 68-80.
- GONZALEZ, L. G.; GONZALEZ, M. A. 1981. Neutralización del aluminio cambiante en diez suelos de la región de San Carlos y Sarapiquí en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 5(1/2):37-48.
- GONZALEZ, M.; GONZALEZ, M.A. 1982. Efecto de diferentes fuentes de calcio 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.
- GUZMAN, P. 1984. Efecto de dosis crecientes de carbonato de calcio en la variación estacional de aluminio intercambiable en un Humult de Pérez Zeledón. *In* Congreso Agronómico Nacional (4., 1984, San José, Costa Rica). Resúmenes. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos. p. 58-59.
- McLUNG, A. C.; FREITAS, L. M.; LOTT, W. L. 1959. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. *Soil Science Society of America Proceedings* 23:221-224.
- MORA, W. L. 1978. Estudio de la neutralización de la acidez intercambiable en diez suelos del Valle de El General, Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía. 62 p.
- MORELLI, M.; IGUE, K.; FUENTES, R. 1977. Efecto del encañado en el complejo de cambio en el movimiento de Ca y Mg. *Turrialba* 21(3):317-322.
- PAVAN, M. A. 1986. Comportamento do gesso nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais. *Potafos- Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato*. Piracicaba, S. P., Brasil. (Informações Agronômicas no. 35).
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. 1982. Toxicity aluminium to coffee in Ultisols and Oxisols amendments with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Soil Science Society of America Journal* 46:1201-1207.
- PAVAN, M. A. BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 48: 33-38.

- PEARSON, R. W. 1975. Soil acidity and liming in the Humid Tropics. Cornell International Agriculture. Ithaca, New York. Bulletin no. 30. 66 p.
- PIÑERES, E. 1969. Efecto del encalado sobre el pH, las bases cambiables y el Al extraíble en seis suelos de Costa Rica. Tesis Lic. Química. San José, Costa Rica, Universidad, Departamento de Química. 33 p.
- QUIROS, S.; GONZALEZ, M. A. 1979. Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 3(2):137-149.
- RAJAN, S. 1978. Sulfate adsorbed on hydrous alumina, ligands displaced, and changes in surface charge. *Soil Science Society of America Journal* 42:39-44.
- REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. 1970a. Lime requirements of Natal Oxisols based on exchangeable Al. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:595-598. 595-598.
- REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. *Agrochimophysica*, Pretoria. 4-6.
- REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. 1979b. Effects of aluminium toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisol in Natal. *Soil Science Society of America Proceedings* 34:263-267.
- RIOS, V.; MARTINI, J. A.; TEJEIRA, R. 1968. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de Al y Fe extraíble en nueve suelos de Panamá. *Turrialba* 18(2): 139-146.
- SALINAS, J. G.; SANCHEZ, P. A. 1976. Soil-plant relationship affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciencia e Cultura (Brazil)* 28:156-168.
- SANCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico: características y manejo. San José, IICA, 660 p.
- SERPA, R.; GONZALEZ, M. A. 1979. Necesidad de cal en tres suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 3(2):101-108.